



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th 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 for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

18761-F

ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

Distr. LIMITEE
IPCT.12F (SPEC.)
3 janvier 1991
Original : FRANCAIS/ANGLAIS

Journées d'étude sur les stratégies appropriées
concernant les technologies utilisées dans
l'industrie des engrais et son développement

Lahore (Pakistan), 4-8 février 1991

LES OPTIONS TECHNOLOGIQUES DE LA CONSTRUCTION DES USINES D'ENGRAIS,
LES MINI-USINES*

établi par

M. Armand Davister
Consultant de l'ONUDI

6/2

* Les opinions exprimées dans le présent document sont celles de
l'auteur et ne reflètent pas nécessairement celles du Secrétariat de l'ONUDI.
Ce document n'a fait l'objet d'aucune mise au point rédactionnelle.

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|------------|
| 1. JUSTIFICATION ECONOMIQUE DE LA CONSTRUCTION DE MINI-USINES. LOCALISATIONS PROPICES SUIVANT LE TYPE DE FABRICATION. | |
| 1.1. Constitution de méga-usines et de méga-groupes. | page: 1 |
| 1.2. Constitution de la filière mondiale des engrais en 1990. | 3 |
| 1.3. Influence sur l'activité de production d'engrais. | 7 |
| 1.4. Compétitivité des productions en mini-usines locales. | 10 |
| 2. MINI-USINES D'ENGRAIS PRIMAIRES. | 14 |
| 2.1. Mini-usines d'engrais azotés | 15 |
| 2.2. Mini-usines d'engrais phosphatés | 21 |
| 2.2. 1 Voie de l'acidification sulfurique | 22 |
| 2.2. 2 Voie de l'acidification nitrrique | 31 |
| 2.3. Mini-usines d'engrais potassiques | 34 |
| 3. MINI-USINES DE MELANGE D'ENGRAIS | 37 |
| 3.1. Mélange sans granulation (ou bulk blending) | 37 |
| 3.2. Mélange avec granulation | 38 |
| 3.2. 1 Granulation par agglomération d'un mélange humide | 39 |
| 3.2. 2 Granulation par compactage d'un mélange sec | 39 |
| 4. INFRASTRUCTURES PHYSIQUES. | 41 |
| 5. INFRASTRUCTURES HUMAINES. | 45 |
| 5.1. Leur importance. | 45 |
| 5.2. Les moyens à mettre en oeuvre pour constituer les infrastructures humaines. | 46 |
| 6. COUT ET FINANCEMENT | 48 |
| 6.1. Coût de la constitution des infrastructures humaines. | 48 |
| 6.2. Financement de la constitution des infrastructures humaines | 49 |
| 7. CONCLUSION | 52 |

1. JUSTIFICATION ECONOMIQUE DE LA CONSTRUCTION DE MINI-USINES.

En cette fin de XXème siècle, où le développement des moyens technologiques et informatiques a permis l'avènement d'un gigantisme industriel qui vise à comprimer les prix de revient des produits manufacturés, est-il encore utile de parler de mini-usines d'engrais ?

Les multiples contacts et réunions organisées ces dernières années par l'ONUDI, notamment en AFRIQUE, permettent de répondre positivement à cette question.

En effet, dans les pays en développement enclavés, les coûts de transport peuvent atteindre plusieurs fois la valeur départ usine des engrais, et il est dès lors normal d'examiner si une production locale à petite échelle, donc non grevée de frais de transport exagérés, peut être compétitive avec les produits importés.

Nous nous proposons de développer ce thème dans les pages suivantes.

1.1. CONSTITUTION DE MEGA-USINES ET DE MEGA-GROUPES.

La décennie 80 a vu la généralisation des importants changements qui étaient apparus auparavant dans l'industrie et le commerce des engrais. On citera notamment :

A) Les méga-usines produisant les matières de base de l'industrie des engrais :

| | |
|-----------------------------|---|
| ammoniac | 1.000 à 1.500 T NH ₃ / jour |
| urée | 1.000 à 2.000 T urée / jour |
| acide nitrique | 1.000 à 1.500 T HNO ₃ / jour |
| nitrate d'ammoniaque | 1.000 à 2.000 T NH ₄ NO ₃ / jour |
| acides sulfurique | 2.000 à 2.500 T H ₂ SO ₄ / jour / train |
| phosphorique | 750 à 1.500 T P ₂ O ₅ / jour |
| phosphate diammonique (DAP) | 1.500 à 3.000 T DAP / jour |
| superphosphate triple (TSP) | 1.500 à 3.000 T TSP / jour |

| | |
|---|----------------------------------|
| chlorure de potasse (MOP) | 1.000 à 2.000 T MOP / jour |
| engrais complexes produits par attaque nitrique | |
| binaires | 1.000 à 1.500 T d'engrais / jour |
| ternaires. | |

Certes, le développement de ces méga-usines a posé aux ingénieurs des défis technologiques difficiles à résoudre, mais le développement des matériaux, des techniques de mise en oeuvre de ceux-ci et le perfectionnement constant de la régulation et de l'informatisation des processus industriels ont permis de les surmonter.

Si l'on ajoute que la modélisation des procédés a permis de détecter toutes les possibilités d'exploiter la thermodynamique des systèmes en vue de limiter la consommation d'énergie, voire d'en produire un surplus exportable, on se rendra compte que les méga-usines actuelles ne constituent pas une performance gratuite, mais sont réellement le fruit d'une percée technologique qui a permis de faire baisser sérieusement les prix de revient.

B) Autre contribution à la diminution des prix de revient : les méga-usines se sont implantées à proximité des gisements de matières premières, ce qui offre de multiples avantages économiques . Citons :

- la réduction drastique des frais de transport,
- la possibilité d'utiliser des matières premières brutes car, par exemple, l'humidité et la gangue non réactive ne doivent plus être enlevées car il n'y a plus (ou presque plus) de transport entre la mine et l'usine, ce qui entraîne la réduction du coût de la matière première.
- la possibilité de combiner - au moins partiellement - les activités minières (qui créent des trous) et les activités de transformation (qui ont besoin de trous pour déposer leurs déchets).

C) Mais l'importance des mises de fonds nécessaires tant pour développer les procédés que pour construire les unités de transformation a donné lieu à un remarquable phénomène de concentration d'entreprises, les plus faibles disparaissant ou se faisant absorber par les plus fortes.

Cette mutation a conduit à la formation de méga-groupes actifs dans l'exploitation des matières premières et / ou dans leurs premières transformations et qui sont non seulement multinationaux mais intercontinentaux.

D) Parallèlement, on a assisté à l'éclosion de traders internationaux qui ont pris de plus en plus d'ampleur au fur et à mesure de la croissance du commerce international. On cite généralement parmi les causes de leur expansion les contrats de contre-achats conclus par les entreprises de construction fournissant des usines d'engrais à des pays riches en matières premières, mais pauvres en devises.

C'est là effectivement une circonstance où ils ont pu rendre un estimé service à leurs clients tout en introduisant sur le marché des produits à très bas prix.

C'est ainsi que sous l'influence de ces traders internationaux, le marché des engrais de base s'est mondialisé ; l'information sur les marchés (quantités et prix) est accessible à tous, comme pour le marché des valeurs boursières, et ceci a entraîné un tassement des cours ; en conséquence, le commerce mondial peut déposer dans les ports accessibles aux navires de haute mer les engrais de base aux cours mondiaux augmentés du fret, lequel ne représente pratiquement jamais plus de 25 % de leur prix départ.

Mais faites attention ! Ceci ne s'applique qu'aux engrais de base, encore qualifiés de "produits banalisés". Dès que l'on s'écarte de leurs spécifications banales, on limite la concurrence et les prix offerts prennent l'ascenseur.

Il va sans dire que, pour traiter des affaires à l'échelle mondiale, ces traders doivent avoir aussi les reins solides, financièrement parlant. En conséquence, on a assisté ici aussi au phénomène de concentration qui n'a laissé subsister que les groupes suffisamment importants.

1.2. CONSTITUTION DE LA FILIERE MONDIALE DES ENGRAIS EN 1990.

Vue schématiquement, la filière mondiale des engrais est composée, d'une part de quelques méga-groupes producteurs de produits banalisés, et d'autre part de quelques méga-traders contrôlant le commerce mondial, susceptibles d'acheter n'importe où dans le monde au meilleur prix pour livrer n'importe où avec la meilleure marge que leur permet la compétition.

Il n'est pas malaisé de discerner les germes d'une situation d'oligopole où les producteurs et les vendeurs pourraient s'entendre au détriment des acheteurs.

Cette crainte est d'autant plus fondée que certains groupes jouent déjà sur 2 tableaux : des méga-producteurs se sont lancés dans le trading et des méga-traders ont investi dans la production.

Comment peut-on se prémunir contre la domination du marché par de tels oligopoles ? Toute réglementation, même si elle est efficace à court terme, finira par être déjouée ; par conséquent, la seule réaction valable consiste à faire jouer la concurrence. Ceci peut être atteint :

- par exemple, en créant de puissantes centrales d'achat dont l'influence financière peut équilibrer celle des producteurs et des vendeurs. Les exemples de SINOCEM (en CHINE), de MMTC (en INDE) et de MULTIFERT (en AMERIQUE du SUD) sont bien connus.

- ou encore en suscitant des productions locales ou régionales adaptées au marché, aux ressources en matières premières et aux moyens de transport.

Il convient d'insister sur le fait que ces contre-mesures ne peuvent être efficaces que dans la mesure où le marché porte sur des produits banalisés.

Dès que l'on s'en écarte, sous l'influence de spécifications physiques, chimiques ou analytiques, on quitte le domaine des produits banalisés pour celui des produits spécifiques, lesquels commandent un ordre de grandeur de prix totalement différent en raison de la concurrence réduite.

Certains producteurs ne s'y trompent d'ailleurs pas ; ils tentent d'investir les marchés, sous l'action d'agents de vulgarisation agronomique dont le rôle - éminemment commercial - est de convaincre chacun de son particularisme.

Si on suit leurs thèses, on ne peut que se livrer à un marché de spécialités dont le coût élevé constituera toujours un frein au développement de la fertilisation;

En résumé, dans la mesure où on la limite aux produits banalisés, la filière "mondiale" des engrais est très schématiquement résumée par le tableau 1.

On peut l'interpréter comme suit :

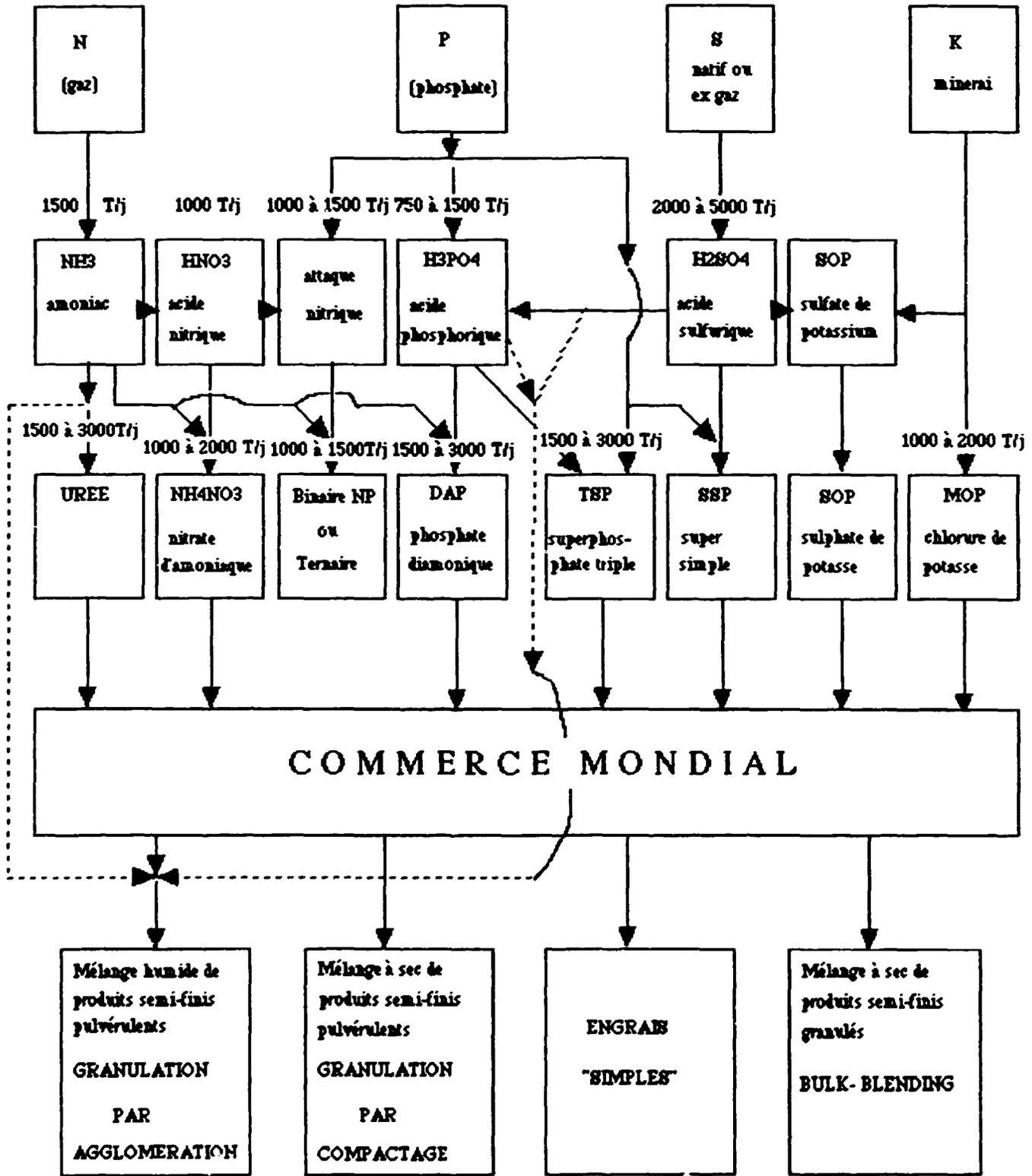
Tous les produits banals, de première ou deuxième transformation, fabriqués dans des méga-usines situées à proximité des gisements de matières premières entrent dans le commerce mondial, à des prix compétitifs car la mondialisation de ce commerce aligne tous ces prix en prenant le plus bas pour référence. Sous ce même effet de concurrence appliqué aux traders et par ceux-ci aux transporteurs, le commerce mondial rend ces produits banals dans n'importe quel port de haute mer à un coût à peine supérieur de 10 à 25 % aux prix de départ.

Si l'utilisateur se contente d'employer les produits banals tels quels (engrais simples) ou simplement mélangés à sec (bulk blending), il disposera des éléments fertilisants au moindre coût possible ex-port. S'y ajouteront alors les coûts de rapprochement : ensachage, stockage, transport (s), stockage, distribution, crédit...

Si l'utilisateur veut faire appel à un engrais granulé après mélange, la tendance actuelle est de recourir à la granulation par compactage d'engrais demi-finis pulvérulents préalablement mélangés à sec. Cette façon de procéder n'ajoute au coût des engrais obtenus par bulk blending que celui de l'opération relativement simple de l'agglomération sous pression.

Si, par contre, l'utilisateur demande qu'on lui produise un mélange humide de demi-finis regranulé ensuite, cela impliquera l'approvisionnement de produits liquides ou liquéfiés (ammoniac, acides sulfurique et / ou phosphorique) qui se transportent mal en petite quantité et peuvent être rendus à des prix double ou triple de leur prix départ. Quand on y ajoute le coût de la granulation proprement dite, on se rend compte qu'il s'agit d'une alternative coûteuse, qui ne se défend d'un point de vue financier que si on peut la réaliser à une capacité suffisante (le point d'équilibre en EUROPE semble se situer au niveau de 250.000 T / an).

FIGURE 1 : SCHEMA DE PRODUCTION ET DE DISTRIBUTION DES ENGRAIS BANALISES EN 1990



1.3. INFLUENCE SUR L'ACTIVITE DE PRODUCTION D'ENGRAIS.

Dans toute région accessible économiquement aux produits du commerce mondial des engrais, une activité de production ne pourra se créer que si elle est compétitive avec ces produits, ce qui suppose un accès économique aux matières premières et des conditions d'exploitation compétitives (coût de l'énergie, de la main d'oeuvre, de l'environnement).

Si l'on se trouve dans un pays industrialisé, qui se caractérise par d'excellents moyens de transport - fluviaux, ferroviaires et / ou routiers - et par l'existence d'importantes consommations d'engrais, l'accessibilité économique des produits du commerce mondial s'étend à des zones situées jusqu'à 1.000 ou 1.500 Km des ports.

C'est ainsi qu'on n'a plus construit aucune usine d'engrais phosphatés en EUROPE de l'OUEST depuis 15 ans car la concurrence des produits nord-africains et américains y est trop forte.

Au contraire, beaucoup de petites unités ont dû fermer leurs portes, et seules subsistent les unités suffisamment intégrées et qui ont suffisamment résolu leurs problèmes d'environnement. Par contre, la production d'engrais azotés a prospéré dans cette même région car elle est basée sur le gaz naturel de la MER du NORD, et a procédé aux investissements nécessaires (expansion, économie d'énergie, protection de l'environnement).

Si, par contre, on se trouve dans un pays en développement, l'infrastructure de stockage et de transport est généralement moins développée, de sorte qu'on a coutume de considérer que l'accessibilité économique des produits du commerce mondial se limite en moyenne à une zone distante de 500 Km des ports. Lorsqu'on applique cette règle à un continent aussi massif que l'AFRIQUE, on se rend compte que cette zone ne couvre guère que 20 % du continent (voir figure 2).

Cette limite de 500 Km est justifiée par le fait que les infrastructures de transport et de stockage sont moins développées et que la consommation limitée des engrais ne permet pas l'amortissement d'infrastructures qui seraient créées uniquement pour les besoins des engrais. Il en résulte que le prix rendu racine des engrais atteint rapidement le double du prix des engrais débarqués au port sous l'effet croissant des coûts de rapprochement : emballage, stockage, transport jusqu'au district, stockage, transport du district au village, stockage, épandage, crédit.

A ce moment, il devient opportun d'examiner si une production locale peut être compétitive. Mais, comme cette production locale rencontrera les mêmes coûts de rapprochement que les engrais importés, il conviendra d'en limiter la quantité à ce qui peut être vendu dans un rayon où ces frais sont limités, disons par exemple 200 Km. Comme il n'existe pas beaucoup de consommation actuellement, la production sera faible et c'est pourquoi les mini-usines peuvent avoir un rôle à jouer.

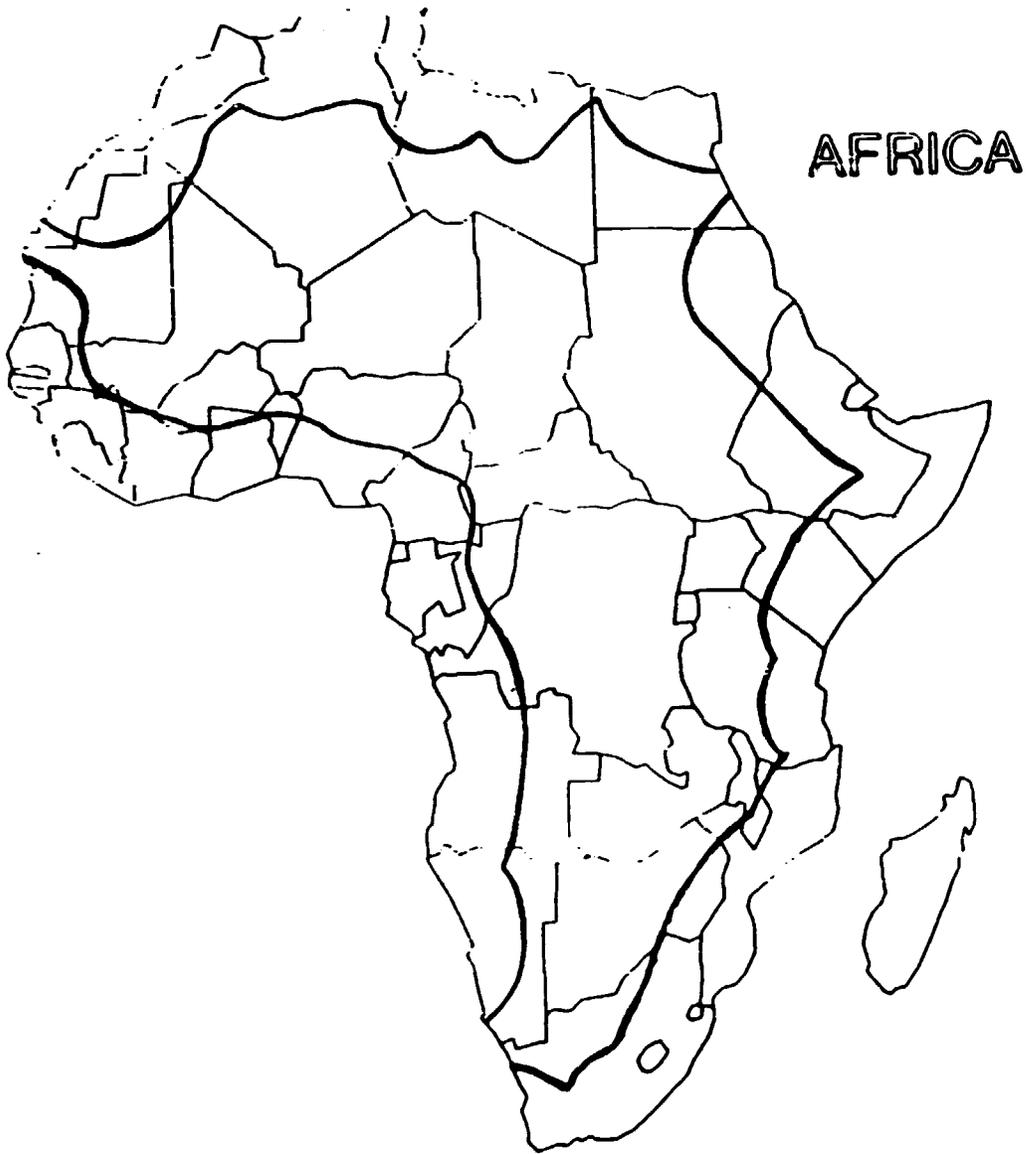


Figure 2: Areas Within 500 km of African Ports

1.4. COMPETITIVITE DES PRODUCTIONS EN MINI-USINES LOCALES.

A - En premier lieu, il faut s'entendre sur ce qu'on appelle mini-usines.

Si l'on peut dire qu'il s'agit d'usines beaucoup plus petites que les méga-usines dont on parle au § 1.1. ci-dessus, leur taille peut varier suivant la complexité du procédé, l'infrastructure matérielle et humaine disponible et, bien entendu, la consommation d'engrais existante et escomptée dans la zone d'action visée.

En ce qui concerne la complexité du procédé, bornons-nous ici à mentionner les deux cas extrêmes :

- d'une part la fabrication d'ammoniac, laquelle exige, quelle que soit la taille de l'unité, le recours à des catalyseurs délicats qu'un dérèglement momentané peut endommager définitivement et l'exploitation à haute pression avec toutes les contraintes de sécurité et de maintenance associées.

Dans ce cas, on considère généralement que la taille d'une mini-usine peut varier de 50 à 300 T NH₃ / jour suivant le marché visé car il faut une taille suffisante pour amortir les coûts de la complexité. Pour la même raison, la distance de 500 Km pourra être augmentée considérablement et ce, d'autant plus que l'ammoniac se transporte économiquement car sa concentration en N est supérieure à 82 %.

- d'autre part les engrais phosphatés simples tels le phosphate broyé ou même le superphosphate simple (SSP) ou le phosphate partiellement acidifié (PAPR), qui sont des fabrications très simples, faciles à exploiter.

Moyennant l'approvisionnement en phosphate et en acide sulfurique, ces productions ne font appel à aucune technique sophistiquée.

En conséquence,

- l'investissement est limité, ce qui offre les avantages suivants :

* possibilité de construire de très petites unités.

* possibilité de les exploiter par campagnes, par exemple en alternance avec l'exploitation de la carrière de phosphate.

- la période de formation du personnel et de montée en puissance de la production est très brève, ce qui permet de rentabiliser rapidement l'investissement.

Il en résulte que, si les conditions d'approvisionnement en matières premières (phosphate et acide sulfurique) sont favorables, de telles unités peuvent être compétitives assez rapidement, c'est-à-dire dès une distance au port le plus proche de l'ordre de 500 Km et dès l'existence d'un marché de 5 à 10.000 T pour leurs produits.

B - Compétitivité

Mais, tout projet de mini-usine ne pourra être soutenu que s'il est économiquement compétitif, c'est-à-dire que si le coût rendu des engrais produits (qui comprend les coûts de production, de commercialisation et de rapprochement) est compétitif avec celui des engrais importés.

Passons rapidement en revue les différents cas :

- Engrais azotés

On a vu ci-dessus que la taille minimale d'une mini-usine d'ammoniac correspond à une production minimum de 30 à 100.000 T d'ammoniac par an pouvant donner 50.000 à 300.000 T d'engrais à des teneurs en azote comprises entre 26 à 45 %.

La commercialisation de telles quantités en pays en développement va exiger la couverture compétitive d'énormes superficies, avec des coûts de rapprochement prohibitifs en comparaison avec ceux des produits importés.

En conclusion, on peut dès à présent prévoir que rares seront les cas où une production d'ammoniac et d'engrais azotés de base pourra se justifier. L'un d'entre eux est celui où on dispose d'énergie hydroélectrique excédentaire par rapport aux besoins, ce qui permet de produire l'hydrogène par électrolyse de l'eau.

- Engrais phosphatés

L'existence de nombreux gisements de minerais phosphatés, jointe à la possibilité de transformer les phosphates en engrais par des procédés d'acidulation très simples, donc réalisables économiquement à petite taille donne ici l'occasion de concevoir des unités susceptibles de servir des marchés locaux même s'ils sont limités à quelques milliers de T d'engrais / an.

- Engrais potassiques

Le minerai potassique principal est le chlorure de potasse ; comme il est soluble dans l'eau, on ne le trouve pas en surface comme les phosphates, mais uniquement en mines souterraines ; la mise en exploitation d'une telle mine ne peut s'amortir que sur des productions importantes qui exigent un marché correspondant et s'exposent donc à des frais de rapprochement qui les obligent à être compétitifs avec les produits importés.

Le seul cas où une production plus limitée, donc d'intérêt plus local est pensable est celui où on peut extraire la potasse d'eaux saumâtres riches en l'un ou l'autre sel soluble de potassium. Les exploitations de la MER MORTE en fournissent un exemple, mais à une taille compétitive sur les marchés mondiaux.

En conclusion, l'exigence de compétitivité nous indique que les pays qui peuvent le plus sûrement envisager la création de mini-usines d'engrais sont ceux qui disposent de ressources phosphatières tout en se trouvant suffisamment protégés de la concurrence des produits mondiaux par des coûts de rapprochement élevés.

C - Jusqu'à présent, nous ne nous sommes intéressés qu'à la production d'engrais primaires, mais il est une autre activité dont la mise en oeuvre peut être très importante pour favoriser le développement de la consommation d'engrais dans les pays en développement : c'est le mélange - avec ou sans granulation - d'engrais primaires qu'ils soient totalement ou partiellement importés ou produits localement.

On distinguera :

- Le mélange sans granulation ou "BULK BLENDING" qui est la solution technique la plus simple et la moins chère. De ce fait, elle a connu de brillants succès dans de nombreux pays - des U.S.A. à l'île SAINTE-LUCIE aux ANTILLES - mais est énergiquement combattue par certains agronomes. Cette solution qui fournit l'engrais complet au coût des engrais de base plus un très faible supplément pour le simple mélange sera préférée dans tous les cas où l'on n'aura pas pu démontrer que les engrais qu'elle fournit ne conviennent pas.

- Le mélange avec granulation qui vise à mettre dans chaque granule autant que possible les mêmes proportions d'éléments fertilisants. Il peut se faire :

- soit par voie humide en agglomérant les solides par des liquides (acides sulfurique, phosphorique et / ou nitrique et ammoniac ou nitrate d'ammoniaque). C'est la voie classique, mais comme déjà dit page 8, elle peut être très coûteuse car ces liquides sont chers à transporter.

- soit à sec, par compactage - ce procédé de compactage mécanique est plus simple, demande peu ou pas de liquide, pas de séchage ; il commence à retenir l'intérêt des investisseurs.

2. MINI-USINES D'ENGRAIS PRIMAIRES.

L'examen des conditions de compétitivité au chapitre 1 pages 11, 12, 13 ci-avant nous a conduit à la conclusion que les pays qui peuvent le plus utilement envisager la réalisation de mini-usines d'engrais primaires sont ceux qui disposent de gisements de minerais phosphatés.

En effet, le seuil critique des productions d'ammoniac et d'engrais azotés est reporté, par la complexité même du procédé, bien au-delà des limites de taille des mini-usines ; on verra qu'il s'agit d'usines dont la production doit s'écouler sur des marchés assez larges, ce qui diminue leur avantage géographique éventuel et augmente vis-à-vis d'elles l'exigence de compétitivité avec les produits du commerce mondial. Deux exceptions rarissimes peuvent se présenter, à savoir :

- 1) l'existence de dépôts naturels de nitrates : exemple LE GUANO du PEROU,
- 2) l'existence de production excédentaire d'électricité à très bas prix, qui permet d'envisager la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau, ce qui rend moins délicate la production ultérieure d'ammoniac.

La situation en matière de potasse conduit aux mêmes conclusions même si les procédures de production sont différentes :

- soit mine souterraine, donc investissement élevé et nécessité de production importante pour les amortir,
- soit saumure plus ou moins riche en potasse dans un pays où on peut pratiquer l'évaporation solaire, mais ici aussi l'importance de l'investissement exige une taille importante, laquelle peut toutefois être quelque peu modérée si d'autres produits sont récupérables.

2.1. MINI- USINES D'ENGRAIS AZOTES. *

2.1. 1. ROLE ET SOURCES DE L'AZOTE.

L'azote de l'air est l'un des corps les plus également répartis et les plus accessibles de la planète.

Il est un constituant de la matière vivante.

Il n'est malheureusement pas, à quelques rares exceptions près, assimilable par les organismes vivants.

Les plantes ne peuvent assimiler directement que l'azote sous sa forme oxydée (ion nitrique NO_3^-), laquelle est obtenue naturellement par action des micro-organismes des sols qui transforment l'azote ammoniacal (ion NH_4^+) en azote uréique ($\text{NH}_2 - \text{CO} - \text{NH}_2$) et celui-ci en azote nitrique (ion nitrique NH_3).

Conséquences directes de cette situation :

a) à l'exception des engrais organiques naturels (fumier, lisier, déchets végétaux) et de rares nitrates naturels, disponibles et utilisables à une échelle dérisoire en considération des besoins, l'ammoniac de synthèse est l'unique matière première utilisable pour la fertilisation azotée.

b) les formes azotées les plus directement assimilables (nitrates solides, solutions urée - nitrate) seront utilisées dans les pays à climat tempéré. Les formes azotées moins directement assimilables (NH_4^+ , urée) seront utilisées dans les pays à climat chaud où leur transformation en azote nitrique est accélérée par la température.

c) la forme nitrique de l'azote étant elle-même dégradée par l'action des micro-organismes du sol, il n'est pas possible de "stocker" un excès d'azote dans le sol comme c'est le cas pour les excédents de potasse ou de phosphore dont la partie non consommée par une récolte reste disponible pour la récolte suivante (sauf lessivage par les eaux de pluie).

* La majeure partie de ce chapitre est due à la collaboration de Monsieur Victor JULEMONT, Ingénieur Chimiste, qui a consacré toute sa carrière à ce secteur industriel de la fabrication jusqu'aux postes de direction.

2.1. 2. PROCÉDES CONNUS ET EXPLOITÉS POUR LA SYNTHÈSE DE L'AMMONIAC.

L'ammoniac est fabriqué industriellement en faisant réagir de l'azote provenant de l'air atmosphérique avec de l'hydrogène produit au départ de matières carbonées.

Cette réaction se produit sous haute pression (200 à 1.000 bars avec les premiers procédés, 100 à 250 bars actuellement), à haute température (450 à 550 ° C.) et en présence d'un catalyseur extrêmement sensible aux impuretés.

Historiquement, l'hydrogène a été produit par les procédés suivants :

a) Procédés développés en EUROPE à partir de 1910 à partir du charbon : séparation de l'hydrogène du gaz de cokerie par cryogénie, procédé du gaz à l'eau, gazogènes à charbon.

Ces procédés ne sont pratiquement plus utilisés mais ils conservent un intérêt pour des régions qui disposeraient de charbon à bas prix et seraient isolées du marché international de l'ammoniac.

b) Oxydation partielle d'hydrocarbures liquides ou gazeux (autothermal reforming) suivant la réaction : $C_m H_n + m H_2O \rightarrow m CO + (m + n/2) H_2$

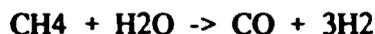
Comme cette réaction est fortement endothermique et doit être réalisée dans la gamme de températures de 1.000 à 1.500 ° C. suivant les cas, la chaleur nécessaire est fournie en brûlant une partie de l'hydrocarbure dans le réacteur même au moyen d'oxygène ou d'air suroxygéné. (voir schéma ci-joint)

L'unité de production d'ammoniac doit donc être complétée par une unité de séparation cryogénique de l'oxygène de l'air qui alourdit le prix de revient.

A cette réserve près, les procédés d'oxydation partielle permettent d'utiliser tous les hydrocarbures liquides disponibles, qu'il s'agisse des "produits blancs" à teneur en soufre faible ou nulle (essences légères, naphta, propane / butane et gaz naturel) ou des "produits noirs" à forte teneur en soufre (fuel oil de toute catégorie).

Avec les produits blancs, on pourra utiliser l'oxydation partielle catalytique. Si on doit utiliser des produits noirs, on utilisera l'oxydation partielle non catalytique suivie d'une élimination des suies et d'une désulfuration. Ces procédés ont été développés principalement en EUROPE après la deuxième guerre mondiale. Ils ont été largement supplantés à partir des années 60 par le reforming tubulaire catalytique mais ils restent intéressants là où une unité de taille petite ou moyenne se justifie et où les matières premières disponibles ne peuvent être traitées par reforming tubulaire.

c) Reforming tubulaire catalytique : ce procédé a été développé de longue date aux U.S.A. pour la production d'hydrogène à partir de gaz naturel suivant la réaction :

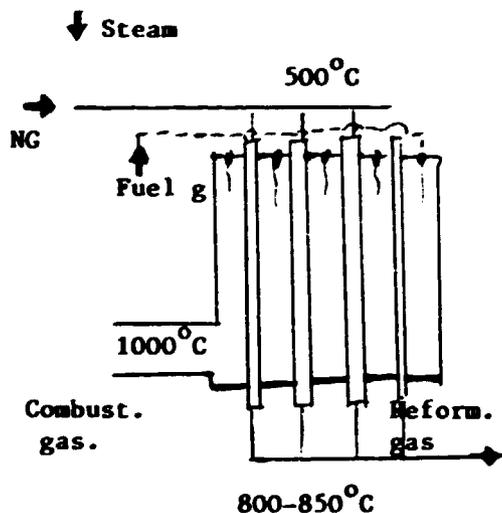


La chaleur de réaction est fournie cette fois par combustion de gaz de chauffage à l'extérieur des tubes de reforming et non plus par une combustion partielle dans le réacteur même. De cette façon, une unité de séparation de l'oxygène de l'air n'est plus nécessaire. (voir schéma ci-joint)

TABULAR REFORMING

(NG. Naphta)

Ni catalyst

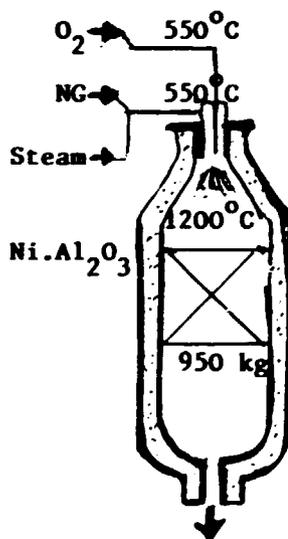


Problem: heat recovery
tube resistance
P - T
% conversion of CH₄

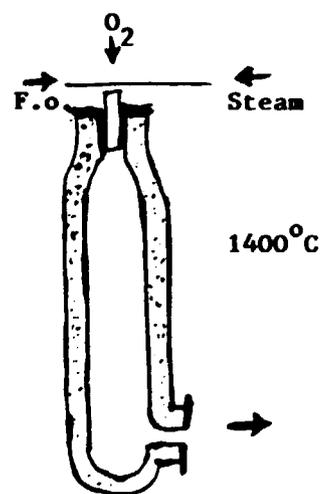
AUTOTHERMAL REFORMING

Catalytic
(NG. Naphta)

Non catalytic
(NG. Naphta - F.o)



Problem: production of O₂
no limitation for P and T



idem. catalytic
+ carbon black
production

Suivant le schéma devenu classique, le reforming tubulaire est suivi d'une post-combustion au moyen d'air qui apporte l'azote nécessaire à la réaction de synthèse de l'ammoniac et la chaleur nécessaire pour parachever la réaction de reforming.

Suivent ensuite :

- a) la conversion du CO suivant la réaction $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$
- b) la décarbonatation, réalisée par lavage à l'aide d'une solution absorbante
- c) la purification finale réalisée par méthanisation des dernières traces de monoxyde et de dioxyde de carbone

Le mélange gazeux est ensuite comprimé pour passer dans le réacteur de synthèse de l'ammoniac.

A partir des années 65, les compresseurs à pistons utilisés jusque là pour les diverses opérations de compression de gaz ont été remplacés par des turbocompresseurs associés avec des turbines à vapeur dans le cadre d'une intégration énergétique de plus en plus poussée des unités.

A cette occasion, les capacités unitaires furent rapidement augmentées de 200-400 T /j. à 1000 T/j avec d'impressionnantes économies d'énergie et de frais fixes d'exploitation.

Actuellement, et ce, depuis de nombreuses années, on ne construit plus que des unités de 1000 à 1.500 T/j et la plupart des unités anciennes de capacité moyenne ont été ou vont être mises à l'arrêt.

Les nouvelles unités sont le plus souvent installées à proximité des zones d'extraction de pétrole ou de gaz naturel où elles disposent de la matière de base à bas prix (celle-ci représente plus de 80 % du prix de revient de l'ammoniac avant amortissements).

L'ammoniac produit dans ces conditions peut être stocké et transporté économiquement à la pression atmosphérique sur de grandes distances notamment par tankers de 30.000 T. ou davantage réfrigérés à - 33°C.

Des grands terminaux portuaires, il peut être acheminé par barges en remontant les fleuves ainsi que par camions au wagons-citernes là où le transport fluvial n'est pas possible.

2.1. 3. CONDITIONS A SATISFAIRE POUR TOUT NOUVEL INVESTISSEMENT DE PRODUCTION D'AMMONIAC.

Sauf développement technique nouveau, un nouvel investissement en production d'ammoniac n'est concevable que dans les conditions technico-économiques ci-dessus.

Il peut évidemment être dérogé à cette règle devenue quasi générale si les besoins en ammoniac sont situés dans une zone économiquement isolée du marché mondial ou si des considérations politiques justifient des mesures d'indépendance économique.

Il n'empêche que même dans cette perspective, il est illusoire de songer à de petites unités "rustiques" d'exploitation aisée. Même en abandonnant ce que les unités modernes ont d'exigeant de par leur taille et leurs interdépendances énergétiques, une ligne de fabrication d'ammoniac la plus simplifiée requerra toujours pour son exploitation du personnel de haut niveau et pour son entretien un environnement technologique très qualifié.

On sent bien que ces investissements ne pourront s'amortir sur des capacités trop faibles ; on ne s'attendra donc pas à trouver ici des mini-usines, mais de "petites" usines d'une capacité de 150 à 300 T. d'ammoniac / jour. Seule la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau qui fournit un hydrogène plus pur permettrait éventuellement de réduire le seuil de capacité aux environs de 50 à 100 T. d'ammoniac / jour ; mais cette production d'hydrogène n'est envisageable économiquement que là où on dispose d'énergie électrique extrêmement bon marché ; par exemple en cas de capacité d'énergie hydroélectrique excédentaire. Un tel cas est signalé au PEROU : l'usine CACHIMAYO à CUZCO, avec une capacité de 27.000 T. d'ammoniac / an.

2.1. 4. ENGRAIS AZOTES SIMPLES.

Les engrais azotés simples les plus courants sont :

- l'ammoniac lui-même engrais le plus riche en azote avec 82 Kg d'azote utilisable par 100 Kg. Il est utilisable par injection directe dans le sol mais cette technique requiert une infrastructure relativement lourde qui limite son utilisation aux grandes exploitations fortement mécanisées.

- L'urée $\text{NH}_2 - \text{CO} - \text{NH}_2$ produite par synthèse au départ d'ammoniac et de CO_2 dans un procédé aux opérations unitaires de même sophistication que celles de la production d'ammoniac. Le CO_2 nécessaire est généralement obtenu comme sous-produit obligé de la fabrication d'ammoniac et à ce titre les deux productions doivent être intégrées sur un même site. Sa teneur en azote de 46 % supporte bien les coûts de transport.

- Le sulfate d'ammoniaque $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ produit par réaction de l'ammoniac et de l'acide sulfurique est un engrais assez pauvre avec 21 % d'azote, ce qui grève ses frais de transport. Sa production et son utilisation ne se justifient que si on dispose de quantités abondantes d'acide sulfurique fatal (provenant par exemple du grillage de minerais sulfurés). Il est de plus concurrencé par le sulfate d'ammoniaque obtenu comme sous-produit d'autres opérations industrielles.

- Le nitrate ammonique produit par réaction de l'ammoniac et de l'acide nitrique et addition de certaines matières de charge inertes comme les carbonates de chaux qui réduisent sa teneur en azote de la valeur stoechiométrique de 35 % à 33,5 - 34 % (nitrates haute teneur) ou à 28 à 26 % (calcium ammonium nitrate CAN). Les premiers qui sont les plus économiques à produire, à transporter et à épandre présentent cependant des risques d'explosion qui ont entraîné les Etats à édicter des règles souvent contraignantes pour leur stockage et leur transport. L'acide nitrique est produit par combustion catalytique de l'ammoniac. Le monoxyde d'azote produit par cette réaction est oxydé en dioxyde d'azote et celui-ci est dissout dans l'eau pour former un acide titrant 52 à 62 % HNO_3 . Une telle solution d'acide ne contient que 12 à 14 % d'azote et son transport sur de longues distances est prohibitif.

- Les solutions urée - nitrate titrant 30 à 35 % d'azote aisément transportables par eau, fer ou route constituent actuellement une forme commode de fertilisation.

2.1. 5. REFLEXION GENERALE SUR LES PRODUCTIONS D'AMMONIAC ET D'ENGRAIS AZOTES.

Si la production minimale d'ammoniac d'une unité peut varier de 25.000 T./an (cas de CACHIMAYO) à 50 ou 100.000 T./an,

Si les engrais azotés dérivés peuvent contenir de 26 (CAN) à 46 (UREE) pour-cent de N, ceci implique sur le site de production de l'ammoniac une production de 45.000 à 150.000 ou 300.000 T. d'engrais / an.

De tels tonnages devront être transportés sur de longues distances pour trouver des marchés - si toutefois ces marchés existent - et de ce fait ils seront beaucoup plus exposés à la compétition des produits du commerce mondial.

Qu'on nous comprenne bien.

Nous ne voulons pas dire qu'il est impossible d'exploiter des ressources locales pour la production d'ammoniac et d'engrais azotés, mais nous disons qu'en raison de la sophistication, de la complexité et de la sensibilité des procédés à mettre en oeuvre, la taille minimum des usines dépassera largement la capacité d'absorption de la plupart des marchés locaux. En conséquence, la production devra s'écouler sur des marchés régionaux, voire continentaux où elle sera beaucoup plus exposée à la concurrence des produits du commerce mondial.

Il faudra donc faire précéder de telles réalisations d'études de marché sérieuses et complexes tenant compte de toutes les facettes du problème, depuis les infrastructures matérielles et humaines jusqu'aux capacités des disponibilités en matières premières ou des marchés pour les produits finis sans oublier les problèmes logistiques tant en amont qu'en aval de la production proprement dite.

2.2. MINI-USINES D'ENGRAIS PHOSPHATES.

Comme indiqué au chapitre 1. de ce document, ce sont les pays qui disposent de ressources phosphatières qui ont le plus de raisons et les meilleures chances de satisfaire tout ou partie de leurs besoins en engrais par une production locale basée sur leurs ressources naturelles, mises en valeur dans une ou des mini-usines.

En effet, la valorisation des ressources phosphatières n'exige que la mise sous forme soluble du phosphore contenu et ceci peut être obtenu par une simple acidulation destinée à rompre la molécule d'apatite insoluble pour la transformer en un mélange des formes suivantes :

- phosphate monocalcique : soluble dans l'eau
- phosphate bicalcique : soluble dans le citrate d'ammonium
- phosphate tricalcique : soluble dans les acides faibles : citrique ou formique.

Bien entendu, cette histoire simple se complique lorsqu'on se trouve en présence de ressources phosphatières riches en impuretés basiques, telles que fer, alumine, magnésie,

et malheureusement ces impuretés basiques sont souvent présentes dans les petits gisements de phosphate qu'on trouve fréquemment dans les pays en développement. On verra au fil de ce chapitre comment il est possible de s'accomoder de la présence de ces impuretés.

2.2. 1. VOIE DE L'ACIDIFICATION SULFURIQUE.

Les plus anciens, donc plus classiques procédés d'acidification ont recours à l'acide sulfurique ; celui-ci peut être :

- obtenu localement au départ d'unités de grillage de minerais sulfurés de métaux non ferreux,
- produit localement à base de soufre importé, ce qui peut être intéressant car le soufre est un minerai à 100 % de concentration, qui peut donc se transporter économiquement, et de plus sa transformation en acide sulfurique est exothermique et produit donc de l'énergie,
- importé si la logistique d'acheminement est suffisamment performante.

2.2. 1.- 1. Principes du traitement.

S'il s'agit de mini-usines, l'acidification ne sera généralement pas poussée jusqu'à la production d'acide phosphorique car

- d'une part, la complexité et le coût d'une usine d'acide phosphorique ne peuvent guère s'amortir sur une faible production,
- d'autre part, la présence fréquente d'importants pourcentages d'impuretés basiques dans les phosphates disponibles compliquerait exagérément le processus de production de l'acide phosphorique.

On se limitera donc généralement à une réaction simple entre le phosphate préalablement broyé et une quantité d'acide sulfurique au maximum suffisante pour mettre la majorité de phosphate sous forme monocalcique. C'est le principe même de la fabrication du plus ancien des engrais chimiques : le superphosphate simple (SSP).

Toutefois, si on se trouve en présence de minerais riches en impuretés basiques, le superphosphate simple aura des propriétés peu intéressantes :

- physiquement, il se présentera sous forme d'une pâte collante qui ne durcit pas correctement,
- chimiquement, il tendra à rétrograder vers des formes moins solubles.

C'est pour répondre à ces inconvénients que l'INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER (IFDC) a longuement étudié et développé la production de superphosphates sous acidifiés, encore appelés "partially acidulated phosphate rock", ou PAPR.

En effet, le concept de l'acidulation partielle, indiquant l'usage de moins d'acide que ce qui est nécessaire pour transformer le phosphate en SSP, rend souvent possible le traitement de minerais riches en impuretés basiques et permet leur transformation en produits fertilisants utiles. Bien souvent, dans ces cas, la production de SSP de qualité marchande serait impossible.

De plus, les différents PAPR peuvent être spécialement intéressants pour les producteurs qui doivent importer ou leur soufre ou leur acide sulfurique car ils consomment moins d'acide que le SSP et permettent de ce fait une économie de devises significative.

En général, le coût départ usine du P_2O_5 des PAPR est estimé à environ 80 % de celui du SSP. Quant à leur performance agronomique, elle peut être comparable à celle du SSP quand ils sont employés dans les meilleures conditions (sols acides caractérisés par une forte capacité de fixation du phosphore, ce qui est généralement le cas des pays tropicaux).

2.2. 1.2. Technologies de production.

Les matières premières doivent d'abord être correctement préparées :

- Le phosphate est broyé à une finesse d'autant plus grande que sa dureté est élevée et sa réactivité faible. Ce broyage est généralement effectué en broyeur pendulaire encore qu'on puisse aussi utiliser un broyeur à boulets ou à barres

- L'acide sulfurique devra être dilué et refroidi ; plus faible est la réactivité du phosphate, plus dilué doit être l'acide utilisé (par exemple, 60 à 75 % H₂SO₄ contre 75 à 90 % pour des phosphates tendres) et plus limitée est l'acidulation permise avant que l'acidité rende le produit collant.

- Ensuite, on peut procéder à la réaction ; elle est généralement assez courte et donne un produit qui a la consistance de bouillie ; celle-ci est récoltée dans un espace clos où la réaction continue et fait se solidifier la masse lorsque la réaction a été bien conduite. La masse solide est ensuite hachée par des dispositifs appropriés et mise en tas où son "mûrissage" prend encore quelques semaines.

Le produit peut être granulé :

- soit dès la sortie de la cave mais dans ce cas la réaction est bloquée et la solubilité limitée.

- soit après mûrissage en tas, ce qui permet l'obtention de solubilités supérieures.

La réaction peut se faire dans des équipements continus ou discontinus.

2.2. 1.-3. Production de SSP ou PAPR en discontinu.

Le procédé de fabrication très simple se prête remarquablement bien à l'exploitation en discontinu ou "par charges successives (batch process)".

Le contrôle est aisé ; les pesées des matières premières faciles à réaliser et leur proportionnement stoechiométrique peut être ajusté sans difficulté, ce qui est essentiel à la production d'un engrais de qualité.

C'est pourquoi ce procédé s'est maintenu dans ce domaine jusqu'à tout récemment même dans des sociétés très performantes : KEMIRA OY nous dira que sa ligne de production discontinue a fonctionné jusqu'en 1988, produisant du superphosphate simple ou triple ou du "KOTKA phosphate" qui est en quelque sorte un PAPR avant la lettre.

Et KEMIRA précise les avantages d'une installation discontinue :

- Construction et exploitation très simples ;

- Capacité très flexible car l'usine peut facilement fonctionner à 1, 2 ou 3 pauses ;
- Degré d'automatisation très limité mais cependant l'usine est exploitée par un petit nombre de personnes ;
- Les coûts d'énergie et de maintenance très faibles ;
- Coût d'investissement limité ; pour la plus grande part, ils concernent le broyage du phosphate et le lavage des gaz.

Voir figures 3, 4 et 5 ci-après.

PROCESS SHEET OF SUPERPHOSPHATE PLANT
SUPERFOSFAATTITEHTAAN PROSESSIKAAVIO

(Batch process)

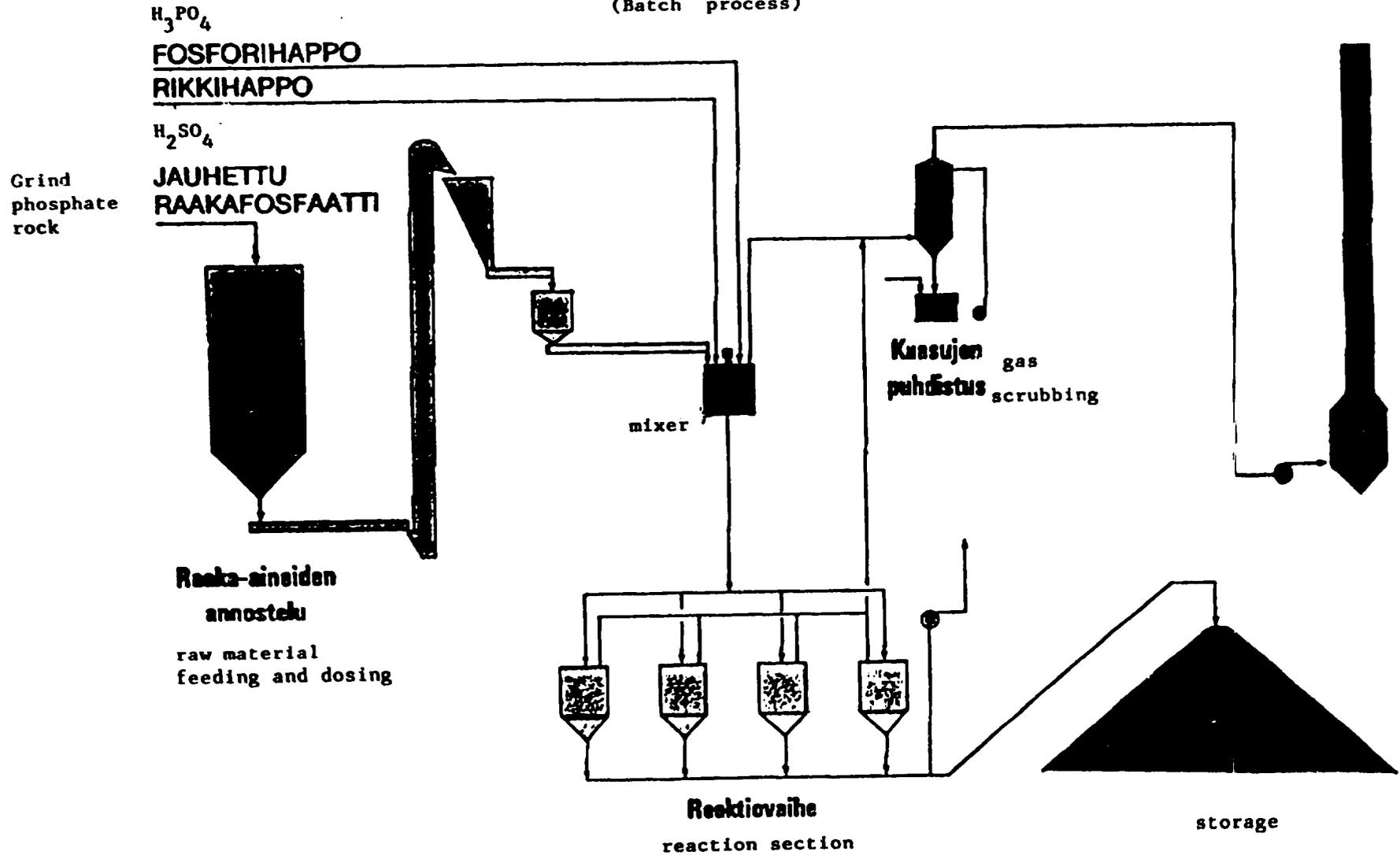


FIGURE 3

GROUND
PHOSPHATE
ROCK

FIGURE 4

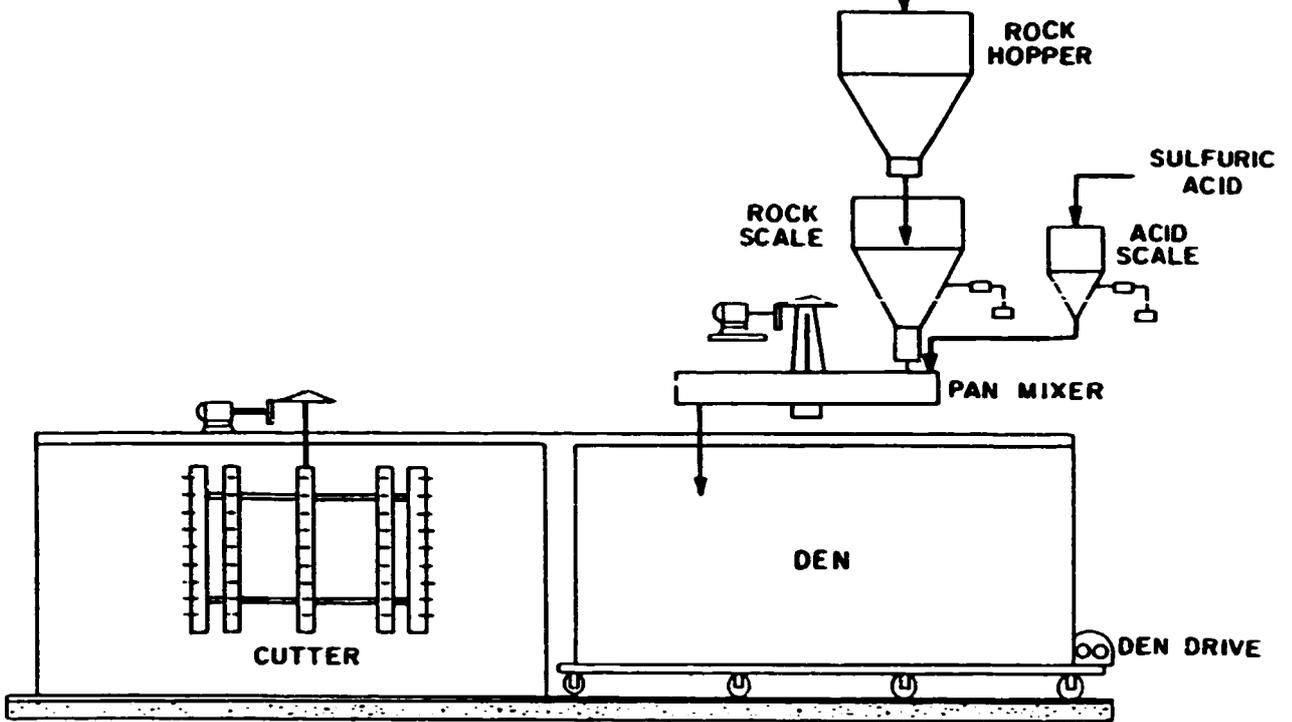


Figure 1. Batch Manufacture of Single Superphosphate.

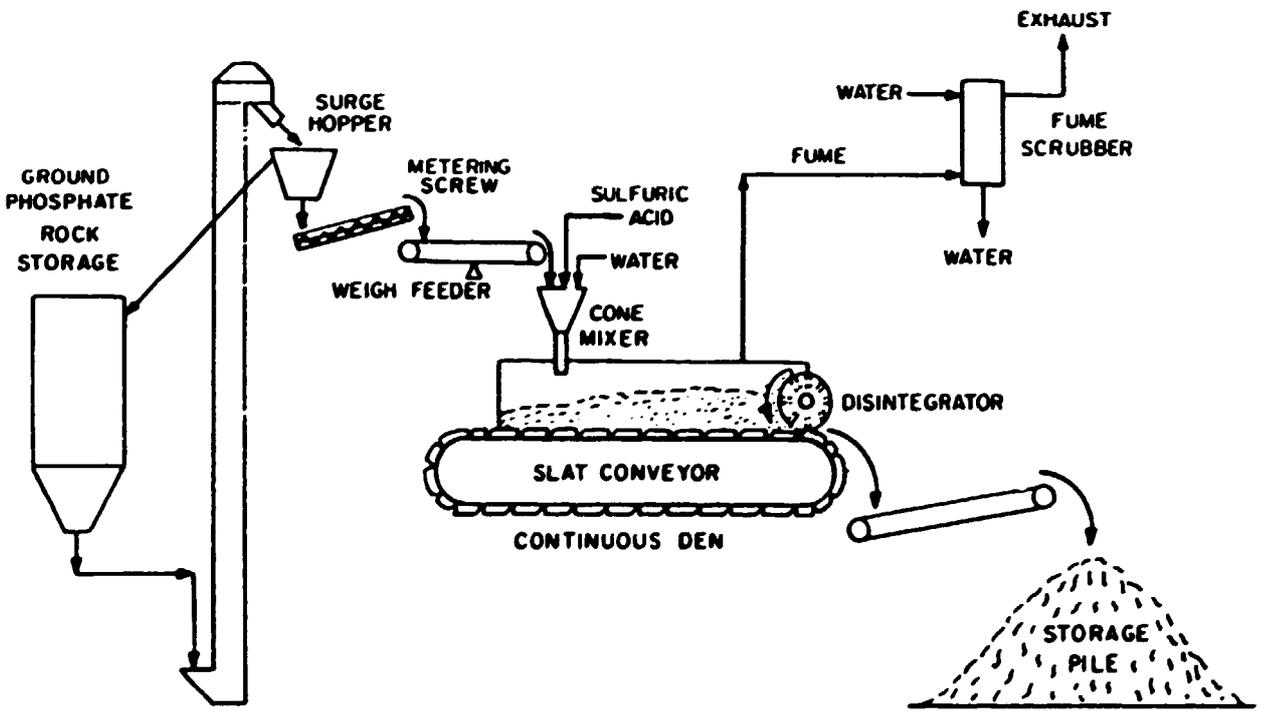


Figure 2. Continuous Manufacture of Single Superphosphate.

Table 2. Chemical Composition and Relative Reactivity of Phosphate Rocks Evaluated in Laboratory- or Pilot Plant-Scale SAB-PAPR Studies

| Phosphate Rock Source | Total P ₂ O ₅ | P ₂ O ₅ Soluble in | | | CaO | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | MgO | CO ₂ | F | SiO ₂ | Na ₂ O | K ₂ O | SO ₃ | Relative ^a Reactivity |
|------------------------------|-------------------------------------|--|----------------|------|------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----------------|-----|------------------|-------------------|------------------|-----------------|----------------------------------|
| | | 2% Citric Acid | 2% Formic Acid | NAC | | | | | | | | | | | |
| (%) | | | | | | | | | | | | | | | |
| Central Florida (U.S.A.) | 31.0 | 4.2 | 11.2 | 17.8 | 46.6 | 1.3 | 0.89 | 0.38 | 4.1 | 3.5 | 6.8 | 0.64 | 0.11 | 1.10 | Medium |
| El-Hansa (Jordan) | 30.4 | 4.5 | 13.9 | 27.8 | 50.0 | 0.31 | 0.44 | 0.21 | 6.8 | 3.9 | 7.1 | 0.56 | 0.02 | 1.52 | Medium |
| Hahotoe (Ibgo) | 35.9 | 3.0 | 7.2 | 14.3 | 51.3 | 1.3 | 1.1 | 0.05 | 1.9 | 4.0 | 4.6 | 0.23 | 0.04 | 0.50 | Medium |
| Huila (Colombia) | 20.7 | 3.5 | 7.2 | 15.1 | 49.0 | 0.6 | 1.7 | 0.17 | 8.3 | 2.7 | 23.6 | 0.16 | 0.09 | 0.95 | Medium |
| Kodjari (Burkina Faso) | 25.3 | 1.9 | 6.2 | 10.6 | 33.5 | 3.1 | 4.0 | 0.29 | 1.3 | 3.1 | 25.7 | 0.09 | 0.43 | 0.08 | Low |
| Media Luna (Colombia) | 30.0 | 2.3 | 10.5 | 22.6 | 45.5 | 0.44 | 0.47 | 0.12 | 4.6 | 3.6 | 12.5 | 0.12 | 0.07 | 0.75 | Low |
| Munoorie (India)—Concentrate | 25.0 | 0.4 | 2.1 | 6.6 | 45.3 | 5.0 | 0.55 | 1.2 | 10.0 | 2.5 | 5.1 | 0.19 | 0.16 | 8.25 | Low |
| Munoorie (India)—Run-of-Mine | 18.6 | 1.0 | 2.8 | 7.5 | 43.8 | 4.0 | 1.7 | 1.4 | 13.6 | 1.8 | 15.4 | 0.26 | 0.45 | 5.74 | Low |
| Parc W (Niger) | 28.5 | 2.6 | 7.5 | 14.9 | 39.9 | 1.9 | 1.0 | 0.03 | 1.2 | 1.5 | 23.2 | 0.13 | 0.04 | 0.10 | Low |
| Pasca (Colombia) | 19.5 | 3.3 | 10.0 | 15.1 | 27.9 | 1.0 | 1.4 | 0.15 | 1.3 | 2.1 | 40.3 | 0.14 | 0.15 | 0.45 | Medium |
| Sulukulu Hills (Uganda) | 37.9 | 2.7 | 1.5 | 4.8 | 50.5 | 2.8 | 0.77 | 0.05 | 0.6 | 2.4 | 1.9 | 0.20 | 0.03 | 0.05 | Low |
| Tahous (Niger) | 27.9 | 2.5 | 7.6 | 16.0 | 39.2 | 10.3 | 2.1 | 0.2 | 1.5 | 2.8 | 11.7 | 0.15 | 0.12 | 0.45 | Low |
| Tilman Valley (Mali) | 26.2 | 4.2 | 12.1 | 19.9 | 39.5 | 6.3 | 2.5 | 0.55 | 2.3 | 3.1 | 11.5 | 0.29 | 0.16 | 0.7 | Medium |
| Utah (U.S.A.) | 30.2 | 2.4 | 6.4 | 16.6 | 47.6 | 1.0 | 1.0 | 0.54 | 3.7 | 3.5 | 8.7 | 0.55 | 0.32 | 2.5 | Low |

a. Relative reactivity criteria: NAC-soluble P₂O₅, 0%-2.9%—Low.
 NAC-soluble P₂O₅, 3.0%-4.9%—Medium.
 NAC-soluble P₂O₅, 5.0% and above—High.

Table 3. Typical Product Characteristics—Granular SAB-PAPR

| Phosphate Rock Source | Degree of Acidulation | Total P ₂ O ₅ | P ₂ O ₅ Soluble in | | | Free Acid (P ₂ O ₅ Basis) | Free Water |
|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|--|------------------|-----------------------------|---|------------|
| | | | Water | NAC ^a | 2% Citric Acid ^a | | |
| (%) | | | | | | | |
| Laboratory-Scale Production | | | | | | | |
| Central Florida (U.S.A.) | 40 | 23.3 | 10.7 | 3.1 | 7.3 | 9.8 | 1.0 |
| El-Hansa (Jordan) | 15 | 28.0 | 3.8 | 4.8 | 11.5 | 19.2 | 0.9 |
| | 30 | 26.5 | 7.5 | 4.2 | 11.4 | 16.7 | 0.7 |
| Hahotoe (Ibgo) | 25 | 28.7 | 4.9 | 3.8 | 10.0 | 13.8 | 1.1 |
| | 50 | 25.1 | 10.6 | 2.5 | 7.8 | 10.3 | 0.6 |
| Huila (Colombia) | 50 | 14.8 | 6.1 | 2.8 | 5.8 | 7.7 | 0.5 |
| Kodjari (Burkina Faso) | 30 | 20.5 | 0.7 | 5.2 | 7.1 | 7.3 | 1.9 |
| | 50 | 18.6 | 3.0 | 4.8 | 10.0 | 9.8 | 0.6 |
| Media Luna (Colombia) | 50 | 23.4 | 10.1 | 1.6 | 6.8 | 11.4 | 2.1 |
| Munoorie (India)—Concentrate | 60 | 20.3 | 7.4 | 2.6 | 3.6 | 6.9 | 2.0 |
| Munoorie (India)—Run-of-Mine | 35 | 14.7 | 3.6 | 2.3 | 4.2 | 7.3 | 2.0 |
| Parc W (Niger) | 25 | 24.3 | 4.4 | 3.4 | 7.3 | 10.8 | 0.6 |
| | 50 | 22.3 | 9.3 | 2.8 | 7.0 | 8.4 | 0.8 |
| Pasca (Colombia) | 20 | 17.5 | 4.3 | 2.2 | NA ^b | NA | 1.7 |
| | 40 | 16.2 | 5.7 | 3.6 | 6.9 | 8.6 | 0.1 |
| Sulukulu Hills (Uganda) | 25 | 30.3 | 6.1 | 1.0 | 2.0 | 5.1 | 0.4 |
| | 50 | 26.8 | 12.1 | 1.5 | 2.5 | 5.0 | 0.4 |
| Tahous (Niger) | 25 | 24.3 | 1.1 | 4.7 | 8.5 | 10.7 | 1.0 |
| | 50 | 23.0 | 2.5 | 4.6 | 7.8 | 9.8 | 1.4 |
| Tilman Valley (Mali) | 15 | 25.6 | 0.6 | 5.3 | 11.8 | 15.2 | 2.0 |
| | 30 | 22.7 | 1.6 | 6.6 | 12.3 | 14.6 | 1.8 |
| Pilot Plant-Scale Production | | | | | | | |
| Central Florida (U.S.A.) | 30 | 25.6 | 5.4 | 4.4 | 11.3 | 16.2 | 1.7 |
| | 50 | 21.9 | 9.6 | 4.2 | 9.0 | 11.8 | 2.8 |
| Utah (U.S.A.) | 30 | 25.3 | 7.3 | 1.2 | NA | NA | 0.9 |
| | 50 | 22.5 | 11.1 | 1.8 | 7.7 | 11.9 | 1.3 |

a. Does not include P₂O₅ soluble in water.
 b. Not analyzed.

2.2. 1.-4. Production de SSP ou PAPR en continu.

Progressivement, dans les pays industrialisés, le mode d'exploitation "en continu" a supplanté l'opération "par charges successives".

Ceci s'est produit dans la mesure où :

- le coût de la main-d'oeuvre augmentait,
- les quantités produites augmentaient,
- et la technicité des entreprises croissait.

En effet, l'exploitation "en continu", si elle permet la production de grosses quantités avec une main-d'oeuvre réduite grâce à l'automatisation du processus, demande par conséquent une technicité supérieure des équipements, ce qui entraîne :

- un coût d'achat plus élevé,
- une maintenance plus difficile et plus coûteuse :
 - achat et stockage des pièces de rechange,
 - qualification de la main-d'oeuvre d'exécution et de commandement.
- une fragilité plus grande, les risques de pannes ou de simples dysfonctionnements étant accrus par l'accroissement de sophistication des équipements et d'autre part, le caractère "continu" du fonctionnement impliquant que tout arrêt d'un équipement mette toute la chaîne à l'arrêt.

Nous croyons utile de souligner notamment les problèmes que pose le proportionnement strictement stoechiométrique des matières premières.

La pesée en continu du phosphate moulu est en particulier une opération spécialement délicate dont la solution dans les usines modernes fait appel à une sophistication mécanique et électronique souvent méconnue.

Le mesurage en continu des liquides (acide sulfurique et eau) et leur proportionnement pour délivrer un flux continu et régulier d'acide à titre constant ne sont guère moins difficiles.

Si nous insistons sur ces points, c'est parce que nous les croyons fondamentaux pour le succès de l'opération.

En effet, quiconque a déjà produit du SSP avec des équipements en état précaire ou des opérateurs sous-qualifiés sait ce qu'il en coûte d'exploiter pendant quelques temps en sur-acidification ; on obtient alors à la sortie du mélangeur un produit qui n'a plus la consistance "de bouillie" traditionnelle mais est, au contraire, beaucoup plus fluide : c'est ce qu'on appelle, en terme de métier, produire une "cave liquide". Et encore, ce n'est qu'une façon de parler car une bonne partie du produit s'échappe de la cave et s'écoule sur les infrastructures non ventilées en dégageant des composés fluorés qui empestent l'atmosphère au niveau du poste de travail.

Quand à ce qui est maintenu tant bien que mal à l'intérieur de la cave, il ne parvient pas à terminer sa réaction et à faire prise normalement.

Bientôt arrive au bout de la cave un produit visqueux que les couteaux ne parviennent pas à débiter, mais projettent en tous sens, faisant fuir les opérateurs, peu désireux d'être bombardés par ces boules d'acides qui brûlent les yeux et la peau.

Si une partie du produit atteint les transporteurs de mise au stock, la situation n'y est pas meilleure car il colle aux courroies, ne se décharge que partiellement en encombrant les goulottes tandis que la partie qui adhère à la courroie est macérée par les rouleaux de retour et projetée sur l'environnement, opérateurs compris.

Tout cela se passe dans une atmosphère empestée par les dégagements de gaz fluorés à des endroits inhabituels, donc non ventilés et bientôt, il n'y a plus que la ressource d'arrêter la chaîne, d'attendre quelques heures pour que le produit durcisse quelque peu et que les opérateurs se remettent physiquement et moralement.

Alors, très progressivement et prudemment, on videra la cave, on nettoiera les équipements contrôlant les flux de matières premières avant de redémarrer l'exploitation.

Généralement une demi-heure de dérèglement entraîne un à deux jours d'arrêt si on veut limiter les dégâts résiduels aux équipements à 5/10 % de leur valeur.

2.2. 1-5. Conclusion.

En connaissance de cette description des effets impressionnants d'une marche en sur-acidification, on ne s'étonnera pas du fait que l'auteur recommande fermement le recours à un procédé par charges successives pour les mini-usines de SSP ou PAPR car, par principe, elles présenteront les caractéristiques suivantes :

- les quantités produites seront faibles,

- le coût de la main-d'oeuvre sera faible,

- la technicité globale de l'entreprise sera limitée de même que celle de son environnement.

Il sera donc important de viser :

- un coût d'investissement minimum,

- une conception rustique faisant appel à un maximum de construction locale,

- une maintenance aisée en évitant au maximum les matériels importés trop sophistiqués.

2.2. 2. VOIE DE L'ACIDIFICATION NITRIQUE.

Si l'ammoniac ($\text{NH}_3 = 82 \% \text{ de N}$) se transporte économiquement (encore que sous pression) grâce à sa forte concentration, par contre l'acide nitrique ne se présente que sous forme très diluée, ce qui rend son transport inéconomique.

En conséquence :

- l'importation d'acide nitrique moyennant son transport sur longue distance n'est pas à envisager,

- la production locale d'acide nitrique au départ d'ammoniac importé pourrait s'envisager (au même titre que la production d'acide sulfurique au départ de soufre importé) mais d'une part le procédé est assez sophistiqué, ce qui exige une capacité minimum pour l'amortir,

d'autre part le produit étant dilué ne peut se transporter très loin, ce qui limite la production à ce qui peut se consommer sur place.

En pratique, ces deux limites étant incompatibles, on n'a pas encore connu de réalisations de ce type.

Reste alors la solution proposée par SOFRECHIM : la combustion locale d'ammoniac importé en vue de produire des gaz nitreux ; ceux-ci ne sont pas transformés en acide nitrique, mais utilisés directement pour réagir avec des phosphates locaux additionnés de matières organiques diverses (tourbe, balle de mil, balle de riz, bagasse etc...) qui servent d'absorbant pour les gaz nitreux.

Ce procédé, baptisé HUMIFERT, comporte successivement (voir figure 6)

- La fabrication des oxydes d'azote, par combustion d'ammoniac dans un réacteur approprié (opération identique à celle qui constitue la première étape de la production d'acide nitrique),

- La fabrication de l'engrais proprement dite constituée de 3 phases successives, à savoir :

- * attaque par les gaz nitreux du mélange phosphate - matière organique, opération qui s'effectue dans un réacteur travaillant sous légère pression,

- * oxydation par l'air en réacteur,

- * mûrissement en tas.

- Après mûrissement, l'engrais est conditionné par séchage et extrusion sous forme de cylindres.

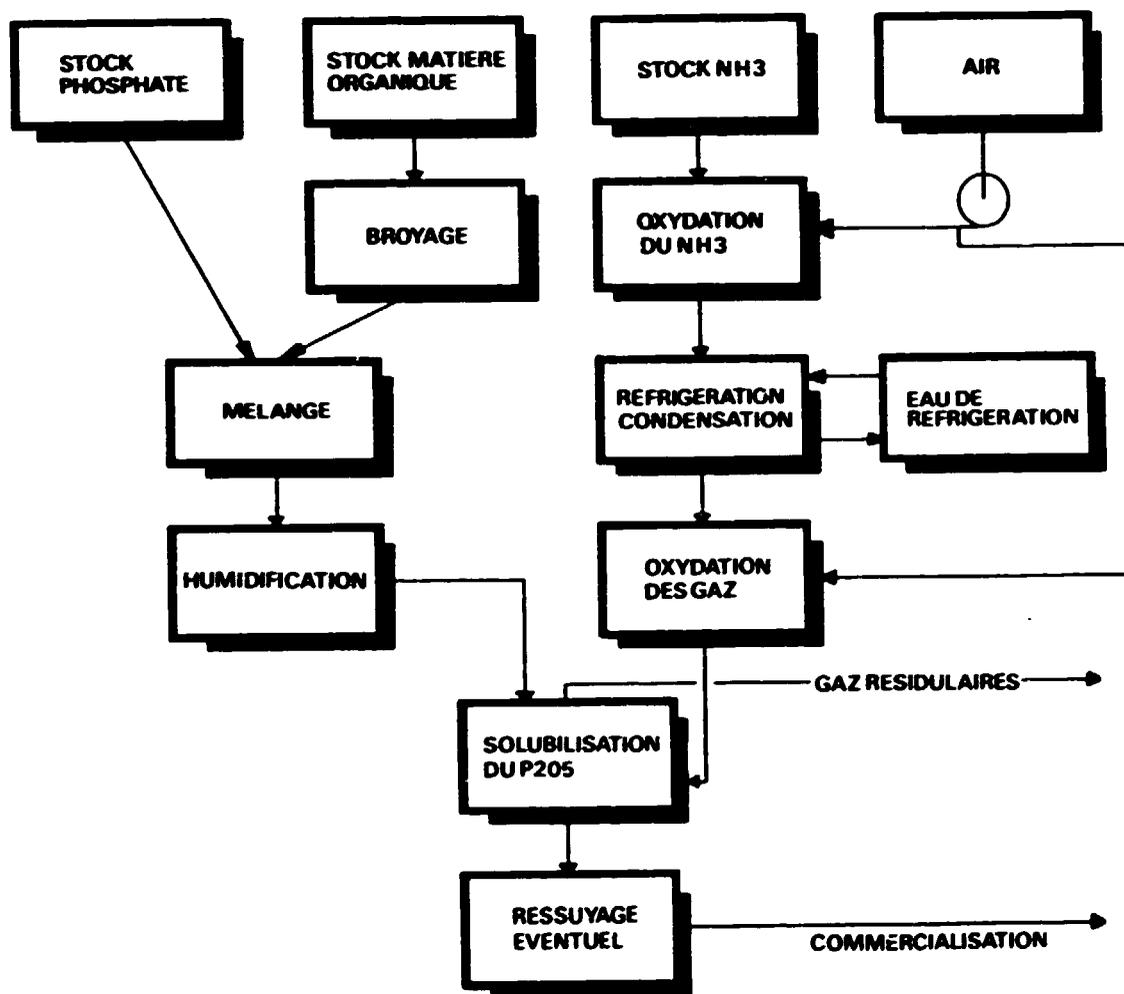
On obtient de la sorte un engrais organo-minéral dont les teneurs varient dans les limites suivantes :

N compris entre 3 et 6 %

P₂O₅ compris entre 9 et 20 %

N + P₂O₅ compris entre 15 et 25 %

SCHEMA DE FABRICATION



dont les promoteurs vantent les propriétés particulièrement intéressantes dans les sols acides tropicaux naturellement riches en fer et alumine.

Il ne manque vraiment à ce procédé que de disposer d'une première référence industrielle pour pouvoir lutter à armes égales avec les procédés de la voie sulfurique.

2.3. MINI-USINES D'ENGRAIS POTASSIQUES.

On a admis (voir § 1.4. p. 13) que les mines souterraines ne pouvaient en aucun cas s'amortir sur des productions de mini-usines, mais bien sur des productions d'usines "de classe mondiale" donc à des prix compétitifs sur le marché mondial.

En ce qui concerne la production de potasse au départ de saumures, JACOBS ENGINEERING INC., qui a conçu l'unité de base de ARAB POTASH COMPANY, laquelle exploite les saumures de la MER MORTE, côté jordanien, avec une capacité de départ de 1,2 millions de T. de potasse / an, et une augmentation de 50 % en deux temps, en dit ceci :

"même en utilisant l'évaporation solaire (économie d'énergie !), il est difficile de justifier économiquement une usine de moins d'un million de T. de potasse / an aux prix courants actuels (voir annexe 7).

Toutefois, une exception est possible

- soit si d'autres produits sont récupérables de la même saumure,
- soit si les frais de rapprochement pour atteindre le marché sont beaucoup plus favorables que ceux des produits "du commerce mondial".

FIGURE 7

PRODUCTION DE POTASSE DE ARAB POTASH COMPANY.

(Extrait d'une Conférence intitulée "SOLAR EVAPORATION AND THE PRODUCTION OF POTASH FROM DEAD SEA BRINES"

par P. H. KITTREDGE, Project Manager, JACOBS ENGINEERING GROUP INC.)

Le projet de base, d'une capacité de 1, 2 million de T. de potasse / an, comporte une opération en deux phases, à savoir :

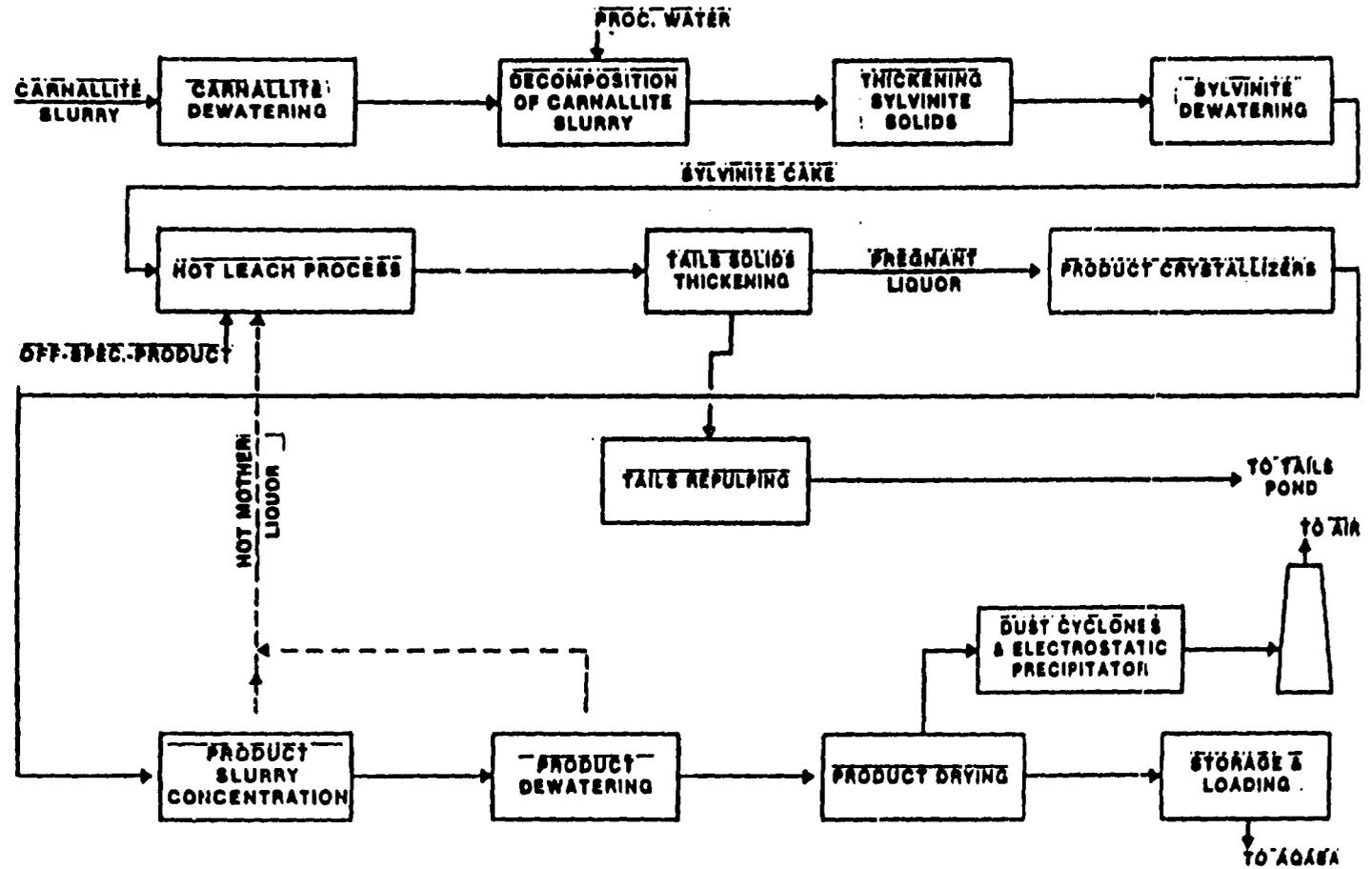
- 1.- Le processus d'évaporation solaire pour produire la carnallite.
- 2.- Le processus de raffinage pour produire la potasse au départ de carnallite.

L'évaporation solaire comporte 6 bassins totalisant 87 Km², dont 50 Km² pour le premier bassin où commence la précipitation de Na Cl ; il est alimenté par une saumure dont la teneur en potasse est de l'ordre de 14,3 grammes / litre. Après passage dans trois bassins en série, où on sépare du Na Cl par précipitation, la saumure passe dans les bassins finisseurs où commence à précipiter la carnallite (K Cl . Mg Cl₂ . 6 H₂O). Diluée par une quinzaine de pour-cent de Na Cl, elle donne un produit qui titre 23 % de potasse. Au rendement près, il en faut donc 4, 4 T. pour produire une T. de potasse. Le débit de saumure alimenté en tête varie suivant le rythme d'évaporation, lequel est saisonnier ; au maximum d'évaporation, en juillet, le débit est de 8, 5 m³ / seconde.

Le raffinage est alimenté par une saumure concentrée en carnallite et comprend les étapes suivantes (voir feuille suivante)

- 1 Traitement de la carnallite
- 2 Traitement de la sylvinite
- 3 Cristallisation de la potasse
- 4 Assèchement mécanique de la potasse
- 5 Séchage de la potasse, stockage et expédition

REFINERY FLOW DIAGRAM



3. MINI-USINES DE MELANGES D'ENGRAIS.

On a vu au chapitre 1, pages 5, 6 et 7 que les engrais les moins chers sur le marché mondial sont les engrais banalisés c'est-à-dire les engrais de première ou seconde transformation, non spécialisés suivant l'usage, mais suivant l'origine donc à priori des engrais simples ou binaires tels : Urée, NH_4NO_3

SSP, TSP, DAP,

MOP, SOP

Pour tout pays qui doit acheter ses engrais à l'étranger, ce sont donc ces formules qu'il faut essayer d'acheter.

Mais ensuite, comment procéder ?

On peut soit distribuer les engrais simples en veillant à enseigner les modes d'emploi : quantités à appliquer suivant les sols et culture, période d'emploi. Etant donné la faiblesse générale de la chaîne logistique et des moyens de vulgarisation agricole, il n'est pas exagéré de croire que l'on n'atteindra pas ainsi la fertilisation idéale recommandée et ce, d'autant plus que l'on accroît le travail du paysan qui doit ainsi faire deux ou trois épandages.

En conséquence, même si l'on s'approvisionne au moindre coût en engrais banalisés, il est souvent recommandé de prévoir dans la chaîne logistique une unité de mélange qui peut composer au choix une ou plusieurs formules correspondant aux besoins de la zone desservie. Ceci peut se faire de plusieurs manières, à savoir :

3.1. MELANGE SANS GRANULATION OU BULK BLENDING.

C'est la formule la plus populaire et de loin la moins chère ; elle consiste à mélanger entre eux, en quantités pré-pesées, différents engrais banalisés présentés sous des formes granulométriques semblables sinon identiques.

Bien rôdée par trente ans d'usage aux U.S.A., elle est mise en oeuvre dans des installations standardisées parfaitement étudiées et se termine en général par l'ensachage du mélange.

Cette opération peu coûteuse donne des mélanges qui ont connu un remarquable succès dans une agriculture aussi performante que celle des U.S.A. En vue de ce succès croissant, le procédé a essaimé, trouvant même çà et là des conditions où il a conquis la majorité du marché : c'est le cas de l'IRLANDE, qui dispose elle-aussi d'une agriculture puissante et de SAINTE-LUCIE, île tropicale des ANTILLES.

Nous manquerions à nos obligations si nous ne signalions pas que certains agronomes sont farouchement opposés au bulk blending car ils prétendent que le produit se démélange par ségrégation au cours du transport et qu'à l'épandage on a un engrais très hétérogène. Sans être spécialistes de la question, nous ne croyons pas à l'exactitude de leurs arguments car les cultivateurs européens, qui savent où est leur intérêt, ont adopté des engrais mélangés dans des installations de fortune lorsqu'ils ont pu importer des engrais banalisés leur offrant une marge sûre mais encore faible par rapport aux engrais composés de leurs fournisseurs traditionnels.

Nous y ajouterons que lorsque l'engrais mélangé est mis en sacs de 50 Kg, la ségrégation ne sépare pas très fort les grains et qu'après vidange des sacs dans l'épandeuse, on a un meilleur mélange que ceux qui mélangent manuellement des engrais simples.

En bref, nous considérons et nous appuyons pour cela sur l'avis d'incontestables autorités dans le domaine des engrais - IFDC par exemple - que le bulk blending est à recommander dès lors qu'on n'a pas pu démontrer qu'il ne convient pas car, fournissant n'importe quelle formule de mélange au prix minimum, il donne la meilleure chance de développer la fertilisation.

3.2. MELANGE AVEC GRANULATION.

Le but de cette opération est de mélanger des produits de base de granulométrie similaire et si possible assez fine de façon à obtenir un mélange homogène que l'on granule ensuite en espérant, ou tout au moins, en affirmant que chaque granule contiendra la même proportion de chaque élément.

On distinguera :

3.2. 1 GRANULATION PAR AGGLOMERATION D'UN MELANGE HUMIDE.

Cette opération requiert l'humidification du mélange pulvérulent par des quantités non négligeables (de l'ordre de 10 % du poids total) d'acides sulfurique et phosphorique, lesquels seront ensuite solidifiés par neutralisation à l'ammoniac. Cette opération entraîne ces coûts importants lorsqu'on se trouve à l'écart des grandes routes du commerce mondial

- approvisionnement de quantité non négligeables du point de vue coût, mais faibles du point de vue logistique d'acides,

- idem pour l'ammoniac,

- opération sophistiquée et sensible

- consommant de l'énergie pour le séchage.

Dans les conditions de l'EUROPE OCCIDENTALE, elle équilibre ses bilans à partir d'une capacité de 250.000 T/an. Rares sont les situations de pays en développement où elle pourra en faire autant.

3.2. 2 GRANULATION PAR COMPACTAGE D'UN MELANGE SEC.

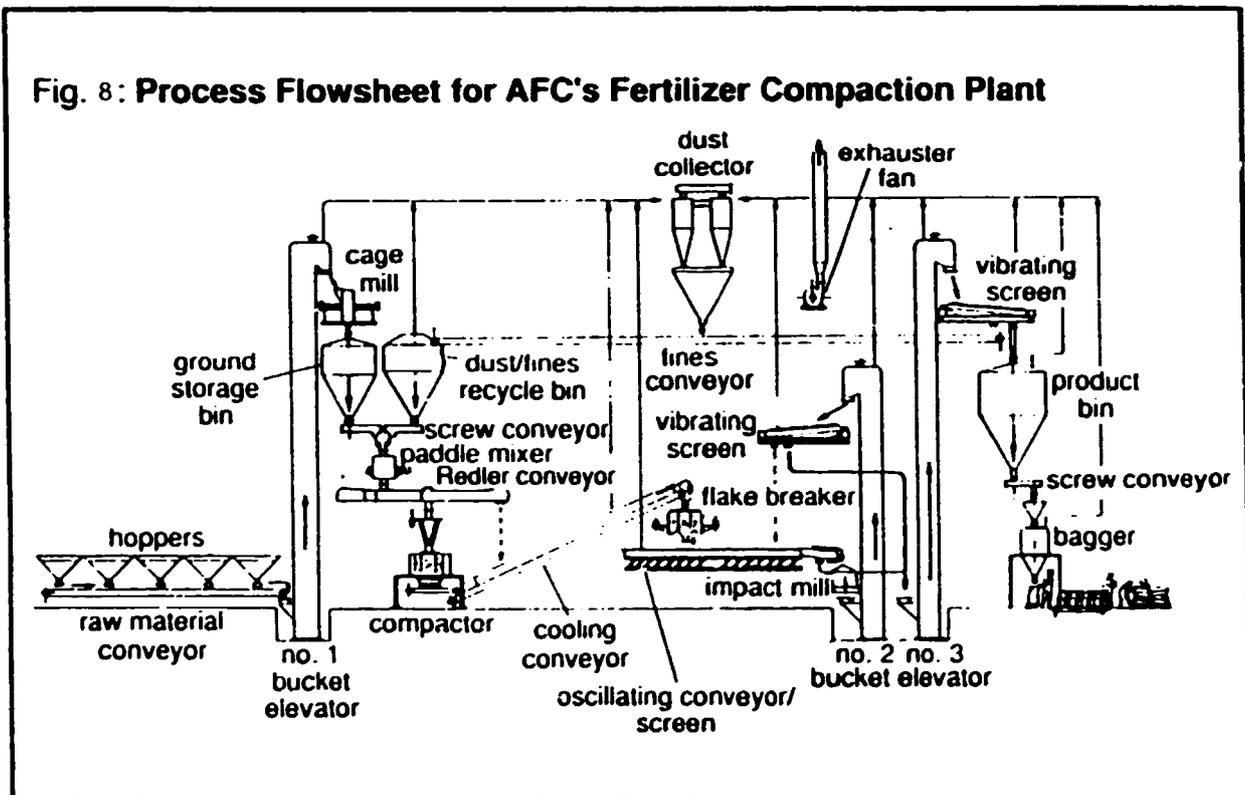
Par opposition à la granulation par agglomération, le compactage n'utilise que des matières premières solides, ce qui signifie qu'il ne requerra pas de chaleur pour un séchage ultérieur.

N'ayant pas d'exigence spéciale en ce qui concerne la dimension des particules ou leur distribution, il peut être utilisé pour traiter des matières premières de provenances pratiquement illimitées.

De plus, il est très flexible et parfaitement adapté pour des unités de petite taille et une exploitation intermittente.

Il n'est pas surprenant, sur base de ces avantages et d'autres, que le compactage devienne de plus en plus attractif pour les pays en développement et pour les zones agricoles tropicales et semi-tropicales où beaucoup de cultures différentes, avec des besoins de fertilisation différents sont cultivées dans des zones relativement limitées (voir annexe 8).

Fig. 8: Process Flowsheet for AFC's Fertilizer Compaction Plant



4. INFRASTRUCTURES PHYSIQUES

Ce sujet a déjà fréquemment reçu l'attention souhaitée de la part de l' ONUDI car son caractère essentiel est évident. Nous ne pourrions mieux faire que de rappeler ce qui fut écrit dans le document ID/WG 475/9(SPEC) du 19 octobre 1988, établi par le secrétariat de l' ONUDI préparer la réunion qui s'est tenue en décembre 88 à YAMOOUSSOUKRO (COTE D'IVOIRE).

Les investissements dans les infrastructures connexes sont particulièrement élevés pour les usines d'engrais, car il s'agit d'une part d'usines produisant des articles pondéreux destinés à une clientèle géographiquement dispersée, utilisant en grande quantité une matière première pondéreuse dont les sites productifs sont rares, et travaillant avec une technologie, certes connue, mais exigeante du point de vue de la régularité du fonctionnement et de la précision des applications, donc exigeante en main d'oeuvre qualifiée et diversifiée, et très dépendante d'une bonne maintenance et d'approvisionnements réguliers en énergie, intrants divers et pièces détachées. Pour toutes ces raisons, quelle que soit l'implantation choisie pour l' usine (proximité d'une région agricole peuplée, proximité de la source d'énergie, ou de matière première), il faudra compter avec de lourds investissements d'infrastructure, qui, certes ne sont pas destinés à satisfaire les seuls besoins de l'usine, mais seront souvent réalisés ou entrepris du fait de sa présence.

Une liste non limitative de ces investissements en infrastructures connexes montre déjà l'énormité des financements connexes indispensables: aménagements portuaires, réseaux routiers ou ferroviaires, pour assurer les approvisionnements en intrants ou acheminer les produits finis vers les lieux de destination, prises d'eau, aménagements énergétiques, centrales électriques ou lignes à haute tension, gazoducs ou oléoducs, ouverture ou aménagements de mines de charbon, construction de cités ouvrières, infrastructures administratives urbaines, scolaires ou sanitaires pour accueillir les besoins d'une population de travailleurs importante, centres de recherche et centres de formation professionnelle, capacités de stockage au niveau des pôles commerciaux, etc...

Les investissements nécessaires pour assurer une commercialisation des engrais dans de bonnes conditions (réseaux routier et de voies ferrées, entrepôts, hangars de gros et magasins de détail, moyens de transport) ainsi que les coûts des moyens humains aptes à assurer la logistique de commande, de livraison, de facturation, de crédit et d'encaissement sont énormes, et ne peuvent pas être supportés par le fabricant,

et il est vraisemblable que certains investissements nécessaires à la distribution des engrais devraient être réalisés par l'Etat dans de nombreux pays d'AFRIQUE , où le mouvement coopératif n'a pas encore atteint le niveau requis . Cela ne signifie nullement que l'Etat doive systématiquement prendre en charge lui-même la commercialisation des engrais . L'objectif est que l'engrais arrive au paysan , au moment voulu , en quantité et qualité voulues , et que le prix de cession aux utilisateurs reste abordable . Dans certains cas , les organismes de vulgarisation agricole peuvent se charger de cette tâche ; dans d'autres, les commerçants traditionnels peuvent assurer des performances acceptables , dans un régime de prix libres ou même contrôlés par l'Etat , et ce en fonction des situations locales .

Le problème principal est de savoir si ces investissements d'accompagnement doivent être inclus ou non dans le projet industriel.

L'intégration des dépenses d'infrastructure dans le projet industriel peut conduire à présenter des coûts d'investissement totaux allant jusqu'à deux ou même trois fois le coût d'investissement industriel stricto sensu. Il suffit de se souvenir du coût d'un km de route bitumée en PED ou à plus forte raison d'un km de voie ferré qui peut facilement coûter plus d'un million de dollars. D'un autre côté, ne tenir compte que des investissements internes à l'usine et se dire qu'une fois l'usine montée

" l'infrastructure suivra " serait faire preuve d'un optimisme dangereux, car comment fonctionnera l'usine si le gazoduc n'existe pas , si les importations ne peuvent être déchargées au port , si les matières premières n'arrivent pas à l'usine faute de routes ou de chemin de fer , si les fournitures d'électricité sont irrégulières , si les capacités de stockage sont insuffisantes , ou si la main d'oeuvre adéquate ne peut être recrutée sur place.

Généralement les spécialistes du financement des usines d'engrais conviennent que

- l'existence préalable ou la réalisation simultanée des infrastructures d'accompagnement constitue une condition sine qua non de la mise en oeuvre du projet industriel ;

- l'énumération et le chiffrage des infrastructures d'accompagnement indispensables mais encore inexistantes , doivent figurer dans le projet industriel ;

- les problèmes posés par la prise en compte de ces investissements et le financement du coût de leur réalisation doivent être résolus en dehors du financement du projet *stricto sensu* , et ne pas intervenir dans le calcul prévisionnel de rentabilité de l'usine d'engrais;

-le financement des infrastructures d'accompagnement doit être explicitement organisé sur d'autres fonds que ceux réservés au projet industriel.

A cet égard on peut se référer à certains exemples récents où la distinction entre ces deux catégories d'investissement est clairement affirmée :

a) un récent projet régional est-asiatique prévoit la construction en INDONESIE d'une usine d'urée de 570 000 t/an de capacité, à vocation régionale (les Etats membres de l'organisation de l'ASIE du SUD - EST - ASEAN). Le coût de la main d'oeuvre locale, le niveau atteint par la compétence technologique indonésienne, la disponibilité de la zone choisie (SUMATRA NORD) en gaz naturel et sa proximité des centres de consommation des pays membres expliquent le choix fait par la Conférence de l'ASEAN. L'usine est financée par des prises de participation en capital des Etats membres concernés et des prêts japonais à long terme. Cependant le caractère encore peu industrialisé et peu équipé du site de l'usine a obligé les promoteurs du projet à participer également au financement de certaines infrastructures spécifiques d'accompagnement : équipement d'un port pour assurer l'importation d'intrants et l'exportation d'urée vers les Etats membres, installation d'une prise d'eau, construction d'une cité ouvrière.

b) Dans ses analyses de faisabilité, la BIRD n'inclut pas dans les calculs de rentabilité économique ou financière du projet industriel, les coûts des investissements nécessaires en matière d'infrastructure. Mais elle en tient compte dans la détermination de la faisabilité technique du projet et s'assure que le gouvernement ou la région ont fait ou s'appêtent à faire les investissements d'infrastructure nécessaires. Eventuellement elle participe elle-même au financement de ces infrastructures mais dans le cadre d'autres projets (par exemple un projet de promotion à l'équipement énergétique pour les oléoducs ou gazoducs dans lesquels il est tenu compte des projets industriels dépendant de ces infrastructures). Un paragraphe du rapport de factibilité d'un projet d'usine d'engrais précise par exemple que

" l'achèvement en temps voulu des aménagements d'infrastructure suivants est critique pour assurer le démarrage du projet : l'achèvement du gazoduc jusqu'au site du projet, la réalisation d'un barrage et d'un canal, le lien ferroviaire jusqu'au site pour le transfert de l'équipement lourd et l'expédition de la production d'urée. La Banque a reçu l'assurance que "

En résumé , les usines d' engrais sont particulièrement exigeantes en infrastructures connexes. Dans les PED l'intégration des aménagements ou améliorations d'infrastructure dans le projet industriel pourrait facilement doubler ou tripler les besoins de financement requis et réduire ou annihiler la rentabilité de l' unité industrielle . Il est recommandé que les PED tiennent compte de ces besoins d' aménagements structurels , avant de se lancer dans un projet de réalisation d' usine , qui sans cet environnement ne pourra fonctionner . Mais il convient de leur assurer un financement spécifique , à partir de sources publiques à conditions douces (budget de l' Etat , aides bilatérales ou multilatérales) et ne pas imputer les dépenses d' investissement ou de fonctionnement considérées au projet industriel .

On peut considérer que les infrastructures nouvelles s' amortiront ensuite sur l' ensemble du tissu industriel qui aura été initié par l' usine d' engrais , et induit par l' existence d' infrastructures .

5. INFRASTRUCTURES HUMAINES .

5.1. LEUR IMPORTANCE.

Bien que ces infrastructures humaines soient tout aussi essentielles que les infrastructures physiques pour le succès de toute entreprise industrielle ou commerciale , leur caractère immatériel fait qu'elles ont reçu beaucoup moins , disons même beaucoup trop peu d'attention..

En effet, lorsqu'une activité fait appel à une technicité inconnue de la population d' un pays , la formation du personnel ne peut se limiter à quelques semaines de préparation pour les cadres principaux ; cette procédure, qui est d' application courante dans les sociétés où il n'y a pas d' écart technologique (technological gap) , se révèle tout à fait insuffisante dans une société moins développée au plan technique .

Pour prouver ce point , prenons l' exemple d'un jeune technicien fraîchement diplômé ; a priori , son diplôme garantit qu'il dispose des connaissances théoriques suffisantes pour accomplir la besogne à laquelle on l'affecte , mais il lui reste à apprendre par la pratique comment on applique ces connaissances en usine .

S'il se trouve dans une société industrielle , cette formation pratique ne pose pas de problème majeur ; encadré de toutes parts, le jeune technicien apprend l' application de ses connaissances tant par les instructions qu'il reçoit de ses supérieurs que par les conseils de ses pairs ou par l' observation du travail de ses subordonnés .Et ainsi , progressivement , plongé dans un environnement humain compétent et expérimenté , le jeune technicien verra comment on réussit les opérations de tous les jours - simples ou compliquées - , comment on évite les écueils qui débouchent sur des aléas ruineux ; bref , il acquerra progressivement l'expérience qui en fera insensiblement un pion majeur de l'édifice , capable à son tour de céder son savoir faire aux autres parce qu'il est devenu capable de s' orienter lui-même , de réagir avec sang-froid face aux dérives éventuelles , ce qui lui permet de prendre les bonnes décisions aux bons moments .

Par contre si ce même technicien commence sa carrière industrielle dans une société pré-industrielle , sa formation se ressentira du fait qu'il ne trouve pas toujours (ou pas souvent) quelqu'un qui puisse le former , lui indiquer comment appréhender une situation , l'analyser afin de décider en connaissance de cause . Bien au contraire , même s'il donne des instructions correctes , il se peut que ses adjoints ne soient pas à même de les exécuter correctement et que , de ce fait , il doive passer une fraction exagérée de son temps à les contrôler , avec pour résultat qu'il néglige sa propre besogne et risque ainsi , faute de temps et de support , de commettre des erreurs .

Si cela se produit et que les conséquences matérielles soient lourdes , cela décourage la personne , qui en vient alors à perdre confiance en elle-même .

Si le phénomène se répète à trop de postes de l'entreprise , c'est l' existence de celle-ci qui est en jeu . Et il existe pas mal d'entreprises arrêtées pour hémorragie financière , pour lesquelles la cause réelle de l'échec est l'inconsistance de la pyramide humaine qui aurait dû l'animer .

5.2. LES MOYENS A METTRE EN OEUVRE POUR CONSTITUER LES INFRASTRUCTURES HUMAINES.

Indépendamment du niveau d'instruction générale de la population qui fait l'objet d'autres programmes , la constitution des infrastructures humaines accompagnant le transfert de technologie devra être organisée de façon tout à fait professionnelle . Son importance - nombre et niveau des personnes formées , durée des formations - sera fonction de la taille et du degré de sophistication des entreprises concernées .

Quoi qu'il en soit , tout transfert de technologie devrait incorporer une constitution d'infrastructures humaines qui comporte nécessairement les trois étapes que nous qualifierons par les termes: **FORMATION - ASSISTANCE - GUIDANCE** .

Ces trois étapes peuvent s' expliciter comme suit :

la **FORMATION** est assurée préalablement à la mise en service de l'usine ; elle doit comporter une instruction théorique sur les matières concernées et être ensuite complétée par la mise en application pratique de ces matières lors d'un stage dans une industrie identique ou similaire .

Elle doit s'adresser à un nombre suffisant de cadres techniques et administratifs pour donner de la consistance à la pyramide humaine que l'on constitue et cela , en dépit d'un taux d'échecs ou de démissions à prévoir .

L'ASSISTANCE à la mise en service de l'usine

doit être assurée par une équipe suffisante (en quantité , qualité et personnalité) déléguée par le constructeur et / ou le bailleur de licence

doit comporter la réception physique des équipements (examen de ceux-ci , vérification de leur aptitude à assurer le service attendu) , la mise en service industriel et l'obtention des performances garanties .

La **GUIDANCE** ultérieure de l' encadrement doit être assurée par des cadres expérimentés

recrutés à l' extérieur en fonction de leurs connaissances , expérience et capacité d'enseigner par l' exemple et la parole .

pour une période de longue durée (plusieurs années si nécessaire)

dont l'objectif clairement défini , en plus de leur mission technique propre est de former les hommes qui les encadrent et dont certains seront appelés à les remplacer ultérieurement .

Il est important de noter que les infrastructures humaines ne concernent pas seulement les opérateurs de l' installation industrielle , mais bien tous les rouages de l'entreprise qu'il s'agisse de services commerciaux , financiers , administratifs ou techniques .

6. COUT ET FINANCEMENT.

6.1. COUTS DE LA CONSTITUTION DES INFRASTRUCTURES HUMAINES.

Une telle organisation visant à la constitution des infrastructures humaines peut mobiliser de nombreuses personnes pendant plusieurs années ; il est donc compréhensible qu'elle coûte cher et les quelques pour-cents de l'investissement qu'on leur attribue généralement représentent les coûts préalables en société industrialisée.

Dans un environnement humain non industrialisé , il faudra procéder à une évaluation détaillée et on ne s'étonnera pas que ces frais atteignent plus de 10 % de l'investissement et même plusieurs dizaines de pour-cents si le degré de sophistication de l'entreprise est assez poussé.

De plus il faut bien se rendre compte du fait que la formation des infrastructures humaines et leur "rodage" se continuent et ne prennent toute leur signification que lors de la mise en opération commerciale de l'entreprise. Mais il est évident , qu'avec des infrastructures humaines en formation , la montée en puissance de l'entreprise sera plus lente et que ceci constitue un facteur appréciable qui va peser sur la rentabilité initiale de l'entreprise.

Quand le personnel a commencé à subir l'épreuve de la vie pratique , il est recommandé de le reprendre en main , de le réconforter en le faisant participer à des cours ou séances de recyclage pour lesquels il sera maintenant plus réceptif parce que plus motivé. Et ceci constituera encore une dépense à prévoir à l'avance.

Qui a connu la précarité des conditions d'exploitation des entreprises modernes dans des environnements non industrialisés et les échecs financiers et humains auxquels cela a conduit , ne peut que se rallier à cette notion de constitution d'infrastructures humaines.

Cette notion ainsi qu'explicitée dans les pages précédentes est bien plus large que la simple notion de formation spécialisée d'habitude incluse dans les devis. De plus elle ne se termine pas à la mise en opération de l'entreprise ; en fait , elle se continue bien après celle-ci jusqu'à sa prise en charge par les équipes locales.

Aussi son coût ne trouve-t-il pas sa place dans la rubrique

" Dépenses préalables : 1 à 5 % " qu'on peut lire à la page 14 du document de référence ID/WG 475 / 9 (SPEC) cité en tête du chapitre 5 .

Le calcul ou plutôt l'estimation de ce poste doit être fait de cas en cas . Il dépend largement du degré de complexité de l'entreprise et du seuil technologique entre elle et son environnement humain.

Toutefois , il est important de retenir que l'ordre de grandeur n'est pas de 1 à 5 % , mais sans doute de 25 à 50 % du montant de l'investissement

6.2. FINANCEMENT DE LA CONSTITUTION DES INFRASTRUCTURES HUMAINES.

.Ce n'est pas sans arrière-pensée que le chapitre 4 , consacré aux infrastructures physiques a été emprunté à un précédent document de l'ONUDI . On y lit en effet que "s'il est demandé aux P.E.D. de tenir compte des besoins d'aménagements des infrastructures physiques avant de se lancer dans la réalisation d'un projet auquel ces infrastructures sont nécessaires , IL CONVIENT DE LEUR ASSURER UN FINANCEMENT SPECIFIQUE , à partir de sources publiques , à conditions douces (budget de l' Etat , aides bilatérales ou multilatérales) et NE PAS IMPUTER LES DEPENSES D' INVESTISSEMENT OU DE FONCTIONNEMENT CONSIDEREES AU PROJET INDUSTRIEL . "

Cet avis n'est pas seulement celui du Secrétariat de l'ONUDI , auteur du document mais aussi celui d'autres organisations internationales telles la BIRD et elle a reçu la sanction de l'expérience dans plusieurs projets cités .

MAINTENANT, POSONS FRANCHEMENT LA QUESTION .

Dès lors que des "coûts de formation" de l'ordre de 1 à 5 % de l'investissement se révèlent notoirement insuffisants ,

Dès lors qu'il faut parler de constitution d'infrastructures humaines à des coûts de plusieurs dizaines de pour-cents de l'investissement ,

Pourquoi ne pas traiter leur financement comme celui des infrastructures physiques c'est-à-dire l'assurer par des sources douces et ne pas en imputer la charge au projet industriel.

Une telle attitude responsable qui consiste à regarder la réalité en face et à en tenir pleinement compte paraît beaucoup plus susceptible de conduire au succès que l'attitude qui consiste à ne prendre en compte que des " frais de formation " de 1 à 5 % puis de constater après un an de fonctionnement que l'entreprise est déficitaire et a besoin d'un plan de redressement .

Comment procéder en pratique ?

Il faut

- soit traiter avec des organismes qui disposent ou sont susceptibles de recruter les ressources humaines requises pour mener à bonne fin la constitution des infrastructures humaines . Le paiement peut dans ce cas être fait directement ou par le biais d'accords de compensation (troc , accords parallèles d'importation et d'exportation , rachat de produits finis etc....).

- soit avoir recours à des modalités d' association avec des entrepreneurs et financiers étrangers telle que la modalité de joint venture , dite B.O.T. (BUILD , OPERATE and TRANSFER) . C'est un accord passé sous l' égide du gouvernement entre une entreprise locale et une entreprise ou un groupe étranger , pour assurer non seulement la réalisation , mais aussi le financement et la gestion " provisoire de longue durée " d'un gros projet économique , principalement industriel .L'accord qui ressemble fort à une concession temporaire de service public appliquée au secteur industriel , prévoit en particulier que le partenaire étranger devra rechercher les financements , et mettre au point le montage financier , assurer la gestion à son profit pendant 15 ans , et ensuite vendre au partenaire minoritaire local l'ensemble industriel ayant donné des preuves de sa viabilité . Une telle modalité qui n'est concevable que dans le cadre d'une économie libérale et ouverte , oblige le partenaire étranger à assurer une réalisation parfaite et profitable , puisque pratiquement il ne sera défrayé de ses dépenses d'investissement qu'après 15 ans, et que s'il veut tout de même commencer à retirer des profits de ses investissements , sa gestion doit être impeccable .

Un autre avantage est que le partenaire local minoritaire a peu à investir et bénéficiera d'un réel transfert de technologie (y inclus dans le domaine de la gestion) qui se fera sur de nombreuses années. Enfin, l'économie locale bénéficiera immédiatement, sans financement excessif au départ, de la production de l'usine et récupérera la totale propriété de cette dernière à un coût modeste, puisque une grande partie de l'équipement sera alors amorti.

Pour l'instant les opérations de ce type ont concerné surtout le secteur énergétique (centrale thermique en TURQUIE, centrale nucléaire en INDONESIE), c'est-à-dire de gros projets (plus d'un milliard de \$).

Certes, une telle modalité est un pari de la part des partenaires étrangers, sur le respect par l'économie locale des engagements pris, une relative liberté des prix de vente, et implique comme condition préliminaire une entente préalable sur le prix de la cession définitive, etc... Un problème immédiat, mais qui semble avoir été résolu dans le cadre du projet turc, est de savoir quelle sera l'attitude des institutions de crédit à l'exportation des pays industrialisés, dans la mesure où il est vraisemblable que le partenaire étranger, investisseur et financier, aura certainement besoin de refinancer une partie de son investissement. Or, celui-ci ne devient une véritable exportation qu'à l'échéance de vente à 15 ans, échéance à priori trop longue pour pouvoir bénéficier d'un crédit normal à l'exportation.

Une alternative consiste à réduire le seuil technologique, mais on a vu au chapitre 1 que cela n'est possible que dans les régions enclavées, maintenues à l'écart de la concurrence à prix mondiaux par le jeu de frais de rapprochement exorbitants. Dans ce cas, des mini-usines basées sur des procédés simplifiés peuvent très bien se défendre; un de leurs avantages et non le moindre réside dans la simplicité et la rusticité, qui permettent de réduire le coût et la durée de la formation et autorisent l'obtention rapide de la pleine utilisation des capacités.

7. CONCLUSION.

L'objectif de cette réunion est de déterminer dans quelles conditions la création de mini-usines d'engrais peut contribuer au développement de l'agriculture dans les Pays en Développement. Sur cette base, on verra s'il est possible de détecter les cas où ces conditions sont réunies ou d'en favoriser l'éclosion et ensuite on s'efforcera de stimuler la réalisation de quelques mini-usines.

Economiquement parlant, la création de mini-usines d'engrais favorisera le développement agricole là où elles produiront l'engrais moins cher qu'on ne peut se le procurer actuellement. Or, comme on l'a vu dans ce rapport, la mondialisation du commerce des engrais appuyée sur la création de méga-usines proches des grandes sources de matières premières a provoqué un nivellement par le bas des prix des engrais, tout au moins si on s'en tient aux engrais banalisés de première ou deuxième transformation.

La création de mini-usines ne se conçoit donc que dans des endroits suffisamment écartés des grandes routes du commerce mondial, c'est-à-dire en l'occurrence des ports de haute mer, pour que les frais de rapprochement (composés de frais de déchargement, stockage, manutention, transport, stockage, distribution, crédit) prennent une importance significative vis-à-vis du prix des engrais rendus au port.

Et encore, dans ces cas-là, faut-il distinguer les engrais à produire.

Si l'on dispose de matières premières pour produire des engrais azotés ou potassiques, la complexité des processus chimiques et / ou physiques impose une taille minimum qui dépasse celle des mini-usines. Il faudra donc disposer des ressources matérielles et humaines suffisantes et d'un marché suffisant, ce qui dépasse généralement la taille locale pour atteindre au moins la dimension d'un marché régional.

Par contre, si on dispose de ressources phosphatières, il suffit d'approvisionner dans de bonnes conditions l'acide nécessaire à la solubilisation du phosphate pour pouvoir faire des productions d'engrais simples et adaptables aux dimensions des marchés locaux.

C'est donc dans le domaine des phosphates que l'on pourra commencer avec le plus de succès la construction de mini-usines d'engrais.

Ceci est encore favorisé par les faits suivants :

- beaucoup de pays - notamment en AFRIQUE - disposent de ressources phosphatières de plus ou moins bonne qualité ;
- les procédés d'acidification - totale ou partielle - sont simples ; ils peuvent être réalisés en cycles discontinus ou continus ;
- ces technologies se prêtent bien à des réalisations rustiques faisant appel à un maximum de matières, matériaux et main-d'oeuvre locaux ;
- la sophistication de ces usines peut être très limitée, les mettant ainsi mieux à portée des opérateurs.

Tel est donc le contexte dans lequel on devra détecter les situations favorables à la création de mini-usines d'engrais et en stimuler la réalisation.

On pourrait bien entendu prétendre qu'il est des situations où d'autres facteurs doivent entrer en ligne que les conditions économiques, tels par exemple :

- les considérations stratégiques,
- l'économie de devises étrangères.

Toutefois ces facteurs sont à manipuler avec prudence car chaque fois que leur prise en considération fait renchérir le prix des engrais, elle retarde d'autant le développement agricole.

De plus, si un tel surprix peut éventuellement être accepté par le pays où est construite l'usine, il n'y a aucune raison de pouvoir l'imposer à un autre pays.

De sorte que l'on en sera réduit à se limiter au marché intérieur ou à exporter à des prix inférieurs au prix de revient.

C'est pourquoi les situations favorables retenues pour la création de mini-usines devraient de toute façon être économiquement compétitives.