



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50<sup>th</sup> anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

## FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

## CONTACT

Please contact [publications@unido.org](mailto:publications@unido.org) for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at [www.unido.org](http://www.unido.org)

OFIUDI - REUNION PREPARATOIRE MONDIALE EN VUE DE LA PREMIERE CONSULTATION  
REGIONALE AFRICAINE SUR L'INDUSTRIE DES ENGRAIS ET DES PESTICIDES  
(LOME, 3 AU 6 FEVRIER 1988)

---

16738

PROBLEMES DU DEVELOPPEMENT

DES PHOSPHATES

ET ENGRAIS PHOSPHATES

Christian FAYARD  
Consultant OFIUDI

Novembre 1987

# PROBLEMES DE LA FERTILISATION PHOSPHATEE

## PREAMBULE

### LES PRINCIPAUX ENGRAIS PHOSPHATES

#### . LES PRODUITS

1. Produits contenant des phosphates totalement attaqués
2. Produits phosphatés obtenus par voie thermique
3. Produits contenant du phosphate naturel
4. Produits contenant des phosphates partiellement attaqués

#### . PRODUITS DE LA FAMILLE 2

#### . PRODUITS DE LA FAMILLE 3

#### . PRODUITS DE LA FAMILLE 4

#### . PRESENTATION COMMERCIALE DES ENGRAIS

### LES PROBLEMES DE LA PRODUCTION

#### . LES MATIERES PREMIERES DE BASE

#### . LES MATIERES PREMIERES INTERMEDIAIRES

#### . LES MATIERES PREMIERES COMPLEMENTAIRES

#### . LES CRITERES DE CHOIX POUR LES MATIERES PREMIERES

##### I. LE PHOSPHATE

I.1. Applicat'on directe

I.2. Fabrication de l'acide phosphorique

I.3. Nitrophosphates

I.4. Superphosphates

I.5. Attaques partielles

##### II. L'ACIDE PHOSPHORIQUE

##### III. DAP, MAP, SUPERPHOSPHATES

.../...

**LES STRATEGIES DE PRODUCTION**

**LES PROBLEMES DE L'INDUSTRIE TRADITIONNELLE**

**REFLEXIONS SUR UN SYSTEME NATIONAL**

**SCHEMA SIMPLIFIE D'ETUDE D'UN PROJET LOCAL DE PRODUCTION**

**CONCLUSION**

**ANNEXE**



\*\*\*\*\*  
**\* PROBLEMES DE LA FERTILISATION PHOSPHATEE \***  
\*\*\*\*\*

**Préambule.**  
-----

\* Il est évident que penser résoudre un aussi vaste problème dans un aussi court rapport, est sans aucun doute une gageure. Tout au plus pouvons-nous espérer faire découvrir à nos lecteurs certaines de nos réflexions qui pourront, nous l'espérons, leur montrer de nouvelles possibilités et les aider à trouver une solution à leurs problèmes.

\* La complète séparation entre fertilisation phosphatée et les autres formes de fertilisation ( N et K<sub>2</sub>O ) n'est pas envisageable, compte tenu que l'élément P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ne peut être utilisé seul et n'est en fait qu'un maillon indispensable de la fertilisation. (Certains engrais phosphatés de base comme le DAP et le MAP sont d'ailleurs directement associés à l'azote).

\* Il faut bien noter aussi que l'étude est destinée à des situations très différentes, difficilement comparables. selon les pays. Par exemple, on peut citer des :

- Pays possédant déjà une industrie des engrais phosphatés tournée vers les marchés internationaux ou au contraire vers le marché national.
- Pays dont la situation géographique ( Accès maritimes et voies de communications) permet une pénétration facile de produits importés ou au contraire pays enclavés.
- Pays possédant ou non un marché intérieur important et solvable.
- Pays possédant des ressources importantes en matières premières de qualité répondant aux normes de l'industrie des engrais.
- Pays possédant des ressources en matières premières médiocres en quantité et en qualité et plus ou moins faciles à exploiter.
- Pays subventionnant leur agriculture à travers les engrais.
- Pays ayant une politique agricole définie. (Soutien de cultures industrielles, ou développement des cultures vivrières, etc... ).

.../...

- Pays possédant un environnement technique pouvant de ce fait mieux maîtriser un projet industriel.
- Pays cherchant avant tout à minimiser toute forme d'intrant.
- Pays à conditions de culture différentes (Sols, climat, plantes, etc...).
- Etc ...

On peut en fait envisager une infinité de combinaisons et ceci illustre déjà la complexité du problème à résoudre.

Il n'y a pas de solution générale et les cas doivent être étudiés individuellement.

\* Les gisements de minerais phosphatés sont relativement répandus en Afrique, on peut donc penser pouvoir réaliser une fertilisation phosphatée, utilisant ces ressources.

-----  
**LES PRINCIPAUX ENGRAIS PHOSPHATES.**  
 -----

Ils sont en fait très nombreux. Nous citerons le maximum de produits, en signalant au passage (\*) les produits encore expérimentaux.

Les produits :

Ces produits peuvent être classés en 4 grandes familles :

1 - Produits contenant des phosphates totalement attaqués.

- 
- Superphosphates simples. (attaque  $SO_4H_2$ )
  - Superphosphates enrichis. (attaque  $SO_4H_2$  et  $PO_4H_3$ )
  - Superphosphates triples. (attaque  $PO_4H_3$ )
  - Nitrophosphates. (attaque  $NO_3H$ )
  - Sulfo-nitrophosphates. (attaque  $NO_3H + SO_4H_2$ )
  - Sulfo-nitro-phosphophosphates. (att.  $NO_3H+SO_4H_2+PO_4H_3$ )
  - Phosphate bicalcique. (attaque  $HCl$ )
  - Acides phosphorique et superphosphorique
  - Sels des acides précédents. (DAF, MAP, etc...)
  - Etc...

2 - Produits phosphatés obtenus par voie thermique.

- 
- Phosphate alumino-calcique (Phospal)
  - Phosphates désagrégés (Rhénania)
  - Phosphates fondus (Chine, Canada, Brésil)
  - Scories de déphosphoration de l'acier

.../...

### 3 - Produits contenant du phosphate naturel

---

- Engrais pour "Application directe" contenant essentiellement du phosphate broyé comme produit phosphaté.
- (\*) - Associations phosphate broyé et matières organiques.
- Associations phosphate broyé et Soufre. (Bio-super)
- (\*) - Associations phosphate broyé+Soufre+bactéries. (Procédé Polonais)
- (\*) - Associations phosphate broyé+micro-organismes. (Indes )

### 4 - Produits contenant des phosphates partiellement attaqués

---

- Attaque par acide phosphorique.
- Attaque par acide sulfurique.
- Attaque par acide nitrique.
- Attaque par un mélange des acides précédents.
- Attaque par acides précédents en présence de sels.
- (\*) - Attaque par oxydes nitreux en présence de matières organiques. (Procédé Humifert)
- (\*) - Attaque par acides organiques générés par un compostage simultané de matières organiques.
- (\*) - Attaque par SO<sub>3</sub> (Procédé polonais).

On peut confirmer qu'ils sont en fait très nombreux et très divers et que là aussi les possibilités offertes sont très grandes.

Si les produits de la famille 1 sont bien connus, car ils correspondent à la gamme traditionnelle des engrais, il n'en est pas de même avec les autres familles et il convient de fournir un minimum d'informations complémentaires.

### Produits de la famille 2.

---

- Phospal qui est un produit particulier obtenu par traitement thermique d'un minerai de phosphate aluminocalcique du Sénégal. % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 30 à 34 .Produit intéressant pour la fertilisation de terres neutres ou alcalines.
- Phosphates désagrégés obtenus par traitement thermique de minerais de phosphate en milieu alcalin en présence de silice. Production nécessitant beaucoup d'énergie.
- Phosphates fondus obtenus par traitement thermique à haute température de mélanges de minerais phosphatés et de fondants comme par exemple la serpentinite. Ces produits peuvent être fabriqués de manière quasi-artisanale, mais demandent une grande quantité d'énergie. Ils sont très répandus en Chine. (Phosphate de magnésium). Des phosphates de basse qualité peuvent être utilisés. Ces produits ont des propriétés neutralisantes. % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 15 à 20.

.../...

- Scories qui sont en fait un sous produit de la déphosphoration de l'acier. % P2O5 =12 à 18. Produit contenant CaO et MgO, donc neutralisant. Produit contenant de nombreux oligo-éléments.

### Produits de la famille 3

-----

Cette famille moins répandue, correspond à des produits beaucoup plus particuliers. En effet on peut utiliser dans certaines circonstances, directement le minerai de phosphate comme engrais.

\*Le phosphate contenu dans ce type d'engrais n'a donc pas subi de traitement chimique et de ce fait se trouve sous sa forme d'origine; par contre il doit être généralement broyé.

Le transfert du P2O5 de ce produit vers le sol et la plante est beaucoup plus lent que dans les autres formes d'engrais et un certain nombre de précautions doivent être prises si l'on ne veut pas aboutir à un échec.

\*L'utilisation de ce type d'engrais amène certaines contraintes :

- Acidité du sol (pH < 5.5)
- Conditions climatiques ( Pluviométrie et chaleur )
- Efficacité variable selon les plantes.
- Nécessité en général d'un broyage fin. (90% < 63 microns)
- Qualité du phosphate. (Tous les phosphates ne sont pas utilisables)

Des analyses très fines doivent être réalisées pour juger de la qualité du phosphate :

- Solubilité dans divers réactifs. (Acides Formique, citrique, etc)
- Cinétique d'extraction du P2O5 en colonnes.
- Porosité du phosphate (Absorption Hg ou BET)
- Paramètres cristallographiques.
- Analyses minéralogiques.
- Essais agronomiques de confirmation. (Mesures du P2O5 extrait par la plante)

\*Ces précautions prises, on peut obtenir par cette voie des produits extrêmement efficaces et très économiques.

(Le continent africain possède un certain nombre de phosphates utilisables : Tunisie, Algérie, Maroc, Sénégal (Matam), Mali (Tilensi), etc..)

\*On a souvent reproché à ce genre de produits leur manque de concentration, rendant leur transport coûteux. Cette remarque demande à être corrigée, car ces phosphates ont un effet amendant sur les sols généralement acides de l'Afrique, grâce à leur apport en CaO et en MgO. Un calcul très simple permet de faire une comparaison intéressante.

.../...



| Quantité                 | P2O5  | CaO---->CO3Ca | Total<br>P2O5+CO3Ca |
|--------------------------|-------|---------------|---------------------|
| 1.0 tonne super triple = | 0.450 | 0.200 0.400   | 0.850               |
| 1.6 tonne phosphate =    | 0.450 | 0.720 1.440   | 1.890               |

Quantité P2O5+CO3Ca amenée par 1 Tonne super triple = 0.850  
 Quantité P2O5+CO3Ca amenée par 1 Tonne phosphate = 1.180

\*Les critères de sélection des phosphates sont très différents de ceux habituellement retenus et permettent d'utiliser des phosphates considérés comme inintéressants et de ce fait bon marché.

\* Les autres produits de cette famille correspondent au souci d'augmenter la disponibilité du P2O5 du phosphate utilisé par :

- Une solubilisation se faisant dans le sol par différents moyens comme :

Oxydation naturelle du soufre---->SO2---->SO3

Oxydation accélérée du soufre par bactéries.

Solubilisation directe par des bactéries ou des champignons.

Les auteurs prétendant pouvoir utiliser un large choix de phosphates. (Phosphates indurés par exemple)

#### Produits de la famille 4

Cette famille correspond aussi à des produits assez particuliers, qui sont en fait des intermédiaires entre les produits d'application directe et les produits conventionnels considérés comme totalement et immédiatement solubles.

On a vu plus haut que dans le cas de l'application directe des phosphates, un des facteurs limitant l'emploi de cette technique était une mise à disposition du P2O5 pour la plante relativement lente, et que de ce fait la sélection des phosphates directement utilisables devait être rigoureuse, éliminant un grand nombre de phosphates.

Le besoin s'est donc fait rapidement sentir de chercher à améliorer par des attaques partielles du phosphate la mobilité du P2O5 pour augmenter :

- Les qualités agronomiques du phosphate.
- La gamme des phosphates utilisables.
- Le domaine d'application (Sols moins acides)

Là aussi un certain nombre d'erreurs ont été faites et contrairement à ce que l'on espérait, des produits obtenus par attaque partielle se sont montrés moins efficaces agronomiquement parlant que le phosphate de départ. Une technique qui paraissait simple au départ s'est révélée beaucoup plus compliquée en réalité.

.../...

On s'est aperçu très vite qu'il fallait parfaitement maîtriser les conditions de réaction et empêcher la formation de certains composés chimiques intermédiaires apparaissant lors de ces attaques et qu'une fois ces conditions remplies la technique de mise en oeuvre est relativement simple.

(Voir annexe concernant les attaques partielles)

On a aussi constaté que ces produits ne sont pas la juxtaposition de produits attaqués et non attaqués, mais que leurs propriétés en font des produits à part, surtout si l'on examine de près leurs propriétés agronomiques.

\* En conclusion, on peut par des attaques partielles du phosphate :

- Obtenir des produits agronomiquement intéressants

- Efficacité agronomique.
- Effet amendant par apport de Ca et Mg.
- Effet starter amené par la partie attaquée.
- Rémanence du P2O5
- Moindre blocage du P2O5 dans certains sols
- Etc...

- Obtenir des produits économiquement intéressants

- Diminution de la quantité d'agent d'attaque. Des % d'attaque de 20 à 30 % étant généralement suffisants pour obtenir des produits efficaces. (Acide généralement coûteux)
- Elargissement de la gamme des phosphates utilisables avec possibilité d'utilisation de phosphates considérés généralement comme peu intéressants. (Réactivité, %R2O3, %MgO)
- Simplification des installations de traitement, (techniques semi-artisanales)
- Etc...

Néanmoins l'opportunité de mise en oeuvre de cette technique est liée à un certain nombre de paramètres qui demandent à être étudiés cas par cas. Le but final de toute opération étant la minimisation du coût de la fertilisation et non la production d'un engrais bon marché.

.../...

## **Présentation commerciale des engrais**

---

\* Les produits sont commercialisés sous différentes présentations :

- Pulvérulents fins : < 200 microns comme le phosphate broyé, généralement peu appréciés par l'utilisateur à cause des poussières.
- Pulvérulents grossiers : < 2 mm
- Semi-granulés : < 6-7 mm (Run of Pile).
- Granulés : produits sphériques de dimension 1.5-4mm ou 2-5 mm, faciles à stocker et à manipuler, reprise en masse faible, peu poussiéreux, etc..
- Compactés : produit moins sphérique, aspect de concassé, plus poussiéreux du fait de l'abrasion de ses arêtes.
- Pour mémoire Liquides, suspensions, slurries, etc, car formes non utilisées en Afrique.

\* Conditionnement en sacs de 50 Kgs polypropylène tissé avec sac intérieur étanche en polyéthylène cousus. Le vrac est très peu utilisé.

---

## **LES PROBLEMES DE LA PRODUCTION.**

---

.....  
Les matières premières de base.  
.....

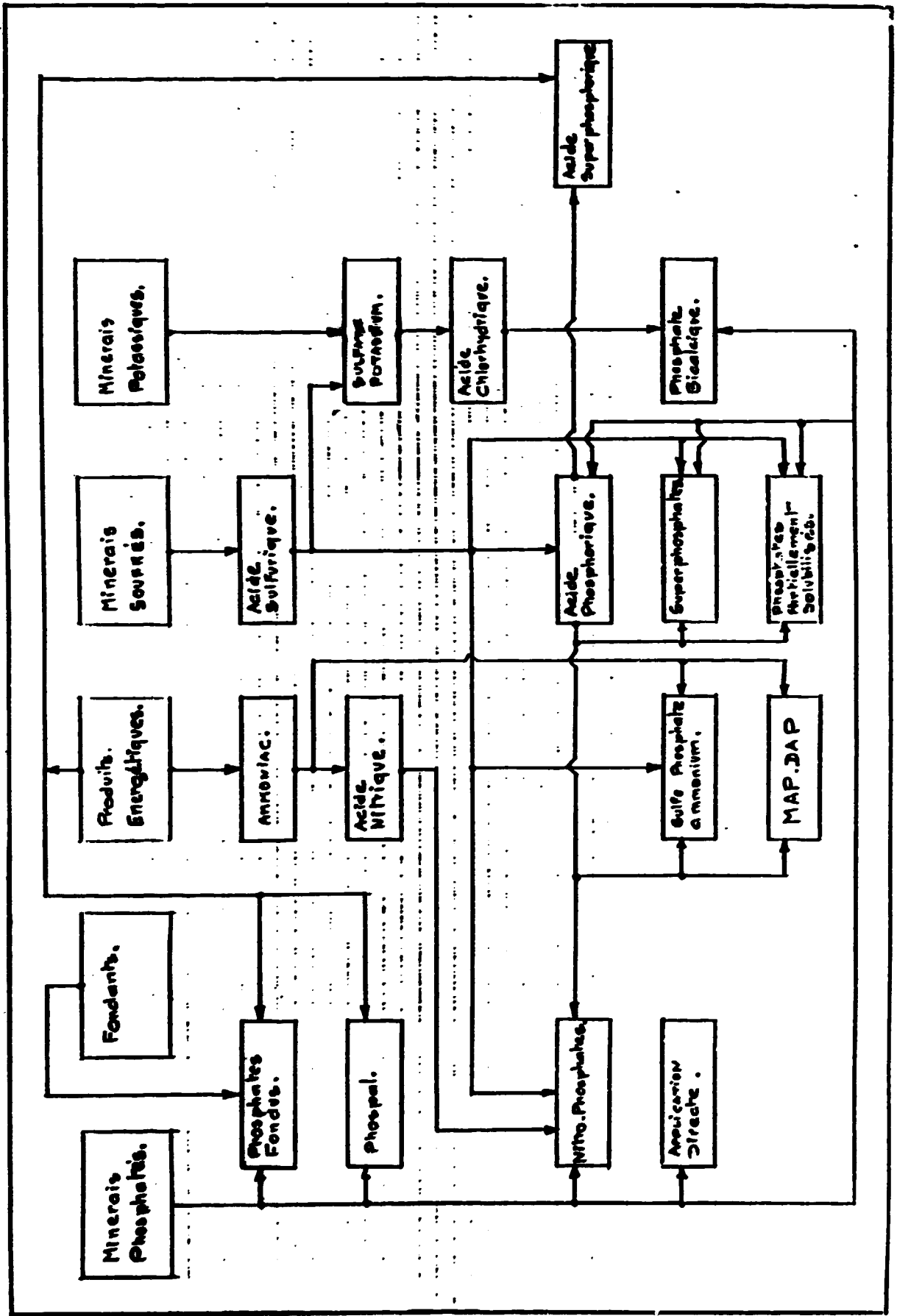
La fabrication des engrais demande un nombre limité de matières premières de base qui sont :

- Les minerais phosphatés.
- Les matières énergétiques (Charbon, pétrole, gaz, électricité, Lignites, Etc...)
- Les minerais soufrés (Sulfures métalliques, Gypse, Soufre.)
- Les minerais potassiques (Sylvinite, Carnallite, Etc...)
- Les minerais magnésiens (Serpentinite, Dolomie, Giobertite, etc...)

Ces produits peuvent participer plus ou moins d'une manière directe à l'élaboration des engrais phosphatés.

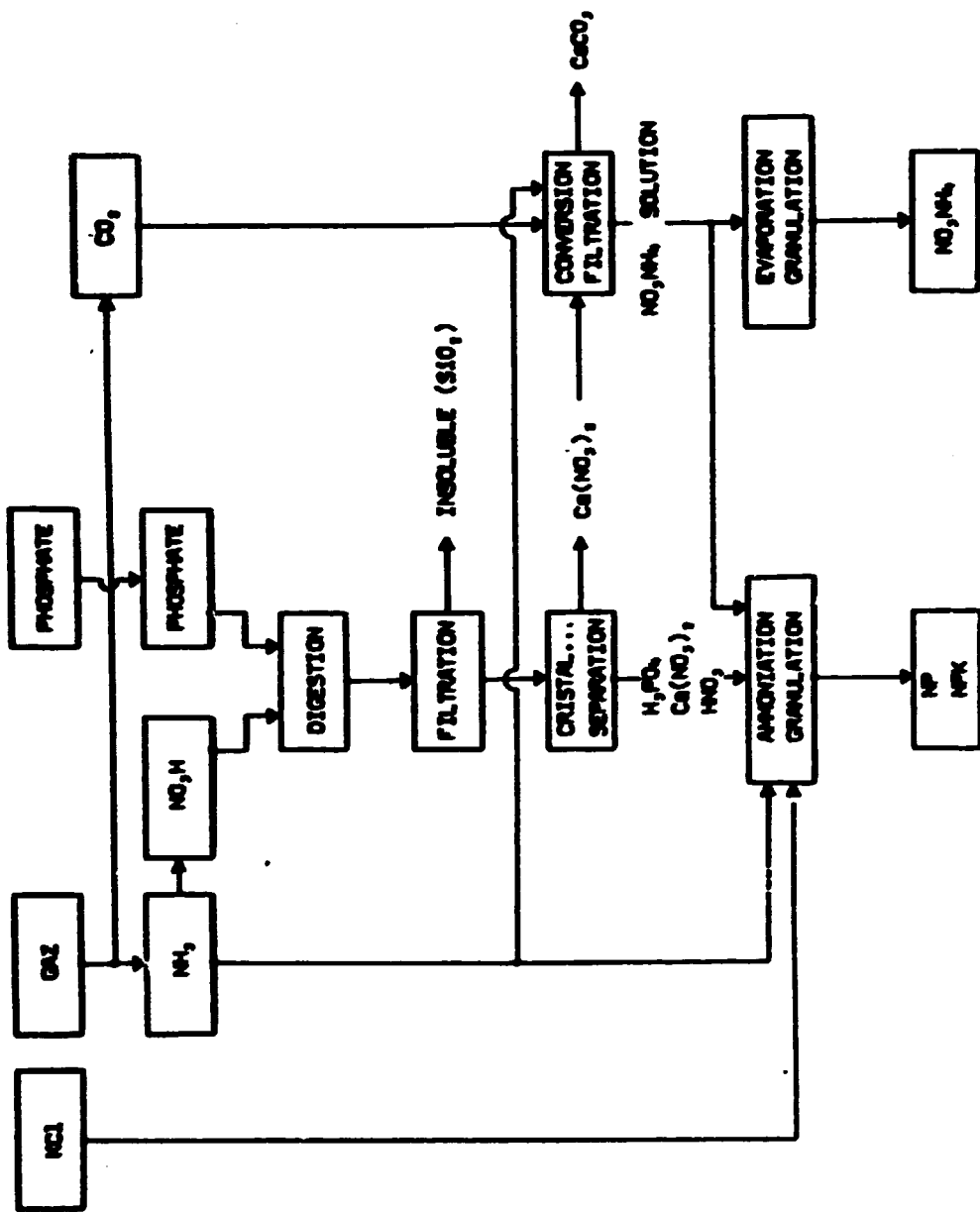
Les principales filières de fabrication sont indiquées dans les tableaux suivants qui montrent les principales combinaisons envisageables.

.../...



**TABLEAU NO 1**





Tabl. 3. Les nitrophosphates.

.....  
**Les matières premières intermédiaires.**  
.....

Ce sont des produits qui sont fabriqués plus ou moins directement à partir des produits de base et qui sont des intermédiaires importants dans la fabrication des engrais.

Ils peuvent être facilement achetés comme matières premières pour des industries transformatrices; ils sont fabriqués généralement dans les grands complexes chimiques.

On peut citer :

- Acides sulfurique, phosphorique, nitrique.  
( à noter que du fait de sa concentration en fertilisant l'acide nitrique ne peut voyager)
- Ammoniac. (Produit concentré 82% N, difficile à transporter et à stocker)
- Urée, Nitrate d'ammoniaque, DAP, MAP, Super 45 qui sont aussi considérés comme des produits finis.

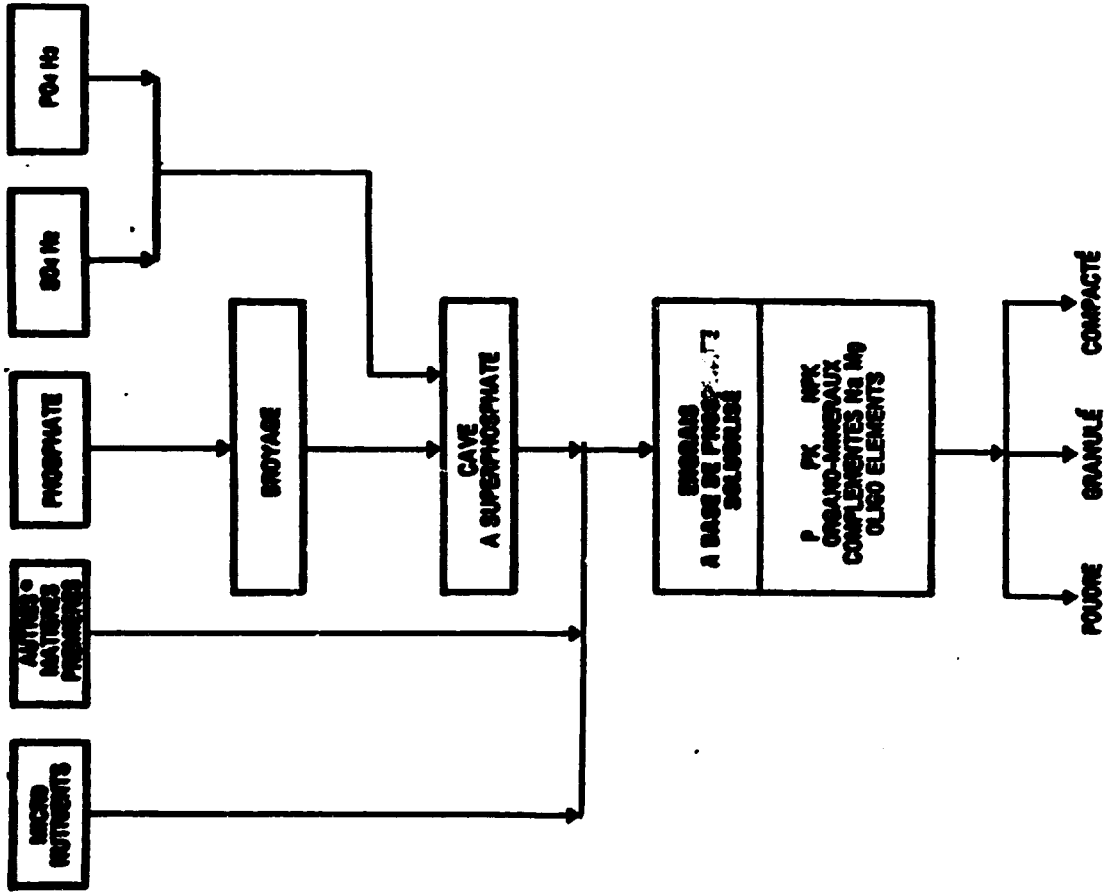
.....  
**Les matières premières complémentaires.**  
.....

Celles-ci sont indispensables à la fertilisation et peuvent être associées aux produits phosphatés indiqués précédemment. On peut citer :

- Sulfate d'ammoniaque
- Bicarbonate d'ammonium
- Nitrate de potassium
- Nitrate de Calcium
- Chlorure de potassium
- Sulfate de potassium
- Sulfate de potassium et magnésium
- Oligo-éléments
- Oxydes et sels de magnésium
- Etc ...

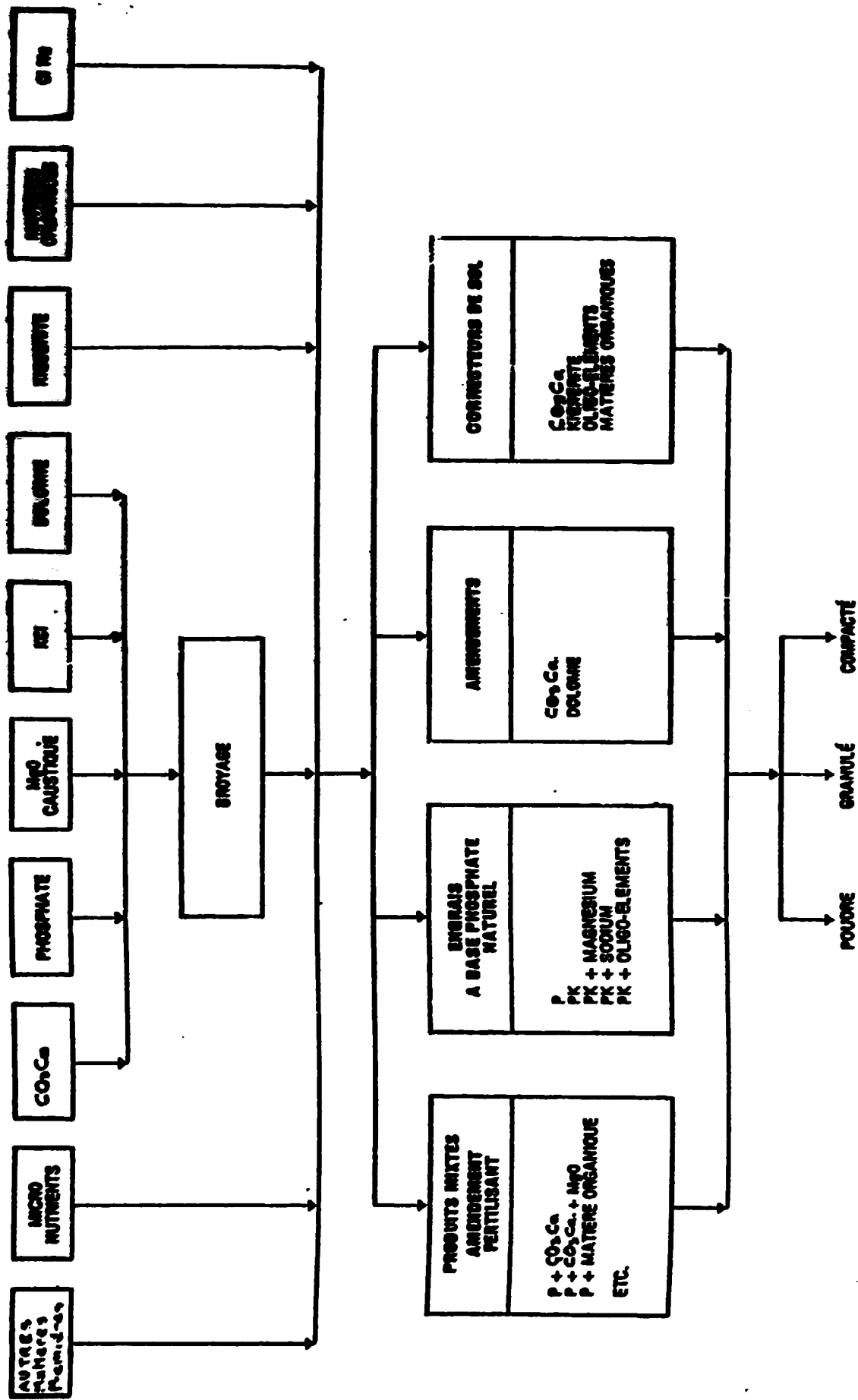
Les engrais phosphatés de base devant être dans la mesure du possible compatibles avec ces substances.

.../...

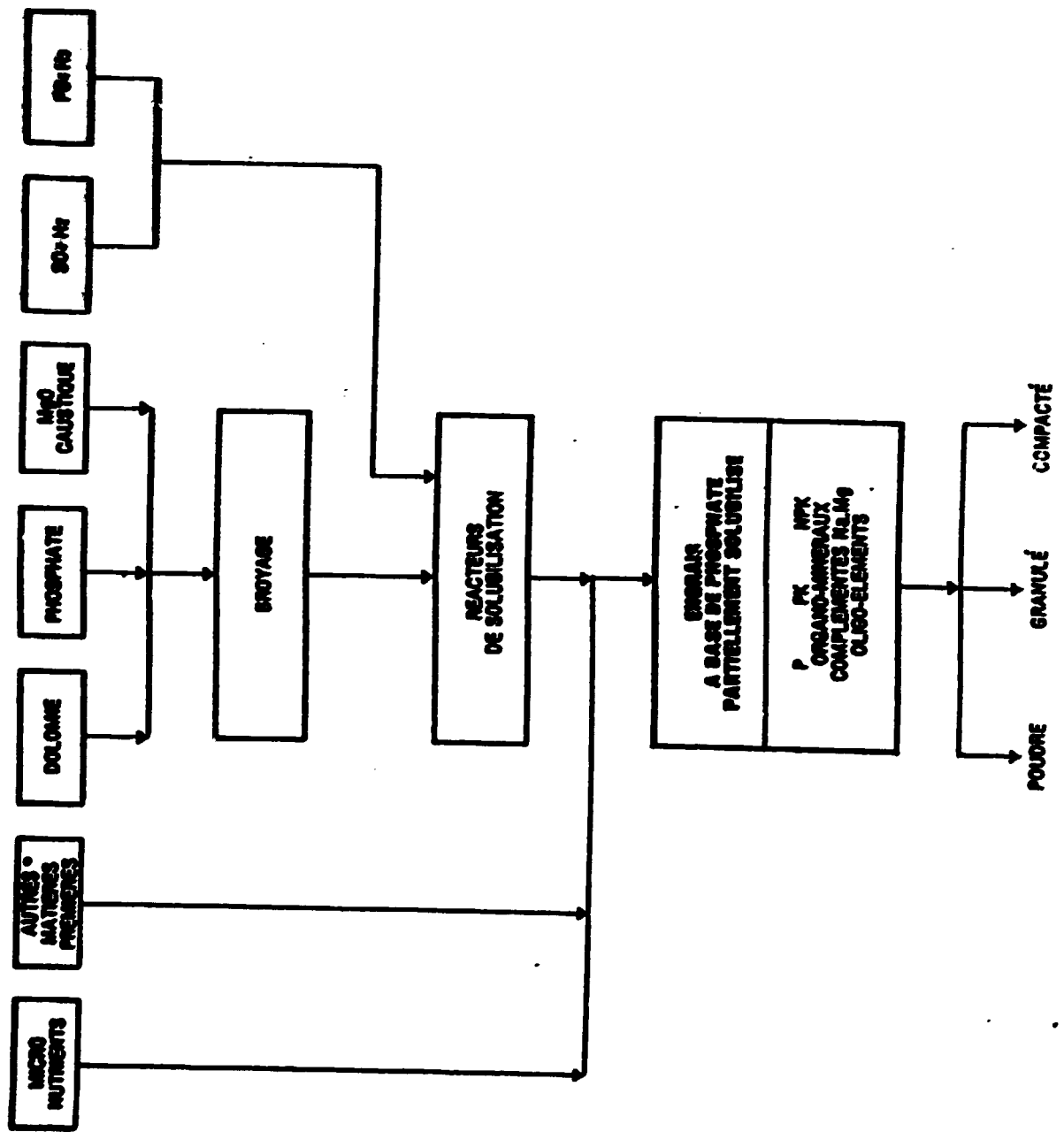


Tabl. 4. Les engrais à base de phosphate dit totalement solubilisé





Tabl. 5.- Les engrais à base de phosphate naturel



Tabl. 6. Les engrais à base de phosphate partiellement solubilisé

|                                        | N | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | MgO | S | OLIGO<br>ELEMENTS | MAT.<br>ORGANIQUES |
|----------------------------------------|---|-------------------------------|------------------|-------------------|-----|---|-------------------|--------------------|
| PHOSPHATE                              |   | •                             |                  |                   |     |   |                   |                    |
| PHOSPHATE PARTIELLEMENT SOLUBILISÉ     |   | •                             |                  |                   |     | • |                   |                    |
| SUPER SIMPLE                           |   | •                             |                  |                   |     | • |                   |                    |
| SUPER TRIPLE                           |   | •                             |                  |                   |     |   |                   |                    |
| PHOSPHATE ALUMINO-CALCIQUE             |   | •                             |                  |                   |     |   |                   |                    |
| SCORIES DE DEPHOSPHORATION             |   | •                             |                  |                   |     |   | •                 |                    |
| PHOSPHATE BICALCIQUE                   |   | •                             |                  |                   |     |   |                   |                    |
| PHOSPHATE DE POTASSIUM                 |   | •                             | •                |                   |     |   |                   |                    |
| MAP                                    | • | •                             |                  |                   |     |   |                   |                    |
| DAP                                    | • | •                             |                  |                   |     |   |                   |                    |
| SULFATE D'AMMONIUM                     | • |                               |                  |                   |     | • |                   |                    |
| CARBONATE D'AMMONIUM                   | • |                               |                  |                   |     |   |                   |                    |
| NITRATE D'AMMONIUM                     | • |                               |                  |                   |     |   |                   |                    |
| CHLORURE D'AMMONIUM                    | • |                               |                  |                   |     |   |                   |                    |
| NITRATE DE POTASSE                     | • |                               | •                |                   |     |   |                   |                    |
| CYANAMIDE                              | • |                               |                  |                   |     |   |                   |                    |
| URÉE                                   | • |                               |                  |                   |     |   |                   |                    |
| URÉE - SOUFREE                         | • |                               |                  |                   |     | • |                   |                    |
| SULFU-NITRATE D'AMMONIUM               | • |                               |                  |                   |     | • |                   |                    |
| NITRATE DE CALCIUM                     | • |                               |                  |                   |     |   |                   |                    |
| Na <sub>2</sub>                        | • |                               |                  |                   |     |   |                   |                    |
| SULFOMAG                               |   |                               | •                |                   | •   | • |                   |                    |
| SULFATE DE POTASSIUM                   |   |                               | •                |                   |     | • |                   |                    |
| CHLORURE DE POTASSIUM                  |   |                               | •                |                   |     |   |                   |                    |
| RESIDU FABRICATION LYSINE              | • |                               | •                |                   |     | • |                   | •                  |
| CHLORURE MIXTE SODIUM POTASSIUM        |   |                               | •                | •                 |     |   |                   |                    |
| CHLORURE DE SODIUM                     |   |                               |                  | •                 |     |   |                   |                    |
| PHOSPHATE DE SOUDE                     | • |                               |                  | •                 |     |   |                   |                    |
| PHOSPHATE CALCO-MAGNÉSIEN              | • |                               |                  |                   | •   |   |                   |                    |
| SOUFRE                                 |   |                               |                  |                   |     | • |                   |                    |
| KIESERITE                              |   |                               |                  |                   | •   | • |                   |                    |
| OXYDE DE MAGNÉSIUM                     |   |                               |                  |                   | •   |   |                   |                    |
| DOLOME                                 |   |                               |                  |                   | •   |   |                   |                    |
| CARBONATE DE MAGNÉSIUM                 |   |                               |                  |                   | •   |   |                   |                    |
| COLEMANTE                              |   |                               |                  |                   | •   |   |                   |                    |
| BORATE DE SODIUM                       |   |                               |                  | •                 |     |   | •                 |                    |
| MAENL                                  |   |                               |                  |                   | •   |   | •                 |                    |
| ISOBUTYLÈNE DI-URÉE                    | • |                               |                  |                   |     |   |                   |                    |
| VINASSES                               | • |                               | •                |                   |     | • |                   | •                  |
| MELASSES                               |   |                               |                  |                   |     |   |                   | •                  |
| CORNE BROYÉE                           | • |                               |                  |                   |     |   |                   | •                  |
| DECHETS DE CUIR TORRÉFIÉ               | • |                               |                  |                   |     |   |                   | •                  |
| RESIDUS AGRICOLES SECHÉS               | • |                               |                  |                   |     |   |                   | •                  |
| PIENTES DE VOLAILLES                   | • |                               |                  |                   |     |   |                   | •                  |
| SO <sub>2</sub> Cu - Cu <sub>2</sub> O |   | •                             | •                |                   | •   | • |                   | •                  |
| SO <sub>2</sub> Zn - ZnO               |   |                               |                  |                   |     |   | •                 |                    |
| SO <sub>2</sub> Mn - MnO ETC           |   |                               |                  |                   |     |   | •                 |                    |

Tabl. 7. Liste des matières premières de base ou annexes entrant dans la fabrication des engrais.

.....  
**Les critères de choix pour les matières premières**  
.....

Comme on a déjà pu le voir dans les paragraphes précédents le choix des matières premières dépend en général de leur utilisation ultérieure. Nous allons ici essayer de dégager pour les produits principaux les critères à retenir.

**I-Le phosphate.**  
-----

C'est le produit de base fondamental.

**I-1 Application directe**  
-----

- La solubilité du phosphate dans les acides formique ou citrique
- La solubilité dynamique
- La porosité du phosphate et sa surface spécifique
- Certains paramètres cristallographiques et minéralogiques.
- La concentration en P2O5 du phosphate qui est déterminée uniquement par les problèmes de transport et qui peut être faible. (15 à 25%)
- Une teneur si possible faible en silice libre pour éviter des coûts d'entretien trop importants des broyeurs.
- La présence de Magnésium est par contre un avantage

On peut remarquer que si les caractéristiques du phosphate répondent aux critères d'utilisation en ce qui concerne la mobilité du P2O5, les autres contraintes sont relativement faibles, ce qui permet généralement d'utiliser directement le phosphate sans traitement d'enrichissement ou tout du moins après un traitement limité.

**I-2 Fabrication de l'acide phosphorique**  
-----

Les problèmes de fabrication sont ici beaucoup plus compliqués et imposent des contraintes beaucoup plus larges.

- Concentration en P2O5 maxi et Rapport P2O5/CaO le plus fort possible pour limiter l'emploi d'acide.
- % Al2O3 mini : : (Consommation acide et
- % Fe2O3 mini : ..... : formation de composés
- % MgO mini : : gênants)

.../...

- % Chlorures mini :
- Rapport SiO<sub>2</sub>/F : (Limitation de la corrosion)
- % Matières organiques mini (Formation de mousses et consommation anti-mousses )
- % Cadmium mini (Réglementation internationale.)
- % Silice libre mini (Limitation Abrasion)
- Réactivité des phosphates pour limiter :
  - les investissements de broyage et cuve de réaction
  - la consommation énergie lors du broyage et de l'agitation de la cuve de réaction
- Forme de cristallisation du Gypse (Filtration)
- Etc...

Des traitements d'enrichissement et d'épuration du minerai phosphaté parfois très coûteux sont donc en général nécessaires.

Les contraintes sont donc importantes et limitent les qualités de phosphate utilisables économiquement.

Pour la fabrication d'acide phosphorique, il est intéressant d'examiner les paramètres suivants, (ramenés à la fabrication d'une tonne de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de l'acide phosphorique):

- Quantité de phosphate nécessaire.
- Quantité de Soufre nécessaire.
- Quantité d'anti-mousses nécessaire.
- Quantité d'énergie
- Coût de l'entretien généré par corrosion et abrasion

Le montant de ces postes représente une grande partie du prix de revient de l'acide phosphorique.

### I-3 Nitrophosphates

-----

Les contraintes ici sont un peu moins importantes que celles indiquées précédemment, on peut citer :

- Rapport P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/CaO maxi (Limitation de la consommation d'acide)

.../...

- % CO<sub>2</sub> pas trop élevé :
- % Matières organiques mini : (Problème des mousses)

Par contre le niveau des investissements et la complexité des procédés sont plus importants.

#### I-4 Superphosphates

-----

Les contraintes sont voisines de celles de l'acide phosphorique avec cependant un peu plus de latitude.

- Tolérances plus grandes en % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO.
- Teneur en CO<sub>2</sub> appréciée (Expansion du superphosphate).
- Le phosphate devant être généralement broyé plus fin la dureté du phosphate et sa teneur en Silice libre est à surveiller de plus près.

#### I-5 Attaques partielles

-----

Dans le cas particulier des attaques partielles, les contraintes d'emploi du phosphate sont en général très faibles, car :

- les taux d'attaques du phosphate sont évidemment plus bas que dans les solubilisations totales et les réactions gênantes peuvent être mieux contrôlées.
- les traitements peuvent être adaptés à la qualité du phosphate utilisé.

On peut utiliser directement des phosphates classés comme inutilisables du fait de leur concentration en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO et ceci sans traitement d'enrichissement.

Dans ces conditions la gamme des phosphates acceptables est très large. En fait le problème posé est :

Comment traiter le phosphate disponible ?

#### II-L'Acide Phosphorique

-----

Ce produit est un intermédiaire important dans la fabrication des engrais et il rentre souvent comme matière première dans la fabrication de nombreux composés phosphatés. Les critères de qualité sont :

- Teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> > 50 %
- Teneur en matières en suspension (Limitation des dépôts et pertes lors des stockages et manutentions).

.../...

- Reprécipitation de sels minimum (Limitation des dépôts et incrustations)
- % minimum de sels en solution (Ce produit étant utilisé comme agent de réaction acide, le P2O5 contenu doit se trouver au maximum sous forme d'acide phosphorique )

Ce produit est coûteux à transporter et à stocker, car il demande des équipements spéciaux et des pertes sont à prévoir lors des opérations de stockage et transports.

### III-DAP, MAP, Superphosphates

-----

Ces produits complètement banalisés sur le marché international font l'objet d'une concurrence sévère entre les différents producteurs et sont en fait peu rémunérateurs. C'est ainsi que pour le MAP et le DAP l'azote contenue est généralement peu valorisée.

Ces produits présentent cependant l'avantage d'être très concentrés en unités fertilisantes et de ce fait peuvent supporter un transport sur de plus longues distances.

.....  
**Les stratégies de production.**  
 .....

3 stratégies de production peuvent être distinguées :

1 - Une stratégie basée sur la production d'engrais destinés à la grande exportation comme :

- Minerai de phosphate plus ou moins enrichi.
- Acide phosphorique.
- MAP et DAP.
- Superphosphate triple.
- Engrais NP et NPK les plus concentrés possible.

Stratégie qui demande une industrialisation très poussée pour produire en grandes quantités, une gamme limitée de produits standardisés. Cette stratégie est adaptée aux gros fabricants situés sur les sites phosphatiers importants.

(Fabrication de fertilisants phosphatés de base )

2 - Une stratégie intermédiaire basée sur l'approvisionnement de marchés proches. (Nationaux et voisins) qui correspond à des fabricants de taille moyenne. La gamme de produits finis est ici nécessairement plus large pour s'adapter aux conditions locales. Les conditions d'exploitation sont ici plus difficiles à contrôler et à optimiser.

.../...

Le problème majeur de cette stratégie est lié aux possibilités d'approvisionnement de matières premières à bon prix, l'effet éventuel de taille ne jouant plus.

- 3 - Une stratégie nationale basée sur la recherche d'une fertilisation économique et sur un système très léger, plus rustique, très proche de l'utilisateur final, le paysan.

Elle doit être capable d'utiliser au maximum les ressources locales mêmes modestes et en complément des matières premières banalisées qu'elle pourra se procurer à bon prix sur les marchés internationaux.

Souplesse et flexibilité doivent être ses atouts principaux.

Le choix de la stratégie de production est un élément de départ essentiel de la réflexion nécessaire à la réalisation d'un projet de fabrication d'engrais phosphaté.

.....  
Réflexions sur l'exploitation.  
.....

-Comme le montre le schéma simplifié de fabrication des principaux engrais phosphatés, la fabrication de ceux-ci dans le système traditionnel met en oeuvre un certain nombre d'ateliers de fabrication qui sont intégrés verticalement, ce qui amène une certaine complexité d'exploitation.

-Ces ateliers sont non seulement interdépendants par leurs produits, mais aussi par les transferts d'énergie.

-Ces ateliers de plus ne peuvent fonctionner qu'en continu, car les arrêts doivent être pour des raisons techniques limités dans le temps et les remises en route sont très coûteuses en énergie et en entretien. (Réchauffage des circuits, mise en régime lente, corrosions à l'arrêt, etc...)

D'où une certaine rigidité.

-Les points importants à prendre en compte sont :

- Technicité des ateliers demandant des opérateurs non seulement compétents, mais aussi très rigoureux et motivés (recherche permanente de l'exploitation maximale des possibilités de l'atelier).

- Niveau élevé des investissements. (Effet de taille important, instrumentation importante des ateliers pour pouvoir optimiser en permanence la marche et obtenir une bonne sécurité d'exploitation).

.../...



- Nécessité d'une gestion rigoureuse de l'énergie ayant pour conséquence l'obligation d'avoir en permanence un taux d'utilisation maximum de l'atelier.

La récupération d'énergie se réalise par sauts successifs. Une diminution du niveau d'utilisation de l'atelier par exemple de quelques % peut avoir des effets catastrophiques sur le bilan énergétique final.

- L'optimisation des performances d'un atelier est rarement atteinte dès sa mise en route. Il est courant qu'elle ne soit obtenue qu'après plusieurs années de travaux de mise au point et d'amélioration. Le perfectionnement des unités doit être un souci continu de l'opérateur.

- Les techniques évoluant aussi très vite, doivent être suivies en permanence et éventuellement adaptées à l'atelier. (Budget de développement)

- Le management de la production est très difficile et demande un écoulement régulier des produits fabriqués, si l'on ne veut pas avoir à supporter des stocks importants ou devoir arrêter en chaîne des ateliers.

- Le management de la maintenance doit être aussi irréprochable et maintenir un bon équilibre entre entretien préventif et interventions de dépannage, ce qui n'est pas facile à réaliser, s'il n'existe pas dans l'environnement de l'usine déjà un tissu industriel. (Problème des pièces de rechange et du soutien exceptionnel aux actions urgentes de dépannage.)

- La recherche de solutions techniques simples est prioritaire dans ces conditions. Il faudra favoriser lors de l'investissement la robustesse et à la limite la rusticité des installations.

- La qualification des opérateurs et surveillants dans les procédés continus doit être assez élevée, puisque ce sont eux qui tiennent entre leurs mains 24 heures sur 24 le sort d'unités sophistiquées et coûteuses. Ils doivent donc pouvoir supporter une situation assez stressante du fait des grosses responsabilités qu'ils doivent assumer et du rythme de travail (travail posté).

- Le recrutement local de ce type de personnel n'est pas facile, aussi il est souvent fait appel à des expatriés, ce qui augmente considérablement les charges salariales. Une politique de formation doit être mise en place.

- Il faut donc aussi penser simplicité d'exploitation.

.../...

-----  
**LES PROBLEMES DE L'INDUSTRIE TRADITIONNELLE**  
-----

\* La mise en oeuvre d'unités de production d'engrais destinés à la grande exportation et même aux marchés proches (Stratégie 1 et 2), est une opération très délicate à mener.

Elle ne devrait être envisagée que si une série exceptionnellement favorable de circonstances peut être établie.

La concurrence est impitoyable et l'on doit pouvoir se battre au moins à armes égales avec les concurrents, ce qui rend indispensable au moins la performance industrielle.

Il faut penser aussi que les concurrents valoriseront souvent leurs produits en fonction de politiques qui parfois n'aurent rien à voir avec les critères normaux de rentabilité et pratiqueront pour différentes raisons des prix de dumping:

- Volonté de s'assurer à plus ou moins longs termes le contrôle des marchés.
- Besoin à tout prix de récupérer des devises.
- Obligation de trouver des marchés pour assurer un niveau de marche acceptable de leurs unités (tonnes marginales).
- Protection de marchés privilégiés.
- Nécessité de déstockage.
- Etc...

\* Avant de se lancer dans ce genre d'opération, il est nécessaire de surveiller avec soin :

- les projets en cours d'étude ou de réalisation.
- les projets de reconversion et de restructuration.

Il convient aussi d'examiner auparavant avec soin les atouts possédés qui aideront à supporter cette situation.

Les paramètres importants à prendre en compte sont :

- Ressources significatives en phosphate de bonne qualité et facilement exploitables.
- Ressources en énergie (Gaz, pétrole, charbon, électricité.) importantes et fournissant une énergie bon marché.

.../...

- Ressources en produits contenant du soufre, pouvant être utilisées pour la fabrication d'acide sulfurique.
- Contrôle minimum du marché des produits finis ou de l'approvisionnement en matières premières lié par exemple au poids que l'on représente dans le marché mondial, à une situation géographique particulièrement favorable, ou à des accords privilégiés.
- Maîtrise parfaite des opérations de production et de maintenance des unités assurant un prix de revient de production intéressant.

En conclusion :

\*\*\*\*\*  
 Il nous paraît particulièrement hasardeux d'envisager une opération d'envergure internationale, si l'on ne maîtrise pas au moins trois des paramètres précédemment indiqués.  
 \*\*\*\*\*

(Les exemples d'opérations engagées dernièrement nous montrent bien le niveau des risques encourus.)

\*\*\*\*\*  
 L'industrie mondiale des engrais est actuellement en pleine crise et celle-ci est d'autant plus grave qu'elle ne correspond pas en fait à une surcapacité de production par rapport aux besoins des utilisateurs, mais au fait que le coût de ces engrais rendus aux champs ne peut être supporté par les clients potentiels.  
 \*\*\*\*\*

Il ne faut pas oublier non plus qu'un déséquilibre profond existe dans le monde pour les productions agricoles largement excédentaires dans de nombreux pays et en même temps fortement subventionnées.

Cette situation peut d'ailleurs rapidement changer, ce qui serait alors catastrophique pour un certain nombre de Pays en voie de développement qui n'auraient pas favorisé leur propre développement agricole.

Une remise en cause profonde doit donc être envisagée.

\*\*\*\*\*  
 \* Le coût de fertilisation doit diminuer pour l'utilisateur. \*  
 \*\*\*\*\*

.../...

Et puisque qu'une remise en cause profonde est nécessaire, on doit aller jusqu'au bout du problème et se poser un certain nombre de questions :

- Est-il possible de diminuer le prix des engrais traditionnels et dans l'affirmative comment ?
- Ceux-ci sont-ils réellement totalement adaptés aux conditions de culture de l'Afrique et recommandables dans tous les cas ?
- Sans nier l'efficacité et la nécessité d'utilisation des engrais traditionnels, n'existeraient-ils pas des produits alternatifs plus intéressants et plus économiques dans certaines situations ?
- Quel est le coût réel de la fertilisation si l'on intègre le coût des traitements complémentaires nécessaires au maintien d'une bonne fertilité des sols et à l'obtention d'un accroissement de production agricole?
- La logistique et la distribution sont-elles bien adaptées et ne peuvent-elles pas être toutes les deux améliorées ?
- Ne pourrait-on pas favoriser une mini-industrie locale qui serait capable de s'adapter aux besoins réels locaux et qui pourrait prendre en compte un certain nombre d'opérations simples comme :
  - La formulation des engrais
  - Le conditionnement
  - L'utilisation des ressources locales en matières premières.

et qui n'aurait qu'une position de transformateur utilisant les produits plus ou moins banalisés de la grande industrie disponibles à des prix intéressants ? (Exploitant ainsi les incohérences du marché mondial )

- Le système envisagé ne pourrait-il pas finalement être complémentaire du système traditionnel ?

.../...

-----  
**REFLEXIONS SUR UN SYSTEME NATIONAL.**  
-----

Comme on pouvait le soupçonner l'approche doit en être totalement différente et demande la recherche de solutions originales.

\*\*\*\*\*  
\* Le but final étant d'assurer une fertilisation la plus\*  
\* économique possible au niveau de l'utilisateur, l'action\*  
\* devra se porter à tous les stades du circuit de l'engrais\*  
\*\*\*\*\*

A cet effet les opérations suivantes doivent être effectuées :

- Inventaire précis des ressources locales en produits de base éventuellement utilisables . (Qualités, quantités, localisation, accessibilité, estimation du coût de mise à disposition..)
- Inventaire précis des besoins réels de l'utilisateur dans les conditions réelles de culture, (Plantes, sols, climats) et ceci non seulement pour les engrais, mais aussi pour les autres produits (amendements, pesticides, oligo-éléments ).
- Inventaire des utilisations actuelles pour ces mêmes produits. (Qualités des produits utilisés, quantités, calendrier d'utilisation, localisation précise des zones d'utilisation, etc...)
- Inventaire des produits fertilisants qui peuvent être approvisionnés de manière économique.
- Inventaire complet du coût logistique tout le long de la chaîne d'approvisionnement et de distribution, de manière à déceler les points de blocage et les anomalies. (Le transport et la manutention des engrais en vrac sont relativement difficiles à réaliser en Afrique et sont particulièrement coûteux).  
Il existe à notre avis un problème logistique important, gênant en fait non seulement la distribution des engrais, mais aussi la reprise des produits finis de l'agriculture (Moyens de transport, infrastructures, etc...).
- Détermination objective des ressources réelles de l'utilisateur et fixation d'un prix plafond acceptable pour la fertilisation.

.../...

- Comment l'agriculteur doit-il être aidé ?  
(Subventions de l'engrais ou des productions, mise en place de nouvelles cultures à revenus, aide aux achats d'engrais, etc...)
- Quelles sont les structures qui vont prendre en charge ce développement au niveau du pays et des utilisateurs ?
- Détermination des produits économiques possibles à réaliser.
- Détermination du système permettant la création de valeur ajoutée d'origine locale importante, et limitant de ce fait les intrants pour économiser les devises.
- Détermination des moyens techniques à mettre en oeuvre pour fabriquer ces produits d'une manière économique en limitant les investissements à réaliser et par là-même les risques (Cela pourrait être le revamping d'une unité).
- Détermination de l'entrepreneur qui prendra en compte le management complet du projet. Ce point nous semble d'ailleurs particulièrement important, car rien de valable ne peut être envisagé à notre avis sans un coordinateur et un animateur compétent et responsable, la recherche permanente de l'optimisation des coûts à chaque stade étant une nécessité pour la réussite d'un tel projet. Il devra avoir de plus les pouvoirs nécessaires.
- Détermination d'une politique nationale de la fertilisation cohérente et définie clairement. (Contrôle des importations sauvages, définition claire de l'utilisation des aides en engrais, etc...)
- Recherche de coopération entre pays pour la mise en commun de moyens. (Installations portuaires, stockages communs de matières premières, moyens logistiques, fabrications à façon, etc...)

Comme on peut le constater, on est très loin d'une approche purement technique. L'intervention d'une équipe importante multi-disciplinaire est nécessaire, et dans cette équipe l'utilisateur final devra être fortement représenté. Ses problèmes réels devant être le point de départ de toute réflexion.

.../...

Cette approche qui paraît logique n'est malheureusement pas souvent effectuée. On constate la réalisation de projets nationaux se limitant à la construction d'usines " vitrines " en oubliant que la production ne peut exister que si l'on peut vendre des produits fabriqués.

Tout ceci semble compliqué, mais des études réalisées dans un certain nombre de pays nous ont montré que le coût de la fertilisation pouvait être amélioré si ces paramètres étaient examinés avec attention et surtout dans leur ensemble.

Nous avons pu constater que :

- Le coût logistique est en général beaucoup plus important que le coût de production.
- L'infrastructure routière souvent ne permet pas un écoulement normal des produits.  
( Point très important, car les dépenses correspondant à une rectification du problème ne peuvent pas être supportées par un quelconque projet engrais).
- L'économie réalisée par un bon choix ou un bon achat des matières premières est aussi plus importante que parfois le coût de production.
- L'indépendance dans ses achats est primordiale.  
(Flexibilité d'emploi des matières premières)
- Le paysan reconnaît bien l'efficacité des engrais, mais par contre il est sensible à la présentation du produit. (Méfiance vis à vis de produits Pulvérulents qui ressemblent trop à du "Sable").

Il faut donc ne pas se tromper dans les points prioritaires.

Nous avons pu malheureusement constater au cours de ces mêmes études un certain nombre de graves anomalies :

- Formules inadaptées ayant pour conséquence un gaspillage de fertilisants ( Fertilisation de céréales au moyen de formules sophistiquées destinées à la fertilisation du coton, apport de K<sub>2</sub>O sur des terres suffisamment pourvues en cet élément, etc...).
- Coûts logistiques aberrants. (Transports au coup par coup, non utilisation de frets de retour potentiels, freintes de produit en route, etc)

.../...

- Frais de stockages trop élevés. (Pertes de produits, longs temps de stockage liés aux incertitudes d'approvisionnement, etc...)
- Manque de capacités de stockage et stockages dans des conditions précaires (Obligé à réaliser ces achats en périodes défavorables).
- Défaut d'approvisionnement en campagne d'utilisation (Des conditions climatiques favorables créant une demande d'engrais inattendue qui ne peut être satisfaite).
- Ou au contraire reports de stocks ayant pour effet des pertes de produit (Dégradation de produits d'une campagne à l'autre).

**Le problème en fait n'est souvent pas managé du tout et la déperdition est importante tout le long de la chaîne.**

\*\*\*\*\*  
 \*           **L'approche globale est nécessaire.**       \*  
 \*\*\*\*\*

**\*\* A titre d'illustration le tableau 8 qui suit, permet bien de comprendre la nécessité de ce genre de recommandation (Importance de la simplification des circuits et poids respectifs des différentes opérations).**

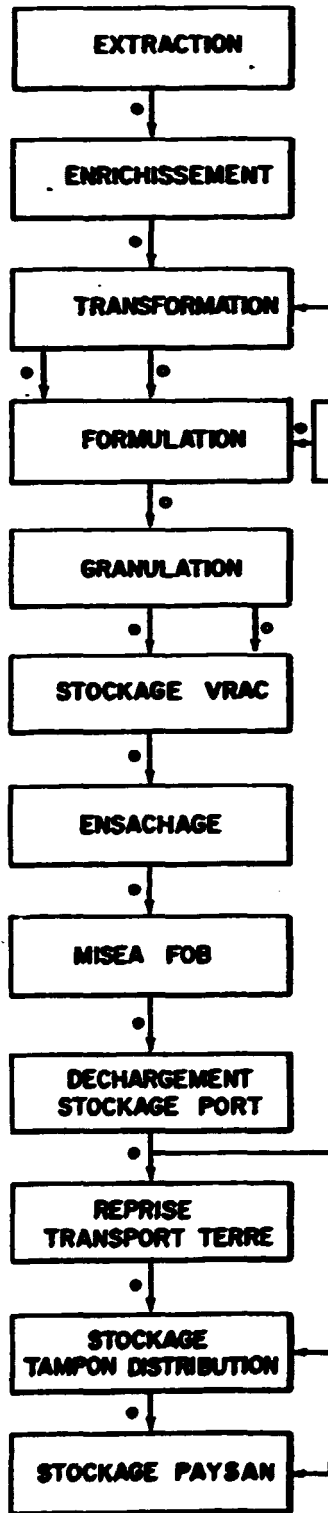
-----  
**SCHEMA SIMPLIFIE D'ETUDE D'UN PROJET LOCAL DE PRODUCTION.**  
 -----

**L'approche du problème est donc très différente de l'approche traditionnelle, car elle doit être définie en partant de l'optimisation des points suivants qui sont en réalité liés entre eux et redondants :**

- 1 - Besoins réels de la culture déterminés par les agronomes.**  
 Besoins en éléments fertilisants :  
 N, P2O5, K2O, CaO, MgO, S, Oligoéléments  
 Prix plafond de la fertilisation.  
 Calendrier de l'utilisation, Etc...
- 2 - Ressources locales en matières premières fertilisantes déterminées par les géologues, les minéralurgistes et les mineurs.**
- 3 - Possibilités d'approvisionnement en matières premières complémentaires au moindre coût déterminées par des acheteurs spécialisés.**  
 .../...

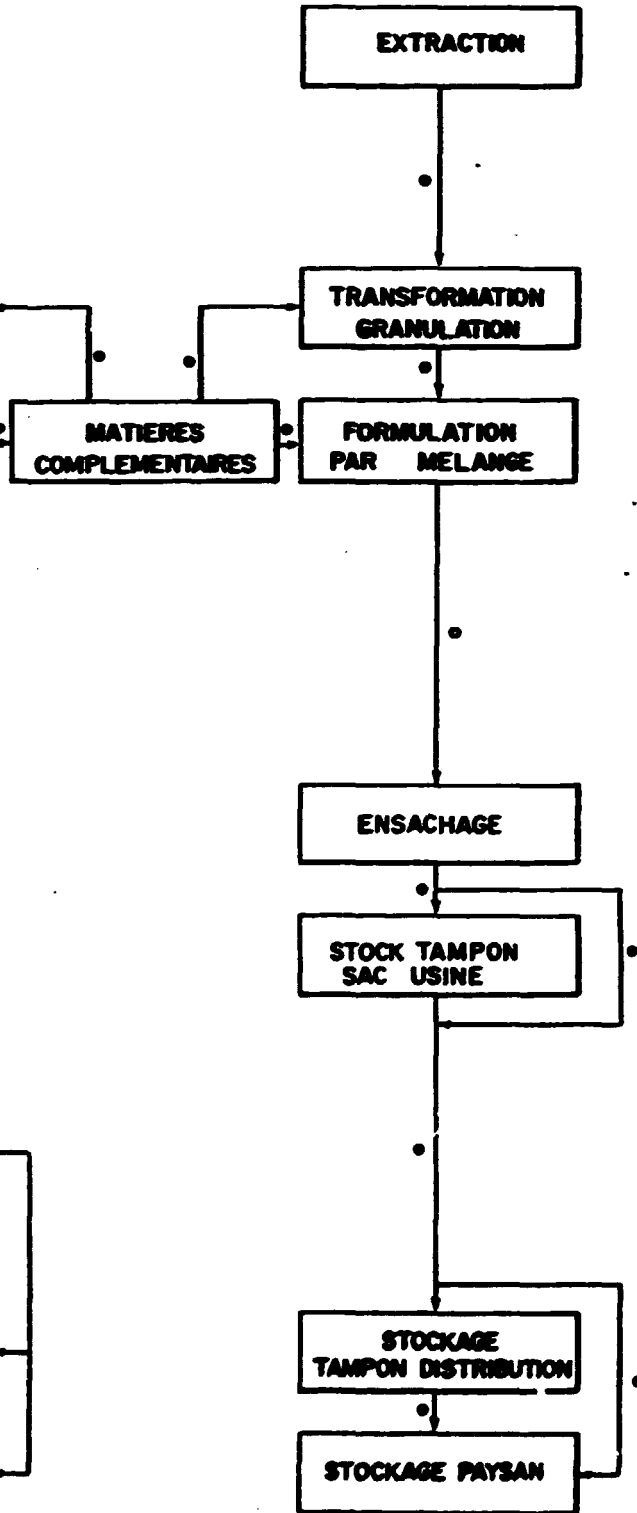


**CHAINE DES OPERATIONS  
ACTUELLES**



**CHAINE DES OPERATIONS  
FUTURES**

(INDUSTRIE LOCALE)



● Rupture de charge ou opération de transport.

○ Pas de rupture de charge ou transport.

- 4 - Etudes des coûts logistiques et de distribution faites par un logisticien.
- 5 - Détermination des produits réalisables, de la technique de fabrication adaptée au problème par des spécialistes de la fabrication des engrais.
- 6 - Etudes financières et comptables. (Financement des investissements, des stocks, détermination des prix de revient prévisionnels, tests de sensibilité, études du degré d'indépendance, etc...)
- 7 - Etudes macro-économiques pour préciser la politique de fertilisation à mener par le pays. (Economiste)

On retrouve ici l'idée d'un travail en équipe de personnes d'horizons et de compétences multiples intégrées dans une cellule d'optimisation qui devra de plus être animée par un entrepreneur totalement objectif et libre de toute contrainte.

L'imagination et la créativité de cette équipe sont primordiales, car il est nécessaire de mettre en oeuvre de nouvelles techniques ou d'harmoniser un certain nombre de techniques déjà connues en les intégrant dans un système cohérent.

Il faudra accepter un certain risque, conséquence des innovations nécessaires. Il faut absolument sortir des sentiers battus, les systèmes traditionnels nous montrant chaque jour leur impuissance à résoudre le problème sans le soutien de subventions importantes.

Ces études devront être réalisées pour chaque projet et seront en fait toujours particulières, cependant un "Package" pourra être défini permettant de les accélérer en les systématisant.

Le schéma simplifié présenté à la page suivante permet d'illustrer la complexité du système liée à l'interdépendance des facteurs.

.../...



-----  
**CONCLUSION**  
-----

En arrivant à la fin de ce rapport, le lecteur peut être étonné de ne trouver que des questions et finalement peu de réponses précises. Il se dégage cependant quelques idées fortes qui peuvent être résumées de la manière suivante.

- 1 - Il n'y aura surtout pas de solution universelle.
- 2 - La fertilisation est un impératif, il faudra bien mettre à la disposition de l'agriculteur des engrais car le développement de l'agriculture est une nécessité vitale. Et nous sommes arrivés à un point où la fertilité des sols risque d'être même mise en cause.
- 3 - Le coût des engrais est trop élevé en regard des ressources de l'agriculteur et les moyens connus ne permettent pas cette réduction de coût (la situation des producteurs étant loin d'être florissante actuellement, demanderait au contraire pour s'améliorer une augmentation des prix).
- 4 - Les économies des pays africains obligent à limiter les intrants à cause de ressources insuffisantes en devises dues à la chute des prix des productions agricoles et des matières premières.
- 5 - Il faudra donc innover fortement ou tout du moins fortement changer les habitudes.
- 6 - Trois points semblent à notre avis essentiels :
  - \*\* Nécessité en premier lieu de structurer le développement agricole (Coopératives agricoles ?) et de trouver les "Managers" de cette politique.
  - \*\* Mettre en place une cellule opérationnelle de développement technique (Commissions d'experts et de sages) qui devra travailler très étroitement avec la structure précédente.
  - \*\* Nécessité d'une coopération entre états pour permettre des opérations concertées.
- 7 - Les problèmes techniques ne poseront pas de difficultés insurmontables, il faudra cependant rester réaliste avant tout.

**ANNEXE**

## ATTAQUES PARTIELLES.

-----  
**Introduction.**  
-----

Les attaques complètes des phosphates sont bien connues depuis longtemps, elles ont pour conséquence l'obtention de composés phosphatés plus ou moins solubles qui en général passent rapidement dans la solution du sol. Ces formes sont d'un emploi universel quelque soit les caractéristique du sol. (L'acide phosphorique n'est pas en général utilisé directement, mais sous forme de ses sels comme par exemple les phosphates mono et diammoniques.)

Elles demandent la mise en oeuvre de techniques qui si elles ne sont pas trop compliquées, sont cependant délicates et coûteuses. L'utilisation de ces techniques amène, comme on a pu le voir dans le rapport principal des contraintes de constitution chimique des phosphates de départ, qui limitent le nombre des phosphates utilisables.

Notre expérience nous a montré qu'il était possible de mettre en oeuvre des techniques simples pour fabriquer des phosphates partiellement solubilisés, qui contrairement à ce que l'on pouvait penser au premier abord ne sont pas une juxtaposition de phases solubilisées et de phases non solubilisées, mais des produits ayant des comportements assez inattendus.

Ces produits étant beaucoup plus économiques à fabriquer et surtout au moins aussi efficaces que les produits attaqués totalement, sinon plus.

De plus un certain nombre de contraintes imposées au phosphate disparaissaient, rendant possible l'utilisation de phosphates réputés inutilisables selon les autres techniques habituelles.

Si les techniques de mise en oeuvre sont simples, par contre la mise au point des attaques demande des études assez importantes en laboratoire, suivies d'une expérimentation agronomique permettant de valider l'efficacité des produits fabriqués dans les conditions normales d'utilisation prévues. (Sols, Plantes, et Cultures.)

.../...

-----  
**Les techniques de mise en oeuvre.**  
-----

**Les caractéristiques de base à connaître :**  
-----

**Analyse Chimique :**  
-----

- \* P2O5
- \* CaO
- \* MgO
- \* Na2O
- \* K2O
- \* Al2O3
- \* Fe2O3
- \* SiO2
- \* F-
- \* Cl-
- \* SO3
- \* Matière Organique.
- \* CO2

**Analyse Physique :**  
-----

- Granulométrie.
- Caractéristiques minéralogiques.
- Porosité. (Surface spécifique.)

**Divers :**  
-----

- Origines Géologiques.
- Homogénéité du produit.
- Aptitude au broyage.

**Les tests de détermination du traitement.**  
-----

**Laboratoire.**  
-----

Il sera expérimenté en laboratoire d'une manière systématique la matrice des attaques sulfuriques et phosphoriques, ainsi que celle des attaques mixtes.  
Soit :

Fabrication à l'échelle du laboratoire d'échantillons de produits à différents taux d'attaque et différentes conditions d'attaque. (Finesse du phosphate, Concentration des acides d'attaques, etc...)

Etude de l'évolution des produits dans le temps. (2, 8, 24 jours.)

.../...

Tests de mobilité des formes de P205 obtenues.  
(Extraction dynamique, courbes de solubilisation,  
Détermination des zones d'attaques économiques.  
Détermination des produits tests.  
Détermination des constituants. (Analyse Spectro..)

**Station Pilote.**  
-----

Fabrication dans des conditions semi-industrielles  
d'échantillons destinés aux essais agronomiques.

Fabrication de produits sous les formes suivantes :

- Pulvérulents.
- Run of Pile.
- Granulé.
- Compacté.

Tests de qualité :

- Dureté et résistance des produits.
- Délitement.
- Prise en masse.
- Compatibilité avec autres fertilisants.

Optimisation des produits :

- Qualité.
- Prix de revient.
- Amélioration de la mobilité des formes  
phosphatées.

Détermination des paramètres industriels.

Choix de la technologie à retenir.

**Essais Agronomiques.**  
-----

L'ensemble des tests et essais mis en oeuvre n'amènent  
que des présomptions d'efficacité agronomique des produits.  
Celle-ci doit être vérifiée par des essais en serre et aux  
champs.

L'expérience permet en fait de limiter très fortement  
les risques, mais des modifications de détail peuvent encore  
être réalisées pour améliorer les résultats.

.../...



-----  
**Conclusion.**  
-----

L'ensemble de ces essais peut sembler lourd, mais les économies potentielles sont très importantes. (Obtention du produit agronomiquement le plus efficace au coût minimum. )

-----  
**Description des procédés.**  
-----

Il existe deux types de procédés :

- Procédé discontinu.
- Procédé continu.

Le choix entre ces procédés étant fonction :

- De la qualité des phosphates à traiter, certains traitements demandant des attaques successives
- De la quantité horaire à traiter.
- De la qualité des produits finis. (P,PK,NPK)
- De la présentation du produit fini :
  - Poudre
  - Granulé
  - Compacté
- De la volonté ou la nécessité d'obtenir un produit granulé directement.
- Etc...

On distinguera cependant les étapes suivantes que l'on retrouvera dans toutes les possibilités :

- Broyage du phosphate, dont la finesse sera fonction de la réactivité du phosphate de départ.
- Dosage du Produit Broyé. (Seul ou accompagné d'un ou plusieurs autres produits.)
- Préparation du produit d'attaque. (Dilution des et dosages des acides, mélange et dosage avec d'autres produits solides ou liquides, addition et dosage de tensio-actifs, mise en température, etc...)
- Etape de première réaction. (Mélangeur.)
- Etape de maturation et de granulation éventuelle.
- Etaps de mûrissement. (Stockage.)
- Etape de traitement des gaz.

.../...

On reconnaîtra d'ailleurs les étapes rencontrées dans un atelier conventionnel de fabrication de super phosphate.

- Broyage du phosphate.
- Dilution des acides.
- Dosage du phosphate et de l'acide.
- Malaxeur avant cave.
- Cave à superphosphate.
- Stockage de mûrissement.

D'ailleurs dans le cas de phosphates de qualité standard ou voisine des standards, la technique de fabrication des phosphates partiellement solubilisés sera très proche de celle des superphosphates. (Aménagement des malaxeurs.)

---

### Avantages des solubilisations partielles.

---

A partir du moment où l'on obtient des produits agronomiquement efficaces, les avantages suivants sont à prendre en compte :

- Moindre coût des matières premières :
  - Emploi de phosphates de qualité médiocre d'origine locale ou importés.
  - Diminution d'emploi des produits chers et technologiquement relativement difficiles à fabriquer (Acide Sulfurique et phosphorique)
  - Dans le cas de l'acide sulfurique moindre déconcentration des produits obtenus.  
(Le coût de l'unité P2O5 obtenue pouvant être parfois moitié de celle du superphosphate qui serait produit localement, on constate par exemple pour certains phosphates que la quantité de P2O5 soluble obtenue par unité d'acide utilisée est plus grande dans les attaques partielles que dans les attaques totales.)
- Technique de mise en oeuvre relativement simple et demandant :
  - Peu d'investissement.
  - Un environnement technologique peu évolué.  
(Des techniques semi-artisanales peuvent être utilisées.)
- Produits obtenus donnant compte tenu des conditions locales de la culture des résultats meilleurs que les produits traditionnels.
- Produits plus facilement granulables.

.../...

**-Produits possédant une meilleure compatibilité avec d'autres fertilisants comme par exemple l'Urée. (Emploi en Bulk-Blending.)**

**-Consommation totale d'énergie. nécessaire plus faible.**

**Il est très difficile de donner des chiffres généraux précis un calcul devant être effectué cas par cas pour tenir compte des caractéristiques des matières premières disponibles, du coût logistique, du niveau de production à envisager, des produits finis demandés, etc...**

-----  
**Procédé.**  
-----

**On distingue 3 phases principales :**

**A-Phase de préparation des produits avant attaque comprenant :**

**A1-Préparation des produits liquides.  
(Dosage, mélange, réchauffage, dilution, dissolution des produits solides ajoutés, etc .)**

**A2-Préparation des produits solides.  
(Dosage, mélange, broyage, etc.)**

**B-Phase de réaction entre les produits préparés.  
La réaction pouvant se faire en continu, en discontinu, et dans les deux cas en étapes successives et posséder une ou plusieurs étapes de maturation des produits ou même une opération de séchage.**

**C-Phase de mise en forme du produit pour obtenir un produit :**

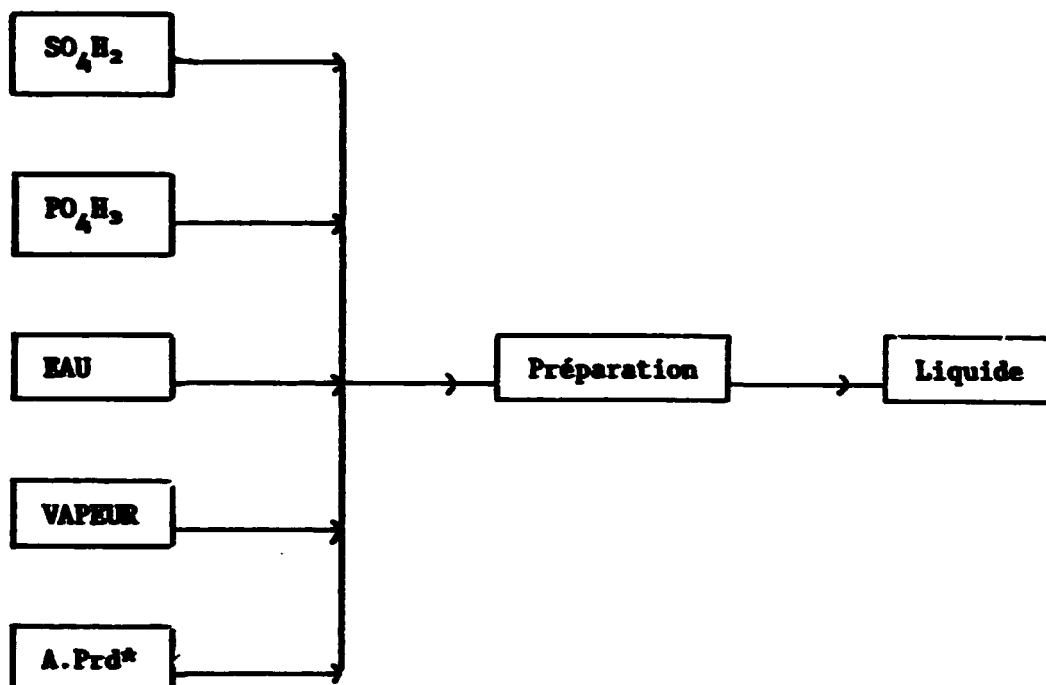
- Pulvérulent**
- Run of pile**
- Granulé**
- Compacté**

**Les phases B et C peuvent par moment être réalisées simultanément. (Granulation pendant la phase d'attaque.)**

**Les diverses opérations de ces étapes sont indiquées dans les schémas et dessins des pages suivantes.**

## PHASE DE PREPARATION DES PRODUITS LIQUIDES

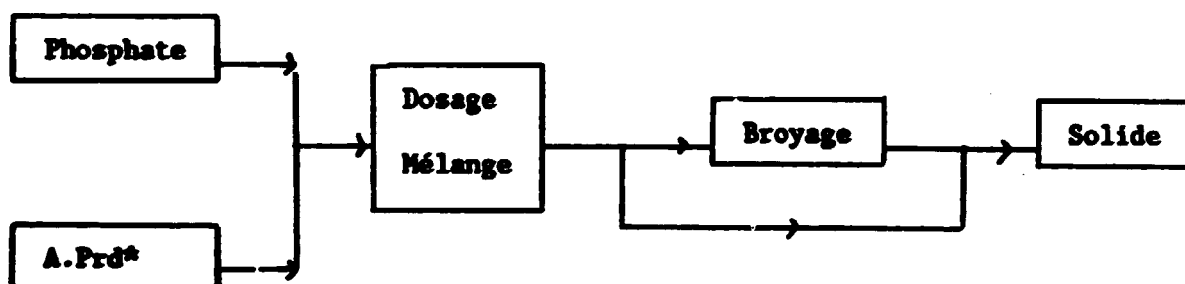
---



A.Prd\* = Autres produits :  $NH_3$   
Sels Ammoniacaux  
Tensio-Actifs  
Sels de Calcium  
Etc...

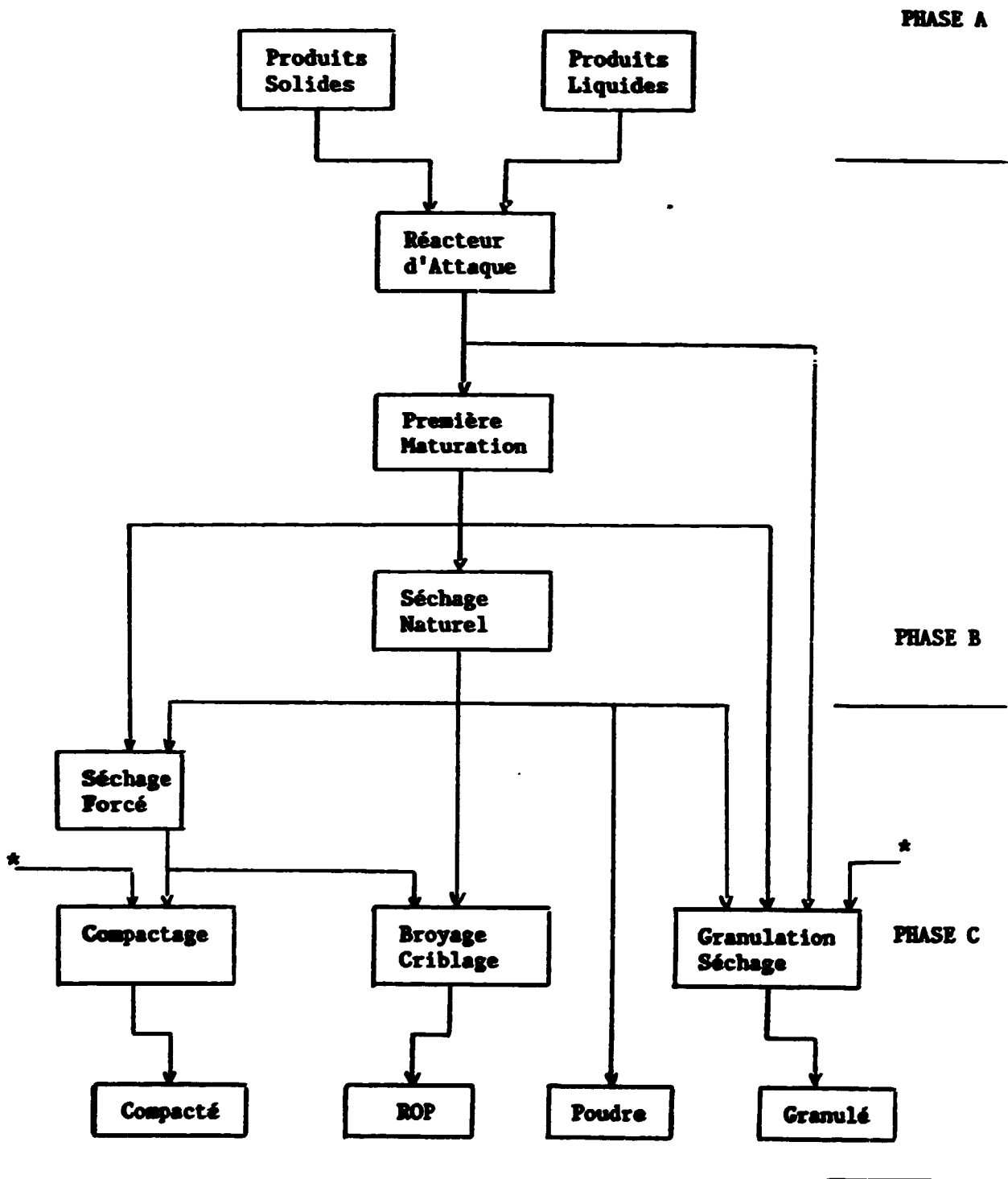
## PHASE DE PREPARATION DES PRODUITS SOLIDES

---



A.Prd\* = Autres produits : Sels de Potassium  
Sels Ammoniacaux  
Sels de Calcium  
MgO et Sels de Magnésium  
Etc...

**PHASE DE REACTION ET DE MISE EN FORME**



\* AUTRES MATIERES PREMIERES SOLIDES ET LIQUIDES

**ETUDE POUR PAYS**  
**DE L'AFRIQUE DE L'OUEST**

**Schéma de la Fabrication**

