



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## OCCASION

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



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## DISCLAIMER

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

## FAIR USE POLICY

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

## CONTACT

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

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

We regret that some of the pages in the microfiche copy of this report may not be up to the proper legibility standards, even though the best possible copy was used for preparing the master fiche.

**\* ONEI**

**07565**

CIS  
FILE COPY

**RECUPERATION ET VALORISATION  
DU PHOSPHOCHYSE TUNISIEN**

**S. KLINGHOFFER**  
Consultant de l' O N U D I

**Décembre 1976**

**CENTRE NATIONAL D'ETUDES INDUSTRIELLES**

R.P. N° 5 Le Belvédère Tél: 206-111 / 201-931

**TUNIS**



**RECUPERATION ET VALORISATION  
DU PHOSPHOCHYME TUNISIEN**

**S. KLINGHOFFER**  
Consultant de l' O N U D I

**Décembre 1976**

**CENTRE NATIONAL D'ETUDES INDUSTRIELLES**

B.P. N° 5 Le Belvédère Tél. 206-111 / 201-551

**TUNIS**

---

---

## R E M E R C I E M E N T S

Le Consultant désire remercier les personnalités du Gouvernement Tunisien pour le précieux concours qu'elles ont bien voulu lui prêter au cours de sa mission.

Tout particulièrement il tient à exprimer sa gratitude à Monsieur Chadli TNANI, Directeur Général du Centre National d'Etudes Industrielles à Tunis, pour son assistance, toujours très compréhensive et bienveillante, ainsi qu'à ses collaborateurs qui au cours des discussions de la présente étude, dont il assumait toujours personnellement la présidence, ont fait preuve d'un vif intérêt coopératif et d'une grande compétence en la matière. De même, j'adresse mes remerciements au personnel du Centre pour ses précieux services au cours de la rédaction et reproduction du présent rapport.

Enfin, je voudrais aussi remercier Monsieur J. Richard Symonds, Représentant Résident du PNUD, ainsi qu'à son personnel, pour leur aide et coopération pendant tout mon séjour en Tunisie.

---

Les opinions formulées dans cette étude sont celles de l'auteur et ne sont pas nécessairement celles du Secrétariat de l'ONUDI.

---

TABLE DES MATIERES

	<u>Pages</u>
A. AVANT PROPOS	1
B. RESUME	5
C. CONSIDERATIONS GENERALES	8
D. PRODUCTION D'UN PHOSPHOGYPSE A TENEUR REDUITE EN $P_2O_5$ ET F	12
E. TRANSFORMATION DU PHOSPHOGYPSE EN GYPSE (DIHYDRATE) PURIFIE ET EN PLATRE (SEMIHYDRATE)	18
F. ACIDE SULFURIQUE-CIMENT	27
G. PRODUCTION DE PANNEAUX POUR MURS ET CLOISONS	29
H. PANNEAUX DE PLATRE RECOUVERTS DE CARTON	33
I. AUTRES USAGES	37
J. ASPECTS ECONOMIQUES	38
K. RECOMMANDATIONS	45

Tableau

1. ANALYSES DU PHOSPHOGYPSE TUNISIEN	10
--------------------------------------	----

FIGURES

1. UTILISATIONS DU PHOSPHOGYPSE	7
2. COURBES DE TRANSITION DU SYSTEME $CaSO_4 - P_2O_5 - H_2O$	14
3. PRODUCTION DE PHOSPHOGYPSE A TENEUR REDUITE EN $P_2O_5$ ET F	16
4. SCHEMA DE PRODUCTION DE GYPSE PURIFIE ET DE PLATRE	21
5. PRECHAUFFEUR KRUPP	26
6. FABRICATION DES PANNEAUX EN PLATRE	32
7. PANNEAUX DE PLATRE RECOUVERTS DE CARTON	36
8. FOUR ACIDE SULFURIQUE-CIMENT AVEC PRECHAUFFEUR	58

A. AVANT PROPOS

1. En 1975, nous avons été chargés par le Centre National d'Etudes Industrielles à Tunis, d'effectuer une étude sur l'utilisation du phosphogypse produit dans les usines tunisiennes d'acide phosphorique et rejeté soit sur un terrain vague, soit, dans la mer, après dilution avec de l'eau. On comprend que les usines d'acide phosphorique basées sur les procédés par la voie humide se multipliant dans le monde, le phosphogypse qui accompagne cette production est devenu un problème inquietant parce qu'il constitue une source de pollution affectant non seulement l'environnement, mais aussi l'écologie sur terre et dans la mer. Il n'est donc pas étonnant que dans beaucoup de pays les autorités adoptent maintenant des mesures sévères, surtout envers les fabricants de produits chimiques dont on limite très strictement l'émission de déchets sous forme solide, liquide et gazeuse. Les chiffres ci-après relatifs à la production mondiale de phosphate brut donneront une idée de l'augmentation du problème créé par le phosphogypse dans le monde :

<u>Année</u>	<u>Production</u>
x) 1860 .....	65.000 t
x) 1880 .....	460.000 t
x) 1900 .....	3.145.000 t
x) 1920 .....	6.337.000 t
x) 1950 .....	22.217.000 t
x) 1960 .....	32.965.000 t
x) 1965 .....	48.200.000 t
x) 1966 .....	58.250.000 t
xx) 1971 .....	84.700.000 t
xxx) 1972 .....	89.100.000 t
xxx) 1973 .....	97.900.000 t
xxx) 1974 .....	110.100.000 t
xxxx) 1975 (estimation) .....	105.300.000 t

- 
- x) R. Gervy, Les Phosphates et l'Agriculture, Dunod 1970 ; pp 32, 33.  
xx) The British Sulfur Corp., Phosphorus & Potassium, N° 65, 1973 ; p.3.  
xxx) The British Sulfur Corp., Phosphorus & Potassium, N° 75, 1975 ; p.5.  
xxxx) The British Sulfur Corp., Phosphorus & Potassium, N° 81, 1976 ; p.5.

2. Ainsi l'industrie d'acide phosphorique recherche des moyens pour disposer du phosphogypse qui jusqu'à maintenant est considéré comme un déchet, mais pour lequel il convient actuellement de rechercher, dans la mesure du possible, une utilisation.

3. C'est, entre autres, le cas au Japon où la grande densité de la population est nécessairement accompagnée d'un besoin important d'engrais, y compris les engrais phosphatés, dont la fabrication engendre des quantités élevées de phosphogypse et c'est donc surtout aux travaux japonais qu'on doit les procédés pour l'utilisation du phosphogypse dont on recherche surtout la transformation en matériaux de construction.

4. Le problème est donc d'un double intérêt :

- 1) Le phosphogypse représente une certaine valeur qu'il convient d'utiliser d'une façon économique,
- 2) Il constitue une pollution de l'environnement et par conséquent un danger pour l'écologie dont dépend en dernier ressort la survie.

5. On recherchera donc en premier lieu des solutions économiques rentables, mais en dernier lieu, et ce sera le cas quand les industries du phosphate se trouveront mises en présence d'ordonnances sévères de la part des autorités les obligeant de disposer du phosphogypse de sorte à ne pas gêner l'évolution normale de l'écologie et de sauvegarder l'environnement.

6. Dans notre rapport de l'année précédente, nous avons examiné le recyclage de l'acide sulfurique, utilisé au cours de la fabrication de l'acide phosphorique, à l'aide d'un procédé par lequel aussi un ciment de haute qualité est produit.



7. Nous étions arrivés à la conclusion que le recyclage de 1.000 t d'acide sulfurique par jour et la production simultanée de 1.000 t de ciment portland exigeait un investissement de DT 27 millions et que le prix de revient conjoint d'une tonne d'acide sulfurique (à recycler) et d'une tonne de ciment s'élevait à DT 27,373 dont DT 11,358, soit 41,5 %, correspondaient à l'amortissement de l'équipement et des bâtiments, amortissement étalé sur dix ans pour l'équipement et sur vingt ans pour les bâtiments. Il en est résulté un bénéfice assez marginal, tant que l'équipement qui constituait 88 % des investissements totaux ne sera pas complètement amorti.

8. Un des buts de la présente mission est d'actualiser le rapport antérieur et de rechercher une réduction du prix de revient, soit par une augmentation de la capacité de production, soit en proposant d'utiliser l'usine d'acide sulfurique déjà existante (ce qui est techniquement possible), au lieu d'en construire une neuve, comme il a été prévu dans notre étude antérieure. En ce qui concerne l'augmentation de la capacité de production qui obligerait de produire en même temps une quantité plus grande de ciment portland en raison d'une tonne de ciment en plus pour chaque tonne additionnelle d'acide sulfurique recyclé, on se heurtera possiblement au fait que, selon les prévisions actuelles, la production de ciment en Tunisie sera dans quelques années excédentaire, à moins qu'on n'en trouve des utilisations nouvelles, jusqu'à maintenant non envisagées. Et il y a aussi l'inflation des derniers 18 mois qui se sont écoulés depuis notre dernière étude et dont on devra maintenant examiner les conséquences.

9. Nous étudierons donc aussi pour le phosphogypse d'autres utilisations, pour la plupart dans le domaine de l'industrie du bâtiment. En effet, il est possible d'obtenir à partir du phosphogypse un plâtre blanc et de très haute qualité, souvent supérieur à celui obtenu avec du gypse de carrière. Ce plâtre est utilisé pour plâtrage de murs, pour la production de panneaux, de carreaux et d'autres éléments de construction.

10. Cependant, il ne pourra s'agir que de solutions partielles, mais qui amèneraient néanmoins une amélioration de la situation actuelle créée par le rejet de 7.700 t de phosphogypse par jour, soit 2,7 millions de tonnes par an de phosphogypse sec, dont 1,5 millions de tonnes dans le golfe de Gabès. Le restant est rejeté par les deux usines à Sfax, en partie sur un terrain vague ce qui est le cas chez la Société SIAPE, et en partie, par la Société NPK, dans la mer.

11. Quant à Sfax, l'effet en est visible, en passant par le km 5 sur la route nationale conduisant vers le Sud. Mais en ce qui concerne la situation dans le golfe de Gabès, on devra recourir à un simple calcul, pour s'apercevoir que la quantité de 1,5 millions de tonnes\* de phosphogypse jeté dans le golfe sont susceptibles d'en recouvrir, en quelques années, le fond, évalué à environ 3.000 km<sup>2</sup>, d'une couche suffisante pour le transformer en un désert sous-marin avec toutes les conséquences que cela peut comporter pour l'écologie marine de la région\*\*. (Voir aussi l'Annexe I.).

12. Partout dans le monde où les projets industriels sont à l'étude, la protection de l'environnement est l'objet d'une attention toute particulière de la part des autorités. La Tunisie n'y fait pas d'exception, et c'est pourquoi un des buts de cette étude est de recommander des mesures pour éviter les dégâts que peuvent être causés par le phosphogypse obtenu et rejeté par les usines d'acide phosphorique à Gabès et à Sfax.

---

\*) Ce chiffre est obtenu, abstraction faite de l'humidité que le phosphogypse contient encore à la tombée du filtre.

\*\*\*) D'après un renseignement reçu, la pêche tunisienne s'exerce sur une longueur de 1.200 km et sur une largeur de 18 km, ce qui donne une surface de pêche totale de 21.600 km<sup>2</sup>.

B. RESUME

13. L'étude effectuée l'année dernière par le même consultant n'ayant pas eu de suite immédiate et le phosphogypse engendré par les usines d'acide phosphorique n'ayant trouvé aucune utilisation pratique, il est toujours encore rejeté dans la mer ou entassé dans un champs près de Sfax. Le Centre National d'Etudes Industrielles à Tunis a donc décidé d'actualiser l'étude précédente relative à l'utilisation du phosphogypse pour la récupération, au moins partielle, de l'acide sulfurique consommé au cours de la fabrication d'acide phosphorique, en vue de son recyclage, en obtenant en même temps du ciment dont la consommation en Tunisie va en augmentant chaque année.

14. En même temps, et l'état présent de la technique ne permettant pas encore de construire des usines d'acide sulfurique-ciment suffisamment grandes pour absorber la totalité du phosphogypse produit dans les usines de phosphates, on en a recherché d'autres utilisations, tendant à le substituer au gypse de carrière.

15. Les progrès technologiques des dernières années permettent maintenant une réduction sensible d'impuretés gênantes qui ont limité dans un certain degré l'utilisation du phosphogypse comme matière première pour la production de ciment et d'autres matériaux de construction. Ces impuretés, à savoir l'anhydride phosphorique ( $P_2O_5$ ) et le fluor, peuvent maintenant être réduites très sensiblement, et ce à un degré qui rend le phosphogypse parfaitement utilisable non seulement pour le procédé acide sulfurique-ciment, mais aussi pour le gypage du ciment et pour la production de plâtre de haute qualité.

16. Entretemps, une forte augmentation du coût d'équipements industriels a eu lieu, surtout en ce qui concerne la production d'acide sulfurique-ciment, ce qui nous a fait penser à l'utilisation des capacités de production d'acide sulfurique, existantes déjà dans les usines d'acide phosphorique, mais pour des raisons pratiques, nous avons dû abandonner cette idée pour l'instant, pour éventuellement y revenir plus tard, quand de nouvelles capacités de production seront à l'étude.

17. Cependant, le coût de production, proprement dit, tel qu'il intervient pour déterminer le taux d'intérêt interne, est comparable aux prix de revient de l'acide sulfurique et du ciment dans toutes les usines nouvelles.

18. Comme, en dehors des considérations purement économiques, le problème de la pollution intervient aussi en proportion croissante, nous nous limitons ici à fournir les éléments qui seront utilisés par le Centre National d'Etudes Industrielles pour formuler des recommandations à soumettre, soit au gouvernement unisien, soit à des entrepreneurs privés.

19. En ce qui concerne les produits suggérés dans cette étude, en dehors de l'acide sulfurique et du ciment, ils nécessiteront des investissements relativement modestes, tout en permettant d'obtenir des produits de haute qualité et de réaliser des bénéfices intéressants. Toutefois, ces produits seuls ne sauront consommer qu'une partie relativement modeste du phosphogypse disponible et ne pourront donc constituer qu'un supplément à son utilisation dans le procédé acide sulfurique-ciment. En Fig. 1 est proposé une des solutions possibles pour utiliser pratiquement la totalité du phosphogypse des usines ICM I et ICM II de Gabès. Pour ce qui est des usines SIAPE et NPK à Sfax, une usine acide sulfurique-ciment de la capacité proposée de 330.000 t/a de chacun de ces produits, suffira pour traiter la totalité du phosphogypse produit. Le plan d'exploitation proposé pour une usine intégrée pour la récupération et valorisation de phosphogypse permettrait à un investisseur de DT 12,000.000 de réaliser un intérêt de 17 % sur le capital investi.

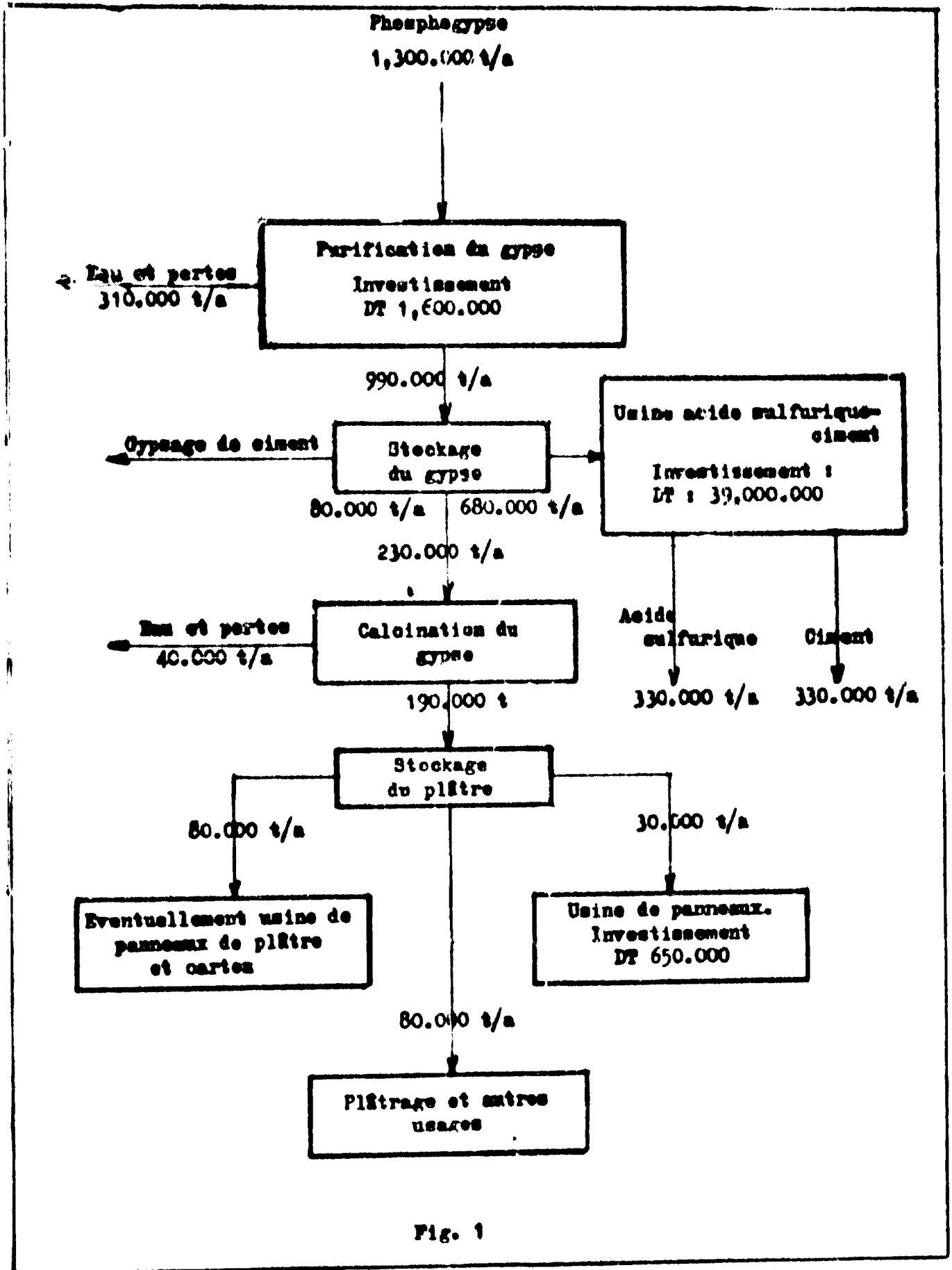


Fig. 1

C. CONSIDERATIONS GENERALES

20. Parmi les utilisations du phosphogypse, les plus importantes sont les suivantes :
- Fabrication d'acide sulfurique et de ciment,
  - Plâtre en poudre pour plâtrage,
  - Panneaux de plâtre de différents formats et épaisseurs,
  - Panneaux de plâtre recouverts de deux côtés d'un carton spécial,
  - Liant pour la pose des panneaux de plâtre et pour remplissage des interstices,
  - Produits pour autres usages, comme le montage, stucage etc ....
21. Alors que le gypse de carrière est très répandu dans le monde, ses gisements contiennent parfois des impuretés qui rendent impossible son utilisation comme matière première industrielle, les impuretés dans le phosphogypse sont souvent minimales, car le phosphate brut utilisé dans la fabrication de l'acide phosphorique, doit contenir un pourcentage élevé de phosphate tricalcique donc peu d'impuretés. Ces impuretés sont, au cours de la fabrication, éliminées soit par la réaction chimique même, soit par lessivage. D'autre part, il y a dilution des impuretés du fait de l'augmentation sensible du poids par la transformation du phosphate en sulfate sémi-ou dihydraté.
22. L'année dernière, les établissements ICM de Gabès et SIAPE de Sfax ont bien voulu nous communiquer les quantités et analyses du phosphogypse produit dans leurs usines respectives et apparamment en partie calciné dont ci-après les résultats obtenus. Comme la teneur en eau y est trop basse pour correspondre au gypse dihydraté tel qu'il est obtenu au cours de la fabrication, il est évident que les échantillons en question avaient, au cours de leur séchage, perdu une partie de leur eau de cristallisation. Nous avons donc cru bien faire, en corrigeant la teneur en eau ce qui, logiquement, a entraîné une modification des pourcentages des autres substances présentes dans le phosphogypse. Ces pourcentages rectifiés figurent dans une deuxième colonne de chacune des deux analyses.

TABLEAU 1

	Résultat ICH		Résultat SIAPE	
	Obtenu	Rectifié	Obtenu	Rectifié
CaO	32,30 %	30,96 %	32,51 %	31,55 %
SO <sub>3</sub>	44,80 %	42,94 %	46,27 %	44,91 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,14 %	0,13 %	0,09 %	0,09 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,12 %	0,12 %	0,07 %	0,07 %
MgO	0,38 %	0,36 %	0,07 %	0,07 %
SiO <sub>2</sub>	2,45 %	2,35 %	1,50 %	1,55 %
C*	1,50 %	1,44 %	0,50 %	0,49 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> inattaqué	0,25 %	0,24 %	0,06 %	0,06 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> syncristallisé	0,65 %	0,62 %	0,65 %	0,63 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> soluble	0,11 %	0,11 %	-	-
F	1,45 %	1,39 %	0,37 %	0,36 %
Cl	0,01 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %
H <sub>2</sub> O complété pour donner 100 %	15,84 %	-	17,80 %	-
H <sub>2</sub> O de cristallisation	-	19,33 %	-	20,21 %
	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %

C\* : Matières organiques.

25. Un simple calcul démontre la teneur en gypse dihydraté dans les deux échantillons :

Echantillon des ICH : 92,34 % de CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O

Echantillon de la SIAPE 96,57 % " " "

26. Compte tenu du fait que seul l'échantillon de la SIAPE avait été lavé avant l'analyse, on peut en conclure que dans les deux cas il est possible d'obtenir, par un traitement ultérieur, un gypse suffisamment pur,

pour fabriquer du plâtre pour bâtiments ou des panneaux en plâtre, mais ce n'est cependant pas le cas pour le recyclage de l'acide sulfurique et la fabrication de ciment.

27. En effet, les procédés de fabrication d'acide phosphorique par la voie humide qui est la seule utilisée dans les usines d'engrais chimiques, produisent un phosphogypse dont les teneurs élevées en  $P_2O_5$  et F rendent impossible, comme il a été exposé dans notre précédent rapport, son utilisation dans le procédé acide sulfurique-ciment, du fait qu'elles attaquent l'appareillage et fournissent un ciment ne correspondant pas aux normes.



23. Les responsables des laboratoires des deux sociétés, en nous remettant les résultats de leurs analyses respectives, nous ont communiqué qu'avant d'effectuer les analyses, les échantillons étaient séchés dans une étuve, avec la seule différence qu'à l'usine de Sfax, ceux-ci sont préalablement lavés à l'eau, à l'alcool et à l'éthère, alors qu'à l'usine de Gabès ce n'est pas le cas. Ceci semble expliquer pourquoi, tout en partant d'une matière première pratiquement la même, les teneurs en  $\text{SiO}_2$ , en matières organiques et en fluor diffèrent tellement dans les deux échantillons.

24. Dans le tableau ci-après, sont communiqués les résultats obtenus dans les deux usines aussi bien que ceux obtenus après rectification de la teneur en eau de cristallisation pour correspondre au sulfate de calcium dihydraté.

Voir tableau 1 en page suivante.

D. PRODUCTION D'UN PHOSPHOGYPSE A TENEUR REDUITE EN  $P_2O_5$  ET F

28. Les travaux effectués par Chemie Linz AG. (antérieurement Oesterreichische Stickstoffwerke AG.) ont dernièrement apporté quelques nouvelles notions dans ce domaine qui permettent d'aborder le sujet avec plus de clarté qu'auparavant.

29. En ce qui concerne la teneur en  $P_2O_5$ , il a été confirmé que la seule méthode pour réduire sa teneur dans le phosphogypse (dont le maximum toléré a dû être ramené de 0,8 % à 0,5 %) est de passer, dans une des phases de la fabrication, par le sémihydrate, ce qui ne fait que confirmer notre avis précédent. Mais quant au fluor, un nouveau procédé a été mis au point par la même société et publié en R. F. A. sous le n° 25 49 625, procédé par lequel sa teneur peut être suffisamment réduite pour ne plus gêner ni la fabrication du ciment, ni son utilisation.

Réduction de la teneur du phosphogypse en  $P_2O_5$

30. Pour examiner ce problème, on fera bien de se tenir à l'analyse du phosphogypse (dihydrate) obtenu dans l'usine ICM à Gabès plutôt qu'à celle de Sfax où les échantillons ont préalablement été lavés à l'eau, à l'alcool et à l'éther, et ne correspondent donc plus au phosphogypse tel qu'il tombe du filtre et qui, bien que lavé sur le filtre, contient encore 0,08 à 0,15 % de  $P_2O_5$  soluble.

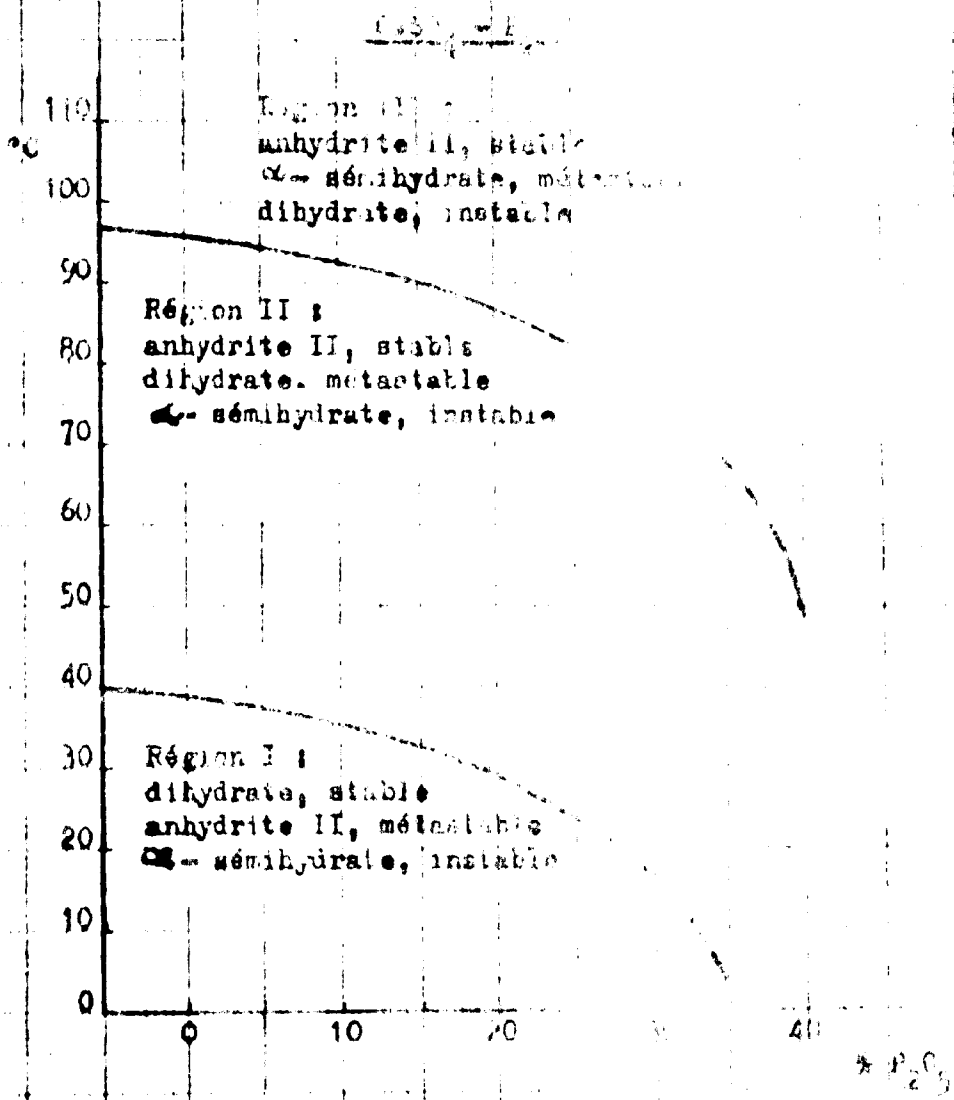
31. En plus, le gâteau de dihydrate contient 0,5 à 0,8 % de  $P_2O_5$  syncristallisé avec celui-ci. Ce  $P_2O_5$  n'est pas éliminé par lavage, puisqu'il est fixé dans le réseau même du cristal. Il ne pourra donc être éliminé qu'à condition de modifier la structure du gypse, en le recristallisant pour lui donner la forme de sémihydrate. Restent 0,2 à 0,3 % de  $P_2O_5$  sous forme de phosphate inattaqué au cours du traitement avec de l'acide. Ce n'est pas du gypse, mais du phosphate tricalcique, insoluble dans l'eau et dont on devra renoncer de réduire la teneur.

32. Tenant compte de ce qu'on obtient, par tonne de  $P_2O_5$  sorti de l'usine, environ 5 tonnes de phosphogypse, la quantité de  $P_2O_5$  perdue sous forme de résidu soluble de lavage et de syncristallisé, correspond à 0,58 à 0,95 % de 5 tonnes, ou 29 à 48 kg pour chaque tonne de  $P_2O_5$  fabriqué, donc 3,8 % en moyenne. En se basant sur la valeur du  $P_2O_5$  avant concentration, la comptabilité de l'usine pourra facilement calculer la perte que cela représente. Même si on ne pouvait en récupérer qu'une grande partie, un effort dans ce sens qui consisterait à passer par le sémihydrate pourrait être dans une certaine mesure justifié.

33. Pour transformer le dihydrate en sémihydrate, il faudra tenir compte des conditions de l'équilibre entre ces deux formes du sulfate de calcium, représentés en Fig. 2 comme fonction de la température et de la teneur du milieu en  $P_2O_5$ . Pour que l'équilibre penche du côté du sémihydrate, il faudra que la température soit d'autant plus élevée, que la teneur en  $P_2O_5$  est basse. Cependant, pour obtenir un maximum en sémihydrate, mais aussi pour accélérer la réaction, l'attaque est effectuée à une température élevée, allant jusqu'à 96° C qu'on obtient, en introduisant l'acide sulfurique concentré, tel qu'il est obtenu à l'usine, au lieu de l'acide dilué. Nous passons outre les différentes méthodes connues d'attaquer le phosphate brut ; l'essentiel est que les conditions de l'attaque soient telles, qu'un maximum de sémihydrate soit obtenu, et qu'une syncristallisation du  $P_2O_5$  soit évitée, de sorte qu'il reste entièrement en solution.

34. A partir de là, on peut suivre deux méthodes différentes. La première consiste à filtrer le sémihydrate qui est lavé sur le filtre et ensuite recristallisé pour obtenir le dihydrate. Ce dernier est filtré, lavé et séché pour pouvoir être utilisé comme matière première dans le procédé acide sulfurique-ciment ou pour l'usage dans l'industrie de matériaux de construction. Le filtrat du premier filtre, avant lavage, est un acide phosphorique à 30/32 % qui est au besoin concentré pour donner un acide à 54 %. Le lavage se fait à contre-courant et le filtrat de lavage est recyclé. Le gâteau de dihydrate formé sur le deuxième filtre est également lavé et le filtrat recyclé.

COURBES DE TRANSITION



Source : G.J. Pratt, Brit. Chem. Soc. Meeting, 515, Août 1964

La présence d'acide sulfurique dans les échantillons abaisse les limites des températures.

Fig. 2

35. La deuxième méthode consiste à transférer la suspension de sémi-hydrate dans un cristalliseur où elle est refroidie sous vide et ajoutée d'une petite quantité de dihydrate en suspension pour faire démarrer la cristallisation et obtenir la dimension voulue des cristaux. La cristallisation terminée, le dihydrate est filtré et lavé. Le filtrat obtenu avant lavage est concentré, pour fournir l'acide phosphorique de la teneur désirée, alors que le filtrat de lavage, également effectué à contre-courant, est recyclé. Le gâteau de phosphogypse est utilisé de la façon mentionnée plus loin. (Fig. 3.).

36. Parce que cette dernière méthode peut plus facilement être adaptée à la monocuve SIAPE ainsi que pour des raisons qui découleront du chapitre sur la réduction de la teneur en fluor, nous considérons cette deuxième méthode plus indiquée pour les cas qui nous occupent. Les problèmes de corrosion résultant de l'attaque à chaud semblent résolus, sans même être obligé de "chamotter" les cuves.

#### Réduction de la teneur du phosphogypse en fluor

37. La teneur en fluor du phosphogypse obtenu dans l'usine ICM à Gabès est de 1,2 à 1,8 %, alors que celle chez les Ets. SIAPE à Sfax qui se situe entre 0,29 et 0,37 % est sensiblement plus basse. Cette différence est probablement attribuable à des conditions quelques peu différentes de l'attaque du phosphate brut ainsi qu'au fait qu'à Gabès les échantillons, contrairement à ce qui est l'habitude au laboratoire à Sfax, sont analysés sans lavages préalables.

38. Les procédés japonais de Mitsubishi et de Nippon Kokan prévoient l'addition de silice au début de l'attaque dans le but de donner naissance à  $\text{SiF}_4$ , qui s'échappe alors sous forme gazeuse. Etant donné que le Japon est obligé d'importer du gypse pour son industrie du bâtiment, on y cherche d'économiser des devises, en se servant du phosphogypse, pour satisfaire les besoins du pays en gypse.

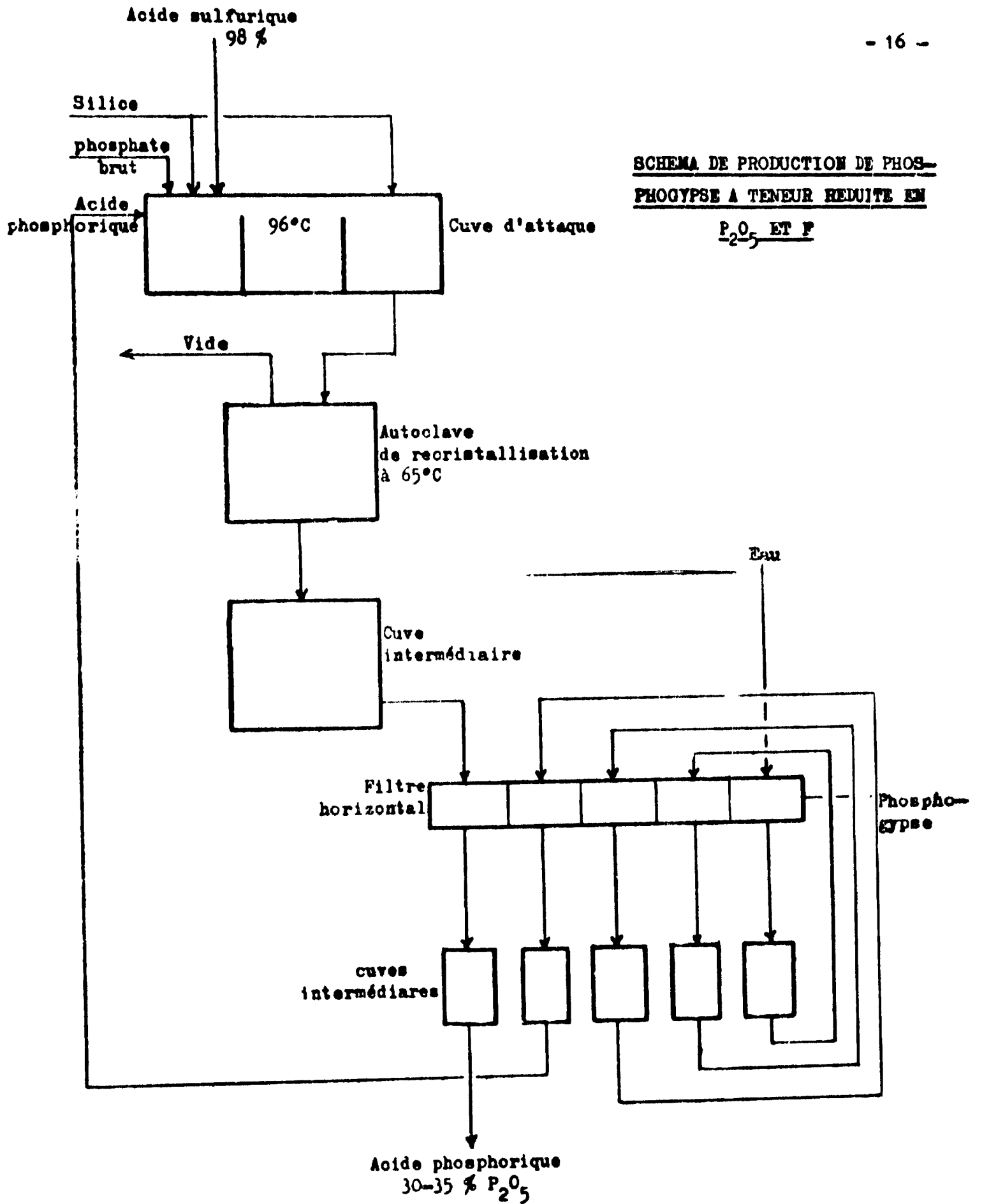


Fig. 3

39. Selon une demande de brevet de Chemie Linz AG., on obtient un phosphogypse d'une teneur en fluor inférieure à 0,25 % par rapport à l'anhydrite, soit inférieure à 0,20 % par rapport au dihydrate, en ajoutant, au cours de l'attaque avec l'acide sulfurique, de la silice active en deux portions, l'une au début et l'autre à la fin. La première revendication de cette demande se lit, en traduction française, comme suit :

" Procédé de production, au cours de la fabrication d'acide phosphorique par la voie humide, d'un gypse résiduaire, contenant au maximum 0,25 % de fluor par rapport à l'anhydrite, en ajoutant de la silice active pendant l'attaque du phosphate brut à l'acide sulfurique, caractérisé en ce que la silice active est ajoutée, au cours de la fabrication de l'acide phosphorique, en deux portions, au moins la moitié de la silice totale étant ajoutée au cours de l'attaque, alors que le restant est ajouté après la fin de celle-ci, mais avant la filtration du gypse résiduaire, et qu'après la filtration, le gypse est dilué à l'eau, séparé de la phase liquide et séché".

40. Selon les responsables de la Chemie Linz, le phosphogypse ainsi obtenu est parfaitement utilisable pour la fabrication du ciment et de l'acide sulfurique.

41. On comprendra donc pourquoi nous conseillons d'opter pour le procédé au cours duquel le sémi-hydrate est transformé en dihydrate sans filtration préalable; dans le cas contraire, on serait obligé de procéder à trois filtrations, la première pour séparer le sémi-hydrate, la deuxième pour le dihydrate et la troisième après dilution du dihydrate avec de l'eau.

42. D'ailleurs, le gâteau de phosphogypse, après le premier filtrage pourra être dilué à l'eau, au besoin additionné d'un agent de flottation et ensuite traité de la même manière que celle décrite plus loin pour la fabrication du plâtre.

E. TRANSFORMATION DU PHOSPHOGYPSE EN GYPSE (DIHYDRATE) PURIFIE  
ET EN PLATRE (SEMIHYDRATE)

Gypse purifié à partir du phosphogypse et sa transformation en plâtre.

43. Jusqu'à peu de temps, le phosphogypse était considéré comme déchet dont on cherchait à se débarrasser d'une manière quelconque, selon les circonstances locales. Mais depuis que l'industrie phosphatière a gagné d'ampleur d'une façon spectaculaire, on commence à se demander, comment résoudre le problème que le phosphogypse a créé pour l'environnement et l'écologie maritime et sur les moyens d'en tirer éventuellement un avantage économique. Au Japon où le gypse doit être importé pour les besoins de l'industrie du bâtiment, on a essayé d'en éliminer les impuretés les plus gênantes, à savoir l'anhydrite phosphorique ( $P_2O_5$ ) et le fluor (F), qui, bien qu'en quantités minimales, gênaient beaucoup son utilisation. Ces méthodes ont été améliorées, par la suite, et on est à présent en mesure de produire un gypse synthétique qui, à beaucoup d'égards, est supérieur au produit obtenu à partir du gypse naturel de carrière. Ces nouveaux procédés sont d'une importance particulière dans les pays producteurs de phosphate brut, pays qui cherchent à y ajouter de la valeur, en le transformant en acide phosphorique ou en superphosphate triple qui, en plus de leur valeur accrue, permettent, grâce à leur teneur plus élevée en phosphore, de réaliser une économie appréciable en frais de transport.

44. Le prix de revient du gypse purifié sur place est de l'ordre de DT 1 par tonne, certainement pas supérieur à celui obtenu dans une carrière. Ses qualités, à savoir sa blancheur, sa forme purvérulente obtenue sans mouture et sa réactivité chimique en font un produit bien supérieur, susceptible à trouver soit sous sa forme originale, c'est à dire comme un gypse dihydraté pur, que sous forme de ses succédanés un marché aussi bien en Tunisie que pour l'exportation.

45. Un grand champs d'application seront les usines d'acide phosphorique mêmes, car il permet un recyclage, tout au moins partiel, de l'acide sulfurique utilisé pour l'attaque du phosphate brut dans le but d'en extraire



l'acide phosphorique, en rendant ainsi cette industrie moins dépendante des fluctuations du soufre sur le marché mondial, donc plus stable et moins spéculative, surtout tenant compte de ce que la Tunisie est son propre fournisseur de la matière première principale qui est le phosphate brut, donc à ce point de vue autarcique.

46. Nous avons été mis en présence de trois procédés qui, en principe, se servent des méthodes de purification semblables, mais qui diffèrent, en ce qui concerne la transformation du dihydrate purifié en un sémi-hydrate stable. Dans les procédés "RHONE-POULENC-DONAU CHEMIE" et "Charbonnages de France Chimie-Air Industrie", la transformation s'effectue sous pression atmosphérique, alors que dans un troisième procédé, celui de Gebr. Giulini Ludwigshafen, elle a lieu sous haute pression dans un autoclave. Pour la présente étude, nous avons choisi le procédé "Rhône-Poulenc-Donau Chemie" que nous considérons plus pratique, puisqu'il ne se sert pas d'autoclave et nous paraît dans son fonctionnement plus simple que celui de Giulini.

47. D'accord avec les deux premiers procédés, le phosphogypse est immédiatement après son rejet du filtre, dilué dans l'eau, et ce dans un récipient agité, assez large pour servir, en même temps, de tampon. C'est là où s'effectue un premier lavage et une bouillie homogène est formée qui véhicule le phosphogypse à travers les deux cuves suivantes et les hydrocyclones mentionnés plus bas. Cette bouillie peut encore contenir des traces d'acide provenant de l'attaque du phosphate brut. Si c'est le cas, on la neutralise avec du lait de chaux, opération qui ne nécessite pas d'intervention humaine, puisqu'elle s'effectue automatiquement et d'une façon continue. La bouillie neutre passe d'abord par un crible, où des grosses particules et une partie de la silice (sable) sont éliminées et ensuite consécutivement par deux (autres) bacs de lavage où le gypse est lavé en contre-courant à l'eau dont une partie est continuellement éliminée et remplacée par de l'eau fraîche. Il peut parfois être considéré plus avantageux d'effectuer la neutralisation dans un de ces deux bacs de lavage, plutôt que dans le bac tampon susmentionné. Mais à notre avis, il serait alors nécessaire de leur donner un revêtement anticorrosif, ce qui n'est pas

le cas, si on y introduisait une bouillie neutre.

48. Après lavage, le gypse en suspension est conduit vers deux hydrocyclones où une grande partie de la phase liquide est éliminée et la masse épaisse ainsi obtenue est passée par un filtre ou une essoreuse continue.

49. A la tombée du filtre ou de l'essoreuse, le gâteau de gypse est introduit dans un séchoir vertical où il est séché dans un courant parallèle d'air chaud. La température de l'air est de 110° C à son entrée dans le séchoir et de 50/60° C à sa sortie.

50. A condition d'avoir utilisé pour la fabrication de l'acide phosphorique un procédé fournissant un phosphogypse à teneur réduite en  $P_2O_5$  et en F, le dihydrate sec ainsi obtenu sous forme de poudre peut, sans autre traitement chimique, être utilisé soit pour le gypsage de ciment, soit comme matière première pour la fabrication de l'acide sulfurique et du ciment.

51. Pour le gypsage du ciment, on en ajoutera 4 à 5 % au clinker au cours de sa mouture ou pendant l'homogénéisation de celui-ci après mouture. Dans le premier cas il sera préalablement nécessaire de le compacter, et on devra choisir entre deux possibilités à savoir entre la compactation dans l'usine même où le phosphogypse est traité et celle dans la cimenterie. La première possibilité sera plus avantageuse, parce qu'on pourra alors éviter le séchage, en compactant ou granulant le gypse encore humide à sa sortie du filtre ou de l'essoreuse, car pour pouvoir être compacté ou granulé, le gypse devra de toute façon être humecté. Et, en plus, un grand équipement unique sera plus avantageux que plusieurs équipements de taille inférieure et répartis sur plusieurs cimenteries, et ce aussi bien du point de vue de l'investissement à faire que du point de vue de la main d'oeuvre qui serait nécessaire. Quelle que soit l'alternative choisie, le gypse, pour pouvoir être transporté, devra de toute façon être séché. Dans le deuxième cas, c'est à dire si on ajoute, pendant l'homogénéisation du clinker moulu, de la poudre de gypse obtenue

SCHEMA DE PRODUCTION DE GYPSE PURIFIE ET DE PLATRE

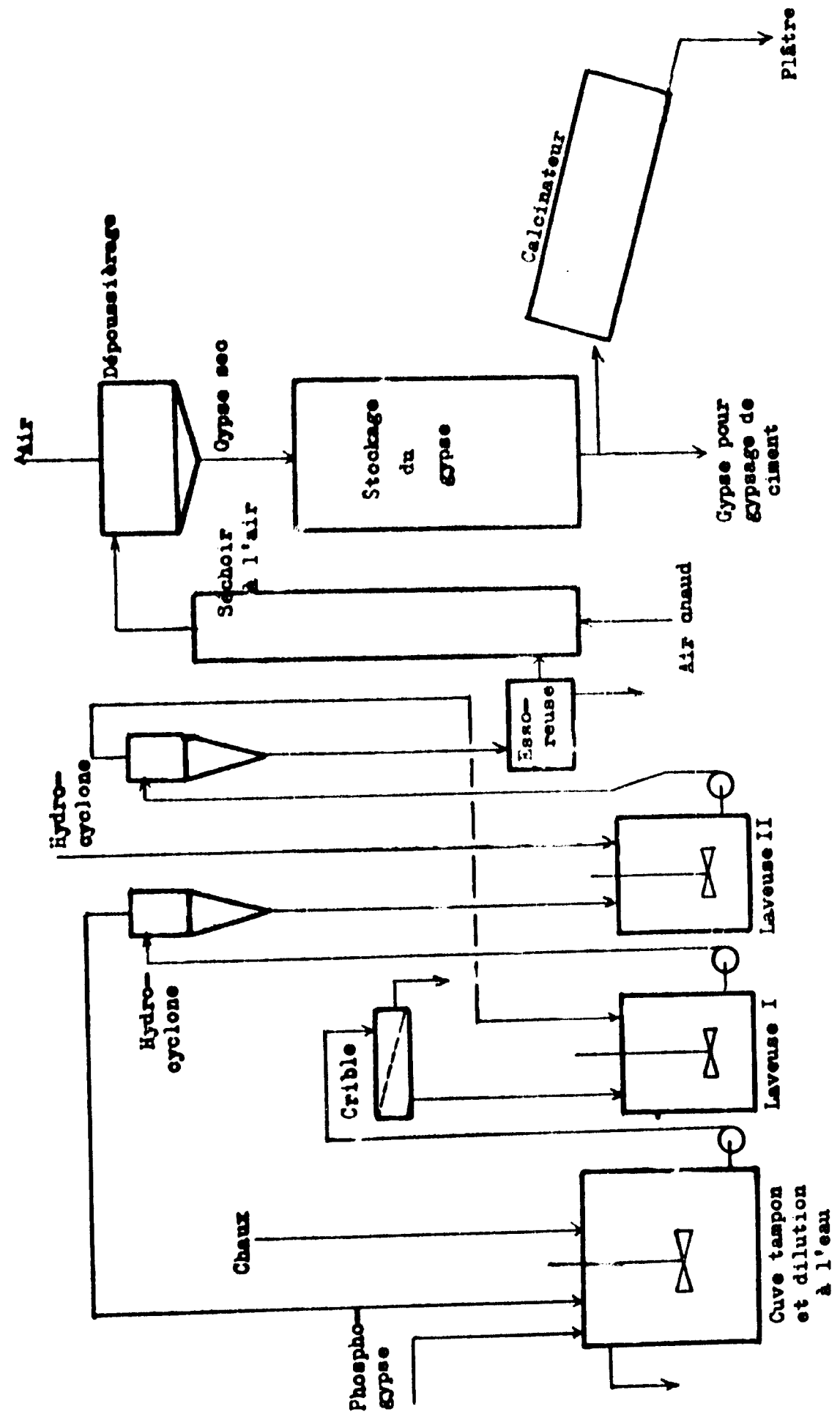


Fig. 4

mue après séchage, aucun problème ne se pose, cette dernière méthode sera donc la plus pratique, mais elle présuppose que le clinker moulu soit homogénéisé avant de quitter la cimenterie, ce qui n'est pas partout le cas.

52. Notons, pour finir, que les usines de ciment seront en 1979/80 susceptibles de consommer jusqu'à 150.000 t de gypse purifié par an, soit 180.000 t de phosphogypse brut.

53. Pour les deux utilisations susmentionnées, le gypse en question est sous forme de dihydrate. On pourrait objecter, que, pour le procédé Müller-Kühne, le dihydrate doit, avant son introduction dans le four rotatif, être libéré de l'eau de cristallisation, donc calciné. Ce serait dans un sens exact, si dans les installations modernes un préchauffeur (Fig.5) n'était pas prévu à l'entrée du four rotatif et dans lequel la farine est amenée à 600° C, permettant ainsi d'économiser 28,6 Nm<sup>3</sup> de gaz par tonne de ciment. Au prix actuel de 8,6 millimes par Nm<sup>3</sup>, cela représente une économie de 246 millimes par tonne. Le gaz quittant le préchauffeur à la température de 600° C devrait suffire pour déshydrater le gypse. En procédant ainsi, on pourrait aussi sensiblement diminuer la capacité du calcinateur. Mais cela rentre déjà dans le cadre du planning et dépasse donc celui de la présente étude.

54. Pour tout autre usage, la poudre de dihydrate sec est transformé en plâtre.

55. Il existe aussi un système, également développé par Rhône-Poulenc, et par lequel le séchage du dihydrate et sa calcination sont effectués en une seule opération. L'appareillage permet l'utilisation d'un air très chaud et un meilleur contact entre le gypse et l'air. En plus, il permettrait une meilleure récupération de chaleur et un dépoussiérage très poussé de l'air sortant. Nous sommes cependant d'avis que ce système ne saura être recommandé qu'à condition que la granulation ou compactation du gypse pour gypsage du ciment se fasse sur place et à partir d'un gâteau de gypse humide à sa sortie du filtrage.

Plâtre pour plâtrage et fabrication de panneaux

56. Nous arrivons maintenant à la production du plâtre qui est produit, en calcinant le gypse (dihydrate) obtenu antérieurement. Une partie de ce dihydrate encore chaud est introduite dans le calcinateur dans lequel on le soumet à une température allant jusqu'à 200° C et à laquelle il perd 75 % de son eau de cristallisation. On obtient ainsi le plâtre d'une grande blancheur et d'une granulométrie très fine. La perte en eau de cristallisation et en poussières sera d'environ 40.000 t par an. Il a été déjà mentionné plus haut que ce plâtre est dans un certain sens supérieur à celui obtenu à partir du gypse de carrière. Le temps de sa prise n'est souvent que la moitié de celui de ce dernier, ce qui est favorable à son utilisation industrielle. Cependant, là où une prise moins rapide est désirée, il est possible d'y arriver par une addition d'un des retardants connus, comme par exemple de la colle. Pour augmenter son pouvoir hydrofuge, une addition, par exemple, d'oxyméthylcellulose permet d'y arriver.

57. Le plâtre calciné peut être utilisé de la même façon que le plâtre obtenu à partir du gypse de carrière. Là où la vitesse de prise peut gêner son application, on lui ajoutera en quantité minime (0,2 %) d'un des retardateurs connus, de préférence une substance hydrophile, et un plastifiant, dont les quantités exactes seront déterminées par des essais. De même, la quantité de sable à ajouter pour en faire un mortier sera fonction de sa qualité et dépendra donc des essais pratiques.

58. Cependant, la prise très rapide du plâtre fabriqué avec du phosphogypse le rend particulièrement qualifié pour tout usage industriel et tout spécialement pour la production de panneaux de toutes sortes.

59. En dehors de son utilisation industrielle, le plâtre peut être écoulé soit en état pur, soit mélangé avec du sable ou avec du sable et de l'hydrate de chaux.

60. Ainsi peut-on produire, selon l'usage qu'on leur donne, un nombre de mortiers, en variant la nature et les proportions de leurs composants et en effectuant les mélanges soit manuellement, soit dans un malaxeur mécanique. D'habitude, les proportions des composants sont exprimées en volumes, comme par exemple :

pour un mortier de plâtre on prendra 1 volume de plâtre et  
1 à 3 volumes de sable,

pour un mortier de plâtre et de chaux, 1 volume d'hydrate de  
chaux sur 0,5 à 2,0 volumes de plâtre et 3 à 4 volumes  
de sable,

pour un mortier de chaux et de plâtre, 1 volume de chaux sur  
0,1 à 0,5 volume de plâtre et 3 à 4 volumes de sable.

61. On évitera d'utiliser, pour ce genre de mortier, de la chaux hydraulique qui est susceptible, à la longue, de produire des efflorescences.

62. Les mélanges ci-dessus peuvent aussi être effectués industriellement et écoulés en sacs. Pour pouvoir utiliser des peseuses automatiques, on prendra en considération les densités apparentes suivantes :

1 litre de plâtre pèse	900	grammes
1 litre de sable	"	1.300 "
1 litre de chaux, hydrate	"	500 "

63. Ces indications, bien que dépassant un peu les exigences de la description officielle du travail à accomplir au cours de la mission, sont néanmoins communiquées pour permettre d'apprécier, si intérêt il y a de fabriquer les mortiers industriellement.

(4. Au cours d'une première étape, il est proposé de fabriquer 190.000 t par an de plâtre dont 30.000 t par an seraient utilisés pour la fabrication de panneaux (sans carton) et le restant éventuellement pour des panneaux de plâtre et carton, pour plâtrage et autres usages.

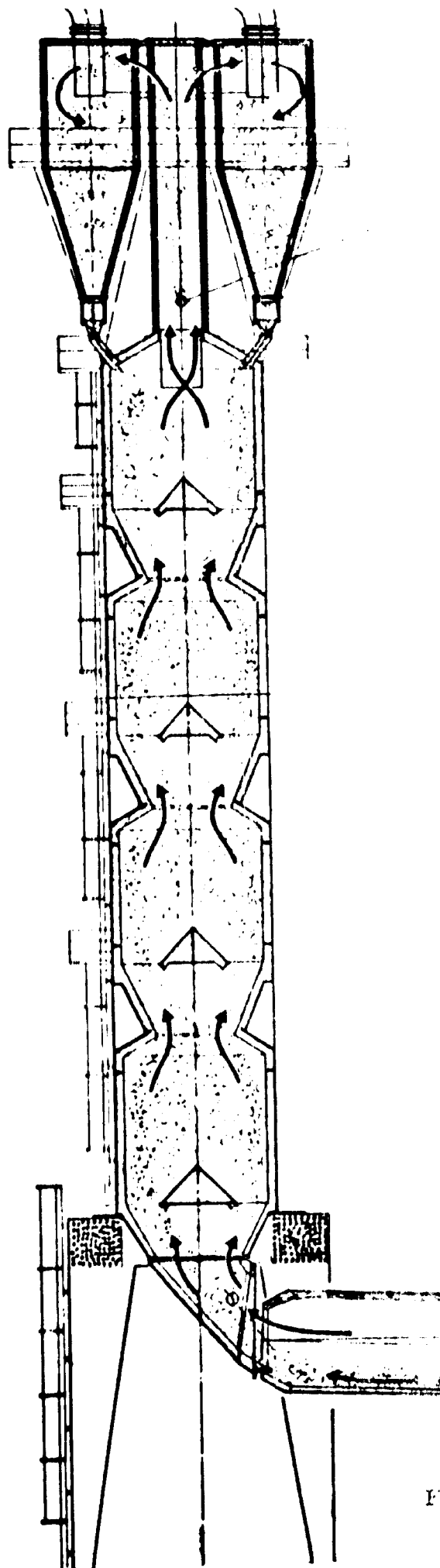
cyclones

chambre I

chambre II

chambre III

chambre IV



PRECHAUFFEUR KRUPP

Fig. 5



F. ACIDE SULFURIQUE-CIMENT

65. Au cours des dernières années, les études effectuées en ce qui concerne les procédés de fabrication de l'acide phosphorique par la voie humide ont eu pour objet non seulement l'amélioration des procédés existants dans le but d'obtenir des avantages techniques et économiques quant à l'acide phosphorique même, mais aussi l'obtention d'un phosphogypse suffisamment pur, pour être utilisé dans l'industrie du bâtiment et pour éviter ainsi son rejet avec toutes les conséquences déjà mentionnées. Au lieu d'obtenir un seul produit utilisable à savoir l'acide phosphorique, on cherche à en obtenir un deuxième, à savoir un gypse de bonne qualité.

66. Ces procédés dont il est question dans un chapitre antérieur, se basent sur deux mesures adoptées au cours de la fabrication de l'acide phosphorique, dont l'une consiste à ajouter de la silice d'une façon dirigée pendant l'attaque du phosphate brut avec de l'acide sulfurique et l'autre à effectuer la dite attaque à une température élevée, permettant ainsi de précipiter le gypse sous forme de sémihydrate, afin d'éviter sa syncristallisation avec d'autres phosphates. En précipitant le gypse sous forme de dihydrate, une telle syncristallisation se produit, ce qui est par exemple aussi le cas dans les usines de Gabès et de Sfax et le phosphogypse y obtenu contient par conséquent 0,58 à 0,95 % de  $P_2O_5$  syncristallisé qu'il est impossible d'éliminer par lavage sur le filtre. Ces deux procédés peuvent être mis en oeuvre, sans pour cela renoncer à l'utilisation de la monocuve SIAPE. Le principe est illustré en Fig. 3, page 16.

67. Ce qui importe, c'est que le gypse ainsi obtenu peut, sans inconvénient, servir pour le gypsage du ciment, ainsi que comme matière première dans le procédé acide sulfurique-ciment de Müller-Kühne.

68. Un entretien avec les ingénieurs des Ets. Krupp-Koppers qui ont construit l'usine acide sulfurique-ciment à Phalaborwa, en Afrique du Sud, nous a appris que cette usine fonctionne depuis quelques années d'une façon satisfaisante, ce qui nous a aussi été confirmé par la direction de Chemie-Linz.

69. L'usine de Phalaborwa utilise un phosphate brut local, alors que Chemie-Linz mélange le phosphogypse de son usine d'acide phosphorique, qui ne suffit pas pour alimenter entièrement son four rotatif, avec de l'anhydrite de carrière. Si l'usine de Phalaborwa dont le four produit environ 350 t/jour de ciment est encore à amortir, l'usine de Chemie-Linz est depuis longtemps amortie et est donc du point de vue économique hautement rentable. Un préchauffeur de farine (Fig. 5) y a été installé par Krupp-Koppers et fonctionne d'une façon satisfaisante. L'usine de Phalaborwa est, dès le début, munie d'un tel préchauffeur.

70. Chemie-Linz se déclare décidée d'installer dans son usine d'acide phosphorique un dispositif de dosage de silice d'accord avec sa nouvelle invention (Voir § 39).

71. Pour une production de 1.000 t/jour d'acide sulfurique-ciment, deux fours, chacun de 500 t/jour sont recommandés par les constructeurs. Comme il existe déjà une expérience satisfaisante avec un four de 350 t/jour en Afrique du Sud, un four d'une capacité de 500 t/jour ne présente pas de risque ; un four d'une capacité supérieure à 500 t/jour ne peut actuellement encore être recommandé.

72. En ce qui concerne les autres détails d'une usine d'acide sulfurique-ciment, nous nous référons à nos rapports d'octobre 1967 et de juillet 1975 et à ce qui a été exposé dans le Chapitre D pour la production d'un phosphogypse à teneur réduite en  $P_2O_5$  et F (Fig. 3 en page 16).

G. PRODUCTION LE PANNEAUX POUR MURS ET CLOISONS

1) Préparation de la pâte à mouler :

73. On pèse soigneusement 270 kgs de plâtre qu'on verse dans un gâchoir muni d'un agitateur et on y ajoute 300 litres d'eau. Le gâchage ne doit pas être trop prolongé du fait que la masse réagit très rapidement pour devenir un bloc solide.

2) Moulage :

74. Un moule spécial permettant de mouler à la fois 12 panneaux d'une épaisseur de 10 cm est constitué par un ensemble de plaques en acier inoxydable dont la surface est polie et chromée et qui reposent sur une base, également polie et chromée. Les plaques sont réunies dans un cadre dans lequel elles peuvent, selon besoin, être rapprochées ou espacées.

75. Le tout se trouve suspendu sur un pont roulant. Dans la première phase du moulage, la pâte de plâtre gâchée est déversée dans le moule, le surplus étant manuellement raclé avec une spatule. On préfère le procédé de raclage manuel au mécanique, pour mieux concentrer l'attention de l'ouvrier qui de toute façon devra surveiller l'opération.

76. Le surplus enlevé du moule est préférablement jeté à côté, pour permettre d'observer la prise du plâtre. Dès que la masse est suffisamment dure, ce qui est le cas au bout de 6 à 10 minutes, l'ensemble est soulevé et placé sur un wagonnet devant le four. Les plaques d'acier sont alors espacées et le moule vide est soulevé et remis sur son socle pour recevoir une nouvelle charge de plâtre gâché.

77. A ce stade, les panneaux encore frais, se trouvent sur un wagonnet sur lequel ils sont acheminés vers un tunnel formant étuve. Le séchage est effectué par wagonnets et dure environ 100 minutes. La file de wagonnets se trouvant à l'intérieur du tunnel comprend vingt charges, et chaque fois

qu'un wagonnet sort du four, un autre chargé de panneaux humides, est introduit à l'autre bout du tunnel. A l'entrée du tunnel, la température de l'air est de 100°C, et 80°C à la sortie. Pour synchroniser le séchage avec le moulage qui ne dure que 8 à 10 minutes et vu que la longueur d'un moule est de deux mètres environ, la longueur du séchoir doit donc être de 20 mètres.

78. Après la sortie de l'étuve, les panneaux secs sont refroidis, mis sur des supports en matière plastique (pallettes perdues), serrés en fardeaux d'une tonne, enveloppés dans une folie adhérente de polyéthylène (d'une épaisseur de 0,15 mm) et stockés, en attendant la livraison aux utilisateurs. Le stockage est possible aussi bien à l'intérieur d'un dépôt qu'à l'extérieur.

79. Une file de production comprend une trémie pour stockage intermédiaire du plâtre sec, un appareil de dosage de plâtre et d'eau, un gâcheur, un moule et une étuve. Après la sortie de l'étuve (séchoir), les panneaux sont emballés hors file, l'apprêtage pour emballage des panneaux pouvant servir pour plusieurs files.

80. En Europe, les panneaux sont en général, fabriqués en épaisseurs de 60, 80 et 100 mm et en rectangles de 660 sur 500 mm, de sorte que trois panneaux fassent un m<sup>2</sup>. Le poids d'un panneau de 660 sur 500 mm est :

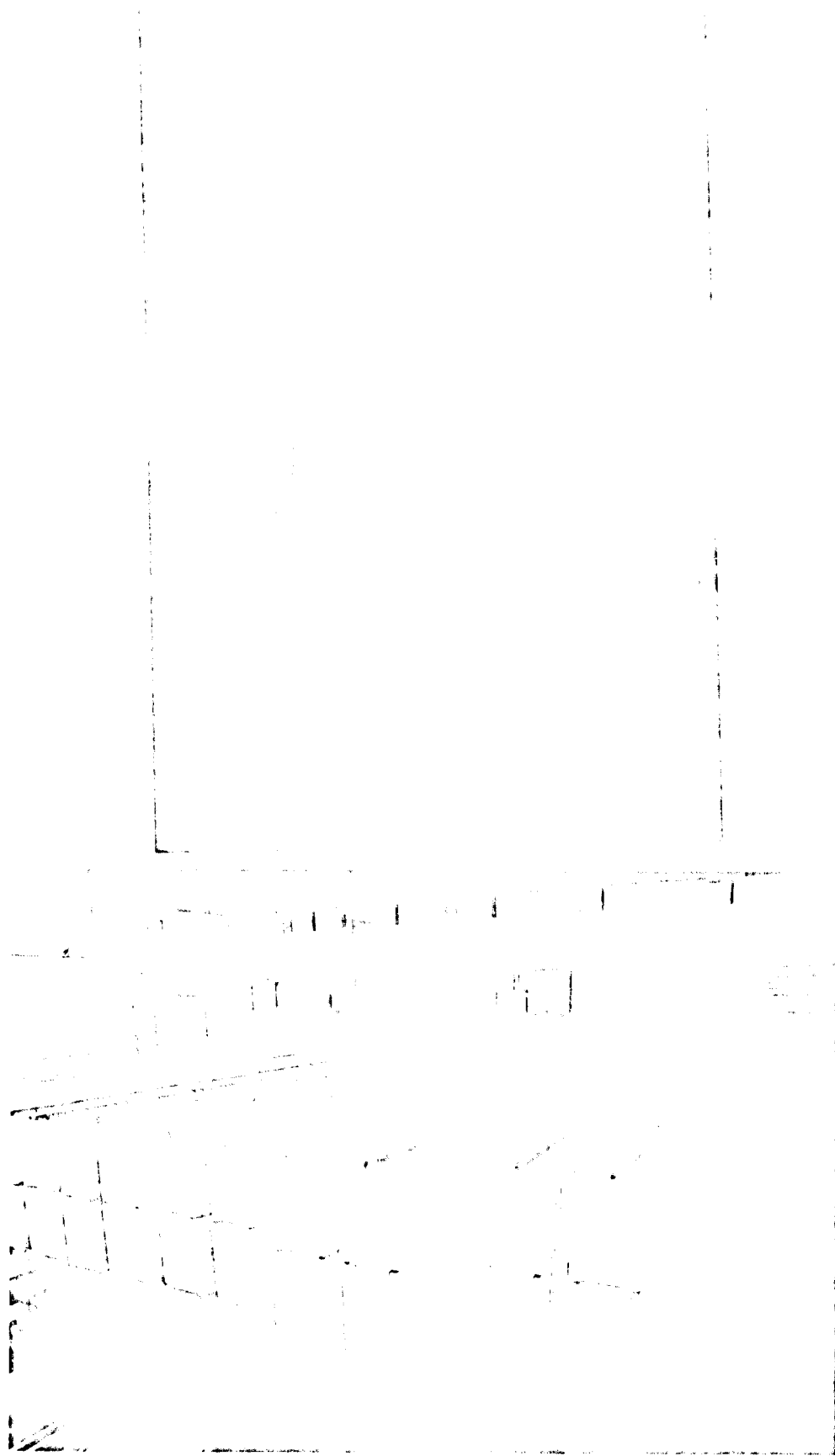
- pour une épaisseur de 60 mm de 18 à 20 kg
- pour une épaisseur de 80 mm de 24 à 26 kg
- pour une épaisseur de 100 mm de 30 à 32 kg

La différence de 2 kg pour chaque panneau s'explique par le degré de son humidité.

81. D'avis d'un producteur qui en détient l'exclusivité en Autriche, l'épaisseur de 80 mm pose le moins de problèmes, elle est aussi la plus courante. On utilisera, pour chacune des épaisseurs, une file de production indépendante, c'est à dire que pour les trois épaisseurs envisagées, trois files de production devront être prévues. Indépendamment de l'épaisseur des

panneaux fabriqués, le poids de chaque charge sera le même. On produira donc par charge soit 12 panneaux d'une épaisseur de 100 mm, soit 15 panneaux de 80 mm ou 20 panneaux de 60 mm.

In haut : Vidange du ...  
In bas : ...



En haut : les panneaux sont soulevés du moule  
En bas : Panneaux prêts pour être emballés.

H. PANNEAUX DE PLÂTRE RECOUVERTS DE CARTON

82. Il s'agit d'une industrie très intéressante à condition de pouvoir trouver un marché suffisant pour son produit. Néanmoins nous la traiterons ici, bien que superficiellement, pour le cas où une association avec d'autres pays était réalisable pour assurer l'écoulement d'une production correspondant à 40 - 50.000 t/an.

83. Les panneaux sont fabriqués en bande rigide et continue, constituées par une couche de plâtre revêtue de deux côtés d'un carton spécial. La largeur de la bande est constante, par exemple de 125 cm, alors que sa longueur peut être standardisée ou coupée sur commande.

84. La production est continue, elle s'effectue sur une courroie sans fin, suivie d'un séchoir continu. La pâte de plâtre gâché avec une quantité déterminée d'eau est répandue sur un ruban de carton et recouverte d'une autre bande de carton. Le tout se déplace sur la courroie sans fin dont la longueur est calculée pour permettre la prise du plâtre, avant l'opération suivante. Le panneau ainsi obtenu est introduit dans l'étuve dont la longueur et les conditions de fonctionnement assurent son séchage complet. A la sortie de l'étuve, le panneau est découpé à la longueur voulue. Les épaisseurs des panneaux sont standardisées, elles se situent entre 9 et 25 mm. Les longueurs standard vont de 200 à 400 ou 500 cm.

85. La plus petite capacité de production serait de  $250 \text{ m}^2/\text{h}$  ou 1,5 millions de  $\text{m}^2$  par an et coûterait DM 2,8 millions, soit DT 490.000 et occuperait un personnel de 30 ouvriers\*. Une usine autrichienne d'une capacité de production de 7,5 millions de  $\text{m}^2$  de panneaux par an représente, selon ce que nous a communiqué son directeur, une valeur d'environ DT 4 millions et occupe 70 ouvriers.

---

\* P.O. Grane, Estudio sobre los yacimientos yesíferos en el Noroeste de Argentina y sus posibles usos ; juillet 1976.



86. Au bout de 5 ans d'activité, elle est arrivée à un écoulement de 4 millions de m<sup>2</sup>, en une année donc à 53 % de sa capacité.

87. Dans les investissements mentionnés ci-dessus, une usine de purification du phosphogypse n'est pas comprise.

88. Les panneaux combinés de plâtre et de carton sont d'une utilisation très variée. Ils se prêtent pour en recouvrir des murs et plafonds, pour la construction de cloisons creuses, pour l'insonorisation, pour la protection contre la propagation d'incendies. Les panneaux pouvant être fournis avec des bords recouverts ou munis d'une gorge ou d'une rainure pour former des angles, ils peuvent aussi être utilisés pour la décoration.

89. Cependant, la pose de ces panneaux est d'une technique assez difficile et exige une main-d'oeuvre experte et lente à former, comme ce fut aussi le cas dans les pays hautement industrialisés. C'est une des raisons pour lesquelles leur introduction sur le marché tunisien demandera un temps suffisamment long pour décourager un entrepreneur, alors qu'un nombre d'autres projets plus urgents et plus faciles à réaliser sont en attente. D'autre part, la quantité minimum économiquement faisable, à savoir 1,5 millions de m<sup>2</sup> par an paraît de beaucoup trop importante, pour tenter d'établir un marché exclusivement tunisien.

90. C'est pourquoi ne pourra-t-on revenir sur la question, à moins d'avoir trouvé une association avec d'autres pays, garantissant une exportation suffisante de ces panneaux à des conditions assez favorables pour justifier les frais de transport.

Les Ets. Rigips, RFA, qui possèdent cinq usines de ce type en Allemagne nous communiquent les données économiques de la production par m<sup>2</sup> de panneaux qui se présentent comme suit :

- Plâtre .....	6,5 à 7 kg
- Eau, contenant 1 % de pâte à papier .....	5 kg
- Carton spécial .....	0,7 kg
- Colle .....	0,004 kg
- Amidon .....	0,04 à 0,05 kg
- Additifs, selon besoin .....	DM 0,06 à 0,10
- Combustible .....	4.000 kcal
- Force motrice .....	0,3 kwh
- Main d'oeuvre par <u>100 m<sup>2</sup></u> .....	2,5 à 3 h
- Prix de vente en Allemagne par m <sup>2</sup> :	
pour une épaisseur de 9,5 mm .....	DM 3,60
pour une épaisseur de 12,5 mm .....	DM 4,20

92. A ces données, on devra encore ajouter les appointements du personnel en dehors de la main d'oeuvre, les frais de l'amortissement et de l'entretien, les charges financières, les frais généraux etc. qui seront fonction du rendement réel de l'usine, dont le schéma est représenté en page 36.

- 1 Stockage du gypse
- 2 balance
- 3 Additifs
- 4 Dosage d'eau
- 5 700 ml d'écume de
- 6
- 7
- 8 Rouleaux de carton
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16

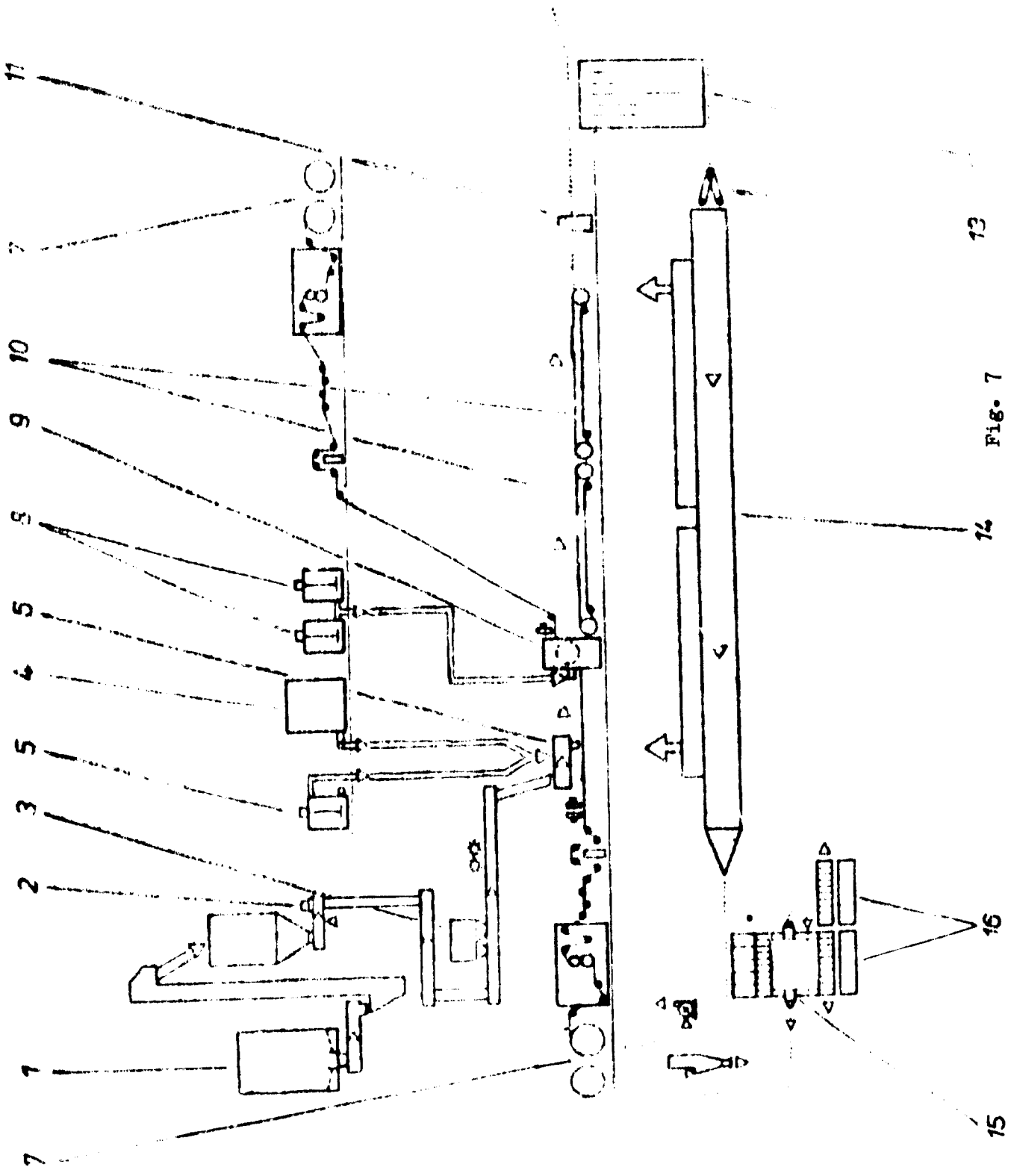


Fig. 7

I. AUTRES USAGES

93. Parmi les autres usages qu'on peut donner au plâtre, nous avons mentionné en page 25 les différents mortiers qu'on peut produire avec du plâtre, vient s'ajouter encore le plâtre qui est utilisé à des fins décoratifs pour l'exécution du stuc, du staff et des moulures. Nous devons aussi mentionner le plâtre à usage médical et artistique. Mais ces utilisations nous paraissent de moindre importance du point de vue économique et ne seront donc pas traitées en détail.

94. Cependant, une nouvelle utilisation pour le phosphogypse vient d'être proposée par les Ets. Ruône-Poulenc qui consisterait à renforcer la surface des routes avec du gypse alcalinisé moyennant de la soude caustique. Si cette utilisation qui se trouve à présent au stade d'essais s'avérait faisable, elle pourrait constituer un débouché très important pour le phosphogypse. A présent, il est encore trop tôt pour en parler, mais nous en faisons néanmoins mention, en recommandant de ne pas la perdre de vue.

95. Mentionnons finalement une utilisation possible du gypse dans l'agriculture là où il pourrait s'agir d'enrichir le sol en soufre ou en calcium. Cette question pourra être examinée par les autorités compétentes qui possèdent des amples informations sur la composition et les besoins du sol tunisien selon les cultures pratiquées ou envisagées.

J. ASPECTS ECONOMIQUES

96. Cette étude vise l'utilisation pratiquement de la totalité du phosphogypse actuellement obtenu dans les usines ICM I et ICM II à Gabès. Du point de vue tunisien global, cela ne représenterait qu'une solution partielle du problème posé par le phosphogypse dans le pays, et encore moins, si on pense au développement futur de l'industrie phosphatière. Mais en songeant à l'amélioration que la réalisation du projet en sa totalité aurait, en ce qui concerne l'environnement de la région, et aux effets micro- et macroéconomique qu'elle pourrait produire pour le pays, un effort en vue de sa mise en oeuvre paraît pleinement justifié.

97. Ci-après, seront fournis les éléments permettant à l'économiste et aux autorités politiques de juger sur l'utilité d'industrialiser le phosphogypse brut obtenu en Tunisie et sur l'implantation de nouvelles industries, basées sur cette matière première :

Main-d'oeuvre : Le coût de celle-ci n'a pas changé depuis l'année dernière, nous avons donc continué d'appliquer pour chaque ouvrier le montant de DT 2.200 par an, y compris l'encadrement et les charges sociales.

Utilités : Le prix de la force motrice étant resté le même depuis 1975, nous avons donc compté dans nos calculs le coût de 12,46 millimes par Kwh. Par contre, le prix du gaz naturel a été porté cette année à 8,6 millimes au lieu de 8,2 en juillet 1975, nous avons par conséquent été obligé à porter le prix de la vapeur à DT 0,845 au lieu de DT 0,813 en 1975.

Entretien : Pour l'entretien, nous avons appliqué un taux de 5 % de l'investissement. Dans ce montant sont, bien entendu, comprises les pièces prélevées sur le stock de pièces de rechange, dont la valeur ne fait donc pas partie de la somme amortissable.

Frais généraux : Comme l'année dernière, nous avons estimés que ceux-ci représentent 15 % des salaires. Etant donné que ces frais ne constituent qu'une partie relativement très réduite des prix de revient totaux, une erreur éventuelle ne peut être que minime.

Amortissement de l'usine : Il est d'usage d'appliquer un taux d'amortissement correspondant à une dépréciation comptable totale en 20 ans pour les bâtiments (génie-civil) et en 10 ans pour l'équipement. En réalité, il faut compter sur une valeur résiduelle de 25 % du coût de l'usine valorisé à la date de son amortissement total du point de vue comptable.

Charge financière pour le fonds de roulement : Comme le fonds de roulement peut être couvert par un prêt bancaire, le taux actuel de 9 % par an a été appliqué pour en assurer la charge financière.

Pour le calcul du taux d'intérêt interne, le montant de l'amortissement de l'usine, ainsi que la charge financière pour le fonds de roulement ont été déduits du prix de revient global.

98. Pour nos calculs, il a été assumé que le phosphogypse actuellement rejeté serait fourni gratuitement à l'usine de purification.

99. Les 80.000 t/an de gypse pour gypsage de ciment seraient vendues aux cimenteries à leur prix d'achat actuel. Par contre, les quantités absorbées par l'usine d'acide sulfurique-ciment et par les autres usines, dans la mesure où elles appartiendraient au même groupe, seraient cédées aux prix coûtant. Il est évident, que si les différentes usines appartenaient à des groupes différents, tous les calculs seraient à refaire. En tout état de cause, il faudra partir du principe que l'usine acide sulfurique-ciment appartiendra au même groupe, ce qui ne sera nécessairement pas le cas pour la fabrique de panneaux.

100. On pourra aussi envisager l'exportation de plâtre et de panneaux de plâtre avec ou sans carton à des prix à étudier.

101. Pour réduire le coût du transport à l'étranger, des panneaux poreux d'un poids de 30 % inférieur par m<sup>2</sup> pourraient être livrés. Leur fabrication n'exigera pas de modifications d'appareillage. Un résumé pour chacun des produits envisagés est donné ci-après.

a) Phosphogypse purifié (990.000 t/an)

Investissements au total	: DT	1,600.000
Investissements par tonne/an	: DT	1,616
Amortissement, par tonne	: DT	0,246
Prix de revient global par tonne	: DT	1,036
Prix de revient pour calcul du taux d'intérêt interne, par tonne*	: DT	0,786
Prix de vente aux cimenteries, par tonne	: DT	1,200

b) Plâtre (190.000 t/an)

Les investissements et l'amortissement font partie de ceux pour le phosphogypse purifié

Prix de revient global par tonne	: DT	2,138
Prix de revient pour calcul du taux d'intérêt interne, par tonne **	: DT	1,837
Prix de vente (en vrac)	: DT	25,000

c) Panneaux de plâtre (36.000 t/an)

Investissements, au total	: DT	625.000
Investissements, par tonne/an	: DT	17.361
Amortissement, par tonne	: DT	2,583
Prix de revient global, par tonne	: DT	9,860

---

\*) Voir § 97, dernier alinéa

\*\*) Le gypse à DT 0,795 la tonne, voir aussi § 97, dernier alinéa.

Prix de revient pour calcul du taux d'intérêt interne, par tonne*	: DT	6,915
Prix de vente départ usine en RFA par tonne DM 142 HT	: DT	25,350
Prix de vente départ usine en France par tonne FF HT (1974) 230. -	: DT	20,900
par tonne FF HT (1976)***	: DT	25,290
d) <u>Acide sulfurique-ciment</u> (330.000 t + 330.000 t par an)		
Investissements, au total	: DT	39,000.000
Investissements pour une tonne d'acide sulfurique plus une tonne de ciment	: DT	118,181
Amortissement pour une tonne d'acide sulfurique plus une tonne de ciment	: DT	17,994
Prix de revient global pour une tonne d'acide sulfurique plus une tonne de ciment	: DT	40,303
Prix de revient comme ci-dessus, mais pour calcul du taux d'intérêt interne**	: DT	21,603

102. Le prix de revient global de DT 40,303 pour une tonne d'acide sulfurique et une tonne de ciment représente, comme il est démontré plus loin, une augmentation de 47 % par rapport au juillet 1975, ce qui paraît anormal. En voici donc les raisons principales :

103. Tout d'abord, signalons l'augmentation du prix de l'équipement. Alors que le prix approximatif d'une usine ayant une capacité de production de 1.000 t/j d'acide sulfurique et de 1.000 t/j de ciment était, selon estimation des Ets. Krupp-Koppers pour 1974 et après y avoir appliqué une augmentation de 8 %, correspondant au taux d'inflation 1974/75 pour biens d'investissement,

---

\*) Le plâtre à DT 1,847 la tonne, voir aussi § 97, dernier alinéa.

\*\*\*) Le gypse à DT 0,795 la tonne.

\*\*\*\*) En assumant une inflation moyenne de 10 % p.a.



était DT 26,100.000, clefs en main, les mêmes Ets. Krupp-Koppers nous indiquent maintenant la somme de DT 25,800.000 pour l'équipement seul FOB dans un port européen. Ceci nous amène à un prix de l'usine complète, y compris son montage, les bâtiments, les services auxiliaires et les redevances à payer pour le procédé, à un total de DT 39,0 millions et à un taux d'amortissement par tonne de chacun des deux produits de DT 11,358 à DT 17,994. Il y a donc dans ce secteur, en une seule année, une augmentation de 53 % pour les investissements et de 58 % pour les amortissements, la différence entre les deux pourcentages étant due à l'augmentation du taux officiel d'intérêt bancaire, appliqué aux amortissements, de 8 à 9 %.

104. Une autre surprise vient de l'augmentation du prix du coke qui en 1975 coûtait DT 50 la tonne, alors que son prix actuel est de DT 66, ce qui fait une augmentation de 32 %.

105. Et finalement, pour mieux pouvoir garantir la qualité du ciment, le détenteur du procédé exige que le  $P_2O_5$  dans le phosphogypse utilisé ne dépasse pas les 0,5 %, alors que l'année dernière il avait encore admis une teneur de 0,8 %. Ceci nous oblige à soumettre le phosphogypse, après une première filtration, à un lavage à l'eau, et par la suite, à une deuxième filtration, ce qui coûtera environ DT 2 par tonne de phosphogypse et environ DT 4 par tonne des deux produits fabriqués.

106. Pour en revenir à l'augmentation de plus de 50 % en 18 mois pour les biens d'investissement, elle nous paraît démesurée surtout à une époque où on cherche, au contraire, à encourager l'esprit d'entreprise pour parer aux effets de désoccupation qui, depuis 1973, avait augmenté dans tous les pays industrialisés. Bien qu'on nous ait fait oralement comprendre que le prix indiqué pour l'usine ne l'était qu'à titre indicatif, il est difficile d'imaginer que, si même une réduction devait avoir lieu, celle-ci pourrait suffire pour changer l'ordre de grandeur du chiffre avancé. Car n'oublions pas qu'il s'agit d'une entreprise trop importante pour se permettre d'avancer un devis, même à titre indicatif, sans avoir ses raisons ne soit ce que d'ordre commercial du moment.

107. Pour avoir une confirmation du prix de l'usine, il ne reste donc qu'à s'adresser aux autres constructeurs mentionnés dans notre rapport précédent, à savoir :

VOEST AG. (Autriche)  
 S.A. Métallurgique de Prayon (Belgique) et  
 Swindex-Dresler (Subsidaire des Ets. Kellogg en Grande Bretagne)

108. Retenons, de toute façon, que l'industrie envisagée d'acide sulfurique-ciment seule consommerait 680.000 t/an de gypse purifié, ce qui correspond à environ 990.000 t/an de phosphogypse brut, c'est à dire environ 70 % de la quantité rejetée par les ICM à Gabès.

109. En résumé, nous relevons donc entre 1975 et 1976 les différences suivantes par tonne :

	1975	1976	Différence
Equipement	DT 78	DT 120	53 %
Gypse	DT -	DT 2,130	100 %
Coke	" 5,151	" 6,800	32 %
Vapeur	" 0,245	" 0,258	5 %
Gaz naturel	" 1,567	" 1,642	5 %
Entretien	" 3,955	" 6,061	53 %
Amortissements	" 11,358	" 17,994	58 %
Charge financière pour fonds de roulement	" 0,145	" 0,221	52 %
Assurance	" 0,473	" 0,727	53 %
TOTAL	DT 22,894	DT 35,833	
Différence due aux simplifications du calcul	0,008		
Différence relevée entre 1975/76	" 12,931		
	DT 35,833	DT 35,833	
Prix total par tonne	DT 27,372	DT 40,303	47 %

110. Comme le prix de revient par tonne d'acide sulfurique dans une usine neuve est actuellement de DT 15,000, on obtient, pour une tonne de ciment, sans compter les amortissements et les charges pour le fonds de roulement, un prix de revient comme suit :

$$DT\ 21,603 - DT\ 15,000 = \underline{DT\ 6,603}$$

qui correspond à celui indiqué par les responsables des cimenteries de Gabès, de Bizerte et de la CIMAT. En effet, ces prix de revient ont été donnés au cours de la réunion du 6/2/76 (Annexe XII) en présence de Mr. N. Khader, représentant le CNEI, comme étant de :

DT 14,130 pour Gabès, amortissements compris,  
" 14,218 pour Bizerte II, amortissements compris,  
" 12,570 pour la CIMAT, amortissements compris.

111. En déduisant les amortissements des trois cimenteries, tels qu'ils ont été déclarés selon l'Annexe XII, on obtient les prix de revient suivants :

pour la cimenterie de Gabès DT 7,230  
pour la cimenterie de Bizerte II DT 6,768  
pour la cimenterie de la CIMAT DT 5,370

112. La moyenne qui est de DT 6,456 est donc du même ordre de grandeur que le prix de revient dans l'usine d'acide sulfurique-ciment obtenu ci-dessus.

K. RECOMMANDATIONS

113. L'industrie de phosphates et d'engrais phosphatés permet d'augmenter sensiblement le revenu tiré des mines de phosphates, il est donc dans l'intérêt du pays de pouvoir continuer cette industrie et la développer. Cependant, le phosphogypse qui constitue un déchet de ces usines pose des problèmes pour l'environnement et l'écologie qui commencent à être une entrave sérieuse à cette industrie et à d'autres activités économiques du pays. Il est donc nécessaire de pouvoir disposer du phosphogypse, même si cela entraîne un investissement important et si pendant la période de l'amortissement de l'usine les bénéfices étaient bas, ce qui ne semble pas le cas. A longue vue, ce serait donc un manque de prévoyance que de vouloir éviter un tel investissement et nous tenons donc à recommander la création d'une ou de plusieurs industries subsidiaires utilisant le phosphogypse comme matière première.

114. En premier lieu, nous recommandons la fabrication d'acide sulfurique et de ciment dont le débouché est assuré dès le début, et qui serait en mesure d'absorber 70 % du phosphogypse actuellement obtenu dans les usines ICMI et ICM II à Gabès. Nous la recommandons, bien que les investissements soient élevés et le rendement, pendant les premières années réduit.

115. Les autres industries subsidiaires que nous recommandons également sont celles de plâtre et de divers panneaux de plâtre, susceptibles, après une période d'introduction, de consommer 30 % du phosphogypse de Gabès.

116. Et finalement, il est recommandé la construction d'une usine de purification de gypse qui, de toute façon, sera nécessaire pour alimenter les autres usines en matière première, car le phosphogypse brut contient des impuretés qu'il faut d'abord éliminer, pour le rendre utilisable.

117. En ce qui concerne le phosphogypse obtenu à Sfax, des mesures analogues seront à envisager.

ANNEXE I

EFFET DU PHOSPHOGYPSE SUR LES POISSONS

Résultat d'expériences effectuées par  
L'Institut Océanographique de Salambô  
à la demande du Centre National d'Etudes  
Industrielles

Le CNEI, sur la base de renseignements antérieurs concernant les effets actifs du rejet du phosphogypse dans la mer a pensé à vérifier d'une façon scientifique ce point important.

Pour arriver à un résultat concret il a fait appel en décembre 1972 à la collaboration de l'Institut Océanographique de Salambô.

Nous avons remis au responsable de cet Institut, un échantillon de phosphogypse de la SIAPE.

Cet échantillon n'a subi aucun traitement. Il est représentatif du grand stock de phosphogypse de l'usine.

Un échange de points de vue entre le responsable de l'Institut : Mr. BEN ALAYA, d'une part; et le CNEI (Mrs STOCLET, KLADER) d'autre part ; a précédé les essais décrits ci-dessous :

EXPERIENCE N° 1:

Volume de l'aquarium : 79,8 litres

Concentration en phosphogypse : 1 g/l

Température de l'eau (CSTe) : 22° C

Nombre de poissons : (mulets) 5

a) sans oxygénation :

début de l'expérience : 10 h

PH : 7,5

Fin de l'expérience a : 17 h 30

PH : 6,8

Résultat : Mort de 3 poissons sur 5 au bout de 7 h 30.

- b) Avec oxygénation : (à saturation : 8 mg/l)  
sous l'effet tampon de l'eau de mer.

Résultat : Aucun poisson n'est mort.

### EXPERIENCE N° 2

Volume de l'aquarium et température analogues au 1er cas ; ainsi que le nombre de poissons.

Concentration en phosphogypse : 2 g/l

- a) Sans oxygénation :

PH voisin de 7

Résultat : Après 2 heures, mort des 5 poissons .

- b) Avec oxygénation : début de l'expérience 10 h  
PH 6,8 puis 7,1

Résultat :

A 14 H : mort de 1 poisson (PH = 7,1)

A 17 H : mort des 5 poissons (PH = 7,4)

12 heures après, le PH est resté : 7,4. Entre la mort du 1er poisson et du reste, le PH a varié de 7,1 à 7,4.

### EXPERIENCE N° 3

Une analyse microscopique a été effectuée sur les poissons morts. Elle a relevé une accumulation de phosphogypse dans les ouies des poissons.

### COMMENTAIRES

Il ressort de ces résultats que la durée de vie des poissons est prolongée soit par une oxygénation du milieu acqueux, ou une réduction de sa concentration en phosphogypse.

Nous pouvons donc dire et l'expérience n° 3 est là pour le confirmer, que la mort des poissons est due dans le cas présent, principalement à une asphyxie.

Le phosphogypse est très fin et finit par obturer l'ouïe des poissons.

Par conséquent, en été où la mer est calme, une telle asphyxie peut avoir lieu dans les endroits où la concentration en phosphogypse dépasse une limite tolérable (qui reste à déterminer) : par exemple au voisinage du rejet dans la mer de ce produit résiduaire.

Rappelons à ce propos, qu'à Ghannouch, les poissons attirés par la lumière de l'usine ICM, ainsi que celle résultant de la torche du gaz d'El Bor-ma (à Ghannouch), remontent jusqu'à la côte.

Par ailleurs, le rejet en mer d'une solution fluorée provenant de la condensation des vapeurs de la section : concentration sous vide de l'acide phosphorique ; ne peut également qu'être nocif à l'environnement : marin, humain, ...

Dans une note antérieure, nous avons évoqué l'effet éventuel du rejet du phosphogypse sur la flore sous-marine.

Nous signalons qu'au cours de nos entretiens, Mr BEN ALAYA nous a dit que le phosphogypse se déposait sur les fonds marins en créant une sorte de glaciais empêchant tout développement de la flore sous-marine et que cela créait un cycle irréversible. Nous estimons que ce point doit être suivi de très près pour éviter un désert sous-marin.

#### RECOMMANDATIONS

Il serait intéressant de prélever et d'analyser des échantillons d'eau de mer à différentes périodes de l'année (pour tenir compte des vents et courants marins), et aussi à diverses distances du rejet de l'usine ICM, et profondeurs.

---

- 46 quater -

De refaire la même expérience à l'Institut Océanographique avec des concentrations en phosphogypse inférieures à 1 g/l.

A ce propos, signalons que l'Institut est disposée à poursuivre une telle collaboration et de l'élargir à d'autres produits résiduaire.

---



ANNEXE II  
PURIFICATION DU PHOSPHOGYPSE

- 47 -

CALCUL APPROXIMATIF DES PRIX DE REVIENT

(y compris l'amortissement du capital investi et les charges financières à un taux d'intérêt de 9 % p.a.)

Production journalière : 3.000 t/j de gypse purifié  
 Production par an : 990.000 t/a de gypse purifié  
 Investissements pour bâtiments : DT 100.000  
 Investissements pour équipements : DT 1.500.000  
 Fonds de roulement : DT 45.000

	Quantité	Prix par unité	1.000 DT	DT/t	% du total
1) <u>Matières premières</u>					
Phosphogypse (25 % H <sub>2</sub> O) t	1,3 x 10 <sup>6</sup>	-	-	-	-
Chaux t	5	-	-	-	-
2) <u>Main-d'oeuvre *</u>	28	2.200	62	0,063	6,1
3) <u>Utilités</u>					
Vapeur t	-	-	-	-	-
Force motrice Kwh	29 x 10 <sup>6</sup>	0,01246	361	0,365	35,2
Eau de réfrigération m <sup>3</sup>	2 x 10 <sup>6</sup>	0,003	6	0,006	0,6
Gaz naturel Nm <sup>3</sup> à 10.500 Kcal/Nm <sup>3</sup>	29 x 10 <sup>6</sup>	0,0086	249	0,252	24,3
4) <u>Entretien</u>			80	0,081	7,8
5) <u>Frais généraux 15 % de DT</u>	62.000		9	0,009	0,9
6) <u>Amortissement **</u>			245	0,246	23,7
7) <u>Charge financière pour fonds de roulement ***</u>			4	0,004	0,4
8) <u>Assurance 0,6 % de DT</u>	1,600.000		10	0,010	1,0
<b>Total pour 1 t de gypse</b>			<b>1.026</b>	<b>1,036</b>	<b>100,0</b>

**Amortissements :**

Bâtiments, en 20 ans (intérêt 9 % p.a.) : DT 10.954

Equipement, en 10 ans (intérêt 9 % p.a.) : DT 233.718

DT 244.672

\*) DT 2.200 p.a., y compris les cadres et les charges sociales

\*\*) Voir Annexe III

\*\*\*) Voir Annexe IV

1204  
20/05/1964  
H. J. J.

ANNEXE III

PURIFICATION DU PHOSPHOGYPSE

ESTIMATION DES INVESTISSEMENTS

Capacité : 3.000 t/j de gypse purifié  
990.000 t/a de gypse purifié

	1.000 DT	
	en devises tuni- siennes	en devises étran- gères
A) Génie Civil .....	100	-
B) Equipement .....	-	1.200
C) Services auxiliaires .....	10	-
D) Pièces de rechange .....	-	20
E) Montage et Mise en Service environ 15 % de B .....	100	80
F) Engineering et redevances environ 10 % de B .....	-	120
G) Terrain, 10.000 m <sup>2</sup> à DT 2.000	20	-
H) Frais de premier établissement .....	10	-
I) Fonds de roulement (Voir Annexe IV)	4	-
Sous-totaux	244	1.420
<u>TOTAL GENERAL</u>		<u>1.664</u>

Bâtiments : DT 100.000 à amortir en 20 ans

Equipement : DT 1,500.000 à amortir en 10 ans

Amortissements (9 % d'intérêt p.a.) :

Bâtiments, en 20 ans : DT 10.954 p.a.

Equipement, en 10 ans : DT 233.718 p.a.

DT 244.672

ANNEXE III

PURIFICATION DU PHOSPHOGYPSE

ESTIMATION DES INVESTISSEMENTS

Capacité : 3.000 t/j de gypse purifié

990.000 t/a de gypse purifié

	1.000 DT	
	en devises tuni- siennes	en devises étran- gères
A) Génie Civil .....	100	-
B) Equipement .....	-	1.200
C) Services auxiliaires .....	10	-
D) Pièces de rechange .....	-	20
E) Montage et Mise en Service environ 15 % de B .....	100	80
F) Engineering et redevances environ 10 % de B .....	-	120
G) Terrain, 10.000 m <sup>2</sup> à DT 2.000	20	-
H) Frais de premier établissement .....	10	-
I) Fonds de roulement (Voir Annexe IV)	4	-
Sous-totaux	244	1.420
<u>TOTAL GENERAL</u>	<u>1.664</u>	

Bâtiments : DT 100.000 à amortir en 20 ans

Equipement : DT 1,500.000 à amortir en 10 ans

Amortissements (9 % d'intérêt p.a.) :

Bâtiments, en 20 ans : DT 10.954 p.a.

Equipement, en 10 ans : DT 233.718 p.a.

DT 244.672

ANNEXE V

ACIDE SULFURIQUE-CIMENT

50

CALCUL APPROXIMATIF DES PRIX DE REVIENT

(y compris l'amortissement du capital investi et les charges financières à un taux d'intérêt de 9 % p.a.)

Production journalière : 1.000 t d'acide sulfurique et 1.000 t de ciment

Production par an : 330.000 t d'acide sulfurique et 330.000 t de ciment

Investissements pour bâtiments : DT 3,000.000

Investissements pour équipement etc. : DT 36,000.000

Fonds de roulement : DT 786.000

	Quantité	Prix par unité	1.000 DT	DT/t	% du total
<b>1) <u>Matières premières</u></b>					
Gypse (25 % H <sub>2</sub> O) t	680.000	1,036	703	2,130	5,2
Sable et argile t	97.000	0,500	49	0,148	0,4
Coke t	34.000	66,000	2.244	6,800	16,9
Stockage et manutention	131.000	0,500	65	0,197	0,5
<b>2) <u>Main-d'oeuvre *</u></b>	150	2.200	330	1,000	2,5
<b>3) <u>Utilités</u></b>					
Vapeur t	100.000	0,845	85	0,258	0,6
Force motrice kwh	71 x 10 <sup>6</sup>	0,01246	884	2,682	6,7
Eau de réfrigération m <sup>3</sup>	33 x 10 <sup>6</sup>	0,003	99	0,300	0,7
Gaz naturel Nm <sup>3</sup> à 10.500 Kcal/Nm <sup>3</sup>	63 x 10 <sup>6</sup>	0,0086	542	1,642	4,1
4) Entretien 5 % de appx. DT	40 x 10 <sup>6</sup>		2.000	6,061	15,0
5) Frais généraux 15 % de DT	330.000		50	0,152	0,4
6) Amortissements**			5.938	17,994	44,7
7) Charge financière pour fonds de roulement 9 % de DT	786.000		70	0,212	0,5
8) Assurance, 0,6 % de DT ***	40 x 10 <sup>6</sup>		240	0,727	1,8
<b>Total pour 1 t d'acide sulfurique et 1 t de ciment en vrac</b>			<b>13.299</b>	<b>40,303</b>	<b>100,0</b>

\*) DT 2.200 p.a. y compris les cadres et les charges sociales

\*\*) Voir Annexe VI

\*\*\*) Voir Annexe VII

ANNEXE VI

ESTIMATION DES INVESTISSEMENTS POUR UNE USINE D'ACIDE  
SULFURIQUE ET DE CIMENT A PARTIR DU PHOSPHOGYPSE

PURIFIE

Capacité : 1.000 t/j d'acide sulfurique

1.000 t/j de ciment

	1.000 DT	
	en devise tuni- sienne	en devises étran- gères
A) Génie Civil .....	3.000	-
B) Equipement .....	-	27.000
C) Services auxiliaires .....	900	1.100
D) Pièces de rechange .....	-	250
E) Montage et mise en service environ 15 % de B + C .....	3.000	1.300
F) Engineering et redevances environ 10 % de B .....	-	2.700
G) Terrain, 20.000 m <sup>2</sup> à DT 2.000	40	-
H) Frais de premier établissement .....	50	-
Sous-totaux	6.990	32.350
I) Fonds de roulement (voir Annexe IV)	300	515
	7.290	32.865
<u>TOTAL GENERAL</u>		<u>40.155</u>

Bâtiments : DT 3.000.000 à amortir en 20 ans

Equipement : DT 36.000.000 à amortir en 10 ans

Amortissements (9 % d'intérêt)

Bâtiments, en 20 ans : DT 328.623

Equipement, en 10 ans : DT 5.609.224

DT 5.937.847

ACIDE SULFURIQUE-CIMENTCALCUL DU FONDS DE ROULEMENT ET DE LA  
CHARGE FINANCIERE CORRESPONDANTE

	En devise tuni- sienne	En devises étran- gères
1) <u>Matières premières</u> (stock de deux mois)		
Sable et argile, 16.000 t à DT 0,500	DT 8.000	DT -
Coke, 5.500 t à DT 66.000	-	" 363.000
Sacs, 550.000 (1 mois) à DT 0,075	-	" 41.000
Stockage et manutention 21.500 t à DT 0.500 environ + 2 % pour sacs	" 12.000	-
2) <u>Main-d'oeuvre + cadres</u> , réserve pour 1 mois	" 30.000	
3) <u>Utilités</u>	Néant	Néant
4) <u>Produits finis</u> (stock de 15 jours) sans compter l'amortissement des investissements 15.000 x DT 22.100	" 230.000	102.000
	<hr/>	<hr/>
TOTAUX	DT 280.000	DT 506.000
	<hr/>	
TOTAL GENERAL	DT 786.000	
	<hr/>	
Charge financière au taux d'inté- rêt de 9 % p.a.	DT 70.000	
Soit par tonne	" 0,212	

PRODUCTION DU PLATRECALCUL APPROXIMATIF DES PRIX DE REVIENT

(y compris l'amortissement du capital investi et les charges financières à un taux d'intérêt de 9 % p.a.)

Production journalière : 575 t

Production par an : 190.000 t

Investissements pour bâtiments : \*)

Investissements pour équipement: \*)

Fonds de roulement : \*)

	Quantité	Prix par unité	1.000 DT	DT/t	% du total
1) <u>Matières premières</u> Gypse t	230.000	1,036	238	1,253	58,6
2) <u>Main-d'oeuvre **)</u>	3	2,200	18	0,095	4,4
3) <u>Utilités</u> Force motrice kwh	$4,7 \times 10^6$	0,01246	59	0,310	14,5
Gaz naturel Nm <sup>3</sup> à 10.500 Kcal/Nm <sup>3</sup>	$3,8 \times 10^6$	0,0086	33	0,174	8,2
4) Entretien			25	0,132	6,2
5) Frais généraux 15 % de	18.000		3	0,016	0,7
6) Amortissement *)	-		-	-	
7) Charge financière pour fonds de roulement *)	-		-	-	
8) Assurance 0,6 % de DT	500.000		30	0,158	7,4
Total pour 1 t de tonne			406	2,138	100,0

\*) Ces postes sont inclus dans les calculs précédents. (Voir Annexes II, III et IV).

\*\*\*) DT 2.200 p.a., y compris les cadres et les charges sociales.

PANNEAUX DE PLÂTRECALCUL APPROXIMATIF DES PRIX DE REVIENT

(y compris l'amortissement du capital investi et les charges financières à un taux d'intérêt de 9 % p.a.)

Production par an 36.000 t  $\left\{ \begin{array}{l} 12.000 \text{ t} = 190.000 \text{ m}_2^2 \text{ d'une épaisseur de } 6 \text{ cm} \\ 12.000 \text{ t} = 150.000 \text{ m}_2^2 \text{ d'une épaisseur de } 8 \text{ cm} \\ 12.000 \text{ t} = 120.000 \text{ m}_2^2 \text{ d'une épaisseur de } 10 \text{ cm} \end{array} \right.$

Investissements pour bâtiments : DT 100.000

Investissements pour équipement : DT 525.000

Fonds de roulement : DT 42.000

	Quantité	Prix par unité	1.000 DT	DT/t	% du total
1) <u>Matières premières</u>					
Plâtre	30.000	2,138	64	1,778	18,0
2) <u>Main-d'oeuvre</u>	35	2.200	77	2,139	21,7
3) <u>Utilités</u>					
Vapeur t	3.000	0,845	3	0,083	0,9
Force motrice Kwh	$2,9 \times 10^6$	0,01246	36	1,000	10,1
Eau de réfrigération m <sup>3</sup>	75.000	0,003	3	0,083	0,9
Gaz naturel Nm <sup>3</sup> à 10.500 Kcal/Nm <sup>3</sup>	$3,2 \times 10^6$	0,0086	28	0,778	7,9
4) Entretien 5 % de DT	625.000		31	0,861	8,7
5) Frais généraux 15 % de	60.000		12	0,333	3,4
6) Amortissement			93	2,583	26,2
7) Charge financière pour fonds de roulement			4	0,111	1,1
8) Assurance 0,6 % de DT	625.000		4	0,111	1,1
Total pour 1 t de panneaux			355	9,860	100,0

Amortissements (à 9 % d'intérêts) :

Bâtiments, en 20 ans : DT 10.954

Équipement, en 10 ans : DT 81.801

DT 92.755



ANNEXE X

PANNEAUX DE PLATRE

ESTIMATION DES INVESTISSEMENTS

Production de 36.000 t p.a. de panneaux en plâtre

	1.000 DT	
	en devise tuni- sienne	en devises étran- gères
A) Génie Civil .....	100	-
B) Equipement .....	-	400
C) Services Auxiliaires .....	20	-
D) Pièces de rechange .....	-	30
E) Montage et mise en service envi- ron 15 % de B .....	40	25
F) Engineering et redevances environ 10 % de B .....	-	40
G) Terrain, 10.000 m <sup>2</sup> à DT 2,000	20	-
H) Frais de premier établissement...	20	-
I) Fonds de roulement (Voir Annexe	42	-
Sous-totaux	242	495
<u>TOTAL GENERAL</u>	<u>DT 737</u>	

Investissements : (à amortir à 9 % d'intérêts par an)

Bâtiment : DT 100.000

Equipement : DT 525.000



ANNEXE XIIPROCES-VERBALde la réunion du 6/2/1976 G1

Etaient présents :

Mrs : Tahar AZAIEZ CIMAT  
 Néjib KHADER C.N.E.I.  
 Hédi MAHJOUR Ministère du Plan  
 Mahmoud BEN NASR S.C.P.B.  
 Larbi M'HAMDI SOTIMACO  
 Hemand BEN OTHMAN S.C.G.

La séance a été ouverte à 9 h 30, et comme convenu il a été procédé à l'examen en détail des structures de prix présentés par Gabès, Bizerte et CIMAT. Il ressort de cette discussion que les prix de revient de ces différentes entreprises situeront aux niveaux ci-après :

En dinars

	Gabès	Bizerte	CIMAT
Prix de revient	14,130	14,218	12,570
Marge 10 %	1,413	1,421	1,257
Total	15,543	15,639	13,827
Taxes à la production	2,614	2,620	2,325
Total	18,157	18,259	16,152
Péréquation transport	1,080	1,080	1,080
	19,237	19,339	17,132

Avec des dotations pour amortissements de :

en dinars

	Gabès	Bizerte	CIMAT
Amortissements techniques	5,400	5,600	6,000
Amortissements Financiers	1,500	1,850	1,200
	6,900	7,450	7,200

Sur la base de ces éléments les membres de la Commission ont convenu de la nécessité de réviser le prix des liants en Tunisie afin de tenir compte :

- 1/ du différentiel entre prix de revient CAT et prix actuel d'homologation
- 2/ des nouvelles structures de prix de Gabès CIMAT, Bizerte, et ce en procédant à la minoration à due concurrence de la redevance de 6 D prévue pour la compensation au ciment d'importation.

En outre les membres ont décidé d'examiner au cours de la réunion du mardi 10 février 1976 à 9 h les notes respectives de C.P.B., C.A.T., S.C.G. et Cimac relatives aux problèmes de principes qui se posent au secteur des liants.

Les Entreprises C.A.T. et C.P.B. remettront en outre pour documentation retrospective.

- Le volume des investissements et leurs schémas de financements
- L'inventaire de l'emploi.

La séance a été levée à 11 h 30.

ANNEXE XIII

PLAN D'EXPLOITATION D'UNE USINE INTEGREE

*2/1/55*

Gypse, 80.000 t/a à DT 1,200	DT 96.000	DT 63.000
Plâtre, 160.000 t/a à DT 25,000 (le prix homologué est de DT 30,000 en sacs)	DT 4,000.000	DT 294.000
Panneaux en plâtre, 36.000 t/a à DT 26,000	DT 936.000	DT 249.000
Acide sulfurique, 330.000 t/a à DT 15,000	DT 4,950.000	DT 7,129.000
Ciment, 330.000 t/a à DT 16,000 (prix prévisionnel pour cimenteries neuves)	DT 5,389.000	
<u>Total</u>	DT 15,371.000	DT 7,735.000

Amortissements techniques :

Génie civil	DT 155.000
Equipement	DT 3,802.000

Charges financières :

pour emprunt **)	DT 1,507.000
pour fonds de roulement ***)	DT 79.000
<u>Bénéfice brut ****)</u>	DT 2,093.000

DT 15,371.000      DT 15,371.000

\*) Sans amortissements et frais financiers

\*\*\*) Emprunt : DT 27,000.000, remboursable en 10 ans,  
intérêt : 9 % p.a. :

Annuités: principal	DT 2,700.000
frais financiers	DT 1,507.000
Total	DT 4,207.000

\*\*\*\*) Fonds de roulement :

Purification du gypse	DT 45.000
Acide sulfurique-ciment	DT 786.000
Plâtre	DT -
Panneaux de plâtre	DT 42.000
Total	DT 873.000

dont 9 % p.a.      DT 79.000

\*\*\*\*\*) Soit 17 % du capital investi de DT 12,000.000

FOUR ACIDE SULFURIQUE-CLEMENT  
AVEC PRECIPITATEUR

Fig. 8



**C-347**



**77.10.07**