



HAL
open science

Etude sur la concessibilité des phosphates

Christian De Torquat de La Coulerie, Patrick Duverger

► **To cite this version:**

Christian De Torquat de La Coulerie, Patrick Duverger. Etude sur la concessibilité des phosphates. Sciences de l'ingénieur [physics]. 1964. hal-01910062

HAL Id: hal-01910062

<https://minesparis-psl.hal.science/hal-01910062>

Submitted on 31 Oct 2018

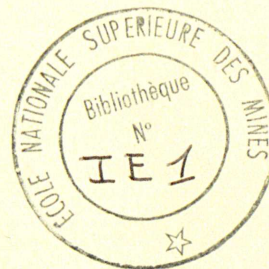
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

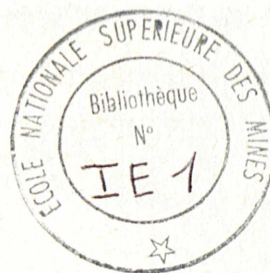
Ecole Nationale Supérieure
des Mines de Paris

Année 1963-64.

ETUDE SUR LA CONCESSIONNABILITE
DES PHOSPHATES



Ch. de TORQUAT de la COULERIE
P. DUVERGER



[5]

- 1 -

INTRODUCTION

La France est le plus gros consommateur de phosphates en Europe (2.000.000 T. en 1962). Sa situation actuelle est entièrement sous la dépendance des importations de phosphates naturels, car la production intérieure est très faible (de l'ordre de 40.000 T.). Devant l'évolution des procédés d'enrichissement, il ne semble pas impossible de penser que l'on puisse reprendre les études et recherches sur les phosphates français que l'on considérait jusqu'alors comme trop pauvres. Dans cette optique, la taille de l'exploitation et le coût des recherches à entreprendre entraîneraient la nécessité d'une protection plus ferme des droits des entreprises intéressées. Or, actuellement les phosphates sont dans la classe des carrières et le problème s'est donc posé de savoir s'il n'était pas souhaitable de les faire passer dans la classe des mines pour fournir des garanties aux chercheurs et aux futurs exploitants.

Nous commencerons donc par faire un rappel historique de l'évolution de la production phosphatière française ; ceci nous amènera à nous poser le problème des possibilités d'existence d'un gisement exploitable en France. Cependant, pour définir économiquement le gisement exploitable, il nous sera nécessaire de faire une étude sommaire de rentabilité de l'ensemble exploitation, enrichissement qui permettrait de produire un phosphate compétitif sur le marché français. Munis de ces renseignements, nous pourrions alors donner les éléments pour résoudre le problème administratif de la concessibilité des phosphates.

France est le plus gros consommateur de phosphates en Europe (2.000.000 T. en 1962). Sa situation actuelle est entièrement sous la dépendance des importations de phosphates naturels, car la production intérieure est très faible (de l'ordre de 40.000 T.). Devant l'évolution des procédés d'enrichissement, il ne semble pas impossible de penser que l'on puisse reprendre les études et recherches sur les phosphates français que l'on considérait jusqu'alors comme trop pauvres. Dans cette optique, la taille de l'exploitation et le coût des recherches à entreprendre entraîneraient la nécessité d'une protection plus ferme des droits des entreprises intéressées. Or, actuellement les phosphates sont dans la classe des carrières et le problème s'est donc posé de savoir s'il n'était pas souhaitable de les faire passer dans la classe des mines pour fournir des garanties aux chercheurs et aux futurs exploitants.

1ère Partie : HISTORIQUE

L'Exploitation phosphatière française remonte aux environs de 1850. A cette époque, le développement de la culture intensive en Europe rendait nécessaire l'utilisation d'engrais phosphatés pour l'amélioration des rendements. Sous cette impulsion des recherches furent entreprises qui amenèrent à la découverte de nombreux gisements ; voisine de zéro en 1850 la production française atteint 184.000 T. en 1886. Les gisements exploités à cette époque avaient des teneurs en phosphate tricalcique variant de 45% à 65%. Dès cette époque, une partie de ces phosphates était transformée en engrais phosphatés plus assimilables (superphosphates).

La production alla en progressant jusqu'en 1899 où elle atteint 646.000 T. Les principales exploitations se faisaient :

1°/ dans le Bassin Parisien; de nombreuses poches de craie phosphatée enrichie furent ainsi exploitées ; les teneurs pouvaient atteindre 80% de Phosphate tricalcique ; l'exploitation se faisait aux petites carrières ou exploitations souterraines ; les réserves étaient toujours assez faibles.

2°/ dans le Massif des Montagnes Noires et les Pyrénées, où il existe une couche contenant des nodules phosphatés de grosseur et teneur variables. La couche est assez constante sur près de 60 Km. L'exploitation n'a été entreprise qu'en des points assez épars étant donné la faible proportion de nodules (20-25 % en volume) et les difficultés d'exploitation et de traitement (dureté de la gangue, pendage ...).

3°/ dans le Quercy où l'on trouvait des cavités karstiques tertiaires remplies d'une argile contenant des concrétions phosphatées et de nombreux débris fossiles phosphatisés. Ces gisements très peu étendus se sont rapidement épuisés.

Il y eut, à cette époque, bien d'autres gisements sur lesquels on n'insistera pas, car ils représentent souvent des phénomènes isolés et peu durables.

Au total durant cette période de grosse production, les exploitations phosphatières françaises possédaient les caractéristiques suivantes :

- faibles réserves et faibles étendues (sauf le cas des Pyrénées où les conditions d'exploitation étaient difficiles). Ceci entraînait une très grande division des exploitations (800 carrières en 1886).
- teneurs assez variables, mais en moyenne assez faibles (de 15% à 30% en F_2C_5) (1 unité F_2C_5 = 2,18 de phosphate tricalcique).
- petites exploitations de type artisanal.

Evidemment, les découvertes des gisements d'Afrique du Nord créèrent une concurrence que la plupart des exploitants ne furent pas à même de combattre. En 1885, les découvertes des gisements tunisiens, peu après des gisements algériens et enfin, en 1921, celle des gisements marocains entraînent assez rapidement une chute de la production intérieure française : elle tombe à 299.000 T. en 1913, 252.000 T. en 1926 et s'établit au niveau de 60.000/100.000 T. à partir de 1930.

Pendant la dernière guerre, un effort spécial a été entrepris pour accroître cette production à cause des difficultés d'approvisionnement. On atteint difficilement le niveau de 130.000 T., mais dès la fin des hostilités, les exploitations ferment et l'on revient au niveau d'avant-guerre.

Depuis 1944, la production s'est maintenue de façon assez constante au niveau 60.000/100.000 T. jusqu'à ces dernières années, où la suppression de la subvention à l'emploi des craies phosphatées (1959) a fait tomber ce chiffre aux environs de 40.000 T.

Actuellement, il ne subsiste que quelques exploitations dans l'Oise, l'Aisne et la Somme. Leurs activités sont quelquefois épisodiques, les teneurs exploitées sont faibles (de 8 à 15% P_2O_5). L'importance de ce secteur est tout à fait insignifiante : de l'ordre de 100 personnes employées, chiffre d'affaires de 1,- MF en 1960. On peut donc se demander pourquoi poser le problème de la concessibilité des phosphates : des modifications très importantes sont en cours de réalisation dans la technique d'enrichissement des phosphates qui permettent de penser que l'on obtiendra des conditions économiquement valables un phosphate à 75% de tricalcique (35% P_2O_5) à partir d'un brut à basse teneur. D'autre part, la modernisation des conditions d'exploitation à ciel ouvert renforce cette impression. Donc il s'agit de savoir d'une part, si les procédés d'exploitation et d'enrichissement peuvent être appliqués de façon rentable à un phosphate pauvre comme celui de nos craies phosphatées, d'autre part, s'il est possible de trouver un gisement étendu répondant aux conditions de teneur imposée par la rentabilité.

TABLEAU I

Productions intérieures françaises (en tonnes de produits)

Années	1951	1953	1955	1957	1959	1960	1961	1962
Somme	91 485	64 280	35 234	43 280	34 925	29 459	24 927	24 269
Cise	16 641	13 633	26 512	26 332	17 180	14 889	12 356	18 462
Aisne	-	-	-	-	17 400	3 200	-	-
Divers	5 923	4 824	4 921	2 748	4 300	-	-	-
TOTAL	114 049	82 737	66 667	72 360	73 805	47 548	37 228	42 731

LE PHOSPHORE DANS L'ECORCE TERRESTRE

A) Existence du phosphore dans différentes roches

I - Généralités

Le phosphore existe presque partout à la surface du globe; les roches, les organismes vivants, les eaux des fleuves et des océans en contiennent toujours une certaine proportion.

Les roches mères sont les roches ignées et le titre en phosphore des roches éruptives est en moyenne de 1°/∞∞

Les roches sédimentaires en contiennent toute dans une proportion variable, au minimum 1°/∞∞

On trouve de 1 à 100 milligrammes de phosphore par mètre cube dans les océans, sous forme minérale et sous forme organique.

Au total le phosphore existe sous forme diffuse dans toute l'écorce terrestre avec un titre de quelques millièmes.

II - Minéralogie

La question de savoir sous quelle forme se présente le phosphore dans les roches en général mais surtout dans les gîtes minéraux est très importante tant du point de vue de l'enrichissement des minerais que de leur attaque ultérieure dans les usines d'engrais et de leur assimilation par les plantes.

Le problème est maintenant bien connu dans ses grandes lignes et l'étude minéralogique des grands gisements mondiaux bien au point. Des études de ce type sur la craie phosphatée du bassin parisien sont en cours et nous verrons que leur résultat pourra amener des éclaircissements sur l'enrichissement et l'avenir de ces minerais.

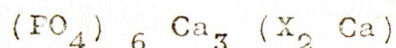
Le phosphore des roches est essentiellement sous forme de phosphate de chaux et il est aujourd'hui établi que celui-ci est, dans tous les gîtes même sédimentaire, entièrement cristallisé. Il en est d'ailleurs de même des autres phosphates

...../.....

Les laboratoires travaillent sur les diagrammes de diffraction aux rayons X par la méthode de Debye et Scherrer qui permet de déterminer les caractéristiques de ces réseaux et de suivre leur évolution au cours de différentes étapes de l'enrichissement.

Série Apatite

Cette minéralisation a pour base la série apatite, hexagonal, parahémièdre, de formule générale



X représentant un des quatre radicaux Cl, OH, F ou CO_3 d'où les noms de clorapatite, hydroxylapatite, fluorapatite, carboxyapatite.

- 1) X = CO_3 : en général seul; rare; uniquement sédimentaire
- 2) X = Cl, Cl OH, Cl F : éruptif uniquement
- 3) X = F, F OH : Eruptif et sédimentaire; très fréquent.

Substitution de FO_4

Cette série se complique encore car un radical peut se substituer à FO_4 .

- 1) Substitution par CO_3 .

On obtient alors de l'apatite carbonatée, très fréquent en particulier dans les gisements d'Afrique du Nord.

FO_4 ayant 3 valences négatives et CO_3 seulement deux, l'équilibre se crée par l'adjonction d'un ion OH ou la substitution de Ca^{++} par Na^+ ou K^+ .

- 2) Substitution par SO_4 , SiO_4 ou AsO_4 .

Substitution du Ca

Il faut enfin noter que du strontium, du baryum, du manganèse, du magnésium ou des terres rares peuvent se substituer au calcium.

Actuellement on pense que la craie phosphatée est surtout constituée par le minéral fluorapatite carbonatée.

On distingue souvent trois catégories de phosphates au point de vue grandeur des cristaux

- les phosphates macro-cristallins (cristaux visibles à 3 l'oeil nu) qui proviennent surtout des roches ignées
- les phosphates micro-cristallins (cristaux de 20 à 100microns que l'on rencontre dans certains gisements sédimentaires.
- les phosphates crypto-cristallins qui sont abondants dans les gîtes sédimentaires.

Ces catégories entraînent des différences importantes de traitement.

III - Pétrographie

Le minerai de phosphate a des faciès très divers. Nous ne ferons que citer les apatites dites cristallines (Kola) liées à des ségrégations de roches éruptives, les phosphates de concentration continentale, dits phosphorites, les phosphates des îles et le phosphate d'alumine (Sénégal).

Le phosphate des gîtes sédimentaires revêt trois principaux types :

les granules ou pseudo-oolithes, les nodules, les débris organiques (coprolithes et fossiles phosphatisés). Ces éléments phosphatés sont généralement inclus dans un ciment plus ou moins phosphaté, plus ou moins cohérent et qui, généralement, est considéré comme stérile.

1) les granules sont de petites concrétions sphéroïdes ou ellipsoïdales de 0,05 à 1 mm, noyées dans un ciment (exogangue). Ce ciment est surtout constitué d'argile (il y en a toujours) et le calcite (de néoformation ou secondaire); il comporte aussi du quartz (détritique par exemple) de la calcédoine (silex de formation secondaire) de la dolomie, du gypse, de la glauconie, des oxydes de fer et d'alumine (de formation secondaire).

Ces granules peuvent être formés autour d'un centre (quartz - calcite - microorganisme)

Le phosphate des granules est indifférencié; examiné au microscope les grains sont d'aspect circux.

Ces grains ne sont presque jamais constitués par de l'apatite pure au sens général et ils contiennent des inclusions ou endogangue (souvent on ajoute à ces inclusions certains radicaux de la série apatite, l'ion CO_3^{++} par exemple que l'on peut chercher à éliminer dans l'enrichissement pour parler de l'endogangue au sens large) tel que de l'argile, de la calcite, du quartz, de la dolomie, de la glauconie, des matières organiques....

.../...

- 2) les nodules dent de constitution analogue mais leur dimension est de l'ordre du centimètre.
- 3) les débris organiques - Par exemple citons le sable faunifère phosphaté de Beauval.

o
o o

Outre les impuretés susceptibles d'abaisser les teneurs comme le calcaire, il faut tenir compte d'impuretés nuisibles en elles-mêmes pour les traitements ultérieurs : ce sont surtout les oxydes de fer et d'aluminium et les matières organiques. On appelle taux de Feral la somme des titres en $Fe_2 O_3$ et $Al_2 O_3$. Ce taux limite des concentrés marchands sur le marché est de 2% environ. Les craies phosphatées en contiennent vraisemblablement peu. Quant aux matières organiques elles seront détruites lors de la calcination. Il faut aussi tenir compte de la réactivité du minerai à l'égard de l'attaque par les acides. Nous en reparlerons au chapitre des engrais.

o
o o

En conclusion, au point de vue pétrographique, les formes sous lesquelles se présente le phosphate de chaux sont extrêmement variées mais il faut retenir que la composition des grains et de la gangue est une caractéristique essentielle pour les traitements ultérieurs.

B) Les gisements de phosphates

I - Classification géologique

Les gisements de phosphates sont fort nombreux, ils datent d'époque géologique très diverses et ils sont très dispersés à la surface du globe. Nous verrons que les gisements effectivement exploités sont beaucoup moins nombreux et beaucoup plus localisés.

Nous donnons la classification classique suivante :

a) Phosphates marins

Ce sont des sédiments marins disposés sur la plate forme ou sur le talus continental. Ce sont des couches à pseudo-oolithes dans un ciment pratiquement stérile. Nous reviendrons sur leur étude à propos de la craie phosphatée du bassin parisien.

.../...

b) Phosphates remaniés

Ils sont presque aussi important que les précédents. Ce remaniement a pu s'opérer en milieu marin (Floride) ou en milieu continental (Tennessee-Thiès)

c) Phosphates des îles océaniques

L'origine du phosphate est ici le guano

d) Phosphorites

e) Phosphate des roches éruptives

Kola en U.R.S.S. - Felaboraen Afrique du Sud

II - Principaux gisements mondiaux

Nous allons passer rapidement en revue les principaux gisements exploités en les groupant par zones géographiques, en raison de l'importance économique du facteur emplacement.

a) Europe

Dans différents pays d'Europe (France, Belgique, Allemagne, Pologne...) il existe de nombreux horizons de craie phosphatée à faible teneur mais les réserves sont considérables. C'est un des objets principaux de notre étude et nous y reviendrons.

En Russie il existe des gisements importants sédimentaires et un grand gisement de phosphate éruptif (Kola) le seul à être exporté.

b) Région méditerranéenne

Il existe en Afrique du Nord de très importants gisements de phosphate sédimentaire marin. Les bruts ont des teneurs variant de 53% à 75%. Les réserves sont énormes et dépassent vingt milliards de tonnes.

On peut associer à ces gisements ceux d'Egypte, d'Israël et de Jordanie.

c) Afrique du Sud

Deux exploitations, un gisement de guano fossilisé à Langeboan, un gisement éruptif à Felabora.

.../...

d) Amérique

-10

On trouve en Floride de très importantes exploitations qui alimentent l'exportation. D'autres importants gisements sédimentaires dans le centre et l'Ouest des USA sont réservés au marché intérieur.

e) Ajoutons certaines îles d'Océanie, et quelques exploitations en Chine, au Japon et en Indochine.

III - Réserves

Nous donnons le tableau suivant, publié il y a quelques années par le Bureau of Mines.

Pays	10 ⁶ L.T. de minerais
Maroc	21 000
Etats-Unis	13 526
U.R.S.S.	7 568
Tunisie	2 000
Algérie	1 000
Brésil	572
Iles du Pacifique et de l'Océan Indien	182
Egypte	179
23 autres pays	670

TOTAL	46 697

Il s'agit de minerais de phosphate contenant au moins 20% de P_2O_5 ou capables de fournir par un traitement simple purement physique un produit possédant cette teneur.

Il est évident que ce n'est qu'une estimation et qu'il y a une grande difficulté à choisir une convention pour séparer les gisements que l'on retiendra et ceux que l'on rejettera. D'une part un gisement inexploitable à une certaine époque peut être exploitable à une autre (on veut espérer que la craie phosphatée du bassin parisien en est un exemple). D'autre part il existe de grandes régions très peu explorées comme l'Afrique tropicale.

En conclusion nous citerons un article de Monsieur R. Saint-Guilhem "quoi qu'il en soit les chiffres exacts qui représenteraient le montant des réserves exploitables calculées suivant telle ou telle convention, on peut affirmer en toute certitude que l'on connaît des réserves énormes de phosphate de chaux minéral, susceptibles d'être exploitées en fonction des besoins de l'agriculture. Ces réserves permettent de satisfaire pendant plusieurs milliers d'années les besoins mondiaux."

.../...

IV - Les gisements français *

Dans "géologie des gîtes minéraux" E.RAGUIN écrit :
 "Ces gisements, nombreux et variés, ont presque tous cessé d'être exploités à cause de la concurrence des phosphates plus riches d'Afrique du Nord.

Des couches phosphatées se trouvent à bien des niveaux stratigraphique dans la série des terrains sédimentaires de la France. Elles témoignent des vicissitudes multiples éprouvées par les mers peu profondes du passé, puisque les phosphates coïncident avec des perturbations marines, variation de profondeur et du régime du courant. Parmi ces multiples épisodes, généralement peu importants, on peut retenir surtout le carbonifère inférieur de la Montagne Noire et des Pyrénées, le lias de l'Est de la France, le crétacé moyen du Bassin Parisien, la craie sénonienne du même bassin".

Lucien Cayeux (1939) a fait l'étude la plus complète des phosphates de chaux sédimentaires de France. Nous donnons ici la description qu'en a faite M. Slansky.

1°) Phosphates dinantiens

a) Dinantien des Pyrénées

Ces phosphates noirs des Pyrénées ont été signalés et étudiés par D. LEVAT (1899). Ils sont rattachés au Tournaisien supérieur et même au Viséen; ils succèdent ainsi à une importante lacune stratigraphique.

Le niveau phosphaté est constitué de schistes du type ampéliteux et de lydiennes, renfermant des boulets noirs de phosphates de chaux dont la taille peut aller de celle d'une noisette jusqu'à des blocs de plus de 40 kg. Ce niveau d'épaisseur variable, pouvant atteindre 20 m, a une extension notable en Haute-Garonne et dans l'Ariège, on le suit notamment sur une vingtaine de km entre Foix et Saint-Girons.

Le minerai tout-venant à nodules, a des teneurs pouvant dépasser 20% le F_2O_5 , jusqu'à 24% à la Eastide; dans l'Ariège où la puissance de la couche est de 10 m. A Las Cabesses, le phosphate, rocheux, à 8,90 m d'épaisseur; les nodules, qui constituent environ le tiers de la roche, titrent 28 à 30% de F_2O_5 de la gangue schisteuse noire, débarassée de ses nodules, 16%.

.../....

La richesse du niveau phosphaté est liée à la concentration, varié selon les endroits, des nodules qui semblent avoir une teneur assez constante, soit 60 à 70% de phosphate tricalcique. La teneur des couches sans nodules ne dépasse pas 14 à 16% de P_2O_5 s'abaissant à 6 à 10% dans les schistes charbonneux noirs.

La teneur en phosphate des nodules est limitée par une endogangue siliceuse ^{et la présence} de matières charbonneuses (jusqu'à 6%) responsable de la teinte généralement noire. L'enrichissement de ces nodules paraît difficile. Les teneurs en "Feral" sont compatibles avec la fabrication des engrais, mais la présence des matières organiques est gênante.

La dureté de la gangue à lydienne, l'importance des pendanges constituent des obstacles à l'exploitation de ces phosphates qui ont cependant été utilisés au début du siècle et pendant la seconde guerre mondiale, notamment dans l'Ariège à Castelnau - Durban.

b) Dinantien de la Montagne Noire

Il s'agit apparemment du même niveau que dans les Pyrénées. Les nodules phosphatés sont contenus dans des schistes noirs et lydiennes alternant. R. Böhm signale des affleurements de lydiennes phosphatées sur 10 km, avec des puissances de 10 à 15 m.

La société F.I.C.A. a exploité pendant la seconde guerre mondiale le gisement de St-Nazaire de Ladarez (Hérault), schistes très redressés phosphatés gris noirs à nodules, de 10 à 20 m de puissance. A Alot (Aude), Dormois signale 3 secteurs reconnus d'exploitation possible. Il n'existe aucune exploitation à l'heure actuelle.

Les teneurs semblent peu connues. Des rognons à 73,65% de phosphate tricalcique ont été signalés à Cabrières. L'analyse de certains nodules a donné des teneurs variant de 60 à 65%.

La concessibilité des phosphates pourrait redonner un certain intérêt à ces gisements dinantiens. Il semble que les réserves sont importantes. Mais d'une part les gîtes ne paraissent pas compatibles avec une exploitation en carrière très moderne et à bas prix de revient, d'autre part l'enrichissement n'a pas été étudié et semble complexe.

Ces conclusions ne sont pas définitives car ces gisements ont été peu étudiés. Il faut néanmoins souligner que l'aspect de la craie phosphatée du bassin parisien est logiquement la plus importante comme raison d'être de la concessibilité il est possible que dans l'avenir géologues et exploitants mettent en évidence en France d'autres gîtes rentables dans un des nombreux niveaux à sédimentation phosphatée.

2°) Nodules phosphatés du jurassique inférieur

On a signalé de nombreux nodules phosphatés dans le jurassique inférieur; ils sont néanmoins peu importants, de distribution sporadique et semblent dénués d'intérêt pratique. On les trouve dans :

- le sinémurien et le charmouthien de l'Ardenne
- le charmouthien et le toarcien du Cher et de l'Indre
- le lias de l'Auxois
- sept horizons répartis de l'Infralias au toarcien de l'Ardenne.

Il arrive que par remaniement ces nodules phosphatés ont été enrichis.

Dans l'Auxois on a exploité ces phosphates à petite échelle à la fin du siècle dernier. Ces nodules constituaient un lit de 5 à 40 cm dans un niveau de décalcification de la partie supérieure des calcaires à gryphées. Les rares teneurs signalées pour les nodules vont de 60 à 74% de phosphate tricalcique. La teneur en fer semble importante. L de Launay estimait les réserves en minerai à 1,5 million de tonnes.

On a signalé en Lorraine des nodules titrant 60 à 80% de phosphate tricalcique dans le Sinémurien. Dans le lias moyen des Vosges on a exploité ces nodules concentrés par un lessivage de la gangue marneuse dans un niveau de 30 cm d'épaisseur.

Les teneurs de l'Auxois et des Vosges sont les plus importantes. On signale d'ailleurs, toujours pour les nodules seuls : 10 à 21% de P_2O_5 en Ardenne, 22 à 27% dans le Charmouthien de l'Indre, 14% dans le toarcien de Lorraine.

3°) Nodules phosphatés du jurassique moyen et supérieur

La sédimentation phosphatée a toujours été faible pendant cette période. Nous noterons seulement les concentrations suivantes :

a) Phosphates bajociens

A la base de l'oolithe ferrugineuse de Bayeux (Calvados) un tout petit niveau de nodules reposant sur un calcaire bajocien a donné une teneur de 17% de P_2O_5 . On peut encore signaler à Longwy, un calcaire détritique à ciment phosphaté, dans la région de Privas (Ardèche), un calcaire feuilleté glauconieux à grains de phosphates.

b) Phosphates calloviens

-14

Le calcaire du toit du minerai de fer oolithé de la Voulté (Ardèche) contient des grains de phosphates donnant localement à la roche une teneur en F_2O_5 de 13,55%.

c) Phosphates oxfordiens

Signalons quelques nodules fortement calcaires dans la région de Nevers.

d) Phosphates portlandiens

A Wimereux (Pas-de-Calais), deux niveaux de gravier phosphaté de quelques centimètres d'épaisseur ont donné pour les nodules, une teneur en F_2O_5 de 19,5%.

4°) Phosphates crétacés

a) Aptien

Dans le Boulonnais, le phosphate est localisé dans un grès vert calcarifère de 4m d'épaisseur à accidents phosphatés noduleux de 2mm à plusieurs cm, très disséminés. L'analyse d'un de ces rognons indique 19,25% de F_2O_5 .

Les gisements du Boulonnais ont été exploités, fournissant jusqu'à 20.000 t. par an.

b) Albien

Dans le bassin de Paris les concentrations les plus importantes de phosphates sont situées dans les départements des Ardennes et de la Meuse, où elles ont été exploitées. Les schistes verts et la gaize contiennent deux couches de nodules de 10 à 12 cm d'épaisseur moyenne. Les nodules (ou coquins) de la couche des sables verts ont une teneur moyenne de 17% de F_2O_5 , ceux de la base de la gaize, de 25%.

On a signalé d'autres nodules, sur la rive droite de la Loire (près de Clamecy) dans un sable argileux et glauconieux de 30 cm d'épaisseur moyenne et renfermant une grande quantité de nodules et de fossiles phosphatés généralement agglomérés par un ciment phosphaté. Les teneurs des nodules varient entre 20 et 30% de tricalcique avec une moyenne de 40%; ils contiennent des matières organiques.

.../...

Dans le bassin du Rhône il existe divers gisements de nodules phosphatés, malgré une faible concentration il y a eu quelques essais d'exploitation.

c) Cénomaniens

Le cénomaniens est fréquemment phosphaté (nodules). Dans le Bassin parisien, les nodules ont été signalés un peu partout, les concentrations les plus intéressantes étant situées en Artois (Fernes) et en Seine-et-Marne (St-Menehould); elle ont été l'objet d'exploitations de brèves durées.

Dans la région de Fernes en Artois, les nodules sont concentrés dans la craie glauconieuse en deux niveaux, parfois distants de 2 m, parfois confondus et atteignant jusqu'à 60 à 75 cm d'épaisseur totale. Les nodules titrent de 50 à 60% de tricalcique.

d) Turonien

Au turonien, le phosphate ne semble s'être concentré de façon notable que dans le Nord du Bassin de Paris sous la forme de craies et sables phosphatés et de nodules.

Les craies et sables phosphatés du Cambrésis ont été exploités jusqu'en 1927. Il s'agit de craies grises glauconieuses et faiblement phosphatées, localement altérées en poches de quelques mètres dans lesquelles se concentre du sable phosphaté et glauconieux titrant jusqu'à 20% de P_2O_5 .

Les nodules phosphatés des environs de Lille forment une couche de 0,6 m à 1,2 m d'épaisseur, appelée "Tun" qui titre de 8 à 15% de P_2O_5 . Il s'agit de nodules cimentés par une craie glauconieuse plus ou moins phosphatée.

e) Sénonien

Le sénonien montre le développement maximal des craies phosphatées en France et semble être l'étage le plus adapté à la constitution de gisements de phosphate exploitables. Nous sommes au cœur de notre étude puisque c'est leur présence qui a amené la Direction des Mines à demander un avant projet sur l'éventuelle rentabilité de leur exploitation. Nous les étudions au chapitre suivant.

Des cavités karstiques des Causses du Quercy ont été remplies par des formations résiduelles argileuses à pisolithes de limonite emballant des concrétions phosphatées. Le remplissage serait dû à l'accumulation par les eaux de ruissellement, de dépouilles d'animaux et de dépôts phosphatés provenant de la dissolution de craies phosphatées dont l'étude serait à envisager. Ce matériel a été remanié chimiquement.

C) La craie phosphatée du bassin parisien

Avec le sénonien s'ouvre une période éminemment favorable au développement des phosphates en général, et des craies phosphatées en particulier. Jamais les phosphates de chaux en grains n'ont connu semblable épanouissement en Europe. Mais à peine leur apogée est-il atteint qu'ils disparaissent pour toujours de la série sédimentaire de notre pays.

Les craies phosphatées sont essentiellement développées au campanien, parfois même au santorien.

Les craies phosphatées de France, par la répartition de petits grains pseudo-oolithiques du phosphate qu'elles contiennent, s'apparentent aux formations phosphatées d'Afrique du Nord, du Sénégal ou du Togo. Elles sont vraisemblablement issues d'un style de sédimentation comparable.

I - Situation géographique et géologique des gîtes

1) Recensement et Répartition

La première étude synthétique décrivant l'ensemble des gisements de craies phosphatées du Bassin de Paris a été faite par le BRGM en 1962.

Le travail de documentation a consisté à recenser les diverses publications relatives aux phosphates du Bassin Parisien. Les résultats actuels de ce dépouillement se traduisent actuellement par :

- 312 fiches bibliographiques
- 138 fiches substances utiles
- 38 dossiers substances utiles

.../...

et portent sur 26 gisements de craie phosphatée dans le Bassin de Paris (11 d'âge turonien et 75 d'âge campanien).

Un certain nombre de gisements ont été visités. Très peu de carrières sont encore en activité : Hardivilliers (Oise), Beauval, Hallencourt, Nurlu, Templeux-le-Huérard Ribbemont sur l'Ancre, Fontru (Somme), Hargicourt (Aisne).

Ce travail, important par la recherche future, n'est pas terminé. Il donnera une vue plus précisée sur les gîtes connus : datation micro-paléontologique, analyse du minéral (titre en tricalcique), échantillonnage statistique (tonnage et variation des teneurs), influence de la paléogéographie et de la tectonique.

o
o o

Les études précédentes permettent alors de localiser les gisements connus dans l'espace. Ces reports géologiques montrent que la totalité des gîtes se répartit sur l'"auréole" du crétacé supérieur qui ceinture l'île de France tertiaire à laquelle il faut ajouter le petit bassin synclinal d'Orchies où les gîtes sont masqués par une couverture de terrains tertiaires. Les gîtes se trouvent plus précisément dans les départements de l'Oise, de la Somme, du Pas-de-Calais, du Nord, de l'Aisne, des Ardennes et de l'Yonne.

Notons dès maintenant que les horizons crayeux contemporains du phosphate se poursuivent sous le tertiaire, mais l'épaisseur de celui-ci (100 à 250 m) les exclut pour l'instant de l'optique des recherches

2°) Situation géologique des gîtes

Tous les gîtes de craie phosphatée du bassin de Paris (on retrouve en général des horizons identiques en Angleterre et en Belgique) sont d'âge crétacé supérieur (post-cémomanien). Ils ne se localisent pas tous au même niveau.

La scission stratigraphique du crétacé supérieur du Bassin de Paris et des étages sus et sous jacents est la suivante de haut en bas.

...../.....

Tertiaire	Eocène	Montien	Calcaire pisolithique	
Secon- daire	Crétacé	Danien	étage absent	
			Maëstrichtien	étage absent
			Campanien	Craie à Belemnitella mucronata Craie à deux belemnites Craie à Actinocamax quadratus
		Séno- nien	Santonien	Craie à Marsupites Craie à micraster coranguinum
			Coniacien	Craie à micraster c. rtes dudinarium
		Turonien	Angoumien	Craie à micraster breirporus
			Salmurien	Craie à Inocéramus labiatus
			Cénomanien	Sable et craie glauconieux
			Albien	
			Aptien	Retour de la mer

Les horizons phosphatés se trouvent au sommet du turonien, au santonien supérieur (Craie à Marsupites), au campanien inférieur (Craie à actinocamax quadratus) ou l'on voit leur développement maximum, et dans la craie à deux belemnites du campanien moyen.

Notons dès maintenant qu'aucune étude stratigraphique précise de la craie, basée sur la micropaléontologie, n'a encore été faite. On verra que c'est néanmoins une base nécessaire pour une recherche systématique des zones susceptibles de contenir un vaste gîte de craie phosphatée.

o
o o

Nous rappelons encore que le retour de la mer dans le Bassin Parisien a eu lieu dès l'Aptien mais surtout à l'Albien (avec le dépôt d'une assise très caractéristique de sable vert glauconieux). Par la suite la sédimentation s'est poursuivie jusqu'à la fin du crétacé sous la forme de craie. C'est un calcaire blanc, tendre, fin, comportant une très forte proportion de débris d'organismes microscopiques et très peu d'apports continentaux. Sédiment

...../.....

déposé à faible profondeur (quelques centaines de mètres), peu évolué (surtout en ce qui concerne le carbonate de chaux, la silice a par contre souvent été déplacée) et qui parfois a été substitué en phosphate.

La mer disparaît du bassin parisien à la fin du crétacé et fait place à l'érosion.

II - Description géologique des gîtes

1) Les poches de sables phosphatés

Ces gîtes sont de formation secondaire. Sous l'action des eaux atmosphériques des craies phosphatées de formation primaire ont été décalcifiées et ont données des poches de sables enrichis en tricalcique. Ces gîtes sont les moins importants car ils ne donnent que de petits gisements (30 m de diamètre sur 7 m de profondeur pour une poche de grande taille).

Nous donnons deux analyse de sables phosphatée (in L. Cayeux 1939)

	1	2
SiO ₂	2,80	12,30
Al ₂ O ₃	2,88	4,72
Fe ₂ O ₃	2,15	2,88
CaO	49,00	42,30
MgO	0,25	0,35
P ₂ O ₅	31,02	24,20
H ₂ O	6,15	6,57
Fl	1,36	0,20
Cl	0,21	1,48
CO ₂	3,90	4,95
	<u>99,72</u>	<u>99,95</u>

1. Sable phosphaté d'Haravesnes (Fas-de-Calais)
2. Sable phosphaté d'Hardivilliers (Oise)

2) Les couches de craie phosphatée

Disons tout de suite que c'est un gisement de ce type de plusieurs dizaines de millions de tonnes de titre faible (5 à 20% de F₂O₅) que l'on peut raisonnablement espérer découvrir dans les années à venir dans le bassin parisien et qui légitime notre étude.

Il s'agit du gîte primaire type de la sédimentation de craie phosphatée. En étudiant la phosphatogénèse des gîtes sédimentaires on verra quelles sont les théories actuelles sur les dépôts marins de phosphate.

La gamme des tonnages de ces gîtes est de quelques millions de tonne, la teneur variable de 5 à 20% de P_2O_5 souvent décroissent de bas en haut. Le chiffre de 5 millions de tonnes de réserve ne semble pas avoir été dépassé.

Pour la fabrication d'amendement calcaro-phosphaté on exploite encore les gisements d'Hardivilliers (Oise - 8% de P_2O_5), Beauval (Somme - 12% de P_2O_5), Ribémont sur l'Ancre (Somme - 15% de P_2O_5).

Il s'agit de couches sédimentaires de puissance variable (2 à 15 mètres), reposent sur des craies durcies par l'intermédiaire d'un vernis phosphaté et couvrant d'importantes surfaces. Latéralement les couches disparaissent ou bien la phosphatisation de la craie décroît très vite. La forme de cuvette synclinale est fréquente.

En 1960 - 61 la Compagnie Saint-Gobain a fait une campagne de recherche basée sur un grand nombre de sondages et l'analyse autour des gîtes connus de la Somme dans le but de découvrir une extension de ces derniers. Sans avoir épuisé toute recherche dans ce département, on donna alors le chiffre de 5 millions de tonnes comme borne supérieure des gîtes de craie phosphatée connus.

Les analyses suivantes (in. L.Cayeux 1939) donnent une idée de la compositions des craies phosphatées.

	1	2	3	4	5
SiO ₂	0,45	0,40	0,60	0,20	0,80
Al ₂ O ₃	0,48	0,36	5,40	6,35	0,90
Fe ₂ O ₃	1,10	1,24	1,60	1,95	1,12
CaO	54,00	53,80	48,60	47,80	52,30
MgO	0,18	0,36	0,18	0,25	0,21
P ₂ O ₅	12,10	21,20	21,52	26,20	8,53
Fl	0,79	1,92	2,11	2,90	0,70
Cl	0,10	0,20	0,21	0,15	0,17
CO ₂	29,80	17,80	16,85	10,88	34,95
H ₂ O	1,20	2,80	3,11	3,56	0,55
	100,2	100,14	100,18	100,24	100,27

tricalcique	26,42	46,28	46,98	57,20	18,62
-------------	-------	-------	-------	-------	-------

1	Craie phosphatée de Beauval (Somme)
2 3 4	Craie phosphatée d'Etaves (Aisne)
5	Craie phosphatée pauvre d'Hardivilliers (Oise)

.../....

3) Les chenaux et fosses à phosphate crayeux et sableux.

Les caractères des gisements de ce type sont en tous points intermédiaires entre ceux des précédents. Les explications paléogéographiques et sédimentologiques des dépôts phosphatés montrent que les courants marins chargés en phosphates et montant des fonds sur le talus continental pouvaient rencontrer des conditions physico-chimiques propres à la précipitations de phosphate de chaux. Sans doute dans les chenaux sous marins les conditions se sont trouvées réunies. tout d'abord et une fois remplis les sédiments ont formé des couches plus importantes du type 2.

Ces gisements, encore mal connus, peuvent présenter une épaisseur importante (5 à 15 m); combinés à des dispositions très diverses ils se présentent essentiellement comme le remplissage de fosses de formes variées aux parois de craie durcie avec vernis phosphaté, abrupts ou faiblement inclinés, et surtout de chenaux encaissés de largeur souvent réduite (5 à 20 m) mais la longueur très importante pouvant atteindre la dizaine de kilomètre. De titre des phosphates est moyen (12 à 30% P_2O_5) et décroît de bas en haut.

Alors que les dépôts du type 2 paraissent tous débiter au campanien inférieur (craie à *Actinocamax quadratus*) et persistent parfois au campanien moyen, l'élaboration des phosphates des chenaux a commencé au Santonien supérieur et s'est vraisemblablement terminé au campanien inférieur.

Récemment, d'abord fortuitement, puis après des recherches systématiques, on a découvert dans certaines exploitations sous la craie phosphatée en couche (type 2) des phosphates du type 3 de titre généralement plus élevé.

III - Exploitation

Les contre-coups du plissement alpin et l'érosion qui a affecté le bassin parisien de la fin du crétacé jusqu'au quaternaire ont eu pour effet de faire affleurer et très souvent de détruire certains gîtes primaires. Les agents atmosphériques sur les gisements de type 2 et 3 ont formé des gîtes secondaires du type 1. Ces derniers superficiels et de haute teneur ont été les plus rapidement exploités. Avec leur épuisement l'exploitation s'est tournée vers les gîtes du type 3 (surtout les chenaux de titre assez élevé) et vue leur importance

.../...

faible vers les couches de craie phosphatées (8% de P_2O_5 au minimum).

On évalue la production de phosphates campaniens de 1886 à 1962 à 16 millions de tonnes dont environ la moitié pour les craies phosphatées de teneur faible et moyenne.

IV - Caractéristique de la craie phosphatée

Ce que nous avons écrit aux chapitres "Minéralogie" et "Petrographie" des minerais en général s'applique ici : la craie phosphatée est un minerai formé de pseudo oolithes, vraisemblablement à base de fluorapatite carbonatée, à gangue crayeuse.

Dans L. Cayeux (1939) ont lit :
"On peut dire de toute craie phosphatée qu'elle dérive d'une vase crayeuse normale, additionnée de matériaux phosphatés. De cette addition résulte pour la craie un changement de coloration et de texture. Le plus souvent la roche est teintée en gris; ce qui la fait désigner couramment sous le nom de craie grise, mais elle est fréquemment brunâtre ou brune. C'est en même temps une craie grenue et parfois grossière, de consistance faible, avec une grande aptitude à se désagréger".

Des grains, d'aspect cireux et brun à la binoculaire, ont un diamètre variable (0,15 mm à 1mm et plus), le mineral de base est la fluorapatite carbonatée. Le noyau du pseudo-oolithe est souvent un débris organique (foraminifères). Il y a éventuellement d'autres inclusions. En conséquence les grains contiennent du phosphate de chaux tricalcique et de l'endogangue, cette dernière est essentiellement composé de CO_3Ca , de fluor, du radical OH, de glauconie. Il n'y a malheureusement pas d'analyse précise et systématique de différents minerais lavés de leur gangue et pourtant la connaissance de la teneur des grains en tricalcique et de leur endogangue est une donnée importante pour prévoir les rendements pondéraux lors de l'enrichissement; on se borne trop souvent à l'analyse globale du minerai, voir même à son seul titre en F_2O_5 .

On peut penser néanmoins avec les données actuelles que la teneur en F_2O_5 des grains croît de 20 à 30% de F_2O_5 lorsque celle du minerai croît de 10 à 20%.

Une analyse précise sur une craie à 11,58% de F_2O_5 a donné, après lavage (d. > 74 microns) une teneur de 22,3% de F_2O_5 et de 19% de CO_2 . Une autre sur une craie à 7,08% de F_2O_5 a donné 13,3% de F_2O_5 dans le lavé, ce qui est très faible, et 27% de CO_2 . Sur une craie relativement riche, 18,40% de F_2O_5 , on a trouvé 29,9% de F_2O_5 dans les lavés.

Il semble également que le CO_2 soit environ pour moitié dans le minéral et pour moitié sous forme de CO_3Ca libre. Le taux de Feral du concentré résulte de la présence de glauconie mais il ne semble jamais dépasser 1%, ce qui est favorable.

La gangue, d'une extrême finesse, est en tout point d'aspect équivalent au ciment de la craie blanche ordinaire. Du fond cryptocristallin se détachent quelques minuscules débris de foraminifères. Par exception il arrive qu'elle soit envahie par du phosphate mais sa minéralisation est très rare.

V - Formation des gîtes phosphatés

a) Phosphatogénèse

Ce problème est loin d'être totalement résolu. De lui dépend un certain nombre de clefs utiles aux prospecteurs. La plupart des théories actuelles se sont mises d'accord sur l'hypothèse d'une mise en réserve de l'ion phosphate dans les océans et d'une précipitation massive dans des conditions particulières nettement différente de la sédimentation stérile habituelle.

Vraisemblablement au cours d'une période d'érosion, avec un climat chaud et humide, un relief atténué est un grand développement de la forêt, période dite de biostase, favorable au développement d'importants sols du type latéritique, les roches mères sont décomposées et donnent notamment une phase migratrice. Cette dernière mise en solution dans les eaux souterraines et contenant l'anion phosphorique peut parvenir aux bassins de sédimentation. S'il est immédiatement précipité le phosphate sera sous forme diffuse dans un sédiment stérile habituel. Mais il peut dans certains cas être mis en solution, en réserve dans les profondeurs des océans, et pourra dans certaines conditions précipiter ultérieurement de façon massive. Kazakov (1937) avait déjà expliqué la formation de dépôts phosphatés par l'existence de courants marins ascendant venant des profondeurs marines où le phosphate est plus soluble qu'à faible profondeur.

Par d'autres point de vue, corrélatifs à ce dernier, la minéralisation phosphatée s'écarte de la sédimentation stérile habituelle, résultat d'apports continentaux immédiatement utilisés.

Ainsi on a remarqué que les zones les plus riches en phosphate d'une formation géologique correspondent à des zones de moindre épaisseur de cette formation. D'autre part le passage latéral de la sédimentation phosphatée à la sédimentation stérile de même époque, vers les épaisseurs croissantes par conséquent, est toujours très brusque; il y a en quelque sorte inhibition plus ou moins rapide. Les conditions de dépôts favorables à l'abondance de la sédimentation stérile et celles favorables à la phosphatogénèse semblent s'opposer.

b) Fils conducteurs de la recherche

Les considérations qui précèdent donnent directement des éléments directeurs pour la recherche d'un gisement. Elle est en effet étroitement liée à cette opposition existant entre les modes de dépôts des sédiments stériles et des gîtes de phosphate de chaux. Il faut qu'aient existé simultanément dans le bassin :

- une période favorable à la phosphatogénèse

On peut aborder cette recherche de deux façons; par un critère paléo-océanographique déterminer directement le moment où ont existés les courants de Kazakov; par un critère sédimentologique car la réserve de phosphate des océans n'intervient pas à n'importe quel moment du cycle sédimentaire.

- une région favorable à la phosphatogénèse

C'est la recherche des pièges où les courants marins chargés de phosphate rencontreront les conditions de précipitation. Ce sont en particulier les zones peu profondes du bassin. C'est un problème paléogéographique et sédimentologique.

- une période défavorable à la sédimentation stérile.

C'est vraisemblablement le cas vers la fin d'une longue période biostasiqque.

- une région défavorable à la sédimentation stérile.

Eventuellement en bordure du bassin, en bordure du talus continental et surtout sur les hauts fonds éloignés des côtes. La détermination de ces zones est un problème de paléogéographie qui a besoin pour être résolu, de données précises de stratigraphie, de sédimentologie et de structure.

.../...

Tout cet ensemble de connaissance sur les niveaux phosphatés en France, sur la craie phosphatée du bassin parisien, sur la phosphatogénèse permet raisonnablement d'envisager la découverte dans ce même crétacé supérieur d'un gîte beaucoup plus ample que ceux que l'on connaît actuellement. C'est une des raisons de base qui a poussé la Direction des Mines à poser le problème de la concession des phosphates.

La mer du crétacé contenait en réserve l'ion phosphorique et les dépôts nombreux que l'on connaît, on a vu que leur tonnage était au maximum de 5 millions de tonnes, sont compatibles avec l'existence d'un gisement beaucoup plus vaste, plusieurs dizaines de millions de tonnes, nécessaires pour une exploitation moderne, à ciel ouvert, à bas prix de revient. On peut dire en ce sens que les gîtes actuels sont des indices de phosphatogénèse pendant l'époque de la craie.

La caractéristique essentielle de la recherche de ce gisement est que le problème est placé au niveau géologie générale et s'appuie directement sur la genèse du phosphate telle qu'on la conçoit actuellement.

Ainsi tout ce que nous avons dit dans le chapitre précédent s'applique directement au problème particulier des craies phosphatées.

À la base de cette étude il y a une stratigraphie précise de la craie qui manque actuellement. C'est un travail de longue haleine, basé sur la micropaléontologie, et qui dépasse même le cadre de ce problème. Corrélativement des études de paléogéographie pour déterminer le sens et le trajet de courants marins doivent être entreprises; également des études structurelles, des plissements synclinaux ont pu provoquer de petites cuvettes qui sont des pièges à la précipitation, la diminution de la tranche d'eau étant simultanément une condition nécessaire; enfin des études sédimentologiques pour rechercher des zones de moindre épaisseur et à faible apport détritique continental.

o
o o

Au cours de ces études actuellement absorbées par le BRGM, ou à leur terme, dans l'année ou les années à venir, les géologues pourront indiquer les régions favorables. Alors des campagnes de sondages sanctionneront ces prévisions. Un gisement découvert il restera à l'étudier plus en détail et à procéder à l'échantillonnage statistique avant de passer aux prévisions d'exploitation.

.... /

On peut penser que les études générales ayant lieu en ce moment et qu'il faut poursuivre coûtent et coûteront quelques centaines de milliers de francs par an. Les recherches plus fines, les quadrillages de sondages et d'études de détail ultérieures, les échecs s'élèveront à des sommes plus importantes, imprévisibles et qu'il faudra amortir pendant la période d'exploitation d'un éventuel gisement.

Pensant trouver une méthode spécifique de prospection directe on avait fondé de grands espoirs sur la scintillométrie l'uranium diffus contenu dans le minerai étant radioactif, mais les essais n'ont pas donné les résultats attendus, le moindre recouvrement otant toute efficacité à la méthode. Par contre, le dosage du radon, un des éléments de la filiation radioactive de l'uranium, pourra sans doute être utile dans des études de détail.

Quelle sera la teneur du gisement ? on ne peut évidemment pas répondre. Sans doute la fourchette 5 à 20%, comme la plupart des gîtes connus le montrent, est elle valable. L'hypothèse qu'à de forts tonnages correspond une forte teneur, dans l'échelle des possibilités, n'est pas à rejeter.

Où se trouvera-t-il ? Pour l'instant tout le Sénonien répond à la question. Par la suite les géologues seront peut être amené à restreindre le champ des régions possibles. Par contre l'amélioration de nos connaissances sur la phosphatogénèse en France fera peut-être monter l'intérêt d'autres régions, le crétacé supérieur de l'Aquitaine, voire même d'autres niveaux ? Quelle sera la forme de ce gisement ? son tonnage, sa puissance, sa structure, son recouvrement ? Il serait utopique de répondre. Disons qu'une lentille synclinale, de pendage très faible et d'une dizaine de mètres d'épaisseur, de quarante millions de tonnes de minerai n'est pas incompatible avec les conceptions actuelles.

VII - CONCLUSION

De nombreux niveaux phosphatés existent dans les terrains sédimentaires de France. Un grand nombre de gîtes, de quelques millions de tonnes de réserve ont été, ou sont encore quoiqu'à une échelle artisanale, exploités. Les études géologiques montrent qu'il est concevable de découvrir à moyen terme dans le crétacé supérieur du bassin parisien un vaste gisement à moyenne teneur (5 à 20% de P_2O_5) de craie phosphatée dont la structure permettrait

une exploitation importante à ciel ouvert.

-27

Nous ne tenterons pas de conclure en répondant à la fausse question : "Quelle est la probabilité de trouver un gisement de tel tonnage et telle teneur ? " cette probabilité, plus que suggestive, n'a aucun sens, ni d'échafauder une utopique stratégie d'investissement.

Mais nous pensons que l'intérêt de la découverte et la possibilité de son existence exige que l'on mène les recherches à leur terme.

Pour l'instant, sans se soustraire pour autant aux études de détail, le problème de la recherche est du domaine de la géologie. Par la suite les zones favorables étant circonscrites il sera possible et nécessaire de passer à une prospection plus précise.

3ème Partie

ETUDE DU MARCHE
DES PHOSPHATES NATURELS

Nous allons maintenant essayer de dégager les facteurs influant sur la facilité d'écoulement des phosphates, ainsi que les composants et les tendances du prix des phosphates ; ceci dans le but de placer la craie phosphatée enrichie dans l'échelle des prix et dans l'échelle des qualités. Nous retiendrons ensuite, ces éléments pour déterminer la rentabilité de l'opération exploitation-enrichissement.

Pour cela, nous étudierons successivement la consommation de phosphates et ses tendances, la production de phosphates et ses tendances, et enfin la situation des craies phosphatées enrichies vis-à-vis de cet ensemble d'offre et de demande.

I - ETUDE DE LA CONSOMMATION

Pour aborder cette étude, nous avons dû examiner le marché des engrais qui constitue le principal utilisateur de phosphates naturels. Cependant, pour ne pas surcharger le texte, nous avons reporté les indications sur ce sujet en annexe. Nous nous contenterons ici d'énoncer les principaux résultats de cette étude sommaire et de donner les caractéristiques de la consommation française d'engrais.

1°/ Conclusions sur le marché des engrais phosphatés

- La consommation des engrais phosphatés croît en rythme de 6% par an sur le plan mondial. Il est très probable que ce rythme sera conservé pendant plus de dix ans.
- La production des engrais aura du mal à suivre ce rythme de croissance, mais devra s'y adapter compte tenu des aides gouvernementales en cette matière.
- La structure de la consommation évoluera : part croissante des pays de l'Est et des pays sous-développés pour lesquels les marges d'augmentation possible de consommation sont énormes.

- La structure de la production évoluera dans le même sens. En plus, il y aura développement et création de moyens de transformation aux abords immédiats des grands gisements.
- La consommation se portera vers des produits plus riches et plus élaborés facilitant la tâche des utilisateurs.
- Enfin, la consommation autre que celle destinée aux engrais (phosphore, ...) progressera plus vite que celle des engrais et pourra atteindre 15% à 20% de la consommation mondiale des phosphates naturels.

2°/ Caractéristiques du marché français des engrais

La France est gros producteur d'engrais puisque, en tonnage de phosphates traités, elle vient au 3ème rang mondial derrière les U.S.A. et l'U.R.S.S. . De plus, elle reste importatrice d'engrais élaborés et le restera encore assez longtemps à cause du retard pris par les producteurs d'engrais et de la progression rapide de la consommation (4-5% par an). Ceci s'explique par le fait que les terres françaises sont cultivées depuis très longtemps sans amendement phosphaté notable et qu'elles ont donc une carence en élément phosphore assimilable à laquelle il faut remédier. En fait, la consommation actuelle est loin de la saturation puisque l'on est au niveau de 45,1 kg/ha alors que la Belgique est déjà à 97 kg/ha. Donc, il est vraisemblable de prévoir une progression continue de la consommation d'engrais phosphatés avant d'arriver à une saturation du marché français.

Une autre caractéristique du marché français est que la clientèle paysanne a un sens très aigu de la dépense et donc que le marché est très sensible aux variations de prix. D'autre part, le marché est relativement réfractaire aux produits nouveaux. Cela se traduit par un système de prix qui semble peu justifié : le prix des engrais phosphatés est à peu de choses près déterminé par rapport à celui du super à 18% de P_2O_5 soluble ; un super triple à 54% vaut donc trois fois plus cher que le super 18. Cette pratique favorise les produits riches qui supportent moins de prix de transports. Cette caractéristique du marché explique aussi que les scories Thomas vendues à un prix sensiblement inférieur à celui des engrais phosphatés soient des produits commercialement inattaquables. Cette situation semble devoir se prolonger, car les scories sont des sous-produits dont les sidérurgistes veulent se défaire à tout prix. Il leur suffira de les livrer à un prix légèrement inférieur au barème pratiqué par les producteurs d'engrais. Cette production intérieure de scories semble devoir se stabiliser dans les années à venir, car l'usage de minerais non phosphorés ne permet pas de fournir des scories commercialisables (teneurs faibles et quasi-nulles). Donc, le marché français semble devoir suivre les tendances du marché agricole : extension par la modernisation et la rationalisation des méthodes et des prix.

Nous allons maintenant examiner les conséquences de nos conclusions sur le marché des engrais.

- a) Le rythme de croissance de la demande de phosphates naturels se situera aux environs de 5 à 6% / an. Ceci étant un taux minimum, car les usages chimiques croissant plus vite et la production de scories Thomas semble devoir peu progresser.
- b) Il risque d'y avoir un changement assez sensible du réseau commercial international, d'une part croissance des exportations vers les pays de l'Est, d'autre part transformation sur place. Tout ceci ne fait que poser avec plus d'acuité le problème des approvisionnements français en phosphates naturels.
- c) Importance croissante des facteurs de qualité des phosphates. En effet, l'élaboration d'engrais riches fait appel à des phosphates plus riches au départ. Il y aura donc un besoin de plus en plus pressant de phosphates riches (> 80%). Il y a évidemment plusieurs solutions pour les producteurs de phosphates, mais cela va probablement amener une révolution dans la mentalité des phosphatiers. Il n'y a pas que la teneur qui joue; citons, les principales qualités demandées aux phosphates :

- Faible teneur en Fer et en Aluminium. C'est un facteur très important pour l'élaboration des superphosphates. Des abattements de prix sont appliqués pour les minerais à teneur trop forte en Fer. Al. En effet, cela joue sur la solubilité au citrate du super obtenu.

- Faible teneur en carbonates. Cela joue pour deux raisons essentielles : pour déplacer les carbonates, on consomme de l'acide sulfurique ; la présence de carbonate fait mousser le produit lors de l'attaque sulfurique, ce qui rend la réaction difficile à contrôler.

- La présence de silice et d'argile est aussi un caractère défavorable pour l'élaboration de l'acide phosphorique, car cela rend difficile l'élimination du sulfate de chaux formé.

- L'élément fluor est un consommateur inutile de SO_4H_2 . Il est aussi prohibé pour les phosphates destinés à l'alimentation du bétail.

- Les matières organiques sont un élément stabilisateur des mousses formées par les carbonates. Par ailleurs, elles donnent une coloration gênante pour certains usages chimiques.

- Outre ces qualités chimiques, on exige bien d'autres qualités physiques (telles que porosité, densité, granulométrie...) qui sont en fait fonction de l'utilisation finale des phosphates et qui se ramènent presque toujours à des qualités de réactivité à tel ou tel traitement.

TABLEAU
CONSOMMATIONS de PHOSPHATE NATUREL
en milliers de tonnes P_2O_5

	1951	1956	1961	Taux 61/56	66 prévu	71 prévu	Taux prévu	71/61
Europe de l'Ouest	2180	3068	3687		4467	5097	3,3	
Europe de l'Est	740	890	1925		2992	4075	7,8	
Amérique du Nord		2224	2667		3373	4181	4,6	
Autres		1654	2321		3606	5334		
Total		7836	10600		14438	18687	5,8	
FRANCE	444	730	975		1250	1400		

TABLEAU
CONSOMMATIONS APPARENTES FRANÇAISES
en Tonnes de Phosphates

	1954	1959	1960	1961	1962	54/62
Production	93 984	52 105	44 348	37 268	42 731	
Export.	0	92	80	1 909	129	
Import.	1 413 566	1 643 477	1 700 384	1 768 659	2 032 384	
Consom.	1 509 550	1 695 490	1 744 650	1 804 280	2 049 935	

II - ETUDE DE LA PRODUCTION

Face à l'étude de la consommation, nous abordons maintenant l'analyse de la production de phosphates naturels. Nous commencerons par passer en revue les principaux producteurs actuels. Ensuite, nous tenterons de dégager les tendances de la production et parallèlement nous dirons un mot de la situation économique des producteurs. Enfin, nous examinerons l'évolution des intérêts français dans les phosphates.

A/ PRINCIPAUX PRODUCTEURS

Comme pour la plupart des substances minérales et malgré le caractère très répandu des phosphates naturels, il y a une très forte concentration de la production ; en effet, on distingue quatre grands ensembles de production : Afrique du Nord, U.S.A., Russie, Océanie. En plus de ces quatre "grands" commencent à se développer des exploitations moins importantes (Sénégal, Togo....) bien que représentant une part croissante de la production globale. Il n'en reste pas moins que le champ des recherches est immense et les possibilités de découvertes semblent assez larges.

1/ L'Afrique du Nord

Les trois pays du Maghreb ont des activités très inégales. Le Maroc est de loin le plus important des trois avec une production de l'ordre de 8.000.000 T. en 1961 avec des gisements de teneur assez élevée et des réserves très étendues. La production est en progression constante et étant le plus gros exportateur, il contrôle le marché européen des phosphates. Vient ensuite la Tunisie avec 1.986.000 T. en 1961. Ici, les gisements sont moins riches et la production a du mal à se maintenir au niveau voulu par l'Etat Tunisien face à la concurrence marocaine. Enfin, l'Algérie qui traverse de graves difficultés en ce domaine puisque le gisement du Kouif est pratiquement épuisé et que la relève par l'exploitation du Djebel-Onk ne sera pas assurée dans les délais prévus. Ici aussi les teneurs sont moyennes (65% de tricalcique) et le minerai doit être enrichi.

Au total, ces trois pays mettent sur le marché des phosphates de qualités variables (65 à 75% pour la Tunisie, 70-82% pour le Maroc, 75 et 80% en prévision pour l'Algérie) en quantités très importantes puisque leurs exportations représentent 48% du total mondial en 1961.

Au point de vue financier, les gisements marocains sont exploités par l'Office Chérifien des Phosphates (C. C. P.) appartenant à l'Etat et géré sous son contrôle ; la commercialisation est assurée par l'C. C. P. depuis la fin du Comptoir des phosphates d'Afrique du Nord. Les gisements tunisiens sont exploités par des compagnies à forte participation de l'Etat Tunisien et sous son contrôle :

- Cie des Phosphates et du Chemin de Fer de Gafsa
50% Etat 50% Privé
- Cie Nouvelle des Phosphates du Djebel M'Dilla
100% Etat
- Société STEPHCS
50% Etat Tunisien 50% Privé

En Algérie, la Société des Phosphates de Constantine exploitante du gisement du Kouif est majoritaire dans la Société pour l'exploitation du Djebel-Onk. Cette dernière a le statut de société privée ; elle est soutenue par le gouvernement français, mais son avenir est incertain aussi bien quant à la mise en exploitation que quant aux statuts.

La commercialisation des phosphates algériens et tunisiens est faite par l'Union des Phosphates Africains (U. P. H. A.), Société qui assure, en outre, la distribution des phosphates du Togo. L'U. P. H. A. est contrôlée financièrement par les producteurs participants.

2/ Les U.S.A. (18.850.000 T.)

C'est le pays ^{le} plus gros producteur mondial de phosphates avec ses trois gisements de Floride, des Montagnes Rocheuses et du Tennessee. Ces gisements sont de valeur variable : la Floride est le plus riche et alimente seul l'exportation. Les deux autres assurent uniquement une partie de la consommation intérieure. Là aussi, les réserves sont importantes et la production progresse assez régulièrement. Cependant, en moyenne, les minerais sont moins riches que ceux du Maroc et l'enrichissement est fait à grande échelle depuis déjà assez longtemps.

Au point de vue financier, les gisements sont exploités par de grosses compagnies privées, telles que I. M. C. C., W. R. GRACE, ..., mais la très sévère loi anti-trust empêche toute coalition entre producteurs, même pour les marchés à l'exportation. D'autre part, depuis les découvertes de gisements riches en Afrique Noire, ils tentent de s'assurer des contrôles sur de tels gisements pour s'assurer une garantie d'approvisionnement en minerais riches.

3/ L'U.R.S.S. (8.000.000 T.)

La production est assurée par le seul gisement d'apatite de Kola. Jusqu'à ces derniers temps, il était gros fournisseur de l'Europe de l'Est. Il semble que les exportations soient stoppées et que ce soit une mesure quasi-définitive. Cette situation risque de perturber le marché des phosphates d'autant plus que la production et la commercialisation sont évidemment contrôlées par l'Etat et que cette décision s'inscrit dans la ligne de l'effort général sur les produits agricoles.

4/ Les Iles (Makatea, Nauru, Christmas...)(Océanie, Océan Indien)

Ici, nous rencontrons des gisements à forte teneur, mais dont les réserves sont assez faibles (5 à 10 ans). Ils alimentent l'Australie, la Nouvelle-Zélande et une partie de l'Extrême-Orient. Dans ces conditions, il y aura encore apparition d'une demande supplémentaire importante de phosphates qui risque de perturber à nouveau le marché mondial.

5/ Divers

Parmi les autres producteurs, signalons le Togo (gisement récemment découvert et mis en exploitation) produisant des phosphates à forte teneur (80-82%), le Sénégal dont le démarrage est difficile, mais qui assurera une production à forts titres (80%). D'autre part, il faut signaler une prolifération de petits producteurs tels que Egypte, Jordanie, Israël... les exploitations sont assez peu étendues et économiquement peu rentables, mais elles assurent un emploi local.

Du point de vue financier, le Togo est une compagnie privée à majorité française, mais dans laquelle la société américaine WR GRACE possède 12% des actions. Cette participation peut aller jusqu'à 42%. Le Sénégal a connu des difficultés qui ont permis à la compagnie américaine IMCC de prendre une option pour la majorité en 1965.

En conclusion de ce rapide examen des producteurs deux constatations s'imposent : importance du Maroc dans les exportations de phosphate ; importance des Américains sur ce marché et tendance au **monopole** à deux têtes Américains-Marocains.

B/ TENDANCES ACTUELLES DE LA PRODUCTION

Comme nous l'avons dit dans l'étude de la consommation, on utilise de plus en plus des phosphates naturels riches de teneur variant de 75% à 87%. La production s'est adaptée de deux façons : tout d'abord, recherche et découverte de gisements riches (Maroc, Togo). Cette solution est évidemment très profitable aux producteurs, mais il semble que les réserves en produits riches soient assez restreintes et soient insuffisantes pour permettre de répondre de cette façon à la demande sans cesse accrue au moins dans les teneurs supérieures à 80%. Un deuxième mode d'adaptation est le perfectionnement des techniques d'enrichissement. Actuellement, il est parfaitement possible d'enrichir des phosphates de 65% à 75% et plus. Il est probable que dans peu de temps, la majorité des phosphates seront vendus à des teneurs supérieures à 75%. Déjà maintenant, les divers producteurs ressentent ce besoin : les tunisiens enrichissent une partie de leur production à 75% ; les marocains ne livrent que peu de phosphates à des teneurs inférieures à 75%. Les phosphates du Djebel-Onk seront commercialisés à 75% au moins et probablement à 80%.

Parmi les tendances, il nous faut citer aussi la prolifération de petits producteurs qui ne jouent pas un grand rôle sur le marché mondial, mais qui sont bien une confirmation de l'intérêt que tous portent aux sources d'approvisionnement en phosphates.

Evidemment, il faut mentionner la progression de la production mondiale de phosphates. Elle se poursuit à un rythme assez constant, mais elle ne semble pas pouvoir suivre facilement les progrès de la consommation. Il est probable que des découvertes importantes se feront encore dans les années à venir ; il est certain que les réserves mondiales sont très importantes, mais il n'est pas évident que les rythmes de mise en exploitation seront suffisamment rapides. D'autant plus qu'il faut prévoir plusieurs à-coup sensibles, le premier déjà ressenti est la réduction massive des exportations russes, le deuxième pourrait être la chute de production des fles d'Océanie dont les réserves sont faibles.

Enfin, un dernier facteur de cette évolution semble devoir être la faible rentabilité actuelle des exploitations existantes, quelques cas exceptés, bien entendu.

En effet, un certain nombre de producteurs produiront, coûte que coûte, car cela représente pour eux une source d'emplois non remplaçable. La Tunisie en est l'exemple type. Il est hautement probable que l'exploitation actuelle en Tunisie est très peu bénéficiaire sinon déficitaire. Or, leurs prix de revient ont peu de chance de baisser sérieusement ; on peut donc supposer qu'ils feront tout pour éviter une baisse du cours mondial.

D'autre part, les exploitations américaines considérées seules ne semblent pas non plus être très largement bénéficiaires, tout au moins pour la partie destinée à l'exportation, et, de ce côté non plus, il n'y a pas risque de voir une tendance sérieuse à la baisse.

Reste enfin le cas du Maroc. Il est certain que la situation de l'O.C.P. est particulièrement florissant, même si ses bénéfices (versés au Trésor marocain) diminuent par le jeu de taxes, elles aussi versées à l'Etat. Le Gouvernement marocain n'accepterait donc une baisse des prix que si elle était absolument nécessaire sur le plan commercial.

En conclusion, il semble que les exploitations ne réalisent pas de marges suffisantes actuellement pour vouloir provoquer une baisse des prix, à l'exception du Maroc qui a des raisons budgétaires de suivre la même politique. D'autre part, les prix actuels assurent juste la rentabilité de gisements à 65-70% et les réserves connues à des teneurs supérieures ne sont pas très importantes (les chiffres avancés sont compris entre 20 et 50 ans). Il est donc peu probable de voir une surproduction importante au niveau actuel des prix et la tendance serait plutôt d'une élévation de prix permettant un accroissement plus rapide de la production.

C/ DEGRADATION DES INTERETS FRANCAIS

A la fin de la dernière guerre mondiale, la France avait une situation phosphatière enviable : droit de regard et pratiquement contrôle sur les phosphates d'Afrique du Nord ; il ne se posait donc pas de problème d'approvisionnement pour le marché intérieur. De plus, on avait créé en 1942 le comptoir des phosphates d'Afrique du Nord (C.P.A.N.), organisme de vente destiné à écouler la production des trois participants nord-africains en essayant de tempérer les inégalités de qualité de leur minerai. Ce comptoir,

avait donc une position assez forte en face des autres exportateurs et il avait contenu les attaques commerciales des U.S.A. . Puis, la France accorda l'autonomie complète au Maroc et à la Tunisie et abandonna donc une grande part de ses prérogatives sur le contrôle des phosphates ; toutefois, le comptoir subsistait et assurait ainsi une certaine garantie à nos approvisionnements. De nouvelles découvertes renforcèrent un peu notre position (Togo, Sénégal) déjà sérieusement ébranlée par les prises de position des gouvernements marocains et tunisiens.

Mais, lors du renouvellement de la convention du Comptoir, les marocains prétendirent à des réformes de statut que ses partenaires ne voulurent pas accepter. Il y eut donc dissolution du Comptoir ; les marocains se retirant seuls, les autres avec les deux nouveaux producteurs (Sénégal, Togo) fondèrent l'Union phosphatière Africaine chargée de la commercialisation de leurs produits (1960). L'U.P.H.A. avait les mêmes caractéristiques que le Comptoir, mais disposait d'un potentiel beaucoup plus restreint.

Par la suite, la compagnie sénégalaise des phosphates de Taïba qui connaissait de graves ennuis financiers dut traiter avec la Compagnie américaine I.M.C.C. qui se chargea de la commercialisation des produits. I.M.C.C. prenait une option pour la majorité dans le capital de la C.S.P.T. , pour 1965. D'autre part, actuellement la Compagnie Togolaise des Mines du Bénin est menacée d'une prise de participation très importante de la Compagnie américaine WR GRACE. Dans ces conditions, l'approvisionnement de la France en phosphates peut rapidement devenir très précaire puisque les garanties réelles sont pratiquement inexistantes : de tout le système de protection, il ne reste plus que l'U.P.H.A. dont l'avenir n'est pas sans nuages.

On se trouve donc dans la situation suivante : les producteurs français d'engrais se trouvent en face de deux énormes exportateurs (Maroc, U.S.A.) sans aucune possibilité de discussion. Il est évident que la production française éventuelle ne supprimerait pas cette situation, mais elle donnerait un peu plus de poids dans la discussion et cette importance est très ressentie par tous ceux qui développent des productions intérieures autonomes.

PRODUCTIONS

Production en 1000 T	1959	1960	1961
U.S.A.	16 124	17 997	18 857
U.R.S.S.	6 350	6 929	8 047
Maroc	7 163	7 472	7 950
Algérie	572	563	426
Tunisie	2 185	2 096	1 981
Sénégal	96	214	204
Togo	-	-	282
"Iles"	2 405	2 615	2 684
TOTAL	38 498	41 526	44 473

EXPORTATIONS

(en 1000 T de phosphates)

Pays Exportateur	56	61	%
U.R.S.S.	1 124	2 054	10,3
Algérie	579	381	1,9
Tunisie	1 788	1 692	8,4
Maroc	5 560	7 623	37,8
Togo	-	57	0,3
Sénégal	-	410	2,0
U.S.A.	2 928	4 181	20,7
"Iles"	2 265	2 618	13,5
TOTAL	14 952	20 200	

EXPORTATIONS vers l'EUROPE de l'CUEST

Exportateur	1956	1961	%
Maroc	4 770	6 172	60,4
Tunisie	1 592	1 102	10,3
Algérie	476	366	3,2
Sénégal	0	318	2,8
Togo	0	29	
U.S.A.	903	1 633	15,5
U.R.S.S.	409	640	6
Océanie	109	206	1,8
TOTAL	8 259	10 466	

APPROVISIONNEMENT de la FRANCE en PHOSPHATES

Provenance	1960	1961	1962	Valeurs en milliards F.
Algérie	154 824	83 689	147 494	8,315
Maroc	1 057 892	1 082 497	1 229 807	90,276
Tunisie	374 548	450 427	506 611	28,929
Sénégal	111 534	150 735	100 521	8,616
Togo	-	-	22 970	1,931
U.S.A.			21 883	1,500
TOTAL	1 698 798	1 867 348	2 029 286	139,577

III - ESSAI DE SYNTHÈSE. LE PRIX DES PHOSPHATES

Nous rappellerons, d'abord, brièvement les conclusions de l'étude de l'offre et de la demande de phosphates. Nous étudierons ensuite le mécanisme de formation des prix et les divers éléments de ces prix ; nous essaierons de dégager les tendances en matière de prix. Enfin, nous nous efforcerons de situer les craies phosphatées dans les phosphates commerciaux.

A/ Rappel

1°/ L'étude de la demande des phosphates nous a conduit aux conclusions suivantes :

1. Demande globale croissant de 5 à 6% par an en P_2O_5 .
2. Importance croissante des pays de l'Est et des continents actuellement en retard au point de vue de la consommation.
3. Tendances accrues à l'implantation d'usines de transformation à proximité des gisements.
4. Demande croissante de phosphates riches.
5. Importance de la qualité des phosphates.

2°/ L'étude de l'offre nous a conduit aux conclusions suivantes :

1. Accroissement de la production au rythme de 6 % par an qui ne semble pas pouvoir être dépassé facilement.
2. Mise en exploitation de petits gisements nationaux protégés.
3. Découvertes et recherches de gisements riches, mais dont les réserves semblent relativement faibles (20 à 50 ans).
4. Développement du traitement des minerais pour l'enrichissement et l'amélioration des qualités de ces minerais.
5. Pour les prix actuels, la rente des producteurs est assez faible sauf pour le Maroc.
6. L'approvisionnement de la France qui ne posait pas de problème, il y a 20 ans, est devenu largement soumis aux aléas politiques.

B/ Eléments du prix des phosphates

Nous examinerons le prix des phosphates arrivant dans une usine d'engrais française située dans un port, puisque ce sont celles-là qui servent de référence pour le marché des engrais. Nous prendrons Rouen ou Dunkerque comme ports de référence.

Ce prix comprend donc deux parties essentielles : le prix départ du minerai et le prix du fret comprenant chargement, frêt, déchargement. Le système de prix départ actuellement pratiqué est tel que, à l'arrivée, les prix soient sensiblement égaux quelle que soit l'origine du minerai (à qualité égale bien entendu). Nous pourrions donc prendre le prix départ Casablanca correspondant à la majorité des phosphates importés. Le frêt sera Casa-Rouen ou Casa-Dunkerque qui ont les mêmes tarifs.

1°/ Le prix départ Casa.

Il est évidemment fonction de la qualité du minerai et essentiellement de la teneur en tricalcique ; de 38,5 F/T pour un 65% le prix passe à 71 F pour un 80-82% : ce qui montre l'actuelle prime aux phosphates riches. Les autres qualités (calciné, lavé, teneurs à impuretés gênantes) sont souvent fonction de l'usage final et les abattements sont donc le plus souvent directement discutés entre producteur et utilisateur.

2°/ Le prix frêt

Les frêts au départ de Casa sont actuellement aux environs de 21 F/T. Ils comprennent toutes les charges dont nous avons parlé. Ils sont donc très importants vis-à-vis des prix départs. Ils sont, d'autre part, assez variables suivant la distance, les lieux de départ et d'arrivée, les tonnages transportés... Nous avons pris un frêt Casa-Dunkerque en cargos de 10.000 T en 1963. Or, actuellement, il sévit une crise dans les transports maritimes qui amènent les cours à un niveau anormalement bas. Il faut donc tenir compte d'une éventuelle augmentation des frêts qui peut atteindre 30% du prix actuel. Evidemment, dans l'avenir, le progrès des navires de transports peut faire légèrement décroître le niveau moyen des cours. Nous prendrons comme niveau probable le cours de 22 F/T.

Teneurs P ₂ C ₅		Prix départ /T	Prix départ /T P ₂ C ₅	Prix frêt /T P ₂ C ₅	Prix total /T minerai	Prix total /T P ₂ C ₅	en F.
65	30	38,5	126	73	60,5	199	
70	32,5	48,5	149	68	70,5	217	
75	35	57	163	63	79	226	
82	38,5	71	185	57	93	242	

C/ Evolution du Marché des Phosphates

Il semble que le marché doit évoluer de plus en plus au profit des vendeurs ; en effet, la consommation croît à un rythme rapide et la production ne semble pas pouvoir suivre cette évolution très facilement. Un fait actuel illustre particulièrement ce cas : l'U.R.S.S. à la suite des difficultés rencontrées dans la réalisation de son plan agricole a décidé de bloquer les exportations ; il en résulte immédiatement une tension sur le marché des phosphates telle que les grands exportateurs ne peuvent plus fournir la totalité des demandes. Cette situation montre bien la précarité de l'équilibre actuel, et compte tenu des besoins impérieux de l'agriculture et de la lenteur d'adaptation de la production, les vendeurs semblent bien devoir conserver et affermir leur position privilégiée. Une baisse des prix des phosphates semble donc peu probable. Cependant, en se référant au passé, il semble que le prix départ du 75% doive rester dans la fourchette (50 F, 70 F) avec une valeur probable un peu supérieure aux 57 F actuels. D'autre part, le prix du frêt a de fortes chances de monter légèrement au-dessus du niveau actuel tout en restant compris dans la fourchette (18 F, 25 F). Pour qu'il y ait de grosses perturbations sur les prix rendus, il faudrait soit une lutte commerciale intense des U.S.A. et du Maroc ou une perturbation du marché des frêts. Cependant, la demande accrue des phosphates riches provoquera peut-être une distorsion dans la courbe (prix-teneurs) au profit des fortes teneurs, l'équilibre devant être atteint assez rapidement par la mise au point des procédés d'enrichissement. Du côté des minerais pauvres, on peut, par contre, assister à une légère dépression, faute de débouchés. En matière de qualités, il est difficile de se faire une idée des tendances recherchées, car elles diffèrent souvent des produits. Il faut signaler, cependant, que les techniques d'enrichissement semblent actuellement détériorer légèrement les qualités de réactivité des phosphates.

En résumant tout ceci rapidement, voici quelles sont les tendances probables du marché :

- prix départ Casa : en légère hausse pendant une dizaine d'années.
- prix du frêt Casa-Rouen : en légère hausse aussi avec possibilité de baisse technique à long terme.
- teneurs demandées : en hausse constante. Produits par gisements riches et de plus en plus par enrichissement. Possibilité de surprime pour les fortes teneurs (> 80%).
- qualités liées au développement des différents produits dérivés. (L'acide phosphorique semble devoir croître très rapidement).

D/ Position de la craie phosphatée

Essayons de situer la craie phosphatée enrichie dans l'échelle des minerais commerciaux actuels. Nous nous bornerons au facteur de qualité, les questions de prix de revient étant traités dans le chapitre suivant.

1°/ Avantage de situation

En supposant une production de 100.000 T P_2O_5 , on couvre ainsi les besoins totaux en P_2O_5 (scories exceptés) des départements du Nord, Pas-de-Calais, Somme et Aisne. Il faut donc compter évidemment le prix du frêt, mais en plus, il faudrait tenir compte des frais de transport intérieur sur les engrais qui seront ainsi économisés. Cependant, il nous faut signaler alors un autre phénomène : les phosphates partis de Casa bénéficient de conditions de frêt légèrement plus avantageuses pour la livraison à Rotterdam, notamment (retour assuré, frais de déchargement, ...) qui permettent aux producteurs hollandais de venir concurrencer les engrais français dans la partie Nord de la France en bénéficiant des faibles prix de transport par voie fluviale. Il faut remarquer que les conditions de prix des hollandais semblent plus favorables en France qu'en Hollande.... Donc, cet avantage de situation théorique peut être compensé par la concurrence hollandaise, mais il semble de nature à permettre une lutte efficace contre ces importations que les producteurs français d'engrais ne semblent pas en mesure de combattre efficacement.

Cependant, nous donnerons un extrait de tarifs SNCF appliqués aux superphosphates pour fixer les ordres de grandeur de ces coûts de transport,

pour	0-25 km	de	7,44	à	19,25	/T	suivant le tonnage (20t à 5t)
	50-52 km	de	9,02	à	23,33	/T	
	74-76 km	de	10,48	à	27,10	/T	
	98-100 km	de	11,94	à	30,86	/T	
	196-200 km	de	16,07	à	41,56	/T	
	391-400 km	de	23,90	à	61,78	/T	

2°/ Facteurs de qualité

Ces facteurs sont essentiellement la teneur en Fer Al, en matières organiques, en CO_3^{--} et en fluor du concentré obtenu.

Pour le Fer Al, la teneur finale sera faible, en effet la plus grande partie sera éliminée dans les opérations de traitement, car il y a peu de Fer Al inclus dans les grains phosphatés.

Les matières organiques et les carbonates seront éliminés en quasi totalité lors de la calcination. Les carbonates résiduels ne seront pas en quantité supérieure à quelques pour cents et ceci ne fera subir aucune décote vis-à-vis des minerais marocains.

La teneur en fluor est faible et reste dans les limites acceptées par les fabricants d'engrais.

Il reste le problème de la réactivité du concentré. Celle-ci risque d'être influencée par l'opération de calcination, mais sur ce point, les opinions sont partagées. En effet, le minerai israélien qui subit un traitement analogue ne fait l'objet d'aucune moins value pour sa réactivité ; de plus, il y aura vraisemblablement une usine d'engrais spéciale pour traiter ce minerai et, dans ces conditions, il pourra y avoir des adaptations particulières compensant une perte de réactivité hypothétique.

En conclusion, il semble bien que la commercialisation de ce concentré sera relativement aisée et que les décotes sont peu probables.

- 4ème Partie -

PREPARATION DES MINERAIS DE PHOSPHATE DE CALCIUM

A/ IMPORTANCE du TRAITEMENT et HISTORIQUE

Notre but est d'étudier la possibilité de voir dans quelques années dans le bassin parisien une grande carrière de craie phosphatée, de quelques millions de tonnes de production d'un brut à basse teneur (5 à 20% de P_2O_5).

Encore que l'on vende environ 50.000 T de craie et sable phosphatés à basse et moyenne teneur dans notre pays comme production nationale et ceci après un traitement rapide (donnant des amendements phosphatés et calcaro-phosphatés), il est indéniable que notre carrière doit viser la clientèle des usines d'engrais. Celles-ci importent des bruts étrangers de 65% à 82% de tricalcique et il est nécessaire d'étudier le problème de l'enrichissement des craies phosphatées.

Ce problème est entièrement nouveau et n'est donc pas entièrement résolu. Cependant, depuis les premières études sur "la concessibilité des phosphates", certains essais ont été effectués, en particulier au Centre d'Etudes et de Recherches des Phosphates Minéraux (CERPHOS).

Nous verrons par la suite que l'on sait maintenant enrichir par calcination et lavage une craie phosphatée très pauvre (8% de P_2O_5) jusqu'à une teneur de 76% de tricalcique, ce qui la rend compétitive sur le marché, du moins sur le plan analyse chimique (il reste à connaître son prix de revient, son prix de vente possible et sa réactivité vis-à-vis des attaques acides dans la fabrication des engrais).

La nécessité de faire subir aux phosphates naturels un traitement (amélioration du titre et élimination des substances indésirables) découle de deux facteurs indépendants, mais agissant dans ce même sens :

- Les produits bruts doivent souvent être transportés sur des distances considérables entre la mine et l'usine de transformation chimique (fabrication d'engrais pour la plus grande partie des tonnages). L'économie de transport, par le rejet près de la mine d'une partie des stériles, peut être suffisante dans certains cas pour justifier à elle seule un traitement.

- Les exigences de la clientèle. En effet, l'industrie des engrais, depuis une vingtaine d'années, s'oriente vers des produits de plus en plus concentrés (par exemple, le super 14 disparaît au profit du super 16 et celui-ci tend à céder la place au super 18). Cette tendance des usines d'engrais à demander les matières premières phosphatées de titre croissant constitue un des facteurs essentiels du marché des phosphates. Parallèlement, les clients exigent des teneurs maxima également garanties pour d'autres substances indésirables ou nuisibles comme l'eau, les oxydes de fer et d'aluminium et les matières organiques, ainsi que certaines caractéristiques granulométriques.

Les considérations qui précèdent font ressortir l'importance du traitement des minerais de phosphates de chaux et s'appliquent à la craie phosphatée.

o
o o

Il y a trente ans seulement, la plupart des minerais était vendue presque à l'état de tout venant. Les premières exploitations d'Afrique du Nord disposant de brut relativement riche (57 à 75% de tricalcique, soit une teneur commerciale) se contentaient d'effectuer un triage sommaire à la mine suivi d'un traitement réduit aux opérations de broyage, criblage et séchage.

Le séchage, opération essentielle de cette préparation réduite à l'extrême, s'effectuait par exposition sur de grandes aires ou en fours tournants.

Le criblage s'effectuait sur minerai humide ou sur minerai sec, les produits plus gros que certaines mailles, variables bien entendu avec les gisements, pouvant être considérés définitivement ou provisoirement comme stériles.

Puis, différents facteurs amenèrent les exploitants d'Afrique du Nord à installer de véritables usines d'enrichissement par élimination des parties fines (grains de dimensions inférieures à 0,1 mm renfermant surtout des argiles), d'abord par dépoussiérage puis par voie humide, mise en pulpe et cyclonage.

Enfin, ces quinze dernières années, les techniques progressèrent très vite et la panoplie de l'enrichissement est désormais très vaste et en continuelle évolution.

Nous allons examiner successivement les diverses méthodes et nous verrons à chaque fois leurs éventuelles applications pour l'enrichissement des craies phosphatées. Puis, nous ferons une synthèse des essais effectués et des techniques envisagées.

B/ METHODES DE TRAITEMENT

I - CLASSEMENT GRANULOMETRIQUE

C'est le traitement le plus utilisé encore actuellement. On se rappelle que la craie phosphatée est constituée de grains ou pseudo-oolithes de dimensions comprises entre 0,15 et 1 mm durs et mêmes abrasifs qui sont les éléments phosphatés (constitués principalement de fluorapatite carbonatée) noyés dans une exogangue crayeuse. L'ensemble formant une roche de consistance faible. La gangue étant considérée comme stérile (dans certains cas, elle a subi un début de phosphatisation, mais sans intérêt), la première opération consisterait théoriquement à séparer les grains de la craie et à continuer le traitement sur les pseudo-oolithes.

Voyons d'abord quelles sont les différentes catégories de classement granulométrique.

a) Criblage grossier (20-50 mm)

Le minerai tout venant ou après un concassage subit un criblage grossier destiné à éliminer des rognons de silex ou des blocs de marne ou de calcaire de la couche ou du toit.

Un exemple de cette méthode de traitement se trouve à Khouribga (Maroc) où l'ensemble de la production, soit environ 20.000 tonnes par jour, passe sur des cribles vibrants avec des mailles de 15 x 50 mm.

Des méthodes d'abattage à haute productivité et peu sélectives dans l'exploitation à ciel ouvert (et a fortiori souterraine) pourront éventuellement amener le brut de craie phosphatée à passer en début de cycle dans un appareil de ce type.

b) Criblage moyen (4-6 mm)

Ce criblage élimine des portions relativement pauvres et considérées soit comme stériles, soit comme des produits à retraiter par la suite. Il existe différentes méthodes :

- criblage à sec sur crible vibrant (Louis Gentil)
- criblage humide sur crible vibrant (M'Dilla)
- grilles courbes (Metlaoui)

Cette technique ne semble pas s'adapter à la craie phosphatée.

c) Dépoussiérage

Dans les pays arides, ce procédé est très utilisé. Les progrès technologiques du broyage sélectif (broyeur à chocs et à chute libre) et de la sélection pneumatique doit permettre de nouvelles applications. Encore qu'aucun essai bien encourageant sur la craie phosphatée n'ait eu lieu (difficultés au broyage) c'est une méthode à retenir car elle a l'avantage de donner du calcaire directement utilisable sans traitement.

Ainsi, en Algérie et en Tunisie, après un broyage plus ou moins fin, on élimine les particules inférieures à 100 microns environ, qui correspondent essentiellement à des argiles, à l'aide de sélecteurs pneumatiques à jalousies (sélecteur Raynaud aux mines du Kouif, Algérie), ou à plateau distributeur et courant d'air ascendant (Mines de Redeyeff et Moulares, Tunisie).

d) Déschlammage

On effectue cette opération en hydrocyclône avec une coupure au voisinage de 50 microns. Les applications industrielles sont nombreuses et importantes. Ce sera vraisemblablement un élément du traitement des craies phosphatées.

En général, après débouillage du minerai, en patouillet ou en trommel, la pulpe ainsi obtenue est traitée en deux ou trois étages de cyclones éliminant les particules inférieures à 40 ou 50 microns, essentiellement composés d'argiles dans la plupart des minerais actuels mais contenant surtout de la craie dans le cas du minerai du bassin parisien.

Ainsi à Kpème (Togo), il existe une installation de 200 tonnes/heure et à Sidi Daoui (Maroc) une autre de 150 tonnes/heure.

II - TRAITEMENT GRAVIMÉTRIQUE

La densité des grains phosphatés étant comprise entre 2,8 et 3,2, on peut envisager une concentration gravimétrique. Un certain nombre d'essais de laboratoire a eu lieu et les résultats sont encourageants. Cependant, aucune installation industrielle n'a encore utilisé ces méthodes.

Mais on peut prévoir que les progrès en ce domaine, qui sont rapides, vont permettre dans un proche avenir, de réaliser des laveries utilisant ce procédé, et en particulier, les traitements en milieu dense (statique et en cyclône), les lavodune ou lavoflux et les tables à air pour le traitement à sec.

Il y a là encore un procédé futur envisageable pour séparer les pseudo-oolithes des craies phosphatées du bassin parisien et la gangue crayeuse, certainement plus économique que le cyclonage.

III - FLOTTATION

La plus grande partie des phosphates de chaux bruts dans le monde est traitée par flottation.

Nous donnons quelques installations les plus importantes :

- Kola (Russie). On obtient un concentré à 85% de tricalcique avec un rendement P_2O_5 de 95%
- Floride. On passe de 65% à 76% de tricalcique
- Taïba (Sénégal). Concentré à 82%.

Mais toutes ces installations industrielles ne traitent que du minerai à gangue siliceuse - la flottation séparant donc les éléments phosphatés et la silice ou les silicates après broyage.

Malgré un certain nombre d'essais au laboratoire, encourageants mais non concluants, le problème de l'enrichissement par flottation des minerais à gangue carbonatée n'a pas reçu de solution applicable industriellement. C'est un sujet d'étude important.

IV - TRAITEMENT ELECTROSTATIQUE

De nombreux essais ont été effectués pour mettre au point la séparation des phosphates et de la silice par les procédés électrostatiques. Il existe aux U.S.A. différentes usines-pilotes utilisant des procédés divers qui devraient donner lieu à la réalisation d'installations industrielles à grand débit.

La séparation des phosphates et des carbonates par effet électrostatique est beaucoup plus difficile, car ils réagissent à peu près de façon similaire, au moins dans les procédés classiques d'électrisation. Il semble toutefois que le procédé Le Baron-Lawver devraient permettre une séparation.

C'est néanmoins un sujet d'étude et éventuellement une méthode d'avenir, même pour les craies phosphatées car, nous le répétons, les progrès et l'évolution dans le domaine de l'enrichissement laissent beaucoup de portes ouvertes pour les dix ans à venir.

V - TRAITEMENT ELECTROMAGNETIQUE

Les usines d'engrais n'acceptent pas un taux de "Feral" supérieur à 2 à 2,5%, il existe à (Togo) des séparateurs magnétiques à haute intensité qui éliminent la plus grande partie des oxydes de fer. Ce traitement ne semble pas nécessaire aux craies phosphatées.

VI - CALCINATION

Tous les procédés que nous venons de passer en revue sont les procédés physiques qui séparent les éléments phosphatés, où se trouvent la majeure partie de l'apatite, de l'exogangue. Ils sont applicables à tous les minerais de phosphates souvent conjointement, mais ne peuvent donner des concentrés à des teneurs supérieures à celles des éléments phosphatés, en particulier des pseudo-oolithes.

Lorsque ces grains contiennent une endogangue, on ne peut parfois obtenir un enrichissement suffisant que par une transformation chimique de ces grains. C'est le cas des craies phosphatées puisque d'une part, dans le mineral apatite un ion PO_4 se substitue souvent à un ion CO_3 donnant ainsi de l'apatite carbonaté, et que d'autre part, les inclusions de CO_3 Ca sont fréquentes.

Le principe de la technique est une calcination du minerai préalablement enrichi par une méthode physique, calcination où l'anhydride carbonique se dégage en libérant de la chaux que l'on élimine par un procédé également physique (encore qu'une attaque chimique soit envisageable).

Nous allons faire le point rapidement sur la calcination en tant que procédé général d'enrichissement et nous reviendrons dans un chapitre suivant sur son application pratique prévue pour les craies phosphatées.

La calcination a d'abord été utilisée sur une échelle importante pour éliminer les matières organiques qui sont gênantes pour les attaques acides ultérieures dans les usines d'engrais. Cette opération provoque, bien entendu, un enrichissement du fait de la destruction des matières organiques et du départ d'une grande partie de l'anhydride carbonique contenu, mais le but essentiel est une épuration des matières organiques en tant qu'éléments nuisibles.

Pour les minerais à grains pauvres, le but recherché est essentiellement l'enrichissement par l'élimination aussi complète du CO_2 à laquelle succède l'élimination de la chaux formée.

La séparation de la chaux formée peut se faire selon différents procédés : sélection pneumatique du minerai calciné broyé ou non, cyclonage par voie humide, voire même par des solvants chimiques.

L'opération de calcination s'effectue à une température variable entre 800° et 900° et dans deux sortes d'appareils :

- fours tournants classiques
- fours à fluidiser.

Citons deux applications industrielles :

- 1/ Au M'Dilla (Tunisie) avec lavage de la chaux par hydrocyclonage à trois étages
- 2/ A Négev (Israël) avec un procédé original éliminant la chaux par décantation d'une pulpe diluée renfermant le minerai calciné portée à ébullition pendant une vingtaine de minutes.

VII - OPERATIONS ANNEXES

Bien entendu, les minerais de phosphate subissent un grand nombre d'opérations annexes communes à tous les minerais :

- concassage, broyage, criblage
- égouttage et séchage puisque les acheteurs exigent une humidité maximum à 1,5%.

L'égouttage est obtenu par filtration et essorage . Le séchage est réalisé presque toujours en four tournant, mais on étudie la possibilité de le remplacer par des fours à fluidiser.

C/ TRAITEMENT DE LA CRAIE PHOSPHATEE

I - PRINCIPE

Le principe général de l'enrichissement des craies phosphatées est de concentrer les éléments phosphatés, c'est-à-dire les grains au dépens de l'exogangue en séparant ces deux parties le plus complètement possible, puis de calciner les produits enrichis obtenus et d'éliminer la chaux restante par un procédé variable.

Les projets pratiques que les techniciens compétents du problème peuvent faire reposer sur plusieurs types de connaissance :

- l'expérience dans le traitement des minerais carbonatés en général, mais ceux-ci dépassent presque toujours 25% de P_2O_5 dans le brut alors que nous raisonnons sur une craie titrant 5 à 20% de P_2O_5 .
- les progrès et l'évolution de la technique de l'enrichissement en général.
- les données minérologiques et pétrographiques du minerai, mais là encore, ces données sont imparfaitement connues, des études importantes sont en cours qui permettront de mieux voir la place initiale et l'évolution au cours du traitement des différents éléments atomiques.
- des essais effectués au laboratoire et à l'échelle semi-industrielle.

Le résultat est que l'on sait maintenant passer d'une craie à 8% de P_2O_5 à un concentré à 76% de tricalcique. Des améliorations technologiques nombreuses sont encore indispensables pour accéder au stade industriel à gros débit, mais il est certain que techniquement une telle installation est envisageable à court terme.

II - ESSAIS SEMI-INDUSTRIELS

En 1961, le CERPHOS a effectué des essais d'enrichissement sur un échantillon de dix tonnes de craie phosphatée pauvre. Ces essais, en nombre insuffisant, ont néanmoins mis un certain nombre de problèmes en évidence. Il en a été conduit en écartant toute considération de prix de revient.

L'analyse du brut initial, particulièrement pauvre, était le suivant :

P_2O_5	=	7,95	soit 17,35 de tricalcique
CaO	=	55,20	soit $CaO/P_2O_5 = 6,94$
CO_2	=	34,75	
SiO_2	=	1,00	

Après un premier lavage en hydrocyclône, on obtenait :

P_2O_5	=	14,55	soit 31,75 % de tricalcique
CaO	=	55,10	soit $CaO/P_2O_5 = 3,787$
CO_2	=	27,75	
SiO_2	=	1,05	

avec un rendement pondéral de 47,55% et un rendement P_2O_5 de 87% ; on a éliminé 38% du CO_2 .

Sur ce minerai ainsi lavé, il fut effectué plusieurs essais de calcination au four tournant et de sérieuses difficultés technologiques apparurent ; le brossage des grains se faisait mal, il y avait collage et agglomération et la décarbonatation était fort incomplète. On peut donc obligé, après un premier passage au four, de laver le produit en hydrocyclône pour en extraire la chaux et de faire subir une deuxième calcination à ce calciné-lavé.

Le bilan de ces diverses opérations est le suivant :

	<u>tricalcique</u>	<u>CaO</u>	<u>CaO/P₂O₅</u>	<u>Poids</u>
Brut	17,35	55,20	6,944	100
Lavé	31,75	55,10	3,787	46,85
Calciné	41,70	59,55	3,094	37,15
Calciné lavé	56,50	56,20	2,248	22,95
2e calciné	60,85	65,12	2,337	19,85
Concentré final	76,24	55,56	1,591	11,50

Le rendement pondéral est de 11,5%, le rendement P₂O₅ de 50,5%. Des essais de lavage chlorhydrique du minerai concentré à 76% ci-dessus donnèrent des produits à 78,79 et même 80% de tricalcique.

En conclusion, ces essais doivent plus être considérés comme une source de renseignements pour les recherches futures, une première étape vers la solution que connut une image fidèle de cette dernière. Il est certain qu'un grand nombre d'essais et de recherches devront avoir lieu avant de mettre au point une technologie définitive.

III - TECHNIQUES DES OPERATIONS

Le cycle d'enrichissement par lavage - calcination - lavage - calcination - lavage serait vraisemblablement trop coûteux (encore qu'il ne faille pas le rejeter a priori) et les recherches s'orientent actuellement vers une amélioration de chacune des opérations pour réussir avec une seule calcination.

a) Première opération

Les essais ont utilisés un lavage en hydrocyclône. On pourrait adapter bien d'autres techniques à cette concentration initiale.

Il est évident que plus cette étape sera poussée, plus on isolera les pseudo-colithes, et plus la calcination sera facile par suite de l'absence d'un reste d'exogangue crayeuse, mais plus le rendement P_2O_5 de l'opération baisse. Vu sous un autre angle, une élévation du coût de la première opération entraîne une baisse du coût de la seconde.

Il y a donc un optimum technique et économique à trouver. Un grand nombre d'essais est à faire pour pouvoir y arriver. En particulier, il faudrait tracer expérimentalement les courbes de partage du minerai.

Le déschlammage utilisé dans les essais consistait à une mise en pulpe par patouillet, les grains abrasifs dispersant la gangue crayeuse (attrition) puis passage en hydrocyclône. Les progrès du broyage sélectif et du dépoussiérage pourrait trouver ici une application. On peut même imaginer qu'un réactif pour la flottation des minerais carbonatés étant mis au point, on termine la concentration par ce procédé. Il faudrait faire de multiples essais et examiner à chaque fois le rendement pondéral, le rendement P_2O_5 , le coût de l'opération et l'aptitude du concentré obtenu dans l'opération suivante.

Notons que cette opération pourrait donner lieu à la commercialisation de calcaire moulu comme sous-produit.

b) La calcination

On connaît mal les raisons des difficultés rencontrées lors de la décarbonisation en four tournant : excès de chaux, mauvais brassage entraînant une surface libre insuffisamment renouvelée, forme anguleuse des grains favorisant les accrochages. On cherchera dans les prochains essais à étudier ce phénomène, à le résoudre et à s'affranchir de la deuxième calcination.

Avec un produit mieux lavé, un four à pente plus faible et à vitesse, de rotation plus élevée, on peut penser améliorer les résultats.

Enfin, il faudrait voir si une craie à 15% de P_2O_5 donne les mêmes difficultés de traitement.

On peut penser aussi s'affranchir des difficultés rencontrées par la technique de la fluidisation. La dispersion et le mouvement du lit permettront un large contact solide-gaz. Les difficultés de ce procédé, comme la chaleur latente résiduelle des fumées et l'entraînement d'un excès de parties fines de phosphates semblent résolues dans un certain nombre d'installations industrielles et céder le pas aux avantages.

c) Elimination de la chaux

Elle peut se faire par voie sèche ou par voie humide. Dans les deux cas, il y a intérêt à éteindre la chaux sur un produit calciné encore relativement chaud (250°) pour obtenir des grains très fins de chaux éteinte dont la séparation avec les éléments phosphatés se fera mieux.

Dans les essais, on a utilisé l'hydrocyclônage. On a déjà indiqué la méthode israélienne (Negev). Des installations pilotes ont appliqué la solution pneumatique. Des solvants chimiques permettent des solutions difficiles à mettre au point, mais en théorie simple et peu coûteuse (récupération du CO_2 des fumées - action de Cl NH_4). On peut aussi utiliser un attaque chlorhydrique facile, mais coûteuse (encore que certaines usines ont un excès d'eau chlorhydrique qu'elles doivent rejeter).

Après traitement simple, le sous-produit, la chaux, pourrait être commercialisé.

d) Cycle final proposé

En conclusion, on peut proposer raisonnablement une usine dont le cycle d'enrichissement serait le suivant pour une production de 100 à 200.000 t de P_2O_5 par an.

- Stockage du brut dans les trémies directement alimentées par convoyeur à bande de l'exploitation à ciel ouvert des craies phosphatées à quelques kilomètres.

- Mise en pulpe du minerai par patouillet
- Débourage, coupure 40 micron
- Essorage
- Calcination en four tournant
- Extinction de la chaux
- Débourage
- Essorage
- Séchage en four tournant.

A l'heure actuelle, la mise en exploitation d'une telle usine traitant un brut à 15% de P_2O_5 serait assez rapide. Pour un minerai plus pauvre, la mise au point technique demanderait des essais plus nombreux et plus longs.

D/ PRIX DE REVIENT

Pour un minerai connu, et après une longue série d'essais au laboratoire et semi-industriels, il serait possible d'envisager l'implantation d'une usine d'enrichissement en un lieu déterminé, d'une capacité de production donnée et alors on pourrait calculer un prix de revient prévisionnel du traitement d'une tonne de concentré.

Ce n'est pas le cas de notre étude. On a vu que les données minéralogiques et pétrographiques des craies phosphatées sont imparfaitement connues, que l'éventail des teneurs possibles était très large. On a vu que la mise au point de la technique se poursuit actuellement et nous verrons l'insuffisance des données pour un calcul précis.

Néanmoins, pour cerner le problème, nous allons remplacer ces données manquantes par les hypothèses soit pessimistes, soit optimistes, et ainsi encadrer le prix de l'enrichissement d'un minerai de telle ou telle teneur.

I - PRIX DES DIFFERENTES OPERATIONS

Les différentes opérations utilisées dans notre cycle de traitement se retrouvent dans de nombreuses autres usines enrichissant le phosphate ou d'autres minerais. Par comparaison avec les conditions dans lesquelles fonctionnent ces installations, de celles prévues pour notre craie phosphatée, nous avons pu dégager les prix à la tonne de produit entrant suivants :

Mise en pulpe, débourbage	= 2 F 50 /tonne	unité de 150 t/h
	énergie	0 F 50
	amortiss. ^t	1 F
	entretien	1 F
Essorage	= 4 F /tonne	
Calcination	= 8 à 10 F	
	four tournant de 40 t/h	
	environ 30 kg de fuel	par tonne soit 4 à 5 F
	amortissement	1 F
	entretien	1 F
	énergie	1 F 50
	main-d'oeuvre	0 F 50
Extinction de la chaux, débourbage	= 2 F 50	
Séchage	= 2 F 50	

Il s'agit de prix moyen (valable pour une production de 100 à 200.000 t de P_2O_5), et dans un cas précis, il est évident que l'on pourrait calculer un prix précis sans grandes difficultés.

Il faut ajouter environ 20% de frais généraux.

II - RENDEMENTS PONDERAUX ET PRIX A LA TONNE

C'est la donnée primordiale que le technicien cherche pour un minerai donné et c'est toujours par des essais semi-industriels beaucoup plus que par la théorie que l'on trouve finalement qu'il faudra 3 ou 5 tonnes de bruts pour 1 t de concentré.

Dans l'unique série d'essais que l'on connaît, le rendement pondéral était de 11%, le rendement P_2O_5 de 50%, le titre initial de 8% et la teneur finale de 35%.

Nous allons essayer de prévoir les rendements pondéraux lorsque la technologie sera bien au point et pour différentes teneurs du brut.

a) brut à 12% de P_2O_5

Une analyse effectuée sur une craie à 12% a donné pour les grains une teneur moyenne de 23% P_2O_5 , soit 50% de tricalcique, 18% de CO_2 , soit environ 22,8% de C Ca. On pense que la moitié du CO_2 est dans la molécule apatite. On peut donc prendre comme analyse probable des grains de ce minerai

tricalcique	50%	
CO_2	18%	dont 9% structurel et 9% en calcite libre
C Ca	22,9%	
Fl, OH et glauconie	9,2%	

mais il s'agit d'une analyse sur un échantillon donné !

On en déduit, en faisant l'hypothèse simplificatrice, que que la gangue est de la craie pure, que le minerai se compose de

52 % grains
48 % de gangue

Nous ferons l'hypothèse que le 1er lavage élimine 75% de la gangue et 15% des grains, hypothèse basée sur l'examen des courbes de partages d'installations identiques.

Il reste donc un produit contenant 44 de grains pour 12 de gangue et de titre 18,2% de P_2O_5 .

Supposons que dans la calcination, la décarbonisation soit totale (en fait, les essais montrent qu'on trouve 1 à 2% de CO_2 dans le concentré). Un calcul simple donne un produit sortant ayant 26 de grains enrichis pour 16,7 de gangue et une teneur de 23,9%.

Enfin, un dernier lavage avec les mêmes hypothèses donne 22 de grains pour 4,2 de gangue et 32% de P_2O_5 . On devrait donc pousser davantage la séparation de la chaux pour obtenir une teneur de 35%.

Avec ces hypothèses optimistes, et ces chiffres moyens, on obtient 1 tonne de concentré avec 4t de brut, 2 t de lavé et 1,6 t de calciné.

Le prix de revient serait donc de

4 x 2,50	
+ 2 x 4	soit 46,50 F + 20% frais généraux
+ 2 x 9	
+ 1,6 x 2,50	= 55,80 F/tonne concentrée
+ 1 x 6,50	=====

Faisons, maintenant, l'hypothèse pessimiste que l'on passe du brut à 12% au concentré à 35% avec un rendement P_2O_5 de 0,6 :

on trouve alors qu'il faut 5t de brut pour 2,5 t de lavés, 2t de calciné et 1 t de concentré.

Cela donne un prix de revient à la tonne de concentré (à 76% de tricalcique) de 66,8 / compte tenu des frais généraux.

En conclusion, on peut avancer raisonnablement qu'il faut 4 à 5t de minerai brut à 12% de P_2O_5 pour obtenir une tonne de concentré à 76% de tricalcique avec des frais de traitement de 60 F ± 15%.

b) brut à 8% de P_2O_5

Nous ne possédons pas d'analyse des grains d'un brut de cette teneur et il semble que le titre P_2O_5 des grains est d'autant plus faible que le titre du minerai baisse.

Avec des hypothèses trop optimistes de 23% de P_2O_5 dans les grains, de décarbonatation complète et de courbes de partages des cyclônes analogues aux précédentes, on obtient un rendement pondéral total de un sixième et un prix de 78 F.

Et ces résultats ne seraient obtenus qu'après une forte amélioration des essais antérieurs.

c) brut à 15% de P_2O_5

Nous avons effectué les mêmes calculs théoriques avec différentes hypothèses d'analyses des grains et de rendements des opérations. Il en découle qu'on peut espérer qu'avec 3 à 4 de brut à 15% de P_2O_5 , on obtiendra 1t de concentré à 76% de tricalcique avec des frais de traitement de 55 F. \pm 15%.

E/ CONCLUSION

Si les données actuelles sont insuffisantes pour prévoir avec précision ce que serait l'usine d'enrichissement de tel ou tel minerai, elles permettent néanmoins d'avancer les hypothèses très solides sur la technique et le coût du traitement.

Le cycle préconisé, cyclonage, calcination, cyclonage, dont la mise au point définitive ne pose plus de problème important, est suffisamment connu maintenant pour avancer un coût à \pm 15% près pour une teneur donnée, et une production de 100 à 200.000 tonnes de P_2O_5 par an.

Des études techniques précises et rejetées sur chaque opération sont encore nécessaires pour cerner totalement le problème. Mais il est évident que ce sera surtout sur le minerai d'un gisement découvert que l'on envisagera d'exploiter que se fera ce travail.

Néanmoins, avant cette phase terminale, les recherches doivent avoir lieu et permettront de corriger les résultats. D'autre part, les procédés différents (four à fluidiser, dépoussiérage, ...) seront peut-être préférables dans quelques années.

5ème Partie : EXPLOITATION

Nous nous efforcerons dans cette partie de chercher un ordre de grandeur du prix de revient d'exploitation envisageable dans le cas d'une carrière de craie phosphatée. Nous n'avons pas la prétention de faire une étude de type "avant-projet" mais bien plutôt de cerner le coût d'exploitation pour tenter de déterminer si la craie phosphatée peut devenir un minerai valable.

Nous définirons d'abord les ordres de grandeur et le type de gisement d'après ce que la géologie nous apprend à ce sujet. Munis de ces renseignements nous chercherons à décrire quelques moyens d'exploitation et leurs caractéristiques techniques et économiques; enfin, nous nous efforcerons de déterminer la fourchette des prix de revient possibles et le prix de revient probable d'une telle exploitation.

A. Gisement probable.

D'après ce que nous avons dit dans l'étude géologique, les connaissances actuelles permettent de penser qu'il existe des gisements de 10 à 50 MT à des teneurs variant entre 5 et 15 % de P₂O₅. Ceux-ci auraient la forme de lentilles de craie phosphatée à faible pendage et recouvertes par de 10 à 50 m de terrains assez meubles mais dans lesquels il peut y avoir un ou deux bancs assez durs.

Donc pour la taille de l'exploitation il nous faut prévoir des productions allant de 1000 T/jour à 10 000 T/jour, l'ordre de grandeur probable étant plutôt voisin de 5 000 T/jour.

L'exploitation se fera probablement en découverte car l'épaisseur de la lentille varierait de 5 à 20 m, donc les taux de recouvrement probables se situeraient entre 0,5 et 5 avec une valeur moyenne de l'ordre de 2.

Le recouvrement généralement tendre semble pouvoir se prendre sans précautions spéciales sauf peut-être des tirs pour ébranler un éventuel banc dur. Le minerai lui est très tendre et de granulométrie fine; il ne nécessitera aucun broyage avant transport, aucun épierrage..... Nous serons donc placés dans les conditions suivantes :

- Exploitation en découverte avec taux de recouvrement assez faible (de 0,5 à 5; valeur moyenne : 2).
- Possibilité de tir dans le recouvrement, mais ceci n'est pas le cas général.
- Minerai prenable à la pelle sans difficultés de granulométrie ni de dureté.

Enfin l'usine d'enrichissement se trouvera probablement assez près du gisement. On pourra donc évaluer les frais de transport en évaluant la distance à parcourir jusqu'à l'entrée de la laverie entre 1 km et 10 km, avec une valeur probable dépendant un peu des conditions d'exploitation.

Notons que ce schéma du gisement n'est pas le seul envisageable. Bien d'autres hypothèses sont plausibles mais dans tous les cas il faudra une exploitation rationnelle et intensive du gisement pour assurer la rentabilité. L'essentiel pour nous est d'avoir un encadrement du prix de revient que nous ne pouvons pas espérer très précis. Signalons simplement que l'hypothèse de petits gisements (1000 T/jour) desservant un laverie centrale est ainsi envisagée. Elle est peut-être plus facilement réalisable mais conduit à des prix qui ne sont pas en dehors de nos limites.

B. Moyens d'exploitation.

Dans cette optique, nous allons rapidement passer en revue les différents engins habituellement utilisés soit pour l'exploitation soit pour le transport. Nous ne ferons aucune description des engins eux-mêmes, nous nous contenterons de les énumérer avec leurs capacités techniques et le prix de revient qu'ils donnent.

1°- Engins d'exploitation.

- Pelle, de godet variant de 500 L. à 5000 L.

Production horaire de 30 T. à 250 T. Prix de revient 0,35/T.

Chargement sur camion en général.

- Dragline de godet de 3 à 20 - 30 m³.

de flèche variant de 30 m à 70-80 m.

Production horaire de 200 T. à 1 200 T/H. prix de revient 0,25/T

En général utilisée pour le stérile mais peut charger sur camion

(difficilement) ou plutôt travailler avec reprise du minerai.

- Roue-Pelle Production continue. Capacité de production importante et

qui soit un peu de notre cadre. Nous prendrons un prix de revient de 20 F/T pour

illustrer un cas d'exploitation à grande échelle.

2°- Engins de transport.

- Camions Capacité de l'ordre de 10 à 30 T.

Prix à la tonne kilométrique de l'ordre de 0,70 F.

Possibilité de souplesse d'adaptation. Pistes sommaires exigées

- Convoyeurs à bande.

Capacité de 200 T/h à 2 000 T/h

Prix à la T.k.U. de l'ordre de 0,20 F.

Nécessité d'une implantation fixe pour la plus grande forme de l'installation.

.../...

3°- Tir mécanisé dans le recouvrement.

Citons un prix moyen de l'ordre de 0,22 F/T obtenu dans les mines de fer de Lorraine en découverte. La majeure partie de ces chiffres a été obtenue par des recoupements entre les résultats d'une étude faite dans les mines de fer en découverte de Lorraine et ont été recoupés avec les indications données par différentes études actuelles.

C. Méthodes d'exploitation (voir schéma)

1er cas - Faible production - 1 000 T/jour

Le cas correspond à l'utilisation de pelles et du transport par camions pour le minerai.

Le décapage du stérile se faisant par une dragline avec ou sans tir. Cette utilisation de la dragline est un peu à la limite inférieure de capacité. Nous prendrons donc un prix à la tonne déplacée un peu plus fort (0,30 F/T).

On fera varier la distance du gisement à la laverie de 1 à 5 km.

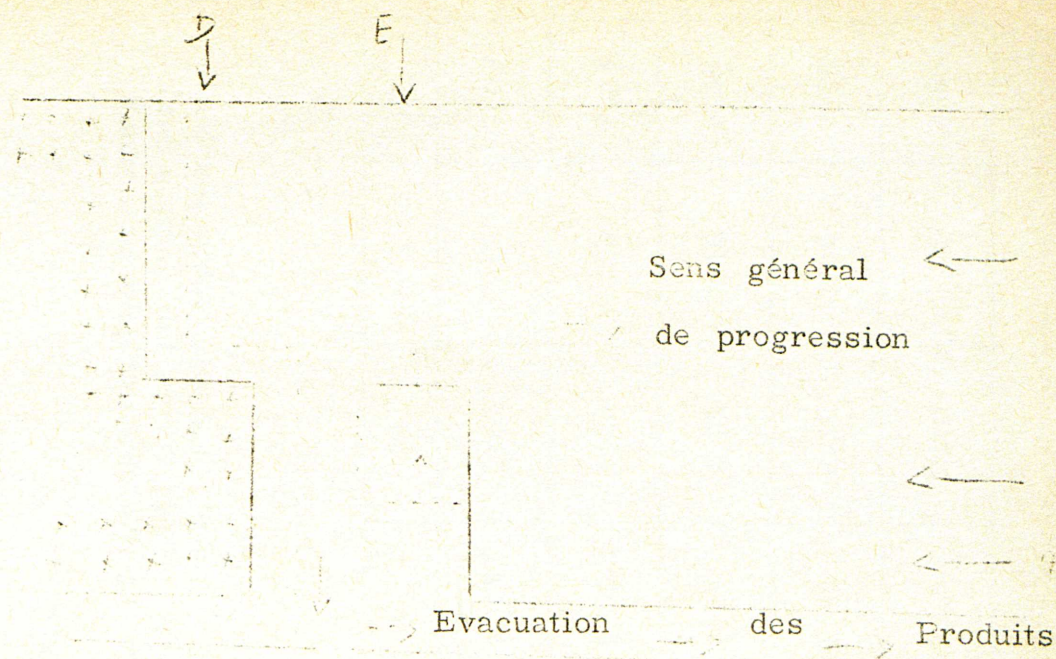
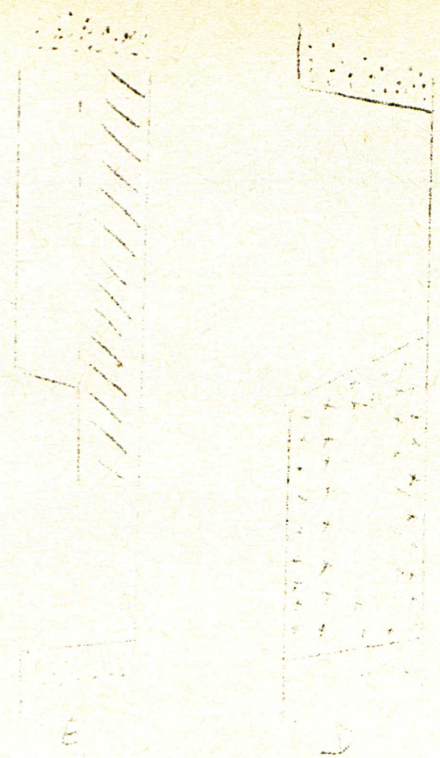
Avec ces hypothèses, on obtient les prix de revient suivants :

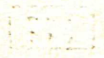
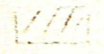

Sans tir.

f \ d	1	2	3	4	5
0,5	1,17	1,87	2,57	3,27	3,97
1	1,29	1,99	2,69	3,39	4,09
2	1,53	2,23	2,93	3,63	4,33
3	1,77	2,47	3,17	3,87	4,57
5	2,25	2,95	3,65	4,35	5,05

formule $b = 0,35 + 0,7 d + 0,24 f$
avec comme densité en place 2,5 (minerai) et 2 (stérile)

.../...



-  Stérile déplacé
-  Minerai en place
-  Terrains loin du gisement exploité



SCHEMA d'EXPLOITATION en DECOUVERTE

Avec Tir.

f \ d	1	2	3	4	5
0,5	1,26	1,96	2,66	3,36	4,06
1	1,47	2,17	2,87	3,57	4,27
2	1,89	2,59	3,29	3,99	4,69
3	2,31	3,01	3,71	4,41	5,11
5	3,15	3,85	4,55	5,25	5,95

formule $p = 0,35 + 0,7 d + 0,42 f$

En fait, les conditions probables dans ce cas conduisent à des résultats bruts (d # 3 f # 2) de l'ordre de 3F,30 avec Tir et 3 F sans Tir.

2ème cas - Production moyenne - 5 000 T/jour.

Utilisation d'une dragline pour le minerai à sa capacité; nous prendrons dans ce cas un prix de revient de 0, F 25/T. Le transport se fait par camion sur 1 km, le reste se faisant par convoyeur. Pour le stérile, même méthode que précédemment mais avec un prix à la tonne de 0 F, 25/T.

Sans Tir.

f \ d	1	2	3	4	5	10
0,5	1,05	1,25	1,45	1,65	1,85	2,05
1	1,15	1,35	1,55	1,75	1,95	2,15
2	1,35	1,55	1,75	1,95	2,15	2,35
3	1,55	1,75	1,95	2,15	2,35	2,55
5	1,95	2,15	2,35	2,55	2,75	2,95

formule $b = 0,25 + 0,2 (d-1) + 0,2 f$

Avec Tir. $p = 0,95 + 0,2 (d-1) + 0,38 f$

Dans ce cas, les hypothèses semblant cohérentes sont $f = 2$ $d = 4$ km
Ce qui donne les chiffres bruts de 2,2 F/T sans Tir
2,5 F/T avec Tir

3ème Cas - Production forte - 10.000 T/jour

Dans ce cas, nous supposerons la possibilité d'utiliser une roue-pelle pour le minerai et une dragline pour le stérile. Transport complet du minerai sans convoyeur. C'est évidemment un cas très peu probable qui nous donnera une norme inférieure **optimiste**.

Dans ce cas $p = 0,2 + 0,2 d + 0,2 f$
Ce qui pour $f = 2$ $d = 4$ donne un prix de revient brut de 1 F, 40/T.

C. Conclusion.

Dans ces prix de revient que nous avons appelés bruts, interviennent les amortissements, l'entretien, la main-d'oeuvre directe, l'énergie..., mais il faut tenir compte des frais généraux de l'exploitation comprenant notamment le personnel d'encadrement, les travaux annexes comme l'entretien des pistes, les frais généraux administratifs. Faute de renseignements sur ces frais, nous nous contenterons d'appliquer un **taux** de majoration de 20 % sur les prix bruts ainsi obtenus. Nous **rappellerons** que notre but est de donner un ordre de grandeur justifié plutôt que de fournir une base précise d'étude.

Avec ces dernières indications, les prix sont les suivants :

1 000 T/jour de 3 F,60 à 4 F/T
5 000 T/jour de 2 F,50 à 3 F/T
10 000 T/jour de l'ordre de 1, F 70 à 2 F.

Pour notre conclusion finale, nous retiendrons que les prix trouvés s'échelonnent entre 1 F, 70 et 4 F/T et que la plage probable se situe entre 2 F,50 et 3 F,50. Nous étudierons donc dans l'étude générale de la teneur de rentabilité, trois cas :

1er cas A $b = 2,50$ F/T
2ème cas B $b = 3$ F/T
3ème cas C $b = 3,5$ F/T

Nous examinerons successivement les points suivants : tout d'abord un historique du déroulement administratif de la concessibilité des phosphates puis un bref examen des deux procédures possibles enfin une illustration sur un cas concret du risque de la concessibilité pour les exploitants actuels.

A. Historique

A la suite de la dissolution du comptoir des phosphates d'Afrique du Nord en 1960 le problème a été posé par la Direction des Mines de l'éventualité d'un passage des phosphates dans la classe des Mines. Rappelons le point de vue de départ : les progrès des techniques d'enrichissement sont tels qu'il peut devenir rentable d'exploiter des craies phosphatées à faible ou moyenne teneur pour en tirer un phosphate commercialisable. Cette éventualité n'est envisageable à priori que si les frais d'exploitation sont faibles ce qui exige une exploitation de grande envergure. Dans cette optique il faut donner des garanties, aux futurs exploitants et aux chercheurs et pour cela il semble indiqué de penser à la concessibilité. En effet dans le régime des carrières toute divulgation de résultats de recherche ou même toute campagne de recherche un peu importante risquerait d'entraîner une réaction de la part des propriétaires, réaction qui aboutirait à une véritable spéculation sur les terrains dans la région étudiée. En elle-même cette spéculation est néfaste mais en plus elle risque de compromettre gravement les chances d'une exploitation future. Au contraire le passage dans la classe des mines cristallise les droits des propriétaires du sol et empêche donc toute spéculation ayant trait à la substance visée par le décret de mise à l'enquête.

Le problème a donc été posé au Conseil général des Mines qui a accepté la mise à l'enquête prévue par l'article 5 du Code minier (Juillet 1961). Le Conseil a cependant fait les réserves suivantes :

- risques de la concessibilité pour les exploitants actuels.
- faiblesse des réserves connues et plus généralement des hypothèses avancées.
- avantages de la procédure prévues à l'article 109 du Code Minier.

En effet si l'on prononce la concessibilité, les exploitations actuelles passeront dans le régime minier (Sécurité sociale minière, statut du mineur.....) Les charges salariales croîtront ce qui ne pourra que créer des difficultés supplémentaires aux exploitants actuels.

A l'époque les études géologiques sur la craie phosphatée avaient à peine commencé, les études économiques sur l'enrichissement n'avaient pas été abordées; les éléments de jugement étaient donc beaucoup plus flous qu'actuellement. Enfin cette procédure contrairement à celle de l'Article 109 ne permet pas un retour en arrière en cas d'échec des recherches et des études.

La mise à l'enquête a donc été faite dans tous les départements (Septembre-Octobre 1961). Les résultats sont assez négatifs : une seule remarque consignée sur les procès-verbaux, celle des établissements Linet (Exploitant actuel) dénonçant le risque pour les exploitants de la procédure envisagée. Les préfets ont cependant donné avis favorable sur tout le territoire.

Après ce bref rappel historique, nous en venons à l'examen des 2 procédures envisageables.

B - L'Article 109 et le titre VII du Code Minier.

Les deux procédures fournies par le code minier sont contenues l'une dans les articles 109 et suivants l'autre dans le titre VII "du passage dans la classe des Mines". Examinons successivement ces deux cas.

1°) Procédure de l'article 109

Elle impose un certain nombre de conditions restrictives

a) nécessité économique de la substance, difficultés particulières rencontrées par les exploitants. Ces conditions semblent réunies de façon prévisionnelle seulement (difficultés d'approvisionnement. Monopole des vendeurs).

b) durée de l'application limitée à 15 ans. Délai un peu court pour effectuer les recherches, mettre en exploitation et amortir les investissements.

Sous ces restrictions, des dérogations sont accordées par le ministre. Elles permettent de passer outre aux droits des propriétaires du sol pour la recherche et l'exploitation de la substance dans les régions désignées par décrets en Conseil d'Etat. Il faut remarquer que le code

limite les droits des titulaires d'autorisation de recherches ou de permis d'exploitation. En effet l'Article 112 prévoit le maintien en vigueur du régime de la simple déclaration; ceci donne priorité aux exploitants antérieurs et interdit à une autorisation ou à un permis de couvrir un périmètre dans lequel il y a des exploitants ayant fait une déclaration à la mairie antérieurement à la publication soit de l'avis de mise à l'enquête du permis d'exploitation soit de l'autorisation de recherche. Ceci pourrait limiter dangereusement les chances de réussite de cette procédure ou risque de voir ainsi condamner une exploitation de 5000 t/jour par l'existence d'une petite carrière de 200 - 300 t/jour. Or c'est précisément ce contre quoi l'on veut prémunir les éventuels chercheurs ou exploitants.

En résumé l'article 109 présente l'avantage d'être plus souple que la concessibilité mais la durée d'application est trop limitée et surtout il conserve en grande partie les inconvénients du régime des carrières.

2°) La concessibilité (Titre VII)

Le titre VII prévoit la procédure de transition entre le régime des carrières et celui des mines et en particulier les mesures suivantes :

- a) maintien des exploitations jugées rationnelles à qui seront attribuées des permis d'exploitation (Art. 120).
- b) période transitoire une adaptation un peu plus souple (délai d'un an). (Article 121 et 122).
- c) pour assurer l'équivalence des deux procédures sur le plan financier, la redevance tréfoncière sera payée pendant 15 ans après la date du classement (Art. 128).

La caractéristique essentielle du titre VII est que le maintien dans les droits n'est pas automatique : il est soumis au critère de la rationalité de l'exploitation, d'autre part le régime transitoire n'est accessible qu'aux exploitants à la date du classement; donc pratiquement au bout d'un an les positions sont connues et les garanties sont celles du régime des mines. En résumé cette procédure a l'avantage d'être sans ambiguïté et elle donne une garantie réelle aux chercheurs éventuels. Ces principaux

.../...

inconvenients sont le caractère irrévocable de la décision, le caractère de spoliation des propriétaires du sol et, enfin le préjudice causé aux exploitants anciens.

Les deux premiers inconvenients sont ceux de tout conflit de l'intérêt général et de l'intérêt particulier, des indemnités sont prévues qui compensent ces inconvenients, du seul point de vue financier l'opération n'est en général pas défavorable au propriétaire du sol.

Quant au dernier désavantage il y a un poids plus important, nous nous efforcerons dans la partie suivante de déterminer ses incidences exactes.

C - Risque de la concessibilité pour les exploitants actuels.

Rappelons l'importance du secteur concerné : une production de l'ordre de 30 à 40 000 t/an de produits vendus aux environs de 25 F, des effectifs totaux (exploitation, traitement) de l'ordre de 100 personnes. Il n'en reste pas moins que le problème vaut d'être examiné.

Le passage dans la classe des mines entraîne en fait sinon en droit l'affiliation à la Sécurité Sociale Minière et par voie de conséquence l'application du statut du mineur. Les charges provoquées par le Statut du mineur sont en grande partie compensables. Théoriquement : les taux de salaires fixé par le statut dans le cas des phosphates pourraient être calculés de façon telle que salaires anciens : salaires nouveaux + avantages en nature. Ceci est un peu théorique car il serait probablement difficile de faire baisser les salaires proprement dits dans une proportion suffisante. Mais pour la Sécurité Sociale Minière il y a actuellement de grandes disparité avec le régime général; ces disparités doivent être réduites dans un proche avenir et nous raisonnerons comme si cela était fait. Pratiquement au total il ne resterait comme charge supplémentaire que la cotisation au fonds de compensation et garantie chargée de l'attribution des avantages en nature aux veuves et retraitées. Cette charge, qui semble peu justifiée dans notre cas, est de 6,5% des salaires soumis à cotisation. En définition c'est la seule charge supplémentaire au moins théoriquement. Pour mieux percevoir l'importance des différents facteurs nous allons raisonner sur un cas concret.

Entreprise comprenant	2 ingénieurs ou assimilés
	6 agents de maîtrise
	56 ouvriers et employés

Avantages en nature prévus par le Statut du Mineur

Chauffage	56 x 240 =	13 500
	6 x 290 =	1 740
	2 x 290 =	580
Logement	56 x 810 =	45 400 (env.)
	6 x 1098 =	6 600 (")
	2 x 1848 =	3 700 (")
	Total =	71 500 F env/an

Cette charge étant répercutable sur les salaires.

Fonds de compensation et garantie	30 000 F/an environ
--------------------------------------	---------------------

pour mémoire SSM
supposée donner en régime général

Donc au total 100 000 F/an

Pratiquement on peut escompter répercuter la plus grande partie des avantages en nature et ne subir que quelques pour cent d'augmentation des salaires réels. Pour le fonds de compensation et de garantie il semblerait logique de pouvoir exonérer en tout ou partie les exploitants anciens pendant quelques années.

Il faut remarquer sur si les exploitants supportant une augmentation de charges sociales de 30 à 40 000 F/an, il en résultera pour eux une augmentation du prix de revient de l'ordre de 1 F/T, ce qui est assez lourd pour des entreprises en situation difficile (4% d'augmentation).

Cependant il ne semble pas impossible de prévoir pendant quelques années des mesures de compensation qui permettraient aux exploitants actuels de ne subir aucun préjudice. Rappelons qu'une telle mesure coûterait de 30 à 40 000 F/an ce qui ne semble pas considérable. Compte tenu de l'avantage que pourrait procurer l'existence d'une production nationale de phosphates pour les phosphatiers français, il pourrait être envisagé de leur faire supporter la dépense. Remarquons que répartie sur la production totale d'engrais phosphaté français cela représente environ 0,05 à 0,07 F par tonne de P_2O_5 . (Les scories étant exclus). Cette façon de faire est évidemment peu réaliste mais on voit ainsi la faible importance du risque encouru par le passage dans la classe des Mines.

7ème Partie : CONCLUSION GENERALE

Parvenus au terme de cette étude, il nous faut tenter de faire la synthèse. Conscients de tous les points que nous n'avons pu étudier, nous indiquerons dans quelles voies principales il serait utile de poursuivre les investigations. Néanmoins comme il nous faut prendre position sur le problème posé, nous résumerons les arguments essentiels pour et contre la concessibilité et finalement nous formulerons nos suggestions personnelles

I- ETUDES COMPLEMENTAIRES

Pressés par le temps, nous n'avons pu aborder de façon efficace un certain nombre de problèmes. Il serait cependant très utile de prolonger cette étude en suivant les travaux menés actuellement au CERPHOS sur la craie phosphatée ses qualités en tant que minéral, son aptitude à l'enrichissement.

De même il serait intéressant de chercher à évaluer la rente de situation d'un gisement français de façon plus précise et notamment en tenant compte des implantations d'usines d'engrais.

Il serait ainsi fort utile de compléter l'étude des prix de revient par une vue sur l'évolution de ces prix dans l'avenir en tenant compte du progrès technique. Il peut être aussi très intéressant de chercher des évaluations plus précises des fourchettes de prix.

Nous arrêterons ici l'énumération mais cela prouve que le sujet est loin d'être épuisé et que beaucoup d'incertitudes subsistent. Il n'en reste pas moins qu'une impression générale se dégage que nous allons essayer de préciser.

II-DISCUSSION DU PROBLEME

A-Quand on parle de la concessibilité des phosphates, il se présente immédiatement un certain nombre d'objections que nous avons énumérées dans ce rapport :

1°/ Une objection d'ordre historique. Les exploitations anciennes ont du céder le pas devant les gisements d'Afrique du Nord. Le mouvement est irréversible car il est dû à des différences de valeur de ces gisements (teneur, étendue, réserves) et les réserves mondiales sont très importantes. Il est donc inutile de passer à la concessibilité car cela n'amènera rien de plus.

2°/Une objection d'ordre géologique qui rejoint un peu la précédente. Les gisements actuellement exploités sont à peine rentables. Les recherches entreprises jusqu'à présent n'ont donné que peu de résultats positifs. Il suffit de laisser la situation actuelle se poursuivre; on ne risque rien en agissant de cette manière.

3°/Une objection d'ordre économique. En admettant que l'on trouve un gisement aux teneurs indiquées (5-20%) il sera inexploitable car non rentable. On ne fera que créer une situation désastreuse pour l'Etat qui devra financer le déficit. Cette position sera alors injustifiable pour les approvisionnements car les réserves sont importantes et on découvre sans cesse de nouveaux gisements.

4°/Une objection d'ordre technique. L'enrichissement est appliqué pour des teneurs supérieures à 25% P_2O_5 . Il est impossible de raisonner par analogie dans le cas des teneurs allant de 5 à 20%. Avant d'enrichir les craies phosphatées on enrichira les phosphates tunisiennes ce sera plus économique.

5°/Enfin l'objection la plus fréquente. Le passage dans la classe des Mines entraînera la ruine des exploitants actuels sans amener une contre partie suffisante pour l'économie. Il serait préférable si l'on veut faire quelque chose, de suivre le processus de l'Article 109 du Code Minier qui préserve les chances des carrières anciennes.

B-Dans le cours de ce rapport nous avons répondu à toutes ces objections. Nous allons rappeler ici les principaux arguments.

1°/Dans l'historique nous avons insisté sur le fait que seul un changement dans les conditions d'exploitation et d'enrichissement pouvait durablement reposer le problème de la craie phosphatée du Bassin Parisien. Or ces conditions nous semblent requises ou en passe de le devenir. Il est évident que la situation de 1910-1930 n'est pas comparable avec la situation actuelle : nos intérêts sont de plus en plus faibles dans les phosphates mondiaux; il s'établit un monopole fait Maroc-USA. La politique des pays producteurs est tout entière orientée vers la transformation sur place aux dépens de l'exportation de phosphates bruts.

Tout ceci fait que d'une part le problème de rentabilité peut se reposer et d'autre part la sécurité d'approvisionnement n'est pas aussi grande que l'on pourrait croire à priori.

2°/Dans l'Etude géologique nous avons signalé l'existence de deux voies d'études, une voie s'appuyant sur la phosphatogénèse et nécessitant de longs travaux préparatoires, et une voie s'appuyant sur des méthodes de géophysique et dont les résultats ne sont pas toujours très convaincants. Il n'en reste pas moins que ^{par} ces deux voies différentes, les résultats actuels sont déjà substantiels et les perspectives de découvertes ne sont pas aussi hypothétiques. D'autre part, il est certain que si le régime des carrières reste appliqué, il n'y aura jamais de découverte importante, car personne n'entreprendra des recherches sans avoir la certitude d'en récolter les fruits, et que seul le passage dans la classe des Mines donne une sécurité suffisante aux chercheurs. Donc laisser le statu quo, c'est risquer de rendre vaines toutes les études actuellement entreprises et de plus, c'est prendre une part de responsabilité en cas de rupture des approvisionnements. Dans ce dernier cas, nous serions obligés d'importer des engrais phosphatés à la place de ces phosphates extraits en France ; ce serait donc condamner une partie de l'industrie des engrais qui aurait pu être épargnée. En chiffre d'affaire, cela représente environ 60.10^6 F pour une extraction de 100000 T P_2O_5 .

3°/L'objection économique de non rentabilité est certainement l'une des plus fondées, cependant en prenant les divers résultats de notre étude sur les prix futurs, les prix de revient d'enrichissement et d'exploitation, nous pourrions nous rendre compte de façon un peu plus précise de la valeur de cette objection. En matière de prix de vente des phosphates sur le marché français (Rouen, Dunkerque), nous avons vu que la tendance était plutôt à une légère hausse. En tout état de cause les risques de baisse sont très faibles. Dans un souci de prudence nous prendrions un prix stable de 80 F/t pour le phosphate à 75% de tricalcique. D'autre part, l'étude sur l'enrichissement a mentionné la possibilité de valorisation complémentaire provenant de sous-produits comme la chaux et les amendements calcaires. Il est évidemment très difficile d'évaluer les recettes supplémentaires que l'on peut en attendre, car les marchés de ces produits sont assez restreints vis-à-vis de la production possible à partir de la craie phosphatée. En faisant des hypothèses relativement prudentes de commercialisation, on pourrait attendre une recette supplémentaire de l'ordre de 5 à 10 F/t de concentré produit,

.../...

Pour ce qui est du coût de l'enrichissement et du coût d'exploitation, nous reprendrons les conclusions des études faites sur ces sujets, et nous les résumerons dans les tableaux ci-après.

	Coût enrichissement	Rendement pondéral
8%	78 à 95 F/T	1/6 à 1/8
12%	55 à 65 F/T	1/4 à 1/5
15%	50 à 60 F/T	1/3 à 1/2

Prix de revient Exploitation de 2,50 F/T à 3,50 F/T

Nous allons maintenant comparer le prix de revient et la valorisation en fonction de la teneur en P_2O_5 du gisement. Pour cela nous retiendrons trois hypothèses :

- la première optimiste, réunissant les conditions favorables,
- la deuxième pessimiste, réunissant les conditions défavorables,
- la troisième, probable, nous semblant la plus susceptible de se réaliser.

Nous retiendrons trois hypothèses de vente réunissant les hypothèses sur le prix de vente des phosphates et celui des sous-produits.

	8%		12%		15%		Expl.
	Enr	Rp	Enr	Rp	Enr	Rp	
H ₁ (optimiste)	78 F/T	1/6	55 F/T	1/4	50 F/T	1/3	2,50 F/T
H ₂ (pessimiste)	95 F/T	1/8	65 F/T	1/5	60 F/T	1/4	3,50 F/t
H ₃ (probable)	85 F/T	1/7	60 F/T	1/4, 5	55 F/T	1/3, 5	3 F/T

V₁ (optimiste) 85 F/T pour le phosphate à 75% + 10 F/T sous-produit

V₂ (pessimiste) 78 F/T pour le phosphate à 75% + 0 F/T sous-produit

V₃ (probable) 81 F/T pour le phosphate à 75% + 8 F/T sous-produit

D'après le tracé des courbes évidemment très sommaire, la fourchette globale (H_1, V_1) (H_2, V_2) se situe entre 8% et 12% avec une valeur (V_3H_3) de l'ordre de 10%. Que peut-on tirer comme conclusion ? En tout état de cause, cela situe la teneur de rentabilité moyenne aux environs de 10%. Mais il faut bien préciser que ceci est une vue statique, et il est probable que si l'on cherchait l'évolution de cette teneur de rentabilité, on trouverait une tendance continue à l'abaissement qu'il serait tentant d'extrapoler. En fait, il ne semble pas impensable de prévoir un abaissement de cette teneur autour de 8 à 9% P_{205} .

Donc avec une étude aussi sommaire, nous pouvons montrer que les ordres de grandeur des teneurs moyens de rentabilité, ne sont pas incompatibles avec les données de la géologie, et que la perspective de découverte d'un gisement rentable, n'est pas une utopie. D'autre part, nous l'avons signalé ailleurs, le problème des approvisionnements peut se poser lui aussi; il serait fort utile de disposer de gisements français, mêmes faiblement rentables car cela assurerait une sécurité et un atout dans les discussions commerciales.

4°/L'objection technique était valable il y a quelques temps encore, mais depuis que des études suivies sont entreprises sur les craies phosphatées, les hypothèses que nous avons faites sont étayées par les expériences et les essais entrepris. D'autre part, s'il est probable que les minerais actuels pauvres (tunisiens et autres) seront enrichis, il ne faut pas oublier que la craie phosphatée jouit d'une situation privilégiée que lui donne un avantage supérieur à 20 F/T pour l'utilisation en France : la teneur de rentabilité d'un gisement est fonction de sa situation.

5°/Enfin, l'objection d'ordre administratif est aussi une objection à priori, fondée. Il est certain en effet que le passage dans la classe des Mines fait subir un préjudice aux propriétaires du sol et aux exploitants anciens. Pour les premiers, il existe des indemnités compensatrices; pour les seconds si le préjudice est certain il n'est pas très étendu et l'on peut imaginer de les en dédomager de diverses manières; d'autant plus que l'importance de ces exploitations et de leurs réserves est assez limitée. Il ne faut donc pas exagérer l'importance du préjudice subi, qui est très faible en regard des espoirs de gain. D'autre part, les exploitants actuels bénéficieront de tous les progrès amenés par les recherches engagées sur la craie phosphatée. Il faut remarquer enfin que dans l'enquête publique, menée en Septembre-Octobre 1961, il n'y a eu qu'une seule remarque et tous les préfets ont émis un avis favorable au passage dans la classe des Mines.

En nous appuyant sur toute cette organisation, nous formulons les recommandations suivantes :

- Poursuivre la procédure de passage dans la classe des Mines tout en étudiant les points que nous n'avons pu aborder.
- Etudier cas par cas la situation des exploitants actuels, pour essayer de les aider à surmonter les difficultés nées du passage dans la classe des Mines. Eventuellement, favoriser leur reconversion.
- Donner une impulsion nouvelle aux études et recherches sur la craie phosphatée, en notifiant aux fabricants d'engrais, l'intérêt qu'il y a pour eux à avoir une source d'approvisionnement en France.

Nous rejetons la procédure de l'Article 109, car elle n'offre pas de véritable garantie aux chercheurs. En effet, dans ce cas elle n'empêcherait ni le gaspillage des gisements, ni le risque de spéculation sur les terrains qui sont les buts essentiels que l'on cherche à atteindre.

A N N E X E

MARCHE DES ENGRAIS PHOSPHATES

A - Divers engrais et mode d'élaboration

Les principaux usages des phosphates sont les suivants :

- 1°/ Elaboration d'engrais solubilisés (Super)
- 2°/ Elaboration de l'acide phosphorique qui sert de produit intermédiaire
- 3°/ Usage direct comme engrais après des traitements sommaires (phosphates moulus)
- 4°/ Usages divers dans l'industrie chimique proprement dite qui connaissent une grande extension.

Les pourcentages de ces utilisations aux Etats-Unis sont les suivants :

Fosphates moulus	6%
Super simple	40%
Super triple	24%
Autres engrais	12%
Fosphore et dérivés	3%
Usages chimiques autres	15%

En France, le secteur Usages Chimiques et Fosphore doit atteindre 10% d'après certaines estimations . Il y a donc encore un large champ d'expansion de ce côté. Tout tend à prouver que le pourcentage de ce secteur a tendance à croître pour atteindre environ 20% d'ici vingt ans.

Ayant peu de renseignements sur ce secteur, nous ferons l'hypothèse qu'il croît au même taux que l'ensemble des autres usages, ce qui est sur ement une approche par défaut.

...../...

D'autre part, dans les trois premiers types, il en est un qui est en stagnation relative, c'est celui des phosphates moulus. Il est probable que cette forme d'utilisation ne suive pas la consommation totale ; en effet, elle ne s'adapte qu'à certains cas particuliers (Sols acides, Hyperphosphates Reno) et ne présente pas les mêmes caractères de solubilité que les engrais élaborés. Son seul avantage actuel est celui de son prix qui est légèrement inférieur à celui du Super 18 à égalité de teneur. Donc la progression de l'utilisation des phosphates dans les engrais se fera particulièrement sentir dans les deux secteurs restants, engrais élaborés dans le but de rendre l'élément phosphore soluble et donc assimilable par les plantes, et acide phosphorique produit intermédiaire pour l'élaboration des engrais riches.

Nous nous attacherons donc à la description de ces deux types d'utilisation.

1°/ Les engrais élaborés

Comme nous l'avons dit, le but est de rendre l'élément phosphore soluble. Cela se fait en général par action chimique sur le phosphate tricalcique insoluble pour obtenir un phosphate monocalcique ou bicalcique qui lui est soluble ; dans toutes ces questions, on parle constamment de $F_2 O_5$ soluble, or actuellement il existe deux types de solutions normalisées pour apprécier cette solubilité : solubilité dans l'eau admise en Grande-Bretagne, aux Indes

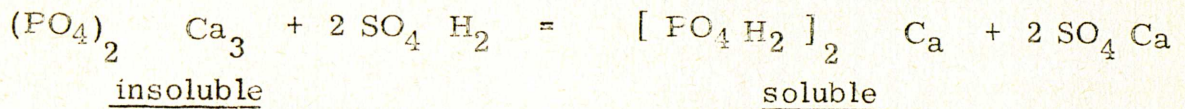
solubilité dans le citrate de soude dissout dans l'eau qui est admise en France et dans la plupart des pays.

Le but étant de reproduire la solution existant dans le sol pour apprécier les possibilités d'assimilation des plantes. Il semble que le deuxième type soit mieux adapté, car certains engrais assimilables par les plantes ne sont pas solubles dans l'eau (Phosphate bicalcique). Nous laisserons de côté cette querelle d'écoles en adoptant la solubilité au citrate reconnue en France.

Principaux engrais

Superphosphate simple

Obtenu par l'action de l'acide sulfurique sur le phosphate naturel, il est le plus ancien des engrais phosphatés élaborés

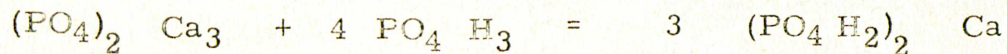


Ce super est caractérisé par sa teneur en $\text{P}_2 \text{O}_5$ soluble.

Actuellement, on fabrique des Super 16, 18, 20 à partir de phosphates à 65% de tricalcique, 75%, 80%. La réaction chimique est lente et exothermique mais ne nécessite pas de précautions particulières. C'est encore le plus courant des produits.

Superphosphate triple

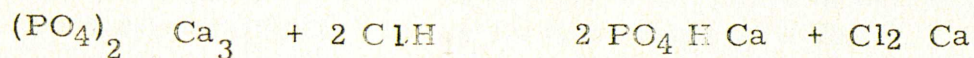
Le super triple est obtenu par l'action de l'acide phosphorique sur le phosphate naturel, ce qui donne un produit évidemment plus concentré



Il est plus avantageux que le Super simple, car sa teneur en $\text{P}_2 \text{O}_5$ est approximativement le triple de celle d'un Super ordinaire, il bénéficie donc de moindres frais de transport à l'unité de $\text{P}_2 \text{O}_5$.

Phosphate bicalcique

Elaboré dans des usines près desquelles il existe un excédent d'acide chlorhydrique inutilisable, il constitue un engrais assez apprécié en France, mais de moindre importance que les deux précédents



Phosphate d'Ammonium

Obtenu par action de l'ammoniaque sur l'acide phosphorique, il présente deux avantages, celui d'un engrais riche et celui d'un engrais complexe



Engrais complexes

Obtenus par des réactions diverses à partir soit des phosphates, soit de l'acide phosphorique et faisant intervenir des produits azotés ou potassiques.

Parmi les autres procédés, citons la fusion des phosphates en four électrique, la production de phosphate élémentaire

2°/ L'Acide phosphorique

Il existe actuellement deux méthodes principales pour l'élaboration de l'acide phosphorique

a/ Procédé par voie humide

Action de $\text{PO}_4 \text{H}_3$ en excès sur les phosphates aboutissant à un acide phosphorique à 32% $\text{P}_2 \text{O}_5$ que l'on concentre généralement à 54% $\text{P}_2 \text{O}_5$ en éliminant une partie du sulfate formé.

b/ Procédé au four électrique

Passage au four électrique d'un mélange de phosphate et de silice. On recueille le phosphore sous forme de vapeur que l'on brûle. On obtient ainsi un acide assez pur (54%). Ce procédé est très coûteux en énergie et n'est donc compétitif qu'avec un faible coût du kWh.

Il nous faut citer enfin les engrais composés obtenus par simple mélange physique d'engrais divers en proportions variables.

Cette énumération très succincte n'a qu'une valeur indicative et ne prétend qu'à donner une idée des différents engrais phosphatés utilisés actuellement.

...../...

B - Point de vue économique et Evolution (Tableaux)

Evidemment comme les procédés l'indiquent, les prix d'élaboration sont largement fonction du prix de l'acide sulfurique. Ils sont aussi fonction de la taille de l'unité de production. Cependant, nous donnerons ici un ordre de grandeur de ces prix pour les quelques produits de base, ceci dans le but d'illustrer l'avantage des produits riches tant du point de vue de la fabrication que du point de vue du transport. Il y a cependant une contrepartie due à la taille plus grande des ensembles prévus pour les produits riches, cela empêche donc les pays à marché restreint de suivre cette évolution.

D'autre part, du point de vue du consommateur, il est plus intéressant de pouvoir faire en un seul épandage tout l'apport d'engrais dont sa terre a besoin. Il y a donc une tendance à l'élaboration d'engrais complexes et d'engrais composés ; ces derniers qui peuvent être utilisés sur place par le distributeur sont particulièrement recherchés ; ils peuvent, en effet, être adaptés aux besoins du sol d'une région et ils évitent ainsi l'effort de recherche personnelle du consommateur qui a rarement les moyens de le faire.

A la suite de ces remarques sur l'évolution différentielle des produits élaborés, nous pouvons essayer de tracer les grandes lignes de l'évolution de la consommation globale d'engrais phosphatés. Actuellement la consommation mondiale d'engrais phosphatés est de l'ordre de 12 MT de P_2O_5 , elle progresse au taux annuel de 5 à 6% depuis dix ans ; elle semble devoir continuer à ce rythme.

En effet, bien peu de pays sont arrivés à saturation (Belgique, Pays-Bas) et au contraire de nombreux pays jusqu'alors très en retard pour le traitement des sols par les engrais font actuellement un effort tout particulier pour accroître la productivité agricole. (URSS, Pays de l'Est, Chine).

Enfin, des pays commencent à peine à utiliser les engrais (Pays africains et asiatiques pour la majorité).

Donc cet essor des pays en voie de développement va changer la répartition de la consommation mondiale. Cependant, l'Europe de l'Ouest et l'Amérique du Nord resteront encore longtemps les plus gros consommateurs.

Il peut se poser le problème de savoir si la production d'engrais suivra cet appel de la consommation. Les pays de l'Est ont de gros

. . . . /

programmes d'investissements en la matière, les pays producteurs de phosphates ont tendance à transformer une partie de leurs produits sur place et les pays actuellement gros producteurs d'engrais font un réel effort à la fois de modernisation et d'équipement; c'est dire que la progression de la consommation est ressentie par tous, cependant, il semble que les industries des engrais auront du mal à suivre cette évolution. Il est peu probable qu'il y ait surcapacité sur une longue période. Ceci semble montrer que la consommation sera un peu ralentie par la progression plus lente de la production. Evidemment une crise de surproduction locale peut arriver, mais il ne semble pas qu'elle puisse être importante sur le plan mondial. Elle présenterait plutôt les symptômes d'une crise d'adaptation ou de croissance.

TABLEAU A - 1 - PRIX DE TRANSFORMATION (en \$)

Super 20	9,1	15	74,9	85
PO ₄ H ₃ 54%	11,2	43,2	80	105,4
Super Triple 46	9,9	35,7	77,7	104,7
Phosphate d'Ammonium N. 18 P ₂ O ₅ - 46	9,5	62,1	84,6	117,2
	Prix du phosphate inclus dans 1 T de produit	Prix de revient /Tonne de produit	Prix de revient / T F ₂ O ₅	Prix de vente / T P ₂ O ₅

(Aux U.S.A. et sous toutes réserves.
A titre indicatif)

TABLEAU A - II - INSTALLATIONS EN PLACE ET PREVUES

(en 1000 T F₂ O₅)

	Capacité en 1961	En Construction	Total	Supplément en 1966	Supplément en 1971
Europe de l'Ouest	4 578	512	5 090	excès 94	610
Amérique du Nord	5 142	88	5 230	excès 1 457	excès 554
Europe de l'Est	2 558	192	2 750	593	1 803
Autres	2 272	428	2 700	958	2 515
Chine Exceptée TOTAL	14 550	1 220	15 770	0	4 374

TABLEAU A-III CONSOMMATIONS D'ENGRAIS PHOSPHATES (1961)

En 1 000 T
P₂O₅

	Phosphate moulu	Super construction	Produits concentrés	Composés et complexes	
Europe de l'Ouest	145	982	72	1 244	1 141
Europe de l'Est	288	1 349	6	-	211
Afrique	14	161	43	99	
Amerique du Nord	35	127	432	2 010	7
Autres	285	1 023			
Total	768	3 741	696	3 724	1 382
Pourcentage	7,1	34,7	6,3	34,4	12,8
France en %	9,4	26	13,2	9,7 (composés) (seuls)	41,7