



**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

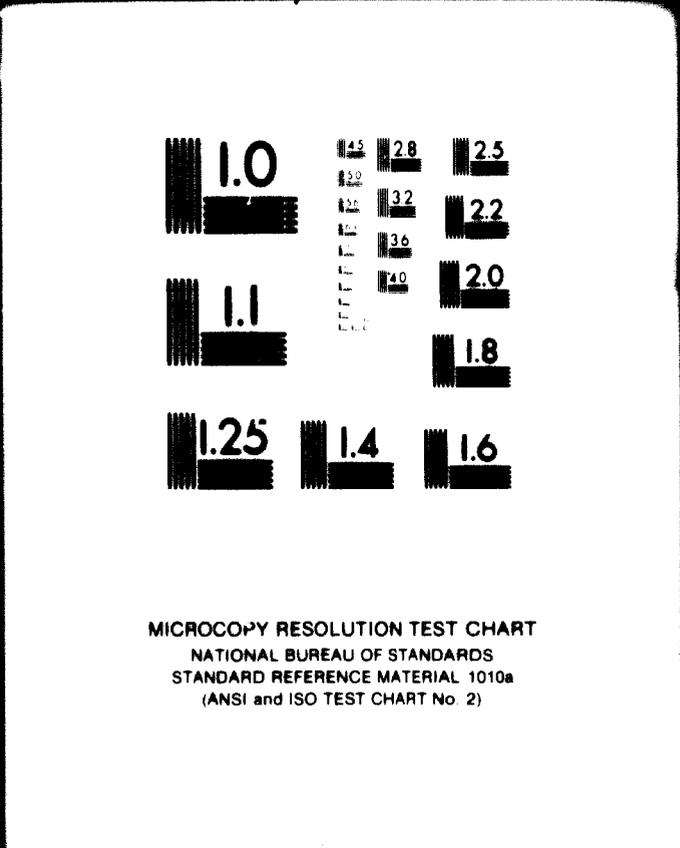
Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

## 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)

1 OF 3



24 x  
F

MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART  
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS  
STANDARD REFERENCE MATERIAL 1010a  
(ANSI and ISO TEST CHART No. 2)

REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE NATIONALE

CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES INDUSTRIELLES

02534  
1 vol

**POSSIBILITES  
DE FABRICATION D'ACIDE FLUORHYDRIQUE &  
DE SES DERIVES A PARTIR DE SPATH-FLUOR  
TUNISIEN**

**Note de Synthèse**



ADDENDUM

2. Coût de production

Des renseignements reçus aujourd'hui montrent que les augmentations qui avaient été prévues dans le rapport d'études se sont effectivement réalisées :

L'acid-grade est passé de 60 US \$ en Juillet à 80 US \$/tonne.

La cryolithe de 280 US \$/tonne à 330-340 US \$/tonne.

Le fluorure d'aluminium de 330 US \$/tonne à 400 US \$/tonne.

Dans ces conditions, l'application des formules qui ont été établies pour les coûts de production (voir étude Economique page 24, paragraphe 2.6. RESULTATS) donne les résultats suivants :

$$\text{Cryolithe : } 160,7 + 1,435 \times 80 = 275,5 \text{ US } \$/\text{tonne}$$

$$\text{Fluorure d'aluminium : } 158 + 1,559 \times 80 = 282,7$$

On obtient ainsi le tableau suivant des variations récentes de prix des fondants en fonction du prix de l'acid-grade :

Prix de l'acid-grade	Cryolithe		Fluorure d'aluminium	
	Coût de production	Prix de vente	Coût de production	Prix de vente
60	247	275	257	330
80	275	330	283	400

La différence entre le coût de production et le prix de vente passe, pour le fluorure d'aluminium, de 81 US \$/tonne à 117 US \$/tonne, soit une augmentation de 50 %, alors que le coût de production a augmenté de 25 %.

Pour une usine produisant uniquement du fluorure d'aluminium (Complexe B de 15.000 tonnes que nous avons considéré à plusieurs reprises), le taux de rentabilité interne atteindrait 51 %.

Une production de cryolithe serait naturellement moins intéressante.

REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTERE DE L'ECONOMIE NATIONALE

CENTRE NATIONAL D'ETUDES INDUSTRIELLES

**POSSIBILITES  
DE FABRICATION D'ACIDE FLUORHYDRIQUE &  
DE SES DERIVES A PARTIR DE SPATH-FLUOR  
TUNISIEN**

**Note de Synthèse**

Octobre 1970

PIBee A1

*Le présent document est extrait du dossier de l'étude :*

**" POSSIBILITES DE FABRICATION D'ACIDE FLUORHYDRIQUE & DE SES DERIVES A PARTIR DE SPATH-FLUOR TUNISIEN " qui comprend les pièces suivantes :**

**Pièce A<sub>1</sub> : NOTE DE SYNTHÈSE**

**Pièce A<sub>2</sub> : RAPPORT PRINCIPAL**

*Cette étude a été réalisée par le Centre National d'Etudes Industrielles\* sur la demande de la S.O.T.E.M.I. (Société Tunisienne d'Exploitation Minière) .*

---

**\* Le Centre National d'Etudes Industrielles bénéficie pour une période initiale de cinq ans , de l'assistance technique de l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUDI -Vienne )**

## PLAN DE L'ETUDE

	<u>Pages</u>
<b>SOMMAIRE</b> .....	1
<b>1. PRELIMINAIRE</b> .....	4
1.1. Acide fluorhydrique .....	7
1.2. Hydrocarbures fluorés .....	7
<b>2. ETUDE DE MARCHÉ - FLUORURE D'ALUMINIUM ET CRYOLITHE ARTIFICIELLE</b> .....	9
2.1. Possibilités d'écoulement .....	10
2.2. Consommation des divers fondants .....	12
2.3. Prix .....	13
2.4. Conclusions .....	16
<b>3. ETUDE TECHNIQUE</b>	
3.1. Choix de la variante .....	17
3.1.1. Vente d'acide fluorhydrique .....	17
3.1.2. Fabrication des hydrocarbures fluorés .	17
3.1.3. Acid-grade .....	17
3.1.4. Solutions retenues .....	17
3.2. Investissements .....	19
3.3. Choix du site .....	20
3.4. Acide sulfurique .....	20
<b>4. ETUDE ECONOMIQUE</b>	
4.1. Investissements .....	28
4.1.1. Investissements techniques .....	28
4.1.2. Investissements associés .....	28
4.1.3. Fonds de roulement .....	29

	<u>Pages</u>
4.1.4. Répartition devises/monnaie locale ....	29
4.2. Coûts de production .....	33
4.3. Cash flow, taux de rentabilité interne, bénéfice actualisé .....	
4.3.1. Taux de rentabilité interne .....	35
4.3.2. Bénéfice actualisé .....	35
4.4. Conclusions .....	42

## SOMMAIRE

Cette étude préliminaire, que le C.N.E.I. présente aujourd'hui, a été faite sur la base des techniques les plus modernes présentées par MONTEDISON, sur les estimations les plus récentes concernant les investissements et les prix des matières premières et des produits.

### Etude de marché.

Cette étude a démontré les grandes possibilités de commercialisation au fluorure d'aluminium et de la cryolithe synthétique. Deux hypothèses de production ont été retenues : production de 8.000 T de fluorure d'aluminium et de 8.000 T de cryolithe ou seulement production de 15.500 T de fluorure d'aluminium. Lorsque le Gouvernement approuvera cette étude préliminaire des contacts directs seront nécessaires pour fixer d'une façon encore plus précise avec les utilisateurs potentiels le choix et les capacités des installations.

### Etude technique.

Nous avons choisi les procédés MONTEDISON pour la fabrication d'acide fluorhydrique de fluorure d'aluminium et de cryolithe. S'il faut passer à la réalisation, nous consulterons, sur la base d'un cahier des charges détaillé, toutes les grandes Sociétés spécialisées dans ce domaine pour pouvoir les mettre en concurrence et obtenir des rabais. Dans la phase actuelle du projet ce n'était pas possible et ce n'était pas nécessaire étant donné l'intérêt déjà démontré de cette affaire.

### Etude économique.

Cette étude, particulièrement poussée pour ce projet préliminaire, a fait ressortir l'avantage économique pour la Tunisie de la valorisation de l'acid-grain produit par la S.O.T.E.N.I.

Nous avons pris des marges de sécurité notamment pour le prix de l'acide sulfurique valorisé à 15 \$ la tonne de  $SO_4 H_2$  c'est-à-dire (suivant la méthode de calcul S.I.A.P.E.) en utilisant du soufre à 30 \$ la tonne CIF alors que le prix actuel est de 25 \$ CIF port de Sfax.

Nous n'avons pas tenu compte du crédit vapeur pouvant s'élever de 1 à 2 \$ la tonne de  $SO_4 H_2$ .

Ceci établi, le projet du complexe (A) fluorure d'aluminium (8.000 T) cryolithe (8.000 T) est viable avec un taux de rentabilité interne de 24 %.

Nous avons attiré l'attention sur l'avantage économique de ne produire que du fluorure d'aluminium dans le cadre du complexe (B) (environ 15.500 T/an) qui conduit à des investissements moindres, à un taux de rentabilité interne de 39 % et à un gain en devises supérieur de 50 \$ par tonne à celui réalisé par la vente de cryolithe. Le choix entre le complexe (A) et le complexe (B) dépendra des dispositions des clients potentiels (Suédois, Norvégiens, Suisse, Italiens) qui utilisent de grandes quantités de cryolithe et seraient, peut être tentés de vouloir conclure des marchés liés fluorure et cryolithe.

Nous devons donc, impérativement, prendre les contacts et entretiens avant de fixer définitivement notre programme de fabrication et de ventes dans le cadre de l'un ou l'autre complexe.

#### Etude du site.

Le site sera choisi en fonction d'un certain nombre de critères que nous avons étudié en détail dans l'étude technique (voir chap. 5.). La proximité d'un port pour les importations et les exportations, le ravitaillement en eau, les possibilités de main d'oeuvre et de transport, etc... a pesé dans le choix du lieu d'implantation de l'usine.

De même le problème acide sulfurique sera résolu en fonction de l'emplacement choisi. La Goulette ou Djebel Djeloud seraient des lieux d'implantation avantageux.

En définitive ce projet présente le plus grand intérêt pour l'économie tunisienne, et en cas d'avis favorable du Gouvernement nous pourrions dans un court délai procéder à l'étude définitive jusqu'à l'établissement du cahier des charges.

Considérant ce développement important des produits fluorés dans le monde, le Gouvernement a envisagé la valorisation des gisements tunisiens de spath-fluor en vue de leur industrialisation et commercialisation.

Le but de cette étude est de rechercher la possibilité de fabrication en Tunisie d'acide fluorhydrique à l'échelle industrielle, en vue de sa transformation en fluorure d'aluminium et cryolithe synthétique : deux produits nécessaires pour l'industrie de l'aluminium très demandés dans le monde.

Pour permettre l'avancement de ce projet l'Office National des Mines a commandé depuis 1964 les études suivantes :

- Rapport GIULINI en 1964
- Etude BUSS en Juin 1966
- Etude SEMA en 1967

En raison de l'évolution des prix du produit fini et des investissements de base ainsi que des techniques de fabrication, ces études sont aujourd'hui dépassées. C'est pourquoi le C.N.E.I a contacté plusieurs firmes étrangères spécialisées dans l'industrie du fluor dont certains des délégués nous ont rendu visite en Tunisie. La plus importante mission comprenant MM. ADOLFO TRICOLI et GINO ZAVARISE de Montecatini Edison de Milan qui nous ont apporté du point de vue technique des éléments appréciables. En outre cette mission s'est montrée intéressée à collaborer avec la Tunisie en vue de la fabrication du fluorure d'aluminium et de la cryolithe.

Par conséquent dans cette étude nous avons choisi les procédés Montedison ainsi que les chiffres relatifs aux consommations spécifiques plus intéressants que ceux de Buss.

Cette première note est la synthèse de l'étude détaillée proprement dite composée de trois parties :

- Partie A. Etude du marché
- Partie B. Etude Technique
- Partie C. Etude Economique

## 1. PRELIMINAIRE

"Le spath-fluor est devenu aujourd'hui un produit clé de l'économie moderne. Malgré toutes les recherches qui ont été faites pour lui substituer d'autres produits, il demeure indispensable dans l'élaboration de l'acier et vital dans la fabrication de l'aluminium".

Il reste aussi la seule source connue de l'acide fluorhydrique qui est le point de départ et l'intermédiaire de base de toute la chimie du fluor.

Par ailleurs il est un fait certain que l'industrie chimique du fluor et de ses dérivés dans le monde est en progression constante. En plus des applications courantes :

- Industrie de l'aluminium
- Industrie du caoutchouc (fluosilicate de soude)
- Energie nucléaire
- Alkylation des hydrocarbures légers
- Décapage des aciers inoxydables
- Préparation des différents fluorures métalliques
- Préparation des métaux spéciaux

de nombreux domaines d'application qui ont pris un essor considérable ont été créés pour l'acide fluorhydrique depuis quelques années. Il s'agit surtout de composés fluorés organiques : aérosols, agents d'expansion, solvants, extincteurs, polymères, lubrifiants, colorants, pesticides, produits frigorigènes, etc...

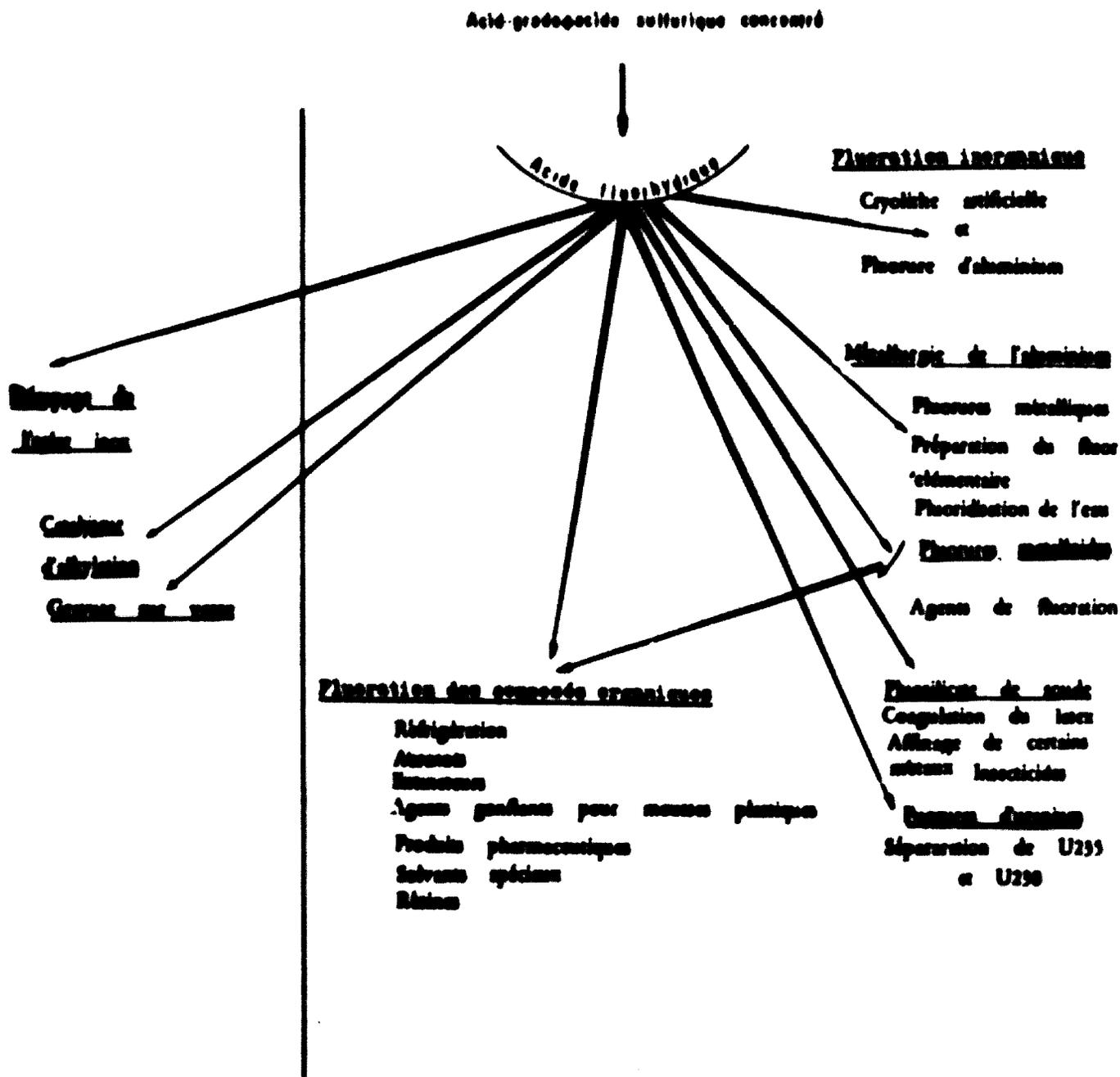
Actuellement la demande des matières fluorées de base est représentée sous la forme d'une courbe fortement croissante avec le temps, alors que la courbe d'offre ne varie que par paliers successifs rapidement dépassés par la courbe de demande. Chaque palier correspond à la mise en exploitation d'un nouveau gisement. (Voir graphique N° 1).

Nous rappelons donc le processus de développement :

- 1) au départ les mines : spath fluor à 35/45 % de  $\text{Ca F}_2$  avec des cristaux séparés manuellement à 70 %  $\text{Ca F}_2$  ;
- 2) le traitement du minerai pour obtenir ce qui est appelé "acid-grade" à 97 % de  $\text{Ca F}_2$  et qui constitue la matière première de base de toute l'industrie du fluor.

Il resterait à analyser très précisément la demande des différents clients pour définir quelle production serait la plus intéressante et déterminer ainsi les caractéristiques du complexe.

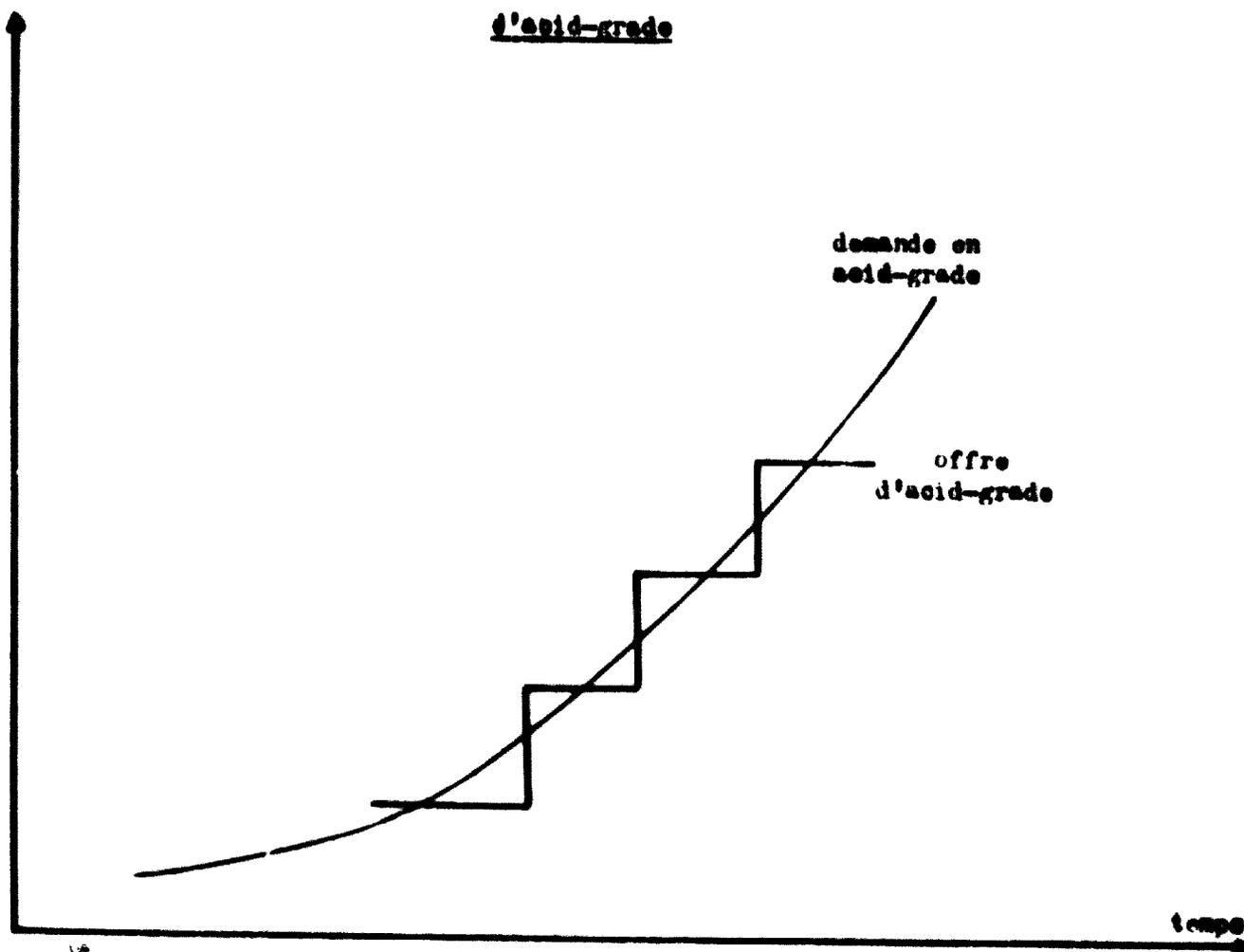
**SCHEMA MONTRANT LES PRINCIPAUX  
EMPLOIS DE L'ACIDE FLUORHYDRIQUE  
(d'après SEMA)**



Graphique N° 1

Courbes d'offre et de demande

d'acid-grade



## 2. ETUDE DE MARCHÉ

Dans une étude de marché semblable à celle-ci qui concerne des produits très évolués comme les dérivés fluorés il y a lieu de distinguer :

### a) L'étude de marché proprement ouvert à la Tunisie

Elle doit répondre à la question : vers quels clients la Tunisie peut-elle écouler une production spécifique, et à quels prix ?

La réponse très précise à cette question ne peut être fournie que par une consultation générale des clients potentiels, des visites et des entretiens approfondis sur les termes de contrats à signer, des questions très spécifiques interviennent alors, les prix étant fonction du degré de pureté des produits élaborés ainsi que des tonnages achetés.

Néanmoins certaines consultations ont été lancées, des entretiens préliminaires ont eu lieu et les résultats en sont tout à fait nets.

### b) L'étude du marché mondial

Cette étude doit répondre dans la mesure du possible à la question : les ventes seront-elles assurées longtemps, les prix resteront-ils rémunérateurs ?

Il faut alors situer l'activité tunisienne dans un ensemble mondial de producteurs et de consommateurs. L'analyse de l'évolution passée de la production, les perspectives quantitatives et les tendances qualitatives de la consommation future doivent permettre de juger les garanties qu'offrirait la réalisation d'un complexe de production de dérivés fluorés.

### c) L'étude d'un marché optimum

Elle tiendrait compte des éléments réunis par les entretiens mentionnés ci-dessus et déterminerait le choix des clients donnant le profit maximum en évaluant les coûts et les risques économiques.

Les éléments que nous avons réunis permettent de répondre à une partie des problèmes soulevés.

## 1.1 Acide fluorhydrique

Avant tout l'acide fluorhydrique est l'intermédiaire nécessaire dans la fabrication des hydrocarbures fluorés, du fluorure d'aluminium et cryolithe.

Il est utilisé encore pour la fabrication de certains sels minéraux, en chimie nucléaire, comme catalyseur d'alkylation et dans le décapage des métaux.

C'est un produit dangereux dont le transport est soumis à une réglementation sévère, difficilement exportable.

Le marché d'exportation pour la Tunisie serait donc extrêmement étroit et consisterait à fournir des fabricants de dérivés fluorés qui souffriraient d'une pénurie passagère.

Son marché ne peut justifier seul l'installation d'une usine.

## 1.2 Hydrocarbures fluorés

Les utilisations des hydrocarbures fluorés et l'aspect du marché correspondant sont les suivants :

- Produits frigorigènes : leur consommation (climatisation, aliments surgelés, climatisation des voitures) est plus développée aux Etats-Unis qu'en Europe.

Pour l'Europe l'accroissement de consommation de fluides frigorigènes est de 10 % par an.

- Les aérosols : le conditionnement d'un nombre croissant de produits par bombes aérosols a montré une extension considérable dans les 15 dernières années.

La consommation per capita en France a été de 3 bombes par an en 1966 et aux Etats-Unis de 10.

Pour les Etats-Unis comme pour l'Europe on envisage un taux d'accroissement de la consommation de 20 % par an.

**- Les mousses de polyuréthane :**

Utilisées dans l'aménagement, l'automobile, l'habillement, l'emballage, l'isolation thermique et acoustique, le taux d'accroissement de leur consommation est de 20 %.

Les possibilités d'exportation de ces produits par la Tunisie sont malheureusement extrêmement faibles pour le moment.

En effet les producteurs européens sont des sociétés puissantes capables de couvrir les besoins du marché et d'augmenter facilement leurs capacités de production en cas de nécessité.

La lutte des prix serait donc très inégale et des barrières douanières s'opposeraient à la pénétration des produits tunisiens.

Enfin la pénétration sur ces marchés exigerait un effort commercial hors de proportion avec les possibilités actuelles de la Tunisie dans ce domaine par suite de l'éparpillement des consommateurs.

L'ensemble de ces circonstances conduit à différer la fabrication d'hydrocarbures fluorés.

## Marché du fluorure d'aluminium et de la cryolithe artificielle

D'une façon globale, la physionomie du marché des deux fondants est la suivante : l'augmentation considérable de la consommation des fluorocarbures due à l'augmentation de la production d'aluminium primaire a provoqué une diminution des disponibilités de la matière première, le spath fluor, dont les gisements arrivent à peine couvrir les besoins mondiaux. En conséquence, fluorure d'aluminium et cryolithe élaborés à partir d'acide fluorhydrique voient leurs prix s'élever.

Les conséquences de cet état de faits sont donc claires pour le marché des deux fondants :

- leur vente est assurée par suite de l'augmentation des besoins en aluminium, en fondants synthétiques et surtout en hydrocarbures fluorés ;
- leurs prix montent par suite de la diminution des disponibilités en spath fluor.

### 2.1 Possibilités d'écoulement

Les possibilités d'écoulement sont fonction de l'accroissement de la production mondiale d'aluminium primaire.

La production mondiale d'aluminium primaire, depuis de nombreuses années, a montré une augmentation continue comme l'indiquent les chiffres suivants (en millions de tonnes, Mt) :

1955/59 (moyenne)	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968
3,5	4,5	4,7	5,1	5,3	5,9	6,3	6,9	7,6	8,0

Ainsi dans les dix dernières années plus précisément, le taux d'accroissement de l'ordre de 7 et 8 % par an a été remarquablement stable.

Un taux d'accroissement annuel de 7,2 % correspond très exactement à un doublement de la production au bout de dix ans.

La demande des deux fondants, sauf révolution technique imprévisible, suivra donc avec le même taux d'accroissement, l'augmentation prévue de la consommation d'aluminium primaire, soit 7 à 8 % par an.

Le taux d'accroissement propre à chaque pays n'a pas une signification particulièrement intéressante en ce qui concerne le marché des fondants car de nombreux pays ont accédé à la production d'aluminium dans les dernières années, après avoir résolu les problèmes de l'énergie nécessaire à l'électrolyse.

Nous avons par contre mentionné pour les pays les plus facilement accessibles à la Tunisie l'ensemble des projets les plus importants : en effet, la mise en route d'une installation nécessite le remplissage des cuves, et les quantités nécessaires à cette opération sont égales approximativement à la consommation d'une année des deux fondants considérés : fournitures sporadiques mais substantielles.

C'est ainsi que la Grèce, l'Italie, la Yougoslavie, la Hongrie, la Norvège, l'Espagne ont en projet de nouvelles installations ou des extensions d'importance considérable pour la production d'aluminium primaire.

Une difficulté se présentait, il y a encore quelques années : les producteurs surtout les plus importants, ont en effet leur propre fabrication de fondants, et souvent leurs propres mines de spath fluor. Ils opèrent ainsi une fabrication intégrée et le marché des fondants est alors captif.

Il semble bien que cette situation s'adoucisse devant la demande croissante de spath fluor. Ainsi Montedison a offert d'acheter la totalité de la production des installations tunisiennes sous quelque forme que ce soit. La Suisse, la Norvège achètent actuellement les quantités suivantes (en tonnes métriques) :

	<u>Fluorure</u>	<u>Cryolithe</u>
Norvège .....	9.000	7.000
Suisse .....	3.500	2.000

La seule Norvège pourrait donc absorber elle aussi la totalité de la production éventuelle des installations tunisiennes que l'on a conçues pour traiter 25 000 tonnes environ d'acid grade.

## 2.2 Consommation des divers fondants dans la production de l'aluminium primaire

L'installation d'un complexe destiné à produire ces fondants doit tenir compte du rapport des consommations respectives de fluorure et de cryolithe, et si possible de l'évolution de ce rapport dans le temps. C'est en effet se ménager des facilités supplémentaires pour l'écoulement des produits que de suivre de près l'évolution de la demande.

Les chiffres de consommation peuvent varier dans des proportions considérables d'un pays à l'autre et d'une année à l'autre : en 1966 la France a consommé 7 fois plus de fluorure que de cryolithe artificielle mais la Norvège a consommé deux fois plus de cryolithe synthétique que de fluorure.

Mais cette demande varie dans un sens bien déterminé : en pourcentage la demande en fluorure d'aluminium augmente, la demande en cryolithe baisse.

Bien qu'il soit difficile de connaître la part relative des deux fondants, on estimait il y a 4 ans que la part du fluorure était déjà de 50 % supérieure à celle de la cryolithe. Cette proportion s'est modifiée depuis en faveur du fluorure d'aluminium, en particulier aux Etats-Unis où la consommation de fluorure d'aluminium serait 3 fois supérieure à celle de la cryolithe (ceci est dû à des récupérations de fluor au cours de la fabrication), et certaines sociétés, comme la KAISER ne se fourniraient plus qu'en fluorure d'aluminium.

Le marché des deux fondants montre donc, et cela semble irréversible, actuellement, une nette préférence pour le fluorure d'aluminium.

Cette évolution récente conduit à peser soigneusement la décision d'installer une usine de production des deux fondants ou une usine produisant uniquement du fluorure d'aluminium.

Nous avons recherché, pour l'ensemble des secteurs utilisant des dérivés fluorés, quel était le taux d'accroissement de la demande.

Bien que ces taux présentent de grandes différences entre eux (Acier et Aluminium 7 à 8 %, Chimie 10 à 15 %, Céramique et divers 5 %) on peut estimer que le taux moyen d'accroissement est de 10 % approximativement.

Ce taux conduit à un doublement de la consommation en 7 ans.

Tout porte donc à estimer que les prix ne peuvent pas baisser dans les années à venir.

Une projection de la consommation a été établie pour la période 1970-1980 sur les hypothèses suivantes :

- L'accroissement annuel de la demande est de 7,2 % pour les deux fondants
- . Alors qu'en 1968 la consommation de fluorure d'aluminium est environ de 50 % supérieure à celle de la cryolithe, on supposera qu'en 1980 elle lui est trois fois supérieure rapport observé maintenant dans certaines entreprises américaines.

Dans ces hypothèses, les consommations futures probables seraient les suivantes :

(en millions de tonnes)

Années	1968	1970	1975	1980
Total .....	480	550	780	1100
Cryolithe (évaluation)	190	200	230	275
Fluorure d'aluminium	290	350	550	825

## 2.3 Prix de la cryolithe et du fluorure d'aluminium

### 2.3.1. Les réserves de spath fluor :

Les prix du fluorure d'aluminium et de la cryolithe sont étroitement liés à la rareté de la matière première. Or l'examen de la situation mondiale ne révèle pas pour le moment d'indices permettant de penser que la matière première se trouvera bientôt en abondance.

Les pays qui sont les plus importants producteurs ont des réserves, mais la demande extrêmement forte l'emporte et les prix montent. Il n'y a pas non plus de possibilité que les producteurs ou matières premières inondent le marché mondial pour faire baisser rapidement les prix. On ne peut attendre de baisses qu'après la mise en exploitation de nouveaux gisements éventualité qui ne peut se concrétiser que d'une manière progressive.

2.3.2. Variation des prix entre 1963 et 1970 :

Une analyse conduite sur la base des renseignements fournis par le MINERALS YEARBOOK révèle que les prix des produits ont été pratiquement stables entre 1960 et 1966 comme le montre le tableau ci-dessous :

(en US \$)

	1963	1964	1965	1966	1967	1968
Prix de l'acid- grade importé par les U.S.A.	21,6	24,2		27,3	25,1	27,6
Moyenne Générale	31,6	30,1		31	33,2	34,4
Prix de la cryo- lithe importée	195	195		205	208	215

Le prix de l'acid-grade n'a pratiquement pas varié entre 1963 et 1968 alors que le prix de la cryolithe subissait régulièrement des hausses légères.

Pour des tonnages importants le prix CIF port USA de la cryolithe est passé de 198 US \$ en 1963 à 215 US \$ en 1968. Cette tendance s'est amplifiée en 1968 puis s'est accélérée fin 1969 et en 1970.

L'explication de ces hausses réside dans l'augmentation récente du prix de l'acid-grade.

De 36 US \$ en Tunisie il y a quatre ans, il est passé par augmentation continue de 2 dollars par an environ à 44 US \$ à la fin de 1969, pour subir une augmentation spectaculaire dans les premiers mois de 1970 : 51 US \$ en Juin 1970 et 59,50 pour Juillet.

Or, l'acide intervient pour 60 % environ dans le prix de l'acide fluorhydrique, comme le montre l'étude économique, et pour près de 40 % dans le coût de production des deux fondants.

**2.3.3. Prix proposés en 1970 pour la cryolithe et le fluorure**

L'ensemble des prix proposés pour le fluorure et la cryolithe est donné dans le tableau suivant :

**Prix du fluorure d'aluminium et de la cryolithe**

**Valeurs en US \$ par tonne**

**FOB port tunisien**

	MONTEDISON	NORVEGE	SUISSE
<b><u>Fluorure d'aluminium</u></b>			
milieu 1969	280		
Juillet 1970	330	273/364	360/405
<b><u>Cryolithe</u></b>			
milieu 1970	240		
Juin 1970			
Juillet 1970	275	246 <sup>(1)</sup>	293/338

Actuellement il est impossible de parler de prix fermes pour le fluorure et la cryolithe quand le cours de l'acid-grade augmente quotidiennement.

La différence de prix entre le fluorure d'aluminium et la cryolithe semble s'accroître.

Elle était en effet de 7 à 15 % en 1967 en faveur du fluorure selon les pays.

Elle passe à 17 % selon les chiffres de Montedison Juin 1970 puis à 20 % selon ceux de Juillet, et dépasse 20 % selon les chiffres en provenance de Suisse. Même la Norvège, grande utilisatrice de cryolithe, marque dans les prix une préférence pour le fluorure d'aluminium.

(1) Prix inférieur au coût de production calculé dans l'étude économique et où il y aurait sans doute lieu de revoir avec la Norvège, importante consommatrice.

## **2.4 Conclusions**

**Les trois caractéristiques du marché :**

- écoulement assuré des produits, puisque divers pays sont acquéreurs de la totalité de la production ;
- tendance des utilisateurs à préférer le fluorure d'aluminium à la cryolithe ;
- stabilité ou hausse des prix des produits.

permettent ainsi de considérer dès maintenant, avant l'étude technique de la fabrication, les deux fondants comme des produits véritablement intéressants, et de mentionner une préférence pour la fabrication de fluorure d'aluminium.

Il a été retenu pour le fluorure d'aluminium la fourchette de prix de 280/330 US\$/tonne et pour la cryolithe celle de 240/275 US\$/tonne.

## 3. ETUDE TECHNIQUE

### 3.1 Choix de la variante

SEMA dans son étude parlait de 15 variantes type permettant d'assurer théoriquement la valorisation du gisement de spath-fluor. Nous avons éliminé d'office plusieurs de ces variantes par exemple :

#### 3.1.1. Vente d'acide fluorhydrique

La vente de l'acide fluorhydrique à l'étranger : solution impossible à réaliser, car la réglementation interdit le transport à la fois d'un volume supérieur à 6 m<sup>3</sup> de HF à cause de son danger ( produit très toxique). Par conséquent le projet ne peut pas s'arrêter uniquement à la fabrication de HF destiné à l'exportation.

#### 3.1.2. Fabrication des hydrocarbures fluorés

La fabrication en Tunisie des hydrocarbures fluorés possible sur le plan technique est abandonnée pour le moment comme nous l'avons mentionné dans l'étude de marché.

#### 3.1.3. Acid-grade

La vente uniquement d'acid-grade est la variante la plus simple et qui ne présente aucune difficulté car le marché très favorable, mais a comme inconvénient majeur de n'offrir qu'une valorisation limitée à l'activité minière.

#### 3.1.4. Solution retenue

D'après l'étude de marché et la nécessité de pouvoir satisfaire la clientèle potentielle qui a déjà été contactée, nous avons basé notre projet sur les fabrications suivantes :

Acide fluorhydrique	10500 t / an
Fluorure d'aluminium	8000 t / an
Cryolithe artificielle	8000 t / an

**Il faudra utiliser comme matière première**

<u>legale</u>	Acide sulfurique	29 315 t / an
	Acid-grade ( 97 % $\text{CaF}_2$ )	23 985 t / an
	Na Cl	10 000 t / an
<u>industrielle</u>	NaOH	480 t / an
	Al ( OH ) <sub>3</sub>	8 480 t / an

Les procédés retenus pour ces différentes fabrications sont ceux de la Société Montecatini Edison ( Montedison ) qui, comparativement aux propositions que nous avons déjà entre les mains, nous donnent les meilleurs rendements, les plus sérieuses garanties et les investissements les plus bas .

Nous avons également étudié la fabrication d'acide sulfurique à base de soufre pour une capacité de 200 t / j de  $\text{SO}_2$   $\text{H}_2$  car il est possible, suivant le choix du site, de l'intégrer au complexe chimique de fluor. Toutefois nous l'avons mis à part dans nos prévisions d'investissements.

**a) Fabrication d'acide fluorhydrique**

La fabrication d'acide fluorhydrique, base de toute la chimie du fluor, se fait en attaquant ce que l'on appelle acid-grade (97 % de  $\text{CaF}_2$ ) par l'acide sulfurique.

Il y a production d'acide fluorhydrique sous forme de gaz et de sulfate de chaux, produit résiduaire.

Les effluents gazeux sortant des appareils d'attaque sont épurés et condensés.

L'acide fluorhydrique technique épuré contient 97 % de HF et c'est la qualité requise pour la fabrication du fluorure d'aluminium et la cryolithe artificielle.

Il est possible dans la même installation équipée de quelques colonnes supplémentaires de produire de l'acide fluorhydrique anhydre à 99/99,90 % de HF. Cette qualité n'est pas nécessaire pour les fabrications que nous envisageons

mais seulement pour celle des hydrocarbures fluorés que nous n'envisageons pas de produire au stad. de notre projet.

Nous en avons d'ailleurs donné les raisons dans notre étude de marché.

#### b) Fabrication de fluorure d'aluminium

Le fluorure d'aluminium, utilisé comme fondant dans la fabrication de l'aluminium, répond à la formule  $Al F_3$ .

Cette fabrication utilise comme matières premières, d'une part l'acide fluorhydrique technique THF d'autre part l'hydroxyde d'aluminium  $Al (OH)_3$

La réaction entre ces deux matières premières se fait en lit fluidisé à haute température et sous la pression atmosphérique.

Le fluorure d'aluminium produit contient de 91 à 93 % de  $Al F_3$

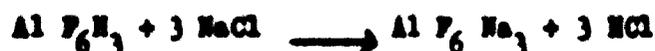
#### c) Fabrication de la cryolithe artificielle

Alors que la fabrication du fluorure d'aluminium se fait en une seule réaction entre l'acide fluorhydrique et l'alumine hydratée, celle de la cryolithe artificielle se fait en deux étapes :

##### 1) la première réaction



produit de l'acide fluoaluminique que l'on fait réagir ultérieurement avec du chlorure de sodium.



La bouillie de cryolithe est neutralisée avec une solution de soude et la cryolithe artificielle est séparée et séchée.

La cryolithe  $Al F_6 Na_3$  ou  $Al F_3, 3 NaF$  a une pureté de 98,5 % minimum

## 3.2 Investissements

Le montant total des investissements s'élève à 6428 100 \$ suivant l'estimation figurant au tableau 11.

L'installation d'acide sulfurique représente aux limites de l'atelier un investissement de 1,6 M \$.



3.4.1. Acheter l'acide sulfurique de Tunisie : SIAPF, I.C.M. ou autre.  
Dans ce cas le coût de l'acide sera grevé des frais de transport et de manutention.

3.4.2. Installer le complexe fluoré à côté d'un complexe phosphaté. Or la fabrication de  $H_2 SO_4$  en Tunisie à partir de pyrites ( 300.000 T/an ) a fait l'objet par le Centre National d'Etudes Industrielles en Septembre 1969 d'une étude approfondie donc il n'est pas nécessaire de s'étendre sur le problème technique et économique de la fabrication de  $H_2 SO_4$  dans cette étude.

3.4.3. Remplacer l'installation de  $H_2 SO_4$  qui fonctionne actuellement à la S.T.E.C. par une installation plus moderne et dont la capacité de production se situe largement au dessus du seuil rentable. Cette solution serait réalisable dans le cas où le choix du site sera en faveur de la S.T.E.C. Elle présentera les avantages suivants :

- a) le choix de l'emplacement de l'Usine d'après le choix du site serait soit à Djebel Djeloud au sein de la S.T.E.C. soit au port de la Goulette même ;
- b) les installations de  $H_2 SO_4$  de la S.T.E.C. sont complètement usées. Dans un délai de deux à trois ans la S.T.E.C. doit ou bien acheter l'acide sulfurique de la S.I.A.P.F. ou bien monter un nouvel atelier ;
- c) la S.T.E.C. a besoin de faire une extension de sa production pour passer à 25.000 ou 30.000 T/an de  $H_2 SO_4$  à 98 %. Sa production actuelle est de l'ordre de 20.000 T/an de  $H_2 SO_4$  à 53° B soit 67 %  $H_2 SO_4$  c'est-à-dire 13.400 T/an  $H_2 SO_4$  à 100 %.
- d) l'usine fluor ayant besoin de 30.000 T/an de  $H_2 SO_4$  et le projet S.T.E.C. conduisant à l'utilisation également de 30.000 T/an la capacité de 200 T/j que nous avons choisi dans notre projet correspond exactement aux besoins.
- e) une usine intégrée de  $H_2 SO_4$  avec un complexe fluoré apporte des avantages appréciables au projet au point de vue production vapeur et par suite kWh et résout le problème relatif au transport de  $H_2 SO_4$ .

En effet lors du refroidissement des gaz quittant le four à combustion il se produit environ 0,95 T de vapeur surchauffée ( pression 40 atm, température 400 ° C ) par tonne de monochlorure ( $H_2 SO_4$ ). Du fait que la consommation de vapeur pour l'ensemble des installations faisant partie du complexe est peu importante,

il n'est pas possible de se servir de toute cette quantité de vapeur pour la chauffage. Une telle solution comporterait d'ailleurs l'inconvénient que toutes les installations dépendraient directement de la section de production d'acide sulfurique. Par conséquent l'installation d'un turbe générateur de vapeur est très bénéfique pour le complexe, puisque la quantité de vapeur d'eau une fois transformée en énergie électrique étant suffisante pour couvrir les 80 % environ du courant nécessaire. L'économie réalisée par l'incorporation d'un turbogénérateur, est telle que le courant électrique ainsi produit revient 2 à 3 fois moins cher que l'apport d'énergie provenant de l'extérieur.

3.4.4. Dans la cas où le choix du site sera en faveur du port de la Goulette la dernière solution possible est d'installer une unité de production de 100.000 T/an de  $H_2 SO_4$  intégrée à l'Usine de spath-fluor.

30.000 T/an pour la fabrication de HF

30.000 T/an pour le S.T.E.C.

le reste pour la vente locale en particulier pour la S.T.I.R.

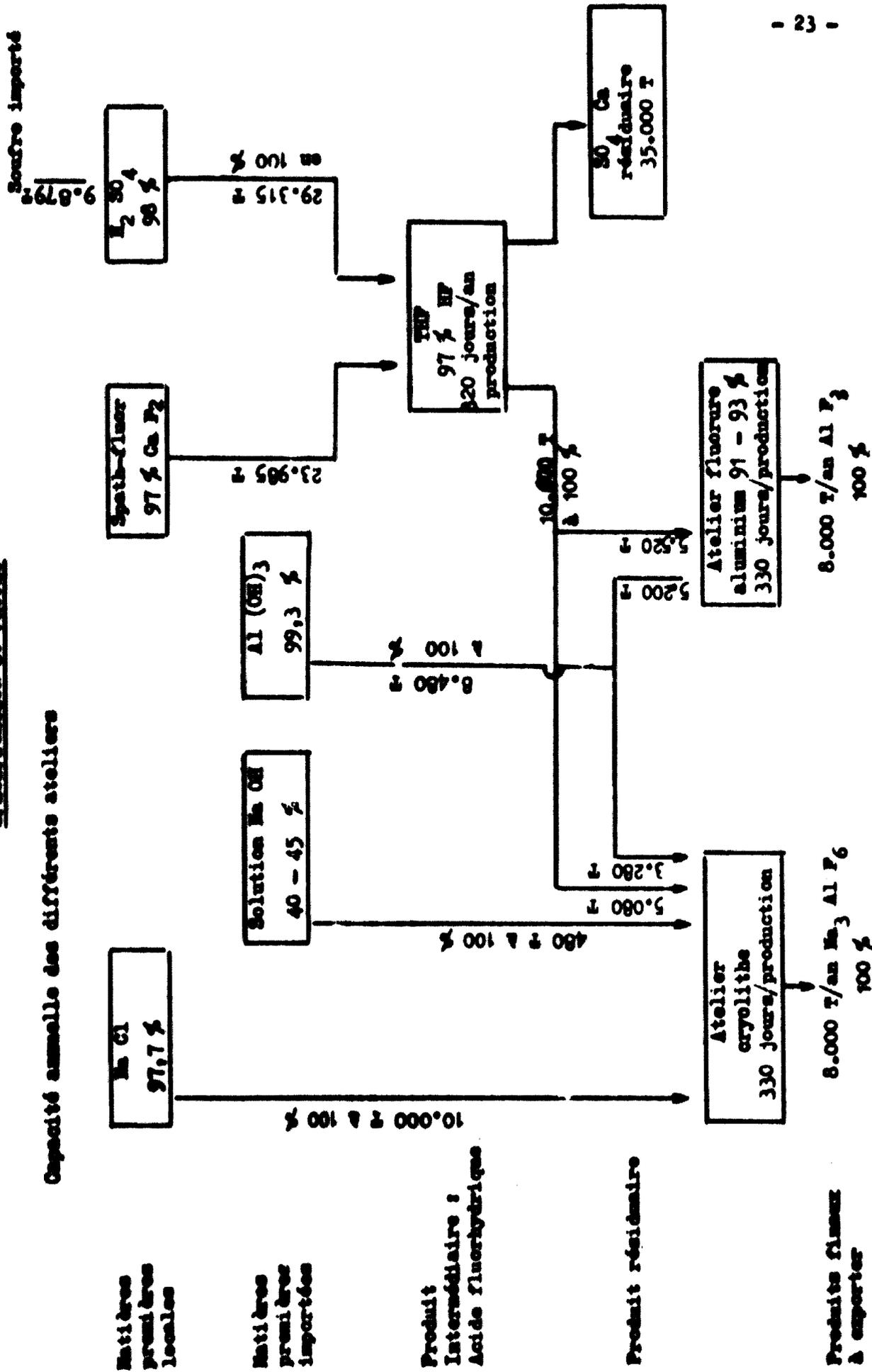
(la Tunisie a importé en 1968 31.287 T de  $H_2 SO_4$ )

Cette solution apporte des avantages analogues à celles de la solution précédente du paragraphe 3.2.

**TABLEAU N° 6**

**SPECIFICATION EN PRODUIT**

Capacité annuelle des différents ateliers



Base 1 an = 320 jours  
 Al P<sub>3</sub> : 330 jours  
 Cryolithe : 330 jours

**TALONNÉ 2**

**BILAN MATIÈRES ANNUEL ET PRIX CORRESPONDANT**

Matières	Calculé comme	Unité	Consommation	Production	Achat	Vente	Prix unitaire en \$ à la T/métrique	Total
Spéth .....	100 %	t	23.985		23.985		44 \$	1.055.340
Al (OH) <sub>3</sub> à 99,3 %			8.480		8.480		55 \$	466.400
Na Cl 97,7 % ...			10.000		10.000		5,5 \$	55.000
Na OH rel. 40/45 %			480		480		72 \$	34.560
Al P <sub>3</sub> .. ...				8.000		8.000	330 \$	2.640.000
Cryolithe .....				8.000		8.000	275 \$	2.200.000
On 80 <sub>4</sub> .....				35.000		35.000	-	-
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 98 % .....			29.315	66.000		36.685	15 \$	439.725
NaP 97 % .....			10.600	10.600		0	200 \$	2.120.000

**TABELAU 9 Bis**

Matériau	Calculé comme	Unité	Consommation	Production	Achat	Vente	Pris unitaire en \$
<b>ACIER, FERRAILLES</b>							
Acier		T	22,242			36,085	15 \$ ronds
Des refroidissements		m <sup>3</sup>	900,000				0,02 \$
Des épaves		m <sup>3</sup>	60,000				12 \$ litch
Énergie électrique		kWh	1,860				
Vapeur	60 ans	T		66,000 x 1200 = 13,200 kWh			
<b>ACIER, FERRAILLES</b>							
Acide sulfurique	100 \$	T	29,315				15 \$
Spéc. fleur	"	T	23,985		23,985		
Aspirite 80% Ca	"	T		35,000		35,000	
Électricité		kWh	2,771 x		2,771 kWh		
Des de refroidissement		m <sup>3</sup>	11,579,000 -		1,599,000		
Des fuel	10,000 \$	T	14,4 kWh		1,430 T		330 \$
<b>FERRAILLES ALUMINIUM</b>							
Al (OH) <sub>3</sub>	100 \$	T	5,200		5,200		
SP	"	T	5,500				
Électricité		kWh	320		320		
Des refroidissement		m <sup>3</sup>	400,000		400,000		
Pool		T	2,72 kWh		272 T		275 \$
<b>SEMANTHE</b>							
Al (OH) <sub>3</sub>	100\$	T	3,280		3,280		55 \$
SP	"	T	5,080				280 \$
Pa Cl	"	T	10,000		10,000		
Soude	"	T	480		480		
Électricité		kWh	800		800		
Des refroidissement		m <sup>3</sup>	680,000		680,000		
Pool		T	9,4 kWh		940 T		
<b>REGÉNÉRATION UTILITE</b>							
Des refroidissement		m <sup>3</sup>	3,579,000		3,579,000		0,02 \$ m <sup>3</sup>
Des épaves		m <sup>3</sup>	60,000				
Énergie électrique		kWh	5,751		5,751		15,5 \$/T ronds
Pool		T	2,642		2,642		

TABLEAU N° 10 INVESTISSEMENTS

PLAN ESTIMATIF DE L'EQUIPEMENT D'AVRES B.U.S.S. EN JUIN 66, SEMA 1967, GUYANE EN 64 ET MEXIQUE EN JUIN 70

Capacité annuelle Base 1 an = 300 jours

Ateliers	Estimation B.U.S.S.		Estimation S.C.M.A		Estimation G.I.U.L.I.N.I.		MONTAGES
	Tonnes/an	Prix en US \$	Tonnes/an	Prix en US \$	Tonnes/an	Prix en US \$	
Installation de production d'acide fluorhydrique = HF	9.000 T cal-culé comme 100 % HF	2.064.000	10.000 T	1.500.000	28 T/j 8.400 T/an	625.000	10.600 1.920.000
Installation de production de fluorure d'Aluminium	3.780 T cal-culé comme 100 % AlF <sub>3</sub>	1.146.000	18 T/jour 5.400 T/an	( ) ( ) 2.400.000	11 T 65/j = 3.500 T/an	256.000	8.000 1.472.000
Installation de production de cryolithe synthétique (50-54 % F)	3.540 T cal-culé comme 100 % Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>	1.835.000	18 T/jour 5.400 T/an	( ) ( )	25 T/jour = 7.500 T/an	415.000	8.000 1.728.000
Installation de production d'hydrocarbures fluorés	1.500 T P <sub>11</sub> 100 % 17.200 T P <sub>12</sub> 100 %	3.440.000	10.000 T/an	2.500.000	-	-	0 0
Installation de production d'acide sulfurique	200.000 T/an à partir de pyrite	3.000.000	200 T/jour à partir du soufre	1.200.000	85 T/jour 125.500 T/an	1.200.000	66.000 1.600.000
Installations auxiliaires		1.370.000				176.000 \$	0 200.000
Montage et mise en route		2.280.000					400.000
Groupe turbo-générateur		420.000				276.000 \$	
Investissement relatif à l'achat de cylindres et fûts pour stockage des frênes destinés à l'exportation		114.000 à 430.000					0

TABLEAU 11

ESTIMATION DES INVESTISSEMENTS TECHNIQUES

Installation de production de HF .....	1.920.000
Installation de production de fluorure d'aluminium .....	1.472.000
Installation de production de cryolithe synthétique .....	1.728.000
Montage, mise en route, divers .....	600.000
Pièces de rechange .....	252.000
Terrain et infrastructure .....	150.000
	<hr/>
	6.122.000
Imprévis 5 % .....	306.100
	<hr/>
	6.428.100
Estimation d'une installation d'acide sulfurique .....	1.600.000

## 4. ETUDE ECONOMIQUE

L'étude de marché a montré qu'en raison des débouchés assurés et de prix soutenus au moins durant les premières années, seule la fabrication de fluorure d'aluminium et de cryolithe artificielle, présentait un intérêt, les autres dérivés fluorés n'offrant, pour le moment, pas de possibilités de commercialisation.

Enfin l'évolution de la demande enseignait une préférence pour le fluorure d'aluminium par rapport à la cryolithe.

L'étude économique doit déterminer la rentabilité de l'opération, si faire se peut, elle doit offrir des choix pour que l'investissement soit compatible avec les autres impératifs de l'économie nationale, et de plus qu'il soit abaissé au minimum pour que soit atteinte une rentabilité maximum.

L'étude technique a retenu les tonnages suivants de production :

Acide fluorhydrique .....	11.000 Tonnes
Fluorure d'aluminium .....	8.000 Tonnes
Cryolithe artificielle .....	8.000 Tonnes

### 4.1 Investissements

4.1.1. Les investissements techniques ont été chiffrés par MONTEDISON : cette estimation est parfaitement comparable à celle de SEMA, et nous l'avons retenue, en la complétant par les postes suivants :

- . Terrains et infrastructures
- . Formalités douanières et frais de débarquement
- . Imprévus et réserves pour hausses diverses

4.1.2. Les investissements associés comprennent :

- les frais de constitution de la société : mentionnés pour mémoire
- les frais d'établissement : ils seront notables car un certain nombre de consultations doivent être conduites, aussi bien pour la négociation d'accords de vente que pour la stricte éléction de l'usine et la recherche de financement.

Premier exercice : Outre les frais de démarrage et mise en route proprement dits, il a été prévu une réserve d'un montant total de 150.000 US \$. Cette provision est destinée à faciliter l'exploitation de la première année ; elle est amortie sur dix ans au lieu d'être à la charge du seul premier exercice et la gestion de l'usine s'en trouve facilitée alors que beaucoup d'installations industrielles ont subi les lourdes conséquences de premiers exercices largement déficitaires.

La provision mentionnée est destinée à couvrir des frais d'assistance technique, mais aussi l'ensemble des dépenses dues aux expériences de la première année (matières premières utilisées, utilités, salaires).

4.1.3. En ce qui concerne le fonds de roulement, une estimation a été faite en se basant sur les données les plus probables, mais le choix du site est fondamental, ainsi que le choix qui sera fait pour la fabrication d'acide sulfurique.

Le chiffre retenu est un chiffre qui semble raisonnable mais qui pourrait être dépassé si l'on retenait certaines solutions.

4.1.4. Le tableau des investissements avec la proportion des dépenses en devises et monnaie locale est donné à la page suivante.

La récapitulation s'effectue ainsi :

	Devises	Monnaie locale	Total en milliers de US \$
Génie Civil ....	82	380	462
Equipements ....	3.814		3.814
Frais divers ...	1.931	517	2.448
	5.827	897	6.724

ACIDE FLUORHYDRIQUE  
(10.600 Tonnes)

INVESTISSEMENTS TECHNIQUES (en milliers de dollars)

Equipements de production .....	1.120
Génie civil et charpentes métalliques .....	144
Stock initial de pièces de rechange .....	128
Stockage acides (sulfurique et fluorhydrique) .....	40
Engineering, brevets .....	448
Montage .....	80
Terrains et infrastructures .....	15
Formalités douanières et frais de déchargement .....	35
	<hr/>
	2.010
Imprévus et réserves pour hausses diverses (5 % app) .....	100
	<hr/>
	2.110

INVESTISSEMENTS ASSOCIES

Frais de constitution de la société .....	p.m.
Frais d'établissements .....	30
Intérêts intercalaires jusqu'à la fin du montage ...	90
Démarrage et mise au point (spécialistes étrangers).	65
Assistance technique (spécialistes étrangers 3 mois)	65
Salaires tunisiens .....	30
Utilités (2 mois) .....	15
Matières premières perdues (1 semaine) ....	35
Réserves pour équipements divers (Voitures etc...)..	30
	<hr/>
	360

TOTAL INVESTISSEMENTS TECHNIQUES ET ASSOCIES ..... 2.370

FONDS DE ROULEMENT

Fluorine (1 semaine) 500 Tonnes .....	25
Acide sulfurique (10 jours de marche) .....	15
Acide fluorhydrique .....	20
Liquidités .....	30
	<hr/>
	90

TOTAL GENERAL ..... 2.470

CRYOLITHE

(8.000 Tonnes)

INVESTISSEMENTS TECHNIQUES (en milliers de dollars)

Equipements de production .....	1.088
Génie civil et charpentes métalliques .....	96
Stock initial de pièce de rechange .....	112
Engineering et brevets .....	336
Montage .....	96
Terrain et infrastructure .....	10
Formalités douanières et frais de déchargement .....	30
	<hr/>
	1.768
Imprévus et réserves pour hausses diverses (5 %) ...	90
	<hr/>
	1.858

INVESTISSEMENTS ASSOCIES

Frais de constitution de la société .....	p.m.
Frais d'établissement .....	30
Intérêts intercalaires .....	84
Frais de démarrage et mise au point (spécialistes étrangers) ...	65
Assistance technique (spécialistes étrangers 3 mois)	65
Salaires tunisiens .....	15
Utilités .....	6
Matières premières perdues (1 semaine) ....	27
Réserves pour équipements divers (voitures, camions etc...) .....	30
	<hr/>
	327

TOTAL INVESTISSEMENTS TECHNIQUES ET ASSOCIES ..... 2.180

FONDS DE ROULEMENT

Acide fluorhydrique (déjà compté)	
Alumine .....	20
Chlorure de sodium .....	p.m.
Soude .....	p.m.
Liquidités .....	20
	<hr/>
	40

TOTAL GENERAL ..... 2.220

**FLUORURE D'ALUMINIUM**

(8.000 Tonnes)

**INVESTISSEMENTS TECHNIQUES** (en milliers de dollars)

Equipements de production .....	800
Génie civil et charpentes métalliques .....	112
Stock initial de pièces de rechange .....	64
Engineering et brevets .....	400
Montage .....	96
Terrains et infrastructure .....	10
Formalités douanières et frais de déchargement .....	<u>25</u>
	1.507
Imprévus et réserves pour hausses diverses (5 %) ...	<u>75</u>
	1.582

**INVESTISSEMENTS ASSOCIES**

Frais de constitution de la société .....	p.m.
Frais d'établissement .....	40
Intérêts intercalaires .....	64
Démarrage et mise au point (spécialistes étrangers).	65
Assistance technique (spécialistes étrangers 3 mois)	65
Salaires tunisiens .....	15
Utilités (2 mois) .....	3
Matières premières perdues (1 semaine) ....	30
Réserves pour équipements divers (voitures, camions etc...) .....	<u>30</u>
	312

**TOTAL INVESTISSEMENTS TECHNIQUES ET ASSOCIES** ..... 1.894

**FONDS DE ROULEMENT**

Acide fluorhydrique (déjà compté)	
Alumine .....	30
Liquidités .....	<u>20</u>
	50

**TOTAL GENERAL** ..... 1.944

L'investissement total est ainsi d'environ :

Dinars : 3.500.000

**REMARQUE :** Pour tenir compte des résultats de l'étude de marché et de l'évolution de la demande, nous avons chiffré approximativement l'investissement correspondant à une installation ne produisant que du fluorure d'aluminium.

a) Pour l'investissement technique, la règle des deux tiers conduit à une augmentation de 50 % environ pour doubler la capacité de production. Soit un investissement de 2.400.000 US \$.

b) Les investissements associés subissent pour seule modification l'augmentation des intérêts intercalaires.

Leur total s'élève à 350.000 US \$.

c) Le fonds de roulement passe à 90.000 US \$.

L'investissement total est alors de 2.840.000 US \$.

L'économie réalisée est de 1.324.000 US \$ et l'investissement total pour l'installation d'acide fluorhydrique et celle de fluorure d'aluminium est le suivant :

Acide fluorhydrique (10.600 Tonnes) .....	2.560.000 US \$
Fluorure d'aluminium (15.500 Tonnes) .....	2.840.000 US \$
<u>TOTAL . . . . .</u>	<u>5.400.000 US \$</u>

L'installation dépasserait à peine 2.800.000 Dinars au lieu de 3 millions et demi de Dinars pour celle que nous avons considérée jusqu'à maintenant.

## 4.2 Coûts de production

4.2.1. Nous avons adopté pour prix du spath fluor le prix le plus élevé enregistré au cours du mois de Juillet 1970, soit 60 US \$ la tonne environ.

4.2.2. Pour l'acide sulfurique, nous avons retenu un terme moyen de 15 US \$ la tonne.

4.2.3. Les autres matières premières ont été chiffrées aux prix actuellement en vigueur.

4.2.4. Les salaires ont été comptés sur la base de 2.000 US \$ par agent. Ce chiffre de 2.000 US \$ annuel par agent comprend le salaire brut et l'ensemble des charges sociales.

4.2.5. L'entretien a été fixé à une dépense annuelle égale à 6 % du montant des investissements techniques, pour tenir compte du travail particulièrement dur auquel est soumis le matériel, les produits traités étant particulièrement corrosifs.

4.2.6. Les charges financières, en l'absence de toutes données particulières sur le montant des capitaux propres, ont été calculées de la façon suivante :

- Montant de l'investissement emprunté pour 10 ans à 8 % par an
- Remboursement principal et intérêt par annuités constantes, soit une annuité de 15 %.

4.2.7. Dans ces conditions on obtient, pour les trois produits considérés, les formules suivantes de coût de production ; en désignant par (SP) le prix du spath fluor :

Acide fluorhydrique .....	(FH) = 100,7 + 2,26 (SP)
Fluorure d'aluminium .....	(Al F <sub>3</sub> ) = 158 + 1,559 (SP)
Cryolithe .....	= 160,7 + 1,435 (SP)

dont l'application donne les chiffres suivants pour (SP) = 60 US \$ la tonne :

(FH) .....	= 236,40
(Al F <sub>3</sub> ) .....	= 252
Cryolithe .....	= 247

Nous donnons ci-après les tableaux de coût de production des trois produits avec les dépenses correspondantes en devises dans la colonne "Observations".

### 4.3 Cash flow , taux de rentabilite interne , bénéfice actualisé

#### 4.3.1. Taux de rentabilité interne

Nous donnons ci-après les tableaux condensés de calcul du cash flow brut pour deux projets que l'on peut retenir : l'un d'un complexe (A) produisant 8.000 tonnes de cryolithe et 8.000 tonnes de fluorure d'aluminium, l'autre, complexe (B) 15.500 tonnes de fluorure d'aluminium.

Les taux de rentabilité interne calculés sont donc :

Complexe (A) : 24 %

Complexe (B) : 39 %

et les deux projets sont viables. Une préférence toutefois peut être marquée pour le complexe (B) dont le taux de rentabilité interne est nettement supérieur.

#### 4.3.2. Bénéfice actualisé

Les deux projets étant viables, mais, au moins en une première étape incompatibles, nous avons calculé le bénéfice actualisé de l'un et l'autre, dans les conditions qui ont été retenues pour les calculs précédents.

Nous avons retenu des taux d'actualisation de 10 % et 12 % qui semblent des minima puisque le taux d'intérêt a été évalué à 8 %.

#### COMPARAISON DES COMPLEXES A ET B (Valeurs en Milliers de US \$)

	INVESTISSEMENT	CASH FLOW BRUT	$\sum_{t=1}^{10} \frac{1}{(1+r)^t}$		CASH FLOW ACTUALISE sur Dix ans		BENEFICE ACTUALISE sur Dix ans	
			r = 10 %	r = 12 %	r = 10 %	r = 12 %	r = 10 %	r = 12 %
COMPLEXE A	6.724	1.833	16,145	15,650	11.264	10.356	4.540	3.632
COMPLEXE B	5.400	2.190			13.458	12.374	8.058	6.974

**II**  
**(10.000 Tonnes)**

	Quantité	Prix unitaire	Dépenses annuelles en 1.000 US \$	Observations
<b>MATIERES PREMIERES</b>				
Fluorine .....	23.985	60	1.440	1440
Acide sulfurique .....	29.315	15	440	68 352
<b>UTILITES</b>				
Energie électrique .....	2.771 Kwh	12	33	33
Eau de refroidissement ...	11.599.000 m <sup>3</sup>	0,02	32	32
Fuel .....	1.430 T	15,5	22	22
<b>CHARGE</b>				
Salaires (40 agents) .....			80	80
Entretien .....			67	0 67
Frais généraux, taxes et dépenses diverses .....			15	15
Frais financiers (annuité de remboursement principal et intérêt) ...			370	55 315
Intérêts sur fonds de roulement .....			7	7
			2.906	1772 734

Soit par tonne d'acide :

$\frac{2.906.000}{10.000} = 290,62 \text{ US } \$$

**CRYOLITE**

(8.000 tonnes)

	Quantité	Prix unitaire	Dépenses annuelles	Observations	
<b>MATIERES PREMIERES</b>					
Acide fluorhydrique .....	5.000	236,4	1.201	N.F	US
Alumine .....	3.280	55	180	0	180
Chlorure de sodium .....	10.000	5,5	55	55	
Soude .....	480	72	35	0	35
<b>UTILITES</b>					
Energie électrique .....	800 kWh	12	10	10	
Eau de refroidissement ....	680.000 m <sup>3</sup>	0,02	14	14	
Fuel .....	940 T	15,5	15	15	
<b>CHARGES</b>					
Salaires (20 agents) .....			40	40	
Entretien .....			65	0	65
Frais généraux, taxes et dépenses diverses .....			30	30	
Frais financiers (annuité de remboursement principal et intérêt) ....			327	32	295
Intérêts sur fonds de roulement .....			3	3	
			<b>1.975</b>	<b>1048</b>	<b>927</b>

Coût de production de la tonne de cryolithe :

$$\frac{1.975.000}{8.000} = 246,88 \text{ US } \$$$

arrondi à ..... 247



FLUORURE D'ALUMINIUM

8,000 Tonnes

	Quantités	Prix unitaire	Dépenses annuelles	Observations
<b><u>MATIERES PREMIERES</u></b>				
HF .....	5.520 T	236,4	1.305	N.N. 380
Al (OH) <sub>3</sub> .....	5.200 T	55	286	286
			1.591	
<b><u>UTILITES</u></b>				
Energie électrique .....	320 Mwh	12	4	4
Eau de refroidissement ....	400.000 m <sup>3</sup>	0,02	8	8
Fuel .....	272 T	15,5	4	4
<b><u>CHARGES</u></b>				
Salaires (20 agents) .....			40	40
Entretien .....			48	48
Frais généraux, taxes et dépenses diverses .....			30	30
Frais financiers (annuité de remboursement principal et intérêt) ....			284	42 242
Intérêts sur fonds de roulement .....			4	4
			2.013	1.057 956

Coût de production de la tonne de fluorure d'aluminium :

$$\frac{2.013.000}{8.000} = 251,63 \text{ US \$}$$

arrondi à ..... 252 US \$

**TABLEAU D'ALUMINIUM**

(15 500 T)

	Quantités	Prix unitaire	Dépenses annuelles	Observations
<b><u>MATIERES PREMIERES</u></b>				N.N. US \$
HF .....	10.600	236,4	2.506	1772 734
Alumine .....	10.100	55	555	0 555
<b><u>UTILITES</u></b>				
Energie électrique .....	640	12	8	8 /
Eau de refroidissement ...	800.000m <sup>3</sup>	0,02	16	16 /
Fuel .....	550	15,5	8	8 /
<b><u>CHARGES</u></b>				
Salaires (30 agents).....			60	60 /
Entretien .....			80	80
Frais généraux, taxes et dépenses diverses .....			55	55
Frais financiers (annuité de remboursement principal et intérêt .....			413	63 350
Intérêts sur fonds de roulement .....			7	7
			<u>3 708</u>	<u>1 989 1 719</u>
<b>Coût de production de la tonne de fluorure d'aluminium</b>				
			<u>3 718 000</u>	<u>239,87</u>
			15.500	
arrondi à ..... 240 US\$				

**COMPTON ELECTRONIC CORP.**  
**STATE OF CALIFORNIA**  
**(Balance in Millions of Dollars)**

Date	Assets			Liabilities			Cash	Plant	Equipment	Other	Total
	U.S.	Foreign	Total	U.S.	Foreign	Total					
12/31/67	5,827	897	6,724	1,833	2,200	4,033	1,476	1,190	2,666	1,833	6,724
9/30/67	5,827	897	6,724	1,833	2,200	4,033	1,476	1,190	2,666	1,833	6,724
6/30/67	5,827	897	6,724	1,833	2,200	4,033	1,476	1,190	2,666	1,833	6,724
3/31/67	5,827	897	6,724	1,833	2,200	4,033	1,476	1,190	2,666	1,833	6,724
12/31/66	5,827	897	6,724	1,833	2,200	4,033	1,476	1,190	2,666	1,833	6,724

**COMPTON A**  
**(8,000 Shares of Common & Allotments)**  
**(8,000 Shares of Common)**

Date	Assets			Liabilities			Cash	Plant	Equipment	Other	Total
	U.S.	Foreign	Total	U.S.	Foreign	Total					
12/31/67	5,827	897	6,724	1,833	2,200	4,033	1,476	1,190	2,666	1,833	6,724
9/30/67	5,827	897	6,724	1,833	2,200	4,033	1,476	1,190	2,666	1,833	6,724
6/30/67	5,827	897	6,724	1,833	2,200	4,033	1,476	1,190	2,666	1,833	6,724
3/31/67	5,827	897	6,724	1,833	2,200	4,033	1,476	1,190	2,666	1,833	6,724
12/31/66	5,827	897	6,724	1,833	2,200	4,033	1,476	1,190	2,666	1,833	6,724

**COMPTON B**  
**(15,200 Shares of Common & Allotments)**

Date	Assets			Liabilities			Cash	Plant	Equipment	Other	Total
	U.S.	Foreign	Total	U.S.	Foreign	Total					
12/31/67	5,827	897	6,724	1,833	2,200	4,033	1,476	1,190	2,666	1,833	6,724
9/30/67	5,827	897	6,724	1,833	2,200	4,033	1,476	1,190	2,666	1,833	6,724
6/30/67	5,827	897	6,724	1,833	2,200	4,033	1,476	1,190	2,666	1,833	6,724
3/31/67	5,827	897	6,724	1,833	2,200	4,033	1,476	1,190	2,666	1,833	6,724
12/31/66	5,827	897	6,724	1,833	2,200	4,033	1,476	1,190	2,666	1,833	6,724

Le complexe (B) réunit donc les avantages suivants sur le complexe (A).

- Investissement moindre de 20 %
- Bénéfice actualisé sensiblement double de celui du complexe (A).

**NOTE BENE :** L'ensemble des calculs a été présenté avec les chiffres que MONTEDISON, a proposés comme prix d'achat des deux fondants.

Il est possible, à titre de précaution, de rechercher quel est le prix minimum admissible auquel il faudrait vendre fluorure d'aluminium et cryolithe pour que le bénéfice actualisé soit nul.

Le prix de la cryolithe étant actuellement de 20 % inférieur à celui du fluorure d'aluminium que nous désignerons par (F), recettes et dépenses sont les suivantes (en milliers de US \$) :

$$\begin{aligned} \text{Recettes} &= 8,000 \times (F) + 0,80 \times 8,000 \times (F) = 14,400 (F) \\ \text{Dépenses} &= 24 (SP) + 1567 \end{aligned}$$

Nous devons donc obtenir :

$$\sum_{T}^{10} 14,4 (F) - 24 (SP) - 1567 \frac{1}{(1+r)^n} = 6.724$$

équation qui détermine (F) si l'on se fixe r.

Ce qui donne :

r %	(F) US \$/Tonne
10	284,8
12	291,4
14	298,3

Les prix calculés pour le fluorure d'aluminium sont de 10 à 15 % inférieurs à ceux donnés par MONTEDISON. L'opération est donc parfaitement sûre.

Si l'on ne produit que du fluorure d'aluminium, les recettes augmentant pour des dépenses sensiblement égales, l'opération devient encore plus sûre.

#### 4.4. Conclusions

Les conclusions de l'étude économique sont parfaitement nettes.

Le projet d'un complexe de production de fluorure d'aluminium et de cryolithe, par quantités égales de 8.000 tonnes est viable et à un taux de rentabilité interne de 24 %.

Un complexe produisant uniquement du fluorure d'aluminium est économiquement beaucoup plus intéressant :

- l'investissement est réduit de 20 %, soit plus d'un million de dollars d'économie ;
- le taux de rentabilité interne, avec les chiffres retenus, est de 39 %;
- le bénéfice actualisé à un taux d'actualisation de 18 % est triple de celui réalisé par l'autre installation ;
- le gain en devises est supérieur de 50 US \$ par tonne à celui réalisé par la vente de cryolithe, et actualisé sur 10 ans à un taux d'actualisation de 18 % représente un gain de devise 25 % plus élevé pour le Complexe (B) que pour le Complexe (A).

L'étude de marché concluant à une préférence marquée des utilisateurs pour la fourniture de fluorure d'aluminium, tendance qui va en s'accroissant, la différence de prix entre la cryolithe et le fluorure d'aluminium allant également en s'accroissant, au détriment de la cryolithe alors que le coût de production reste sensiblement le même pour les deux produits, il y a lieu de peser soigneusement la décision de garder une production de cryolithe.

Les entretiens futurs approfondis avec les différents clients potentiels montreront leurs desiderata propres.

Ces entretiens devraient viser à offrir en priorité le fluorure d'aluminium, et à n'offrir qu'en second lieu la cryolithe, pour tenter de s'assurer un marché d'environ 15 à 16.000 tonnes de fluorure.

Si ces entretiens se révélaient positifs, comme le laissent pressentir les conversations préliminaires, la décision d'installer un complexe de production de fluorure d'aluminium seul pourrait être prise, avec tous les avantages qu'elle comporte.

REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTERE DE L'ECONOMIE NATIONALE

CENTRE NATIONAL D'ETUDES INDUSTRIELLES

02534  
2 of 2

**POSSIBILITES  
DE FABRICATION D'ACIDE FLUORHYDRIQUE &  
DE SES DERIVES A PARTIR DE SPATH-FLUOR  
TUNISIEN**

**Rapport Principal**



Partie A	étude de marché
Partie B	étude technique
Partie C	étude économique

Année 1970

Page A2

REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE NATIONALE

CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES INDUSTRIELLES

2534 242

**POSSIBILITES  
DE FABRICATION D'ACIDE FLUORHYDRIQUE &  
DE SES DERIVES A PARTIR DE SPATH-FLUOR  
TUNISIEN**

**Rapport Principal**

Partie A	étude de marché
Partie B	étude technique
Partie C	étude économique

55 p.  
40 p.  
41 p.

136 p.

Octobre 1970

Fibec Ag

*Le présent document est extrait du dossier de l'étude :*

**" POSSIBILITES DE FABRICATION D'ACIDE FLUORHYDRIQUE & DE SES DERIVES A PARTIR DE SPATH-FLUOR TUNISIEN " qui comprend les pièces suivantes :**

**Pièce A<sub>1</sub> : NOTE DE SYNTHESE**

**Pièce A<sub>2</sub> : RAPPORT PRINCIPAL**

*Cette étude a été réalisée par le Centre National d'Etudes Industrielles\* sur la demande de la S.O.T.E.M.I. (Société Tunisienne d'Exploitation Minière) .*

---

**\* Le Centre National d'Etudes Industrielles bénéficie pour une période initiale de cinq ans , de l'assistance technique de l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUDI -Vienne )**

**ETUDE  
DE MARCHÉ**

## PLAN D'ETUDE

	<u>Pages</u>
Résumé liminaire .....	2
<b>1. FLUORURE D'ALUMINIUM ET CRYOLITHE ARTIFICIELLE</b>	
1.1. Production mondiale d'aluminium .....	8
1.2. Consommation des divers fondants dans la production de l'aluminium primaire .....	12
1.2.1. Part relative du fluorure et de la cryolithe .....	12
1.2.2. Prévisions de la consommation mon- diale de fondants .....	16
1.3. Production de fluorure d'aluminium et de cryolithe .....	18
1.4. Prix de la cryolithe et du fluorure d'a- luminium	
1.4.1. Variations du prix de l'acid-grade .....	19
1.4.2. Analyse de cotations effectives .....	21
1.4.2.1. Source MINERALS YEARBOOK .....	21
1.4.2.2. Source SEMA .....	24
1.4.3. Analyse de propositions .....	28
1.4.4. Conclusions : prix retenus et con- sidérations générales .....	29
<b>2. ACIDE FLUORHYDRIQUE</b>	
2.1. Les emplois .....	32
2.2. Les possibilités d'exportation pour la Tunisie .....	32
<b>3. HYDROCARBURES FLUORES</b>	
3.1. Le marché et les tendances .....	35
3.2. Les utilisations .....	35
3.2.1. Produits frigorigènes .....	36
3.2.2. Aérosols .....	37

	<u>Pages</u>
3.2.3. Mousses de polyuréthane .....	37
3.3. Les possibilités d'exportation pour la Tunisie .....	39
<b>ANNEXE I . BAUXITE, ALUMINE, ALUMINIUM .....</b>	<b>41</b>
<b>ANNEXE II . MARCHÉ MONDIAL DU SPATH FLUOR</b>	
II.1. Production mondiale de spath fluor .....	46
II.2. Prévion de l'évolution de la consommation de spath fluor toutes qualités dans le monde .....	52
II.2.1. Source "Mines et Métallurgie" .....	52
II.2.2. Source SEMA .....	54
II.2.3. Récapitulation .....	54

Dans une étude de marché semblable à celle-ci qui concerne des produits très évolués comme les dérivés fluorés il y a lieu de distinguer :

**a) L'étude de marché proprement ouvert à la Tunisie**

Elle doit répondre à la question : vers quels clients la Tunisie peut-elle écouler une production spécifique, et à quels prix ?

La réponse très précise à cette question ne peut être fournie que par une consultation générale des clients potentiels, des visites et des entretiens approfondis sur les termes de contrats à signer, des questions très spécifiques interviennent alors, les prix étant fonction du degré de pureté des produits élaborés ainsi que des tonnages achetés.

Néanmoins certaines consultations ont été lancées, des entretiens préliminaires ont eu lieu et les résultats en sont tout à fait nets.

**b) L'étude du marché mondial**

Cette étude doit répondre dans la mesure du possible à la question : les ventes seront elles assurées longtemps, les prix restent-ils rémunérateurs ?

Il faut alors situer l'activité tunisienne dans un ensemble mondial de producteurs et de consommateurs. L'analyse de l'évolution passée de la production, les perspectives quantitatives et les tendances qualitatives de la consommation future doivent permettre de juger les garanties qu'offrirait la réalisation d'un complexe de production de dérivés fluorés.

**c) L'étude d'un marché optimum**

Elle tiendrait compte des éléments réunis par les entretiens mentionnés ci-dessus et déterminerait le choix des clients donnant le profit maximum en évaluant les coûts et les risques économiques.

Les éléments que nous avons réunis permettent de répondre à une partie des problèmes soulevés.

## RESUME LIMINAIRE

La présente étude de marché montre aisément que, parmi l'ensemble des dérivés fluorés, seule le fluorure d'aluminium et la cryolithe artificielle, fondants utilisés dans la production d'aluminium primaire, offrent un marché accessible à la Tunisie.

Nous traiterons donc brièvement les marchés des autres dérivés pour attirer une attention particulière au marché des deux fondants.

Le marché pour ces deux produits est conditionné par deux faits fondamentaux :

- a) Les possibilités d'écoulement sont fonction de l'accroissement de production mondiale d'aluminium primaire. Cette production, à l'examen, se révèle en hausse continue depuis de nombreuses années, (voir fig.A.) sans que pour le moment, selon la plupart des observateurs, on puisse prévoir une saturation, sauf cas de forte récession dans les pays industrialisés.
  
- b) Les prix auxquels l'écoulement des produits pourrait s'effectuer sont fonction, d'une manière extrêmement étroite, du prix du spath fluor, (acid grade) matière première de toute la gamme des dérivés fluorés. Ce dernier a tendance à se raréfier malgré les efforts considérables de prospection.

Il existe en effet un accroissement rapide de la consommation de spath fluor dans la métallurgie, et dans l'industrie des dérivés fluorés, particulièrement les dérivés fluorocarbonylés, qui provoque une crainte de pénurie future compte tenu des réserves actuelles.

L'escalade des prix du spath fluor provoquée en majeure partie par cet accroissement extrêmement important de la consommation des dérivés fluorocarbonés, entraîne celle du fluorure d'aluminium et de la cryolithe, dans le coût de production desquels le spath fluor intervient pour près de 40 %.

Les prix sont donc étroitement liés à la rareté de la matière première. Or comme il est montré dans l'étude de la situation mondiale, il n'y a pas pour le moment d'indices de bouleversement dans ce domaine. Les pays qui sont les plus forts producteurs ont des réserves, mais la demande extrêmement forte l'emporte et les prix montent. Il n'y a pas non plus de possibilité que des masses de produits de réserve soient jetées sur le marché pour faire baisser les cours.

Conditionné par ces deux circonstances, le marché de la fluorure d'aluminium et de la cryolithe, aussi bien en ce qui concerne les possibilités d'écoulement que les prix praticables se présente donc sous un jour particulièrement favorable pour la Tunisie.

Pour valoriser la production d'acid grade un choix doit être fait dans la gamme des très nombreux dérivés fluorés actuellement utilisés dans l'industrie.

La fabrication de ces dérivés passe par celle de l'acide fluorhydrique et nous donnons ci-après le schéma montrant les principaux produits et leurs usages. (Fig.1)

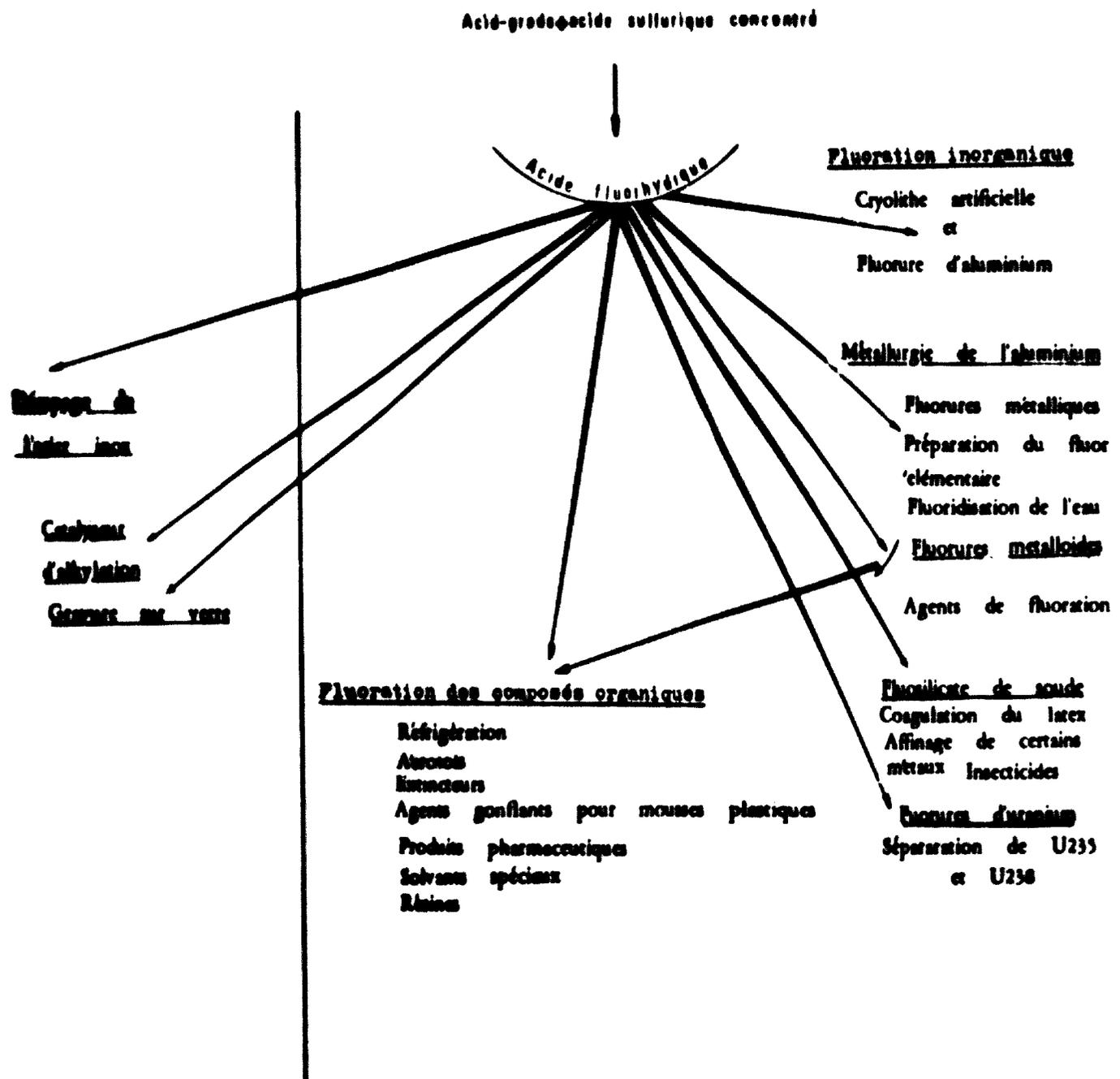
Nous avons présenté par ordre d'intérêt décroissant, les produits, leur utilisation et leur marché.

Une place spéciale est faite à l'étude de la production mondiale d'aluminium primaire industrie qui absorbe la production de fluorure d'aluminium et de cryolithe artificielle, et à l'étude de la consommation mondiale de spath fluor dont l'accroissement très rapide provoque la raréfaction du spath fluor et par voie de conséquence la montée des prix.

Les produits étudiés ainsi par ordre d'intérêt décroissant sont les suivants:

- Fluorure d'aluminium et cryolithe artificielle
- Acide fluorhydrique
- Hydrocarbures fluorés.

**SCHEMA MONTRANT LES PRINCIPAUX  
EMPLOIS DE L'ACIDE FLUORHYDRIQUE  
(d'après SEMA)**



1. FLUORURE D'ALUMINIUM  
ET CRYOLITHE ARTIFICIELLE

Le fluorure d'aluminium et la cryolithe naturelle ou synthétique, sont utilisés de longue date comme fondants pour la production d'aluminium primaire.

Le marché de ces produits est conditionné

- À l'aval, par les besoins de l'industrie de l'aluminium ;

- À l'amont, par la production de spath fluor, sa rareté ou sa raréfaction.

a) L'écoulement des produits est lié étroitement et en tout premier lieu à l'accroissement de la production d'aluminium, que nous étudierons ci-dessous.

L'accroissement de la production mondiale d'aluminium entraîne celui de la consommation des divers fondants, même si des améliorations techniques permettent de réduire le poids de fondant par tonne d'aluminium produit.

b) Les prix sont, eux, fonction de la rareté ou de la raréfaction du spath fluor dans les années à venir : nous examinerons donc également les caractéristiques essentielles du marché mondial du spath fluor.

## 1.1 PRODUCTION MONDIALE D'ALUMINIUM

La production mondiale d'aluminium n'a jamais cessé de croître dans les dix dernières années, comme le montrent les chiffres suivants, extraits de différents MINERALS YEARBOOKS : (en milliers de tonnes métriques)

1955/59 (Moyenne)	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968
3.496	4.490	4.703	5.061	5.317	5.944	6.305	6.878	7.575	8.040

chiffres que nous avons reportés sur la figure A2.

A titre d'exemple, notons que la part de l'Europe Occidentale en 1966 a été de 1,4 Millions de Tonnes, soit environ 20 % de la production mondiale, mais l'ensemble des projets doit doubler la capacité en 1975 et permettre d'atteindre une production de 2,8 Millions de Tonnes.

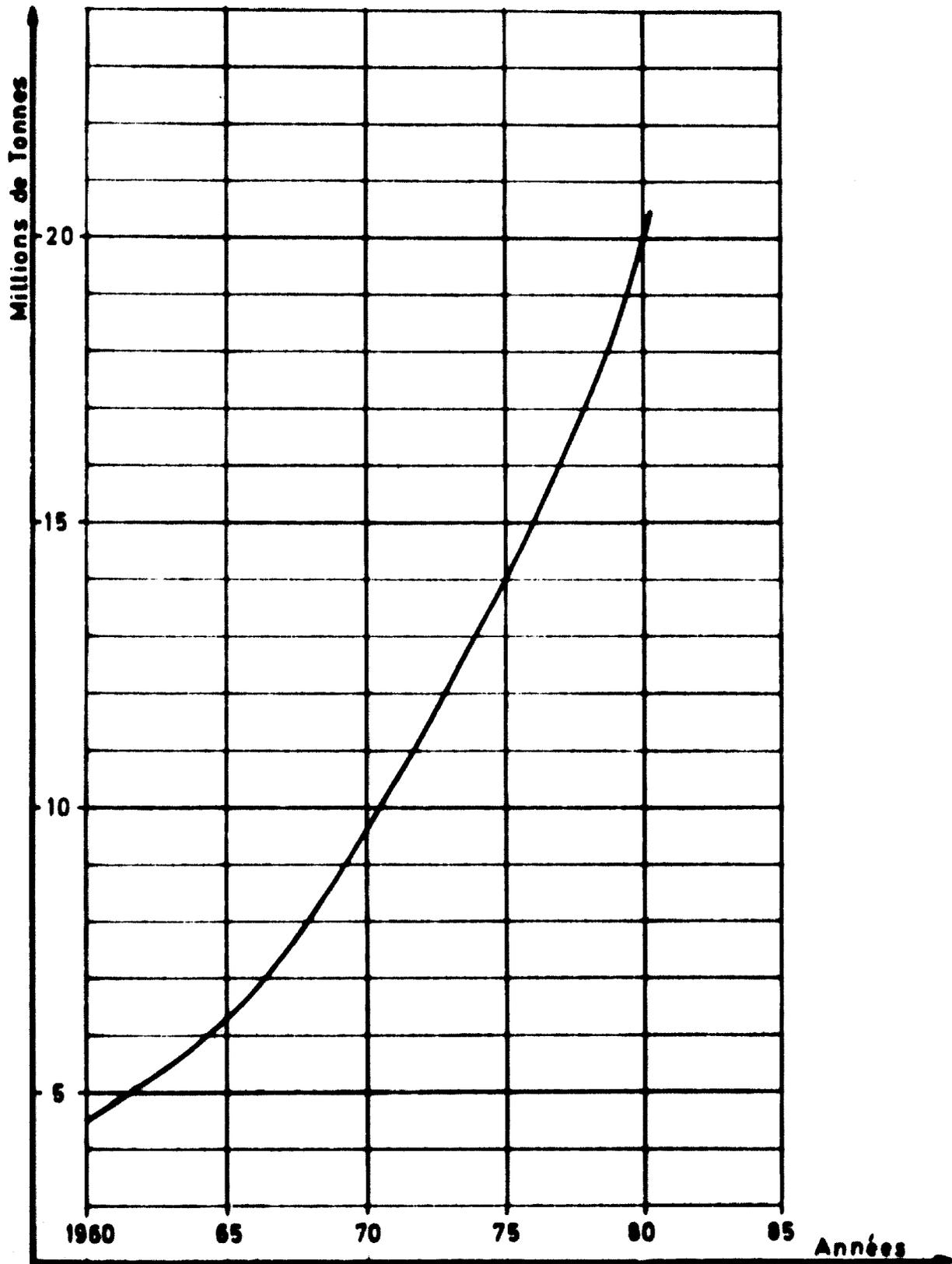
Nous donnons en annexe un recensement des projets d'augmentation de capacité dans les différents pays producteurs, aussi bien pour les extractions de bauxite que pour les installations de production d'alumine et d'aluminium.

En ce qui concerne la production par pays, le classement s'effectue de la manière suivante en 1968 :

Classement	P a y s	T o n n a g e
1	Etats-Unis	2.953.000
2	U.R.S.S.	1.100.000
3	Canada	902.000
4	Japon	478.000
5	Norvège	470.000
6	France	366.000
7	R.F.A.	257.000
8	Italie	142.000
9	Chine	100.000

Pour l'ensemble des grands groupes économiques, la production et la part de chacun des pays est donné par le tableau A3.

**PREVISIONS DE CONSOMMATION**  
**MONDIALE**  
**D'ALUMINIUM PRIMAIRE**



**TABLEAU A3****PRODUCTION D'ALUMINIUM DE PREMIERE FUSION**

Unité : 1.000 Tonnes

P A Y S	1966	1967	1968
Allemagne .....	243.9	252.9	257.4
U.E.B.L. ....	-	-	-
Pays-Bas .....	20.3	32.6	49.1
France .....	363.5	361.2	365.7
Italie .....	127.8	127.7	142.1
<b>Total C.E.E. ....</b>	<b>755.5</b>	<b>774.4</b>	<b>814.3</b>
Royaume-Uni .....	37.1	39.0	38.2
Autriche .....	78.7	78.8	85.9
Danemark .....	-	-	-
Norvège (1) .....	330.2	363.8	470.1
Portugal .....	-	-	-
Suède .....	28.7	33.5	56.8
Suisse .....	68.8	72.2	75.8
<b>Total A.E.L.E. ....</b>	<b>543.5</b>	<b>566.3</b>	<b>726.8</b>
Espagne .....	64.7	78.5	88.9
Grèce .....	36.2	71.5	76.0
Irlande .....	-	-	-
Turquie .....	-	-	-
<b>Total autres européens O.C.D.E. ...</b>	<b>100.9</b>	<b>150.0</b>	<b>164.9</b>
<b>TOTAL O.C.D.E. Europe .....</b>	<b>1,399.9</b>	<b>1,510.7</b>	<b>1,706.0</b>
<b>Etats-Unis .....</b>	<b>2,692.9</b>	<b>2,966.3</b>	<b>2,952.9</b>
<b>Canada .....</b>	<b>807.3<sup>(1)</sup></b>	<b>884.9</b>	<b>902.2</b>
<b>Japon .....</b>	<b>333.1</b>	<b>379.3</b>	<b>478.4</b>

(1) Y compris les alliages d'aluminium de première fusion.

Prévisions de consommation :

Les prévisions de consommation sont basées sur le taux d'accroissement des besoins satisfaits par la production des dernières années.

Selon la plupart des observateurs, il n'y a pas d'indice de saturation, sauf cas de forte récession dans les pays industrialisés, récession imprévisible à l'époque actuelle.

Il est donc raisonnable de calculer les besoins futurs selon le taux d'accroissement constaté dans les dernières années.

Ce taux, qui correspond à un doublement des besoins en dix ans, dépasse légèrement 7 %.

Sans rechercher une précision extrême qui serait illusoire, on peut estimer que l'accroissement de la production d'aluminium primaire s'effectue à un taux de 7 à 8 %. Retenons le taux de 7,2 % qui correspond au doublement de la consommation en dix ans et conduit à la projection suivante :

Consommation mondiale d'aluminium en millions de tonnes

Années	1968	1970	1975	1980	1985
Tonnage	800	920	1300	1840	2610

Les conséquences pour la consommation mondiale de fluorure d'aluminium et de cryolithe sont immédiates : en l'absence de bouleversement technique imprévisible à l'heure actuel, et en fait peu probable, la consommation de fluorures d'aluminium et de cryolithe augmentera selon un taux de 7 à 8 %.

Ce taux, bien qu'il soit relativement élevé est inférieur au taux d'accroissement de consommation d'autres dérivés fluorés (20 % pour les dérivés fluorocarbones)

La raréfaction du spath fluor (acid-grade) ne peut donc être imputée à l'heure actuelle à l'augmentation de la consommation de fondante dans l'industrie de l'aluminium, mais bien plutôt aux autres besoins en dérivés fluorés.

Un changement important s'est en outre effectué en 1960 : jusqu'à cette année, le plus important consommateur de spath fluor (acid-grade) était l'industrie de l'aluminium. Après 1960, ce sont les dérivés fluorocarbones qui prennent la première place comme consommateurs d'acid-grade ; comme de plus le taux d'augmentation de leur production est près de trois fois supérieur à celui de la production d'aluminium primaire, leur priorité, dans la consommation de spath fluor est écrasante, au moins à moyen terme.

## 1.2 CONSOMMATION DES DIVERS FONDDANTS FONDANTS DANS LA PRODUCTION DE L'ALUMINIUM PRIMAIRE.

### 1.2.1. Part relative du fluorure et de la cryolithe

D'importantes quantités de cryolithe sont nécessaires lorsque l'on met en route de nouvelles fonderies d'aluminium et, en opération normale, la cryolithe consommée doit être remplacée par de la cryolithe ou du fluorure d'aluminium. Dans une certaine mesure, qui dépend des modes opératoires et de critères techniques ou commerciaux, cryolithe et fluorure d'aluminium peuvent se remplacer aisément l'un l'autre mais, d'une manière approchée, on peut estimer que chaque tonne d'aluminium produit a consommé entre 30 et 50 Kilos de cryolithe et 30 à 40 Kilos de fluorure d'aluminium, soit environ 60 à 65 kg de spath chimique.

Il est en fait difficile de connaître la part relative du fluorure et de la cryolithe : en France il existe des Statistiques Industrielles, mais on ne peut trouver d'informations officielles en Allemagne ou en Italie et les producteurs ne révèlent pas leurs chiffres de consommation.

D'autre part les chiffres de consommation peuvent varier dans des proportions considérables d'un pays à l'autre et d'une année à l'autre : en 1966 la France a consommé 7 fois plus de fluorure d'aluminium que de cryolithe artificielle et la Norvège a consommé plus de deux fois plus de cryolithe synthétique que de fluorure.

Un tableau approximatif dressé en recoupant plusieurs sources d'informations est donné dans l'étude SEMA, pour la consommation des pays d'Europe de l'Ouest.

CONSOMMATION (en Kg) DE CRYOLITHE, DE FLUORURE D'ALUMINIUM  
POUR LA FABRICATION DE 1 TONNE D'ALUMINIUM ET POUR DIVERS PAYS

	USA	NORVEGE	JAPON	HONGRIE
Cryolithe .....	24	40	56	30
Fluorure d'aluminium .	29	34	23	9
Consommation ramené en poids de fluor .....	38	44	45	39

En effet des indices de saturation des marchés des fluorocarbures sont apparus aux Etats-Unis et l'accroissement de consommation est descendu à 10 %.

Les faibles consommations (USA et Hongrie) sont dues à la pratique de la récupération du fluor.

La tendance est à l'augmentation de la consommation de fluorure d'aluminium, comme le montre le tableau de consommation du Japon en divers composés (Tableau A<sub>4</sub>)

Des informations obtenues en 1970, en provenance des Etats-Unis faisaient état d'une consommation de 30 Kilos de fluorure d'Aluminium et de 10 Kilos de cryolithe par tonne d'aluminium primaire.

La Kaiser ne se fournirait plus en fluorure d'aluminium.

De toute façon, malgré les progrès constants tendant à la diminution de la consommation des fondants, il faut encore environ 60 Kilos d'équivalent acide-grainé par tonne d'aluminium primaire.

La Norvège a été le plus gros importateur de cryolithe et de fluorure d'aluminium.

Toutefois, le projet de construction, en 1970, d'une usine de 20 000 tonnes de capacité de fluorure d'aluminium, peut changer complètement la situation. Seuls donc des contrats précis, et ultérieurement des négociations peuvent définir le marché norvégien.

**T A B L E A U 49**

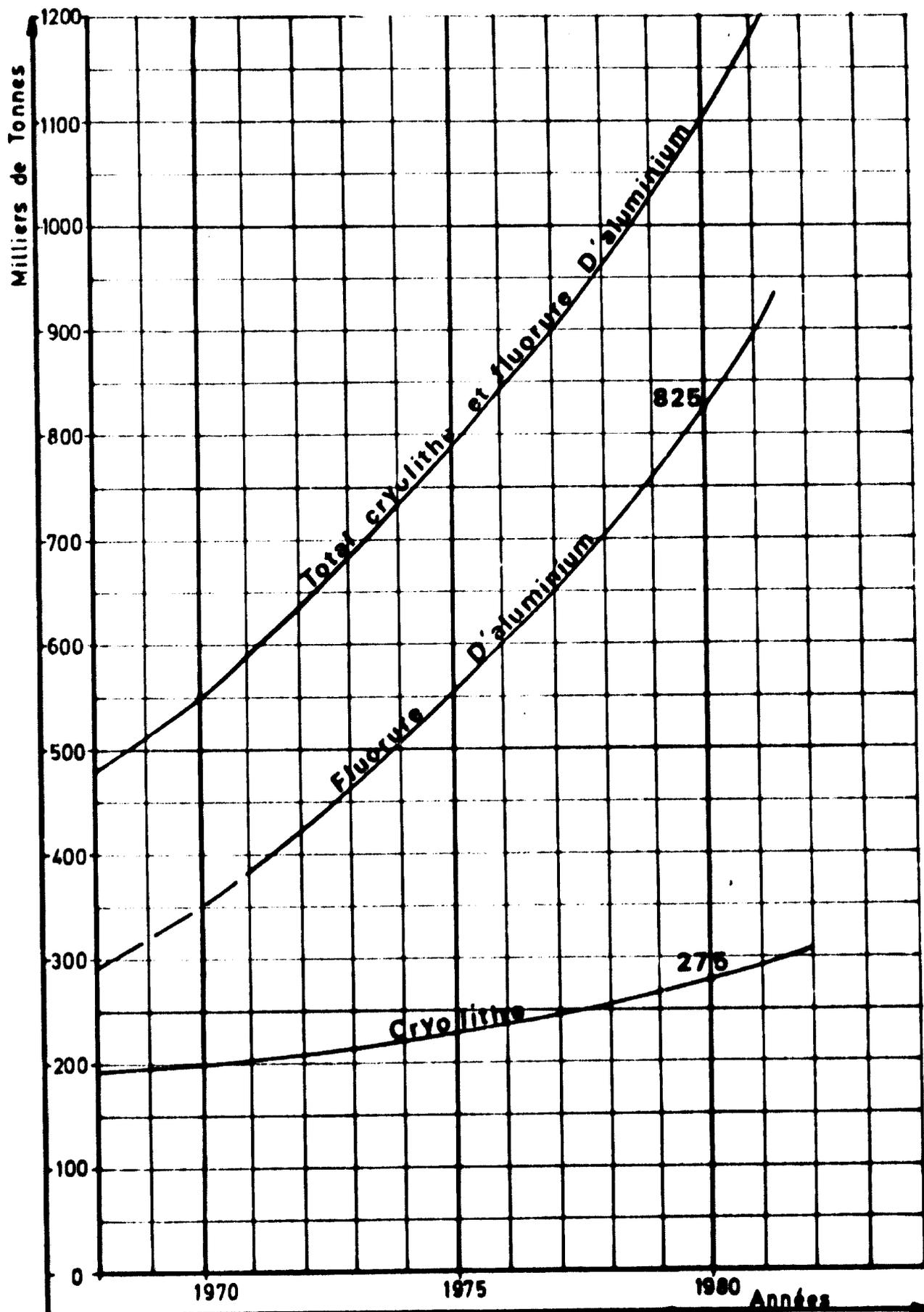
**JAPON : CONSOMMATION DE FLUORURE POUR LA PRODUCTION DE L'ALUMINIUM**

(Tonnes métriques)

	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966
Cryolithe .....	4,340	5,689	5,195	5,899	8,306	8,636	9,164	9,624
kg./Ton. ....	44	43	34	35	37	33	31	29
Cryolithe de récupération	1,367	1,264	1,466	1,638	2,480	3,641	4,908	6,744
kg./Ton. ....	14	10	10	10	11	14	17	20
Fluorure d'aluminium .....	2,315	3,262	4,438	5,067	7,170	8,684	8,938	11,022
kg./Ton. ....	23	25	29	30	32	33	31	33

# PREVISIONS DE LA CONSOMMATION MONDIALE

(cryolithe et fluorure d'aluminium)



**1.2.2. Prévisions de la consommation mondiale de fondants :**

**Nous avons vu que**

- d'une part la quantité nécessaire de fondant pour produire une tonne d'aluminium primaire était de 60 kilos environ

- d'autre part l'augmentation de la consommation annuelle suivait l'évolution de la production d'aluminium primaire, avec le même taux d'accroissement correspondant approximativement à un doublement tous les dix ans.

- La proportion de fluorure d'aluminium dans le tonnage total de fondants utilisé allait en augmentant.

Ces trois données permettent de dresser un tableau de prévisions de consommation, et dans une certaine mesure de refléter la préférence qui se montre pour le fluorure.

**Nous ferons pour cela l'hypothèse suivante :**

- en 1968, la consommation de fluorure d'aluminium est de 50 % supérieure à celle de cryolithe.

- en 1980, l'ensemble du monde atteint la proportion observée chez les producteurs américains mentionnés : la consommation de fluorure d'aluminium est trois fois plus importante que celle de cryolithe. Cette projection correspond à une évolution de rythme très modéré.

Ces chiffres fournissent les pourcentages suivants, selon les années :

	1968	1980
Fluorure d'aluminium	60 %	75 %
Cryolithe	40 %	25 %

et l'on peut dresser le tableau final et la courbe correspondante :

Années	1968	1970	1975	1980
Total	480	550	780	1100
Cryolithe (évaluation)	190	200	230	275
Fluorure d'aluminium (évaluation)	290	350	550	825

**Prévisions de consommation mondiale en cryolithe et fluorure d'aluminium ( en millions de tonnes)**

Dans les dix années qui viennent, on peut donc estimer, si l'on adopte ces hypothèses, très modérées dans leurs fonds que :

- a) la consommation de fluorure d'aluminium va passer de 350.000 tonnes en 1970 à 825.000 tonnes en 1980
- b) la consommation de cryolithe va passer de : 200.000 tonnes en 1970 à 275.000 tonnes en 1980

soit dans dix ans un "déficit" de :

475.000 tonnes pour le fluorure d'aluminium  
75.000 tonnes pour la cryolithe

(correspondant respectivement à 735.000 tonnes et 110.000 tonnes d'acid-grade).

La Tunisie a donc a priori un marché pour contribuer à combler pour sa part ce "déficit".

Notons toutefois que le "déficit" de fluorure d'aluminium apparaît six fois plus important que le déficit de cryolithe, et qu'en somme, a priori, il serait plus aisé de s'introduire en proposant du fluorure d'aluminium plutôt que de la cryolithe.

Soulignons encore que ce marché n'est en aucune manière semblable à un marché de biens de consommation puisque les clients sont relativement peu nombreux, tous parfaitement déterminés, et que le véritable marché, pour la Tunisie, sera constitué par les signataires de contrats, quel que soit le fondant qu'ils exigent.

La sécurité de l'entreprise commanderait néanmoins de rechercher avant tout des clients acheteurs de fluorure d'aluminium, puisque le "déficit" s'annonce beaucoup plus important que celui de la cryolithe.

### 1.3. PRODUCTION DE FLUORURE D'ALUMINIUM ET DE CRYOLITHE.

Une fabrication intégrée a été adoptée par la plupart des grands producteurs d'aluminium qui transforment ainsi toutes les matières premières nécessaires.

Les grands producteurs européens sont :

- la France (Pechiney et Ugine-Kuhlman)
- l'Italie (Montedison)
- l'Allemagne (Bayer, Saline, United Fluss par Uroepen)

et sont exportateurs vers l'Afrique, l'Asie et l'Amérique.

Les analyses faites par SEMA (1966 - 1967) et basées sur une consommation de fluorure d'Aluminium égale à une fois et demie celle de la cryolithe conduisent à l'évaluation suivante des productions, (après avoir pris en compte les productions nationales d'aluminium primaires, les importations de cryolithe naturelle, les exportations de fluorure ou de cryolithe artificielle d'Europe).

#### PRODUCTION DE CRYOLITHE ET FLUORURE D'ALUMINIUM EN EUROPE

	Fluorure d'aluminium	Cryolithe synthétique	Production ra- menée en poids d'acide fluo- hydrique
FRANCE .....	27.700	11.000	25.000
ALLEMAGNE .....	13.000	12.000	15.000
ITALIE .....	14.000	21.500	22.000
ESPAGNE .....	1.500	500	2.500
<b>TOTAL ARRONDI</b>	<b>56.000</b>	<b>45.000</b>	
<b>TOTAL ARRONDI ramené en poids HF</b>	<b>40.000</b>	<b>25.000</b>	<b>65.000</b>

## **1.4 PRIX DE CRYOLITE ET FLUORURE D'ALUMINIUM**

### **1.4.1. Variation du prix de l'acid grade. (1)**

Les prix de la cryolithe et du fluorure d'aluminium dépendent avant tout du prix de l'acid grade qui entre pour près de 40 % dans les coûts de production.

Il est donc important de suivre les variations des cours de l'acid grade en cours des dernières années.

Nous avons retenu comme source le MINERALS YEARBOOK donnant les quantités importées aux USA en provenance des différents pays et leurs valeurs.

Nous avons retenu les chiffres les plus significatifs, en éliminant les quantités par trop faibles. (Le pourcentage retenu figure en bas de tableau).

Les résultats sont consignés dans le tableau A5.

Les conclusions sont délicates à tirer :

a) Un fait est certain c'est que globalement, entre 1963 et 1968, le spath fluor exporté vers les Etats Unis, n'a pratiquement pas varié de prix, se maintenant très voisin de 30 US\$/tonne CIF port américain.

b) Le fret est un facteur primordial dans le prix.

En effet, si l'on considère les importations en provenance du Mexique, les prix les plus faibles sont obtenus pour les villes frontalières (Laredo et El Paso). Les prix augmentent ensuite en fonction

---

(1) Remarque : Nous étudions en annexe d'une manière plus générale le problème du spath fluor toutes qualités.

TABLEAU A5

REPORTATIONS DES ETATS UNIS POUR LEUR CONSERVATION PACIFIC GRADE

COUNTRY	1964		1965		1966		1967		1968												
	Value	Vol.	Value	Vol.	Value	Vol.	Value	Vol.	Value	Vol.											
Canada	69 630	1 653	23,7	26,1	28 975	1 487	24,2	26,6	6 071	1 518	25,0	27,5	18 349	1 964	25,1	27,6	81 569	2 050	25,1	27,6	
USA	432	14	34,4	35,6	831	27	32,5	35,8	358	11	31,1	34,2	358	11	31,1	34,2	255 908	6 879	26,9	29,6	
USA (cont.)	135 754	4 086	26,5	34,5	162 556	4 597	27,7	36,5	253 904	6 616	26,1	28,7	235 543	6 279	26,6	29,3	255 908	6 879	26,9	29,6	
New Zealand	17 083	57	31,8	35,8	28 678	1 032	36,0	39,6	37 163	1 038	27,9	30,7	42 308	1 287	30,4	33,4	35 812	1 308	36,5	40,1	
Philippines	27 897	571	36,4	37,8	12 438	364	29,3	32,2	4 146	105	25,3	27,8	333	11	33,0	36,3	8 478	296	34,9	38,4	
Thailand																					
Colombia																					
USA (cont.)	6 148	121	19,6	21,6																	
USA (cont.)	3 388	86	25,4	27,5																	
ALL OTHERS																					
Peru (Bico)					299	20	64,9	73,6													
TOTALS	22 073	771	33,7	37,1	12 164	364	29,9	32,9	21 788	591	26,9	29,6	22 793	731	32,1	35,3	28 402	922	32,5	35,8	
New Zealand	18 291	397	36,1	33,1	26 383	698	26,3	28,5	19 089	521	27,4	30,1	26 087	787	32,7	36,0	26 200	1 047	32,4	35,3	
Philippines									5 081	148	27,4	30,1	4 287	153	35,7	39,3	14 734	616	41,4	45,5	
Colombia									6 419	205	38,2	42,0	11 297	363	32,1	35,3	22 786	717	31,5	34,7	
USA	25 314	793	27,8	34,5	5 362	162	27,2	29,9	89 329	3 083	34,3	37,7	86 330	3 514	40,7	44,8	94 799	3 927	41,4	45,5	
USA (cont.)	43 088	1 283	28,8	30,8	36 052	1 078	25,5	28,0	19 292	565	30,3	32,1	26 277	874	32,6	35,9	12 088	483	38,1	41,9	
Philippines									4 837	138	24,8	27,3	9 463	284	29,8	32,8	21 514	620	28,8	31,7	
Colombia									6 364	202	32,8	35,2	3 787	133	35,1	38,6	4 536	147	32,4	35,6	
Peru (Bico)																					
Colombia																					
USA (cont.)																					
Colombia																					
Peru (Bico)																					
TOTALS	143 178	4 688	28,7	31,6	309 089	10 089	27,5	30,2	599 797	14 284	28,2	31,0	588 667	17 329	30,2	33,2	638 133	20 000	31,3	34,4	
\$ equivalent	38,7	9,2			36,7	9,63			36,7	9,63			36,3	9,63			37,8	9,78			

de l'éloignement du port de destination (les prix résultants à New Orléans sont inférieurs, pour des tonnages comparables, à ceux résultants pour Philadelphie).

- e) Les quantités livrées ont un rôle important dans le prix : le prix de l'acid grade rendu Galveston est supérieur à celui de New Orléans bien que Galveston soit plus près de la frontière mexicaine, mais les quantités livrées sont quatre fois plus faibles.

Actuellement le prix de l'acid grade s'est beaucoup élevé et atteint en Novembre 1969, 44 US\$ FOB port tunisien, et maintenant 60 US\$ FOB port méditerranéen.

Les facteurs influençant le prix demeurent les mêmes que ceux que nous avons relevés précédemment.

#### 1.4.2. Analyse de cotations effectives

##### 1.4.2.1. Source MINERALS YEARBOOK (Cryolithe)

Nous avons reproduit, en le tirant de MINERALS YEARBOOK les importations des Etats Unis, selon les années avec la provenance, la quantité importée et la valeur de l'ensemble.

Nous avons tout d'abord supprimé la cryolithe naturelle qui ne nous concerne pas.

Nous avons supprimé les importations en provenance du Danemark pour l'année 1966 : les quantités ne sont pas importantes, mais le prix à la tonne est extrêmement voisin à celui de la cryolithe naturelle, ce qui suggère une vente très particulière pouvant être également, comme celle du Groënland, de cryolithe naturelle. (Le Groënland est un territoire appartenant au Danemark).

En effet les prix sont les suivants :

	Tonnage	Valeur US\$	Prix à la tonne courte
Cryolithe naturelle du Groënland	16 693	728 000	43,6
Cryolithe en provenance du Danemark	2 352	107 000	45,5

De toute façon, la part de cette importation dans le total est de 15 % environ en tonnage et de moins de 5 % en valeur et le texte joint au tableau dans l'ouvrage avertit qu'il est probable mais non certain que les importations autres que celle en provenance du Groënland soient de cryolithe synthétique.

Nous avons ensuite compté à part les importations de moins de 100 tonnes courtes, qui correspondent toutes à des prix nettement plus élevés que les importations massives.

Les écarts sont en effet considérables entre les prix pratiqués entre l'Allemagne de l'Ouest et l'Italie. Comme les quantités achetées en Italie sont de 5 à 8 fois supérieures à celles achetées en Allemagne de l'Ouest, il faut en conclure que les prix à la tonne diffèrent selon le volume des commandes passées.

Par contre pour les années 1966, 67 et 68 les quantités en provenance d'Italie et celles en provenance de France sont du même ordre de grandeur et les prix sont comparables.

Les résultats de ce classement apparaissent dans le tableau A6.

On ne peut que constater une hausse assez régulière de la cryolithe, du moins la tendance à la hausse ne s'est jamais démentie et aucune baisse ne peut être enregistrée pour la période 1963 - 1968.

Or, pendant ces années nous avons vu que les prix de l'acid grade étaient stables et de 30 US\$ la tonne environ.

Il n'est pas précisé si ces prix sont CIF, FOB ou FIO.

Normalement ces prix devraient s'entendre CIF car il s'agit d'importations. Il est probable que toutes les données se rapportent à un prix de même genre.

**TABLEAU A**

**IMPORTATION EN QUINTE UNES POUR LEUR CONCENTRATION EN CITRULLES**

Année et pays	Short tonne	Valeur	Prix USD/tonne courts		Total signi- ficatif	Valeur	Prix en- prix moyen USD/tonne par courts étrique		
1963									
Canada	2	515	258		284				
Allemagne	44	14 110	320		320				
Italie	5 497	995 233	175	195	5 497	995	175	195	
1964									
Allemagne de l'Ouest	66	21 284	323		323				
Italie	5 645	1 011 060	179	197	5 645	1 011	179	195	
Hollande	22	4 932	224		224				
1965	R.D.	R.D.							
1966									
(Danemark)				(45,5)					
France	6 622	1 124	175	193					
Allemagne de l'Ouest	66	23	349		384				
Canada	917	147	160	176					
Italie	4 961	1 025	206	227					
Suède	44	15	340		374	12 500	2 306	106	205
1967									
Canada	2 609	453	168	165					
France	7 550	1 449	191	210					
Allemagne de l'Ouest	1 486	303	203	223					
Allemagne de l'Est	679	115	170	167					
Italie	3 924	766	194	213	16 366	3 086	109	208	
1968									
Danemark	220	46	209	230					
Canada	3 128	573	183	201					
France	6 415	1 227	191	210					
Allemagne de l'Ouest	108	25	231	254					
Italie	15 963	3 163	198	210					
Japan	112	22	197	217					
Espagne	205	51	198,5	212	26 191	5 107	195	215	
Suède	11	1	91		100	26 191			

En comparant une de ces données concernant les importations en provenance de France à celle correspondant aux exportations faites par la France aux Etats Unis, on trouve en gardant les hypothèses faites plus haut sur la nature des prix :

Cryolithe port français à destination des Etats Unis	171 US\$/tonne
Cryolithe CIF port Etats Unis en provenance de France	193 US\$/tonne

soit 22 US \$ de FOB à CIF.

1.4.2.2. Source SEMA (Cryolithe et fluorure d'aluminium)

Les tableaux A7, A8, A9 présentent les renseignements fournis par l'étude SEMA.

L'ancienneté de ces chiffres, qui remontent à 1966, d'une part, certaines inexactitudes d'autre part (les prix concernant l'Italie sont exprimés en milliers de Francs selon le texte de l'étude ; plus probablement ils sont exprimés en 10<sup>5</sup> Lires, ce qui conduit à un prix rétabli sous réserve) ne justifient pas une élaboration poussée des données.

**TABLEAU A 7 IMPORTATIONS EXPORTATIONS DE FRANCE (1966)**

**CRYOLITHE SYNTHETIQUE**

Unités : tonne métrique milliers de F.

Importations			Exportations			
Origine	Quantités	Valeurs	Destination	Quantités	Valeurs	US\$/Tonne
			U.S.A.	6 000	5 070	170,7
			Grèce	1 740	1 810	210
			Cameroun	660	700	214
			Canada	500	525	212
			etc...			
<b>Total</b>	<b>140</b>	<b>597</b>	<b>Total</b>	<b>8 900</b>	<b>8 105</b>	

**FLUORURE D'ALUMINIUM**

Unités : tonne métrique. milliers de F.

Importations			Exportations			
Origine	Quantités	Valeurs	Destination	Quantités	Valeurs	US\$/Tnet
Allemag.	380	525	Cameroun	4 140	5 500	268,7
Italie	160	170	Norvège	1 690	1 760	210
			Grèce	1 580	1 870	238
			USA	1 290	1 150	179,8
			Autriche	950	1 000	212
			Suisse	730	850	234
			Pologne	660	710	216
			Suède	650	710	220
			Hongrie	520	553	214
			etc...			
<b>Total</b>	<b>540</b>	<b>794</b>	<b>Total</b>	<b>13 480</b>	<b>15 500</b>	<b>233</b>

**TABLEAU A 8 IMPORTATIONS EXPORTATIONS D'ALLEMAGNE (OUEST) 1966**

**CRYOLITE SYNTHETIQUE**

Unités: Tonne métrique. Milliers de marks.

Importations			Exportations			US\$/Ton. métrique
Origine	Quantités	Valeurs	Destinat.	Quantités	Valeurs	
	608	403		8 300	7 693	232
			dont :			
			Norvège	5 695	5 144	285
			Canada	1 000	-	
			Suisse	162	239	368
			Autriche	102		

**FLUORURE D'ALUMINIUM**

Unités : Tonne métrique. Milliers de marks

Importations			Exportations			US\$/Ton. métrique
Origine	Quantités	Valeurs	Destinat.	Quantités	Valeurs	
	437	588		4 800	6 302	328
dont :			dont :			
France	130		France	590	785	332
Italie	140		Norvège	2 320	246	265

**TABLEAU A 9 IMPORTATIONS EXPORTATIONS D'ITALIE (1966)**

**CRYOLITHE SYNTHETIQUE**

Unités : tonne métrique - milliers de F.

Importations			Exportations			Prix US\$/ton. métrique	Prix réta- bli sous réserve
Origine	Quantités	Valeurs	Destinat.	Quantités	Valeurs		
			Norvège	3 550	439	248	198
	très faible		Pays-Bas	3 380	468	281	225
	très faible		Total	18 900	12 532	273	219

**FLUORURE D'ALUMINIUM**

Importations			Exportations			Prix US\$/ton. métrique	Prix réta- bli sous réserve
Origine	Quantités	Valeurs	Destinat.	Quantités	Valeurs		
			Japon	1 930	357	374	300
			Suisse	1 900	296	315	252
			etc...				
	300		Total	10 400	1 585	307	246

1.4.3. Analyse des propositions :

L'accélération des hausses que nous avons rencontrée précédemment est confirmée par les chiffres des propositions qui ont été faites par des groupes intéressés.

L'ensemble des prix proposés ou estimés pour le fluorure et la cryolithe est donné dans le tableau suivant :

**TABIEAU A 10 PRIX PROPOSES POUR LE FLUORURE D'ALUMINIUM ET LA CRYOLITHE**

Valeurs en US \$ par tonne

Sources	MONTEDISON	NORVEGE	SUISSE
<u>Fluorure d'aluminium</u>			
Juillet 1969	280		
Juillet 1970	330	273/364	360/405
<u>Cryolithe</u>			
Juillet 1969	240		
Juin 1970			
Juillet 1970	275	246 <sup>(1)</sup>	293/338

(1) Ce prix est inférieur au coût de production calculé dans l'étude économique

Des renseignements recueillis par le CENTRE D'INFORMATIONS DES NATIONS-UNIES à Vienne donnent les cours américains suivants (Août 1970 prix FOB).

Fluorure d'aluminium de 13 à 15 cents

la livre soit ..... 287 à 330 US\$/tonne

Cryolithe 225 à 240 par short tonne

soit ..... 248 à 265 US\$/tonne métrique

ce qui confirme bien les prix du tableau ci-dessus.

#### 1.4.4. Conclusions : prix retenus et considérations générales.

Ce n'est qu'à partir de 69 que les prix ont subi des hausses très importantes.

Nous retiendrons pour les calculs de l'étude économique,

- Acid grade : 60 US\$/tonne, ce qui est le prix élevé enregistré.

Nous serons ainsi dans le sens de la sécurité puisque l'usine achètera sa matière première au plus haut cours enregistré.

- Cryolithe et fluorure d'aluminium :

Cryolithe : 240 et 275 US\$

Fluorure d'aluminium : 280 et 330 US\$/tonne soit une hypothèse

optimiste de vente, mais qui correspond aux conditions actuelles, et une hypothèse extrêmement pessimiste puisque nous compterons l'acid grade à son prix actuel et les produits dérivés à leurs prix d'il y a un an, alors que l'acid grade a depuis subi une augmentation de près de 50 %

Ces prix sont ceux fournis par MONTEDISON pour les douze derniers mois. Ils sont bien dans l'éventail des prix recueillis. Ils présentent l'avantage d'être homogènes et d'être ceux d'un acheteur éventuel.

Remarquons, d'une manière générale, que le prix du fluorure d'aluminium est d'environ 50 US\$ supérieur à celui de la cryolithe.

Enfin, nous constatons depuis 1963 une augmentation constante des produits, la cryolithe passant de 190 US\$ sensiblement à plus de 250 US\$ et le fluorure du même prix 190 US\$ à 330 US\$ et plus même pour certains pays.

L'étude des coûts de production, enseigne la part de la matière première spath fluor.

Dans les conditions actuelles, elle est de 60 % dans le coût de production de l'acide fluorhydrique, et de près de 40 % dans le coût de production du fluorure d'aluminium et de la cryolithe.

Cette part très importante est déterminante dans le prix des produits finaux. Une demande mondiale de spath fluor temporairement supérieure à l'offre fera monter les prix, une pénurie mondiale conduirait à une escalade des prix contre laquelle les producteurs d'aluminium se prémunissent par l'intégration de leur production.

La demande constamment croissante des deux produits, la semi raréfaction du spath fluor (voir annexe II) conduisent donc à penser que les prix ne peuvent pas baisser dans les années à venir.

Aussi conduirons nous l'étude économique en adoptant les prix fixes choisis plus haut de 275 et 240 US\$/tonne pour la cryolithe et de 330 et 280 US\$/tonne pour le fluorure, mais tout porte à croire que ces prix augmenteront.

Les prix du fluorure d'aluminium et de la cryolithe étant étroitement liés à la situation mondiale du spath fluor, nous donnons ci-dessous un aperçu de la situation actuelle et des prévisions qui peuvent être avancées.

2. ACIDE FLUORHYDRIQUE

## **2.1 LES EMPLOIS**

En dehors de la fabrication d'hydrocarbures fluorés, de fluorure d'aluminium et de cryolithe, qui sont de très loin les principaux usages de l'acide fluorhydrique, (de 70 à 80 %), l'acide fluorhydrique est encore utilisé :

- a) dans la fabrication de certains sels minéraux, spécialité de quelques sociétés (LAPORTE INDUSTRIES en Grande Bretagne et RIMDEL en Allemagne)
- b) en chimie nucléaire, dans la préparation de l'uranium métal et du fluor élémentaire
- c) comme catalyseur d'alkylation (fabrication de détergents et d'additifs pour carburants)
- d) pour le décapage des métaux (plus particulièrement les aciers inoxydables)

Le tableau 1 de l'Annexe A2 donne la physionomie des ressources et des emplois de l'acide fluorhydrique dans les différents pays d'Europe, et la Fig. 1 la ventilation des emplois.

## **2.2 LES POSSIBILITES D'EXPORTATION POUR LA TUNISIE**

L'acide fluorhydrique est un produit dangereux dont le transport exige des emballages tout à fait spéciaux et des précautions particulières, soumis de plus à une réglementation sévère (le règlement prévoit que tout type de convoi ne doit pas comporter plus de 6 m<sup>3</sup> d'acide).

Ces caractéristiques expliqueraient déjà, à elles seules, la médiocrité des échanges internationaux (de l'ordre de 5.000 Tonnes entre les différents pays européens).

De plus, et par suite de ces difficultés de transport, l'industrie des dérivés fluorés est très fortement intégrée.

Il ne faut donc pas compter se limiter à des installations de fabrication d'acide fluorhydrique dans l'espoir d'exporter ce dernier.

Il est nécessaire de poursuivre la transformation du spath fluor en des produits plus élaborés, même si, accidentellement il est possible de fournir un fabricant de dérivés fluorés qui souffrirait d'une pénurie passagère.

Notons enfin simplement que les prix ont été constamment en hausse ces dernières années par suite de l'augmentation de la fluorine, 2 Dollars par tonne chaque année, et de l'augmentation concomitante des prix du soufre.

3. HYDROCARBURES FLUORES

### **3.1 LE MANCHE ET LES TENDANCES**

C'est le marché dont le volume des ventes est le plus important, et son volume aussi bien que sa croissance rapide retiennent l'attention :

Pour l'Europe Occidentale 35.000.000 US \$ en 1966, rien que pour les dérivés fluorés saturés, avec un taux d'augmentation de consommation de 20 %, c'est-à-dire une augmentation de 150 % en cinq ans. La baisse des prix des dérivés  $F_{11}$  et  $F_{12}$  dont le mélange est généralement utilisé ne permet pas de dire que le volume des ventes suivra la même progression que la consommation.

L'apparition récente de nouveaux produits  $F_{13}$ ,  $F_{14}$  et autres, de fabrication moins coûteuse, et utilisables pour les mêmes usages que les premiers produits  $F_{11}$  et  $F_{12}$  doit contribuer à consolider cette baisse des prix.

En fait dans ce domaine les prévisions datant de 1967 et annonçant une baisse des prix se sont parfaitement confirmées. La technique est en évolution constante aussi bien en ce qui concerne les processus mêmes de fabrication que la gamme de produits fabriqués.

Notons qu'à partir de 1960 les dérivés fluorés organiques sont devenus les plus gros consommateurs d'acide fluorhydrique, alors qu'auparavant c'était l'industrie de l'aluminium qui absorbait la part la plus importante de la production de ce même acide.

Malgré ce renversement de classement, les tendances ne sont pas les mêmes comme nous le verrons dans l'étude des perspectives dans les différents domaines d'utilisation.

### **3.2 LES UTILISATIONS**

Les utilisations de ces hydrocarbures fluorés sont les suivantes :

- produits frigorigènes
- aérosols
- mousses de polyuréthanes
- diverses (solvants)

### 3.2.1. Produits frigorigènes

#### 3.2.1.1. Consommation

Leur consommation est plus développée aux USA qu'en Europe.

1°) En effet la climatisation ne gagne que lentement en Europe, puisque les pays les plus chauds sont justement ceux dont le niveau de vie est le moins élevé, et que les pays à plus haut niveau de vie n'en ont pas un besoin impératif.

2°) La consommation d'aliments surgelés, bien qu'en augmentation constante, n'est pas encore assez importante en volume pour créer des besoins importants de stockage : en fait le stockage ménager n'est pas encore entré dans les mœurs et un certain nombre de contraintes retarderont son développement.

3°) La climatisation des voitures, qui gagne dans de nombreux pays, même pour des voitures modestes, n'est pas encore utilisée en Europe sur une échelle importante.

Dans l'ensemble la consommation européenne d'hydrocarbures fluorés comme fluides frigorigènes se répartissait comme suit en 1966 :

Allemagne .....	2.500 Tonnes
France .....	2.000 "
Grande Bretagne .....	2.000 "
Italie .....	2.000 "
Autres pays .....	3.500 "

#### 3.2.1.2. Evolution de la consommation

On estime que le secteur des fluides frigorigènes est celui dont la croissance aux Etats-Unis serait la plus faible.

Pour l'Europe Occidentale, l'accroissement de consommation de fluides frigorigènes serait de l'ordre de 10 %.

### 3.2.2. Les aérosols

#### 3.2.2.1. La consommation

Les bombes aérosols utilisent le propane, le butane, l'azote pour les produits pharmaceutiques, et les dérivés 11 et 12, 113 et 114 lorsque l'on a besoin d'un produit inerte, sans odeur, non toxique, non corrosif et ininflammable.

La consommation individuelle, en 1968, aux Etats-Unis atteint 10 bombes, dépassant de très loin le reste du monde.

Pour la France la consommation par capita a été de 3 bombes en 1966.

En ce qui concerne les usages industriels, le marché le plus important est constitué par le conditionnement des peintures; viennent ensuite le conditionnement des lubrifiants, des produits anti-corrosion, des détachants et on peut considérer que, pour 1969, la consommation de l'ensemble des pays de l'Europe Occidentale a été de plus de 160,000 Tonnes, (principalement en F<sub>11</sub> et F<sub>12</sub>).

#### 3.2.2.2. Evolution de la consommation

En 15 ans l'extension de ce mode de conditionnement a été spectaculaire.

Le pourcentage d'augmentation oscillant autour de 20 % par an, ayant atteint près de 35 % par an en France en 1962, et diminuant légèrement dans les années 66/67, le chiffre prévu pour la seule France était de 250 Millions de bombes pour l'année 1970.

Pour l'ensemble de l'Europe Occidentale l'évolution de la consommation, comme pour la plupart des articles correspondant à un certain niveau de vie, a suivi l'évolution de la consommation aux Etats-Unis, avec quelques années de retard.

Pour les Etats-Unis aussi bien que pour l'Europe Occidentale, c'est une croissance de l'ordre de 20 % qu'il semble raisonnable d'envisager.

### 3.2.3. Les mousses de polyuréthane

#### 3.2.3.1. Consommation

Elles sont employées d'une façon de plus en plus importante dans les industries de :

- l'ameublement
- l'automobile
- l'habillement
- l'emballage
- l'isolation thermique et acoustique et des revêtements de sol.

### 3.2.3.2. Evolution de la consommation

On prévoit un accroissement de la consommation de 20 % par an.

#### **REMARQUE :**

L'industrie des hydrocarbures fluorés dont la consommation, était déjà considérable (330.000 Tonnes en 1968 aux USA, et plus de 250.000 Tonnes pour l'Europe pour la même année), est en extension remarquable. On peut compter sur 10 à 15 % d'accroissement par an pour les Etats-Unis et 20 % environ comme taux moyen annuel d'accroissement en Europe pour les années 1970:75.

#### **REMARQUE :**

Pour compléter le tableau des hydrocarbures fluorés, il faut mentionner les dérivés non saturés et leurs polymères :

Tétrafluoroéthylène, chlorotrifluoroéthylène, difluoroéthylène et hexafluoropropylène,

qui servent exclusivement à la fabrication de résines aux propriétés tout à fait spéciales (résistance thermique, mécanique et aux agents chimiques).

Le marché de ces produits est faible en tonnage (3.000 Tonnes à peine pour l'Europe, 10.000 environ pour les Etats-Unis en 1967) mais important par son chiffre d'affaires, le prix au kilo étant de 10 à 20 US \$. Les prix sont également en baisse.

Compte tenu des difficultés techniques particulières inhérentes à la fabrication de ces résines, des marchés très étroits et très spécifiques, de la concurrence très vive entre américains et européens, ces produits ne présentent pas d'intérêt pour une valorisation du spath fluor tunisien.

### **3.3 LES POSSIBILITES D'EXPORTATION POUR LA TUNISIE**

Les perspectives attrayantes qui se dégagent de l'étude du marché mondial disparaissent en grande partie lorsque l'on approfondit les possibilités d'exportation de ces produits pour la Tunisie.

En effet, les obstacles suivants sont particulièrement sévères .

- 1°) Les producteurs européens sont des sociétés puissantes capables de couvrir les besoins du marché, et d'augmenter facilement leurs capacités de production en cas de nécessité. Elles disposent de moyens financiers considérables pour tenir les marchés qu'elles ont conquis.
- 2°) La lutte sur les prix serait donc très inégale.
- 3°) Des barrières douanières s'opposeraient à la pénétration des produits tunisiens (18 % pour des produits)
- 4°) L'effort commercial et de prospection serait considérable et hors de proportion avec ce que la Tunisie peut actuellement envisager dans ce domaine.

Ces circonstances conduisent donc à recommander de différer la fabrication d'hydrocarbures fluorés en Tunisie.

Une fois que l'industrie aurait fait sa percée avec d'autres produits d'écoulement plus aisé, rien n'empêcherait de reconsidérer les possibilités.

ANNEXES

## ANNEXE .1.

### BAUXITE;ALUMINE;ALUMINIUM

#### Augmentation de capacité de production dans les différents pays

Le nombre des nations productrices d'aluminium primaire dépasse maintenant la trentaine, et les pays producteurs de bauxite s'équipent de plus en plus pour augmenter leur production d'alumine ou d'aluminium après avoir résolu les problèmes d'énergie électrique.

Les projets d'extension sont considérables. Citons les plus importants pour bauxite, alumine et aluminium et particulièrement ceux qui pourraient être consommateurs de la production tunisienne de fondants.

#### 1. Europe

##### 1.1. Grèce

- La Kleusis Bauxite Mining Co., a repéré des gisements de bauxite sur les pentes du Monocete, et doit moderniser ses installations des mines d'Eleusis et de Lamia.

- Aluminium de Grèce, S.A. projette d'augmenter la capacité de ses installations à Paralia-Distomon de 280 000 tonnes à 560 000 tonnes d'alumine.

Le groupe Onassis-Reynolds Metals doit construire une usine de 560 000 tonnes d'alumine qui devrait fonctionner à moitié capacité en 1973 et à pleine capacité en 1978.

La production d'aluminium serait de 60 000 tonnes par an en 1975 et doublerait en 1978.

L'ensemble des investissements envisagés est de 250 millions de dollars.

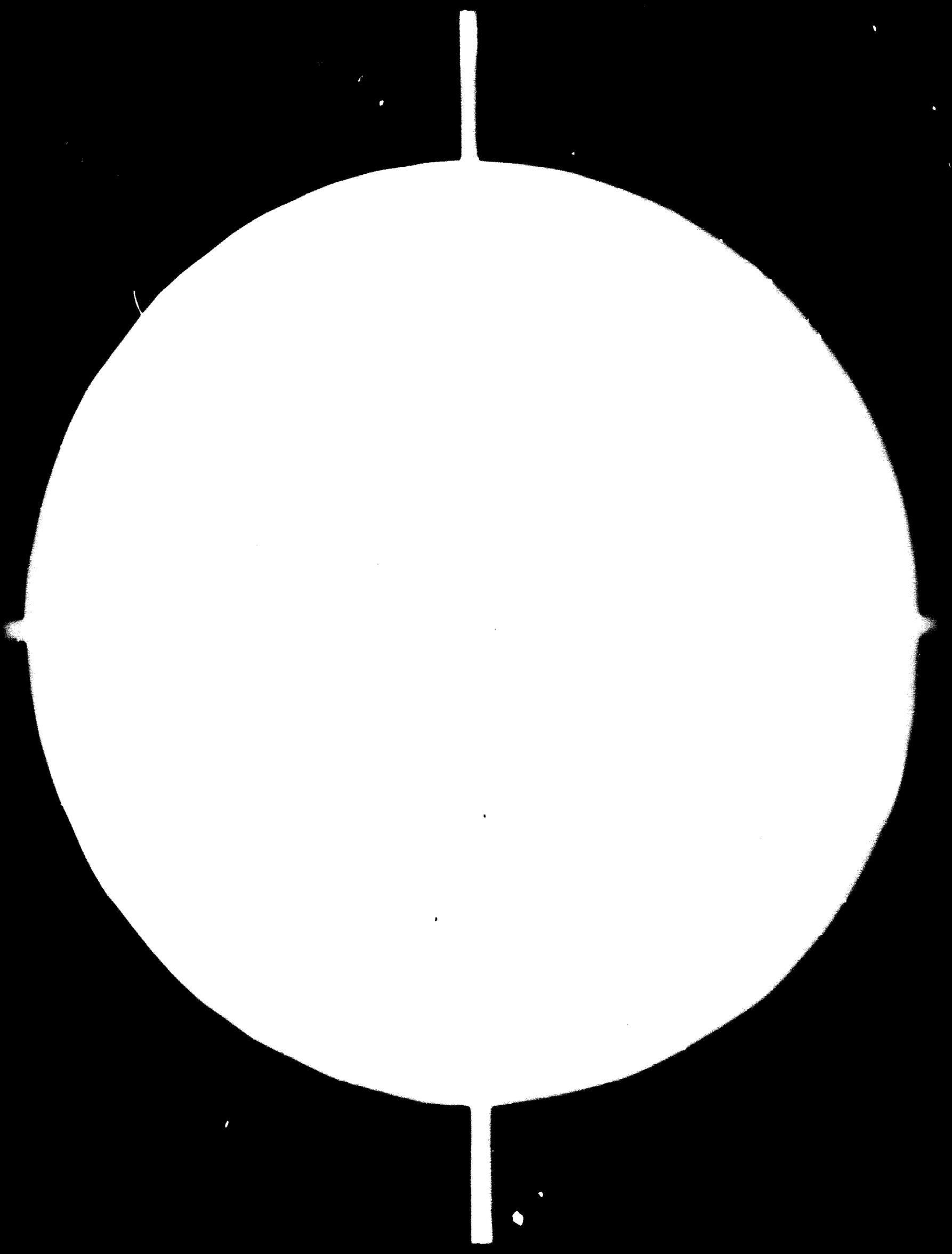
**C-536**



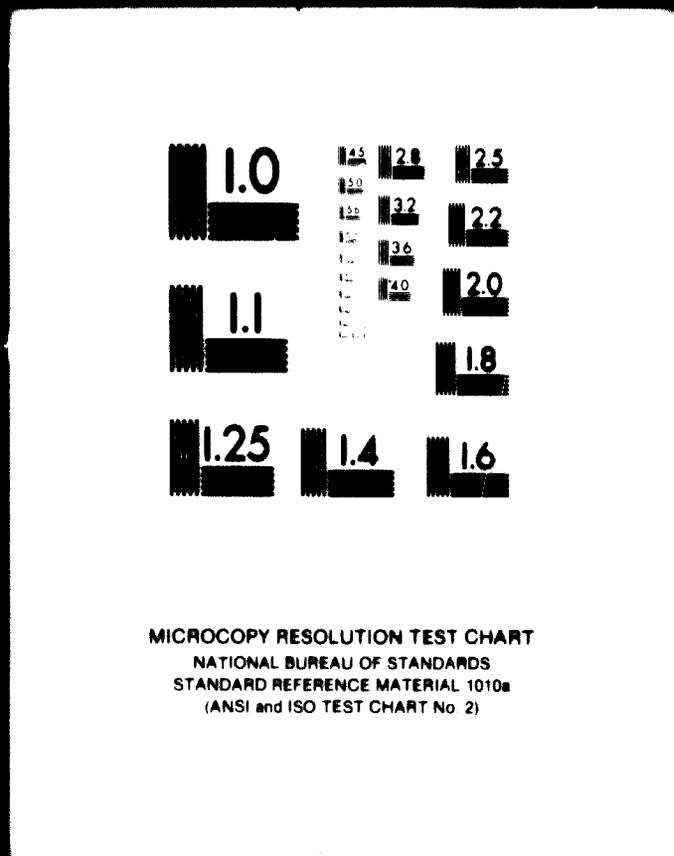
**84.10.16**

**AD.86.07**

**ILL5.5+10**



2 OF 3



24 x  
F

## 1.2. Italie

La production d'aluminium a été pour 1968 de 142 000 tonnes.

Eurallumina S.p.A., propriété de Alsar S.p.A., Comalco et Metallgesellschaft A.G. a en projet la construction d'une usine d'alumine en Sardaigne (à Sulcis-Iglesiente). L'usine doit avoir une capacité de 670 000 tonnes, pouvant être portée à 2 200 000 tonnes et être voisine d'une usine d'aluminium de 112 000 tonnes construite par Alsar, propriété de State Industrial Holding Co., Montedison et Société Traction et d'Electricité.

Cette usine d'alumine, dont l'achèvement est prévu pour la fin de 1971, utilisera de la bauxite australienne, fournie par des sociétés groupe Comalco.

L'usine d'aluminium serait également terminée en 1971 et serait la plus importante d'Italie.

Un autre projet comporte l'exploitation de gisements de leucite, contenant 17 à 18 % d'alumine, au Nord de Naples, sur procédé russe pour extraire l'alumine de roches volcaniques.

## 1.3. Yougoslavie

Projet d'une usine de 220 000 tonnes d'aluminium à Mostar (Bosnie-herzégovine).

## 1.4. Hongrie

La capacité de la plus grande usine d'alumine du pays, celle de Almasfüsitő passe de 175 000 à 320 000 tonnes.

## 1.5. Norvège

La Norvège, important producteur d'aluminium grâce à ses ressources en énergie hydroélectrique, envisage pourtant à l'heure actuelle l'utilisation de l'énergie atomique.

Ardal Og Sunndal Verk a terminé des agrandissements en 1968, et doit procéder à de nouveaux agrandissements de 365 000 tonnes en 1971.

La même compagnie, avec Det Norske Zinkkompani doit construire en 1970 une usine de 20 000 tonnes de fluorure d'aluminium près de Odda.

En 1970 également une usine d'Alnor à Haavok, dans l'île Karney, doit atteindre 132 000 tonnes annuelles.

L'usine de Lista peut atteindre une capacité de 110 000 tonnes annuelles (Elektrokemisk) depuis 1968.

#### 1.6. Espagne

Empresa Nacional del Aluminio S.A. (Endesa), le plus important producteur d'aluminium du pays, fusionnera avec Alcan Aluminio Iberico S.A. (Aliberico) dont Alcan Aluminium Ltd est actionnaire à 60 % Alcan aura 25 % des actions de la nouvelle société selon un accord entre Alcan et l'Instituto Nacional de Industria.

### 2. Afrique

#### 2.1. Guinée

Fin 1968 la BIRD a consenti un prêt de 64,5 millions de US \$ au gouvernement guinéen pour l'exploitation des gisements de Boké, à Sangaredi, exploités par la Compagnie des Bauxites de Guinée, dans laquelle figurent HALCO (51 %) et le gouvernement guinéen (49 %). Halco Mining Inc. est une firme américaine, consortium groupant Alcoa (27 %) et Harvey (20 %), Alcan (27 %), Pechiney Ugine Kuhlmann (10 %), Vereinigte Aluminium Werke (10 %) et Montedison (6 %).

On prévoit pour 1972 une extraction de 5,2 millions de tonnes de bauxite et une usine de traitement de 220 000 tonnes de bauxite calcinée.

D'un autre côté, la Compagnie Internationale pour la production de l'alumine doit agrandir ses installations d'extraction de bauxite et de traitement de l'alumine, ces dernières installations passant de 580 000 tonnes à 770 000 tonnes en 1970. (Actionnaires : Olin Mathieson Chemical Co US 48,5 % ; Pechiney et Ugine Kuhlmann (26,5 %) ; Alusuisse (10 %) ; The British Aluminium Co. Ltd 10 % et Vereinigte Aluminium Werke (5 %).

## 2.2. Mozambique

Projet de production de soude caustique, alumine et aluminium pour transformer la bauxite de Malawi et des gisements locaux.

## 3. Océanie

### 3.1. Australie

La production de bauxite en Australie est en accroissement extrêmement rapide l'Australie passant du 11<sup>ème</sup> rang mondial en 1964 avec 784 000 tonnes extraites au 4<sup>ème</sup> rang mondial en 1968 avec 4 880 000 tonnes (production sextuplée) et en voie de passer au second rang mondial après avoir dépassé l'U.R.S.S. (5 000 000 tonnes), le SURINAM 55 500 000 tonnes) le premier rang étant tenu par la Jamaïque avec 8 400 000 tonnes en 1968. Enormes réserves reconnues : 4 500 millions de tonnes à Weipa, et Cape York Peninsula 700 millions de réserves probables, à 40 % d'alumine.

Queensland Alumina Ltd, propriété de Kaiser Aluminium & Chemical Corp. Alcan, Péchiney et Consino Rio Tinto of Australia augmente également sa capacité, de 336 000 tonnes à un peu plus de 1 000 000 tonnes.

A Gove, Nabalco Pty. Ltd. augmente la capacité de ses installations de production d'alumine à 560 000 tonnes en 1971 et à 1 120 000 tonnes en 1974.

Amex Bauxite Corp. doit exploiter un gisement de 100 millions de tonnes et installer une usine de 600.000 tonnes d'alumine par an.

Western Aluminium Pty. Ltd. (filiale de Alcoa) a porté la capacité de ses installations de Kwinana à 915 000 tonnes en 1969 et doit atteindre 1 145 000 tonnes à la fin de 1970.

Nous indiquons ces renseignements plus pour montrer l'essor de l'industrie de l'aluminium que comme opportunité de vente car l'Australie demeure pour le moment, un producteur d'aluminium modeste (90 000 tonnes en 1964 et 110 000 tonnes en 1968).

#### 4. Amérique

##### 4.1. Costa Rica

L'accord est intervenu entre le gouvernement Costa Ricain et Alca pour la construction d'une usine d'alumine de 440 000 tonnes à San Isidro Del General.

#### 5. Asie

##### 5.1. Japon

En 1971 Mitsubishi Chemical Industries doit augmenter la capacité de ses installations à Naoetsu à 163 000 tonnes et construire une installation de 40 000 tonnes environ à Sakaide (Ile de Shikoku). La fonderie primaire de Tomakomai (Hokkaido) doit voir sa capacité portée à 145 000 tonnes en 1972.

En 1972, Sumito Chemical Co. doit augmenter la capacité de ses installations de Isoura à 62 000 tonnes.

Showa Denko K.K. augmente également la capacité de ses installations à Chiba et Omachi.

##### 5.2. Bahrain (Golfe Persique)

Aluminium Bahrain a annoncé qu'une installation fonctionnant au gaz naturel de 63 000 tonnes de capacité annuelle, d'aluminium primaire entrerait en fonctionnement en 1971.

## ANNEXE .II.

### MARCHE MONDIAL DU SPATH FLUOR

" Le spath-fluor est devenu aujourd'hui un produit clé de l'économie moderne. Malgré toutes les recherches qui ont été faites pour lui substituer d'autres produits, il demeure indispensable dans l'élaboration de l'acier et vital dans la fabrication de l'aluminium. Il reste aussi la seule source connue de l'acide fluorhydrique qui sert à la préparation de tous les dérivés fluorés dont les applications s'étendent à de nombreux secteurs de l'industrie chimique. Il est largement utilisé aussi comme flux dans l'industrie céramique".  
(A. CHEPMETTE, Mines et Métallurgie 1969 - 1970)

#### II.1 Production mondiale de spath fluor

La production mondiale de spath fluor progresse régulièrement et double tous les dix ans (voir fig. II-1 et tableau II-2)

ANNEE	1913	1929	1941	1957	1965	1966	1967	1968
Production mondiale en tonnes	217.000	416.000	883.000	1.750.000	2.763.616	2.844.841	3.209.954	3.514.000

D'après les meilleures sources d'information (the 1968 Bureau of Mines Minerals Year Book), la production de spath fluor dans le monde se décompose comme suit pour l'année 1968 (voir tableau II-3).

### PRODUCTION MONDIALE DE SPATH - FLUOR (1913 - 1968)

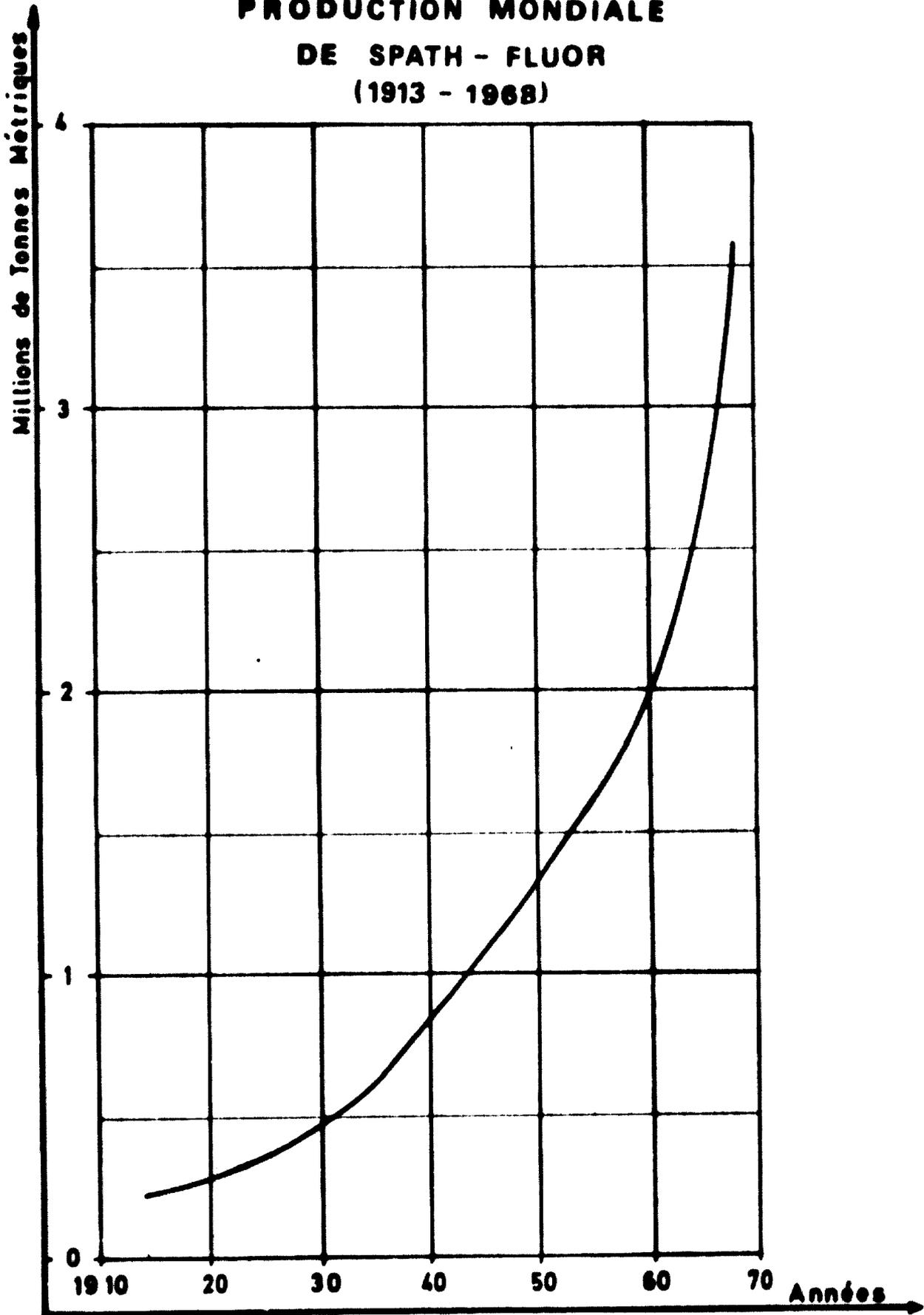
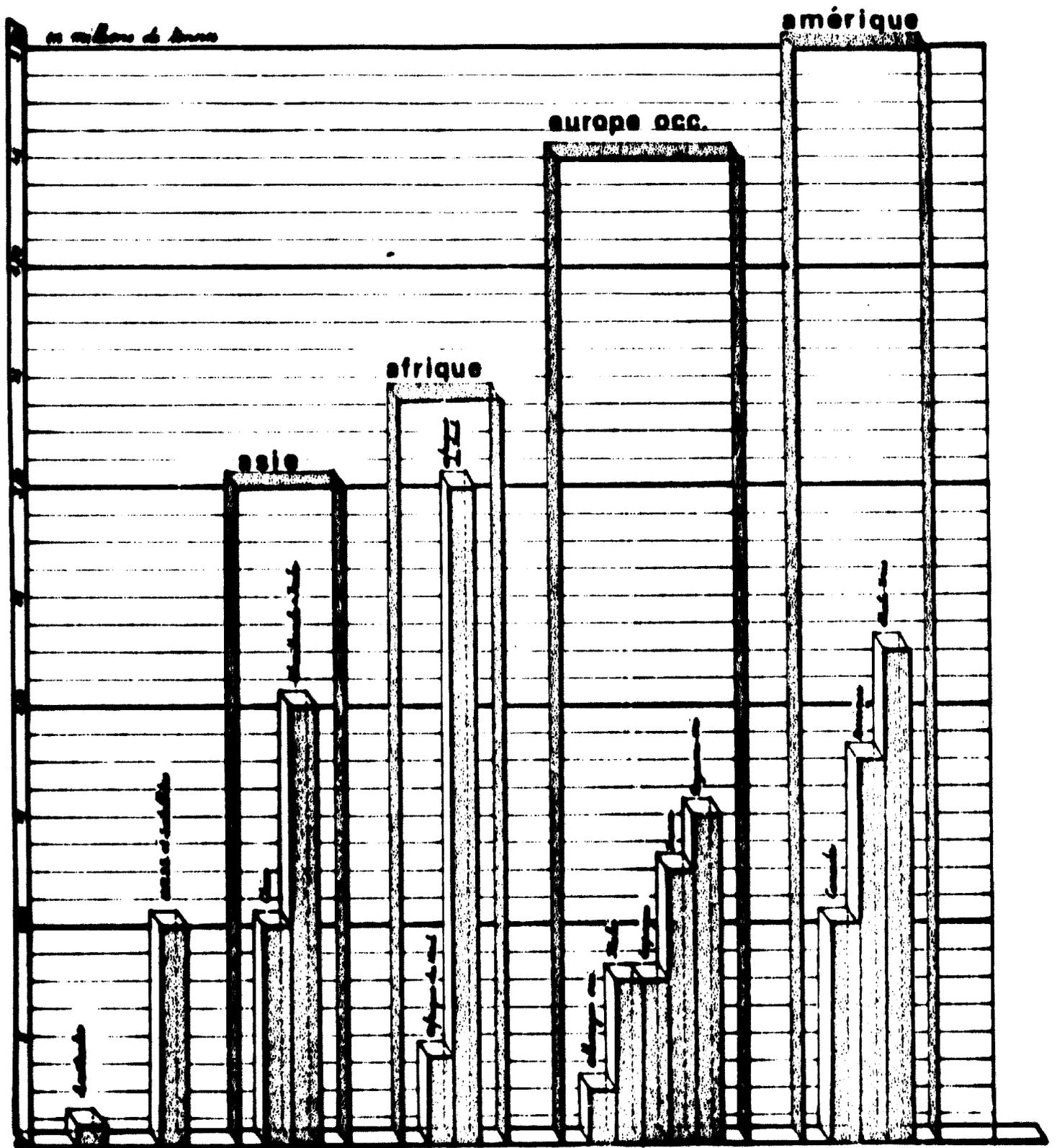


Fig. 2

Réerves Mondiales de spath fluor  
(estimations)



T A B L E A U 11-2

**PRODUCTION MONDIALE DE SPATH FLUOR PAR PAYS PRODUCTEUR**

EN MILLIERS DE TONNES

P A Y S	1963	1964	1965	1966	1967	1968
<b>AMERIQUE DU NORD</b>						
- Canada .....	77.095	87.072	101.984	71.653	85.258	88.886
- Mexique .....	481.519	642.740	735.230	725.939	784.994	926.047
- Etats-Unis .....	181.352	196.943	218.525	229.552	268.148	228.936
<b>AMERIQUE DU SUD</b>						
- Argentine .....	9.760	11.521	11.684	16.130	15.419	15.419
<b>EUROPE</b>						
- France .....	145.398	195.112	195.524	215.390	243.983	244.890
- Allemagne de l'Est ..	69.839	69.839	79.816	79.816	80.000	79.000
- Allemagne de l'Ouest	104.551	89.756	82.901	84.527	86.165	90.700
- Italie .....	134.605	124.666	147.832	195.180	203.168	225.843
- Espagne .....	153.368	149.650	220.625	208.895	242.630	225.774
- Suède .....	2.950	-	-	-	-	-
- R.U. ....	87.382	103.578	116.776	125.974	154.371	144.939
<b>AFRIQUE</b>						
- Maroc .....	6.349	6.568	2.997	2.993	-	-
- Nedhele .....	311	69	149	-	-	149
- Afrique du Sud .....	52.389	60.252	65.772	81.871	97.956	108.537
- Afrique du Sud Ouest	435	-	-	-	-	-
- Tunisie .....	-	-	2.993	2.624	3.990	5.849
<b>ASIE</b>						
- Chine Populaire .....	199.540	199.540	217.680	253.960	253.960	253.960
- Inde .....	707	389	550	1.068	1.56	1.181
- Japon .....	20.894	19.117	16.511	14.035	11.669	15.722
- Corée du Nord .....	29.931	29.931	29.931	29.931	29.931	29.931
- Corée du Sud .....	39.776	56.385	39.158	32.001	56.955	46.594
- Mongolie .....	48.978	57.141	75.281	75.281	75.281	59.862
- Thaïlande .....	29.224	63.525	51.818	48.017	133.124	244.890
- Turquie .....	652	1.302	1.076	1.504	-	2.003
- U.R.S.S. et Pays-Bst	272.100	299.300	349.200	349.200	380.900	445.000
<b>TOTAL</b> .....	<b>2.148.105</b>	<b>2.444.397</b>	<b>2.763.616</b>	<b>2.844.841</b>	<b>3.209.154</b>	<b>3.514.000</b>
§ accroissement de la production .....		13,7	12,4	3,7	13,5	9,2

TABLEAU N°11-3

		<u>Année 1968</u>	
<u>AMERIQUE</u> .....	1.000 T	1.258	35,0 %
dont Canada .....	"	89	
" Mexique .....	"	926	
" U. S. A. ....	"	227	
" Argentine .....	"	16	
<u>EUROPE OCCIDENTALE</u> .....	"	963	27,0 %
dont Allemagne (R.F.A.) .....	"	91	
" France .....	"	245	
" Espagne .....	"	256	
" Grande-Bretagne .....	"	145	
" Italie .....	"	226	
<u>BLOC SOVIETIQUE</u> .....	"	655	18,5 %
dont U.R.S.S. ....	"	445	
" Allemagne (R.D.A.) .....	"	80	
" Bulgarie .....	"	20	
" Mongolie .....	"	60	
" Tchécoslovaquie .....	"	50	
<u>ASIE</u> .....	"	592	16,5 %
dont Chine .....	"	254	
" Corée du Nord .....	"	30	
" Corée du Sud .....	"	47	
" Japon .....	"	16	
" Thaïlande .....	"	245	
<u>AFRIQUE</u> .....	"	115	3,0 %
dont République Sud-Africaine .....	"	109	
" Tunisie .....	"	6	
<u>TOTAL MONDE</u> . .		3.583	100 %

Le marché international demeure dominé par les énormes besoins des Etats-Unis qui consomment près du tiers de la production mondiale et n'en produisent que 8 %. De même le Japon, très démuné sur son territoire, consomme 25 fois plus qu'il ne produit. A l'exception de quelques pays encore assez peu industrialisés (Mexique, Thaïlande) les plus grands producteurs se trouvent en même temps les plus importants consommateurs. Mis à part l'Allemagne Fédérale qui importe plus de la moitié de ses besoins, les pays producteurs de l'Ouest Européen (Espagne, France, Grande-Bretagne, Italie) disposent d'un large excédent (40 %) disponible pour l'exportation.

Enfin il existe un certain nombre de pays non producteurs (Europe Occidentale et Orientale, Inde, Australie) qui doivent importer la totalité de leurs besoins.

La production du bloc soviétique ne représente que 18 % du total et la part de l'Afrique demeure faible (3,0 %) par suite du non démarrage escompté du Mozambique et de la Tunisie.

Nous avons mentionné dans le Tableau N°II-2 la production mondiale de spath fluor par pays entre 1963 et 1968.

Les besoins ont été satisfaits, semble-t-il, par la production que nous venons d'étudier, et il n'y a pas eu véritablement de hausse de prix, sinon celle pouvant correspondre, en fait, à la dépréciation habituelle de la monnaie.

Les prix relevés dans les dernières années ont en effet été les suivants :  
(extraite de MINERALS YEARBOOK de 1964, 67 et 68)

Janvier 1964	45 US \$	FOB Illinois	(par camions)
Décembre 1964	45 US \$	id	id
Décembre 1967	51 US \$	id	id
id	40 à 45	Mexique	en vrac
	44,50 à 45,50	Europe	
Décembre 1968	54 US \$	USA	par camions
id	40 à 41	Mexique	en vrac

Il existe donc un écart très important entre les prix pratiqués aux USA et les prix pratiqués par les autres pays exportateurs.

Signalons que l'étude SEMA mentionne que les offres les plus sérieuses recueillies pour l'acid-grade tunisien étaient de 170 à 200 F.F. FOB Tunis, 34 à 40 US \$ sensiblement, pour l'année 1967

## II.2. Prévisions de l'évolution de la consommation de spath fluor toutes qualités dans le monde

Nous avons vu dans le paragraphe précédent le développement de la production du spath fluor dans le monde de 1913 à 1968 ; l'augmentation dépasse légèrement 10 % par an.

Comme il n'y a pas eu de pénurie connue jusqu'en 1967/68 au moins, on peut considérer que la production a bien satisfait les besoins, besoins qui ont donc augmenté au même taux que la production.

En fait chaque secteur a son propre taux d'accroissement, taux qui peut ne pas être constant dans l'avenir, si une saturation du marché apparaît.

### II.2.1. Source "Mines et Métallurgie", Mai 1970, article de M. CHERMETTE déjà cité.

Il est prévu dans cet article un doublement de la consommation d'aluminium au bout de dix ans, augmentation de consommation qui correspond à celle que nous avons trouvée précédemment.

Pour l'acier on retient également un doublement de la consommation.

Pour les fluorocarbones et tous les dérivés organiques et inorganiques du fluor, il est envisagé un accroissement annuel de 10 à 15 %.

Seule, est-il précisé, l'évolution de la qualité céramique semble devoir demeurer beaucoup plus modérée.

A partir des chiffres certains de la production mondiale d'aluminium et d'acier pour 1968, et d'estimations pour les tonnages de spath fluor consommés par les industries chimiques et céramiques on arrive aux statistiques prévisionnelles suivantes pour l'année 1980 :

	1968	1980
Acier .....	1,35	3,15
Aluminium .....	0,52	1,30
Chimie .....	1,10	2,60
Céramique et divers ....	0,25	0,45
<b>T O T A L . . . . .</b>	<b>3,22</b>	<b>7,50</b>

Ces chiffres appellent les remarques suivantes :

Prévoir 2,60 Mt pour 1980 quand la consommation de 1968 est de 1,10, c'est prendre en compte un taux d'accroissement de 7,4 %, nettement différent de celui annoncé compris entre 10 et 15 %.

Les chiffres rectifiés seraient les suivants :

Pour un taux de 10 % la consommation en 1980 serait de 3,45 Mt.

Pour un taux de 15 %, elle serait de : 5,9 Mt

et dans les deux cas de figure la chimie deviendrait le plus important consommateur de spath fluor, devant la sidérurgie.

Les prévisions d'accroissement de la consommation mondiale seraient alors les suivantes : (en gardant les taux proposés dans cet article)

	Taux d'accroissement des besoins en %	Besoins en Mt	
		1968	1980
Acier .....	7,2	1,35	3,15
Aluminium .....	7,2	0,52	1,20
Chimie .....	pour 10 %	1,10	3,45
	pour 15 %	1,10	5,90
<b>TOTAL . . .</b>		<b>3,22</b>	<b>de 8,25 à 10,70</b>

Nous retiendrons 10 Mt, ce qui correspond à très peu près à un taux d'accroissement global annuel de 10 %.

### II.2.2. Source SEMA

Pour aluminium:

Le taux d'expansion retenu pour la métallurgie de l'aluminium primaire est de 8 %.

Pour les hydrocarbures fluorés :

Aérosols taux supérieur à 20 % pour une période dépassant 1968/1973.

Liquides frigorigènes : taux d'accroissement de 10 %.

Pour mousses de polyuréthane 20 % environ.

La consommation se répartissant ainsi :

Aérosols .....	75 - 80 %
Froid .....	10 - 15 %
Agent d'expansion pour mousse de polyuréthane ..	10 - 15 %
Polymères .....	1 %

Pour l'ensemble des hydrocarbures, le taux à retenir serait de 15 à 20 %, sans que l'on puisse mieux préciser par suite des incertitudes affectant les consommations de pays tels que l'Espagne, la Pologne, la Suisse etc...

Au rythme de croissance actuel, on estime que la fabrication des hydrocarbures fluorés constituera dans les cinq années qui viennent le principal emploi de l'acide fluorhydrique.

On peut considérer d'une manière générale que les estimations de SEMA, en ce qui concerne les besoins de la chimie sont quelque peu supérieures à celles de MINES ET METALLURGIE, et que les chiffres que nous avons retenus sont des minima.

### II.2.3. Récapitulation

Comme il est précisé justement dans MINES ET METALLURGIE, les prévisions précédentes demeurent assez largement approximatives.

Pourtant, même si des stagnations peuvent être envisagées (aérosols aux Etats-Unis, par suite de la concurrence des hydrocarbures) la consommation de spath fluor devrait s'accroître à un taux de 10 % sensiblement, et les besoins seraient alors les suivants :

Prévisions des besoins mondiaux en spath fluor

Année	n	Coefficient d'accroissement des besoins	Besoins annuels en millions de tonnes	Besoins cumulés en millions de tonnes	Réserves restantes
1968	1	1	3,51	3,51	170
1969	2	1,10	3,86	7,37	162,60
1970	3	1,21	4,25	11,62	158,40
---	--	---	---	---	---
1980	13	3,14	11	86	84
---	--	---	---	---	---
1985	18	5,56	19,5	160	10

Les réserves mondiales sûres et probables d'après M. CHORNETTE (Mines et Métallurgie de Mai 1970) s'élèveraient à 170 M. de tonnes de minerais à 45 % Ca F<sub>2</sub> en moyenne soit 77 Mt de fluorine pure.

On constate donc que ces réserves seraient épuisées en 1985, dans 15 ans, si d'autres sources de fluor n'étaient pas trouvées d'ici là.

Il existe d'autres sources de fluor :

- Gisements non reconnus de spath fluor (Continents très peu prospectés comme Afrique et Amérique du Sud)
- Gisements reconnus à faible teneur en Ca F<sub>2</sub>
- Phosphate naturel où l'on dose en général 3 % environ de fluor pur.

Il est probable toutefois que la perspective d'un manque de matière première pour satisfaire des besoins mondiaux considérables a provoqué le décollage des prix en 1970 (Pour la Tunisie 44 US \$ FOB Tunis, en Novembre 69, 60 US \$ en Juin 70 pour l'acid-grade).

**ETUDE**  
**TECHNIQUE**

## S O M M A I R E

	<u>Pages</u>
<b><u>CHAPITRE 1 : Matières Premières</u></b>	
1.1. SPATH-FLUOR	1
1.1.1. Généralités	1
1.1.2. Spath-fluor dans le monde	2
1.1.3. Spath-fluor en Tunisie	4
1.1.4. Capacité de l'installation	5
1.2. ACIDE SULFURIQUE	
1.2.1. Généralités	6
1.2.2. Acide sulfurique en Tunisie	7
1.2.3. Etude d'une unité de 200 t/j de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8
<b><u>CHAPITRE 2 : Installation de production d'acide fluorhydrique</u></b>	
2.1. USAGE	11
2.2. PREPARATION D'ACIDE FLUORHYDRIQUE ANHYDRE	11
2.2.1. Principe	11
2.2.2. Procédé de fabrication	12
2.2.3. Appareillage	15
2.3. CONSOMMATIONS SPECIFIQUES ET BILAN MATIERES	
2.3.1. Consommation matières premières	15
2.3.2. Consommation services généraux	16
2.3.3. Sous-produits obtenus	16
2.3.3.1. Anhydrite brut	
2.3.3.2. HF de faible concentration	
2.3.4. Bilan matières annuelles	16

<b><u>CHAPITRE 3</u></b>	<b>: <u>Installation de production de Al F<sub>3</sub></u></b>	
3.1.	USAGE	18
3.2.	QUALITES DES PRODUITS DE DEPART	18
3.2.1.	Acide fluorhydrique	18
3.2.2.	Hydroxyde d'Aluminium	18
3.3.	PREPARATION DU FLUORURE D'ALUMINIUM	19
3.3.1.	Description du procédé	19
3.4.	CONSOUMATIONS SPECIFIQUES ET BILAN MATIERES	20
3.4.1.	Consommation matières premières	20
3.4.2.	Consommation services généraux	20
3.4.3.	Chiffres de garantie par Montedison	21
3.4.4.	Bilan matières annuel	21
<b><u>CHAPITRE 4</u></b>	<b>: <u>Installation de production de cryolithe</u></b>	
4.1.	USAGE	22
4.2.	FABRICATION	22
4.2.1.	Préparation de cryolithe	22
4.3.	QUALITES DES PRODUITS DE DEPART	23
4.3.1.	Acide fluorhydrique	23
4.3.2.	Hydroxyde d'Aluminium	23
4.3.3.	Chlorure de sodium	24
4.3.4.	Soude caustique	24
4.4.	CONSOUMATIONS SPECIFIQUES ET BILAN MATIERES	24
4.4.1.	Consommation matières premières	24
4.4.2.	Consommation services généraux	24
4.4.3.	Chiffres de garantie par Montedison	25
4.4.4.	Bilan matières annuel	25

<b><u>CHAPITRE 5</u></b>	<b>: <u>Etude du site</u></b>	
5.1.	<b>ONDIX DU SITE</b>	<b>25</b>
5.1.1.	Cas du port de la Goulette	26
5.1.2.	Cas de Djebel Djeloud (STEC)	28
5.1.3.	Cas de Hammam Zriba	28
5.2.	<b><u>CARACTERISTIQUES DU SITE DE TUNIS</u></b>	<b>29</b>
<b><u>CHAPITRE 6</u></b>	<b>: <u>Récapitulatif des Eléments pour le calcul du Prix de revient</u></b>	
6.1.	SPECIFICATION DU PROJET	34
6.2.	BILAN MATIERES ANNUEL ET PRIX UNITAIRE	34
6.3.	EFFECTIF DU COMPLEXE	35
6.4.	CAPACITE DE STOCKAGE	38
6.5.	INVESTISSEMENT	38

**CHAPITRE .1.**

**MATIÈRES PREMIÈRES**

## 1.1. SPATH FLUOR

### 1.1.1. Généralités

Le spath-fluor est la matière de base pour la production d'acide fluorhydrique, c'est un fluorure de calcium de formule  $Ca F_2$ . Les gisements de spath-fluor sont relativement peu nombreux dans le monde. La teneur moyenne du tout venant est de l'ordre de 35 % de  $Ca F_2$  et de 40 % de sulfate de baryum.

Pour le besoin de la fabrication d'acide fluorhydrique, le minerai de spath-fluor est concentré par flottation ou par liqueurs denses. On distingue, en fonction du titre et de la pureté obtenue plusieurs qualités :

- la qualité "acid-grade" destinée aux emplois chimiques (plus de 97,5 % de fluorure de calcium, moins de 1 à 1,5 % de silice, etc...)
- les qualités "métallurgical grade" et "céramic grade" pour les minerais de plus faible concentration et qui comportent des impuretés (silice, soufre, sulfates de baryum, etc...) en quantité trop importante et destinés aux emplois de fondant dans la sidérurgie.

Aux U.S.A. les statistiques montrent que les principaux emplois de spath-fluor sont les suivants :

- plus de 99 % de l' "acid-grade" sert à préparer HF.
- plus de 95 % du "métallurgical grade" est utilisé comme fondant en sidérurgie à raison d'une tonne de spath-fluor pour 500 tonnes d'acier produit.
- près de 80 % du "céramic-grade" passe dans l'industrie du verre et des émaux.

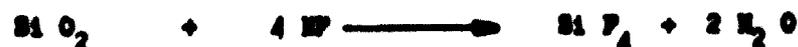
La qualité du spath-fluor utilisé provient de minerai traité par flottation correspondant en gros aux spécifications suivantes :

- fluorine	= $Ca F_2$	minimum	97,5 - 98 %
- silice	= $Si O_2$	maximum	1,00 %
- soufre	= S	"	0,05 %
- calcaire	= $Ca CO_3$	"	1,00 %
- humidité	= $H_2 O$	"	0,1 %

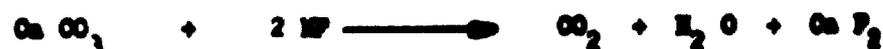
Le taux de la silice ou le silicate, des carbonates, des sulfures métalliques doit être réduit au minimum à cause des réactions secondaires qui interviennent au

course de la fabrication de l'acide fluorhydrique et qui diminuent le rendement de l'opération :

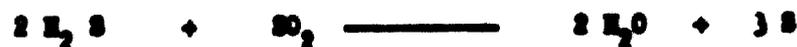
- la silice réagit sur l'acide pour donner Si F<sub>4</sub> et H<sub>2</sub>O



- les carbonates de calcium donnent du CO<sub>2</sub> et de l'eau



- les sulfures métalliques accompagnent presque toujours le spath ; par attaque acide on obtiendra de l'hydrogène sulfuré qui, en présence de l'anhydride sulfurique donnera du soufre et de l'eau,



Les agents de flottation doivent être également en très faible proportion (100 ppm).

La granulométrie du spath doit être inférieure à 200 microns.

#### 1.1.2. Spath-fluor dans le monde :

Il existe des gisements de spath-fluor, de tailles diverses, dans un assez grand nombre de pays. C'est toutefois en Amérique du Nord et en Europe que se trouvent les principaux d'entre-eux.

D'après les meilleures sources d'information (The 1968 Bureau of Mines Minerals Year Book), la production de spath-fluor dans le monde se décompose comme suit pour l'année 1968 :

<b>AMÉRIQUE</b> .....	1.000 T	1.278	35,3 %
dont Canada .....	"	89	
" Mexique .....	"	906	
" U.S.A. ....	"	227	
" Argentine .....	"	16	
<b>EUROPE OCCIDENTALE</b> .....	"	1.003	28,5 %
dont Allemagne (R.F.A.) .....	"	91	
" Espagne .....	"	256	
" France .....	"	270	
" Grande-Bretagne .....	"	180	
" Italie .....	"	206	

<b>BLOC SOVIETIQUE</b> .....	"	<b>385</b>	<b>16,4 %</b>
dont U.R.S.S. ....	"	<b>375</b>	
" Allemagne (R.D.A.) .....	"	<b>80</b>	
" Bulgarie .....	"	<b>20</b>	
" Mongolie .....	"	<b>60</b>	
" Tchécoslovaquie .....	"	<b>50</b>	
<b>ASIE</b> .....	"	<b>592</b>	<b>16,6 %</b>
dont Chine .....	"	<b>254</b>	
" Corée du Nord .....	"	<b>30</b>	
" Corée du Sud .....	"	<b>47</b>	
" Japon .....	"	<b>16</b>	
" Thaïlande .....	"	<b>245</b>	
<b>AFRIQUE</b> .....		<b>115</b>	<b>3,2 %</b>
dont République Sud-Africaine .....		<b>109</b>	
" Tunisie .....		<b>6</b>	
<b>TOTAL monde</b> . . . . .		<b>3.573</b>	<b>100 %</b>

Le marché international demeure dominé par les énormes besoins des Etats-Unis qui consomment près du tiers de la production mondiale et n'en produisent que 8 %. De même le Japon, très démuné sur ce territoire, consomme 25 fois plus qu'il ne produit. A l'exception de quelques pays encore assez peu industrialisés (Mexique, Thaïlande) les plus grands producteurs se trouvent en même temps les plus importants consommateurs.

La production de l'Afrique demeure faible (3,2 %) par suite du non démarrage excepté du Mozambique et de la Tunisie.

### 1.1.3. Spath-fluor en Tunisie

Les réserves de spath-fluor très importantes en Tunisie n'ont pas encore été complètement testées. Néanmoins, dans l'état actuel des reconnaissances on peut les évaluer d'après le rapport de synthèse du comité sectoriel des Mines et de l'Energie Août 1968, à 4.670.000 Tonnes (dont 31 % de minerai à vue) titrant en moyenne :

- 35 à 40 %  $\text{Ca F}_2$
- 50 à 55 %  $\text{Ba SO}_4$  -  $\text{Sr SO}_4$
- 0,6 %  $\text{Pb} - \text{Zn}$

La répartition géographique de ces mines est la suivante :

- Hammam Zriba : 1.835.000 tonnage sûr et 3.200.000 tonnage probable
- Djebel Kohol : 600.000 tonnage sûr dont 400.000 exploitable à ciel ouvert
- Djebel STAA : l'état actuel des reconnaissances n'est pas encore achevé mais il s'agit de reconnaître un panneau d'une superficie de 200.000 m<sup>2</sup> environ.

Ce minerai est constitué par des lentilles très riches en fluorine dans une gangue calcitique. Un spath métallurgique marchand (70 à 75 %) peut être obtenu après simple triage manuel.

Le travail d'une détermination exacte des réserves de spath-fluor en Tunisie reste à faire tant pour ces gisements que ceux de Mtak, Hammam Djedidi, etc...

Actuellement une mine de spath-fluor est exploitée, à Hammam Zriba, près de Zaghouan. Sa capacité est prévue pour le traitement de 100.000 Tonnes par an de minerai brut, à partir desquels on extrait pratiquement 25.000 Tonnes par an "d'acid-grade". Après quelques difficultés de démarrage l'Usine n'a pu obtenir son rendement maximum qu'à la fin de 1969. Elle n'a été mise au point que récemment.

L'Usine avait été conçue par le groupe Allemand "KRUPP" et a démarré le 25 Mars 1969.

La qualité de l' "acid-grade" obtenue par l'usine est la suivante :

$\text{Ca F}_2$ .....	97,5 - 98 %
$\text{Ca CO}_3$ .....	1 %
$\text{Si O}_2$ .....	0,2 %
$\text{Ba SO}_4$ .....	0,25 %
$\text{Sr SO}_4$ .....	0,10 %

Alors que la qualité de l' "acid-grade" susceptible d'être vendue ou transformée en acide fluorhydrique est la suivante :

Ca F <sub>2</sub> .....	97 %
Si O <sub>2</sub> .....	1 % max.
Ca CO <sub>3</sub> .....	1 % max.
Soufre .....	0,003 % max.
Subst. organiques .....	0,01 % max.
Impuretés inorganiques .....	1 % environ

Donc par comparaison la qualité de l' "acid-grade" obtenue par l'usine de Hammam-Eriba est bonne.

#### 1.1.4. Capacité de l'installation

Dans le cas le plus défavorable on peut évaluer la réserve tunisienne de spath-fluor, tonnage sûr à 2.600.000 Tonnes environ.

Sur la base d'une consommation de spath (97 % F<sub>2</sub> Ca) de 74 T/j base de ce projet (Précédé MONTEDISON) soit 24.000 T/an il nous faudrait :

$$\frac{74 \text{ T/j} \times 100}{25} = 296 \text{ T/jour de minerai brut provenance Hammam-Eriba}$$

(25 % de F<sub>2</sub> Ca par rapport au minerai brut est le chiffre obtenu dans la pratique à Hammam-Eriba). Ce taux de transformation 25 % est le plus bas surtout par comparaison du minerai de Djebel STAA dont le taux en fluorine est de l'ordre de 70 à 75 %. Le titre moyen des minerais comme nous l'avons mentionné se situe entre 35 et 40 % en fluorine : F<sub>2</sub> Ca.

Donc la consommation annuelle de minerai brut est de l'ordre de 100.000 T/an (296 x 330 = 97.680 T/an).

En tenant compte pour l'amortissement de l'Usine d'un temps moyen de l'ordre de 20 ans il nous faudrait une réserve de minerai brut de :

$$100.000 \times 20 = 2.000.000 \text{ Tonnes}$$

Cette réserve est sûre, même si on tient compte de l'importation éventuelle de l'acid-grade pendant les premières années.

Pour mémoire la production tunisienne de fluorine s'est élevée de 2.500 T en 1967 à 5.450 T en 1968, dont 4.220 T ont été exportées :

2.900 T vers la R.F.A.  
800 T en Suisse  
500 T au Danemark

## 1.2. ACIDE SULFURIQUE

### 1.2.1. Généralités

C'est la seconde matière première importante pour la fabrication de l'acide fluorhydrique.

Les quantités théoriques calculées à partir de l'équation réactionnelle de base sont de l'ordre de 2,5 tonnes d'acide sulfurique pour 1 tonne d'acide fluorhydrique.

En pratique, les chiffres de consommation garantie par BUSE et MONTEDISON sont : pour une tonne de HF 100 % il faut 2.800 kgs de SO<sub>4</sub> H<sub>2</sub> 100 % (BUSE)

(  $\frac{H_2 SO_4}{Olcum} = \frac{2}{1}$  environ ) MONTEDISON donne 2.750 kgs.

Par conséquent pour 35 T/jour de HF 100 % il nous faut 35 x 2,75 = 96,25 T/jour de SO<sub>4</sub> H<sub>2</sub> 100 %.

Si on estimait ces dernières années que la taille minimale de production de H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> véritablement économique était de 100 T/jour, actuellement les importantes sociétés chimiques n'envisagent plus de construire pour leur propre compte des unités dont la capacité soit inférieure à 150 - 200 T/jour.

Par conséquent il serait utile de faire un calcul économique pour déterminer quelle serait la meilleure des solutions suivantes :

- soit monter une unité d'acide sulfurique de 97 T/jour même si cette capacité se situe au-dessous du seuil de rentabilité généralement admis, comme c'est le cas ici.

- soit monter une unité d'acide sulfurique de 200 T/jour : dans le cadre d'une usine existante ayant des besoins d' SO<sub>4</sub> H<sub>2</sub> complémentaires soit 30.000 T/an. C'est le cas S.T.E.C.

- soit acheter l'acide sulfurique à d'autres entreprises et dans ce cas le coût de l'acide sera grévé des frais de transport et de manutention. L'inconvénient majeur de cette solution est qu'il faudrait acheter pratiquement toute la quantité d'énergie électrique.

- soit de concrétiser un complexe d'engrais phosphatés juxtaposé à l'usine de dérivés fluorés avec une unité d'acide sulfurique largement dimensionnée pour les besoins de la fabrication d'acide phosphorique et d'acide fluorhydrique.

Quelle que soit la solution adoptée il faudrait :

- de l'acide sulfurique 98 % techniquement pur et exempt de bouillie de plomb, ferrique ou arsénicale.

- de l'oléum 20 % ( $SO_3$ ) techniquement pur et exempt de bouillie ferrique, de plomb ou arsénicale.

La matière première envisagée pour la production d'acide sulfurique peut être soit la pyrite soit le soufre.

### 1.2.2. Acide sulfurique en Tunisie

L'acide sulfurique est fabriqué en Tunisie par la SIAPE, N.P.K. à Sfax et la STEC à Tunis ; c'est un produit capital pour l'enrichissement et pour la transformation des phosphates en engrais. Le tableau N° 1 indique la production actuelle d'acide sulfurique en Tunisie ainsi que les prévisions pour l'année 1972.

TABLEAU N° 1

### PRODUCTION D'ACIDE SULFURIQUE EN TUNISIE

(milliers de tonnes)

Année	1964		1968		Prévisions 1972	
	A partir de Soufre importé	Pyrites Espagnoles	Soufre importé	Pyrites Espagnoles	Soufre importé	Pyrites Espagnoles
S.I.A.P.E. à Sfax	180	-	250	-	300	-
N.P.K. à Sfax	150	-	180	-	215	-
STEC à TUNIS	-	20	-	20	-	20
I.C.M. à GABES	-	-	-	-	360	-
TOTAL	330	20	430	20	875	20
TOTAL Intégral	350		450		895	

Si, comme le prévoit le plan quadriennal (1969-72), les besoins de la Tunisie en  $H_2 SO_4$  sont de 1.200.000 T, il y aurait lieu de réaliser une installation d'appoint dont la capacité soit légèrement supérieure aux besoins du plan c'est-à-dire 330.000 T au lieu de 300.000 T. La différence soit 30.000 T par an de  $H_2 SO_4$  correspondrait aux besoins du complexe des dérivés fluorés. Ceci dans le cas où on opte pour l'achat de  $H_2 SO_4$  de ce futur complexe, solution que nous avons déconseillé (voir note de synthèse).

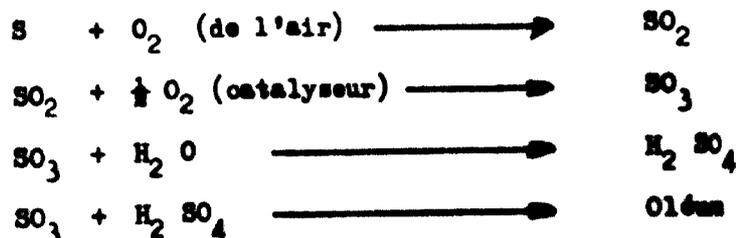
1.2.3. Etude d'une unité de 200 T/j de  $H_2 SO_4$

Indépendamment de l'une des solutions (précitées ci-dessus) à envisager pour l'acide sulfurique et indépendamment de la matière première à utiliser soufre ou pyrite pour mémoire et conformément à la solution que nous avons préconisée (intégration avec la S.T.E.C) nous étudions ci-après une unité de fabrication de 200 T/j d'acide sulfurique à partir de soufre.

Il n'est pas question de reprendre ici l'étude de la fabrication de  $H_2 SO_4$  à partir de pyrites ou de soufre (voir à ce sujet l'étude faite par le C.N.E.I. en septembre 1969). Ce qui nous intéresse surtout c'est l'étude de la rentabilité. Pour mémoire nous mentionnons simplement le principe.

L'installation sert à la production d'acide sulfurique à concentration élevée et d'oléum (acide sulfurique fumant) avec une teneur en  $SO_3$  libre de 20 %. Comme matière première, on emploie le soufre.

Les réactions se développent conformément aux équations théoriques suivantes :



Qualité de produit de départ :

Soufre importé :

Pureté ..... 99,5 %

**Éléments pour le calcul du prix de revient : (d'après de NORA)**

**Chiffres de consommation par tonne de monohydrate :**

	T/H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 100 %
- Soufre à 99,5 % de pureté .....	0,337 T
- Eau de refroidissement de 22° C .....	environ 15 m <sup>3</sup>
- Eau d'alimentation .....	environ 1 m <sup>3</sup> (± 5 %)
- Energie électrique .....	environ 31 Kwh
- Heures de travail	
- Service .....	0,19 h
- Entretien normal .....	0,25 h
- Vapeur disponible vapeur saturée 40 Kga/cm <sup>2</sup>	1,0 T

**Rendement :**

Rendement total rapporté au soufre .....	98 % (± 0,5 %)
Transformation du SO <sub>2</sub> en SO <sub>3</sub> dans l'appareil à contact .....	98 %
effet d'absorption .....	99,9 %

**Chiffre de garantie par de NORA relatifs aux produits finaux :**

**Acide sulfurique**

- H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	98,5 - 99 %
--	-------------

**Oléum**

- SO <sub>3</sub> libre .....	20 %
-------------------------------	------

**Production de vapeur, par tonne de monohydrate**

(H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> 100 %)

Vapeur de 40 atm .....	1 T/T H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (± 5 %)
(dans le cas d'une installation conçue pour 200 T/jour de monohydrate)	

**Bilan matières annuel**

Pour installation acide sulfurique capacité 200 T/jour  
100 T/jour sous forme d'oléum 20 %, calculé comme H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>, 100 % et  
100 T/jour sous forme d'acide sulfurique.

Base 1 an = 330 jours de production

**TABIEAU N° 2**

Matères	Calculé comme	Unité	Consommation	Production
Soufre .....		t	22.242	
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 98,5 - 99 % .....	1100 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	t		66.000
Electricité .....		kWh	1.860	
Eau de refroidissement 22° C ..		m <sup>3</sup>	900.000	
Eau condensée .....		m <sup>3</sup>	60.000	
Vapeur 40 atn .....		t		66.000

La production totale de H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> (98,5 - 99 %) calculée comme 100 % H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>  
 est de ..... 66.000 T/an  
 La consommation totale pour les besoins du complexe est de.... 29.315  
 (29.315 T pour la production de HF)

Excédent de H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> pour STBC

et pour la vente ..... 36.685 T/an

**CHAPITRE .2.**

**INSTALLATION DE PRODUCTION**

**D'ACIDE FLUORHYDRIQUE**

## 2.1 USAGE

L'acide fluorhydrique est le point de départ de toute la chimie du fluor. C'est le seul des composés fluorés qui soit obtenu à partir du spath-fluor. L'acide fluorhydrique anhydre est facilement stocké dans du matériel en acier ordinaire : cylindres, camions citernes, wagons citernes, etc... L'acide fluorhydrique de concentration supérieure à 80 % n'attaque pas l'acier doux ; toutefois sa manipulation nécessite de grandes précautions car il provoque des brûlures très difficiles à guérir. L'acide fluorhydrique de concentration inférieure à 80 % attaque l'acier doux et doit donc être conservé dans des récipients en plomb, en guetta-percha ou en polyéthylène.

A partir de cet acide sont préparés un très grand nombre de dérivés du fluor et le fluor lui-même :

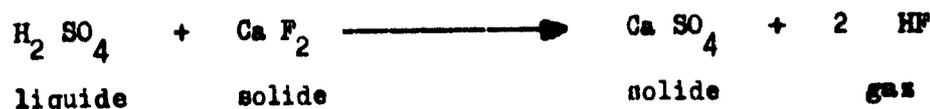
- les fluorures métalliques, dont le fluorure d'aluminium (fabrication de l'aluminium) et celui d'Uranium (énergie atomique), la oryolithe artificielle.
- les produits organiques fluorés.

De plus cet acide est utilisé pour le décapage des aciers inox, pour la préparation des métaux spéciaux etc... (voir graphique N° 1).

## 2.2 PREPARATION D'ACIDE FLUORHYDRIQUE ANHYDRE

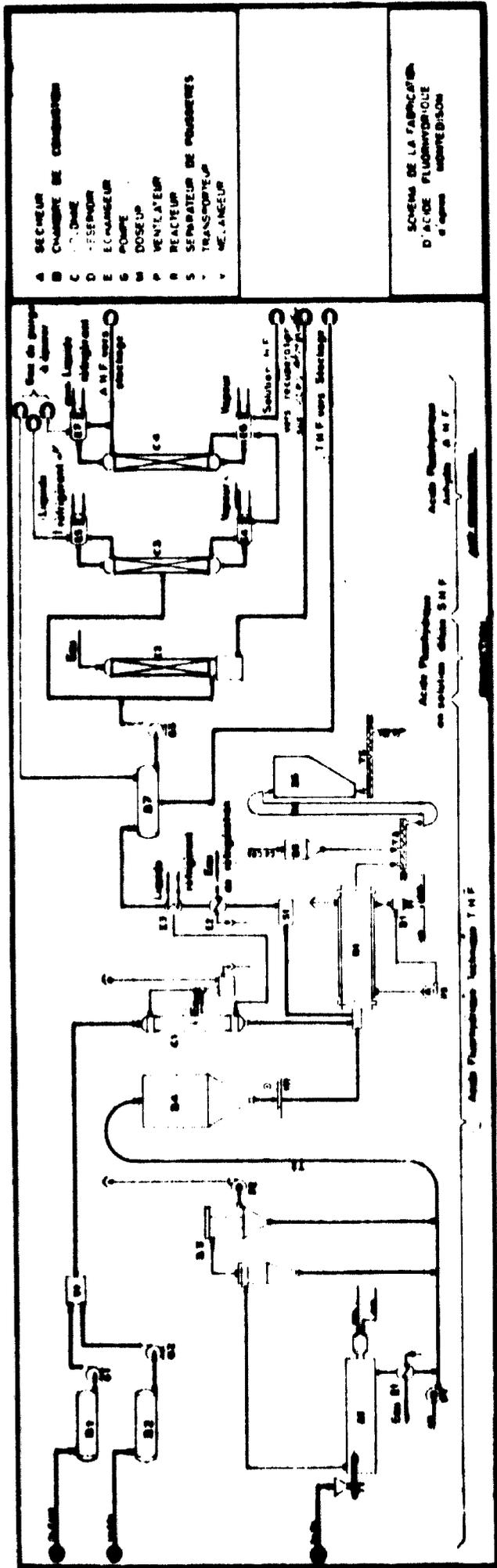
### 2.2.1. Principe

Le principe de la préparation n'a pas varié. Il est préparé par attaque du spath-fluor par l'acide sulfurique suivant la réaction :



La réaction est endothermique. Elle a donc besoin, pour son achèvement total, d'une amenée permanente d'énergie thermique.

On peut estimer qu'en 2 heures à une température de 90 - 100° C, la réaction est terminée si un brassage énergique est effectué, car la diffusion conditionne essentiellement la cinétique de cette réaction. L'acide fluorhydrique ne se dégage pas totalement dès le début de la réaction, et il faut chauffer au-dessus de 150° C pour assurer son départ rapide et complet.



- A SECTEUR
- B CHAMBRE DE COMPRESION
- C CONDENSEUR
- D ECHANGEUR
- E POMPES
- F DOSEUR
- G REACTEUR
- H SEPARATEUR DE PHASES
- I TRANSFORMEUR
- J MELANGEUR

SCHEMA DE LA FABRICATION  
D'ACIDE FLUOHYDRIQUE  
à partir d'HYDROGENE

Acide Fluohydrique liquide T.M.F.

Acide Fluohydrique en solution dans S.M.F.

Acide Fluohydrique liquide T.M.F.

Souder à l'acide

Gaz de groupe 4

Liquide réfrigérant

Les caractéristiques du spath envoyé à l'alimentation sont rigoureusement contrôlées à cause des réactions secondaires provenant des impuretés (Si O<sub>2</sub>, S, CO<sub>3</sub> Ca), mentionnés ci-dessus et qui influent sur le rendement.

Pratiquement, la production d'une tonne de HF anhydre nécessite la consommation de 2,25 tonnes d'acid-grade.

L'installation sert à la production d'acide fluorhydrique et de sulfate de chaux anhydre, sous-produit de la réaction, qui par un traitement chimico-technologique peut être transformé en matière première de valeur pour l'industrie du bâtiment. (3,6 T de sulfate de chaux anhydre par T de HF).

### 2.2.2. Procédés de fabrication

Diverses procédés sont utilisés en Europe notamment le procédé mis au point par la firme BUSS de Bâle et la Société MONTEDISON de Milan (Italie). Il existe également aux Etats Unis un procédé mis au point et exploité par la Société ALLIED CHEMICAL.

Nous avons étudié plus particulièrement les procédés BUSS et MONTEDISON et nous avons décidé de baser notre étude sur celui de MONTEDISON car ses performances sont supérieures à celles du procédé BUSS. MONTEDISON a acquis une grande expérience pratique dans ses usines en Italie. Il existe une unité de 38.000 T/an à Porto Maghera et de 12.000 T/an à Spinetta Marongo d'acide fluorhydrique technique.

A Porto Maghera existe également une unité de 5.000 T/an d'acide fluorhydrique anhydre.

Les matières premières : le Spath-fluor séché, pulvérisé, et l'acide sulfurique (en partie sous forme de H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>, en partie sous forme d'oléum à 104 - 105 %) sont continuellement dosées dans un réacteur R1. Les composants de réaction sont intimement mélangés et se développe en même temps la réaction continue à la production d'acide fluorhydrique gazeux et de sulfate de calcium solide.



Le réacteur R1 est un four rotatif chauffé extérieurement et la température de réaction dans le four s'élève à 200/220° C.

Le sulfate de calcium quitte le four, tombe dans la vis T3 où le sulfate est neutralisé avec du carbonate de calcium. Il est ensuite stocké dans un silo D6. Ce sulfate peut être utilisé dans l'industrie du bâtiment et en cimenterie.

Les effluents gazeux sortant du four R1 traversent successivement un séparateur de poussière S1, un réfrigérant E2 où sont éliminées les plus grandes parties des impuretés.

Finalement ces effluents sont condensés dans un échangeur E3 et stockés dans un réservoir D7. Les traces d'acide fluorhydrique qui sont entraînées par les gaz inertes incondensables ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{Si F}_4$ , air) quittant le condenseur C3 sont éliminées dans la colonne C1 par absorption avec de l'acide sulfurique. Après lavage à l'eau les gaz sont envoyés à l'atmosphère.

Le sulfate de chaux sortant du réacteur qui contient de l'acide sulfurique libre est neutralisé avec du carbonate de calcium et stocké.

Nous signalerons que la préparation du fluorure d'aluminium et du oryolithe artificielle demande seulement l'utilisation d'acide fluorhydrique technique à 97 % de HF minimum.

Si ultérieurement nous envisageons l'implantation en Tunisie d'autres fabrications de produits fluorés (Fréon, hydrocarbure fluoré etc...) nécessitant l'utilisation d'acide fluorhydrique anhydre, l'installation comporte des appareillages supplémentaires et le processus de fabrication est le suivant :

#### Procédés de fabrication d'acide fluorhydrique anhydre :

L'acide fluorhydrique anhydre (AHF) contient 99 - 99,90 % minimum de HF. L'acide fluorhydrique technique stocké dans le réservoir D7 est pompé dans les colonnes de distillation C3 et C4 connectées en série.

Ces colonnes permettent d'éliminer les dernières impuretés :  $\text{Si F}_6$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2$ , et  $\text{H}_2\text{O}$ . Les produits à bas point d'ébullition sont séparés dans la première colonne alors que  $\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2$  sont séparés dans la seconde.

#### Solution aqueuse d'acide fluorhydrique :

L'acide fluorhydrique technique venant du réservoir D7 est envoyé par pompage en bas de la colonne d'absorption C2 dans laquelle une quantité déterminée d'eau est envoyée en contre courant à partir du haut de la colonne pour obtenir une solution à la concentration désirée.

En résumé l'installation telle que décrite ci-dessus suivant le procédé MONTEDISON permet d'obtenir différentes qualités d'acide fluorhydrique dont les analyses sont les suivantes :

Acide fluorhydrique technique (TFP)

HF .....	97	à	98 %
H <sub>2</sub> O .....	0,5	à	1,5 %
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	0,1	à	0,5 %
H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> .....	0,05	à	0,1 %
SO <sub>2</sub> .....	0,3	à	0,8 %

Acide fluorhydrique anhydre (AHF)

HF .....	99,90	%	min.
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	0,01	%	max.
H <sub>2</sub> O .....	0,08	%	max.
H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> .....	0,04	%	max.
SO <sub>2</sub> .....	0,001	%	max.

Acide fluorhydrique anhydre haute pureté

HF .....	99,95	%	min.
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	0,001	%	max.
H <sub>2</sub> O .....	0,04	%	max.
H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> .....	0,005	%	max.
SO <sub>2</sub> .....	0,001	%	max.

Solutions aqueuses d'acide fluorhydrique (SAF)

HF .....	49 à 51 % - 71 à 75 %
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	0,5 à 1 %
H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> .....	0,01 à 0,05 %
H <sub>2</sub> O .....	balance

Les méthodes d'analyse sont classiques : SO<sub>2</sub> par oxydoréduction, SO<sub>3</sub> par gravimétrie, SiF<sub>4</sub> par colorimétrie, H<sub>2</sub> O par la méthode de Fisher ou par conductimétrie.

Au point de vue rendement, moins de 1,5 % du spath et 1 % de l'acide sulfurique sont retrouvés en fin de fabrication.

L'acide fluorhydrique est stocké dans des cuves en acier.

2.2.3. Appareillage

Une unité MONTEDISON comprend essentiellement :

- un séchoir chauffé par des gaz de combustion pénétrant à haute température ramène le taux d'humidité du gâteau de 10 % à 0,03 %, A<sub>1</sub>
- un silo de stockage de l'acid-grade séché et moulu, D<sub>4</sub>
- une colonne d'absorption C.
- un four tournant maintenu à une température nécessaire pour la réaction R<sub>1</sub>.
- un séparateur de poussières S<sub>1</sub>
- un échangeur refroidi à l'eau E<sub>2</sub>
- un échangeur condenseur refroidi par liquide réfrigérant R<sub>3</sub>
- un réservoir de stockage D<sub>7</sub>
- une vis de neutralisation du SO<sub>4</sub> Ca-T<sub>3</sub>
- un silo de stockage du SO<sub>4</sub> Ca neutralisé D<sub>6</sub>
- colonnes d'épuration de l'acide fluorhydrique technique THF pour obtenir l'acide fluorhydrique anhydre AHF-C<sub>3</sub> C<sub>4</sub>
- colonne de dilution de THF pour l'obtention d'acide fluorhydrique dilué C<sub>2</sub>.

2.3 CONSUMMATIONS SPECIFIQUES

d'après MONTEDISON

L'atelier défini dans cette étude, est capable d'une production de 35 T/jour d'acide fluorhydrique soit 11.000 T/an de HF. (Base : 1 an = 320 jours de production).

2.3.1. Consommation matières premières

Par tonne de HF 100 % produit dans le four à réaction : chiffres garantis par MONTEDISON

spath-fluor (97 % Ca F <sub>2</sub> ) .....	2,250 Kgs
- H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 100 % ( $\frac{H_2 SO_4}{Oléum 20 \% SO_3}$ ) $\frac{2}{1}$ .....	2,750 Kgs
- Ca (OH) <sub>2</sub> , pour la neutralisation de l'anhydrite .....	60 Kgs

### 2.3.2. Consommation services généraux par tonne HP 100 %

Les autres éléments de prix de revient sont :

- eau de refroidissement de 22° C ..... environ : 150 m<sup>3</sup>
- masout (également pour séchage spath) environ : 1.344 Tn
- énergie électrique (également pour séchage spath mais sans réfrigération) environ : 260 kWh
- heures de travail :
- service ..... environ : 1,3 h/T
- entretien normal ..... environ :

Les chiffres indiqués relative au personnel se rapportent à l'équipe de service et à la main d'oeuvre nécessaire aux travaux d'entretien quotidiens. Il faudrait ajouter le personnel à prévoir pour les réparations générales, les ateliers, les laboratoires, la manutention des matières premières et produits finaux, l'administration etc...

### 2.3.3. Sous-produit obtenu

#### 2.3.3.1. Anhydrite brut (sulfate de chaux anhydre = Ca SO<sub>4</sub>)

Environ 3,6 tonnes d'anhydrite brut sont obtenues par tonne HP ; ce produit secondaire contient :

- Ca F<sub>2</sub> ..... environ ..... 3,0 %
- H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> ..... environ ..... 1,0 %

L'anhydrite est utilisé principalement dans l'industrie du bâtiment. A cet effet il faudrait prévoir une installation servant à la transformation de l'anhydrite brut en un produit correspondant aux normes allemandes DIN 4208.

2.3.3.2. Acide fluorhydrique se composant d'environ 15 % de HF et d'environ 20 % de H<sub>2</sub> Si F<sub>6</sub>, le reste étant de l'eau. Cet acide fluorhydrique doit être considéré comme irrécupérable dans la production de HF. La proportion d'acide fluorosilicique contenue dans l'acide susmentionné qui dépend de la teneur en dioxyde de silicium du spath-fluor utilisé (et ne doit pas dépasser 1 %) ne peut non plus être récupérée.

### 2.3.4. Bilan matières annuel

Base : 1 an = 320 jours de production

Installation acide fluorhydrique : 35 T/jour

TABLÉAU N° 3

Matières	Calculé comme	Unité	Consommation	Production
HF (97 %) .....	100 % HF	t		10.600
Spath-fluor (97 % Ca F <sub>2</sub> ) min.		t	23.985	
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (98 %) .....		t	29.315	
Anhydrite brut 95 % SO <sub>4</sub> Ca .....		t		35.000
Electricité .....		kwh	2.771	
Eau de refroidissement ...		m <sup>3</sup>	1.599.000 m <sup>3</sup>	
Brut combustible fuel ....	10.000 Kcal/Kg		1.430 T fuel	

**CHAPITRE 3.**

**INSTALLATION DE PRODUCTION DE ALU**

## INTRODUCTION.

Nous avons consulté un certain nombre de firmes et nous avons reçu différents avant projets parmi lesquels nous avons retenu les procédés BUSS et MONTEDISON.

### 3.1 USAGE

La fabrication du fluorure d'aluminium et de la cryolithe artificielle constitue un des plus gros débouchés de l'acide fluorhydrique (2/3 des débouchés de HF pour la France, plus de 1/3 pour les USA en 1965).

Le fluorure d'aluminium est utilisé comme fondant dans la fabrication de l'aluminium que ce soit sous la forme de NaF ou de  $AlF_3$ , la consommation de fluor pour la tonne d'aluminium devrait être comprise entre 25 et 35 kgs. Elle est en fait de l'ordre de 38 à 45 kgs suivant les pays.

### 3.2 QUALITES DES PRODUITS DE DEPART

3.2.1. Nous venons d'étudier la fabrication d'acide fluorhydrique anhydre. Cependant pour la préparation du fluorure d'aluminium il n'est pas nécessaire de disposer d'acide fluorhydrique concentré, on utilise de l'acide fluorhydrique technique THF.

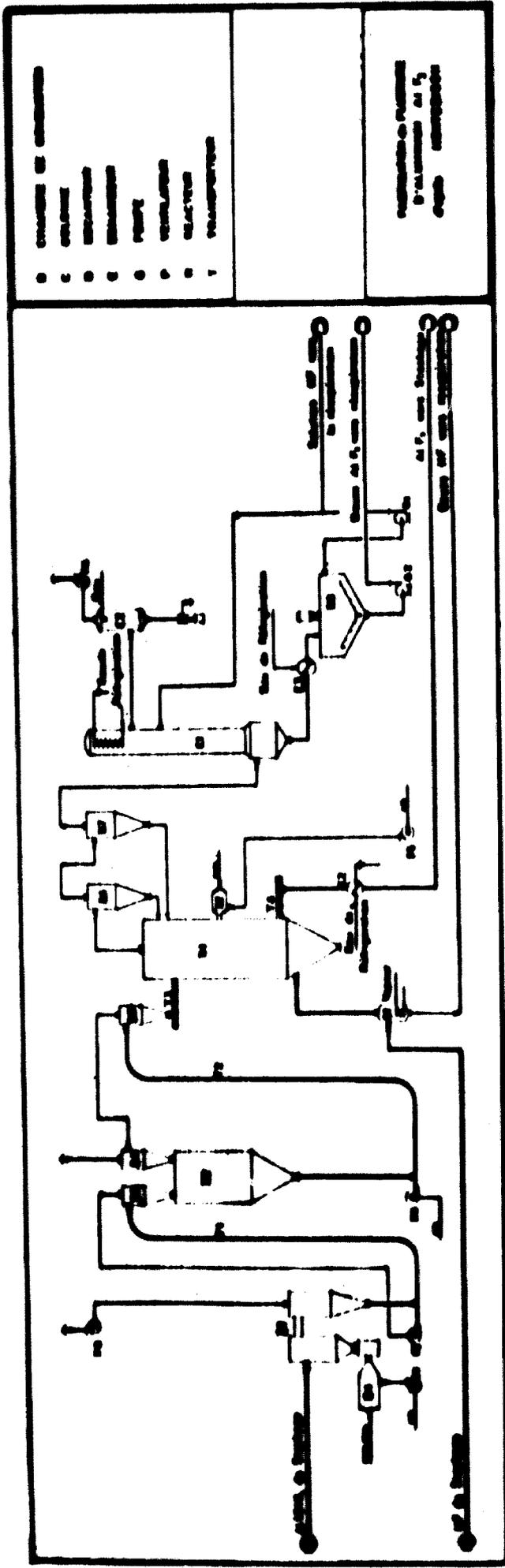
#### Analyse :

- HF .....	97,0 %	min.
- $H_2SO_4$ .....	0,6	MAX.
- $H_2O$ .....	1,5	MAX.
- $SO_2$ .....	0,6	MAX.
- $H_2SiF_6$ .....	0,1 %	MAX.

3.2.2. Hydroxyde d'aluminium : humidité 10 % maximum

#### Analyse :

- $Al(OH)_3$ .....	99,3 %	min.
- $Fe_2O_3$ .....	0,02 %	MAX.
- $SiO_2$ .....	0,02 %	MAX.
- $Na_2O$ .....	0,30 %	MAX.
- $H_2O$ .....	0,30 %	MAX.



Granulométrie :

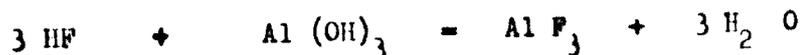
au dessus	35 mesh .....	0,0 %	
entre	35 mesh et 100 .....	5,5 %	environ
	100 " et 140 .....	16,0 %	environ
	140 " et 200 .....	24,5 %	environ
	200 " et 325 .....	32,0 %	environ
au dessous	325 " .....	22,0 %	environ

L'hydroxyde d'aluminium n'est pas un produit local et il faudra importer un tonnage annuel de l'ordre de 5.200 tonnes.

### 3.3 PREPARATION DU FLUORURE D'ALUMINIUM

#### 3.3.1. Description du procédé

Le procédé de fabrication du fluorure d'aluminium se fait suivant la réaction suivante :



cette réaction, suivant le procédé MONTEDISON que nous avons considéré comme le mieux et donnant les meilleurs rendements, est basée sur la réaction en lit fluidisé sans catalyseur, à haute température et sous la pression atmosphérique.

Ce procédé a été développé depuis de nombreuses années et a donné entière satisfaction dans l'atelier de Porto Maghera en Italie pour une capacité de 15.000 T/an.

L'hydroxyde d'aluminium humide est envoyé dans un séchoir D<sub>1</sub>, et ensuite dans un silo D<sub>2</sub> où il est stocké. Le produit est repris de ce silo et envoyé pneumatiquement vers le réacteur R<sub>1</sub>. Un dispositif de mesure régularise l'arrivée du produit dans le réacteur.

L'acide fluorhydrique technique venant du stockage est d'abord évaporé puis est surchauffé dans un échangeur E<sub>1</sub> dans lequel circule de la vapeur surchauffée avant d'être envoyée dans le réacteur R<sub>1</sub>.

Dans le fond de l'évaporateur on récupère une certaine quantité d'acide fluorhydrique avec les impuretés qui existent dans cet acide ; cet acide est renvoyé à l'unité d'acide fluorhydrique technique pour le recyclage.

Le réacteur est équipé à la sortie du séparateur D<sub>6</sub> et D<sub>7</sub> qui récupère toutes les particules solides qui sont entraînées par le gaz, le réacteur est également équipé d'un brûleur auxiliaire qui maintient la température au degré requis pour la réaction et pour le démarrage.

Le fluorure d'aluminium produit est refroidi dans un réfrigérant à eau E<sub>2</sub> et envoyé au stockage.

Les effluents gazeux sortant du réacteur sont composés dans la plus grande partie de vapeur, d'acide fluorhydrique n'ayant pas réagi, de produits inertes. Ces effluents gazeux seront envoyés dans une colonne de lavage et de réfrigération C<sub>1</sub> dans laquelle on absorbe l'acide fluorhydrique n'ayant pas réagi et la vapeur est condensée.

La partie de fluorure d'aluminium entraînée est séparée après refroidissement dans un décanteur D<sub>3</sub> où la solution d'acide fluorhydrique est récupérée.

### 3.4 CONSONNATIONS SPECIFIQUES

L'atelier tel qu'il est défini dans cette étude est capable d'une production de 24,5 T/jour de fluorure d'aluminium soit par an 8.000 T environ de Al F<sub>3</sub> (Base 1 an = 330 jours de production).

#### 3.4.1. Consommations matières premières

Chiffres de consommation, par tonne de Al F<sub>3</sub> 100 %, garantis par MONTEDISON :

- HF, calculé comme 100 % ..... 690 kgs utilisé comme acide 97 %
- Al (OH)<sub>3</sub>, calculé comme 100 % ..... 650 kgs

#### Remarque :

Les matières premières pour fabriquer 600 Kgs de HF c'est-à-dire 1 tonne de Al F<sub>3</sub> 100 % sont :

Spath-fluor	2,250 x 0,690	.....	=	1,552 T
Acide sulfurique H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 100 %	2,750 x 0,690	.....	=	1,897 T

#### 3.4.2. Consonnations spécifiques par tonne Al F<sub>3</sub> 100 %

- Eau de refroidissement à 22° C, (y compris l'absorption des gaz de fumée) environ ..... 50 m<sup>3</sup>
- Vapeur, pression 8 atm. eff. .... 750 Kgs
- Mazout (qualité extra-légère) ..... 340 Th
- Energie électrique ..... 40 Kwh
- Heures de travail ..... 1 h/T

3.4.3. Chiffres de garantie par MONTEDISON relatifs au produit final

- Al F <sub>3</sub> .....	91 à 93 %
- H <sub>2</sub> O .....	0,3 %
- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	5 à 7 %

Installation fluorure d'aluminium

Capacité 24,5 T/jour

3.4.4. Bilan matières annuel

TABLEAU N° 4

Matières	Calculé comme	Unité	Consommation	Production
AL (OH) <sub>3</sub> (99,3 %) .....	100 % Al (OH) <sub>3</sub>	t	5.200	
HF (97 %) .....	100 % HF	t	5.520	
Al F <sub>3</sub> (91/93 %) .....	100 % Al F <sub>3</sub>	t		8.000
Electricité .....		Mwh	320	
Eau de refroidissement 22° C		m <sup>3</sup>	400.000	
Fuel .....			272 t	

CHAPITRE .4.

INSTALLATION DE PRODUCTION  
DE CRYOLITE

#### 4.1 USAGE :

Ce produit sert comme fondant dans l'électrolyse de l'alumine. En effet l'alumine ayant un point de fusion trop élevé pour être électrolysée directement (plus de 2.000° C), on utilise ainsi un mélange alumine-cryolithe (point de fusion de la cryolithe : 977° C) qui donne un eutectique vers 900° C. L'électrolyse se fait en principe aux dépens de l'alumine. En fait, une partie de la cryolithe est aussi consommée.

Dans la pratique, on peut utiliser aussi bien de la cryolithe ( $AlF_3, 3 NaF$ ) que du fluorure d'aluminium ( $AlF_3$ ). La consommation du fluor s'accroît avec la température et avec l'acidité du bain, c'est à dire avec le rapport :

Fluorure d'aluminium  
cryolithe

toutefois, un bain acide entraîne un meilleur rendement du point de vue électrique.

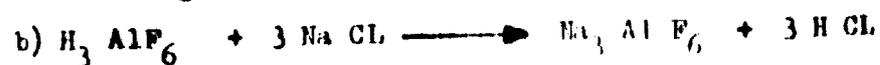
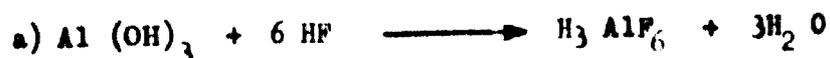
#### 4.2 FABRICATION

Les produits de départ nécessaires pour la réaction sont :

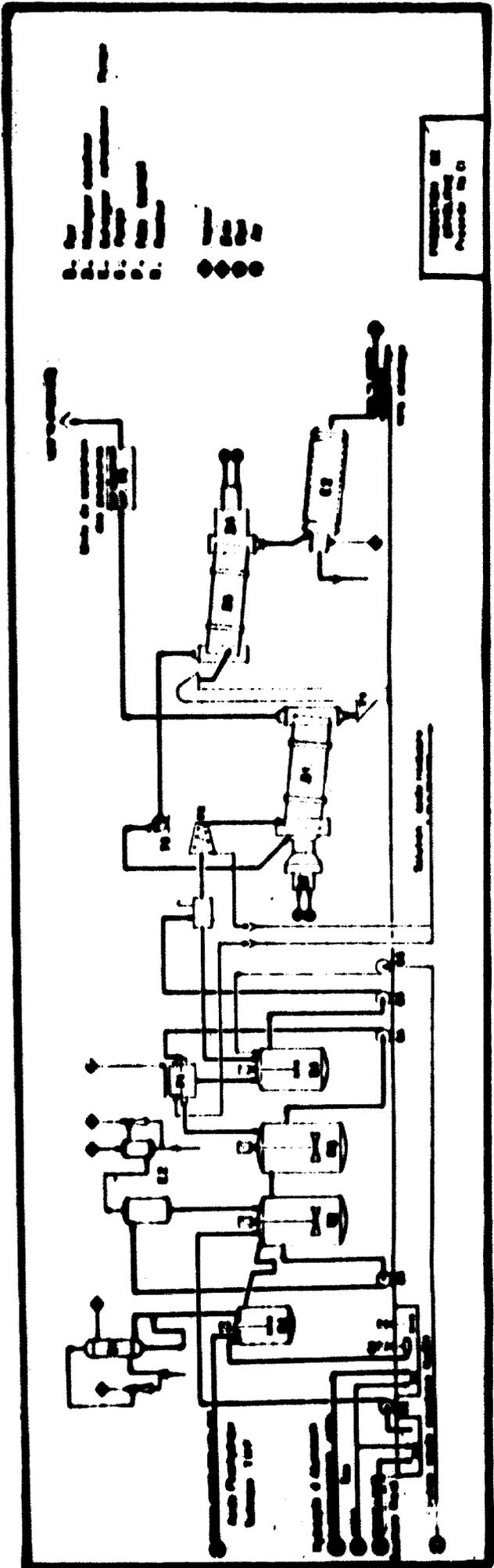
- Acide fluorhydrique HF préparé précédemment - grade technique
- Hydroxyde d'aluminium  $Al(OH)_3$  - à importer
- Sel ordinaire Na Cl - existant en Tunisie
- Soude caustique - à importer

##### 4.2.1. Préparation de la cryolithe :

La cryolithe est obtenu en deux étapes suivant les réactions :



L'hydrate d'aluminium humide est préparé dans un réservoir D1 où il est mélangé avec de l'eau puis il est envoyé au moyen d'une pompe G1 dans le réacteur R1 où arrive également l'acide fluorhydrique technique. On obtient de ce fait de l'acide fluoaluminique (réaction A). Une partie de l'acide est condensée dans un réfrigérant E1 et recyclée au réacteur R1.



Le chlorure de sodium est dissout dans l'eau dans un réservoir D2 et envoyé, au moyen d'une pompe G2 dans un réacteur R2 où il réagit avec l'acide fluoaluminique venant du réacteur R1. Il y a précipitation de la cryolithe suivant la réaction b).

La bouillie se formant dans le réacteur R2 est pompée (G3) à travers un réfrigérant E2 où le refroidissement est produit par auto évaporation et passe ensuite dans le réacteur R3 où il est envoyé par la pompe G4.

Entre le réacteur R3 et le neutralisateur R4, la bouillie est filtrée sur un filtre à vide P1. Les eaux mères sont envoyées à l'égout.

La neutralisation de la bouillie dans le réacteur R4 se fait au moyen d'une solution de soude caustique qui est envoyée par la pompe G5. La bouillie neutralisée est envoyée par la pompe G6 à la centrifugeuse P2 où la cryolithe est séparée des eaux mères qui sont également envoyées à l'égout.

La cryolithe neutralisée, purifiée, passe d'abord dans un premier séchoir tournant B1 chauffé par des gaz de combustion produits dans une chambre B2. La cryolithe sortant du séchoir B1 est envoyée au moyen d'un élévateur T1 au four B3. Ce four a pour objet de calciner le produit.

Le produit calciné est alors refroidi dans un refroidisseur tournant G2 avant d'être envoyé au stockage et aux installations d'ensachage.

Les gaz chauds sortant du calcinateur B3 sont recyclés au séchoir B1 au moyen d'un ventilateur F3 et les poussières sortant de cet appareil sont récupérées dans une installation de dépoussiérage P4. Les gaz sont ensuite envoyés à l'atmosphère.

## **4.3 QUALITES DES PRODUITS DE DEPART**

### **4.3.1. Acide fluorhydrique technique THF**

dont l'analyse est indiquée au chapitre fluorure d'aluminium sous rep. 3.2.1.

### **4.3.2. Hydroxide d'aluminium**

dont l'analyse est indiquée sous rep. 3.2.2. - Chapitre 3 - fluorure d'aluminium.

4.3.3. Chlorure de sodium :

Humidité (perte de poids à 105° C) 7,6 %

- insoluble .....	0,39 %
- SO <sup>3</sup> .....	0,56 %
- F <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0,068 %
- Ca O .....	0,34 %
- Mg O .....	0,24 %
- Na Cl .....	97,70 %

4.3.4. Soude caustique Na OH :

Solution Na OH ..... 40 - 45 %

**4.4 CONSONNATIONS SPECIFIQUES**  
**ET BILAN MATIERES PREMIERES**

L'atelier tel que défini dans cette étude est capable d'une production de 25 T/jour de cryolithes répondant à l'analyse suivante :

- NaF , AlF <sub>3</sub> .....	93,5 % min.
- F .....	53,5 % "
- NaF/AlF <sub>3</sub> .....	1,4 - 1,5
- H <sub>2</sub> O .....	0,35 % max.

Production de 8.000 T/an calculée sur 330 jours de marche.

4.4.1. Consommation matières premières :

Chiffres de consommation matières premières par tonne de cryolithe 100 % garantis par Montedison.

- HF 97 % .....	635 kgs (calculé en 100 %)
- Na Cl (calculé comme 100 %) .....	1250 kgs
- Al (OH) <sub>3</sub> (calculée comme 100 %) .....	410 kgs
- Na OH (pour neutralisation) calculée en 100 % .....	60 kgs

4.4.2. Consommation service généraux :

- eau de refroidissement de 22° C (y compris l'absorption des gaz de fumée) .....	85 m <sup>3</sup>
- mazout (qualité extra-légère) en thermies .....	1176 Th
- énergie électrique (sans réfrigération) .....	100 Kwh
- produits chimiques .....	250 litres

4.4.3. Chiffres de garantie par Montedison relatifs aux produits finaux :

Cryolithe synthétique :

- NaF , AlF <sub>3</sub> .....	98,5 % min.
- F .....	53,5 % "
- NaF/AlF <sub>3</sub> .....	1,4 - 1,5
- H <sub>2</sub> O .....	0,35 % max.

4.4.4. Bilan matières annuel :

Base 1 an = 330 jours de production

Installation cryolithe artificielle

capacité 25 T/jour

TABLEAU N° 5

Matières	Calculé comme	Unité	Consommation	Production
Al (OH) <sub>3</sub> 99,3 % .....	100 % Al (OH) <sub>3</sub>	t	3.280	
Na Cl 99,6 % .....	100 % Na Cl	t	10.000	
Na OH .....	100 % Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	t	480	
Cryolithes 53,5 % F .....	100 % Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>	t		8.000
HF (97 %) .....	100 % HF	t	5.080	
Electricité .....		Mwh	800	
Eau de refroidissement 22° C ...		m <sup>3</sup>	680.000	
Brut combustible .....	10.000 Kcal/ kg	Tn	19.408.000 ou	940 T fuel

**CHAPITRE 3.**

**ETUDE DU SITE**

## 5.1 CHOIX DU SITE

Le choix du site est dominé par certains facteurs dont nous citons les principaux :

1) L'usine devrait être située à proximité des matières premières disponibles en Tunisie : spath-fluor, sel marin et combustible brut (fuel). L'acide sulfurique venant en seconde ligne car il peut être soit produit sur place soit acheté.

2) Présence d'un complexe de fabrication d'acide sulfurique permettant la production d'énergie électrique meilleur marché à cause de la vapeur excédentaire (40 atm 400°C) ou disponibilité d'énergie électrique suffisant aux besoins de l'usine, donc implantation près d'une usine existante ou intégration de l'atelier AS dans le complexe fluor.

3) Proximité d'un port assurant l'importation des autres matières premières (hydroxyde d'Aluminium  $Al(OH)_3$ ), soude caustique, et la reprise des produits fabriqués destinés à l'exportation : fluorure d'aluminium, cryolithe artificielle, etc...

4) Disponibilité d'un volume important d'eau nécessaire au refroidissement des installations de l'usine et au besoin des différents ateliers (consommation annuelle : 3,6 millions de  $M^3$  environ).

5) Présence d'une agglomération suffisamment importante pour offrir une main-d'œuvre technique logée.

6) Proximité de la mer pour absorber les eaux résiduaires rejetées par l'usine qui sont généralement neutres et éventuellement acides.

À première vue le site qui répond le mieux aux conditions précitées est celui de Tunis dans l'un des deux endroits suivants :

- Port de la Goulette
- ou Djebel Djeloud

### 5.1.1. Cas du port de la Goulette :

Il existe de l'espace vide sur la rive droite du Port côté Radès contigu aux hangars de stockage des phosphates en provenance de Kaala Djerid. Cet emplacement répond directement aux conditions N° 3, 5 et 6.

Par ailleurs si on compare le port de la Goulette à d'autres ports tunisiens il est le mieux adapté pour la condition N° 1 :

- C'est le port le plus près des mines de spath-fluor (70 kms séparent Hammam Sriba de la Goulette).

- Pour le sel marin Cetunal possède une saline aux environs de Mégrine, au maximum à 8 Km du site choisi.

- Le combustible (fuel) provenant de la STIR existe à la Goulette même.

- Il reste le problème de l'acide sulfurique : comme nous l'avons vu le complexe des dérivés fluorés pourrait être juxtaposé à une usine d'acide sulfurique. Or le site se prête convenablement et toutes les conditions sont requises pour l'implantation d'une unité de  $H_2SO_4$ . L'étude a été faite en Septembre 1969 par le C.N.E.I et il ne reste que le choix de la capacité de l'usine à projeter dont la limite inférieure (qui correspond au seuil de rentabilité) est de l'ordre de 200 T par jour. Seulement il y a toujours un excédent d'acide sulfurique. Il serait possible :

a) soit de l'évacuer sur le marché local, c'est le cas qui correspond à une petite capacité 200 T/jour c'est-à-dire 60.000 T/an - comme excédent nous avons 32.730 T d'acide sulfurique. Il est à remarquer que la quantité d'acide sulfurique importée en 1968 par la Tunisie est de 31.287 Tonnes.

b) soit d'utiliser cet acide sulfurique pour la fabrication de l'acide phosphorique, c'est le cas qui correspond à une capacité d'acide sulfurique supérieure 100.000 T/an voire plus.

La condition 4 est liée à la distance de l'usine à la mer, or à la Goulette l'usine aurait "les pieds dans l'eau" et des fonds marins suffisants se trouvent à une distance maximum de 50 m.

Le seul inconvénient d'installer un complexe d'acide sulfurique au sein d'une agglomération est le dégagement des odeurs désagréables, et la pollution atmosphérique.

### 5.1.2. Cas de la S.T.E.C à Djebel Djeloud

Il se trouve un autre emplacement possible au sein de l'usine existante (à Djebel Djeloud) des engrais chimiques appartenant à la S.T.E.C.

#### Avantages de cet emplacement :

- La S.T.E.C. dispose déjà de tous les services généraux : bureaux, laboratoires, effectifs administratifs etc... ;
- Il existe un terrain libre contigus à l'Usine pour l'emplacement des ateliers fluorés ;
- L'Usine est déjà desservie par chemin de fer et circuit routier ;
- L'Usine est équipée d'une canalisation d'eau de ville, possède 2 puits : capacité  $22 \text{ m}^3/\text{h}$  ;
- Complexe des dérivés fluorés intégré à une usine d'engrais phosphatés avec pour conséquences :
  - Atelier d'acide sulfurique commun pour l'acide fluorhydrique et l'acide phosphorique ;
  - Possibilité d'utiliser la vapeur et par voie de conséquence de l'énergie électrique meilleur marché ;
  - L'installation d'une nouvelle unité de  $\text{H}_2 \text{SO}_4$  améliore la situation de la S.T.E.C. D'ici 2 ans la S.T.E.C est obligée soit de changer son installation soit d'acheter l'acide sulfurique ailleurs.

#### Inconvénients du choix de ce site :

- Distance qui sépare le port de la Golette de la S.T.E.C.
- Cette usine fabrique un superphosphate de qualité médiocre et assez onéreux, donc sa reconversion s'impose.
- Installation de pompage d'eau de mer pour le refroidissement plus puissante à cause de la distance qui sépare l'Usine de la mer donc plus coûteuse à l'achat et à l'entretien.

### 5.1.3. Cas de Hammam Zriba

Il est logique de penser à Hammam Zriba lieu des mines de apoth-fluor, comme site pour l'emplacement du complexe des dérivés fluorés mais il ne répond pas aux conditions précisées au paragraphe 5.1.

Problème du transport :

A part le spath-fluor qui se trouve sur place il y aurait lieu de transporter tous les autres produits nécessaires à savoir :

a) de Tunis à Hammam-Zriba :

- 22.000 T de soufre
- 10.000 Tonnes/an de sel marin
- 8.480 Tonnes/an de  $Al(OH)_3$
- 480 Tonnes/an de Na OH
- 2.642 Tonnes/an de fuel N° 2

b) de Hammam Zriba à Tunis :

- 8.000 Tonnes/an de  $AlF_3$
- 8.000 " de cryolithe
- 36.685 " de  $SO_4 H_2$

Soit en tout le transport de 90.000 Tonnes/an de marchandises. Il serait préférable de transporter 25.000 T de spath-fluor par an de Hammam Zriba à Tunis.

Problème de l'eau :

Les besoins de l'Usine en eau d'alimentation et eau de refroidissement s'élevaient à  $3.579.000 m^3$  par an. Or cette quantité est difficile à trouver à Hammam-Zriba.

Ajouter à cela le problème de logement pour le personnel de l'Usine inexistant à Hammam-Zriba.

Pour ces raisons majeure ce cas est à éliminer.

**5.2 CARACTERISTIQUES DU SITE DE TUNIS EL AOUINA**

D'après le service de la météorologie Nationale (climatologie de la Tunisie Janvier 1967)

Altitude : 3 m  
Latit. N :  $36^{\circ} 50'$   
Long. E :  $10^{\circ} 14'$

**5.2.1. Température : (Période 1901 - 1960)**

- a = Température moyenne en °C (demi-somme des moyennes des températures extrêmes quotidiennes)
- b = Moyenne des minima quotidiens (en °C)
- c = Minima absolus (en °C)
- d = Moyenne des maxima quotidiens (en °C)
- e = Maxima absolus (en °C)

	a	b	c	d	e
Janvier	11.0	7.2	0.0	14.8	24.0
Février	11.7	7.6	1.0	15.8	29.8
Mars	13.4	9.1	0.4	17.7	35.2
Avril	15.7	11.0	2.6	20.3	32.0
Mai	19.1	14.1	5.9	24.1	40.0
Juin	23.5	18.2	9.4	28.7	42.6
Juillet	26.0	20.4	14.7	31.5	43.4
Août	26.5	21.2	11.2	31.8	46.8
Septembre	24.6	19.9	12.9	29.3	44.0
Octobre	20.2	16.0	7.0	24.6	36.9
Novembre	16.0	12.0	3.2	20.1	31.2
Décembre	12.3	8.5	1.6	16.0	25.0
Année	18.3	-	-	-	-

5.2.2. Humidité relative : (en pourcentages)  
(période 1946-1960)

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
06	86	86	86	87	82	78	72	80	85	88	88	86	84
12	68	64	61	61	55	51	46	48	54	60	65	67	58
18	83	78	76	75	68	63	60	64	71	74	81	82	73
Min. abs	128	18	20	27	19	19	19	14	21	22	22	34	14

5.2.3. Précipitations : (Période 1901 - 1960)

- a - Nombre moyen de jours de pluie (chute ayant fourni au moins 0,1 mm en 24 heures)
- b - Hauteurs moyennes (en millimètres) Période 1924 - 1960

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
a	12	10	9	7	5	2	1	2	5	8	10	13	84
b	69	46	44	40	23	9	1	9	36	54	56	67	454

5.2.4. Fréquences des pluies : pluie recueillie en 24 h. de 06 à 07 TU. (1951 à 1960)

mm de pluie	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
0/10	120	88	100	86	49	31	8	24	54	81	98	116	855
10/20	19	6	10	12	13	3	7	4	6	12	18	10	105
20/30	2	3	4	5	-	1	-	-	3	6	7	3	34
30/40	1	1	2	1	-	-	-	1	2	3	-	1	12
40/50	1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	2	-	5
50/60	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	2	-	4
60/70	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	1	-	3
70/80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
80/90	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	2
90/100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	143	98	116	96	63	36	8	29	67	107	118	130	1021

5.2.5. Vent en ml

1. - Prévisions pour 1000

1951 - 1960

Nombre total d'observations : 14.602

Heures d'observation : 00, 06, 12, 18 h TU

Vit m/s	2	3 <sub>et</sub>	5 <sub>et</sub>	7 <sub>et</sub>	9 <sub>Δ</sub>	12 <sub>Δ</sub>	15 <sub>Δ</sub>	18 <sub>Δ</sub>	21 <sub>Δ</sub>	25 <sub>Δ</sub>	18 <sub>sup</sub> Δ	Total
Dir		4	6	8	11	14	17	20	24	28	18	
N	5.5	10.2	11.5	6.2	3.1	0.5		0.1				37.1
NE	4.0	11.0	11.9	3.9	1.3	0.1						32.3
E	4.6	14.9	15.8	4.5	1.4	0.1						41.3
SE	4.0	9.2	9.9	2.2	0.9	0.1						26.3
S	4.2	13.5	13.7	7.7	3.0	0.2	0.2					42.5
SW	2.2	8.5	10.9	8.3	4.7	1.4	0.2					36.2
W	4.0	8.4	9.4	8.2	6.6	1.1	0.2					37.9
NW	5.0	10.5	8.3	7.0	5.9	0.8	0.1					37.6
N	7.2	12.6	6.9	4.3	1.7	0.1				0.1		32.9
NE	11.4	16.3	6.3	2.0	0.5	0.1			0.1			36.7
E	18.3	30.8	13.7	3.1	1.0	5.2						67.1
SE	13.3	28.2	17.2	6.9	3.0	0.9	0.1		0.1			69.7
S	12.6	32.1	17.2	14.8	8.7	2.7	0.8	0.3				99.2
SW	7.2	18.7	22.2	15.6	13.1	3.1	1.3	0.3	0.1			83.6
W	8.8	19.9	22.1	19.8	15.9	4.2	1.5		0.1			92.9
NW	5.6	10.4	14.1	8.8	6.8	1.8						47.5
Calmes												1179.9
TOTAL	1117.9	1255.2	1221.1	1123.3	177.6	19.4	4.4	0.7	0.4	0.1		1000.0

2. - VENT MOYEN

1951 - 1960

Heures TU	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
6 h	4.4.	3.7	4.0	3.2	3.3	2.9	2.5	2.1	2.1	2/8	3.1	3.7
12 h	6.4	6.2	6.5	6.7	6.7	6.5	6.3	5.8	5.4	4.7	5.1	5.7
18 h	3.8	4.7	5.5	6.0	6.2	6.3	6.4	6.0	5.3	4.3	3.5	3.8

3. - VENT MAXIMUM

1951 - 1960

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Vitesse	32	36	34	31	34	50	24	25	42	28	29	35
Direction	W N W	W N W	W N W	SE	N W	W	W N W	W	S W	W N W	W N W	W N W
Date	1960	1954	1960	1951	1956	1958	1959	1957	1960	1952	1955	1959
	12	20	4	18	2	23	1	23	27	22	25	29

**CHAPITRE .6.**

**RECAPITULATIF DES ELEMENTS**  
**POUR LE CALCUL DU PRIX DE REVIENT**

## 6.1 SPECIFICATION DU PROJET

Dans le tableau N° 8 nous avons mentionné la spécification du projet c'est-à-dire la capacité des ateliers et le tonnage annuel :

- des matières premières
- du produit intermédiaire
- des produits finaux

### Matières premières locales :

- spath fluor (97 % $F_2$ Ca) = .....	23.985 T
- Na Cl (97,7 %) calculé comme 100 % .....	10.000 T
- $H_2 SO_4$ (98 %) " " 100 % .....	29.315 T

### Matières premières à importer :

- $Al(OH)_3$ 99,3 % calculé comme 100 % ....	8.480 T
- Soude caustique en 100 % .....	480 T

### Produit intermédiaire :

- Acide fluorhydrique 97 % calculé comme 100 % .....	10.660 T
---	----------

### Produits finaux :

- Cryolithe 100 % $Na_3 Al F_6$ .....	8.000 T
- Fluorure d'aluminium 100 % $Al F_3$ .....	8.000 T

## 6.2 BILAN MATIERES ANNUEL ET PRIX UNITAIRE

Nous avons établi dans le tableau N° 9 le bilan matière annuel de tout le complexe ainsi que le prix unitaire de chaque produit.

Dans la dernière colonne figure le prix unitaire en \$ de la tonne métrique.

Pour mémoire nous avons laissé les chiffres relatifs à une unité de  $H_2 SO_4$  à partir de soufre et dont la capacité correspond à 200 T/jour.

Les chiffres de la colonne 6 correspondent au tonnage des produits à acheter ou à procurer.

Les chiffres de la colonne 7 correspondent aux produits à vendre ou à céder pour d'autres usages.

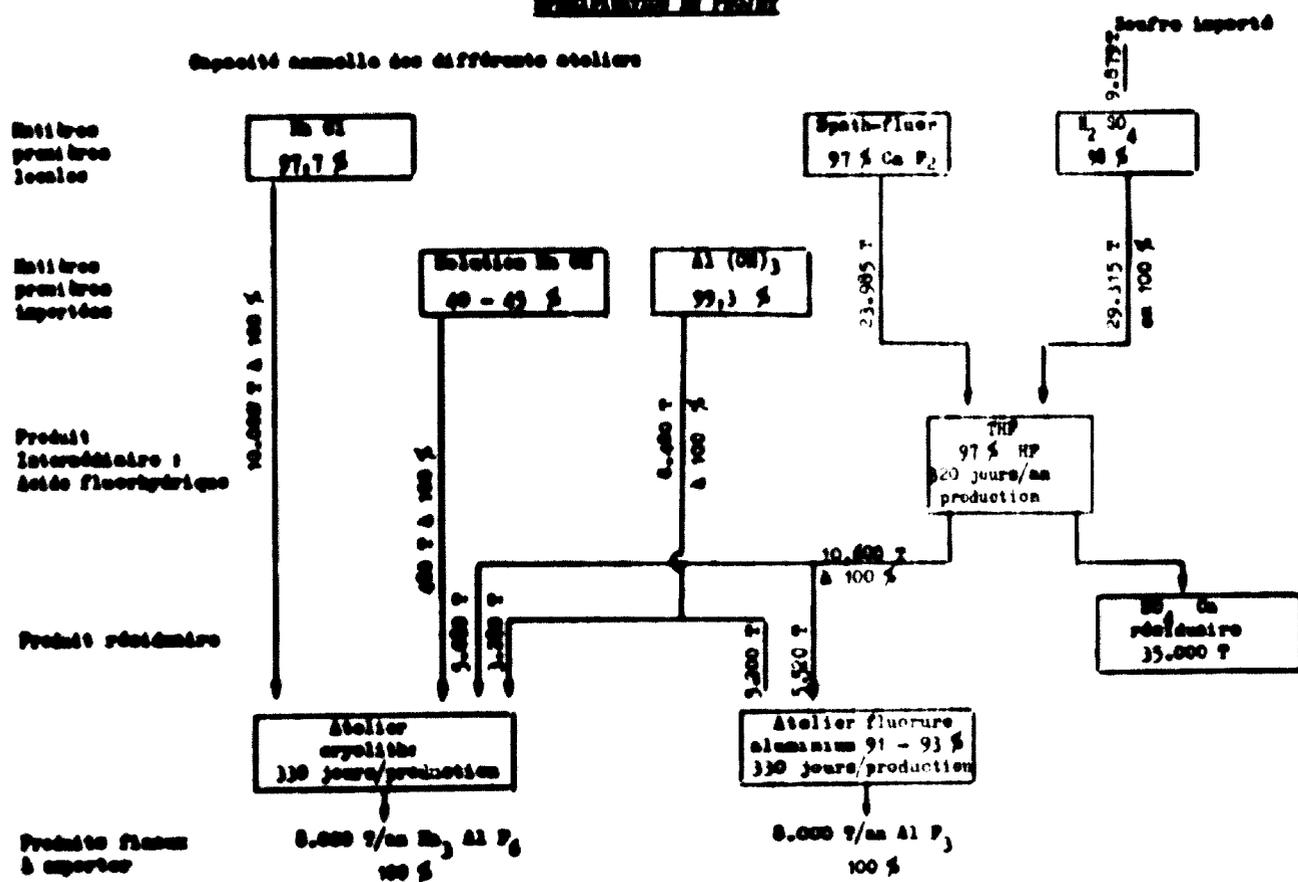
### 6.3 EFFECTIF GLOBAL DU COMPLEXE D'APRES BUSS

<u>Installation de production d'acide fluorhydrique</u> .....	40 personnes
<u>Installation de production de <math>AlF_3</math></u> .....	20 personnes
<u>Installation de production de cryolithe</u> .....	20 personnes
<u>Installation de production d'acide sulfurique</u> .....	48 personnes

Soit au total . . . . . 128 personnes

Ce personnel correspond à l'équipe de service et à la main d'oeuvre nécessaire aux travaux d'entretien quotidiens, les réparations générales, les ateliers, les laboratoires, la manutention des matières premières et produits finaux, l'administration, l'atelier électrique, production de vapeur etc...

**TABLÉAU N° 8**  
**UTILISATION EN FLOTTE**



100 300 jours  
 - 21 23 300 jours  
 Capitalisation 100 jours

Don 1 en

**Tableau 2**

Tableau synthétique annuel et prix unitaire

Matières	Calculs annuels	Unité	Consommation	Prix unitaire	Achet	Vente	Prix unitaire en \$ à la vente multiplicé
Spent	100 \$	t	23985		23985		60 \$ Acid-grade 97 % en P <sub>2</sub>
Al (OH) <sub>3</sub> à 99,5%	•	•	8480		8480		1,75 \$
Basil	97,5%	•	10000		10000		1,5,5 \$ Salins de Bando
Basil sol. 40/45%	•	•	480		480		1,7 \$
ALP <sub>3</sub>	•	•		8000		8000	1,330 \$
Capitalisation	•	•		8000		8000	2,75 \$
Se-fo	•	•		35000		35000	-
Se-fo	98 \$	•	89315	64000		36095	15 \$
Se-fo	97 \$	•	10680	10680		0	1,200 \$

MEMORANDUM

Particulars	Quantity	Unit	Commission	Production	Cost	Price	Total value on 8
<b>ACTS</b>							
Smoko .....	22,242	?		64,000	34,000	15 0 cents	
Sm refuellement .....	900,000	?				0,00 0	
Sm goods .....	60,000	?				12 0 cents	
Smoking Materials .....	1,000	?		64,000 @ 2000 = 13,200 cents			
Teaper .....		40 cts		10,000			
<b>ACTS</b>							
Amide malferigo .....	29,315	?					
Spash Floor .....	23,500	?		35,000	25,000		
Asbestos Mg Co .....		?					
Electricity .....	2,771 =	?					
Sm de refuellement .....	11,500,000 =	?		1,500,000			
Sm fuel .....	14,4	?		1,430 ?			
<b>ACTS</b>							
Al (ml) .....	5,200	?		0,000	5,200	300 0	
MP .....	5,200	?					
Electricity .....	300	?					
Sm refuellement .....	600,000	?					
Fuel .....	2,70	?					
<b>ACTS</b>							
Al (ml) .....	3,200	?		0,000	3,200	200 0	
MP .....	5,000	?					
Sm Cl .....	10,000	?					
Smoke .....	400	?					
Electricity .....	800	?					
Sm refuellement .....	600,000	?					
Fuel .....	9,4	?					
<b>ACTS</b>							
Sm refuellement .....	3,500,000	?		3,500,000		0,00 0 ?	
Sm goods .....	60,000	?					
Smoking Materials .....	3,700	?		5,000	2,400	10,0 0? cents	
Fuel .....	2,400	?					

## **6.4. CAPACITE DE STOCKAGE**

Nous avons établi la capacité de stockage sur la base des conditions européennes. Les entrepôts à produits solides, tel que : soufre, hydrate d'aluminium, chlorure de sodium, fluorure d'aluminium, cryolithe, anhydrite, sont conçus chacun pour une production de 30 jours, snath fluor 3 jours.

Pour le stockage des produits liquides, les capacités correspondantes ont été adoptées comme suit (minimas) :

- Acide fluorhydrique technique ..... pour 10 jours environ
- Acide sulfurique et oléum ..... pour 10 jours environ
- Huile combustible (mazout) ..... pour 15 jours environ

## **6.5. INVESTISSEMENTS**

Nous avons mentionné dans le tableau N° 10 les prix estimatifs de l'équipement par atelier après avoir reçu les études :

- Etude BUSS en Juin 1966
- SEMA 1967
- GIULINI en 1964
- MONTEDISON Juin 1970

Nous remarquons que les investissements proposés par les 4 sociétés consultées (Tableau 10) sont très divers et parfois incomplets ; le C.M.E.I. a jugé nécessaire par conséquent de consigner dans le tableau N° 11 une estimation à partir des données MONTEDISON.

Les prix indiqués par MONTEDISON s'entendent pour fourniture FOB, y compris l'emballage maritime nécessaire.

Ce prix s'étend à la fourniture de tout l'appareillage spécifié, nécessaire à une installation dite "de battery limits", pour les procédés rentrant dans le cadre du complexe en question, commençant par l'arrivée des matières premières et l'alimentation en courant, eau, etc... et se terminant par le stockage des produits et l'évacuation des résidus.

Engineering et licences font partie aussi de l'étendue de la fourniture MONTEDISON.

**TABLAU N° 10 INVESTISSEMENTS**

**PROJET D'AMPLIATION DE LA PRODUCTION D'ALUMINE ET DE LA PRODUCTION D'ALUMINE ET DE LA PRODUCTION D'ALUMINE**

**Données annuelles Base 1961 - 1962**

Ateliers	Estimation B.U.S.S.		Estimation S.Z.N.A.		Estimation G.I.U.L.I.N.I.		MONTAGES
	Tonnes/an	Prix en \$	Tonnes/an	Prix en \$	Tonnes/an	Prix en \$	
Installation de production d'acide fluorhydrique = HF	9.000 T cal- 100 % HF	2.064.000	10.300 T	1.500.000	28 T/j 8.400 T/an	625.000	10.600 1.500.000
Installation de production de fluorure d'aluminium	3.750 T cal- 100 % ALF	1.146.000	18 T/jour 5.400 T/an	( 2.400.000	11 T 65/3 = 3.500 T/an	256.000	8.000 1.447.000
Installation de production de cryolithe synthétique (50-54 % F)	13.500 T cal- 100 % Na <sub>2</sub> AlF <sub>6</sub>	1.835.000	18 T/jour 5.400 T/an	( 2.500.000	25 T/jour = 7.500 T/an	415.000	1.000 1.725.000
Installation de production d'hydrocarbures fluorés	1.500 T P <sub>11</sub> 100 % 1.200 T P <sub>12</sub> 100 %	3.440.000	10.000 T/an			-	0 0
Installation de production d'acide sulfurique	20.000 T/an à partir de sulfate	3.000.000	200 T/jour à partir de sulfate	1.400.000	85 T/jour 25.500 T/an	1.200.000	66.000 1.600.000
Installations auxiliaires		1.370.000				176.000	0 200.000
Montage et mise en route		2.250.000					470.000
Groupe turbo-générateur		4.000.000				276.000	81
Investissement relatif à l'achat de cylindres et fils pour stockage des freres destinés à l'exportation		14.000 à 430.000					0

TABLEAU N° 11

ESTIMATION DES INVESTISSEMENTS TECHNIQUES

Installation de production de HF .....	1.920.000
Installation de production de fluorure d'aluminium .....	1.472.000
Installation de production de cryolithe synthétique .....	1.728.000
Montage, mise en route, divers .....	600.000
Pièces de rechange .....	252.000
Terrain et infrastructure .....	150.000
	<hr/>
	6.122.000
Imprévus 5 % .....	306.100
	<hr/>
	6.428.100
Estimation d'une installation d'acide sulfurique .....	1.600.000

**ETUDE  
ECONOMIQUE**

## PLAN D'ETUDE

<b>Résumé</b>	<b>Pages</b>
<b>Introduction à l'étude économique .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Atelier sulfurique .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Sélection des produits .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Investissements .....</b>	<b>4</b>
<b>1. LES INVESTISSEMENTS</b>	
<b>1.1. Niveau de prix des équipements .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2. Calcul de l'investissement total .....</b>	<b>7</b>
1.2.1. Investissements techniques .....	7
1.2.2. Investissements associés .....	7
1.2.3. Fonds de roulement .....	8
<b>1.3. Récapitulation .....</b>	<b>13</b>
<b>2. COUTS DE PRODUCTION</b>	
<b>2.1. Matières premières .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2. Utilités .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3. Salaires et frais généraux .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4. Entretien .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5. Charges de remboursement principal et intérêt .....</b>	<b>18</b>
<b>2.6. Résultats .....</b>	<b>24</b>
<b>3. CASH FLOW ET TAUX DE RENTABILITE INTERNE</b>	
<b>3.1. Tableau des dépenses et recettes .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2. Taux de rentabilité interne .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3. Comparaison avec une usine de production         de fluorure d'aluminium de 15.500 tonnes par an .....</b>	<b>28</b>
<b>3.4. Bénéfice actualisé nul .....</b>	<b>28</b>

	<u>Page</u>
3.4.1. Complexe (A) .....	35
3.4.2. Complexe (B) .....	36
3.5. Comparaison des bénéfices actualisés .....	36
3.6. Balance devises .....	37
3.6.1. Gain de devises par tonne de produit .....	37
3.6.2. Bilan actualisé en devises .....	38
4. CONCLUSIONS .....	41

## RESUME

Nous faisons ressortir ci-dessous les lignes directrices selon lesquelles a été conduite la présente étude économique, et nous donnons un résumé des résultats les plus importants.

Dans la recherche de la valorisation du spath fluor tunisien, deux produits fondants utilisés dans la production d'aluminium primaire, présentent un intérêt majeur :

le fluorure d'aluminium et la cryolithe artificielle.

Le montant total des investissements, pour un complexe produisant près de 11.000 Tonnes d'acide fluorhydrique intermédiaire pour la fabrication de :

8.000 Tonnes de fluorure d'aluminium  
et 8.000 Tonnes de cryolithe artificielle

est de :

6.700.000 US \$  
soit 3.500.000 Dinars

Une variante qui nous a paru économiquement très intéressante est celle qui ne comprendrait que la fabrication de fluorure d'aluminium (15.500 Tonnes avec la même quantité d'acide fluorhydrique).

Pour cette variante, le montant total des investissements serait de :

5.400.000 US \$  
soit 2.800.000 Dinars

Pour ce qui est des coûts de production, nous les avons estimés en fonction du prix de la tonne de spath fluor : celui-ci intervient en effet pour près de 60 % dans le coût de production de l'acide fluorhydrique et encore pour près de 40 % dans le coût en fluorure d'aluminium ou de la cryolithe.

Là encore l'avantage de la fabrication de fluorure d'aluminium seul apparaît comme très important.

En effet, alors qu'il est possible de considérer que les deux produits ont un coût de production sensiblement identique (dans les hypothèses que nous avons retenues, la tonne de cryolithe a un coût de production de 247 US \$ et celle de fluorure d'aluminium de 252 US \$, soit une différence de 2 %), les prix de vente mondiaux des deux produits ont divergé rapidement au cours des dernières années : l'écart très faible il y a quatre ans, atteint maintenant, selon les sources italiennes 20 % environ, et selon les sources norvégiennes près de 50 %. Les derniers prix fournis étant de 330 US \$ pour le fluorure et 275 US \$ pour la cryolithe selon les Italiens, et, respectivement de 360 US \$ et 240 US \$ selon les sources norvégiennes ; ce dernier chiffres ne permettrait du reste pas de commercialiser la cryolithe avec un profit.

Les taux de rentabilité internes sont très intéressants, et tout particulièrement celui correspondant à l'installation d'un complexe produisant uniquement du fluorure d'aluminium.

Si donc, sous l'angle commercial il s'avérait qu'aucun handicap spécifique ne viendrait gêner la commercialisation du seul fluorure d'aluminium, il est certain que, sous l'angle économique, l'installation correspondant aux investissements relativement les plus faibles, aux profits les plus élevés et par suite au maximum de rentabilité est celle qui ne comprendrait que la fabrication de fluorure d'aluminium.

## INTRODUCTION A L'ETUDE ECONOMIQUE

A la suite des études effectuées sur le marché des dérivés fluorés et sur les procédés de fabrication des produits les plus intéressants, plusieurs points ont été mis en lumière, et sont suffisamment importants pour conditionner le cheminement de l'étude économique.

### I. ATELIER SULFURIQUE

La meilleure solution pour l'approvisionnement des installations en acide sulfurique est conditionnée par le choix du site de l'usine de dérivés fluorés.

L'alternative envisagée est en effet la suivante : l'usine peut se fournir en acide à un gros producteur, ou bien peut installer un atelier sulfurique intégré.

L'étude de la matière première la plus avantageuse en Tunisie pour la production d'acide sulfurique a été faite par le C.N.E.I., mais il n'y a pas eu d'étude économique sur l'alternative : petites ou moyennes usines intégrées dans des complexes ou bien usine indépendante d'acide sulfurique, de capacité très importante, (300 000 tonnes) chargée de fournir l'acide aux différents utilisateurs.

Il est connu que le coût de la tonne d'acide, départ usine, est moindre dans une usine de forte capacité que dans une usine petite ou moyenne.

Mais, dans le cas présent, il ne faut prendre en considération que le prix de la tonne d'acide rendu usine.

Si le choix du site se fixe sur les environs de Tunis et que l'acide sulfurique soit produit à Sfax, voire à Gabès, le transport grèvera lourdement le prix de l'acide rendu usine ; il serait alors même avantageux de transporter la fluorine d'un tonnage moindre et de maintenance aisée. Quant au produit final, produit de valeur élevée à la tonne, le site intervient très peu dans un prix CIF.

D'autres facteurs non chiffrables entrent en jeu : l'achat de la matière première (soufre) sera l'objet d'une négociation.

Il faut donc réserver la décision sur ce point pour s'étudier une solution qu'une fois choisi le site de l'installation.

## **2. SÉLECTION DES PRODUITS**

Il s'agit de transformer une matière première nationale pour en tirer, par l'exportation des produits finis, un surplus assuré de rentrées, si cela est possible.

L'étude de marché est donc fondamentale, et nous ne nous intéresserons qu'aux produits dont la vente est immédiatement possible.

Dans cette optique, les seuls produits dont il faut examiner la rentabilité de production sont la cryolithe et le fluorure d'aluminium.

Malgré une rentabilité théorique à peu près certaine, les hydrocarbures fluorés passent au second plan par suite du manque de bases pour leur commercialisation.

## **3. INVESTISSEMENTS**

L'une des estimations celle de HUSS, pour un complexe produisant acide fluorhydrique, fluorure d'aluminium, cryolithe hydrocarbures fluorés, et possédant sa propre

usine d'acide sulfurique, atteint près de 16 Millions de Dollars, soit plus de 8 Millions de Dinars, ce qui est considérable, alarmant même si l'on considère les aléas dénoncés dans l'étude de marché.

Ce chiffre suggère de conduire l'étude avec l'idée directrice d'aboutir à un choix pour que l'investissement puisse être réduit à un montant compatible avec les autres nécessités de l'économie nationale. Bien entendu il est habituel de faire des "paris" dans certains investissements ; il est toutefois nécessaire que les conséquences d'un pari économique ne soient pas catastrophiques s'il s'avère que le parieur avait mal vu.

Les derniers chiffres retenus dans l'étude technique, et qui correspondent à la production de :

11.000 Tonnes d'acide fluorhydrique  
8.000 Tonnes de fluorure d'aluminium  
8.000 Tonnes de cryolithe artificielle

données de base sur lesquelles est faite cette étude économique, représentent le premier pas vers le choix de l'équipement minimum pour le maximum de rentabilité.

Le second pas serait représenté par la sélection, entre fluorure d'aluminium et cryolithe, selon les besoins du marché. Nous avons vu dans l'étude de marché qu'à l'heure même il n'est pas possible de décider, et que des contacts plus précis doivent être pris : s'il se confirme que l'évolution se fait vers la consommation presque exclusive de fluorure, la cryolithe étant de moins en moins recherchée, il serait important de ne faire que l'investissement correspondant à la production de 15.000 à 16.000 Tonnes de fluorure d'aluminium.

Ceci serait le dernier pas dans la sélection des produits, précédemment considérée : minimum d'investissements (et minimum de frais d'exploitation) conduisant à une rentabilité maximum.

1. LES INVESTISSEMENTS

## 1.1 NIVEAU DE PRIX DES EQUIPEMENTS

L'étude technique a présenté des montants d'investissements provenant de quatre sources.

- BUSS société de grande réputation est une firme "chère", réputation confirmée par les prix offerts dans le cas présent.
- L'une des trois autres sources, GIULINI, montre des prix remarquablement faibles, puisqu'ils sont, pour plusieurs postes, moitié moindres de ceux présentés par SEMA.
- Confirmation du niveau des prix présentés par SEMA en 1967 a été demandée à cette société en 1970. SEMA affirme avoir fait son enquête par consultation des constructeurs américains, français et allemands, et à bien confirmé le niveau de prix, valables à cette époque.
- Enfin, une consultation a été faite en Juin 1970 auprès de Montedison, qui a fourni des renseignements précis, sur les investissements à envisager.

Les chiffres avancés par Montedison corroborent parfaitement ceux de SEMA, compte tenu d'une majoration de 20 % environ due au temps écoulé, aussi bien pour l'atelier d'acide fluorhydrique que pour les installations de fluorure d'aluminium et de cryolithe, qui sont ici un peu plus importantes (8.000 Tonnes au lieu de 5.400).

Nous ne tiendrons donc pas compte des prix fournis par BUSS et par GIULINI, et, estimant que les prix donnés par SEMA et par MONTEDISON se recoupent parfaitement bien, nous retiendrons ces derniers comme étant les plus récents.

## **1.2 CALCUL DE L'INVESTISSEMENT TOTAL**

### **1.2.1. Investissements techniques**

En complément aux chiffres correspondant aux équipements de production, génie civil, pièces de rechange, engineering, brevets et montage, nous ajouterons les rubriques suivantes :

- a) Terrains et infrastructures
- b) Formalités douanières et frais de déchargement (3 % du montant des équipements)
- c) Imprévus et réserves pour hausses diverses (5 %)

### **1.2.2. Investissements associés**

- a) Les frais de constitution de la société sont mentionnés pour mémoire.
- b) Les frais d'établissement comprendront les contacts préliminaires et sans doute la signature de contrats à long terme, soit de fourniture, soit d'association dans la production, la comparaison des offres, la recherche du financement. C'est un ensemble de dépenses que nous avons estimé à 100.000 Dollars et que nous avons fait supporter par parts sensiblement égales par les trois installations. L'installation d'acide fluorhydrique doit y participer puisqu'elle ne se réalise que si l'on fabrique également fluorure et cryolithe.
- c) Intérêts intercalaires :  
La durée de construction des installations a été estimée à 18 mois, le taux d'intérêt à 8 %.
- d) Démarrage et mise au point :  
Nous comptons les spécialistes étrangers qui sont prévus pour 3 mois.
- e) Assistance technique :  
Pour éviter que le premier exercice ne supporte seul les aléas, nous avons prévu une réserve comportant une assistance tech-

rique : de 3 mois, des mêmes spécialistes étrangers (ces trois mois peuvent ne pas être consécutifs) que pour le démarrage et la mise au point, et une charge de six mois du personnel tunisien de production et de trois mois de l'ensemble du personnel.

Deux mois d'utilités ont été prévus.

Une semaine de consommation perdue en ce qui concerne les matières premières. (Sur 6 mois de production, comprenant démarrage, mise au point et période assistée techniquement).

C'est en somme une provision de 150.000 Dollars qui est prévue pour faciliter l'exploitation du premier exercice. Ces 150.000 Dollars seront amortis sur 10 ans, au lieu d'être portés à la charge du seul premier exercice s'ils sont effectivement dépensés.

L'usine trouve donc là une facilité et une sécurité qui, si l'on considère les résultats de nombreuses installations déficitaires pour les premiers exercices, s'avère intéressante pour éviter les emprunts bancaires à court terme.

f) Réserves pour équipements divers :

Il s'agit là de l'achat de quelques véhicules pour l'administration et le transport des produits.

1.2.3. Fonds de roulement

Si nous supposons que l'usine d'acide fluorhydrique est proche de l'usine de fabrication d'acide sulfurique et éloignée des mines de spath fluor (ce qui est dans la logique, car il est plus facile et par suite moins coûteux de transporter 22.000 Tonnes de fluorine que 30.000 d'acide), nous prévoyons un mois de stock de fluorine et quinze jours de consommation d'acide.

Si l'usine devait être installée sur les mines de spath fluor, il faudrait prévoir une semaine ou quinze jours de consommation de fluorine et un mois d'acide, si le fournisseur est à Sfax ou Gabès. Dans ce cas la variation du montant total de l'investissement, produits finis compris, n'est que de 10 %, soit une variation de 2 à 3.000 US \$ annuels sur la rubrique "Intérêts sur fonds de roulement", dans le calcul du prix de revient de la tonne de HF, ce qui est parfaitement négligeable.

Enfin si l'usine d'acide sulfurique est intégrée et les installations situées relativement près des mines, le fonds de roulement ne comporte plus qu'une semaine de consommation de fluorine, une semaine de consommation d'acide et le stock nécessaire d'acide fluorhydrique, mais comporte un stock de soufre de plusieurs mois.

**ACIDE FLUORHYDRIQUE**  
(10.600 Tonnes)

- 10 -

**INVESTISSEMENTS TECHNIQUES** (en milliers de dollars)

Equipements de production .....	1.120
Génie civil et charpentes métalliques .....	144
Stock initial de pièces de rechange .....	128
Stockage acides (sulfurique et fluorhydrique) .....	40
Engineering, brevets .....	448
Montage .....	80
Terrains et infrastructures .....	15
Formalités douanières et frais de déchargement .....	<u>35</u>
	2.010
Imprévus et réserves pour hausses diverses (5 % app.)	<u>100</u>
	2.110

**INVESTISSEMENTS ASSOCIES**

Frais de constitution de la société .....	p.m.
Frais d'établissements .....	30
Intérêts intercalaires jusqu'à la fin du montage ...	90
Démarrage et mise au point (spécialistes étrangers).	65
Assistance technique (spécialistes étrangers 3 mois)	65
Salaires tunisiens .....	30
Utilités (2 mois) .....	15
Matières premières perdues (1 semaine) ....	35
Réserves pour équipements divers (Voitures etc...)..	<u>30</u>
	360

**TOTAL INVESTISSEMENTS TECHNIQUES ET ASSOCIES** ..... 2.370

**FONDS DE ROULEMENT**

Fluorine (1 semaine) 500 Tonnes .....	25
Acide sulfurique (10 jours de marche) .....	15
Acide fluorhydrique .....	20
Liquidités .....	<u>30</u>
	90

**TOTAL GLOBAL** . . . . . 2.470

CRYOLITE

(8.000 Tonnes)

INVESTISSEMENTS TECHNIQUES (en milliers de dollars)

Equipements de production .....	1.088
Génie civil et charpentes métalliques .....	96
Stock initial de pièce de rechange .....	112
Engineering et brevets .....	336
Montage .....	96
Terrain et infrastructure .....	10
Formalités douanières et frais de déchargement .....	30
	<hr/>
	1.768
Imprévus et réserves pour hausses diverses (5 %) ...	90
	<hr/>
	1.858

INVESTISSEMENTS ASSOCIES

Frais de constitution de la société .....	p.m.
Frais d'établissement .....	30
Intérêts intercalaires .....	84
Frais de démarrage et mise au point (spécialistes étrangers) ...	65
Assistance technique (spécialistes étrangers 3 mois)	65
Salaires tunisiens .....	15
Utilités .....	6
Matières premières perdues (1 semaine) ....	27
Réserves pour équipements divers (voitures, camions etc...) .....	30
	<hr/>
	322

TOTAL INVESTISSEMENTS TECHNIQUES ET ASSOCIES ..... 2.180

FONDS DE ROULEMENT

Acide fluorhydrique (déjà compté)	
Alumine .....	20
Chlorure de sodium .....	p.m.
Soude .....	p.m.
Liquidités .....	20
	<hr/>
	40

TOTAL GENERAL . . . . . 2.220

**FLUORURE D'ALUMINIUM**

(8.000 Tonnes)

**INVESTISSEMENTS TECHNIQUES** (en milliers de dollars)

Equipements de production .....	800
Genie civil et charpentes métalliques .....	112
Stock initial de pièces de rechange .....	64
Engineering et brevets .....	400
Montage .....	96
Terrains et infrastructure .....	10
Formalités douanières et frais de déchargement .....	<u>25</u>
	1.507
Imprévus et réserves pour hausses diverses (5 %) ...	<u>75</u>
	1.582

**INVESTISSEMENTS ASSOCIES**

Frais de constitution de la société .....	p.m.
Frais d'établissement .....	40
Intérêts intercalaires .....	64
Démarrage et mise au point (spécialistes étrangers).	65
Assistance technique (spécialistes étrangers 3 mois)	65
Salaires tunisiens .....	15
Utilités (2 mois) .....	3
Matières premières perdues (1 semaine) ....	30
Réserves pour équipements divers (voitures, camions etc...) .....	<u>30</u>
	312

**TOTAL INVESTISSEMENTS TECHNIQUES ET ASSOCIES** ..... 1.894

**FONDS DE ROULEMENT**

Acide fluorhydrique (déjà compté)	
Alumina .....	30
Liquidités .....	<u>20</u>
	50

**TOTAL GENERAL** ..... 1.944

### 1.3 RECAPITULATION

Les investissements calculés précédemment peuvent se regrouper en considérant les trois postes classiques :

- . Génie Civil
- . Equipements
- . Frais divers

Le dernier poste comprenant un ensemble très hétérogène comme les frais de brevets ou les éléments du fonds de roulement.

Le tableau de répartition donné page suivante comporte la décomposition approximative des dépenses en devises et monnaie locale.

Pour l'ensemble des trois installations, on arrive ainsi à la récapitulation globale :

	Devises	Monnaie locale	Total en milliers Da \$
Génie Civil	82	380	462
Equipements	3.814		3.814
Frais divers	1.931	517	2.448
	5.827	897	6.724

C'est donc un investissement total d'environ Trois Millions et demi de Dinars qu'il faut envisager pour l'ensemble des installations d'une capacité de 8.000 Tonnes de fluorure d'Aluminium et de 8.000 Tonnes de cryolithe.

**REMARQUE :** Nous avons souligné qu'il paraissait recommandable d'analyser très attentivement l'évolution de la consommation relative de fluorure d'aluminium et de cryolithe. En effet si l'on construisait uniquement une usine de production de fluorure d'aluminium, de capacité double de celle qui est envisagée ici, l'économie serait très importante :

**ACIER FLUORÉ** (10.600 Tonnes)

	Devises	Monnaie locale	Total
Océan Civil .....	44	140	184
Équipement .....	1.443		1.443
Frais divers .....	683	250	933
	2.170	390	2.560

**FLUORURE D'ALUMINIUM** (8.000 Tonnes)

	Devises	Monnaie locale	Total
Océan Civil .....	22	125	147
Équipement .....	1.010		1.010
Frais divers .....	660	127	787
	1.692	252	1.944

**CHLORURE** (8.000 Tonnes)

	Devises	Monnaie locale	Total
Océan Civil .....	16	115	131
Équipements .....	1.361		1.361
Frais divers .....	588	140	728
	1.965	255	2.220

- a) Pour l'ensemble des investissements techniques au P<sub>3</sub> on peut appliquer la règle des deux tiers. Cela conduit ici à une augmentation de 30 % du montant des investissements techniques approximativement. Soit environ 2.400.000 Dollars.
- b) Les investissements associés subissent pour seule modification une augmentation des intérêts intercalaires proportionnelle à l'augmentation des investissements techniques.  
Le total monte à 350.000 Dollars environ.
- c) Le fonds de roulement est quelque peu augmenté : 90.000 US \$  
L'investissement total serait d'environ : 2.840.000 Dollars

L'économie réalisée est alors :

$$(1.944.000 + 2.220.000) - 2.840.000 = 1.324.000 \text{ Dollars}$$

L'investissement total pour l'installation d'acide fluorhydrique et celle de fluorure d'aluminium serait alors le suivant :

Acide fluorhydrique (10.600 Tonnes) .....	2.560	Milliers de US \$
Fluorure d'aluminium (15.500 Tonnes) .....	<u>2.840</u>	
	5.400	Milliers de US \$

L'installation nécessiterait à peine 2.800.000 Dinars, représentant un investissement modestes devant le chiffre d'affaires réalisable.

**2. COUTS DE PRODUCTION**

Nous donnons pour chaque produit les coûts de production sous la même forme avec les observations suivantes :

## 2.1 MATIERES PREMIERES

Dans ce type d'industries le coût des matières premières est déterminant.

Il importerait donc de les connaître avec le maximum de précision ce qui n'est pas toujours possible, car certaines présentent des variations relativement rapides.

Dans l'ordre d'élaboration des produits, en partant de la matière première de base le spath fluor :

- Spath fluor qualité acid-trade : une lettre de SOTELI de Novembre 1969 annonce pour prix de la tonne 44 US \$.  
Les prix mondiaux donnés par la revue MINES ET METALLURGIE a été de 51 US \$ la tonne en Juin 1970 et de 59,85 en Juillet 1970.  
Nous avons retenu le chiffre de 60 \$ la tonne.
- Acide sulfurique : Nous avons calculé dans une étude consacrée à l'acide sulfurique que l'on pouvait produire l'acide à 16,30 US \$ la tonne avec du soufre à 36 US \$ la Tonne CIF port tunisien.  
Il est bien certain qu'en ce premier semestre de 1970 le prix du soufre est plus bas, 26 US \$ CIF, mais il est non moins certain que ce prix constitue presque un minimum et que les estimations de BATHIE que nous avons retenues donnent pour prix du soufre dans les prochaines années 30 US \$ la Tonne FOB Golfe du Mexique, prix sur lequel il y aurait beaucoup de probabilités que s'alignent les nouveaux produe-

teurs. Si le soufre pouvait être négocié à un prix inférieur à 30 US \$ FOB, il y aurait lieu de réajuster la présente étude, sans que pour cela les conclusions générales puissent être mises en cause. Nous retenons finalement un prix de 15 US \$ Tonne, qui constitue un terme moyen.

Les autres matières premières ne posent pas de problèmes spéciaux, qu'elles soient locales ou importées.

## **2.2 UTILITES**

L'énergie a été comptée à 12 US \$ le MWH, soit 0,0063 Dinar le kilowatt heure. prix consenti aux gros utilisateurs.

Les autres utilités sont comptées aux prix indiqués dans l'étude technique.

## **2.3 SALAIRES ET FRAIS GENERAUX**

Le nombre d'agents pris en compte est conforme à celui indiqué dans l'étude technique, c'est-à-dire que l'on a calculé effectifs de la main d'oeuvre de fabrication et multiplié par 3.

Une partie de cette main d'oeuvre correspond donc aux équipes d'entretien et le complément pour obtenir l'effectif total correspond à Direction, cadres, secrétariat, (tous personnels souvent comptés dans Frais Généraux dans beaucoup d'études).

Pour cette raison, nous ne comptons que 15.000 US \$ pour les frais généraux, taxe et dépenses diverses de chaque installation.

Nous avons estimé à 2.000 US \$ la dépense moyenne annuelle par agent, conformément à une moyenne que nous avons établie dans l'étude sur la fabrication d'acide sulfurique.

Ce chiffre, rappelons-le, correspond également à une moyenne déduite de données fournies par diverses études.

Il est à peu près doublé de celui avancé par SEMA, chiffre de 1966/67, et qui nous paraît nettement trop faible à l'heure actuelle.

Dans ces 2.000 US \$ sont comptées 55 % de charges et gratifications d'après la décomposition suivante :

Taxe de formation professionnelle .....	2,0
Cotisation C.N.S.S. ....	15,0
Congés payés (21 jours) .....	7,0
Journées chômées et payées .....	2,0
C.N.S.S. sur congés payés et journées chômées et 50 % du coût des vêtements de travail incombant à l'employeur .....	1,3
Timbre et feuille de paie .....	0,5
Médecine du travail .....	2
Assurances .....	7,2
Prime de fin d'année .....	8,0
Prime de rendement .....	10,0
	<hr/>
	55,0

### **2.4 ENTRETIEN**

Il s'agit du montant des pièces consacrées annuellement, en dehors des salaires et charges des équipes d'entretien déjà comptés dans la rubrique "Salaires".

Pour tenir compte d'un travail encore un peu plus dur que celui de la fabrication d'acide sulfurique, les produits étant particulièrement corrosifs nous retiendrons comme frais d'entretien annuel 6 % du montant total des équipements de production.

### **2.5 CHARGES DE REMBOURSEMENT PRINCIPAL ET INTERET**

La proportion capitaux propres sur capitaux d'emprunt n'est pas connue. Dans cette ignorance des modalités réelles de financement, il paraît raisonnable d'adopter pour mesure moyenne, dans le calcul d'un coût de production les charges

financières suivantes :

- Montant de l'investissement emprunté pour 10 ans à 8 % par an
- Remboursement principal et intérêt par annuités constantes, soit une annuité de 15 %.

Nous obtenons ainsi une approximation valable pour un poste dont l'influence, importante, certes, n'est toutefois pas déterminante.

**IZ**  
**(10.600 Tonnes)**

	Quantités	Prix unitaire	Dépenses annuelles en 1.000 US \$	Observations	
				MI	US\$
<b><u>MATIERES PREMIERES</u></b>					
Fluorine .....	23.985	60	1.440	1440	
Acide sulfurique .....	29.315	15	440	88	352
<b><u>UTILITES</u></b>					
Energie électrique .....	2.771 Kwhl	12	33	33	
Eau de refroidissement ...	11.599.000 m <sup>3</sup>	0,02	32	32	
Fuel .....	1.430 T	15,5	22	22	
<b><u>CHARGES</u></b>					
Salaires (40 agents) .....			80	80	
Entretien .....			67	0	67
Frais généraux, taxes et dépenses diverses .....			15	15	
Frais financiers (annuité de remboursement principal et intérêt) ...			370	55	315
Intérêts sur fonds de roulement .....			7	7	
			2.506	1772	734

Soit par tonne d'acide :

$$\frac{2.506.000}{10.600} = 236,42 \text{ US } \$$$

CRYOLITHE

(8,000 Tonnes)

	Quantités	Prix unitaire	Dépenses annuelles	Observations	
<u>MATIÈRES PREMIÈRES</u>					
Acide fluorhydrique .....	5.080	236,4	1.201	N.N	US\$ 849 352
Alumine .....	3.280	55	180	0	180
Chlorure de sodium .....	10.000	5,5	55	55	
Soude .....	480	72	35	0	35
<u>UTILITÉS</u>					
Energie électrique .....	600 Mwh	12	10	10	
Eau de refroidissement ....	680.000 m <sup>3</sup>	0,02	14	14	
Fuel .....	940 T	15,5	15	15	
<u>CHARGES</u>					
Salaires (20 agents) .....			40	40	
Entretien .....			65	0	65
Frais généraux, taxes et dépenses diverses .....			30	30	
Frais financiers (annuité de remboursement principal et intérêt) ....			327	32	295
Intérêts sur fonds de roulement .....			3	3	
			<u>1.975</u>	<u>1048</u>	<u>927</u>

Coût de production de la tonne de cryolithe :

$$\frac{1.975.000}{8.000} = 246,88 \text{ US \$}$$

arrondi à ..... 247



FLUORURE D'ALUMINIUM

8,000 Tonnes

	Quantités	Prix unitaire	Dépenses annuelles	Observations
<b><u>MATIERES PREMIERES</u></b>				
HF .....	5.520 T	236,4	1.305	N.N. US\$ 925 380
Al (OH) <sub>3</sub> .....	5.200 T	55	286	286
			1.591	
<b><u>UTILITES</u></b>				
Energie électrique .....	3,0 Mwh	12	4	4
Eau de refroidissement ....	400.000 m <sup>3</sup>	0,02	8	8
Fuel .....	272 T	15,5	4	4
<b><u>CHARGES</u></b>				
Salaires (20 agents) .....			40	40
Entretien .....			48	48
Frais généraux, taxes et dépenses diverses .....			30	30
Frais financiers (annuité de remboursement principal et intérêt) ....			264	42 242
Intérêts sur fonds de roulement .....			4	4
			2.013	1.057 956

**Coût de production de la tonne de fluorure d'aluminium :**

$$\frac{2.013.000}{8.000} = 251,63 \text{ US \$}$$

arrondi à ..... 252 US \$

FLUORURE D'ALUMINIUM

(15 500 T)

	Quantités	Prix unitaire	Dépenses annuelles	Observations	
<u>MATIERES PREMIERES</u>				N.K.	US \$
HF .....	10.600	236,4	2.506	1772	734
Alumine .....	10.100	55	555	0	555
<u>UTILITES</u>					
Energie électrique .....	640	12	8	8	
Eau de refroidissement ...	800.000m <sup>3</sup>	0,02	16	16	
Fuel .....	550	15,5	8	8	
<u>CHARGES</u>					
Salaires (30 agents).....			60	60	
Entretien .....			80		80
Frais généraux, taxes et dépenses diverses .....			55	55	
Frais financiers (annuité de remboursement principal et intérêt .....			413	63	350
Intérêts sur fonds de roulement .....			7	7	
			1 706	1 239	467

Coût de production de la tonne de fluorure d'aluminium

$\frac{1\ 718\ 000}{15\ 500} = 239,87$

arrondi à ..... 240 (US\$)

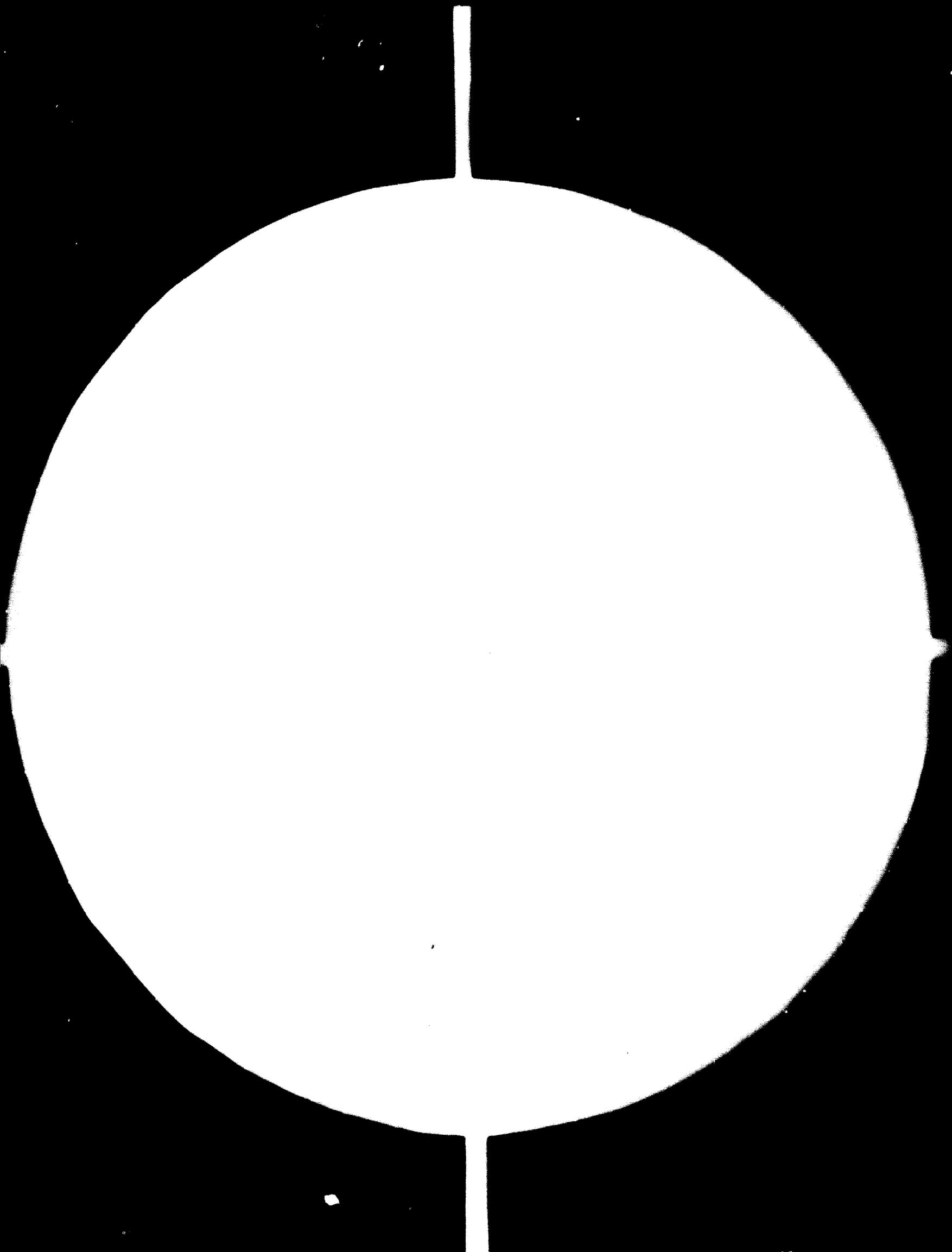
**C-536**



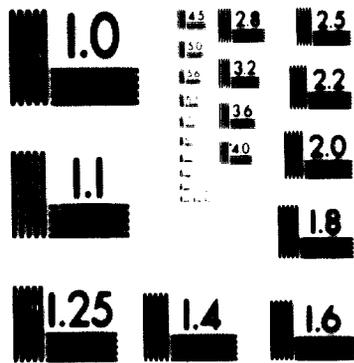
**84.10.16**

**AD.86.07**

**ILL 5.5+10**



3 OF 3



MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART  
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS  
STANDARD REFERENCE MATERIAL 1010a  
(ANSI and ISO TEST CHART No. 2)

24 x  
F

## 2.6 RESULTATS

Nous donnons dans les pages suivantes à titre indicatif les tableaux de calcul pour un prix du spath fluor de 60 US \$ la tonne.

En fait ce prix est rapidement variable à l'heure actuelle et vu son poids dans le coût de production des trois produits, il est préférable de retenir une formule donnant un coût indexé sur le cours du spath fluor.

On obtient ainsi en désignant par :

(SP) le coût d'une tonne de spath fluor  
(FH) le coût de production d'une tonne d'acide fluorhydrique  
(Al F<sub>3</sub>) " " " " de fluorure d'aluminium  
(Cryolithe) " " " " de cryolithe

---

$$\begin{array}{l} | \text{ (FH) = 100,7 + 2,26 (SP) } | \\ | \text{ (Al F}_3\text{) = 158 + 1,559 (SP) } | \\ | \text{ (Cryolithe) = 160,7 + 1,435 (SP) } | \end{array}$$

---

qui sont, à notre sens, les seules formules à retenir dans l'état de grande mobilité des prix du spath fluor, et évitent de commettre de lourdes erreurs d'appréciation.

Il demeure entendu que d'autres prix peuvent varier (prix de l'alumine), mais l'importance de ces produits dans le coût de production étant bien moindre que celui de la fluorine, la variation de leurs prix par rapport à celles des prix de la fluorine peut être négligée en première approximation.

Nous tiendrons compte de cette circonstance dans l'étude du cash flow et du taux de rentabilité interne, pour lesquels nous retiendrons un prix de spath fluor de 60 US \$ par tonne.



3. CASH FLOW & TAUX DE  
RENTABILITE INTERNE

### 3.1 TABLEAU DES DEPENSES ET RECETTES

Nous donnons ci-après les tableaux des dépenses et recettes pour une exploitation de dix ans.

Les dépenses comprennent les dépenses d'investissements et les dépenses d'exploitation, que nous avons décomposées en dépenses en devises et en monnaie locale.

Les recettes sont uniquement en devises, et les prix de vente que l'on a retenus sont :

pour le fluorure d'aluminium 330 US\$ et 300 US\$/tonne  
pour la cryolithe 275 i 3\$ et 240 US\$/tonne

ce qui représente la fourchette donnée par MONTADISON pour les six premiers mois de 1970. En fait les deux prix les plus récents 275 et 330 sont ceux qui correspondent réellement à l'augmentation des prix du spath fluor.

Le cash flow brut est fonction de (SP), valeur du spath fluor au moment de l'étude.

Dans tous les calculs concernant soit le taux de rentabilité interne soit le bénéfice actualisé, nous prendrons en compte le raisonnement suivant

L'expression des dépenses nettes actualisées pour une installation donnée est :

$$D = F + \sum_0^n \frac{A_p}{(1+i)^P} + \sum_0^n \frac{de_p}{(1+i)^P} - \sum_0^n \frac{r_p}{(1+i)^P}$$
$$= F + E + De - Re$$

dans laquelle :

A représente la somme des différentes annuités correspondant aux charges financières (remboursement principal et intérêts) des différents emprunts ré-

lisés. Nous considérons pour simplifier l'écriture que la somme des différents emprunts est équivalente à un emprunt unique au taux  $t$  et correspond à une annuité de  $A_p$

- $d_p$  dépenses d'exploitation pour l'année  $p$
- $r_p$  recettes d'exploitation
- $F$  fonds propres
- $E_1$  dépenses correspondant aux emprunts

Pour les comparaisons qui nous intéressent, nous pouvons imaginer que l'entreprise est scindée en deux parties : un "service industriel" et un "service financier". Le "service industriel" utilise les capitaux mis à sa disposition par le "service financier" de l'entreprise moyennant un taux d'intérêt unique égal au taux d'actualisation jugé valable. L'écart entre le taux d'emprunt ou de prêt et le taux d'actualisation correspond à des recettes ou à des dépenses financières qui ne doivent pas intervenir dans le calcul de rentabilité des investissements de l'entreprise. Cette conception justifie alors les calculs excluant la prise en compte des charges financières.

En effet le terme

$$\sum_0^n \frac{A_p}{(1+i)^p}$$

est égal à  $E$

puisque  $i = t$  et que  $\sum_0^n \frac{A_p}{(1+t)^p} = E$  par définition des annuités

La formule donnant les dépenses actualisées est alors :

$$D = F + E + D_0 - R_0$$

soit

$$D = I + D_0 - R_0$$

Si l'investissement s'échelonne sur plusieurs années on doit également actualiser I.

Dans les calculs présentés, ce raisonnement conduit à supprimer des coûts de production la rubrique "Charges financières au titre de remboursement de capital et intérêts".

Enfin les calculs étant menés pour indiquer l'intérêt d'une installation de traitement de l'acid grade tunisien, les calculs de taux de rentabilité interne et de bénéfice actualisé n'ont pas tenu compte des impôts. Etant donné l'importance nationale de la question, il est probable que les produits seraient exemptés de divers impôts et taxes.

Un calcul plus élaboré présenterait un compte d'exploitation prévisionnel prenant en compte le remboursement des emprunts, une fois définis les fonds propres de l'entreprise, les intérêts correspondants, les amortissements les bénéfices avant impôts et les impôts ou taxes auxquels pourrait être assujettie l'entreprise.

### 3.2 TAUX DE RENTABILITE INTERNE

Le taux de rentabilité interne correspond à l'égalité des dépenses actualisées et des investissements, ou encore à l'égalité (pour la durée d'actualisation) :

$$\text{Cash flow brut actualisé} = \text{Investissements}$$

Dans le cas présent, si r est le taux de rentabilité interne du complexe (A), r est donné par l'équation :

$$\sum_0^n \text{CF} \frac{1}{(1+r)^n}$$

équation dans laquelle :

CF est le cash flow brut annuel.

I est l'investissement total.

En explicitant il vient :

$$\text{CF} \frac{(1+r)^{10} - 1}{r(1+r)^{10}} = I$$

En calculant r pour une valeur de (SP), prix de la tonne de spath fluor, de 60 US \$ la tonne, on obtient :

$$\underline{\underline{r = 24 \%}}$$

### **3.3 COMPARAISON AVEC UNE USINE DE PRODUCTION DE FLUORURE D'ALUMINIUM DE 15.500 tonnes/an**

L'étude de marché ayant montré tout l'intérêt de la vente de fluorure d'aluminium, par suite de la demande plus rapidement croissante que celle de cryolithe, et des prix maintenant nettement plus élevés, nous comparerons les deux projets en recherchant de la même manière le taux de rentabilité interne d'un complexe ne produisant que du fluorure d'aluminium, soit 15.500 Tonnes pour la même production d'acide fluorhydrique (10.600 Tonnes).

Nous construisons le tableau des dépenses et recettes de la même manière que précédemment.

Dans les tableaux de "COUTS DE PRODUCTION" ont été indiqués les chiffres correspondant à une production double de fluorure d'aluminium. (Certaines dépenses sont effectivement doublées bien entendu, quand il s'agit de matières premières ou d'utilités ; d'autres ne le sont pas, en particulier les salaires, l'entretien et les frais généraux).

Le taux de rentabilité interne calculé de la même manière que précédemment est :

$$\underline{\underline{r = 39 \%}}$$

La différence est considérable.

#### **3.4. Bénéfice actualisé nul**

Les chiffres que nous avons trouvés pour le taux de rentabilité interne des deux projets appellent l'attention.

Un taux de rentabilité interne de 24 % est en effet une valeur intéressante pour l'industrie, mais 39 % devient une valeur très intéressante.

On peut par prudence, émettre un doute sur les chiffres qui ont été retenus, et qui sont ceux qu'a fournis MONTEDISON, et rechercher à quel prix il faudrait descendre pour que la vente de cryolithe et fluorure d'aluminium donne un bénéfice actualisé nul.

COMPTES (A) PRODUITS  
 5.000 Francs de dépenses d'entretien  
 8.000 Francs de capitalisation  
 Valeurs en 1.000 FR S

AN	D E P E N S E S		RENTES	C A P I T A L I S A T I O N	C O E F F I C I E N T d'entretien (1 + P) - A	C A P I T A L I S A T I O N A N N E E (M) - 60 M S	C A P I T A L I S A T I O N A N N E E (M) - 24 S			
	M. S.	M. S.								
1957	5.827	897	6.724	1.567 + 24 (M)	2.640	2.200	3.273 - 24 (M)	1.833	0.285	1.478
1958	•	•	•	1.567 + 24 (M)	2.640	2.200	3.273 - 24 (M)	1.833	0.649	1.190
1959	•	•	•	1.567 + 24 (M)	2.640	2.200	3.273 - 24 (M)	1.833	0.504	940
1960	•	•	•	1.567 + 24 (M)	2.640	2.200	3.273 - 24 (M)	1.833	0.482	774
1961	•	•	•	1.567 + 24 (M)	2.640	2.200	3.273 - 24 (M)	1.833	0.340	623
1962	•	•	•	1.567 + 24 (M)	2.640	2.200	3.273 - 24 (M)	1.833	0.274	508
1963	•	•	•	1.567 + 24 (M)	2.640	2.200	3.273 - 24 (M)	1.833	0.281	495
1964	•	•	•	1.567 + 24 (M)	2.640	2.200	3.273 - 24 (M)	1.833	0.176	343
1965	•	•	•	1.567 + 24 (M)	2.640	2.200	3.273 - 24 (M)	1.833	0.143	282
1966	•	•	•	1.567 + 24 (M)	2.640	2.200	3.273 - 24 (M)	1.833	0.116	213
TOTAL	5.827	897	6.724	1.567 + 24 (M)	2.640	2.200	3.273 - 24 (M)	1.833	•	6.724



**COMPAGNIE PRODUITS SAUVE**  
 ( 5,000 Tonneaux de Fluorure d'Aluminium )  
 ( 5,000 Tonneaux de cryolithe )

Valeurs en 1,000 US \$

ANNÉES	D E P E N S E S			REVENUS	CASH FLOW BRUT	CASH FLOW BRUT ATTY (SP) = 60 US \$	Coefficient d'actualisation avec r = 1,5% $\frac{1}{(1+r)^n}$	CASH FLOW NET
	INVESTISSEMENTS	EXPLOITATION						
	US \$	M. N. C.	M. N. C.	US \$	TOTAL	US \$		
		Matière Première	Matière Autres					
		Autres	Autres					
-1-0	5,837	0	0	5,724				
0-1	0	190	534	1,567 + 24 (SP)	2,400	1,920	1,113	1,148
1-2	0	190	534	1,567 + 24 (SP)	2,400	1,920	1,313	1,702
2-3	0	190	534	1,567 + 24 (SP)	2,400	1,920	1,313	876
3-4	0	190	534	1,567 + 24 (SP)	2,400	1,920	1,313	764
4-5	0	190	534	1,567 + 24 (SP)	2,400	1,920	1,313	667
5-6	0	190	534	1,567 + 24 (SP)	2,400	1,920	1,313	583
6-7	0	190	534	1,567 + 24 (SP)	2,400	1,920	1,313	509
7-8	0	190	534	1,567 + 24 (SP)	2,400	1,920	1,313	445
8-9	0	190	534	1,567 + 24 (SP)	2,400	1,920	1,313	389
9-10	0	190	534	1,567 + 24 (SP)	2,400	1,920	1,313	340
Total actualisé en 1960								5,120
								6,724



( 8,000 Tonne de Fluore d'Hydrogène  
 8,000 Tonne de gazolithe

Valours en 1,000 US \$

DATE	D E P E N S E S			RESERVES	CASE FLOW UNIT	CASE FLOW UNIT AVG (SP) - 44 OR 50 (1.2.2) - 44	COSTS d'investissement, CASE FLOW UNIT (1.2.2) - 44
	RESEARCH	OPERATION	TOTAL				
1/1	5,827	897	6,724	2,240	1,937	0,817	1,794
1/2	100	24 (SP)	1,567 + 24 (SP)	1,900	2,993 - 24 (SP)	1,573	0,708
2/3	100	24 (SP)	1,567 + 24 (SP)	1,900	2,993 - 24 (SP)	1,573	0,997
3/4	100	24 (SP)	1,567 + 24 (SP)	1,900	2,993 - 24 (SP)	1,573	0,502
4/5	100	24 (SP)	1,567 + 24 (SP)	1,900	2,993 - 24 (SP)	1,573	0,423
5/6	100	24 (SP)	1,567 + 24 (SP)	1,900	2,993 - 24 (SP)	1,573	0,377
6/7	100	24 (SP)	1,567 + 24 (SP)	1,900	2,993 - 24 (SP)	1,573	0,300
7/8	100	24 (SP)	1,567 + 24 (SP)	1,900	2,993 - 24 (SP)	1,573	0,252
8/9	100	24 (SP)	1,567 + 24 (SP)	1,900	2,993 - 24 (SP)	1,573	0,212
9/10	100	24 (SP)	1,567 + 24 (SP)	1,900	2,993 - 24 (SP)	1,573	0,176
	6,724					4,371	6,719

1/2 : les tablers correspondants correspondants à la construction de deux tranches 1969 pour les unités existantes et les nouvelles.

15.500 Tonnes de fluorure d'aluminium

0 Tonne de cryolithe

Valours en 1000 US \$

DEPENSES PROJECTIONS

ANNÉE	INVESTISSEMENTS		EXPLOITATION		TOTAL	REVENUS US \$	CASH FLOW BRUT AVEC (SP) = 50 US \$	CASH FLOW BRUT AVEC (SP) = 50 US \$	Coefficient d'actualisation avec r = 22,9 % (1 + r) <sup>-n</sup>	Valeur PLOCH BRUT ACTUALISÉ
	US \$	L.F.	US \$	L.F.						
-1/0	4.600	800								
0/1	0	0	907	147	24 (SP) + 343	4.340	0	2.855 - 24 (SP)	0,814	1.552
1/2	0	0	907	147	24 (SP) + 343	4.340	0	2.855 - 24 (SP)	0,662	937
2/3	0	0	907	147	24 (SP) + 343	4.340	0	2.855 - 24 (SP)	0,539	763
3/4	0	0	907	147	24 (SP) + 343	4.340	0	2.855 - 24 (SP)	0,439	621
4/5	0	0	907	147	24 (SP) + 343	4.340	0	2.855 - 24 (SP)	0,357	505
5/6	0	0	907	147	24 (SP) + 343	4.340	0	2.855 - 24 (SP)	0,289	429
6/7	0	0	907	147	24 (SP) + 343	4.340	0	2.855 - 24 (SP)	0,236	334
7/8	0	0	907	147	24 (SP) + 343	4.340	0	2.855 - 24 (SP)	0,191	276
8/9	0	0	907	147	24 (SP) + 343	4.340	0	2.855 - 24 (SP)	0,156	221
9/10	0	0	907	147	24 (SP) + 343	4.340	0	2.855 - 24 (SP)	0,127	180
	5.400							1.415	3,610	5.398

Il faut alors choisir un taux d'actualisation pour le projet.

Le taux d'intérêt retenu a été de 8 % : sans entrer dans la discussion du taux d'actualisation qui devrait être retenu pour un tel projet, discussion qui ferait intervenir un grand nombre de facteurs, nous retiendrons les taux de 10, 12 et 14 %. Comme il s'agit de comparer non des projets intéressant des secteurs différents de l'économie, mais des projets identiques de nature, un tableau de comparaison des prix possibles sera suffisant pour juger de la sûreté de l'opération.

3.4.1. Complexe (A) 8.000 Tonnes de cryolithe

8.000 Tonnes de fluorure d'aluminium

Nous désignerons par (F) le prix de vente du fluorure d'aluminium.

Nous admettrons, conformément aux prix pratiqués à l'heure actuelle que le prix de la cryolithe est de 20 % inférieur à celui du fluorure d'aluminium, soit (C) = 0,80 (F).

Les recettes sont alors (en milliers de dollars)

$$8 (F) + 0,8 \times 8 \times (F) = 14,4 (F)$$

Les dépenses calculées sont de :

$$1.567 + 24 (SP)$$

et l'on doit réaliser l'égalité :

$$\sum_{n=1}^{n=10} 14,4 (F) - 24 (SP) - 1.567 = \frac{1}{(1+r)^n} \times 0.724$$

à chaque valeur du taux d'actualisation correspondant une valeur de (F).

Pour le prix le plus élevé de (SP), égal à 60 US \$ par tonne, prix que nous avons retenu pour l'ensemble des calculs, nous obtenons les résultats suivants :

r %	(F) en US \$/tonne
10	284,8
12	291,4
14	298,3

Ces prix varient approximativement de 285 US \$ à 300 US \$.

Celui de MONTEDISON étant de 330 US \$, c'est une différence de 10 à 15 % qui représente la marge de sécurité, quel que soit le taux d'actualisation retenu, entre 10 et 14 %. L'opération présente donc de bonnes garanties de sûreté.

### 3.4.2. Complexe (B) 15.500 Tonnes de fluorure d'aluminium

Avec les mêmes notations que précédemment, on obtient l'égalité

$$\sum_{n=1}^{n=10} 15,6 (P) - 24 (SP) - 1.485 \frac{1}{(1+r)^n} = 5.400$$

et les prix du fluorure sont les suivants :

r %	(P) en US \$/tonne
10	243,8
12	248,8
14	253,9

Ces prix varient donc de 244 à 254 US \$ la tonne. Pour un prix moyen de 250 US \$ la tonne c'est une marge de sécurité de plus de 30 % que l'on se ménage.

L'opération présente alors les meilleures garanties de sécurité.

## 3.5 COMPARAISON DES BENEFICES ACTUALISES

La position précédente était une position de prudence, et pour cela nous n'avons envisagé que des taux d'actualisation relativement faibles de 10, 12 %.

En fait si l'on tient compte, non seulement du taux d'intérêt du marché, mais aussi des facteurs suivants :

Taux de profit que l'on peut escompter réaliser ultérieurement en réinvestissant les disponibilités créées par le projet, taux de croissance, taux de progrès technique qui sans être élevé existe dans cette industrie, une certaine "prime de

risque", justement si l'on produit de la oryolithe et que la demande vienne à baisser comme l'indique l'étude de marché, il faut que le taux d'actualisation retenu soit plus élevé. Ce choix politique qui se fait au niveau de l'entreprise devrait conduire, à notre sens, à retenir un taux de 15 à 20 % pour prendre en compte l'ensemble des facteurs précédents et 18 % paraîtrait une valeur adéquate.

L'expression du **Bénéfice actualisé**, dans les deux projets considérés est alors :

$$\text{Complexe (A) : } \sum_{n=1}^{n=10} 1.833 \frac{1}{(1+r)^n} - I_A$$

$$\text{Complexe (B) : } \sum_{n=1}^{n=10} 2.190 \frac{1}{(1+r)^n} - I_B$$

et l'on obtient les résultats suivants :

r %	Complexe (A)	Complexe (B)
15	2.476	5.592
18	1.514	4.442
20	960	3.780

Si l'on retient un taux de 18 % comme taux d'actualisation on constate que le bénéfice actualisé est de près de trois fois supérieur pour le complexe (B).

### 3.6 BALANCE DEVICES

#### 3.6.1. Gain de devises par tonne de produit

Dans les tableaux de coûts de production ont été mentionnées les parts de dépenses en devises des différents postes.

Si l'on se reporte à ces tableaux, il vient, pour les dépenses en devises par tonne de produit :

pour l'acide fluorhydrique :

$$\frac{734\ 000}{10\ 600} = 69 \text{ US\$/tonne}$$

pour la cryolithe :

$$\frac{927\ 000}{8\ 000} = 116 \text{ US\$/tonne}$$

pour le fluorure d'aluminium :

$$\frac{956\ 000}{8\ 000} = 120 \text{ US\$/tonne}$$

	Dépenses en devises/tonne	%
Acide fluorhydrique	69,1	29,2
Cryolithe	116	47
Fluorure d'aluminium	120	47,5

Le gain en devises est donc

Cryolithe ..... 275 - 116 = 159 US\$

Fluorure d'aluminium .... 330 - 120 = 210 US\$

C'est donc 50 US\$ de plus par tonne qui sont gagnés en devises par la vente de fluorure d'aluminium, autre avantage important de la production de fluorure sur la production de cryolithe.

3.6.2. Bilan actualisé en devises

Il y a lieu de retrancher de la somme des dépenses que l'on actualise les charges financières en devises, ce qui donne respectivement :

$$\text{pour la cryolithe : } \frac{927 - 295}{8.000} = 79 \text{ US \$ /tonne}$$

$$\text{pour le fluorure d'aluminium : } \frac{956 - 242}{8.000} = 89 \text{ US \$ /tonne}$$

$$\text{ou, pour le Complexe (B) } \frac{1.719 - 350}{15.500} = 89 \text{ US \$ /tonne}$$

le gain en devises, hors charges financières en devises, est donc :

$$\text{pour la cryolithe : } 275 - 79 = 196 \text{ US \$ /tonne}$$

$$\text{pour le fluorure d'aluminium : } 330 - 89 = 241 \text{ US \$ /tonne}$$

Nous comparerons également les deux solutions envisagées dans cette étude économique.

Complexe (A) : En milliers de dollars, les gains en devises  
(Entrées dues aux ventes diminuées des sorties  
dues aux diverses dépenses en devises)

$$\text{Ventes de cryolithe ..... } 196 \times 8 = 1\,568 \text{ K US\$}$$

$$\text{Ventes de fluorure d'aluminium } 241 \times 8 = 1\,928 \text{ K US\$}$$

$$\text{Total } 3\,496 \text{ K US\$}$$

Or la part de l'investissement en devises

$$\underline{\underline{5\,827\,000 \text{ US \$}}}$$

Le gain actualisé en devises est donc, en choisissant  $r = 18 \%$

$$\sum_{n=1}^{n=10} 3\,736 \frac{1}{(1+r)^n} - 5\,800 = 15\,697 - 5\,800 = 9\,897 \text{ K US\$}$$

Complexe (B) :

Ventes de fluorure d'aluminium : 241 X 15,5 = 3 736 X US\$

Gain actualisé en devises :

$$\sum_{n=1}^{n=10} 3\,736 \frac{1}{(1+r)^n} = 4\,600 = 16\,775 - 4\,600 = 12\,175 \text{ X US\$}$$

Le complexe (B) fournit un gain en devises actualisé près de 25 % supérieur à celui du complexe (A).

Remarque : Comparaison avec l'exportation directe d'acid grade

L'exportation pure et simple de 25 000 tonnes d'acid grade fournit annuellement

$$25\,000 \times 60 = 1\,440\,000 \text{ US\$}$$

soit une rentrée actualisée sur 10 ans de :

$$1.440.000 \times 4,49 = 6.460.000 \text{ US \$}$$

Il faudrait alors déduire de cette rentrée comme nous l'avons fait précédemment les investissements en devises qui ont été nécessaires pour la réalisation des installations.

Nous ne les connaissons pas.

Notons simplement qu'il suffit qu'ils atteignent 0,4 million de US dollars pour que le gain actualisé de devises réalisé par la vente de fluorure soit double de celui réalisé par la vente d'acid-grade.

En fait un complément d'étude serait nécessaire pour donner les éléments de jugement permettant de décider entre l'exportation pure et simple d'acid-grade et l'exportation de fluorure car d'autres facteurs entrent en jeu, entre autres le risque commercial, le coût de l'emploi créé etc...

## 4. CONCLUSIONS

Les conclusions de l'étude économique sont nettes.

Le projet d'un complexe de production de cryolithe et de fluorure d'aluminium que nous avons appelé Complexe (A), avec 8.000 tonnes de chaque produit est viable et procure une rentabilité et un gain de devises intéressants.

Toutefois, si l'on suit les tendances indiquées dans l'étude de marché, on est conduit à considérer les avantages d'un complexe que nous avons appelé Complexe (B) qui ne produirait que du fluorure d'aluminium, soit 15.500 tonnes pour utiliser la même quantité de fluorine.

Les avantages sont les suivants :

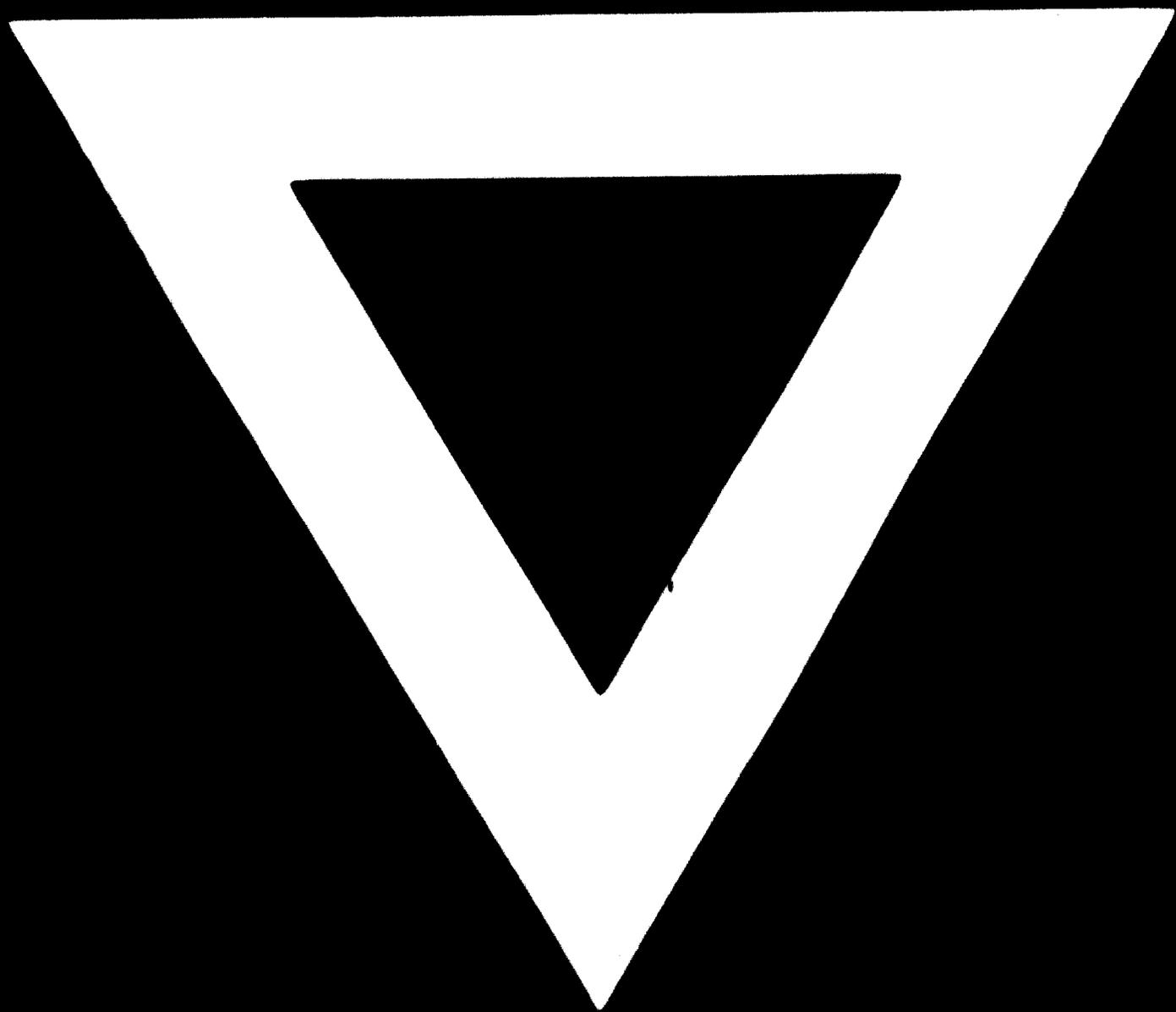
- a) Investissement réduit de 20 % environ, soit une économie de plus d'un million de dollars
- b) Taux de rentabilité interne de 39 % au lieu de 24 %
- c) Bénéfice actualisé, au taux de 18 %, trois fois supérieur à celui du Complexe (A)
- d) Gain en devises actualisé supérieur de 25 % à celui que fournit le Complexe (A).

L'étude de marché a conclu à une préférence marquée des utilisateurs pour la fourniture de fluorure d'aluminium, tendance qui va en s'accroissant, la différence de prix allant également en s'accroissant au détriment de la cryolithe alors que le coût de production reste sensiblement le même pour les deux produits, il y aurait lieu de peser soigneusement la décision de garder une production de cryolithe.

Les entretiens futurs approfondis avec les différents clients montreront leur desiderata exacte. Ces entretiens devraient viser à offrir en priorité le fluorure d'aluminium et à ne proposer qu'en second lieu la cryolithe pour tenter de s'assurer un marché d'environ 15.000 à 16.000 tonnes de fluorure d'aluminium.

Si ces entretiens se révélaient positifs, comme le laissent entrevoir les conversations préliminaires, l'étude exacte d'un complexe ne produisant que du fluorure d'aluminium pourrait être effectuée pour préparer la décision définitive.

**C-536**



**84.10.16**

**AD.86.07**

**ILL 5.5+10**