



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

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



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

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

FAIR USE POLICY

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

CONTACT

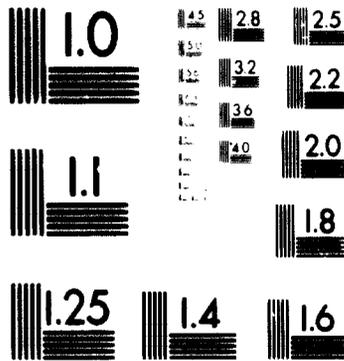
Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

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

1

OF

2



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

24 x
 F

REPUBLIQUE TUNISIENNE

SECRETARIAT D'ETAT AU PLAN
ET A L'ECONOMIE NATIONALE

CENTRE NATIONAL D'ETUDES
INDUSTRIELLES

02474
1012

POSSIBILITES
DE FABRICATION D'ACIDE SULFURIQUE
A PARTIR DE PYRITES

—
ETUDE TECHNIQUE
—



SEPTEMBRE 1969

PIECE A 1

REPUBLIQUE TUNISIENNE

—○—

Secrétariat d'Etat au Plan
et à l'Economie Nationale

—○—

CENTRE NATIONAL
D'ETUDES INDUSTRIELLES

02474

102

P O S S I B I L I T E S
D E F A B R I C A T I O N D ' A C I D E S U L F U R I Q U E
A P A R T I R D E P Y R I T E S

ETUDE TECHNIQUE

Septembre 1969

Page A₁.

LE PRESENT DOCUMENT EST EXTRAIT DU DOSSIER DE L'ETUDE :
"LES POSSIBILITES D'APPROVISIONNEMENT DE LA TUNISIE EN ACIDE SULFURIQUE",
QUI COMPREND LES PIECES SUIVANTES :

- NOTE DE SYNTHESE
- ANNEXES :

PIECES A : POSSIBILITES DE FABRICATION D'ACIDE SULFURIQUE A PARTIR DE PYRITES.

PIECE A1 : ETUDE TECHNIQUE

PIECE A2 : ETUDE ECONOMIQUE

PIECES B : ETUDE COMPARATIVE DES DIFFERENTES SOURCES DE FABRICATION D'ACIDE SULFURIQUE (SOUFRE, PYRITES, GYPSE)

PIECE B1 : ETUDE TECHNIQUE

PIECE B2 : ETUDE ECONOMIQUE

CETTE ETUDE A ETE REALISEE PAR LE CENTRE NATIONAL D'ETUDES INDUSTRIELLES* SUR LA DEMANDE DE LA DIRECTION DE L'INDUSTRIE.

* 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 (OUNDI - Vienne).

S O M M A I R E

	Pages
INTRODUCTION.	I à IV.
1.- <u>MATIERES PREMIERES</u>	1 à 14
1.1.- <u>GENERALITES</u>	1 à 2
1.2.- <u>RESSOURCES ET RESERVES MONDIALES</u>	2 à 3
1.3.- <u>FOURNISSEURS POSSIBLES</u>	3 à 14
2.- <u>PROCEDES DE FABRICATION</u>	15 à 34
2.1.- <u>PRINCIPE</u>	15 à 16
2.2.- <u>DIFFERENTS PROCEDES DE GRILLAGE</u>	16 à 31
2.2.1.- Fours mécaniques à étages	
2.2.2.- Fours rotatifs	
2.2.3.- Fours à grillage éclair	
2.2.4.- Fours à lit fluidisé	
2.2.5.- Fours à fluidisation mécanique	
2.2.6.- Comparaison	
2.3.- <u>REFROIDISSEMENT ET PURIFICATION DES GAZ</u>	32 à 33
2.4.- <u>SECHAGE, CONTACT ET ABSORPTION</u>	33 à 34
3.- <u>ETUDE DU SITE</u>	35
3.1. <u>CHOIX DU SITE</u>	35 à 36
3.2. <u>CARACTERISTIQUES DU SITE DE CABLES.</u>	36 à 46
3.2.1. Température	
3.2.2. Humidité relative	
3.2.3. Précipitations	
3.2.4. Vents	
3.2.5. Tempêtes de sable	
3.2.6. Tremblement de terre	
3.2.7. Résistance du sol.	

	Pages
4.- <u>UTILITES</u>	47 à 51
4.1.- <u>EAUX</u>	47 à 49
4.1.1. Eau de réfrigération	
4.1.2. Eau de chaudière	
4.1.3. Eau de process	
4.2. <u>ENERGIE ELECTRIQUE</u>	50 à 51
4.3. <u>COMBUSTIBLE</u>	51
5.- <u>SOUS-PRODUITS RECUPERES</u>	52 à 55
5.1. <u>CENDRES</u>	52 à 54
5.1.1. Procédés de traitement	
5.1.2. Quantités à traiter	
5.1.3. Prix des cendres	
5.2. <u>VAPEUR</u>	55
6.- <u>CONFRONTATION DES PROPOSITIONS</u>	56 à 75
6.1.- <u>CARACTERISTIQUES ESSENTIELLES ET LISTE DES PRINCIPAUX EQUIPEMENTS</u>	57 à 75
6.1.1. Ric - Tinto (Espagne)	
6.1.2. Lurgi (Allemagne)	
6.1.3. Krebs et Heurty (France)	
6.1.4. Goxa (France)	
6.1.5. Sybeta (Belgique)	
6.1.6. ERI (Belgique)	
6.2. <u>CONSUMATION DE MATIERES PREMIERES ET UTILITES</u>	76 à 77
6.3. <u>INVESTISSEMENTS</u>	78 à 84
6.3.1. In-sites, Battery Limit	
6.3.2. Services généraux et équipements of sites Battery Limit.	
6.4.- <u>PERSONNEL DE L'USINE</u>	85
6.4.1. Usine autonome	
6.4.2. Usine intégré à un complexe.	

I N T R O D U C T I O N



Le présent document a pour objet l'étude de la fabrication en Tunisie d'acide sulfurique à partir de pyrite (capacité de 300.000 T/an).

L'acide sulfurique est un produit capital à l'enrichissement et à la transformation des phosphates en engrais.

La consommation mondiale d'engrais s'est considérablement accrue ces dernières années pour l'amélioration du rendement des cultures, surtout dans les pays en voie de développement où l'accroissement de la population a été très rapide.

La production de phosphates tunisiens a augmenté en 10 ans de 60 % passant de 2 millions à 3,2 millions de tonnes de 1958 à 1968.

Parallèlement les ventes sont passées de 1,945 à 3,270 millions de tonnes soit une augmentation de 68 %.

Malgré cette augmentation, les exportations des phosphates bruts tunisiens, qui représentent près de 20 % de l'apport en devises du pays, n'ont pas suivi la courbe fortement ascendante de la demande mondiale d'engrais. Leur teneur relativement basse (58° à 68° B.P.L.) les délaissent au profit des phosphates marocains et américains plus riches.

Il est donc essentiel pour la Tunisie de transformer le plus possible sa production en produits élaborés, surtout que des techniques adéquates permettent l'obtention de produits de qualité compétitive avec ceux provenant de phosphates plus riches.

Depuis 60 ans déjà, les producteurs se sont orientés vers la production de supersimple et depuis environ 15 ans a commencé la production de supertriple en attendant la production d'engrais composés et complexes qui nécessitent l'importation de composés de l'azote et de la potasse et dont le marché est en pleine expansion.

La production des différents engrais est ainsi passée de 1962 à 1966 :

Pour le supersimple : de 11 à 33 milliers de tonnes

Pour le supertriple : de 152 à 286 milliers de tonnes

soit un doublement en cinq ans pour le produit le plus important.

Pendant la même période les exportations ont oscillé entre 115 et 257 milliers de tonnes pour le supertriplo.

Les deux principaux producteurs sont actuellement la SIAPE et NPK.

La première société a produit en 1968 un peu plus de 210.000 tonnes de supertriplo, et envisage pour 1972 une production de 250.000 tonnes.

L'acide sulfurique intervient comme matière première avec le phosphate brut dans la fabrication de l'acide phosphorique intermédiaire fatal de la production d'engrais phosphatés et sa part dans le prix de revient des dérivés phosphatés est extrêmement importante : les dépenses d'acide sulfurique représentent plus de 60 % des éléments de coût de l'acide phosphorique à 28 %, lorsque le soufre est acheté à 45 US \$ la tonne. Il est donc vital de le produire au plus faible coût.

Pour les deux raisons mentionnées, évolution de la qualité des produits exportables, et accroissement de la demande, les besoins en acide sulfurique croissent donc très rapidement, et les installations existantes, même avec les extensions envisagées, sont insuffisantes pour satisfaire la demande prévue en 1972.

Pour l'année 1968, les productions ont été en effet :

SIAPE.....	: 250.000 Tonnes (à partir de soufre importé)
NPK.....	: 180.000 Tonnes (à partir de soufre importé)
SAPCE.....	: 20.000 Tonnes (53° B \acute{e} , à partir de pyrites espagnoles)

Pour 1972 les sociétés prévoient les productions suivantes :

SIAPE.....	: 300.000 T
NPK.....	: 215.000 T
SAPCE.....	: 20.000 T

ICM : 300.000 T (à partir de soufre)

Soit un total de : 835.000 T

Si comme le prévoit le Plan Quadriennal (1969-72), les besoins de la Tunisie, sont de 1.200.000 T, il y aurait lieu de réaliser des installations d'appoint d'une capacité de 360.000 T environ.

Dans ces circonstances particulières, l'approvisionnement du pays en acide sulfurique peut être résolu de différentes manières :

a) Importation d'acide :

Elle est possible jusqu'à un certain tonnage, mais la quantité consommée représente la production totale d'une usine géante. On peut estimer que pareil tonnage nécessiterait la construction par le pays exportateur de nouvelles usines. De plus dans les années récentes de pénurie de soufre, cette importation s'est avérée extrêmement difficile et aléatoire.

b) Fabrication à partir de soufre :

Elle requiert des investissements relativement faibles, mais elle a comme inconvénient l'instabilité des cours de soufre. Un déficit mondial réel ou apparent de l'ordre de 4 % de la production totale mondiale suffirait à faire monter les cours d'une manière spectaculaire.

Les études suivantes ont été faites pour ce procédé :

- Etude Foster Wheeler datant de 1963
- Etude COMPAGNIA TECNICA INDUSTRIE PETROLI de 1967.

c) Fabrication à partir de gypse :

Cette solution est périodiquement proposée car la matière première de base est alors nationale, que ce soit le gypse (gisement de Maknessay) ou le phosphogypse, résidu de l'industrie de l'acide phosphorique. Elle se heurte pourtant à des obstacles importants, difficultés techniques d'une part dans le cas du phosphogypse, et d'autre part dans les deux cas, investissements extrêmement lourds.

Le sous produit important que constitue le ciment, produit à raison d'une tonne de ciment par tonne d'acide sulfurique, doit évidemment trouver un débouché.

Les études sur le sujet, pour la Tunisie, sont les suivantes :

- Une étude polonaise en 1961
- " " par STANLEY en 1967
- " " " VOEST en 1968
- Deux notes de M. KLINGHOFFER en 1967 et 1968.

d) Fabrication à partir de pyrite :

Les trois solutions précédentes présentant des inconvénients certains, il reste à considérer le dernier procédé utilisable : la fabrication à partir de pyrite.

D'un côté, les gisements de pyrite dans le monde sont mieux répartis que les sources de soufre, et l'on peut ainsi espérer que les cours ne suivent pas les fluctuations rapides de ceux du soufre.

D'un autre côté certaines recherches ont montré l'existence en Tunisie de gisements, mais ces études ne sont pas encore assez avancées pour fournir des résultats sûrs.

Ces circonstances relativement favorables incitent donc à étudier en détail la solution à partir de pyrite, bien que l'on sache que les investissements sont supérieurs à ceux que requiert le procédé à partir de soufre.

La rentabilité de cette solution est tributaire de l'écoulement des cendres résiduelles, utilisables comme minerais de fer et de cuivre et de l'écoulement des surplus d'énergie fournis par le grillage de la pyrite, disponibles sous forme de vapeur H.P. Ces deux points sont essentiels et nous serons conduits à les analyser en détail.

Nous réunissons donc dans ce qui suit tous les éléments qui permettent de se faire une idée claire du procédé et de sa valeur propre pour la Tunisie.

Cette étude technique et économique constitue la pièce A.

La pièce B comprendra notamment la comparaison technique et économique de fabrication à partir des différentes matières premières soufre, pyrite, gypse.

C H A P T E R 1



1. - MATIERES PREMIERES : PYRITES

,1.1. - GENERALITES

La pyrite est un sulfure de fer naturel, dimorphe de formule $Fe S_2$.

Théoriquement les pyrites contiennent 46,7 % de fer et 53,3 % de soufre. Pratiquement les pyrites commerciales ne contiennent que de 40 à 50 % de soufre.

On trouve souvent associés à la pyrite certains métaux de base, comme le cuivre, le zinc et le Plomb (chalcopyrîte: $Cu_2S - Fe_2S_3$, blende ZnS , Galène PbS). Les gisements contenant de la Chalcopyrîte sont les plus fréquents.

La concentration en métaux non ferreux du minerai est un facteur déterminant pour la rentabilité de l'exploitation du gisement.

Suivant les gisements, l'exploitation pourra se faire :

1. Pour la production de soufre élémentaire avec production secondaire de concentrés métalliques.
2. Pour la production de métaux non ferreux avec production secondaire de concentré de pyrites.
3. Pour la production de pyrites destinées à l'industrie de l'acide sulfurique avec récupération de métaux non ferreux.

La production mondiale de pyrites en 1965 a été environ de 21,5 millions de tonnes contenant 9,6 millions de tonnes de soufre, et a fourni 32,6 % de la demande mondiale en soufre.

98,5 % de ce soufre a servi pour la production d'acide sulfurique et des liqueurs sulfitiques.

On estime que 46 % des pyrites mondiales sont extraites pour leur teneur en soufre, et 54 % en tant que dérivés ou sous produits de l'exploitation des métaux non ferreux.

D'autres éléments associés aux pyrites se présentent clairement comme éléments nuisibles ou impuretés (Arsénio, Antimoine, Plomb). Ces éléments doivent être éliminés des gaz de grillage des pyrites avant la chambre de contact et ne doivent pas figurer dans les cendres afin que celles-ci puissent être utilisées en sidérurgie.

1.2. - RESSOURCES ET RESERVES MONDIALES

L'Inde et l'Espagne sont les seuls pays ayant des réserves supérieures à 100 millions de tonnes (en équivalent soufre). Mais dix autres pays : les U.S.A., le Brésil, la Norvège, la Suède, le Portugal, la Turquie, l'U.R.S.S., le Maroc, le Japon et la Chine ont des réserves supérieures à 10 millions de tonnes (équivalent soufre).

Une proportion considérable des réserves mondiales de pyrites se trouve dans les gisements sulfureux qui sont exploités pour leur teneur en métaux non ferreux.

De plus il existe de grandes quantités de pyrites mélangées à du charbon, surtout aux Etats-Unis et au Brésil. Les estimations des réserves de pyrites sont par conséquent sujettes à de nombreux désaccords en ce qui concerne l'interprétation que l'on donne aux réserves.

Les chiffres des réserves dans les pays communistes sont très fragmentaires, de ce fait l'estimation donnée doit être considérée avec précaution.

La "British sulphur corporation" a fait les estimations suivantes sur les réserves mondiales de pyrites :

Réserves connues et probables (10 ⁶ Tonnes)	
Monde Occidental	750 - 800
Monde Socialiste	(700)

ESTIMATION DES RESERVES MONDIALES PROUVES DE PYRITES PAR REGION

GEOGRAPHIQUE

(en Millions de Tonnes de S.)

REGION	RESERVES PROUVES	CAPACITE DE PROD.
Amérique du Nord et Latine (1)	80	0,950
Amérique du Sud (1)	10 - 50	0,053
Europe de l'Ouest	220	4,600
Europe de l'Est	Min 60	2,610
Afrique	20 - 30	0,370
Asie Socialiste	0,800
Autres pays de l'Asie	230 - 270	1,090
Océanie	10	0,175
Total Monde Occidental	570 - 660	7,540
Total Monde Socialiste	(500)	3,410
TOTAL MONDE	11.000	10,950

(1) Ne comprenant pas les grandes réserves de pyrites présentes dans le charbon.

3.1.3. - FOURNISSEURS POSSIBLES

Les pays susceptibles de fournir à la Tunisie de la pyrite compte tenu de leur position géographique, et leur position sur le marché mondial de la pyrite sont :

- l'Espagne
- Chypre
- L'Italie
- L'U.R.S.S
- La Yougoslavie

- L'ESPAGNE -

1. - Généralités.

Depuis 1950 la production des pyrites a subi diverses fluctuations mais la tendance générale a été une augmentation sensible ; en effet la production a doublé en 15 ans, et elle a atteint en 1965 une pointe de 2.980.000 Tonnes de pyrites contenant selon les estimations 1.420.000 tonnes de soufre.

Les gisements de pyrites en Espagne, qui comptent parmi les plus importants du globe, sont situés principalement dans trois régions : Huelva, Santander et Murcio.

Ceux de Huelva au Sud-Ouest de la péninsule (provinces de Huelva et de Séville) ont 130 kms de long et 30 kms de large. Certains gisements représentent des réserves allant jusqu'à plusieurs millions de tonnes de pyrites mélangées à des minerais de métaux non ferreux. On estime de 800 millions à un milliard de tonnes de minerais les réserves de l'ensemble des gisements de Huelva.

Les pyrites espagnoles contenant de l'arsenic et d'autres impuretés, exigent des procédés spéciaux de grillage.

95 pour cent de la production totale des pyrites espagnoles proviennent de la province de Huelva ; les firmes :

- Cia Española de Minas de Rio Tinto S.A. et
- Cia de Azufre Y Cobre de Tharsis Ltda.

ont assuré à elles seules 76 pour cent de la production en 1965, et augmenteront leur production pour atteindre 3.750.000 Tonnes/an avant 1975. Le tableau suivant montre l'évolution de la production de pyrites par l'Espagne pendant les 10 dernières années.

PRODUCTION DE PYRITES (en tonnes)

A N N E E S	RIO TINTO ET THARSIS	TOTAL ESPAGNOL
1 9 5 9.....	1.454.471	2.119.562
1 9 6 0.....	1.644.156	2.258.601
1 9 6 1.....	1.621.529	2.237.497
1 9 6 2.....	1.629.553	2.213.941
1 9 6 3.....	1.528.860	2.086.285
1 9 6 4.....	1.864.379	2.452.335
1 9 6 5.....	1.979.939	2.598.952
1 9 6 6.....	1.933.991	2.609.627
1 9 6 7.....	1.779.955	2.371.228
1 9 6 8.....	1.977.335	2.483.842

2) Spécifications technico-économiques.**2.1. - Composition :**

La composition moyenne du gisement de pyrite de Rio-Tinto est la suivante :

	S	Fo	Cu	Zn	As	Pb	Sb	Gangue
%	48	42	10,4 à 1,2	2	0,5	10,6 à 1	0,01	5

Ces pyrites ne contiennent pas de fluor.

2.2. - Production annuelle :

La production actuelle de la Compagnie de Rio Tinto est de un million de tonnes par an dont près de 500.000 tonnes sont extraites à ciel ouvert, le reste provenant de l'exploitation souterraine.

La compagnie compte doubler sa production en 1970 pour atteindre 2 millions de tonnes dont 1,5 millions de tonnes seront exploitées à ciel ouvert.

EVOLUTION DE LA PRODUCTION DE PYRITE DE RIO TINTO

<u>ANNEE</u>	<u>PRODUCTION (T)</u>
1959.....	810.725
1960.....	958.774
1961.....	929.888
1962.....	946.037
1963.....	895.081
1964.....	983.953
1965.....	1.121.381
1966.....	1.129.336
1967.....	912.078
1968.....	1.013.530

2.3. - Granulométrie :

La pyrite espagnole est livrée principalement en 4 granulométries qui sont fonction du procédé de grillage : (12 mm, 8 mm, 6 mm, 0,15 mm).

2.4. - Prix

Le prix international est établi chaque mois sur la base suivante :

Pyrite sèche à 48 % de soufre et 0,6 % de cuivre.

Le tableau suivant montre l'évolution des prix de pyrite de Rio Tinto et Tharsis FOB Huelva.

Prix moyen entre Rio-Tinto et Tharsis pour la pyrite
d'exportation FOB-Huelva base 48% S

Prix exprimés en \$ US

	Prix	Rabais	Prix net
<u>1959</u> 1er Janv. au 30 Sept.	9,52	-	9,52
1er Oct. au 31 Déc.	8,47	-	8,47
<u>1960</u> 1er Janv. au 31 Déc.	8,47	-	8,47
<u>1961</u> " " " "	8,47	-	8,47
<u>1962</u> " " " "	8,47	0,47	8
<u>1963</u> " " " "	7,98	0,47	7,51
<u>1964</u> " " " "	7,98	0,47	7,51
<u>1965</u> " " au 30 Juin	8,82	0,47	7,35
1er Juil. au 31 Déc.	9,59	0,47	9,12
<u>1966</u> 1er janv. au 30 Juin	11,69	0,47	11,22
1er Juil. au 31 Déc.	11,97	-	11,97
<u>1967</u> 1er Janv. au 30 Juin	11,97	-	11,97
1er Juil. au 31 Déc.	11,97	0,7	11,97
<u>1968</u> 1er Janv. au 31 Déc.	11,22	-	11,22
<u>1969</u> 1er Janv. au 30 Juin	11,22	-	11,22

Prix CIF: Avril 1969 Port de Gabès (base 48% de S et 0,6% de Cu)
13,8 US \$/t.

Une pyrite à 0,6% de cuivre donne après grillage une cendre à 1% de cuivre qui correspond à la teneur minimum dont la récupération est rentable.

Si la pyrite a une teneur supérieure à 0,6% de cuivre, la valeur de l'excédent est calculée sur la base du cours du cuivre à Londres et est ajoutée au prix de base de la pyrite.

- C H Y P R E -

1. - Généralités

La production a subi une forte hausse en 1965 (avec 970.000 tonnes de pyrites contre 647.000 Tonnes en 1964) et a subi des fluctuations appréciables durant ces dernières années. Les troubles d'ordre politique ont eu une certaine influence sur la régularité de la production.

Il existe des gisements assez étendus de pyrites de fer et de cuivre dans l'île et les réserves certaines de pyrites contiennent environ 5 millions de tonnes d'équivalent soufre. Néanmoins, au taux actuel de production on peut s'attendre à ce que le gisement exploité actuellement conjointement par la Cyprus Mines Corporation et Hellenic Mining Co (les deux plus importantes sociétés d'exploitation) soit épuisé vers 1975. Ces sociétés prévoient en 1970 l'augmentation de l'exploitation des gisements actuels, et recherchent activement de nouveaux gisements. Si ces recherches ne s'avèrent pas fructueuses, leur capacité de production sera notablement réduite.

Une réforme fiscale a été récemment introduite par le gouvernement pour encourager les activités minières.

L'exploitation des pyrites à Chypre est généralement associée à la production de concentrés de Cu par flottation.

Les pyrites de Chypre sont connues pour être pratiquement exemptes d'arsenic.

2. - Spécifications technico-économiques

2.1. - Composition

La composition moyenne de la pyrite flottée de "Hellenic Mining Company Limited" calculée sur sco est la suivante :

	S	Fe	Cu	Pb	Zn	As
%	46-48	40-42	10,1 - 0,2	Traces	Traces	NUL

2.2. - Production annuelle :

300.000 à 500.000 Tonnes/an

2.3. - Granulométrie :

La pyrite Chypriote de flottation est livrée avec une granulométrie de 4,5 mm (tolérance 5 %).

2.4. - Prix :

Base 48 % de S

Prix FOB : Karavostassi (Morphou Bay)

pour l'année 1969 11.40 US \$/T

Prix CIF : Port de Gabès :

14.3 - 15 US \$/T

- I T A L I E -

1. - Généralités

Depuis 1955, la production de pyrites en Italie a varié entre 600.000 et 700.000 Tonnes d'équivalent soufre par an, avec une production maximale de 715.000 Tonnes en 1962. Depuis lors la production a baissé jusqu'à 630.000 en 1965. La production a été arrêtée dans plusieurs mines à cause de l'augmentation des coûts de production et des difficultés d'extraction.

Les Mines modernes de Montecatini dans la région de ~~Maronna~~ représentent 80 % de la production nationale totale de pyrites. Le produit d'extraction est très pur, ne contenant que de faibles proportions d'impuretés métalliques, et ne contenant pratiquement pas d'arsenic. Durant de nombreuses années les pyrites nationales ont été la matière première la plus importante pour la production d'acide sulfurique, fournissant 80 à 88 % du soufre demandé par l'industrie durant la dernière décade. Néanmoins l'accroissement continu de la demande de pyrites a entraîné un accroissement des importations de pyrites : Chypre et l'U.R.S.S. ont été les plus importants fournisseurs de l'industrie italienne.

2. - Spécifications Technico-Economiques

2.1. - Composition

La pyrite proposée par "E D E M" - "Esercizio Depositi Escavazioni Minerarie" a en moyenne la composition suivante :

	S	S/Sulfate	Fe	Si O ₂	Cu	Pb	Zn	As	Ba SO ₄
%	50,65	0,09	44,95	0,40	0,08	Absent	Traces	0,05	3,7

2.2. - Granulométrie :

Pyrite flottée et broyée, de granulométrie toute inférieure à 100 mesh (ϕ 0,15 mm).

2.3. - Prix :

13.000 Lires Italiennes soit 20.7 US \$ par tonne métrique poids
sec, CIF Tunis.

Ce prix donné par un petit fournisseur ne peut être considéré
comme représentatif.

- L ' U. R. S. S. -

1. - Généralités

Les informations que l'on a pu obtenir sur l'industrie du soufre en Russie sont fragmentaires et ne permettent pas de donner une image complète de la situation.

L'U.R.S.S. est le plus important producteur de pyrites du monde. Les principaux gisements se rencontrent dans l'Oural : gisements de pyrites ferriques et cuivreuses.

Les concentrés de pyrites cuivreuses, récupérés par flottation à partir du minerai de sulfure de cuivre représentent une importante proportion de la production totale de pyrites.

Il n'a jamais été publié d'estimation des réserves de pyrites.

En plus des réserves importantes de pyrites associées à des sulfures de métaux non ferreux, on a appris l'existence de pyrites associées à du charbon dans des gisements du bassin du Donetz. Les réserves totales de soufre dans les pyrites du Donetz ont été évaluées à 2000 millions de tonnes.

2.1. - Composition :

	S	Fe	Zn + Pb	As	Cu
%	145 % min.	40 % min.	1 % max.	0,15 max.	0,4 % max.

2.3. - Prévisions de production :

	1 9 6 5	1 9 7 5
Pyrites	1 7 5 0	2 5 0 0

(en milliers de tonnes d'équivalent - soufre).

- L A Y O U G O S L A V I E -

1. - Généralités

La production de pyrites en Yougoslavie a atteint 407.000 tonnes en 1965. Les gisements de minerai sulfureux mixte, qui sont considérés comme ayant une grande capacité se trouvent en Serbie et en Macédonie ; s'y ajoutent de petits gisements en Croatie.

Toute la production de pyrites de Yougoslavie est obtenue comme sous produit du minerai de plomb, de zinc et de cuivre de flottation.

2. - Spécifications Technico-Economiques :

2.1. - Composition :

Les producteurs Yougoslaves les plus importants sont BOR et TREPČA dont les pyrites ont les compositions suivantes :

B O R			T R E P Č A			
S	Fe	Cu, Zn, Pb	S	Fe	Zn	As
48,5 %	42,0 %	0,5 %	46 %	41 %	2 %	1 %

2.2. - Granulométrie :

L'analyse granulométrique des pyrites de BOR et TREPČA donne :

	% R e f u s C u m u l é s	
	B O R	T R E P Č A
3 0 0	0	2
2 0 0	0	12
1 5 0	6	22
1 0 0	12	36
7 5	30	62
7 5	70	38

2.3. - **PREZ :**

Les prix des fournisseurs yougoslaves ne nous sont pas encore

connus

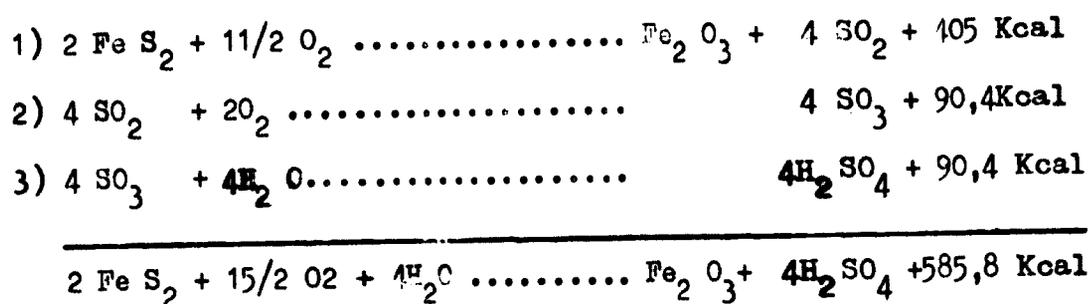
CHAPTER 2



2. - PROCES DE FABRICATION

2.1. - Principe

La fabrication de l'acide sulfurique concentré (98,5 - 99 %) à partir de pyrites est basée sur les réactions de combustion de la pyrite, d'oxydation de l'anhydride sulfureux en anhydride sulfurique et d'absorption de l'anhydride sulfurique dans l'acide sulfurique d'une concentration convenable. Ces réactions sont complexes et peuvent se résumer comme suit :



La première phase de cette fabrication est le grillage en présence d'air de la pyrite dans un four spécial dont plusieurs types seront décrits par la suite. Les gaz de combustion contenant l'anhydride sulfureux sont dépoussiérés, lavés, séchés, et après avoir reçu un appoint d'air séché, sont oxydés en présence de catalyseur.

Le gaz de conversion contenant l'anhydride sulfurique passe alors dans une tour d'absorption en contre-courant avec de l'acide dilué. On obtient à la sortie de la tour, de l'oléum qui est dilué avec de l'eau jusqu'à une concentration de 98,5 - 99 %. Les gaz résiduaux sortent du haut de la tour par une cheminée et contiennent principalement de l'azote avec des traces de SO₂, SO₃, O₂ etc

Etant donné que les 2 réactions, grillage de la pyrite et oxydation de l'anhydride sulfureux obtenu en anhydride sulfurique, sont fortement exothermiques, l'installation doit comporter une récupération de chaleur à la sortie du four et entre les différents stades de la conversion, pour produire de la vapeur à haute pression. Cette vapeur pourra être vendue, utilisée comme telle ou, le plus souvent, transformée en énergie électrique pour satisfaire les besoins de l'installation et le solde pourra être vendu. Une installation de fabrication d'acide sulfurique à partir de

pyrite est généralement fortement excédentaire en vapeur ou en énergie électrique. Ce crédit énergie a une influence sur le prix de revient de l'acide.

Un sous-produit important est représenté par les cendres de pyrite, résidu de l'opération de grillage, constituées selon le procédé d'hématite Fe_2O_3 ou de magnétite Fe_3O_4 et qui sont vendues après élimination de l'arsenic et récupération éventuelle des métaux de valeur comme le cuivre, le zinc, l'argent, l'or etc, à l'industrie sidérurgique.

La fabrication de l'acide sulfurique comporte donc essentiellement les installations suivantes :

In - Sites Battery limit (I.S.B.L.)

- 1/ - Grillage de la pyrite
- 2/ - Refroidissement et purification des gaz
- 3/ - Séchage, oxydation et absorption

Off - Sites Battery limit (O.S.B.L)

- 1/ - Stockage, manutention des pyrites et alimentation des fours
- 2/ - Extraction, manutention et stockage des cendres
- 3/ - Stockage de l'acide produit
- 4/ - Traitement de l'eau de chaudière
- 5/ - Selon que l'unité est intégrée à un complexe déjà existant ou non :
 - stations de pompage d'eau de mer
 - forages pour eau de process
 - centrale thermo-électrique

2.2. - Différents procédés de grillage

Les pyrites sont amenées du stock au niveau supérieur du bâtiment de grillage par des transporteurs et vidées dans des trémies de stockage ; elles sont ensuite prélevées par une bande transporteuse de reprise et conduites à une trémie rotative. La trémie rotative sert à charger et à doser la pyrite de façon continue dans le four de grillage ; elle constitue en même temps une fermeture étanche aux gaz du côté du four.

L'opération de grillage de la pyrite peut se faire dans différents types de four et selon divers procédés. Le choix du procédé est fonction des

caractéristiques spécifiques de la pyrite utilisée, de sa granulométrie, de sa composition etc

Dans le cas des pyrites espagnoles

- à forte teneur en arsenic (à éliminer)

- à teneur relativement forte en cuivre (à récupérer)

le procédé de grillage prend une importance particulière.

Celui-ci détermine en effet la qualité des cendres et par voie de conséquence les conditions de leur commercialisation, pour la récupération préalable des métaux non ferreux et leur traitement ultérieur comme minerai de fer.

Les diverses techniques de grillage des pyrites influent également sur la granulométrie des cendres et l'état de combinaison du fer (sous forme d'hématite Fe_2O_3 ou de magnétite Fe_3O_4), caractéristiques aussi très importantes pour leur traitement ultérieur.

Le grillage des pyrites se réalise dans des fours du type suivant :

1/ - Fours mécaniques à étages

2/ - Fours rotatifs

3/ - Fours à grillage éclair

4/ - Fours à lit fluidisé

5/ - Fours à fluidisation mécanique

Dans les pages qui suivent nous mentionnerons les caractéristiques essentielles de chaque type de four et les procédés correspondants.

2.2.1. - Fours mécaniques à étages :

Ils sont utilisés dans les procédés de grillage Maguin, Moritz, Harris, Braoq-Laurent, Chemiebau, Zieren, et Humboldt.

1. Caractéristiques :

Ils ont été employés traditionnellement pour le grillage des pyrites, et de préférence pour les pyrites arsénicales type espagnoles l'élément commun à ces fours consiste dans les soles superposées, jusqu'à 15, dans une même enveloppe cylindrique. Au centre se trouve un arbre sur lequel deux ou quatre bras sont fixés à chaque étage ; lors de la rotation de l'arbre central, les bras balayent les soles ; ils portent des râbles à dents

qui retournent et transfèrent les pyrites en combustion.

Des ouvertures placées dans chaque sole, alternativement à l'intérieur et à l'extérieur, permettent aux pyrites en cours de grillage, poussées par les râbles des bras, de traverser radialement les soles et de descendre ensuite d'une sole à l'autre. L'air de combustion traverse le four en contre-courant des pyrites. La sole supérieure du four sert au séchage des pyrites. Les cendres sont alors évacuées du bas sous forme d'oxyde de fer (hématite).

Les premiers fours étaient construits pour de petites capacités (5 - 8 T/j de pyrite). On a commencé récemment à en construire pour des grandes capacités spécifiques et absolues. En même temps on a amélioré la production de vapeur par récupération de la chaleur des gaz. Le principe technique qui a permis d'arriver à ces résultats a été la recirculation d'une partie des gaz produits durant le grillage dans les étages du four, après qu'ils aient été partiellement refroidis et dépoussiérés dans une chaudière spéciale. Cette technique permet un meilleur contrôle de la température et représente le facteur de base des améliorations introduites. Avec cette recirculation des gaz il a été possible de passer de 50-60 T/j de pyrites, maximum atteint par les fours classiques, à des capacités de 100 - 120 T/j de pyrite à 48 % en soufre, c'est-à-dire 130-160 T/j d'acide sulfurique.

2. Avantages :

- Les concentrés de pyrite peuvent être introduits dans le four sans broyage préalable.
- On obtient des cendres de haute qualité ne contenant que de faibles teneurs d'arsenic et de plomb.
- Les pertes de soufre dans les cendres sont très réduites.

3. Inconvénients :

- Investissements de première installation très importants
 - Rendements globaux en soufre médiocres
 - Coûts élevés de manutention et d'entretien.
 - Capacité unitaire limitée impliquant dans le cas de grandes capacités de production d'acide l'installation de nombreuses unités de grillage .
- Ce qui diminue les avantages présentés par les grandes capacités de production et exige des superficies considérables.
- Les gaz de grillage ne contiennent que 7 à 8 % de SO_2

2.2.2. Fours rotatifs :

1. Caractéristiques :

Ils ont été utilisés durant plusieurs années pour le grillage des pyrites dans le procédé Groeppel - Lurgi, moins toutefois que les fours à étages. Ils sont semblables aux fours à ciment classiques.

Il y a actuellement une certaine stagnation dans la recherche et le développement techniques de ces fours pour les grandes capacités et la production de vapeur.

Cela est dû probablement à ce que les efforts de recherche se sont portés sur les fours à lit fluidisé qui semblent offrir des possibilités meilleures.

Actuellement la plus grande installation réalisée a une capacité unitaire de 120-140 T/j. Techniquement on pourrait atteindre 200-225 T/j.

Le grillage des pyrites dans les fours rotatifs permet aussi d'obtenir des cendres de qualité acceptable pour leur commercialisation et leur traitement ultérieur, mais de qualité inférieure à celle des cendres produites dans les fours à étages.

2. Avantages :

- Consommation d'énergie inférieure à celle des fours à étages et main d'œuvre moins nombreuse.
- Faibles concentrations des gaz en SO_3 (1 % de SO_3 et 7-8 % de SO_2) ce qui évite des phénomènes de corrosion.
- Résidus sulfureux peu importants dans les cendres.

- Fours simples et robustes, possibilité de charges élevées.

3. Inconvénients :

- Investissement élevé mais néanmoins inférieur à celui des fours à étages.

- Frais d'entretien élevés, dus à ce que le revêtement réfractaire dure moins que celui des autres fours.

- Récupération de chaleur inférieure à celle des fours à étages.

- Importantes quantités de poussières entraînées par les gaz (environ 12-13 %).

- Ne sont pas indiqués pour les pyrites à faible concentration (35-40 % de S) à moins qu'elles ne soient mélangées à du soufre natif ou à des fines de coke.

1.2.2.3. Fours à grillage éclair :

Procédés Nichols-Freeman, Cominco, St. Jacques, Allied Chemical Corporation.

1. Caractéristiques :

La Pyrite sèche et finement broyée tombe dans une chambre de combustion où on la fait tourbillonner avec de l'air chaud à l'aide de spirales en fonte. Les fines particules de pyrite s'enflamment immédiatement étant donnée la température élevée, d'environ 1000°C qui règne dans la chambre. En plus de l'air de combustion introduit en tête de chambre on fait entrer par le bas de l'air chaud tourbillonnant de façon à ralentir la chute des particules de poussière et à refroidir en même temps ces particules qui sont en partie agglomérées. Dans le bas de la chambre de combustion, les résidus composés essentiellement de $Fe_3 O_4$ tombent laissant la chambre de combustion vide.

2. Avantages :

- Il est possible d'opérer avec la quantité d'air théorique nécessaire (par conséquent concentration élevée de SO_2 dans les gaz de grillage : 12-15 %).

- Faibles concentrations de SO_3 dans les gaz

- Procédé souple et de démarrage facile

- Coûts d'investissement relativement bas comparés par exemple à ceux des fours à étages.

- Taux de récupération de chaleur élevé.

3. Inconvénients :

- Il est nécessaire de broyer finement les pyrites et de les sécher avant le grillage.

- L'arsenic n'est pas éliminé des cendres.

2.2.4. Fours à lit fluidisé :

Procédés Dorr-Oliver (Fluo solids system), BASF-Lurgi, Boliden Gruv.

1. Caractéristiques :

Les fours à lit fluidisé ou à couche turbulente ont la forme de cylindres verticaux à base tron-conique. L'air entre par le bas à travers une grille métallique dans une couche de 500 à 700 mm de hauteur constituée de pyrites avec une vitesse telle (0,5 à 0,8 m/s suivant la dimension des grains et la charge) que la couche de minéral est en suspension turbulente. La pyrite est introduite en quantité dosée et les résidus sont évacués par un déversoir.

Ces fours se distinguent par leur haut rendement spécifique de grillage.

A ce facteur important s'ajoutent :

- La grande capacité unitaire qu'il est possible d'atteindre (actuellement 500 T/j).

- Une grande flexibilité de marche

- Des coûts réduits d'investissement et d'opération, par rapport aux fours mécaniques à étages et aux fours rotatifs.

- Une production de vapeur par tonne de pyrite meilleure que celle des fours à étages modernes et sensiblement supérieure à celle des fours rotatifs.

- La production d'un gaz de grillage d'une teneur plus élevée en SO_2 (13-16 % au lieu de 11-12 % pour les fours modernes à étages et rotatifs).

Les possibilités de développement et de perfectionnement de ces fours sont très grandes : on étudie actuellement un four de 80-90 m² de superficie pour griller des blends.

Tous ces facteurs ont fait que les fours à lit fluidisé sont actuellement le procédé le plus approprié pour le traitement des pyrites pauvres en arsénic et en plomb. Pour ces minéraux ils ont totalement remplacé les fours à étages, surtout depuis que les installations sidérurgiques sont devenues moins exigeantes pour la granulométrie des cendres.

2. Fours de grillage fortement oxydant en une seule étape :

Procédés Dorr-Oliver et BASF

Ces procédés ont été les premiers mis au point avec la technique de la fluidisation.

La seule différence entre les 2 procédés est que Dorr-Oliver contrôle la température par injection d'eau dans le four, et BASF en plaçant des serpentins d'eau dans la couche turbulente.

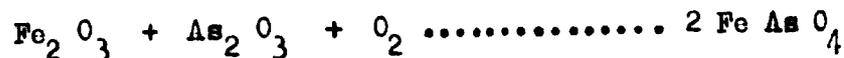
Ce sont les fours simples à lit fluidisé qui ont remplacé complètement les fours à étages pour le grillage des pyrites non arsénicales.

Ces fours travaillent avec un excès d'air pour avoir un grillage à mort avec une récupération intégrale du soufre contenu. Les cendres sont alors obtenues sous forme d'hématite $Fe_2 O_3$.

Pour cette raison ces fours n'ont pas pu être utilisés pour les pyrites arsénicales : l'arsenic reste dans les cendres sous forme de composés stables, ce qui constitue un handicap pour leur traitement ultérieur.

En effet, pendant le grillage l'arsenic se volatilise sous forme d'anhydride arsénieux $As_2 O_3$. Par suite du caractère fluidisé du lit de grillage et le contact intime solide-gaz qui en résulte, l' $As_2 O_3$ se combine avec l'hématite pour donner de l'arséniate de fer solide qui reste dans les cendres.

En effet, la réaction de formation des arséniates est :



Par conséquent, pour pouvoir utiliser ces fours pour des pyrites arsénicales il faut éviter d'avoir les cendres sous forme d'hématite, au moins dans une première phase de grillage puisque l'arsenic se volatilise au début du grillage.

En effet, dans les fours à étages par exemple l'arsénic se volatilise aux premiers étages alors que la formation d'hématite n'est pas encore atteinte dans les cendres.

Des travaux très importants ont été menés dans ce but par les compagnies "Pyritos Espagnoles", "BASF", "Dorr-Oliver", "Boliden", "Rio-Tinto" et d'autres compagnies. Les résultats de ces travaux ont ouvert dernièrement aux pyrites arsenicales de nouvelles possibilités pour leur grillage dans des fours à lit fluidisé, soit dans des fours de grillage "réducteur" en une seule étape, soit dans des fours à plusieurs étapes (2 ou plus).

3. Fours de grillage "réducteur" en une seule étape : Procédé Boliden :

Ce procédé consiste à griller la pyrite de manière à obtenir des cendres sous forme de magnétite $Fe_3 O_4$ qui ne réagit pas avec le $As_2 O_3$.

La réaction est :



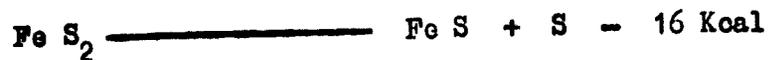
Dans ce grillage il faut régler parfaitement le rapport pyrite-air pour maintenir la pression partielle d'oxygène nécessaire à la formation de $Fe_3 O_4$ dans les cendres. Il faut également maintenir une température assez élevée (900° C) soit dans le four soit dans le cyclone de procédé qui se trouve à la sortie du four.

En effet, dans le grillage à lit fluidisé, il y a normalement un entraînement important de poussières de cendres dans les gaz de grillage et il est nécessaire d'avoir un cyclone de procédé pour la récupération de ces cendres à la sortie du four.

La conception du cyclone de procédé revêt dans ce cas une importance spéciale. En effet on doit atteindre d'une part un très haut rendement de séparation (94 %) pour ne pas perdre une partie des cendres et empêcher d'autre part un abaissement de la température des gaz, qui favoriserait une contamination des cendres par les éléments indésirables volatilisés dans le four.

Ces contraintes ont posé des problèmes difficiles d'engineering et de construction, maintenant résolus à l'échelle industrielle.

Par suite du défaut d'air dans le grillage "réducteur" le gaz à la sortie du cyclone de procédé contient une certaine quantité de soufre élémentaire dû à la réaction :



Ce soufre élémentaire nécessite une certaine quantité d'air secondaire qui est introduite dans une chambre de post-combustion située avant les chaudières ce qui entraîne une baisse de la concentration de SO_2 qui passe de 15-16 % à 13-14 %.

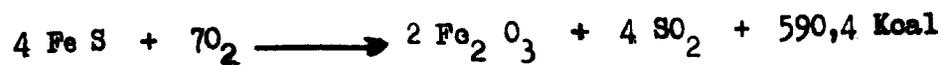
4. Fours à plusieurs étapes :

Le procédé le plus important est celui B.A.S.F. à 2 étapes.

Dans ce procédé le grillage a lieu dans 2 fours en série. Dans un premier four de prégrillage les pyrites sont grillées jusqu'à une teneur de 25 % de soufre résiduel. Le rapport pyrite-air et la température (900°C) sont maintenus de façon à favoriser la réaction suivante :



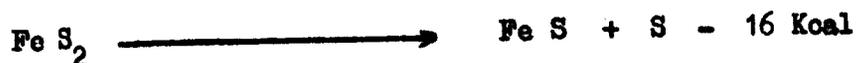
Par conséquent les cendres sont obtenues sous forme de Fe S qui ne réagit pas avec le $\text{As}_2 \text{O}_3$. Les cendres passent alors dans un deuxième four, plus grand, où s'achève le grillage jusqu'à une teneur de 2 % de S résiduel selon la réaction :



La température est de 800°C .

Les gaz de grillage sortant du 1er four avec une concentration de 20 % environ de SO_2 passent dans le cyclone à gaz chauds pour séparer les poussières des cendres entraînées qui rejoignent aussi le 2ème four.

Les gaz sortant du cyclone contiennent une partie de S élémentaire car les conditions de grillage dans le premier four favorisent aussi la réaction :



Aussi les gaz sortant du cyclone de procédé sont-ils mélangés avec un appoint d'air et brûlés dans les chambres de post-combustion pour transformer tout le S en SO_2 . La concentration des gaz passe de 20 % à 15,5 % environ.

La concentration des gaz sortant du 2ème four est de 10 % environ.

2.2.5. Fours à fluidisation mécanique :

Four mis au point par la Société Gianmarco Vetroccke.

Ce four est le dernier mis au point pour le grillage des pyrites. Il se compose d'une chambre construite en briques réfractaires, de section rectangulaire, qui contient un certain nombre de plateaux horizontaux de même section que le four. Ces plateaux construits également en briques réfractaires présentent sur le côté une ouverture par laquelle tombent les cendres.

Les ouvertures des différents plateaux sont opposées afin d'obtenir le cheminement optimum du minerai pendant le grillage.

Sur chaque plateau horizontal sont prévus 2 arbres à palettes refroidis par une circulation d'eau dans une double enveloppe. Ces arbres à palettes tournant à une vitesse convenable provoquent une turbulence mécanique au sein du minerai sulfuré reposant sur les soles.

Les pyrites à traiter provenant de la trémie d'alimentation tombent sur le plateau supérieur où règne une température d'environ $1000^{\circ}C$. Le minerai est introduit sur la première palette.

Par suite de la rotation de l'arbre à palettes, les pyrites sont maintenues en suspension et déplacées progressivement vers l'ouverture du plateau. Le régime tourbillonnaire créé par l'arbre à palettes favorise une combustion rapide des pyrites sous l'effet de la température élevée et de l'air introduit par les ouvertures ménagées à cet effet dans le briquetage.

Les cendres partiellement désulfurées tombent sur le deuxième plateau par l'ouverture du premier. Elles y subissent une nouvelle désulfuration et ainsi de suite...

Une partie des cendres arrive vers le bas du four et est alors évacuée, alors que les 80 % s'en vont sous forme de poussières avec les gaz de grillage et sont alors dirigés vers une chaudière de récupération thermique et les installations de dépoussiérage.

Le contrôle de la température est fait à travers des tubes vaporisateurs d'eau disposés sur certaines faces du four.

Les caractéristiques essentielles de ce four sont :

- Production de vapeur assez élevée
- Consommation très limitée d'énergie électrique ~~par~~ suite de l'absence de ventilateur d'air de fluidisation.
- Grande souplesse d'exploitation puisqu'ils peuvent fonctionner dans de bonnes conditions à 40 % de leur capacité nominale.
- Surveillance et visite aisées pendant l'exploitation.

2.2.6. Comparaison :

Des descriptions précédentes, on peut déduire que :

- Les fours à étages seront utilisés uniquement pour des petites capacités (de l'ordre de quelques dizaines de T/j)
- Pour des capacités de l'ordre de centaines de T/j de pyrite, on n'utilisera désormais que des fours à lit fluidisé.

Pyrites non arsénicales :

On utilisera le procédé de grillage oxydant en une seule étape (BASF à une seule étape ou Dorr-Oliver)

Pyrites arsénicales :

On dispose désormais de 3 procédés :

- Lit fluidisé BASF 2 étapes ;
- " " Boliden : grillage réducteur en 1 seule étape
- Fluidisation mécanique : Giammarco Vetrocke.

1. Le procédé BASF 2 étapes est sans doute celui qui a été le plus expérimenté pour les pyrites arsénicales, toutefois il nécessite des investissements de première installation élevés et un entretien important, (équipements plus nombreux).

2. Le procédé Boliden, plus récent, a été pourtant suffisamment expérimenté à l'échelle industrielle pour les pyrites arsénicales et a donné des résultats satisfaisants pour l'élimination des impuretés dans les cendres (As, Pb, Sb...)

L'investissement de première installation est moins élevé, l'entretien sans doute plus commode, et la production spécifique de vapeur plus élevée.

La différence essentielle entre le BASF et le Boliden est que le 1er donne des cendres sous forme d'hématite ($Fe_2 O_3$) et le 2ème sous forme de magnétite ($Fe_3 O_4$).

Toutefois une installation type Boliden équipée d'un petit four de post-oxydation pour les cendres, permet d'obtenir de l'hématite sans augmenter sensiblement le coût de l'installation.

3. Les fours à fluidisation mécanique sont les plus récents. Leur conception est assez différente même si elle utilise toujours la technique de la fluidisation.

Ce type de four exige de la pyrite sèche, broyée à moins de 2 mm, ce qui peut conduire à prévoir une installation de broyage de pyrite et une installation de séchage. De plus une très grande partie des cendres est entraînée par les gaz sous forme de poussières (environ 80 %) ce qui nécessite une installation de dépoussiérage plus importante.

Le coût de l'installation globale, pour une même capacité de grillage, est par suite supérieur à celui du BASF à 2 étapes.

Nous donnons dans les tableaux qui suivent les principales caractéristiques des différents fours que nous venons d'étudier.

T A B L E A U 1

**RELATION APPROXIMATIVE DES INVESTISSEMENTS EN FONCTION
DU SYSTEME DE GRILLAGE UTILISE**

T Y P E D E F O U R	Installation de 350 T/j de (1) pyrite	Installation de 700 T/j de pyrite
Fours à lit fluidisé (grillage à mort en 1 seule étape)	1,00	1,00
Fours à lit fluidisé (grillage réducteur en 1 seule étape: Boliden)	1,20	1,20
Fours à lit fluidisé (grillage en 2 étapes) : B.A.S.F. (2)	1,35	1,35
Fours à fluidisation mécanique (Vetrocoke)	1,35	1,35
Fours rotatifs (avec récupération de chaleur)	1,65	1,90
Fours à étages (avec récupération de chaleur)	1,90	2,30

(1) Inclus chaudières et électrofiltres de dépolluissage à sec des gaz

(2) Avec 2 chaudières.

TABLEAU 2

E LIMINATION DE L'ARSENIC ET DU PLOMB

T Y P E D E F O U R	Elimination de l'Arsenic	Elimination de plomb	Forme Prépondérante de combinaison du fer
Fours à étages (avec recirculation des gaz)	Bonne	Bonne	Hématite
Fours rotatifs (avec récupération de vapeur)	Entre acceptable et bonne	Entre acceptable et bonne	Hématite
Fours à lit fluidisé (grillage à mort en une seule étape)	Pratiquement nulle	Nulle	Hématite
Fours à lit fluidisé (grillage réducteur en 1 seule étape Boliden)	Entre acceptable et bonne	Entre acceptable et bonne	Magnétite
Fours à lit fluidisé (grillage en 2 étapes B.A.S.F.)	Entre acceptable et bonne	Entre acceptable et bonne	Hématite
Fours à fluidisation mécanique (Vetrocoke)	Acceptable	Acceptable	Hématite

CONCENTRATION DES GAZ DE GRILLAGE A LA SORTIE DU FOUR

T Y P E D E F O U R	CONCENTRATION DU GAZ DE GRILLAGE (% SO ₂ EN VOLUME)
Fours à étages (avec recirculation des gaz)	11-12
Fours rotatifs (avec récupération de vapeur)	11-12
Fours à lit fluidisé (grillage à mort en 1 seule étape)	11-14 (Pyrite de flottation) 12-13 (Pyrite crue)
Fours à lit fluidisé (grillage réducteur en 1 seule étape : Boliden)	15-16
Fours à lit fluidisé (grillage en 2 étapes)	18-19 (1ère étape) 10-11 (2ème étape)
Fours à fluidisation mécanique (Vetrocoke)	11 Environ

TABLEAU 4

R ENDEMENTS SPECIFIQUES DE GRILLAGE

T Y P E D E F O U R	K G D E S G R I L L E E N 2 4 H E U R E S	
	Par m ² de superficie de grillage	Par m ³ d'espace du four
Fours à étages avec recirculation de gaz	80	120
Fours rotatifs (avec récupération de chaleur)	100 (1)	130
Fours à lit fluidisé (grillage à mort en 1 seule étape)	10.000	2.300
Fours à lit fluidisé (grillage réducteur en 1 seule étape : Boliden)	9.000 Environ	2.400 Environ
Fours à lit fluidisé (grillage en 2 étapes : BASF)	9.500 Environ	2.300 Environ
Fours à fluidisation mécanique (Vetroooke)	-	-

(1) Par rapport à la superficie interne du four

TABLEAU 5

PRODUCTION DE VAPEUR PAR TONNE METRIQUE DE PYRITE GRILLEE

T Y P E D E F O U R	T. DE VAPEUR / T. DE PYRITE A 48 % S
Fours à étages avec recirculation de gaz	1,2 - 1,3
Fours rotatifs (avec récupération de vapeur)	0,95 - 1,00
Fours à lit fluidisé (grillage à mort en 1 seule étape)	1,3 - 1,4
Fours à lit fluidisé (grillage réducteur en 1 seule étape : Boliden)	1,3 - 1,4
Fours à lit fluidisé (grillage en 2 étapes, B.A.S.F.)	1,23 - 1,35
Fours à fluidisation mécanique (Vetroooke)	1,35 Environ

2.3. Refroidissement et purification des gaz :

Les gaz de grillage après sortie du four, passage dans le cyclone de procédé et éventuellement dans le four de post-combustion, passent dans une chaudière de récupération de chaleur.

Les gaz à environ 800° C sont refroidis à 380° C pour produire de la vapeur saturée ou surchauffée, suivant la localisation du surchauffeur adoptée par l'ingénieur. Ce surchauffeur est placé soit directement à la sortie du four de grillage, soit sur le groupe de contact.

La chaudière est construite de manière à permettre une récupération ultérieure des cendres.

Les divers éléments de la chaudière et l'élément placé à l'intérieur du four pour le contrôle de la température, sont reliés à un ballon séparateur commun.

Les gaz sortant de la chaudière passent dans une batterie de filtres électrostatiques de gaz chauds ; ces filtres sont munis de systèmes de décollmatage automatique pour une précipitation complète des résidus de poussières entraînés.

Les gaz provenant des divers électrofiltres sont rassemblés dans un collecteur et passent au refroidissement et purification finale avant l'oxydation catalytique.

Les impuretés à éliminer, dans le cas le plus général sont : la poussière, le plomb et surtout l'arsenic.

Pour obtenir une bonne élimination de ces impuretés, il est nécessaire de refroidir les gaz à une température inférieure ou égale à 35° C. Ce dépoussiérage, refroidissement et purification sont seulement efficaces en milieu humide et s'effectuent dans une tour remplie de matériau céramique où les gaz sont refroidis et lavés par de l'eau (il est parfaitement possible d'utiliser l'eau de mer).

L'eau de lavage en circulant dissout un peu de SO₂ qui est récupéré dans une colonne de dégazage par insufflation d'air.

Après la tour de lavage, les gaz contenant des brouillards d'acide sulfurique et vapeur d'eau ainsi que des traces de SO_3 encore libre passent dans une batterie d'électrofiltres humides où les traces de SO_3 s'hydratent et tout l'acide sulfurique est précipité.

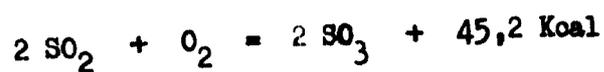
2.4. Séchage, contact et absorption :

Les gaz sortant des électrofiltres humides sont saturés de vapeur d'eau ; ils sont alors séchés en même temps que l'air d'appoint nécessaire à l'oxydation catalytique du SO_2 , par passage dans une tour de remplissage arrosée d'acide sulfurique circulant en circuit fermé et maintenu à une concentration convenable de 95-97 % par un appoint d'acide de production.

L'acide de circulation, réchauffé par la dilution, est refroidi par passage dans un réfrigérant à ruissellement qui peut être arrosé par l'eau de mer.

Le gaz sec à 8 % de SO_2 environ est refoulé par un ventilateur dans la tour de catalyse.

La réaction exothermique d'oxydation du SO_2 se fait en présence de catalyseur contenant du pentoxyde de vanadium V_2O_5 suivant la réaction :



La tour de contact est formée de 4 compartiments isolés contenant chacun une couche de catalyseur.

Pour avoir une vitesse de réaction appréciable et un bon rendement, il faut que la température à l'entrée du lit de catalyse soit de 430-440° C environ.

Il faut par conséquent, d'un côté réchauffer le gaz à l'entrée de la tour de 35° C à 430° C et d'autre part refroidir les gaz à la sortie de chaque lit catalytique pour les ramener à 430-440° . Pour atteindre ce double objectif, on récupère la chaleur d'oxydation pour chauffer le gaz froid à l'entrée du convertisseur.

En réglant d'une manière appropriée les températures pendant la catalyse, il est possible de convertir 98,2 % du SO_2 contenu dans le gaz.

Le SO_3 produit dans le convertisseur, après une récupération ultérieure de chaleur et refroidissement jusqu'à 200°C environ arrive au bas d'une tour d'absorption arrosée par de l'acide de production (98 - 98,5 %). On obtient de l'oléum (solution de SO_3 dans H_2SO_4) qui est reporté à la concentration initiale (98 - 98,5 %) à la sortie de la tour par dilution avec les surplus de l'acide de séchage et des appoints d'eau.

L'acide est alors envoyé dans un réfrigérant à ruissellement, d'où il revient à la tour d'absorption, une partie ayant été prélevée et envoyée au stockage d'acide de production.

Après l'absorption, les gaz de queue contenant essentiellement de l'azote, un peu d'oxygène et des traces de SO_2 et SO_3 sont envoyés à la cheminée.

Dans les pays où les lois contre la pollution de l'atmosphère sont sévères, surtout si l'installation est placée à côté d'une agglomération importante, la tendance est à utiliser le système de double catalyse.

Dans ce système, les gaz sortant du 2^{ème} stade de la conversion passent dans une tour d'absorption intermédiaire avant d'entrer au 3^{ème} stade.

Durant cette absorption intermédiaire, le SO_3 produit est retiré du mélange gazeux, ce qui fait déplacer l'équilibre vers la formation de SO_3 et augmente ainsi le rendement de la conversion qui devient de 99,5 %. Ainsi, les gaz à la sortie de la cheminée sont pratiquement exempts de produits sulfureux.

CHAPITRE 3



3. - ETUDE DU SITE.

3.1. - Choix du site :

Le choix du site est dominé par les conditions suivantes :

- 1) Présence d'un complexe d'engrais phosphatés dans le voisinage immédiat de l'usine qui pourra absorber la plus grande partie de la production d'acide sulfurique.
- 2) Proximité d'un port assurant la réception de la pyrite et la reprise des cendres.
- 3) Disponibilité d'énergie électrique suffisant aux besoins de l'usine.
- 4) Développement des régions du Sud Tunisien
- 5) Présence d'une agglomération industrielle assez importante pouvant éventuellement absorber l'excédent d'énergie (Vapeur ou énergie électrique) de l'usine.
- 6) Disponibilité d'un volume important d'eau nécessaire au refroidissement des installations de l'usine.
- 7) Présence d'une agglomération suffisamment importante pour offrir à l'usine une main d'œuvre technique logée.

Le point 1 est le plus important ; L'acide sulfurique est en effet un produit utilisable essentiellement sur place et ne se prête pas à des transports en grande quantité et sur de grandes distances. Ceci nous conduit à fixer notre choix sur SFAX qui est déjà un pôle important de fabrication d'engrais phosphatés, ou GABES qui le deviendra bientôt.

A SFAX, un terrain d'une dimension appropriée, limité d'un côté par la route SFAX-GABES, et de l'autre côté par l'usine SLAPE, est disponible. Les autres côtés du terrain sont ouverts.

Le port se trouve à 5 km de distance et il faudra par conséquent transporter par camion la pyrite du port vers l'usine, et les cendres de l'usine vers le port. Il en résulte une dépense supplémentaire par tonne de pyrite ou de cendres de :

$$0,032 \times 5 = 0,160 \text{ DT} - \text{ soit } 0,31 \text{ U.S } \$$$

A GABES, l'usine serait à côté des I.C.M, presque sur le port, et il n'y aurait pratiquement pas de dépense supplémentaire pour le transport des pyrites ou des cendres.

D'autre part, le port de SFAX ayant déjà un trafic très important l'implantation d'une usine à SFAX nécessiterait la construction de nouveaux quais.

Le point 2 nous conduit par conséquent à choisir GABES et plus précisément le voisinage des I.C.M.

Les points 3, 4 et 5, nous conduisent aussi à préférer GABES compte tenu du projet de la S.T.E.G de construire une nouvelle centrale électrique et de celui du gouvernement de faire de la région de GABES un pôle de développement industriel.

La condition 6 est liée à la distance de l'usine à la mer, et plus exactement à la distance à un fonds marin suffisant pour permettre le pompage d'eau de mer.

A SFAX, l'usine se trouvera à quelques centaines de mètres du bord de la mer, et il faudra encore quelques centaines de mètres pour rejoindre un fonds marin suffisant. Ceci conduit, pour la station de pompage, à des travaux de génie civil à la mer très coûteux et à des équipements plus importants.

A GABES, l'usine aurait "les pieds dans l'eau", et des fonds marins suffisants se trouvent à une distance maximum de 50 mètres.

En conséquence, nous fixerons notre choix, du moins dans cette étape préliminaire, du projet sur GABES, ou plus exactement sur le voisinage des I.C.M.

Avant la réalisation, une étude approfondie serait à entreprendre pour fixer définitivement le choix du site.

3.2. - Caractéristiques du site de GABES : (altitude 2 mètres, 33° .53' latid. N, 10° .07' long. E)

1.3.2.1. - Température :

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	10.9	5.9	- 3.0	15.9	27.0
Février	12.4	6.9	- 2.0	17.9	32.1
Mars	15.3	9.7	1.3	20.5	41.0
Avril	17.7	12.5	4.0	22.9	42.0
Mai	20.9	16.0	4.0	25.9	43.0
Juin	23.8	19.4	10.0	28.3	46.0
Juillet	26.7	21.7	9.0	31.7	50.0
Août	27.4	22.4	14.0	32.5	47.0
Septembre	25.5	20.8	12.0	30.3	49.0
Octobre	21.6	16.5	6.0	26.9	44.0
Novembre	16.5	11.2	1.0	21.9	36.0
Décembre	12.2	7.2	0.0	17.2	27.9
Année	19.3	-	-	-	-

(*) Climatologie de la Tunisie - Août 1952 - Direction des Travaux Publics de Tunisie.

3.2.2. - Humidité relative (en centièmes) (Période 1946-1950)

(Climatologie de la Tunisie - Août 1952 - Direction
des Travaux Publics de la Tunisie).

Heures TU	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
06	76	74	73	79	78	76	77	76	79	82	77	75	77
12	54	52	52	62	64	64	60	60	62	61	51	55	58
18	66	63	64	72	72	72	69	70	70	72	67	68	69
Mini abs.	11	x	x	16	x	18	x	x	15	x	x	29	x

x = humidité inférieure à 10 %.

Relevé Horaire de la température du point de rosée
(Période 1956-1960) (SMN - Tunisie)

Heure Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
01	4.2	5.1	7.4	9.5	14.4	17.0	19.1	19.4	18.0	15.2	9.0	4.4	11.9
07	3.7	3.3	6.8	9.0	13.3	17.0	18.8	19.1	19.3	14.3	8.2	4.7	11.5
13	5.7	4.8	8.2	9.7	14.6	17.8	20.1	20.5	19.9	14.9	10.2	6.8	12.8
19	5.7	3.5	8.9	10.6	15.5	18.2	20.2	21.0	20.5	17.1	10.2	6.8	13.2
Moy.	4.8	4.2	7.8	9.7	14.5	17.5	19.6	20.0	19.4	15.4	9.4	5.7	12.33

3.2.3. - Précipitations :

a) * Nombre moyen de jours de pluie (chûte ayant fourni au moins 0,1 mm en 24 heures) (Période 1901-1950)

b)** Hauteurs moyennes (en millimètres) (Période 1901-1960)

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
a)	4	3	4	3	2	2	0	1	3	4	4	4	34
b)	21	16	19	14	9	1	0,4	2	15	32	33	16	

c)** Fréquences des pluies quotidiennes (Années 1951-1960)

Hauteurs mm	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
0-5	39	44	54	44	37	23	10	16	43	55	52	60
5-10	5	6	4	3	2	1	-	-	2	9	6	2
10-20	6	-	1	5	2	-	-	-	3	3	-	1
20-30	-	1	1	-	-	-	-	-	-	1	1	-
30-50	-	-	-	3	-	-	-	-	-	5	3	1
50-100	-	-	-	1	-	-	-	-	2	1	1	1
100-150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Note : Il a plu le 25 Novembre 1962 une quantité de pluie égale à :
111,4 mm.

(*) Climatologie de la Tunisie - Août 1952 - Direction des Travaux Publics de Tunisie.

(**) Bulletin SMN - Tunisie

d) Intensités maxima au cours des averses (quantité de pluie maxima en mm et dixièmes recueillie pendant 1/4 d'heure, 1/2 heure etc. au cours d'une même averse). (SMN - Tunisie).

Durée en minutes	15	30	45	60	75	90	105	120
Années								
1950-1953	27,5	40,8	42,6	49,1	60,0	66,0	69,1	73,4
1954	10,2	13,2	14,5	17,6	18,6	21,0	24,0	25,8
1955	7,5	7,6	8,0	8,1	3,3	3,7	3,8	3,9
1956	21,2	24,3	26,4	28,2	28,9	29,5	30,0	30,6
1957	9,0	11,1	11,5	11,7	12,5	13,4	13,7	14,1
Intensité maxima en mm/h	110,0	84,6	56,8	49,1	48,0	44,0	39,5	36,7

3.2.4. - Vents :

a)* Nombre total de jours de vent violent (vitesse égale ou supérieure à 16 m/s) (Période 1946-1950)

b)* Vitesse maxima en mètres par seconde (Période 1946-1950)

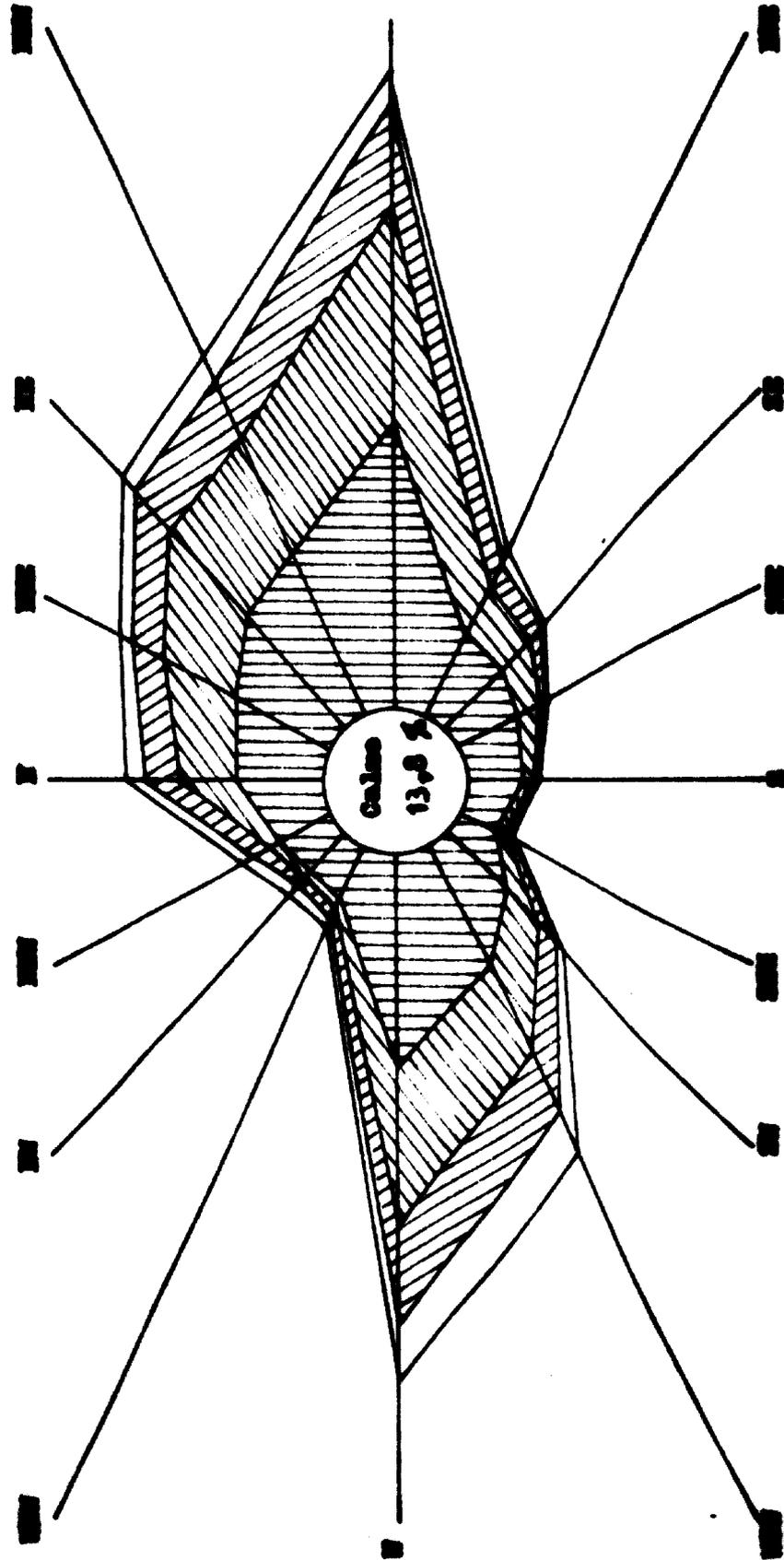
	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
a)	5	8	6	8	4	1	2	3	1	1	4	8
b)	21	18	19	20	20	22	16	22	18	19	21	23

Note : Vitesse maximum du vent observé : 31 mètres/seconde (directions E, NE, WSW)

(*) Climatologie de la Tunisie - Août 1952 - Direction des Travaux Publics de Tunisie.

RESUME (ANNÉES 1953 A 1962)

FREQUENCES MOYENNES ANNUELLES (en % cumulées)



e) Tableau des pourcentages - Période 1953-1962 (LCHF 18.6.1965)

Vitesse du vent en m/sec.	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	ISSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	Calage	
2	2	2,6	3,6	3,9	6,6	1,6	1,4	1	0,65	0,3	14	2,9	5,1	0,85	0,8	11	
3 et 4	1,8	2,2	3	3,3	5,7	1,4	1,1	0,6	0,33	0,2	1,05	2,4	4,3	0,55	0,55	0,9	
5 et 6	0,85	0,85	1,4	1,5	2,9	0,75	0,45	0,17	0,09	0,09	0,7	1,7	2,5	0,2	0,25	0,45	
7 et 8	0,3	0,2	0,3	0,4	0,6	0,25	0,07	0,03	0,01	0,07	0,3	1,1	1,1	0,06	0,08	0,12	
9 à 11	0,07	0,04	0,03	0,07	0,08	0,05	0,01	0,01	0,04	0,03	0,35	0,35	0,37	0,01	0,02	0,02	
12 à 14	0,01		0,01	0,01	0,02	0,01			0,01	0,02	0,03	0,03	0,07	0,01	0,01	0,01	
15 à 17					0,01							0,02	0,01				
TOTAUX %	15,1	5,9	8,5	9,3	16	4	3,1	1,8	1,05	0,75	3,5	8,5	13,5	1,65	1,7	2,6	13,8

3.2.5. - Tempêtes de sable :

Le "vent de sable" est défini : "Poussières ou sable soulevé du sol par le vent, de sorte que la visibilité horizontale devienne considérablement réduite". (Les vents de sable en Tunisie - 15.6.1954).

a) Vents de sable - Nombre de jours en 10 ans (période 1944-1953).

Visibilité inférieure à 2 km.

Répartition par direction du vent.

Direction	N	NW	W	SW	S	SE	E	NE	Total
a)	2	7	5	23	8	0	0	1	46

b) Direction dominante des vents de sable au cours de chaque mois.

	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
b)	SW	SW	SW	SW	SW	W	NW	NW W	NW	W NE	S	SW

c) Analyse d'un échantillon de sable pris à la surface du sol dans la zone d'implantation de l'usine (échantillon porté à 110° C). (Université de Rome)

SiO ₂	58,93 %
Fe ₂ O ₃	3,61 %
Al ₂ O ₃	4,20 %
Ca O	13,52 %
Mg O	0,89 %
Perte par calcination	8,64 %
Composants indéterminés	0,21 %

Note :

Une faible quantité de sable et de poussière devra être considérée comme toujours présente dans l'atmosphère.

3.2.6. - Tremblements de terre :

Des tremblements de terre peuvent se produire dans la région. Cette région sera considérée appartenant à la classe B de la Classification Française stipulée dans la Recommandation AS-1955.

3.2.7. - Résistance du sol :

Le sol disponible pourra supporter une charge maximum égale à 2 kg/cm² à une profondeur de 1 mètre.

Résultats des forages sur le site de GABES.

GHENNOUCH - BIR AMEUR

0 à 1 m sable fin
1 à 4 m tuffe calcaire
4 à 6 m sable fin
6 à 10 m marne jaune
 sableuse
10 à 14 m tuffe calcaire,
 sable et grès
14 à 72 m marne jaune

GHENNOUCH vers BOU CHEMIA

0 à 10 m gypse
10 à 12 m sable + gypse
12 à 21 m sable jaune
 un peu argileux
21 à 57 m argile pure.

CHAPTER 4



4. - UTILITES.

4.1. - Eaux

4.1.1. - Eau de réfrigération :

Elle servira pour les deux postes suivants :

- 1) Réfrigérant d'acide pour le séchage et l'absorption.
- 2) Condenseur de la station turbogénératrice.

Il faut prévoir près de 55 m³ d'eau de refroidissement par tonne de monohydrate sans compter la consommation de la centrale et une quantité légèrement inférieure pour les besoins de la centrale.

Cette eau pourrait être de l'eau de forage en circuit ouvert ou fermé, ou de l'eau de mer en circuit ouvert.

La première solution est à rejeter : le débit nécessaire exigerait plusieurs forages et des investissements élevés.

Il faut choisir entre les 2 autres solutions : eau de forage en circuit fermé ou eau de mer en circuit ouvert ; les deux nécessitent des investissements importants et le problème demande une étude détaillée. Dans l'état actuel de la question, nous avons opté pour l'eau de mer en circuit ouvert pour les raisons suivantes :

- Proximité de la mer
- Les appareils réfrigérants à ruissellement peuvent facilement être désincrustés et débarrassés des algues.
- Pour des raisons techniques et économiques les études de C.T.I.P pour le compte d'I.C.M ont conclu sur le choix de l'eau de mer en circuit ouvert.

Cette eau de mer doit subir un traitement physique (par grilles et tamis) et une chloration discontinue, pour empêcher l'envahissement des circuits par les algues et les coquillages.

L'analyse type de cette eau de mer filtrée donne:

Matière organique	
mil. acide.....	2,35 gr. ₂ /100 lt.
Ca.....	480 mg/litre
Mg.....	1605 " "
Na.....	12000 " "
SO ₄	2688 " "
Chloronité (*).....	22010 " "
CO ₃	81 " "
Résidu sec.....	38700 " "
Degré hydro.....	780°
Chloronité (*).....	21368 mg/litre
pH.....	7,8
Densité à 20°C.....	1,03
Température d'étude.....	30°C

(*) La Chloronité est définie comme étant la quantité totale de Chlore, Brome et Iode (en grammes) contenue dans un litre d'eau de mer mesurée à 20°C, en supposant que le Brome et l'Iode ont été remplacés par le Chlore.

La Chloronité est définie comme étant la quantité totale de Chlore, Brome et Iode (en grammes) contenue dans un Kg d'eau en supposant que le Brome et l'Iode ont été remplacés par le Chlore.

Pour couvrir les seuls besoins des réfrigérants d'acide, une station de pompage d'un débit de 1.700 m³/H (13,6 millions de m³/an) est suffisante.

L'adjonction d'une centrale électrique portera le débit de pompage nécessaire à 3.300 m³/h (26,4 millions de m³/an).

.../...

4.1.2. - Eau de chaudière :

C'est de l'eau de forage déminéralisée. La consommation est de l'ordre de 1,1 tonne par tonne de monohydrate mais si on récupère les condensats correspondant à la totalité de la vapeur, les besoins ne seront que de 0,10 à 0,11 tonne par tonne d'acide.

4.1.3. - Eau de process :

C'est de l'eau de fabrication qui sert pour la dilution de l'acide. On peut utiliser de l'eau de forage brute ou déminéralisée.

La consommation est de l'ordre de 0,18 tonne par tonne de monohydrate.

Comme une station de déminéralisation doit être construite pour alimenter la chaudière et que les quantités nécessaires pour le process sont relativement faibles, nous optons pour l'eau déminéralisée. Le coût d'exploitation est légèrement supérieur, mais la qualité de l'acide obtenu sera meilleure.

Pour couvrir les besoins de l'usine en eau de chaudière et de process on prévoit un forage de 20 l/s environ.

L'analyse type de l'eau de la nappe de Gabès donne :

Résidu sec (TDS)	3,2 gr/litre
Deg. hygrom (DH)	152°
Ph	7,40
Température indicative	30° C
Matière organique (milieu acide).....	8,00 ppm O ₂
Ca	384 mg/litre
Mg	136 mg/litre
Na	412 " "
SO ₄	1306 " "
Cl	639 " "
CO ₃	73 " "
Fe	indosable
Si O ₂	34 mg/litre

4.2.- Energie électrique.

La consommation énergétique est affectée aux postes suivants:

- grillage (chaudières comprises)
- électrofiltres par voie sèche et humide
- soufflantes à airs primaire et secondaire
- pompes et station de traitement des eaux.

L'usine produit environ 1000 tonnes de vapeur H.P. par jour, d'autre part elle consomme 86.500 Kwh par jour. Deux éventualités sont alors à envisager :

- 1) Construire une centrale autonome qui utilisera toute la vapeur H.P.
60% de l'énergie électrique ainsi produite sera consommée à l'usine: le surplus pourra être vendu.

La production totale serait dans ce cas de 151.500 Kwh par jour.

- 2) Utiliser au maximum la vapeur H.P. dans les turbines pour actionner les soufflantes, les turbopompes et les pompes d'eau de mer et obtenir de la vapeur B.P. comme sous-produit. Dans ce cas, on peut compter sur une réduction notable de la consommation d'énergie électrique. L'usine recevra de la S.T.E.G. l'appoint d'énergie nécessaire.

La station turbo-génératrice envisagée dans la 1ère éventualité pourrait avoir les caractéristiques suivantes:

Turbine à vapeur:

Turbine à condensation avec tous ses auxiliaires, condenseur principal et condenseur auxiliaire, et une prise pour couvrir les besoins en vapeur du dégazeur d'eau d'alimentation de chaudière et pour l'installation de distillation de la station de traitement des eaux (vapeur à 4 atm).

Le nombre de tours par minute de la turbine est : 6.500.

En cas de défaillance dans le fonctionnement de la turbine, la vapeur produite dans l'usine sera conduite par une station réductrice de pression au condenseur auxiliaire.

Générateur :

Alternateur synchrone avec ses auxiliaires et refroidissement à air.

Puissance maximum : 7.500 kw (sans prise dans la turbine)

Cos-phi : 0,8

Tension : 6.300 V

Fréquence : 50 Hz

Tours par minute :. 1.500

Puissance normale :. 6.300 kw (avec prise de 8,5 t/h de vapeur à 4 atm)

Consommation propre du turbo-générateur: 50 Kw

Cette centrale sera excédentaire en énergie électrique, elle produira 151.200 Kwh/24 h dont seulement 86.500 Kwh/24 h seront consommés.

.4.3. - Combustible

Pour le démarrage et après les périodes d'arrêt, une consommation de fuel n° 2 est à prévoir, avec les caractéristiques suivantes :

P.C.S. : 10.350 kcal/kg
Pt éclair : 120° C
V° Engler 50° C : 50
S % : 2,57
d à 50° C : 0,956

CHAPTER 5



5. - SOUS PRODUITS RECUPERES :

5.1. - Cendres

5.1.1. - Procédés de traitement :

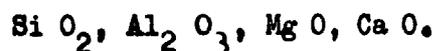
Le traitement des cendres a fait l'objet d'un grand nombre de recherches dans tous les pays, et à l'heure actuelle une douzaine de procédés sont utilisés.

Le cas des pyrites espagnoles étant important, nous donnons ci-dessous quelques indications sur les caractéristiques des cendres et les buts poursuivis par leur traitement.

Les caractéristiques sont les suivantes :

- le contenu de soufre oscille entre 0,5 et 3,5 % (sous forme de sulfure et de sulfate dont les proportions relatives dépendent de la pyrite et du procédé de grillage).
- le contenu en fer oscille entre 55 et 62 %, en poids, sous diverses formes d'oxydes (principalement hématite et magnétite) et en petite quantité sous forme de sulfure.
- les métaux non ferreux utiles figurent sous forme d'oxydes et de sulfates.
- les éléments qui constituent les impuretés peuvent figurer sous des formes non solubles ou difficilement séparables.

Certains composés se retrouvent sans modifications



Les buts poursuivis sont les suivants :

- réduire le contenu de soufre, métaux non ferreux et impuretés, aux limites imposées par la sidérurgie. Ces spécifications deviennent de plus en plus sévères, et à

l'heure actuelle les valeurs limites tolérées sont les suivantes :

Arsenic et antimoine ...	0,03-0,06 %	pour l'ensemble
Métaux non ferreux (cuivre, zinc et plomb)	0,4-0,7 %	pour l'ensemble
Soufre :.....	0,3-0,6 %	

- Obtenir des teneurs en fer qui ne soient pas inférieures à 60 % et de préférence supérieures à 63 %.
- Obtenir un minerai de fer dont la granulométrie, la porosité, la réductibilité et les autres caractéristiques atteignent des spécifications déterminées.
- Finalement récupérer sous une forme commerciale les éléments séparés (soufre, cuivre, zinc, cobalt, or, argent).

Parmi les procédés actuellement utilisés, nous mentionnerons les plus importants. Il est évident que le choix du procédé dépend de la qualité de la pyrite utilisée et de la technique de grillage.

Procédé D.K.H. :

Toutes les installations de traitement de résidus de pyrites espagnoles (Duisbourg, Hambourg, Berreiro, Bilbao) utilisent ce procédé.

La solubilisation des métaux non ferreux s'effectue à chaud par attaque au chlorure de sodium.

La commercialisation du minerai de fer obtenu est difficile (granulométrie et qualité)

Procédé D.K.H. - Lurgi :

L'attaque s'effectue avec du chlore gazeux et fournit le minerais de fer sous la forme de pellets très appréciée des sidérurgistes.

Il faut aussi mentionner les procédés suivants :

Pyrites Espagnoles (PE), Montecatini-Edison, KOWA-SEIKO (Japonais), V.I.P. (Français : valorisation intégrale de la pyrite), Procédé Bactériologiques.

5.1.2. - Quantités à traiter :

Une tonne de pyrite donne 0,7 tonne de cendres. La consommation annuelle de pyrites est de l'ordre de 221.000 tonnes ce qui permet la récupération de près de 150.000 tonnes de cendres par an.

Parcil tonnage ne justifie pas l'implantation d'une usine de traitement en Tunisie : le tonnago minimum serait de 500.000 tonnes par an.

5.1.3. - Prix des cendres :

Le prix des cendres est fixé chaque année par la Compagnie Allemande "Duisbourgor Kupferhütte" qui est la plus grande entreprise de traitement des cendres de pyrites.

PRIX MOYENS POUR LES CENDRES DE PYRITES DE
RIO-TINTO ET THARSIS CIF DUISBOURG
EN U.S \$

<u>A n n é e s</u>	<u>Base 58 % Fe</u>	<u>0,1 % ou jusqu'à 1 % (moyenne annuelle)</u>
1 9 5 9	7,675	0,3755
1 9 6 0	7,375	0,3840
1 9 6 1	7,400	0,3508
1 9 6 2	7,400	0,3508
1 9 6 3	5,887	0,3541
1 9 6 4	5,512	0,4356
1 9 6 5	4,987	0,5475
1 9 6 6	4,587	0,7730
1 9 6 7	3,962	0,4042
1 9 6 8	4,112	0,6559
1 9 6 9	3,987	-

.5.2. - Vapeur : 40 atm - 400° C

On obtient environ une tonne de vapeur H.P par tonne de monohydrate, ce qui correspond à une production annuelle de l'ordre de 300.000 tonnes.

Comme nous l'avons vu dans le poste énergie électrique, on peut envisager 2 variantes pour l'utilisation de la vapeur H.P.

- 1) Utiliser toute la vapeur H.P et la transformer en énergie électrique dans le cas de la construction d'une centrale autonome à condensation.

Les condensats seront recyclés dans la chaudière, et la consommation d'eau de chaudière se réduit à un appoint.

- 2) La transformer en vapeur B.P, récupérant la différence d'énergie pour actionner des turbines entraînant les soufflantes, turbopompes, pompe d'eau de mer etc...

On peut alors envisager deux variantes pour la vapeur B.P :

- a) La vente pour les besoins de procédé d'un complexe situé dans le voisinage de l'usine. Dans ce cas nous considérerons qu'il n'y a pas de retour des condensats, et la consommation d'eau de chaudière sera de 1,1 tonne par tonne de monohydrate environ.

Le complexe en question sera probablement un complexe d'engrais phosphatés ou composés utilisant la majeure partie de la production d'acide sulfurique de l'usine pour produire de l'acide phosphorique à 26 - 28 % de $P_2 O_5$, intermédiaire fatal du traitement des phosphates tunisiens.

Il faut alors signaler qu'on peut tabler sur une consommation importante de vapeur B.P uniquement dans le cas d'une transformation de tout l'acide phosphorique en acide à 54 % de $P_2 O_5$.

Dans les autres cas d'une transformation directe en TSP, DAP, STPP, DCP, la consommation de vapeur B.P est faible.

- b) Condenser la vapeur B.P et recycler les condensats dans la chaudière.

Dans ces conditions défavorables mais peu probables, le crédit vapeur disparaît mais la consommation d'eau de chaudière se réduit à un appoint.

C H A P T E R 6



6. - CONFRONTATION DES PROPOSITIONS :

L'étude des possibilités de la réalisation d'une usine d'acide sulfurique à partir de pyrite importée et l'étude de sa rentabilité demandait de rassembler les dernières informations techniques et économiques concernant les réalisations actuellement possibles.

Dans le but de connaître les caractéristiques techniques des procédés modernes et de pouvoir calculer le prix de revient de l'acide sulfurique sur des bases économiques d'exploitation récentes, des consultations ont été faites auprès des six sociétés européennes suivantes:

- 1) La Compania Espanola de Minas de Rio Tinto S.A. (Espagne) producteur de pyrite et fabricant d'acide sulfurique dans des installations mises en exploitation depuis 1965.
- 2) La Lurgi Gesellschaft für chemie und Hüttenwesen (Allemagne) mbH.
- 3) La Société Krebs (France).
- 4) La Société Etudes et Recherches Industrielles (ERI) (Belgique).
- 5) La Société Geza (France).
- 6) Le Syndicat Belge des Travaux à l'étranger (Sybeta) (Belgique)
- 7) La Société HEURTEY

A l'exception de la Compagnie Rio-Tinto, ces sociétés se chargent d'entreprises générales pour exploiter des licences de procédés, le plus souvent en association avec des bureaux d'engineering d'Industries Chimiques.

Les renseignements reçus ont permis :

- de préciser des points techniques concernant les procédés ;
- de procéder à la comparaison des investissements de première installation pour les équipements de production ;
- d'estimer le coût des utilités et les investissements correspondants aux services généraux.

Les résultats obtenus sont consignés dans les tableaux 6, 7 et 8.

6.1. - Caractéristiques essentielles et liste des principaux équipements.

6.1.1. - RIO-TINTO (Espagne)

- Procédés :

- Grillage de la pyrite : BASF à 2 étapes
- Fabrication d'acide sulfurique : Procédé de contact
Catalyse simple sur catalyseur au Vanadium
- Consommation de matières premières :
666 T/j de pyrite à 48 % de soufre.
- Concentration de l'acide de production : 98 - 98,5 %.

a/ - Stockage, manutention et alimentation de la pyrite :

- Capacité de stockage : 20.000 Tonnes
- 1 Skip de capacité 70 T/h (hauteur d'élévation : 30 m environ)
- 1 trémie de déchargement du Skip
- 1 extracteur à ruban placé au dessous de la trémie
- 2 trémies de stockage de pyrite (capacité 40 m³ environ)
- 2 extracteurs à ruban
- 2 trémies rotatives doseuses d'alimentation.

b/ - Grillage de la pyrite : 2 lignes de 350 T/j environ.

• Equipement principal par ligne :

- 1 four de prégrillage avec grille, faisceau tubulaire etc...
- 1 soufflante pour l'air de grillage (Débit : 15.000 m³/h)
- 1 équipement complet de préchauffage soit 4 brûleurs de capacité 100 kg/h de combustible chacun, 2 pompes et 1 réservoir de stockage de fuel (capacité 20 m³).

Les pompes et le réservoir servent pour le four de prégrillage et le four de grillage final.

- 1 cyclone à gaz chauds
- 1 sas biconique pour le transfert des poussières de cendres vers le 2ème four.
- 1 chambre de post-combustion du gaz
- 1 soufflante pour l'air de post combustion (capacité variable entre 10.000 et 5.000 m³/h, D.P = 8.000 mm de colonne d'eau, T = 20° C).

- ➔ 1 four de grillage avec grille, faisceau tubulaire.
- 1 soufflante (24.000 N m³/h - 20° C - 2.000 mm de colonne d'eau)
- 1 équipement complet de préchauffage
- 1 cyclone à gaz chauds
- 1 sas biconique

a/ - Production de vapeur :

Équipement complet par ligne de grillage

- 1 chaudière de récupération de chaleur à circuit forcé, horizontale, de type Lanent et comprenant :
 - 1 ballon de chaudière
 - les systèmes d'évaporation
 - 2 pompes de circulation d'eau chaude (1 réserve) 1 turbo et 1 moto.
 - 1 turbine à vapeur pour la pompe, dispositif de nettoyage de superficies d'échange.
 - 1 système d'alimentation de l'eau de chaudière commun aux 2 lignes et comprenant :
 - 2 pompes centrifuges à haute pression 1 turbo + 1 moto (1 de réserve)
 - 1 turbine à vapeur
 - 1 Réservoir d'eau d'alimentation
 - 1 Dégazeur d'eau

- 1 Surchauffeur de vapeur (installé sur le groupe de contact)

a/ - Refroidissement et purification des gaz

- 2 lignes de dépoussiérage comprenant chacune
 - 2 transporteurs de décharge de poussières
 - 2 électrofiltres à gaz chauds (température maximum à l'entrée : 450° C)
 - 2 valves alvéolaires d'extraction
- 1 ligne de lavage, refroidissement et purification des gaz comprenant :

- . 1 tour de lavage (h= 11 m d = 6 m)
- . 1 tour de dégazage (d = 4,8 m)
- . 6 pompes centrifuges en plastique (4 en fonctionnement et 2 de réserve)
- . 1 soufflante d'air de dégazage
- . 6 électrofiltres humides

a/ - Extraction et Manipulation des cendres et poussières :

- 2 transporteurs à chaîne (refroidis à l'eau) pour les cendres provenant du prégrillage)
- 2 valves alvéolaires rotatives
- 2 tambours d'humidification
- 2 transporteurs à chaîne (refroidis à l'eau) pour les cendres provenant du grillage
- 2 tambours de refroidissement et d'humidification (1,4 m de diamètre intérieur sur 0,4 m de large)
- 1 transporteur à ruban
- 1 réfrigérant à l'eau de mer de l'eau de refroidissement des refroidisseurs, et comprenant :
- 1 échangeur de chaleur à tubes concentriques
- 2 pompes de circulation d'eau de mer (1 de réserve)

r/ - Unité de production d'acide sulfurique :

Section de séchage et absorption :

- 1 filtre à air (54.000 m³ / h d'air)
- 1 tour de séchage (d = 9,2 m - h = 10,5 m)
- 1 tour d'absorption
- 3 dispositifs spéciaux construits en Teflon pour l'addition d'eau de dilution dans les corps des pompes et la cuve de dilution.
- 1 réservoir d'acide de production
- 2 dispositifs de pompage pour la tour de séchage et la tour d'absorption
- 1 cuve de dilution
- 1 batterie de réfrigérants à ruissellement (superficie totale avec eau à 30 ° C = 2.400 m²)
- 1 cheminée de gaz de queue (h = 50 m)
- 1 tour pour le dégazage de l'acide sulfurique - (d= 2m, h = 6,5 m)

Groupe de contact :

- 1 convertisseur à 4 lits de catalyseur (d = 10,2 m, volume de catalyseur 200 m³)
- 4 échangeurs de chaleur (superficie totale environ 6.250 m²)
- dispositif de préchauffage chambres de combustion, 2 brûleurs, 1 réservoir pour combustible, les dispositifs de régulation de l'air et du gaz, les pompes soufflantes etc
- 2 soufflantes pour SO₂ et leurs moteurs (143.000 m³ / h chacune $\Delta p = 4.200$ mm de C.E., toutes 2 électriques)
- 1 ventilateur d'air de préchauffage (8.000 m³/h - 800 mm de C.E.)
- 1 ventilateur de gaz de queue (25.000 m³ / h, 200 mm de C.E.)
- 2 pompes à acide, pour le dépôt des productions (1.200 l/mn, 30 mm de colonne de liquide)
- 1 pompe à acide pour la décharge des réfrigérants (100 l/mn)

a/ - Tout l'équipement électrique et les instruments de contrôle et de mesure

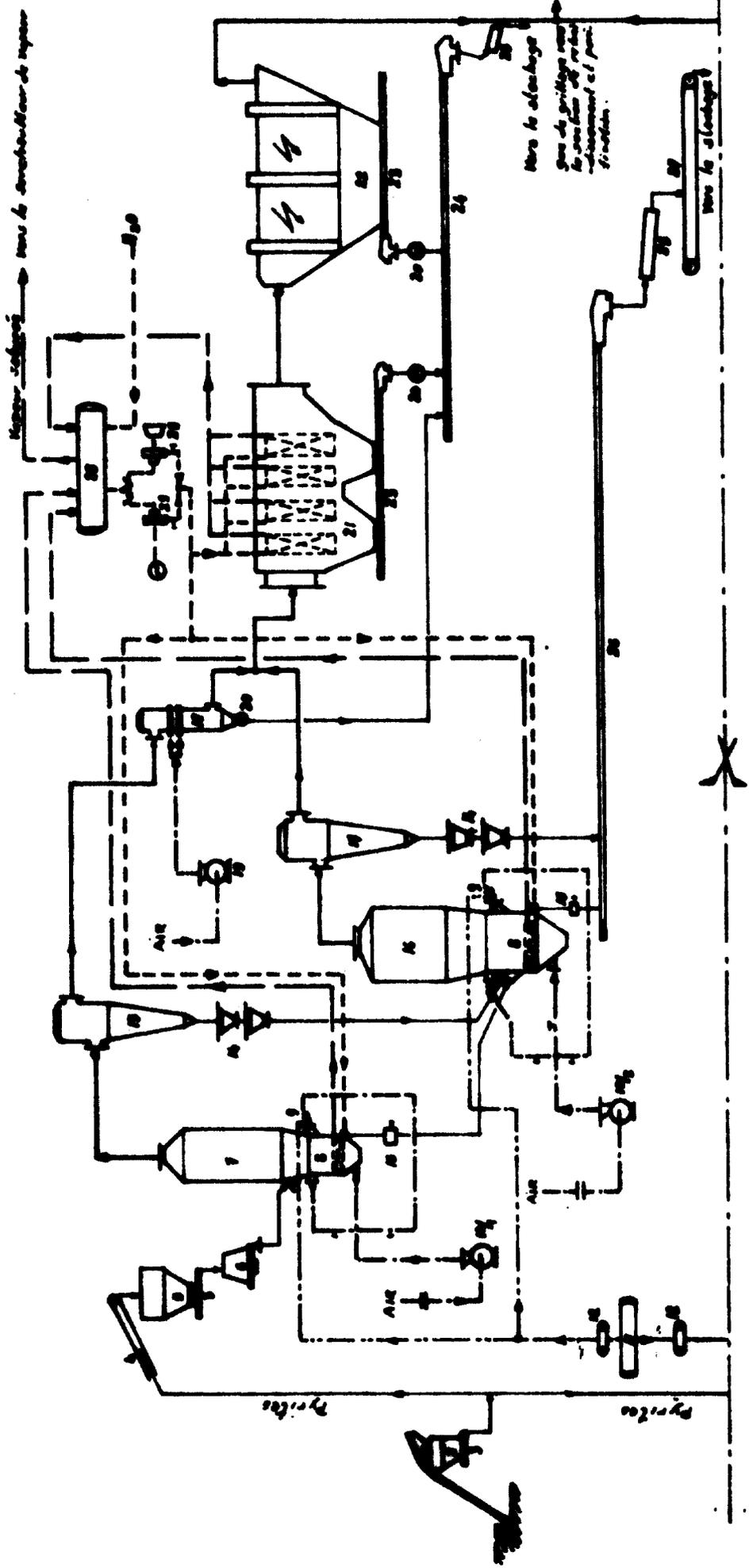
b/ - Accessoires

Toutes les tuyauteries d'eau, acide et gaz les goulettes de décharge et gaines - la robinetterie, les vannes de régulation - le calorifugeage extérieur, les revêtements réfractaires et antiacides - les corps de remplissage, casings, supports, passeroles etc

LE G E N D E

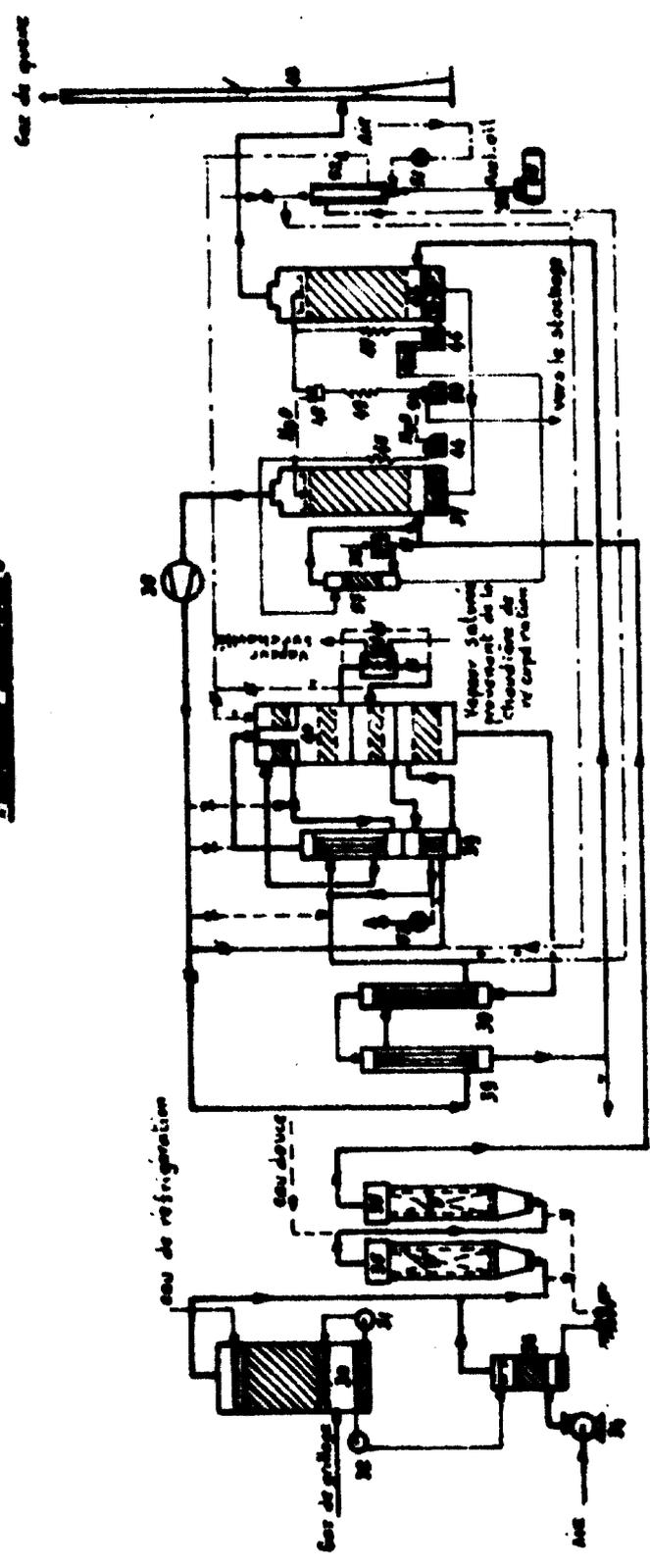
- 
1. - Skip
 2. - Trémie de déchargement du skip
 3. - Transporteurs d'extraction
 4. - Ruban transporteur pour la distribution de pyrite
 5. - Trémie de stockage de pyrite
 6. - Trémie d'alimentation de pyrite aux fours de grillage
 7. - Four de prégrillage
 8. - Faisceaux réfrigérants
 9. - Brûleur de mise en marche
 10. - Soufflantes d'air
 11. - Réservoir de stockage de fuel-oil
 12. - Pompe d'injection de fuel-oil
 13. - Cyclone de gaz chauds de prégrillage
 14. -
 15. - Valve de régulation
 16. - Four de grillage final
 17. - Cyclone de gaz chauds de grillage final
 18. - Chambre de post-combustion
 19. - Soufflante pour l'air de post-combustion
 20. - Valve rotative pour la décharge des poussières
 21. - Chaudière
 22. - Electrofiltre sec
 23. - Transporteurs de décharge
 24. - Transporteurs de poussières
 25. - Tambour d'humidification
 26. - Transporteur type "Redler"
 27. - Bande transporteuse
 28. - Ballon de vapeur
 29. - Pompes de circulation pour l'eau d'alimentation des chaudières.

INSTALLATION DE GRILLAGE DE POUSS
FIGURE 2.A.3.2. (2. ÉTAPE)



- Gaz de grillage
- - - Vapeur
- ... Eau
- · - Air
- - - Fuel-oil

**REACTEUR D'ACIDE SULFURIQUE
INSTALLATION DE SERVICE
F. B. S. I.**



- 30 - Tour de refroidissement et lavage des gaz
- 31 - Pompe de recirculation de l'acide dilué
- 32 - Pompe à acide dilué
- 33 - Tour de dégrange
- 34 - Soufflante à air
- 35 - Electrofiltres humides
- 36 - Filtre à air
- 37 - Tour de séchage de gaz
- 38 - Soufflante primaire de SO₂
- 39 - Submergeur de effluent
- 40 - Convertisseur de catalyse
- 41 - Surchauffeur de vapeur
- 42 - Tour d'absorption
- 43 - Chaudière de gaz de quartz

- 44 - Ins à acide de séchage avec pompe de recirculation
- 45 - Réfrigérants d'acide de séchage
- 46 - Pompe d'acide d'absorption avec pompe de circulation
- 47 - Réfrigérants d'acide (absorption)
- 48 - Réfrigérant de dilution
- 49 - Réfrigérants d'acide (production)
- 50 - Ins intermédiaire pour l'acide de prod.
- 51 - Ventilateur pour le préchauffeur de l'acide en marche
- 52 - Préchauffeur de l'acide en marche
- 53 - Ventilateur de gaz d'échappement
- 54 - Pompe à acide - 55 - Réservez l'acide
- 56 - Pompe à fuel-oil - 57 - Séparateur

6.1.2. - L U R G I (Allemagne)

- Procédé :

- Grillage de la pyrite : B.A.S.F. deux étapes (en deux lignes de grillage parallèles)
- Fabrication d'acide sulfurique : Procédé de contact catalytique - catalyse double.
- Consommation de matières premières :
660 T/j de pyrite arsénicale espagnole à 48 % de soufre.
- Concentration de l'acide de production :
98,5 %.
- Rendements garantis :
93 % en S.

a/ - Stockage, manutention et alimentation de la pyrite :

. Équipement par ligne :

- Une trémie de stockage (trémie double desservant les deux lignes)
- Une bande transporteuse de reprise
- Un convoyeur à bande
- Trémie descendante rotative d'alimentation chargeant les pyrites d'une façon continue dans le four et constituant une fermeture étanche du gaz du côté du four.

✓ - Grillage de la pyrite : 2 lignes

. Équipement principal par ligne :

- Un four de prégrillage à douche turbulente
- Un four de grillage final
- Un cyclone à gaz chauds pour le dépoussiérage des gaz de grillage
- Unité de combustion secondaire pour l'oxydation finale des gaz de grillage après les cyclones.

c/ - Production de vapeur (2 lignes)

. Equipement principal par ligne :

- 2 chaudières de récupération de chaleur avec les pompes de circulation.
- 1 système pour l'approvisionnement en eau d'alimentation y compris l'unité pour la préparation de l'eau, les réservoirs et les pompes.

d/ - Refroidissement et purification des gaz (2 lignes)

. Equipement par lignes :

- Cyclone de prédépoussiérage
- Isolation thermique
- Organes pour l'évacuation des poussières
- 2 Electrofiltres à gaz chauds
- Organes pour l'évacuation des poussières
- 2 tours lavouses
- 2 décanteurs
- 2 bacs de pompes
- 4 pompes d'acide de lavage
- 1 tour de saturation
- 1 bac de pompe
- 2 pompes d'acide de lavage
- 2 refroidisseurs de gaz indirects
- 4 électrofiltres humides

e/ - Extraction et manipulation des cendres et poussières :

- Système pour le transport des résidus avec dispositifs de refroidissement. Ce système se compose des redlers refroidis, des tambours de refroidissement et d'humectation (selon besoin) et des goulottes de transfert nécessaires.

f/ - Unité de production d'acide sulfurique :

. Section de séchage et absorption

- 1 filtre à air
- 1 tour de séchage

- 1 absorbeur intermédiaire
- 1 absorbeur final
- 4 bacs de pompes noyées
- 1 cuve de dilution
- Les refroidisseurs d'acide (refroidisseurs à ruissellement)
- 7 pompes d'acide (noyées)
- Ventilateur à SO_2 .

• Section contact :

- 1 caisse de contact à 4 plateaux, y compris masse de contact.
- 4 échangeurs de chaleur disposés en série (N° I, I, II, III).

• Système de préchauffage

- 2 brûleurs de démarrage à huile
- 1 réservoir d'huile avec pompe
- 1 ventilateur à air de combustion
- 1 ventilateur à gaz de fumée.

✓ - Tout l'équipement électrique et les instruments de contrôle et de mesure.

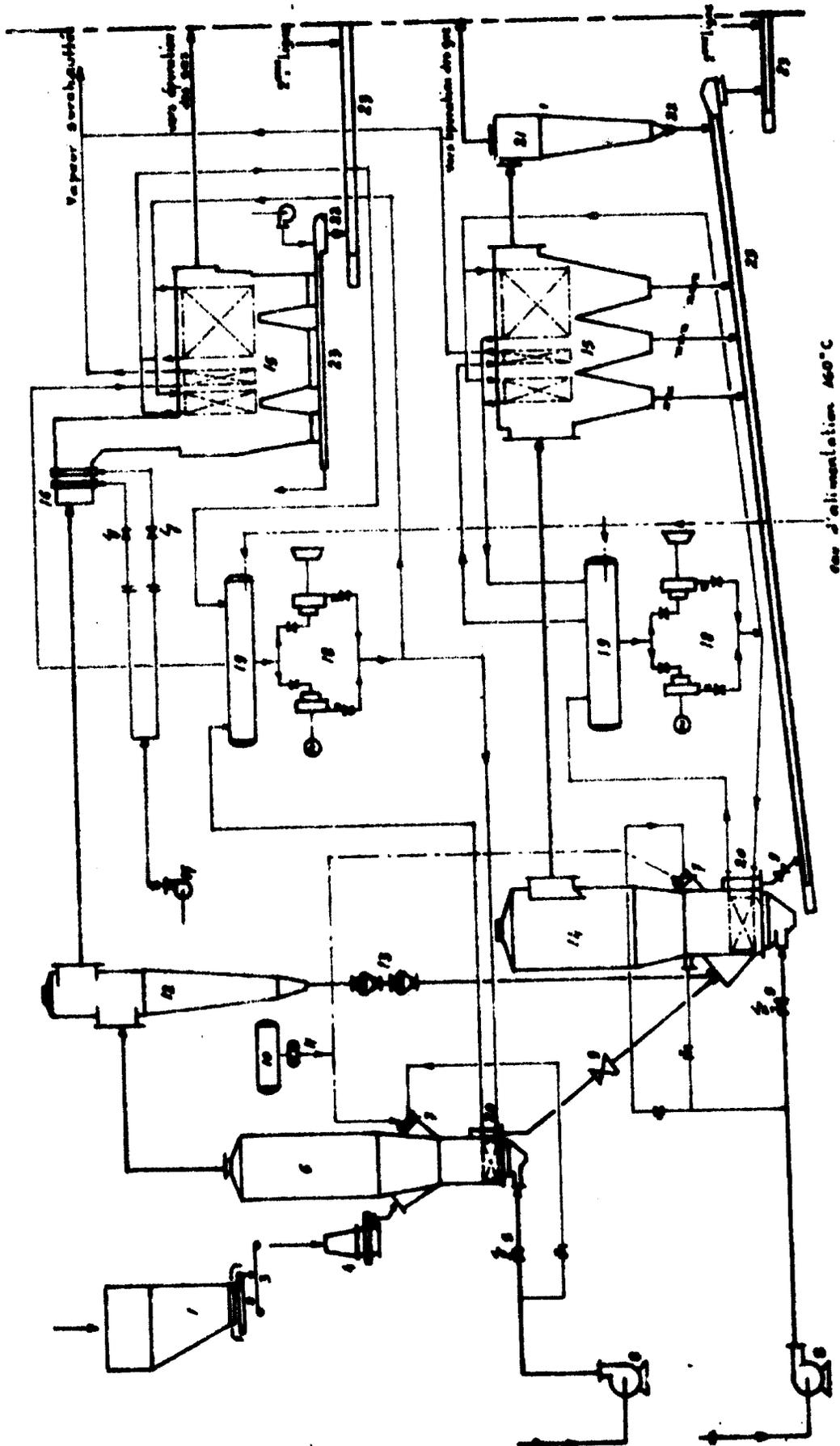
✓ - Accessoires.

LEGENDE

- 1- Trémie de stockage
- 2- Bande extractrice
- 3- Bande d'alimentation
- 4- Trémie rotative
- 5- Tiroir d'air de grillage
- 6- Four de pré-grillage
- 7- Brûleur de démarrage
- 8- Ventilateur d'air de grillage
- 9- Dispositif d'extraction
- 10- Réservoir à fuel
- 11- Pompe à fuel
- 12- Cyclone chaud
- 13- Sas à double obnc
- 14- Four de postgrillage
- 15- Chaudière à récupération de chaleur
- 16- Post - combustion
- 17- Ventilateur d'air de post-combustion
- 18- Pompes de circulation
- 19- Ballon de chaudière
- 20- Eléments refroidisseurs
- 21- Cyclone
- 22 - Vanne à sas rotatifs
- 23 - Redler
- 24- Electrofiltre sec
- 25- Tour de lavage
- 26- Bac de refoulement
- 27- Décanteur
- 28- Pompe
- 29- Tour de saturation
- 30- Bac de refoulement
- 31- Pompe
- 32- Electrofiltre humide première ligne
- 33- Refroidisseur du gaz
- 34- Electrofiltre humide deuxième ligne.

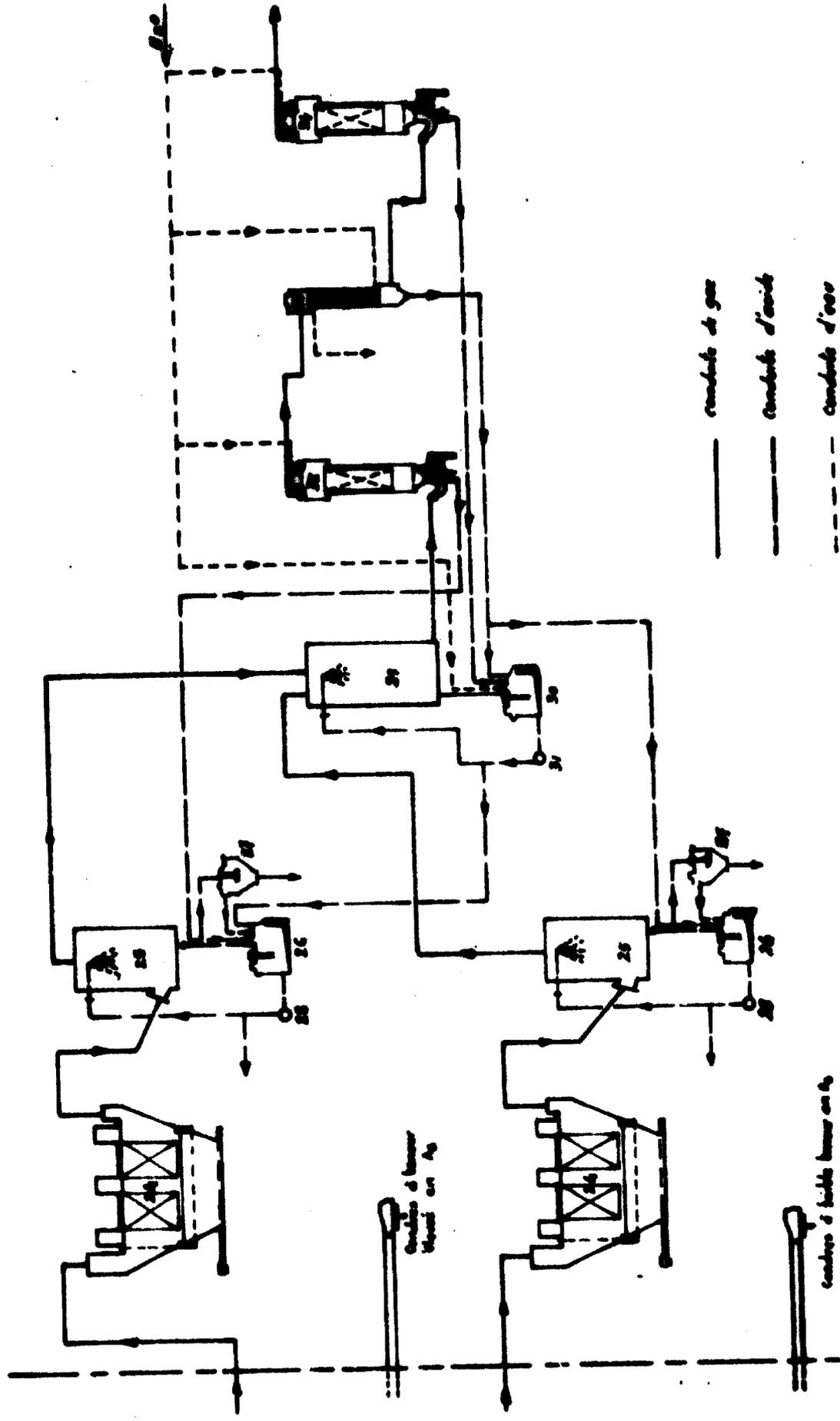
Planche 1

INSTALLATION DE CHILLAGE DE L'AZOTE
PROCESSEURS A.A.S.L.A. 2 ET 3



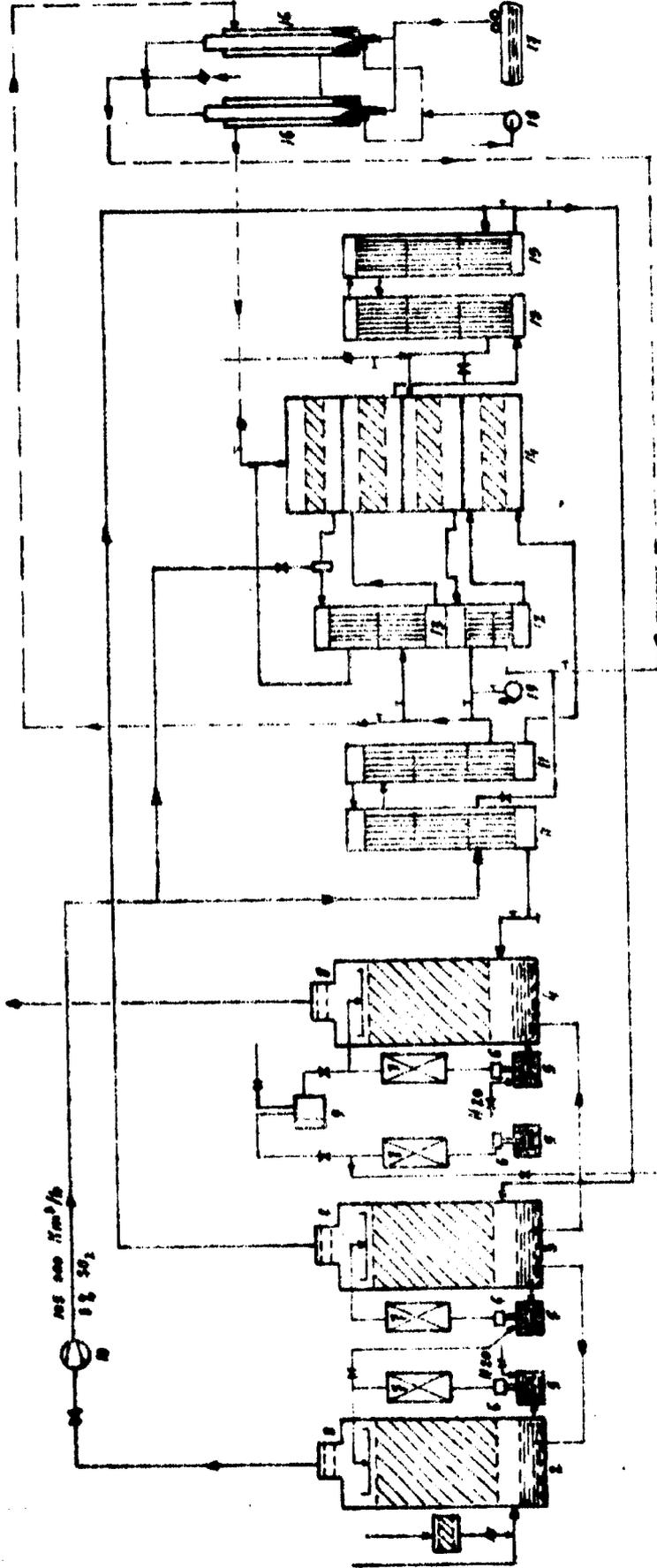
INSTALLATION DE GAZLAGE DE FUSION
FIGURE 2. A. A. R. 2. FUSION

Figure 2



PROCEDE DE CONTACT BASSE A PNEUMATIQUE

CAPALAGE DOUBLE



Production H_2SO_4 96 ÷ 98,5 %

- 1 - Filtre à air
- 2 - Tour de séchage
- 3 - Tour d'absorption intermédiaire
- 4 - Tour d'absorption finale
- 5 - Bas de circulation
- 6 - Pompe à acide

- 7 - Rafraîchisseur
- 8 - Miroir sans filtre
- 9 - Appareil de dilution
- 10 - SO_2 ventilateur
- 11 - Échangeur de chaleur I
- 12 - Échangeur de chaleur II

- 13 - Échangeur de chaleur III
- 14 - Cuisee de contact
- 15 - Échangeur de chaleur Intermédiaire
- 16 - Préchauffeur
- 17 - Bac à l'eau
- 18 - Ventilateur à air de préchauffage
- 19 - Ventil. à gaz de sulf.

6.1.3. - KREBS et HEURTEY (France)

- Procédés :

- Grillage de la pyrite : Procédé Giannarco Vetrocoke
(Four turbulence mécanique)

L'étude de cette partie de l'installation serait faite avec la société Hurtey-Paris.

- Fabrication d'acide sulfurique : Procédé simple. Licence Uging-Kuhlmann.

- Consommation de matières premières : 697,5 T/j.

- Concentration de l'acide de production :
98-98,5 % ou dilué à 93 %.

- Rendements garantis :

- . Rendement sur soufre 92 %
- . Rendement de conversion 98 % minimum
- . Rendement d'absorption 99.96 % minimum

a/ - Stockage, manutention et alimentation de la pyrite :

- 1 trémie de réception des pyrites
- 1 broyeur à boulets sur pneus avec une charge broyante de 37 tonnes de boulets et les moteurs électriques
- 1 séparateur du type à ventelles
- 1 cyclone
- 1 ventilateur de récupération avec moteur électrique
- 1 ventilateur exhausteur relié à un arbre sur lequel sont montés une turbine à vapeur et un moteur électrique
- 1 filtre à manches
- 1 ventilateur de tirage avec moteur électrique
- 1 cheminée de départ
- 1 foyer générateur de gaz chauds comprenant :
 - . une chambre de combustion horizontale cylindrique
 - . un brûleur à fuel oil
- 1 groupe moto-ventilateur d'air combustion
- 1 transporteur à courroie
- 2 trémies d'alimentation des fours
- 4 alimentateurs dosés du type dosomètres à courroie.

b/- Grillage de la pyrite : 2 lignes de 360 T/j chacune.

- 2 fours de grillage
- 2 bruleurs de démarrage
- 8 cyclones chauds de dépoussiérage à la sortie des fours

c/- Production de vapeur :

- 2 chaudières de récupération à circulation forcée et comprenant chacune :
 - 1 ballon de vapeur
 - 1 surchauffeur
 - 2 faisceaux vaporisateurs
 - 1 système de décolmatage à secousses
 - 2 pompes de circulation (dont 1 en réserve) entraînées par turbine à vapeur ou moteur électrique
 - 2 pompes d'alimentation en eau de chaudière (une entraînée par moteur électrique et une par turbine à vapeur).

d/- Refroidissement et purification des gaz :

- 8 cyclones froids de dépoussiérage
- 2 ventilateurs de reprise de gaz
- 1 tour de refroidissement
- 1 cuve de décantation
- 1 bac de roulement
- 2 pompes de circulation avec moteurs électriques
- 1 tour de lavage
- 1 bac de roulement
- 3 pompes de circulation avec moteurs électriques
- Réfrigérants tubulaires d'acide faible
- Réfrigérants directs de gaz
- 1 électrofiltre de débrouillardage avec caissons en série parallèle.

e/- Extraction et manipulation des cendres et poussières :

- 4 transporteurs à double vis pour extraction et refroidissement des cendres sous cyclones
- 2 redler à cendres désarseniées
- 1 Redler principal à cendres désarseniées

- 4 Redlers de collecte des cendres arseniées
- 1 Redler principal à cendres arseniées
- 2 tambours d'humidification des cendres
- 1 transporteur d'évacuation des cendres désarseniées
- 1 transporteur d'évacuation des cendres arseniées
- 2 trémies de chargement de wagons sur voie
- Unité de production d'acide sulfurique :

Section catalyse :

- 1 caisse de catalyse avec 4 plateaux garnis de catalyseur au vanadium.
- 2 échangeurs de chaleur N° 1 et 1 bis
- 1 échangeur de chaleur N° II
- 1 échangeur de chaleur N° III
- 2 échangeurs de chaleur N° IV et IV bis
- 1 réchauffeur de gaz comprenant :
 - 1 chambre de combustion
 - 1 brûleur à fuel oil
 - 1 échangeur de chaleur à tubes de fumée
 - 1 cheminée d'évacuation des gaz brûlés
- 1 ventilateur d'air de combustion
- 1 ventilateur d'air de dilution
- 1 mélangeur de gaz
- 1 économiseur

Section séchage et absorption :

- 2 ventilateurs centrifuges avec moteurs électriques
- 1 four de séchage
- 3 pompes de circulation d'acide avec moteurs électriques
- Les réfrigérants d'acide du type à ruissellement
- 1 pompe de vidange des réfrigérants
- 1 tour d'absorption
- 3 pompes de circulation d'acide avec moteur électrique
- Les réfrigérants d'acide du type à ruissellement

- 1 canne en teflon pour injection d'eau
- 1 bac pour sondes du titrimètre
- 1 cheminée d'évacuation des gaz de queue en polypropylène
- 1 dilueur d'acide en graphite
- 1 échangeur pour le refroidissement de l'acide dilué en graphite

f/- Tout l'équipement électrique et les instruments de contrôle et de mesure

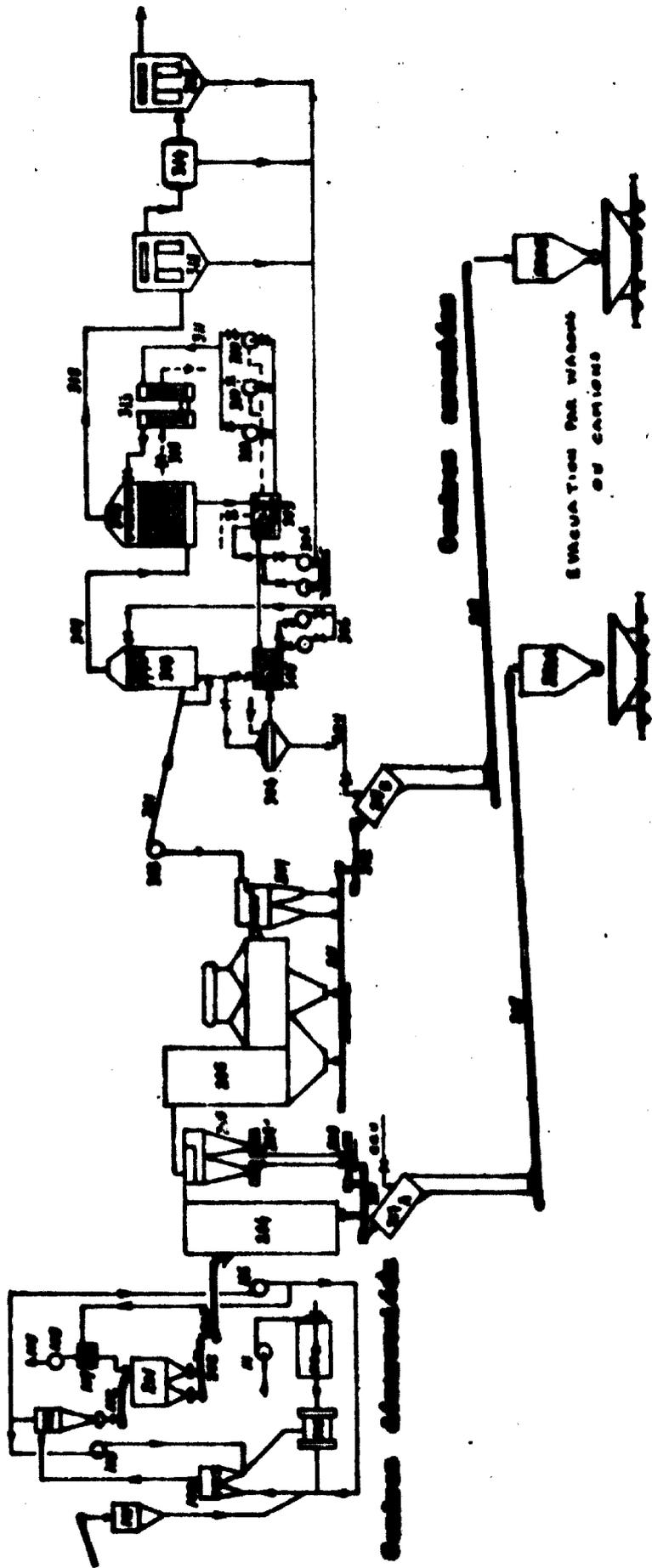
g/- Accessoires

L E G E N D E

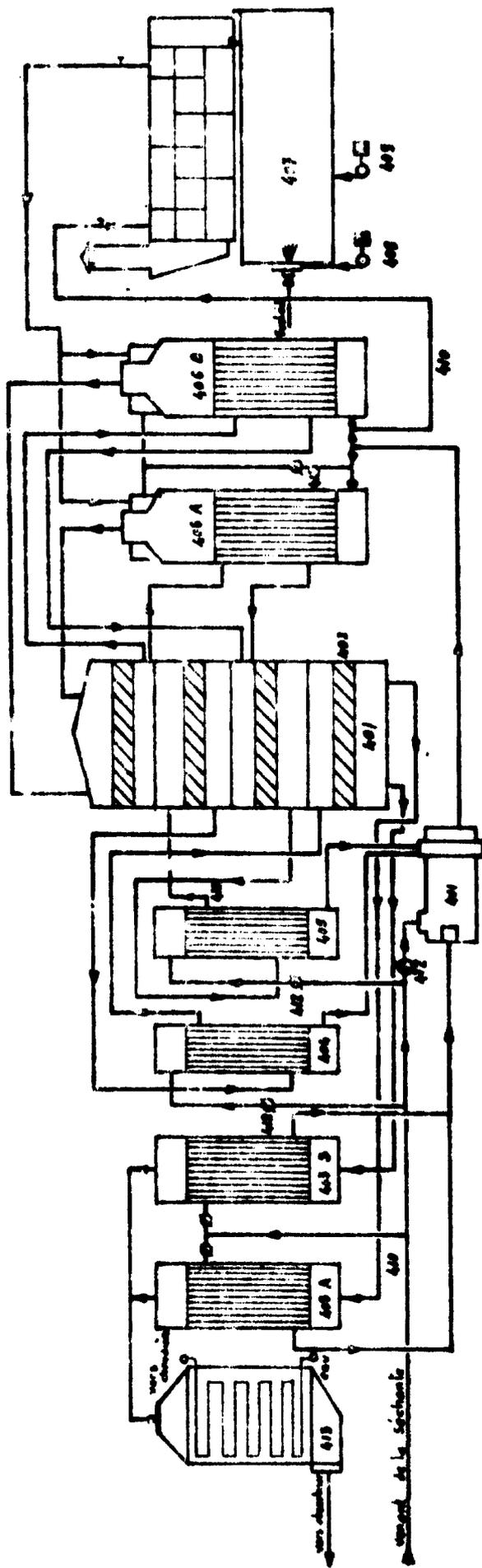
- 101. - Trémie de réception des pyrites
- 102. - Broyeur à boulets sur pneus
- 103. - Séparateur du type à ventelles
- 104. - Cyclone en tôle d'acier
- 105. - Ventilateur de récupération d'air
- 106. - Ventilateur exhausteur
- 107. - Filtre à manches
- 108. - Ventilateur de tirage
- 109. - Cheminée de départ
- 110. - Foyer générateur de gaz chauds
- 111. - Groupe moto-ventilateur d'air de combustion
- 112. - Transporteur à courroie
- 201. A-B - Trémies d'alimentation des fours
- 202. A-B - Alimentateurs à poids constant
- C-D - Type : dosomètre à courroie
- 203. A-B - Transporteurs à courroie
- C-D
- 204. A-B - Fours de grillage de pyrites
- 205. - Cyclones
- A-B-C-D
- E-F-G-H
- 206. A-B - Chaudières de récupération
- 207. - Cyclones froids de dépoussiérage
- A-B-C-D
- 208. - Transporteurs à double vis
- A-B-C-D
- 209. A-B - Redler à cendres désarseniées
- 210. - Redler principal à cendres désarseniées
- 211. - Redler de collecte des cendres arsénisées
- A-B-C-D

- 212. - Redler principal à cendres arsénisées
- 213. - Pompes de circulation
- A-B-C-D
- 214. - Pompes d'alimentation
- A-B-C-D
- 215. - Tuyauteries
- 216. - Charpentes, supports, passerelles, escaliers
- 217. A-B - Tambours d'humidification des cendres
- 218. - Transporteur d'évacuation des cendres désarsénisées
- 219. - Transporteur d'évacuation des cendres arsénisées
- 220. A-B - Trémies de chargement
- 301. - Tuyauterie à gaz
- 302. A-B - Ventilateurs de reprise de gaz
- 303. - Tour de refroidissement
- 304. - Cuve de décantation
- 305. - Bac de roulement
- 306. A-B - Pompes de circulation
- 307. - Tuyauterie de liaison
- 308. - Tour de lavage
- 309. - Bac de roulement
- 310. - Pompes de circulation
- A-B-C
- 311. - Tuyauteries en plomb
- 312. - Robinetterie
- 313. - Réfrigérants tubulaires
- 314. - Réfrigérants directs de gaz
- 315. - Tuyauteries d'eau de mer
- 316. - Robinetterie pour eau de mer
- 317. - Passerelle de service
- 318. - Tuyauterie à gaz
- 319. - Electrofiltre de débrouillardage

RESEARCH REPORT
PROJECT 1000



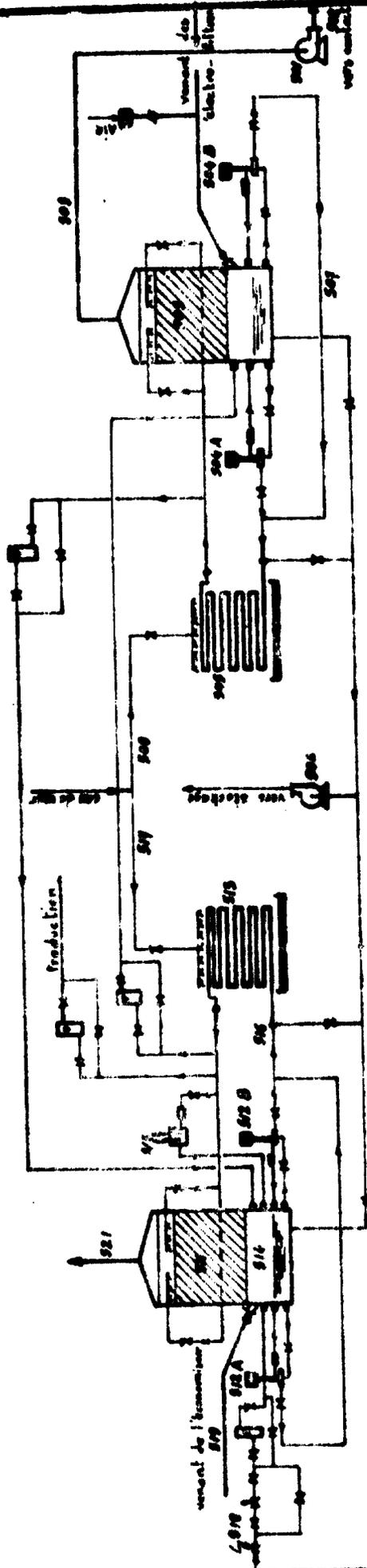
**FABRICATION DE L'ACIDE SULFURIQUE
INSTALLATION DE COLAS
SOCIÉTÉ CARAYON
PROCEDE SOCIÉTÉ KILIAN**



- 401. - Colonne de catalyse
- 402. - Catalyseur en vanadium URIB-KILIAN
- 403. -
- 403a - Réchauffeurs de chaleur N° 1
- 403b - Réchauffeurs de chaleur N° II
- 403c - Réchauffeurs de chaleur N° III
- 406. -
- 406a - Réchauffeurs de chaleur N° IV et V
- 407. - Réchauffeur de gaz

- 408. - Ventilateur d'air de combustion
- 409. - Ventilateur d'air de dilution
- 410. - Tyndariques en tôles d'acier A 37 F
- 411. - Mélangeur de gaz en tôles d'acier A 37 F
- 412. - Valves physiques de réglage
- 413. - Bourrelier

P A R T I C I P A T I O N D ' A C T I O N S U P E R I O R E
I N S T A L L A T I O N D E C O N T A C T
 (Système à PSORPTION - 40000 BT (PROCEDE MITTELWEG))



- 501. - Ventilateurs centrifuges
- A-3 - Réfrigérants à gaz
- 502. - Tuyauterie à gaz
- 503. - Four de séchage
- 504. - Pompes de circulation à gaz
- A-306
- 505. - Réfrigérants à gaz
- 506. - Pompe de vidange des réfrigérants
- 507. - Tuyauteries
- 508. - Tuyauteries
- 509. - Tuyauteries
- 510. - Tuyauteries de service
- 511. - Four d'absorption

- 502. - Pompes de circulation à gaz
- A-306
- 513. - Réfrigérant à gaz
- 514. - Ours en téflon
- 515. - Les pour sceller de titulaires
- 516. - Tuyauteries en fonte anti-acide
- 517. - Tuyauteries d'alimentation
- 518. - Tuyauteries électromagnétiques de sécurité
- 519. - Tuyauteries de gaz
- 520. - Tuyauteries de service
- 521. - Tuyauteries d'évacuation des gaz de contact

- Procédés :

- Grillage de la pyrite : Dorr Oliver (grillage fortement oxydant en 1 seule étape)
- Production d'acide sulfurique : Procédé de contact Petterson (catalyse simple sur catalyseur au Vanadium).
- Consommation de matières premières :
720 T/j des pyrites à 48 % de S.
- Concentration de l'acide de production : 96 à 98,5 %.
- Rendements garantis :
 - au contact : 98 %
 - à l'absorption : 99,5 %

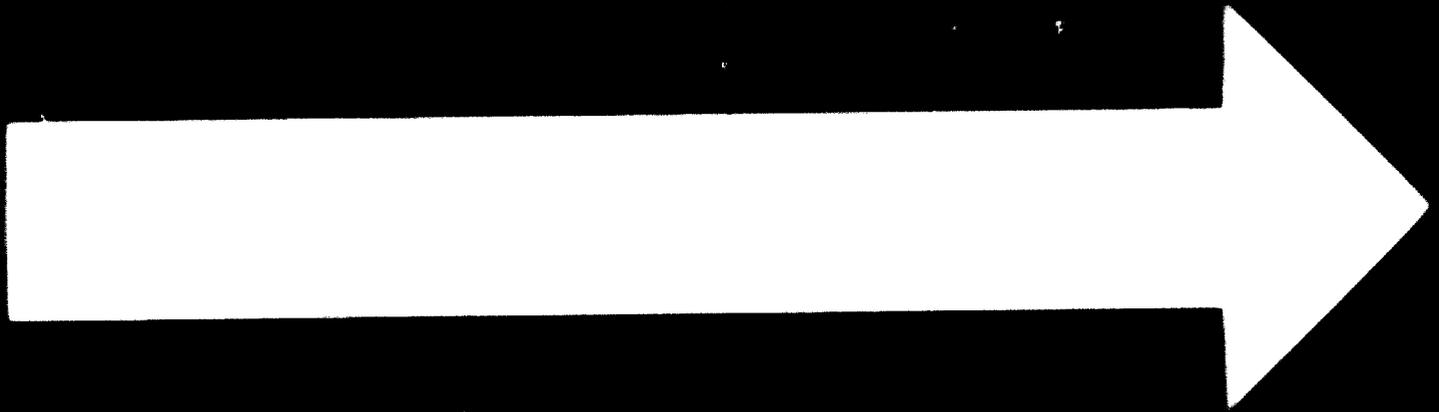
a/ - Stockage, manutention et alimentation de la pyrite :
(Pour 2 lignes de grillage).

- 1 bande doseuse
- 1 transporteur
- 2 trémies de stockage journalier de pyrite
- 2 transporteurs à bande
- 2 trémies intermédiaires
- 2 convoyeurs à vis
- 2 goulottes d'alimentation des fours.

b/ - Grillage de la pyrite : 2 lignes de 360 T/j.

- 2 fours à lit fluidisé
- 2 filtres à air
- 2 soufflantes actionnées par turbine à vapeur
- 1 centrale d'air comprimé avec ensemble filtre sécheur déshuileur.
- 1 installation de préchauffage comprenant :
 - 1 citerne à gas oil avec circuit de réchauffage
 - 1 pompe à gas oil pour alimentation
 - 1 réchauffeur de gas oil
 - 1 bruleur fixé sur le four
 - 1 soufflante.

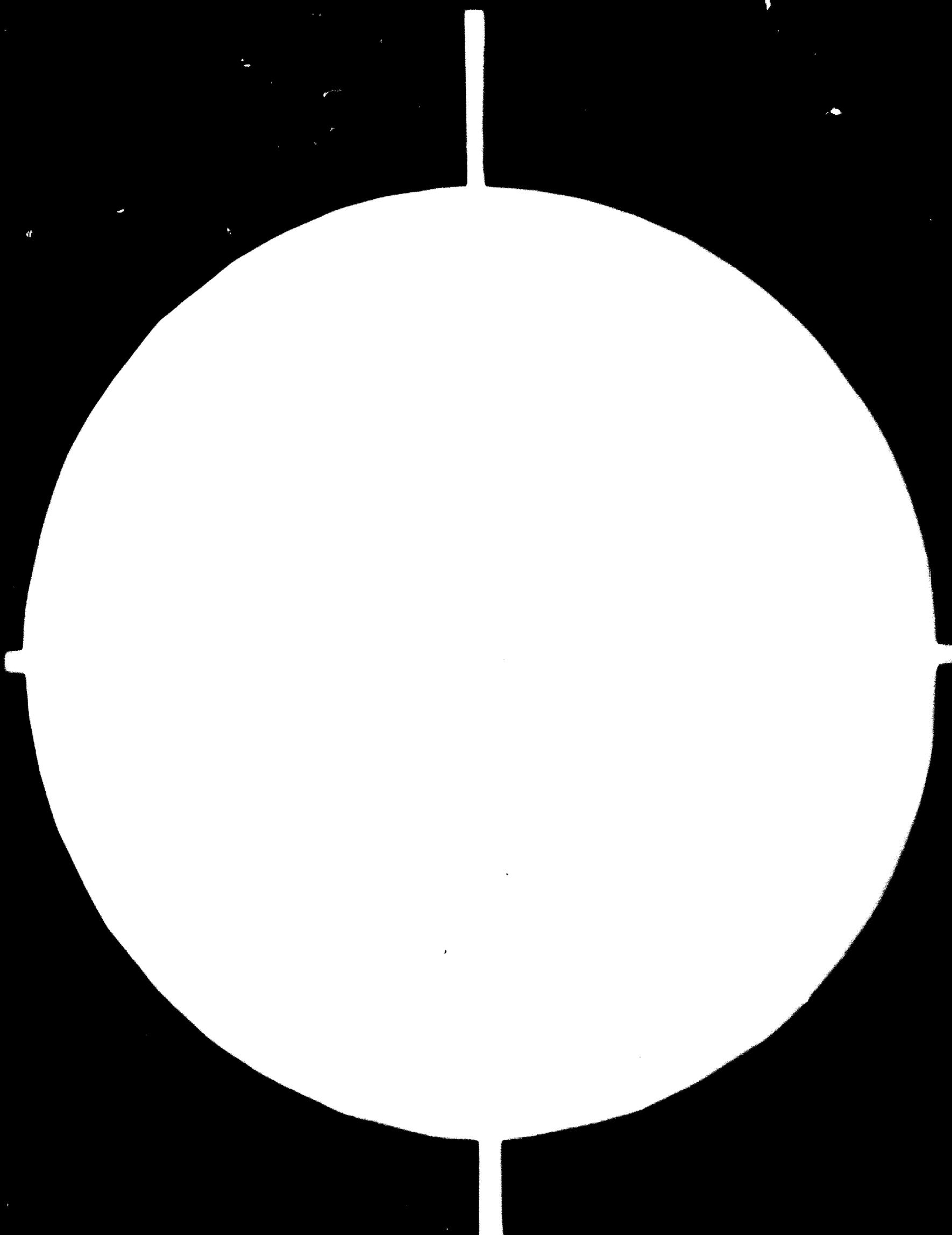
C-536



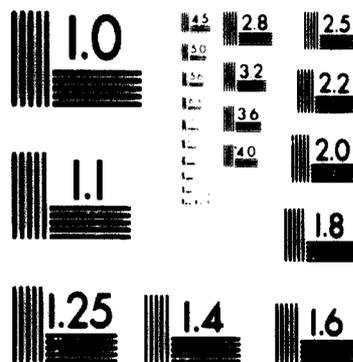
84.10.16

AD.86.07

ILL 5.5+10



2 OF 2



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

24 x
F

c/ - Production de vapeur :

- 2 chaudières avec les faisceaux évaporateurs et surchauffeurs, le dispositif à secousses pour nettoyage des faisceaux etc....
- 1 installation de traitement de l'eau de chaudière

d/ - Refroidissement et purification des gaz :

- 2 lignes de dépolluage comprenant :

- 2 ensembles de cyclones pour dépolluage des gaz
- 1 filtre de dépolluage électrostatique sec

- 2 lignes de refroidissement et purification des gaz comprenant :

- 2 tours vides
- 2 tours remplies en plomb
- 10 décanteurs statiques
- 16 bacs de réfrigération
- 16 réfrigérants du type faisceau tubulaire
- 6 réservoirs à acide
- 8 pompes centrifuges
- 12 électro-filtres humides
- 2 tours de dégazage

e/ - Extraction et manipulation des cendres et poussières :

- 1 tambour humidificateur
- 4 transporteurs à chaîne réfrigérés par eau
- 2 systèmes refroidisseur - humidificateur

f/ - Unité de production d'acide sulfurique

Section de séchage et absorption (2 lignes)

- 2 tours de séchage de gaz sulfureux
- 2 tours d'absorption de SO_3
- 2 tours de dégazage
- 4 réservoirs d'acide
- 8 pompes centrifuges avec moteurs
- 1 réfrigérant à ruissellement à 74 éléments
- 2 réservoirs intermédiaires
- 4 pompes centrifuges avec moteur
- 2 refroidisseurs à gaz SO_3

Installation de conversion (2 lignes)

- 8 échangeurs de chaleur
- 2 tours de conversion avec la masse catalytique
- 1 système de préchauffage comprenant :
 - 1 réchauffeur du type échangeur de chaleur avec faisceaux tubulaires
 - 1 chambre de combustion
 - 1 brûleur à huile
 - 1 ventilateur de l'air de combustion avec moteur
 - 1 réservoir de combustible de 15 m³ de capacité
 - 1 pompe à combustible avec moteur
 - 3 ventilateurs spéciaux à haute pression (dont 1 en réserve) avec moteurs.

g/ - Tout l'équipement électrique et les instruments de mesure et de contrôle :

h/ - Tous les accessoires

i/ - Observations particulières

L'offre de GEXA a été présentée en 2 parties distinctes :

1) Grillage des pyrites, comprenant :

- la manutention et alimentation
- le grillage
- la production de vapeur
- le dépoussiérage des gaz
- l'extraction et la manipulation des cendres

cette partie a été présentée selon 2 variantes.

- 1ère variante : 2 lignes de 370 T/j de pyrite chacune. C'est celle qui a été décrite précédemment.

- 2ème variante : 1 seule ligne de 720 T/j de pyrite

la première variante offre l'avantage d'une grande souplesse de marche et la deuxième réduit l'investissement total de 1,8 %.

Le procédé de grillage proposé ne permet pas d'avoir des cendres récupérables, puisqu'il n'élimine pas l'arsenic.

2) Unité de production d'acide sulfurique :

Cette unité a été proposée en 2 lignes de 450 T/j d'acide chacune.

L E G E N D E



1. - Trémie de stockage
2. - Extracteur à bande
3. - Transporteur à bande
4. - Trémie de stockage
5. - Extracteur à bande
6. - Soldedoseuse
7. - Réacteur fluosolid
8. - Soufflante pour air de préchauffage
9. - Pompe à injection de fuel
10. - Bac à fuel
11. - Soufflante pour air de grillage et fluidisation
12. - Chaudière
13. - Pompe de circulation de la chaudière
14. - Pompe d'eau d'alimentation du ballon
15. - Ballon de chaudière
16. - Cyclone de dépoussiérage
17. - Electrofiltre sec
18. - Vannes de déchargement des cendres
19. - Transporteur à vis
20. - Transporteur à chaîne
21. - Humidificateur

PROCES DE COLLAGES DE PAINES

(MONT-OLIVIER)

Eau Industrielle

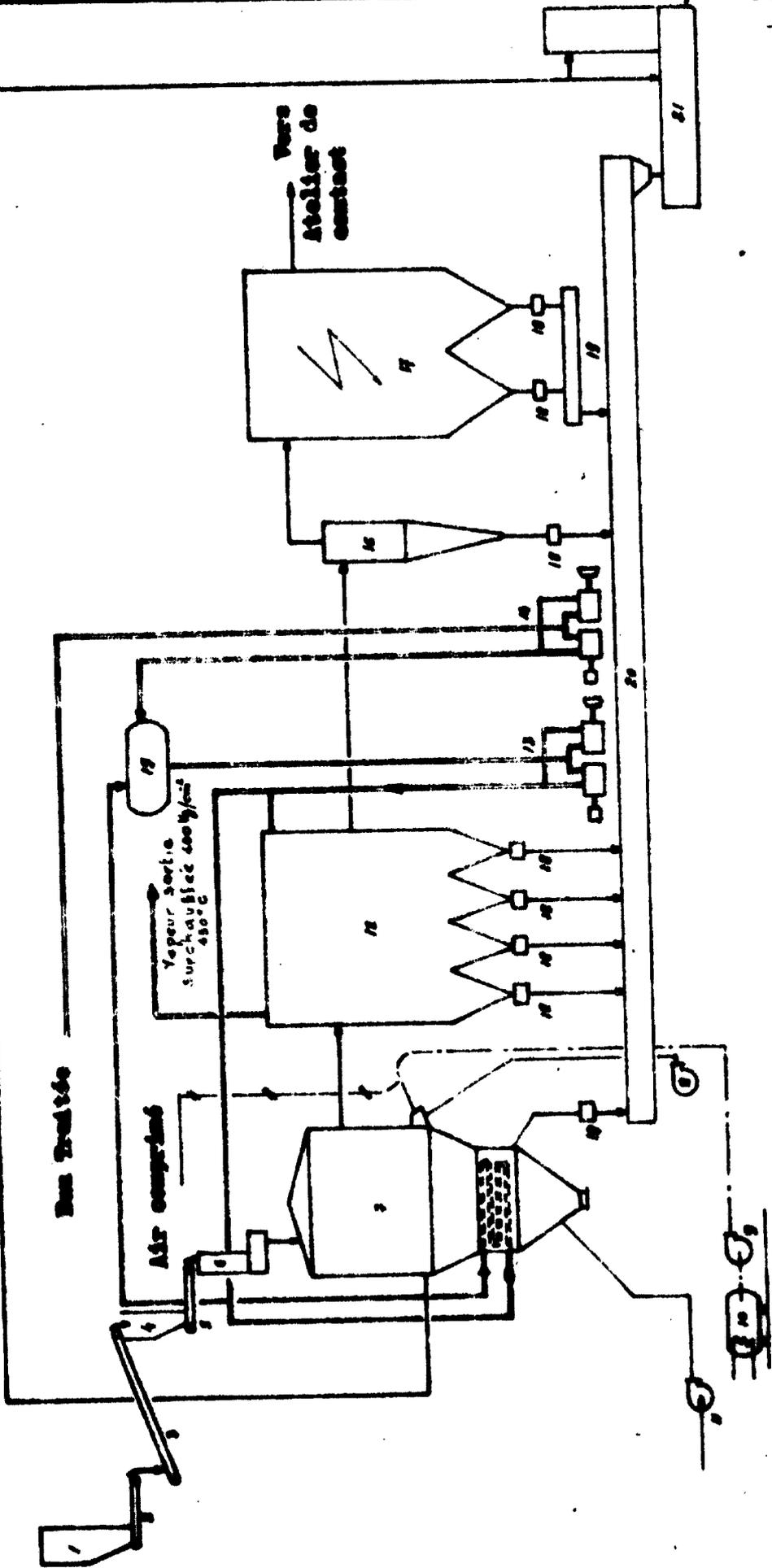
Eau Traitée

Air comprimé

Vapeur sortie
surchauffée 400/450°C

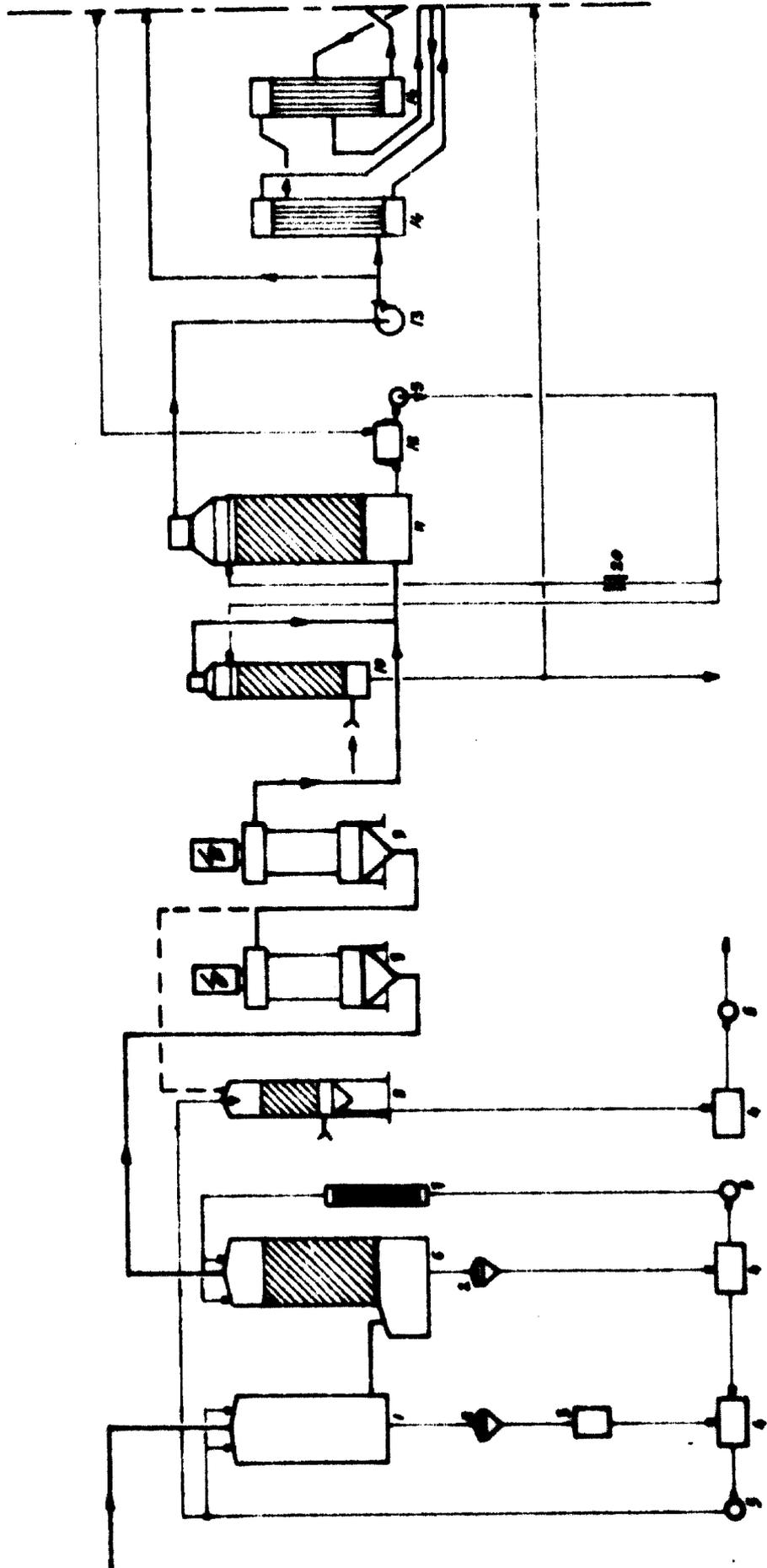
Vers
Atelier de
cristallin

Cendres



**FABRICATION D'ACIDE SULFURIQUE
INSTALLATION DE CONTACT
PROFESSEUR HUGO PERRIERE**

Planche 1



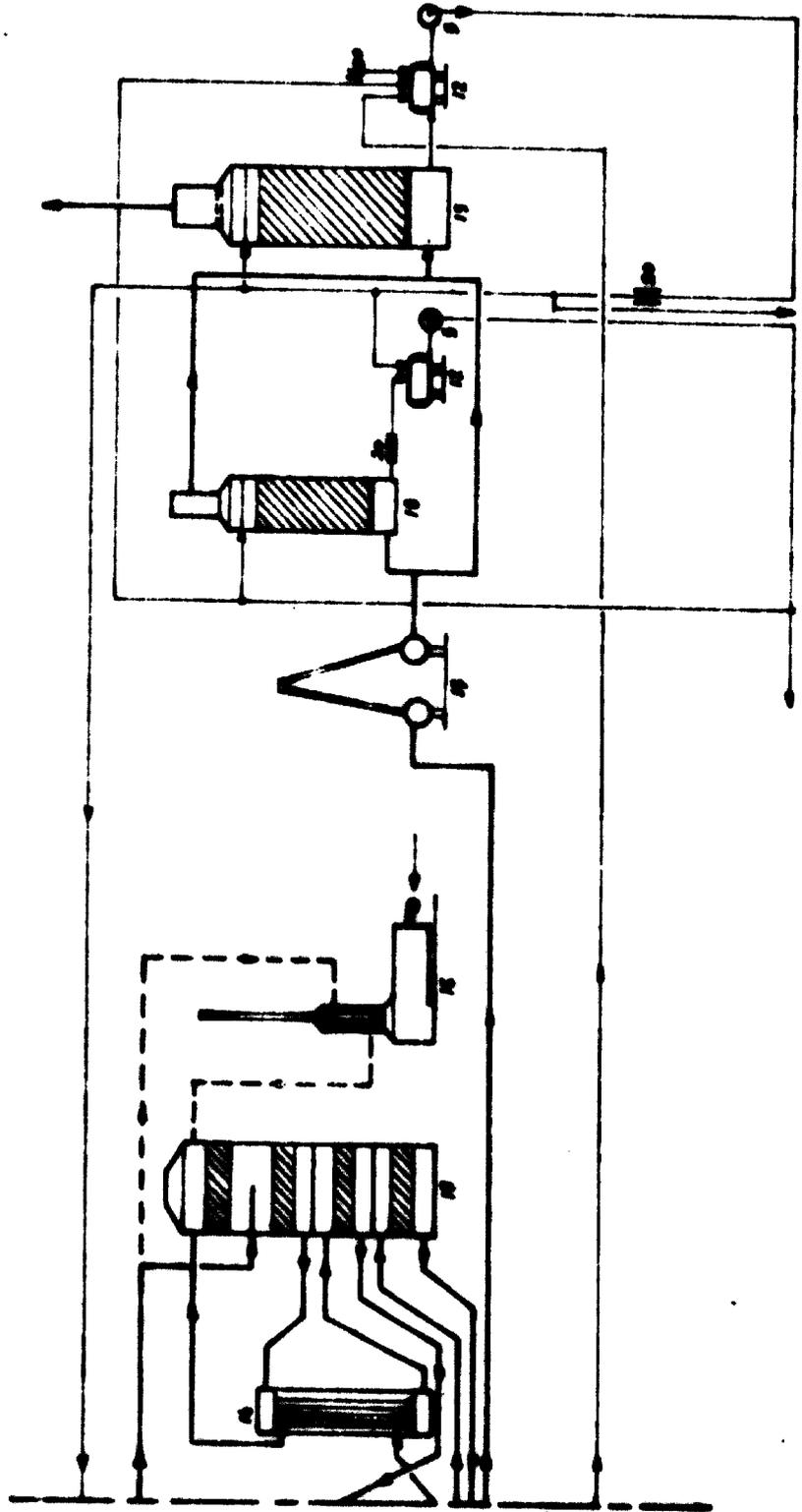
- 9. - Interrupteur à main
- 10. - Filtre
- 11. - Pompe de contact
- 12. - Réservoir d'acide

- 5. - Pompe de lavage II
- 6. - Pompe de lavage I
- 7. - Refroidisseur d'acide
- 8. - Filtre

- 1. - Pompe de lavage I
- 2. - Réservoir de lavage
- 3. - Refroidisseur d'acide
- 4. - Réservoir d'acide

**FABRICATION D'ACIDE SULFURIQUE
 MÉTHODE DE CONTACT
 PROCÉDÉ INCO FERRE**

Plancha 2



13. - Purificateur
 14. - Réfrigérant de contact
 15. - Condenseur de contact

16. - Appareillage de production
 17. - Refroidisseur de gaz SO₂
 18. - Tour d'absorption

19. - Tour d'absorption
 20. - Refroidisseur d'acide

- Procédés :

- Grillage de la pyrite : B.A.S.F. grillage oxydant en une seule étape (2 lignes de grillage parallèles).
- Fabrication d'acide sulfurique : par contact au Vanadium (Mechim).
- Consommation de matières premières :
675 t/j de pyrite de Rio-Tinto à 48 % de S.
- Concentration de l'acide de production : 98 %
- Rendements garantis :
 - . Conversion : 98 % \pm 0,25
 - . Absorption : 99,5 %
 - . Garanti sur S : 94 % \pm 0,5 %

a/ - Stockage, manutention et alimentation de la pyrite :

. Equipement par ligne :

- Equipement de déchargement des Wagons et stockage des pyrites en silos avec pont roulant.
- 2 silos d'alimentation par four
- Courroies d'évacuation disposées en dessous des silos de stockage.
- Transporteurs transversaux vers les dispositifs de dosage des fours.

b/ - Grillage de la pyrite : 2 lignes.

. Equipement principal par ligne :

- 1 four de grillage en lit fluidisé avec grille de répartition
- 1 soufflante d'air de grillage
- Installation de brûleurs pour le préchauffage du four

c/ - Production de vapeur : 2 lignes.

. Equipement principal par ligne :

- 1 chaudière de récupération de chaleur avec les éléments évaporateurs, les pompes de circulation, un ballon supérieur et deux ballons inférieurs.
- 1 surchauffeur de vapeur placé dans la partie supérieure du four de grillage.

- 1 réservoir de stockage d'eau d'alimentation, capacité 90 m³ avec dégazeur.
- 1 séparateur eau/vapeur pour le démarrage du surchauffeur

d/ - Refroidissement et purification des gaz (2 lignes)

équipement par ligne

- 2 cyclones en tôle d'acier soudés
- électrofiltres à gaz secs
- 1 tour vide
- 1 cuve à acide de circulation
- 3 pompes centrifuges dont 1 de réserve, caoutchoutées pour la circulation des acides.
- 2 décanteurs en acier
- 2 pompes Dorroa
- 1 cuve en plomb pour récolter les acides faibles
- 1 pompe en plomb dur pour l'expédition des acides faibles
- 1 tour réfrigérante
- 1 cuve à acide de circulation
- 3 pompes centrifuges
- 3 échangeurs à tubes en graphite, pour le refroidissement des acides d'arrosage
- 1 filtre électrostatique monophasé
- 1 cuve à condensats
- 1 pompe centrifuge

e/ - Extraction et manipulation des cendres et poussières

- 1 transporteur pour le transport des résidus de grillage chauds.
- 1 dispositif à godets à chaîne exécuté pour matière chaude de 350°
- 1 tambour d'humidification des résidus de grillage
- 1 laveur de vapeur à placer au dessus des tambours d'humidification des résidus de grillage.

f/ - Unité de production d'acide sulfurique

- 1 tour de catalyse
- 1 échangeur intermédiaire
- 1 échangeur de queue
- 1 économiseur
- 1 four de réchauffage avec brûleur à fuel
- 1 réservoir de stockage de fuel (10.000 t)
- 1 échangeur de mise en service
- 2 soufflantes pour SO₂
- 1 tour de séchage du SO₂
- 3 pompes centrifuges immergées pour la circulation des acides
- 7 échangeurs de chaleur hélicoïdaux pour le refroidissement des acides avec circulation d'eau.
- 1 tour de séchage de l'air de dilution
- 2 pompes à acide centrifuges, type immergé (dont 1 de réserve) pour le renvoi des acides vers les trous d'absorption et de séchage du SO₂.
- 1 tour d'absorption
- 3 pompes centrifuges
- 7 échangeurs de chaleur hélicoïdaux
- 1 cuve de dilution
- 1 échangeur de chaleur hélicoïdal
- 1 cuve à acide de production
- 1 pompe centrifuge pour l'expédition de l'acide produit vers le réservoir de stockage.
- 1 ventilateur centrifuge pour l'air de dilution à la catalyse
- 1 réservoir de stockage : capacité 2.000 t
- 1 pompe d'expédition de l'acide vers les points d'utilisation

g/ - Tout l'équipement électrique et les instruments de contrôle et de mesure.

h/ - Accessoires

i/ - Observations particulières :

Le procédé de grillage n'est pas adapté à la matière première proposée, puisqu'il ne permet pas d'avoir des cendres exemptes d'arsenic, donc récupérables.

6.1.6. - E. R. I. (Belgique)

- Procédés :

- Grillage de la pyrite : double grillage "Fluosolid"
- Fabrication d'acide sulfurique : contact
- Consommation de matières premières :
675 T/j de pyrite arsenicale espagnole à 48 % de S
- Concentration de l'acide de production : 98 %
- Rendements garantis : non précisés.

a/ - Stockage, manutention et alimentation de la pyrite :

- Aire de stockage et pont roulant
Le transport des pyrites depuis leur lieu de stockage jusqu'aux installations de l'usine se fait au moyen de :
 - . chargeurs mécaniques
 - . élévateur
 - . transporteur à courroie

Le niveau des pyrites dans le silo d'alimentation du four est automatiquement maintenu constant.

b/ - Grillage de la pyrite : 2 lignes.

- Four de prégrillage
- 2 cyclones de récupération des poussières
- Four de grillage final suivi de cyclones

c/ - Production de vapeur : 2 lignes.

- Chaudière de récupération de chaleur. Le dispositif permet aussi la récupération de la chaleur sensible des cendres.

d/ - Refroidissement et purification des gaz : 2 lignes.

- Electrofiltres
- Tours de lavage et de refroidissement.

e/ - Extraction et manipulation des cendres et poussières

- Transporteur à chaînes trainantes
- Tambours humidificateurs où les résidus pauvres en arsenic et riches en Fe sont humidifiés.

Les poussières arsenicales sont recueillies séparément.

f/ - Unité de production d'acide sulfurique

- Tour de séchage
- réchauffeur
- réacteur de contact
- tour d'absorption
- stockage acide (10.000 tonnes)

g/ - Tout l'équipement électrique et les instruments de contrôle et de mesure.

h/ - Accessoires.

6.2. - Consommation de matières premières et utilités :

Dans le tableau 6 ont été consignés les chiffres de consommation de matière première et utilités obtenus de diverses sources.

L'installation peut céder de la vapeur haute pression et des cendres. Dans ce cas les chiffres ont été précédés du signe (-).

Dans les deux hypothèses examinées ; récupération ou non des condensats, nous retenons les chiffres suivants de consommation :

1) Récupération des condensats :

- eau de process :..... 0,18 T

- eau de chaudière : appoint de.. 0,13 T

TOTAL :..... 0,31 T

2) Non récupération des condensats :

- eau de process :..... 0,18 T

- eau de chaudière :..... 1,15 T

TOTAL :..... 1,33 T

T A B L E A U - 6 -

CONSUMATIONS DE MATIÈRES PREMIÈRES ET UTILITÉS POUR UNE

TONNE D'ACIDE SULFURIQUE 100 %

Fournisseurs	Pyrite Kg	K W h	Vapeur H.P. Kg	Vapeur BP Kg	Eau Process (T)	Eau de chaudière (T)	Eau de refroid. m ³	Cendres Tonne	Catalyseur
RIO-TINTO	740	96	159 bars 350° C - 1050	4 bars 226	1 Tonne (avec re- tour des conden- sats)		61	- 0,5	700 \$/an
LURGI	734	100	40 bars 400° C - 1000	-	0,5	1,1	110	0,51	Pas de consomma- tion cour- rante
KLEBS - HURLEY	775	100	142 bars 400° C - 500	6 bars 80	0,24	0,98 (1)	50 ± 5%	- 0,543	15 % au bout de 5 ans
GMA	720	75	140 bars 1450° C - 1090	-	0,133	1,2	79	- 0,5	5 ans mi- nimum
SYBYRA	750	80	143 bars 380° C - 85C	5 bars 150° C 148	0,18	1,3	160 à 65	- 0,478	diminu- tion de 10,12 %/an
D.R.I.	750	80	-	-	0,18	1,2	60 - 65	- 0,52	-

(1) 0,1 T. dans le cas de récupération des condensats correspondant à la totalité de la vapeur.

6.3. - Investissements :

6.3.1. - In-Sites, Battery Limit :

Nous avons consigné dans le tableau (7) les chiffres d'investissements avancés par les diverses sociétés consultées pour le seul atelier de fabrication, sans tenir compte des services généraux qui sont étudiés dans le paragraphe suivant.

Bien que les chiffres avancés dans ces consultations n'aient pas la valeur de ceux fournis par un appel d'offres international, les résultats comparés ont fourni des valeurs relativement serrées pour le matériel In-Site Battery Limit.

Les chiffres présentés par Rio-Tinto sont particulièrement intéressants pour les raisons suivantes :

- Ils sont les plus complets et les plus détaillés ;
- Ils sont donnés par un producteur et non par un constructeur ;
- Ils sont légèrement supérieurs aux chiffres de Lurgi qui a été le fournisseur et entrepreneur général de Rio-Tinto.

Nous retiendrons donc pour le matériel I.S.B.L. les chiffres avancés par Rio-Tinto (prix : "clés en main").

6.3.2. - Services généraux et équipements Off Site Battery Limit :

Dans ce chapitre seuls sont étudiés les postes en rapport direct avec la production : stockages, services d'utilités, laboratoire de contrôle et atelier d'entretien.

Les chiffres d'investissements correspondant sont tirés des consultations effectués et recoupés par les résultats des études CTIP et Foster Wheeler déjà citées.

T A B L E A U - 7 -

TABLEAU COMPARATIF DES INVESTISSEMENTS REQUIS

In - Site Battery Limit

	Equipement	Engineering Licences	Montage	Mise en marche compris dans Engineering	Génie Civil	Transport compris dans équipement	Pièces de rechange	Total I.S.B.L.
RIO-TIRTO...	6.165.000	11.100.000	900.000		750.000		550.000	9.465.000
LURGI.....		17.750.000				-	308.000	8.058.000
	grillage : 3.400.000 contact : 2.593.000 Total.....: 5.993.000	237.000 222.000 459.000	1.800.000	-	400.000	600.000	-	9.252.000
	1 ligne de grillage 2.078.000	420.000	415.600	60.000	343.000	-	124.680	8.597,600
GEVA.....	Contact : 3.332.000	408.000	666.400	-	550.000		199.920	----- 2ème variante
	2 lignes de grillage 2.192.000	420.000	439.400	60.000	402.000		131.520	8.683,240
SYBEIRA (1)		18.266.000	-	-	-	-	-	8.266.000
ERI.....	5.000.000	1.400.000	60.000		1.000.000	400.000	500.000	8.360.000

(1) L'offre de SYBEIRA comprend en outre les stockages et manutention de la pyrite, des cendres et de l'acide produit

**INVESTISSEMENTS PRESENTES PAR RIO-TINTO
POUR LES "IN SITES" EN \$**

Installation d'alimentation des fours en pyrites	145.000
Fours de grillage à lit fluidisé	600.000
Chaudières de récupération de chaleur	1.100.000
Epuration des gaz	860.000
Extraction et manutention des cendres et poussières	360.000
Installation de production d'acide sulfurique	2.500.000
Equipements électriques et instruments de contrôle et de mesure	600.000
Génie civil et charpentes métalliques	750.000
Montage (avec peinture)	900.000
Engineering, brevets et assistance technique	1.100.000
Pièces de rechange (pour une année de marche normale) ..	550.000
TOTAL I.S.B.L. :.....	9.465.000

1) - Stockage de la pyrite :

La densité apparente moyenne de la pyrite est de 2,2.

Dans les régions à climat relativement sec comme le Sud de l'Espagne, ce qui est aussi le cas pour le Sud Tunisien, la pyrite est stockée sur cour.

La compagnie de Rio-Tinto a proposé une capacité de stockage de 20.000 tonnes, ce qui correspondait environ à un mois de production.

Cette pyrite est transportée par des minéraliers de 10.000 à 15.000 tonnes. Il est envisagé dans l'avenir d'utiliser des minéraliers de 35.000 tonnes. La consommation de l'usine est de 670 tonnes par jour. 10.000 tonnes représentent 15 jours de consommation et par suite des aléas de la navigation, un stock de 20.000 tonnes correspondant à un mois de production semble raisonnable.

Les investissements prévus par Rio-Tinto pour ce poste présentent deux variantes :

- 1) Avec mécanisation poussée : 300.000 \$
- 2) Sans mécanisation poussée : 140.000 \$

Il est évident que la deuxième variante est préférable dans les conditions tunisiennes, par suite du bas coût de la main-d'oeuvre et le souci de créer de nouveaux emplois.

2) - Stockage et manutention des cendres :

Etant donné qu'au moins dans une première phase les cendres seront reprises par les fournisseurs de pyrite, il faut prévoir une capacité de stockage en rapport avec celle de la pyrite ce qui correspondait dans ce cas à environ 15.000 tonnes de cendres.

Pour ce poste également Rio-Tinto a prévu deux variantes pour les investissements :

- 1) Avec mécanisation poussée : 400.000 \$
- 2) Sans mécanisation poussée : 240.000 \$

La deuxième variante est la plus indiquée pour les mêmes raisons que pour le stockage de la pyrite.

3) - Stockage d'acide sulfurique :

Les baos de stockage en acier d'acide à 98,5 % sont prévus par Rio-Tinto pour une capacité de 20.000 tonnes.

L'investissement proposé à cet effet est de : 290.000 \$

4) - Station de pompage et de traitement d'eau de mer :

Comme nous l'avons déjà vu dans le paragraphe "Utilités" il faut prévoir 2 variantes pour la station de pompage.

- 13,6 Millions de m³/an (1700 m³/h)
- 26,4 Millions de m³/an (3300 m³/h).

Les investissements correspondants sont :

- 500.000 US \$ pour le 1er cas
- 750.000 US \$ pour le 2è cas.

5) - Forage :

Pour les besoins de l'Usine on eau de chaudière et de process il faut un forage d'un débit de 20 l/s environ.

En se basant sur les données des I.C.M., on peut estimer l'investissement de : 20.000 \$.

6) - Station de traitement de l'eau de forage :

Rio-Tinto a proposé une installation de distillation de l'eau de forage pour les besoins de la chaudière et du process d'une capacité de 10 tonnes/heure environ. Les investissements correspondants ont été estimés à 200.000 \$ chiffre confirmé par E.R.I. qui a proposé un traitement par résines échangeuses d'ions.

7) - Centrale électrique :

Les investissements prévus par la Compagnie Rio-Tinto pour le turbo-générateur et équipement auxiliaire sont de : 700.000 U.S \$

D'autres estimations s'élèvent à 800.000 et 900.000 U.S \$.

Nous retenons 800.000 U.S \$.

8) - Laboratoire :

Un laboratoire d'analyse de routine et de contrôle de production a été prévu.

Le chiffre d'investissement proposé par Rio-Tinto à cet effet est de : 150.000 \$.

9) - Atelier d'entretien :

Cet atelier doit assurer toutes les réparations de l'Usine, l'entretien du matériel ainsi que le stockage des pièces de rechange prévues pour une année de marche anormale.

Rio-Tinto a proposé pour cet atelier un investissement de 150.000 \$.

10) - Services sociaux et administratifs :

Pour mémoire.

T A B L E A U - 8 -

CAPACITES & INVESTISSEMENTS REQUIS POUR

LES " OFF-SITES "

	CAPACITE	INVESTISSEMENT (\$)
Stockage des pyrites	20.000 (T)	140.000
Stockage des cendres	15.000 (T)	240.000
Stockage de l'acide sulfurique	20.000 (T)	290.000
Station de pompage et de traitement d'eau de mer	3.300 m ³ /h 1.700 m ³ /h	750.000 500.000
Forage	20 l/s	20.000
Station de traitement de l'eau de forage	10 T/h	200.000
Centrale électrique	1.510.000 kW	750.000
Laboratoire	-	150.000
Atelier d'entretien	-	150.000

6.4. - Personnel de l'usine :

6.4.1. - Usine autonome.

Les renseignements fournis par les diverses consultations et ceux recueillis auprès d'usines existantes, permettent de prévoir les dépenses ci-après qui se répartissent de la manière suivante :

Direction et cadres :.....	16	2.940
Personnel administratif :.....	30	1.250
Main d'oeuvre de production :..	<u>78</u>	<u>3.165</u>

TOTAUX : . . . 124 7.355

Charges sociales :..... 55 % 4.045

Total mensuel :..... 11.400

A l'année : 11.400 x 12 136.800 Dinars

Soit environ en US \$ 260.000

6.4.2. - Usine intégrée à un complexe :

Il suffit de supprimer le personnel administratif de direction et celui correspondant aux Services généraux déjà existants dans le complexe considéré.

REPUBLIQUE TUNISIENNE

SECRETARIAT D'ETAT AU PLAN
ET A L'ECONOMIE NATIONALE

CENTRE NATIONAL D'ETUDES
INDUSTRIELLES

02474
2 of 2

POSSIBILITES
DE FABRICATION D'ACIDE SULFURIQUE
A PARTIR DE PYRITES

—
ETUDE ECONOMIQUE
—



SEPTEMBRE 1969

PIECE A 2

REPUBLIQUE TUNISIENNE

—0—

Secrétariat d'Etat au Plan
et à l'Economie Nationale

—0—

CENTRE NATIONAL
D'ETUDES INDUSTRIELLES

02474
242

P O S S I B I L I T E S
D E F A B R I C A T I O N D ' A C I D E S U L F U R I Q U E
A P A R T I R D E P Y R I T E S

ETUDE ECONOMIQUE

Septembre 1969

Page A₂

LE PRESENT DOCUMENT EST EXTRAIT DU DOSSIER DE L'ETUDE :
"LES POSSIBILITES D'APPROVISIONNEMENT DE LA TUNISIE EN ACIDE SULFURIQUE",
QUI COMPREND LES PIECES SUIVANTES :

- NOTE DE SYNTHESE

- ANNEXES :

PIECES A : POSSIBILITES DE FABRICATION D'ACIDE SUL-
FURIQUE A PARTIR DE PYRITES.

PIECE A1 : ETUDE TECHNIQUE

PIECE A2 : ETUDE ECONOMIQUE

PIECES B : ETUDE COMPARATIVE DES DIFFERENTES SOURCES
DE FABRICATION D'ACIDE SULFURIQUE (SOUFRE,
PYRITES, GYPSE)

PIECE B1 : ETUDE TECHNIQUE

PIECE B2 : ETUDE ECONOMIQUE

CETTE ETUDE A ETE REALISEE PAR LE CENTRE NATIONAL D'ETUDES IN-
DUSTRIELLES* SUR LA DEMANDE DE LA DIRECTION DE L'INDUSTRIE.

* 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 (O.N.U.D.I. - Vienne).

S O M M A I R E

	<u>Pages</u>
<u>INTRODUCTION</u> .-	I - II
1. - <u>INVESTISSEMENTS</u> :.....	1 - 11
1.1. - PLAN D'INVESTISSEMENT	
1.2. - REMARQUES SUR LE PLAN D'INVESTISSEMENT	
1.3. - REPARTITION DES INVESTISSEMENTS EN DEVISES ET MONNAIE NATIONALE.	
2. - <u>ESTIMATION DU COUT DE PRODUCTION</u>	12 - 19
2.1. - DEPENSES DE PRODUCTION	
2.2. - RECETTES OBTENUES PAR VENTE DES SOUS-PRODUITS	
3. - <u>CHARGES FINANCIERES ET AMORTISSEMENT <u>TECHNIQUE</u></u>	20 - 25
3.1. - SCHEMA DE FINANCEMENT ET CHARGES FINANCIERES	
3.1.1. - Schéma de financement	
3.1.2. - Charges financières	
3.2. - AMORTISSEMENT TECHNIQUE	
4. - <u>PRIX DE REVIENT GLOBAL</u>	26 - 30
- <u>CONCLUSION</u>	31

- I N T R O D U C T I O N -

L'étude technique qui précède, pièce A₁, a présenté les caractéristiques techniques des différents procédés et a donné pour l'un d'eux les investissements nécessaires après consultation d'un exploitant, de divers bureaux d'engineering, et de plusieurs constructeurs (cf. Pièce A₁, § 6.3.).

Les investissements calculés pour l'ensemble des installations, in site et off site battery limit, sont présentés dans le tableau 1.

A partir de ces données, nous établirons le plan d'investissement total comprenant :

- Les investissements techniques
- Les investissements associés (frais de constitution de la société, frais d'établissement de la société, intérêts intercalaires, frais de mise en marche).
- Le fonds de roulement.

L'investissement total sera décomposé poste par poste pour obtenir la répartition des dépenses en devises et des dépenses en monnaie nationale.

Le calcul du prix de revient de l'acide sulfurique comprendra :

- Estimation du coût de fabrication qui comporte des dépenses (matières premières, utilités, salaires, entretien, frais généraux) mais aussi, dans ce cas, des recettes provenant de la vente des sous produits (cendres et énergie électrique),

- Le calcul des amortissements techniques
- L'estimation des charges financières, en fonction des diverses sources de financement (crédits fournisseurs, crédits financiers, emprunts à court terme).

L'ensemble des éléments ainsi déterminés fournira le prix de revient de l'acide sulfurique. Le prix de certains éléments étant susceptible de variations relativement rapides, nous donnerons une formule pour permettre de réajuster les calculs en cas de besoin.

Une représentation graphique donnera enfin les variations du prix de revient de la tonne d'acide sulfurique en fonction du "prix réduit" de la pyrite, notion que nous définirons au moment opportun.

C H A P T E R 1

I N V E S T I S S E M E N T S

1.1. - PLAN D'INVESTISSEMENT.

A partir des données du tableau 1, "Investissements pour la construction de l'usine", le tableau 2 "Plan d'investissement total", a été établi. Cependant l'estimation du coût de transport a été chaque fois individualisée, le coût total du transport constituant la rubrique 22.

Les différentes rubriques sont commentées dans les "Remarques sur le plan d'investissement".

1.2. - REMARQUES SUR LE PLAN D'INVESTISSEMENT.

Rubriques 1 à 7 : Equipement de production

Coût du transport correspondant à 450.000 \$

Rubrique 8 : Génie Civil

Le génie civil et les charpentes métalliques considérés concernent uniquement ceux qui sont nécessaires pour les équipements de production. Le génie civil du reste des installations a été inclus dans l'investissement correspondant.

Rubrique 10 : Engineering, brevets et assistance technique.

L'assistance technique mentionnée n'a pas été exactement déterminée. Ceci nous a conduits par mesure de sécurité à prévoir à la rubrique 28, des frais de personnel de mise en marche.

Rubrique 11 : Pièces de rechange.

Les pièces de rechange ont été comptées à 10 % de la valeur des équipements de production. Coût de transport correspondant : 50.000 \$.

Rubriques 12 à 20 : Equipements Off Site Battery Limit.

Les prix donnés au Tableau 1 pour les installations O.S.B.L s'entendent transports et génie civil compris. La ventilation ci-dessous conduit à une estimation du génie civil de 905.000 \$ et à des coûts de transport de 170.000 \$.

T A B L E A U 1

INVESTISSEMENTS POUR LA CONSTRUCTION DE L'USINE.- (en dollars).

1°/ IN SITE BATTERY LIMIT.

A. - MATERIEL

- 1. - Installation d'alimentation des fours en pyrite 145.000
- 2. - Fours de grillage à lit fluidisé..... 600.000
- 3. - Chaudières de récupération de chaleur.....1.100.000
- 4. - Epuration des gaz..... 860.000
- 5. - Extraction et manutention des cendres et des
poussières 360.000
- 6. - Installation de production de l'acide
sulfurique2.500.000
- 7. - Equipements électriques et instruments de con-
trôle et de mesure 600.000

T O T A L 6.165.000

B. - GENIE CIVIL ET DIVERS.

- 8.- Génie Civil et charpentes métalliques 750.000
- 9. - Montage (peinture comprise)..... 900.000
- 10. - Engineering, brevets et assistance technique...1.100.000
- 11. - Pièces de rechange (pour une année de marche
normale)..... 550.000

3.300.000

T O T A L - I.S.B.L. : \$ 9.465.000

2°/ ANNEXES ET O.S.B.L.

- 12. - Stockage de la pyrite (20.000 T)..... 140.000
- 13. - Stockage des cendres (15.000 T)..... 240.000
- 14. - Stockage de l'acide sulfurique (20.000 T)..... 290.000
- 15. - Station de pompage et de traitement d'eau de mer 750.000
- 16. - Forage (20 l/sec)..... 20.000
- 17. - Station de traitement de l'eau de forage..... 200.000
- 18. - Centrales Electrique..... 800.000
- 19. - Laboratoire..... 150.000
- 20. - Atelier d'entretien..... 150.000

TOTAL ANNEXES ET O.S.B.L. 2.740.000

TOTAL GENERAL 12.205.000

T A B L E A U 2

INVESTISSEMENTS TECHNIQUES : (Hors - transport, en dollars)

I.S.B.L.

1-7. - Equipements de production.....	5.715.000
8. - Génie Civil et charpentes métalliques....	750.000
11. - Pièces de rechange.....	500.000

O.S.B.L.

12-14. - Stockage pyrite, cendres, acide sulfurique	640.000
15. - Pompage et traitement d'eau de mer.....	700.000
16-17. - Forage et traitement d'eau de forage.....	210.000
18. - Centrale électrique.....	740.000
19. - Laboratoire.....	140.000
20. - Atelier d'entretien.....	<u>140.000</u>

TOTAL I.S.B.L./O.S.B.L. 9.535.000

21. - Terrains et infrastructures.....	100.000
(frais d'achat, constructions provisoires et aménagement du terrain).	
10. - Engineering, brevets et assistance tech- nique.....	1.100.000
9. - Montage.....	900.000
22. - Transports.....	670.000
23. - Formalités douanières et frais de dé- chargement.....	<u>200.000</u>

2.970.000

24. - Imprévus et réserves pour hausses di- verses 5 % environ.....	<u>600.000</u>
--	----------------

TOTAL INVESTISSEMENTS TECHNIQUES 13.105.000

INVESTISSEMENTS ASSOCIES :

25. - Frais de constitution de la société.....	5.000
26. - Frais d'établissement de la société.....	200.000
27. - Intérêts intercalaires jusqu'à la fin du montage.....	794.500
28. - Personnel de mise en marche.....	50.000
29. - Frais de mise en marche.....	<u>50.000</u>

TOTAL INVESTISSEMENTS ASSOCIES 1.099.500

TOTAL INVESTISSEMENTS TECHNIQUES ET ASSOCIES . . 14.204.500

FONDS DE ROULEMENT :

30. - Matières premières.....	290.000
31. - Matières auxiliaires.....	5.000
32. - Produits finis (au prix de revient).....	300.000
33. - Effets à recevoir, liquidités, imprévus..	<u>100.000</u>

695.000

INVESTISSEMENT TOTAL / 14.899.500 /

T A B L E A U 3

(Valeurs en Dollars)

SPECIFICATION	T o t a l O.S.B.L	Dépenses Locales (Génie Civil)	Matériel importé		
			C.I.F.	Coût de transport	Hors transport (dép. usi- ne)
1	2	3	4	5	
Stockage pyrite, cen- dres, acide sulfurique	670.000	350.000	320.000	30.000	290.000
Station de pompage et traitement d'eau de mer	750.000	250.000	500.000	50.000	450.000
Forage et traitement d'eau de forage.....	220.000	55.000	165.000	15.000	150.000
Centrale électrique...	800.000	140.000	660.000	60.000	600.000
Laboratoire.....	150.000	70.000	80.000	5.000	75.000
Atelier d'entretien...	150.000	40.000	110.000	10.000	100.000
	2.740.000	905.000	1.835.000	170.000	1.665.000

Pour chaque poste, le total des colonnes (2) et (5) redonne l'investissement total hors transport correspondant qui a été reporté dans le tableau 2.

Rubrique 21 : Terrain et infrastructures

Les infrastructures dépendent évidemment du site retenu pour l'usine. Un montant de 100.000 Dollars pour le terrain et l'ensemble des infrastructures, modeste certes, est cependant fondé lorsque l'on tient compte des considérations exposées dans la partie technique relative au choix du site.

Rubrique 22 : Transport.

Le transport a été considéré comme la différence apparaissant entre les prix CIF et les prix départ usine. Il comporte donc, en dehors du transport proprement dit, les frais annexes (notamment assurances).

Le total du transport s'élève à 670.000 \$ se répartissant comme suit :

. Equipements de production	450.000
. Pièces de rechange	50.000
. Equipements O.S.B.L.	170.000

et représentent un pourcentage moyen de 8,5 % du total des équipements départ usine.

Rubrique 23 : Formalités douanières et frais de déchargement.

Comme plusieurs précédents conduisent à le penser, le projet devrait être totalement exonéré, et en conséquence, il n'a pas été prévu de droits de douane.

Néanmoins, il a été compté un montant de 3 % de la valeur des équipements en devises pour frais de formalités douanières et frais de déchargement.

Rubrique 24 : Imprévus et réserves pour hausse.

Compte tenu des considérations mentionnées dans la partie technique (paragraphe 6.3.1.) il est logique d'estimer que la différence entre les prix de Lurgi, et ceux avancés par Rio-Tinto représente certains aléas effectivement rencontrés par Rio-Tinto.

Pour cette raison, la part des imprévus et réserves pour hausse a été estimée à 5 % seulement du total général.

Rubrique 26 : Frais de premier établissement.

Il est d'une part particulièrement délicat d'évaluer les frais d'établissement d'une société de ce genre, il est d'autre part hasardeux de porter à la charge même de la Société l'ensemble de ces frais quand il s'agit d'une réalisation d'intérêt national, et que l'Etat peut prendre à sa charge une partie de ces dépenses.

Enfin, l'installation considérée est d'un type classique. La décision de la réaliser, ou non, ne requiert pas d'investigations longues et coûteuses.

Compte tenu de ces considérations, il semble qu'un plafond de 200.000 \$ soit raisonnable. Il est même possible qu'une partie de ces frais soit prise en charge par les principales entités tunisiennes actionnaires.

Rubrique 27 : Intérêts intercalaires.

Ils portent sur les fonds avancés par les organismes de financement sur la période comprise entre la passation des commandes et le démarrage de l'usine (durée minimum plausible estimée à 21 mois) et ils ont été calculés sur les dépenses engagées jusqu'à la fin du montage (Rubriques 1 à 26).

Le taux d'intérêt retenu est de 7 % par an.

Les calculs sont donnés dans le tableau 4.

T A B L E A U 4

CALCUL DES INTERETS INTERCALAIRES

(en dollars)

	Besoins de trésorerie	Intérêts Intercalaires
0 - 4	765.000	84.800
4 - 5	765.000	73.600
5 - 6	1.335.000	121.000
6 - 7	955.000	80.900
7 - 8	955.000	75.300
8 - 9	955.000	69.700
9 - 12	2.135.000	130.700
12 - 14	1.655.000	77.300
14 - 16	1.370.000	47.900
16 - 18	1.085.000	25.200
18 - 20	570.000	6.500
21	570.000	1.600
T O T A L	13.310.000	794.500

Rubriques 28 et 29 : Personnel de mise en marche et frais de mise en marche.

La rubrique 28, concerne les techniciens étrangers nécessaires au démarrage de l'usine, en dehors de l'assistance technique prévue à la rubrique 10.

La rubrique 29, concerne l'approvisionnement en matières premières, produits finis, produits auxiliaires, nécessaires aux opérations de mise en marche. Ces frais sont relativement réduits car il s'agit d'installations classiques et de la fabrication d'un seul produit.

Rubriques 30 à 33 : Fonds de roulement (of. Tableau 5).

Rubrique 30 : Matières premières.

Les contrats d'achat de matières premières de ce genre font l'objet d'accords spéciaux et la durée de crédit généralement pratiquée est de l'ordre de trois mois.

Cependant, par mesure de sécurité, nous avons pris un stock de base de 20.000 tonnes, correspondant à la capacité maximum de stockage.

Remarque :

Comme le premier stock de pièces de rechange est livré avec le matériel principal, il figure déjà dans les investissements pour la construction de l'usine (Page 2 Tableau 1, Rubrique 11). Il n'en a pas été tenu compte par conséquent dans le fonds de roulement.

Rubrique 31 : Matières auxiliaires.

Les dépenses de catalyseur et produits chimiques divers comptés pour une année, sont de 15.000 \$. Nous retenons 5.000 \$, soit 4 mois de consommation pour ces produits.

Rubrique 32 : Produits finis.

Des calculs préliminaires montrent que le prix de revient de l'acide sulfurique sera voisin de 20 \$ la Tonne.

Cet acide est destiné pour la majeure partie aux producteurs d'engrais chimiques, et doit donc être livré normalement d'une manière continue.

Le reste de la production, livré à des consommateurs de moindre importance exige un stockage.

Dans ces conditions, et compte tenu de ce que la capacité de stockage prévue est de 20.000 Tonnes, il semble que 15 jours de production soient suffisants pour couvrir l'éventualité d'une défaillance dans les équipements.

C'est donc 15.000 Tonnes x 20 \$ = 300.000 \$ qui seront retenus pour cet item.

NOTA :

Sous produits : les cendres ne seront pas comptées à part car les pyrites ont été comptées à leur valeur rendues usines, et l'acide sulfurique à son prix de revient maximum, sans déduction d'un crédit cendres.

Rubrique 33 : Liquidités.

Une somme de 100.000 Dollars en liquidités a été estimée suffisante pour assurer les besoins en matières de trésorerie, ce qui correspond à un peu plus d'un mois de frais de fabrication (matières premières non comprises).

NOTA :

Les effets à recevoir n'ont pas été pris en ligne de compte car ils sont largement compensés par les crédits fournisseurs.

T A B L E A U 5

R E C A P I T U L A T I O N

F O N D S D E R O U L E M E N T

(Valeurs en dollars)

	Quantité (en tonnes)	Prix Unitaire	Prix Total
- Stocks de matières premières (au prix d'achat)			
. Fuel.....	50		Pour mémoire
. Pyrites.....	20.000	14,5	290.000
. Matières auxiliaires			5.000
- Produits finis			
. Acide sulfurique	15.000	20	300.000
- Liquidités.....			100.000
<u>TOTAL :</u>	-	-	695.000

1.3. - REPARTITION DES INVESTISSEMENTS EN DEVISES ETRANGERES ET MONNAIE NATIONALE
(Tableau 6).

Principe de répartition :

La ventilation a été faite conformément à des pourcentages observés dans des installations similaires.

Les dépenses de génie civil sont presque exclusivement en monnaie nationale.

En ce qui concerne les transports, leur répartition a posé quelques problèmes : en effet, on a trouvé dans des études de bureaux connus des pourcentages de dépenses en devises étrangères qui varient de 25 à 90 %, pour un même cas. Après entretiens avec les représentants qualifiés de la C.T.N., il s'est avéré que les conditions sont très variables aussi bien en fonction :

- de la nature du contrat (usine clés en mains, existence ou non de clauses particulières concernant le transport...),
- du pays d'origine (existence ou non d'accords spéciaux avec la Tunisie...)

Etant donné le manque de renseignements appropriés et la non ventilation de la rubrique 22 (transport dans le pays d'origine, assurances fret proprement dit), nous avons adopté un pourcentage de 25 % de dépenses locales. Ce pourcentage pourrait être éventuellement dépassé selon les cas et en fonction de la combativité des intéressés.

T A B L E A U 6

REPARTITION DES INVESTISSEMENTS EN DEVISES
ET MONNAIE NATIONALE

	DEVISES ETRANG.		MON. NATIONALE		T O T A L
	%	\$	%	\$	\$
INVESTISSEMENTS TECHNIQUES :					
I.S.B.L.					
1 - 7. Equipement de production	90	5.150.000	10	565.000	5.715.000
8. Génie Civil et charpentes métal.	31	230.000	69	520.000	750.000
11. Pièces de rechange	100	500.000	0		500.000
O.S.B.L.					
12-14. Stockage pyrite, condres, acide sulfurique	45	290.000	55	350.000	640.000
15. Pompage et trait. d'eau de mer	64	450.000	36	250.000	700.000
16-17. Forage	75	155.000	25	55.000	210.000
18. Centrale électrique	81	600.000	19	140.000	740.000
19. Laboratoire	50	70.000	50	70.000	140.000
20. Atelier d'entretien	71	100.000	29	40.000	140.000
TOTAL I.S.B.L./O.S.B.L.	79	7.545.000	21	1.990.000	9.535.000
21. Terrain et infrastructures	0		100	100.000	100.000
10. Engineering et brevets	91	1.000.000	9	100.000	1.100.000
9. Montage	45	400.000	55	500.000	900.000
22. Transports	75	500.000	25	170.000	670.000
23. Form. douan. et frais d'achom.	0		100	200.000	200.000
	63	1.900.000	37	1.070.000	2.970.000
24. Imprévus et résér. pour haus. div.	75	9.445.000	25	3.060.000	12.505.000
		450.000		150.000	600.000
TOTAL INVESTISSEMENTS TECHNIQUES	76	9.895.000	24	3.210.000	13.105.000
INVESTISSEMENTS ASSOCIES :					
25. Frais de const. de la société ..	0		100	5.000	5.000
26. Frais d'établis. de la société..	75	150.000	25	50.000	200.000
27. Intérêts intercalaires	85	672.800	15	121.700	794.500
28. Personnel de mise en marche	100	50.000	0		50.000
TOTAL INVESTISSEMENTS ASSOCIES	82	897.800	18	201.700	1.099.500
TOTAL INVESTISSEMENTS TECHNIQUES ET ASSOC.	76	10.792.800	24	3.411.700	14.204.500
Fonds de roulement :					
30. Matières premières	100	290.000	0	-	290.000
31. Matières auxiliaires	100	5.000	0	-	5.000
32. Prod. finis (au prix de revient)	0		100	300.000	300.000
33. Liquidités	0		100	100.000	100.000
	42	295.000	58	400.000	695.000
TOTAL INVESTISSEMENTS	74	11.087.000	26	3.811.700	14.899.500

CHAPITRE 2

ESTIMATION DU COUT DE PRODUCTION

2.1. - DEPENSES DE PRODUCTION.

Les dépenses annuelles pour une production de 300.000 tonnes d'acide (usine fonctionnant à 100 % de sa capacité) sont données dans le tableau 7.

TABEAU 7
DEPENSES DE PRODUCTION

I T E M S	Quantités	Unités	Prix Unitaire en \$	Dépenses annuelles	Coût en \$/T
1 - Matières premières Pyrite	222.000	T	14,5	3.219.000	10,73
2 - Matières consommables Catalyseur				700	
Produits chimiques divers				14.000	0,05
<u>Utilités</u>					
3 - Eau de réfrigération	20.000.000	M3	-	-	-
4 - Eau de chaudière) - Eau de process (30.000	M3	-	-	-
5 - Energie électrique	28	GWH	-	-	-
<u>Charges</u>					
6 - Salaires				260.000	0,87
7 - Assurances	1%	Investissement technique		13.100	0,04
8 - Entretien	4%	Investissement technique		524.000	1,74
9 - Taxes diverses				15.000	0,05
10 - Frais généraux et dépenses diverses				75.000	0,25
Dépenses de production (\$/T) :				13,73	

Remarques sur les dépenses d'exploitation :

Rubrique 1 : Pyrite.

Le tableau ci-dessous donne les prix proposés pour les différentes pyrites (en dollars) :

ESPAGNE	ITALIE	URSS	CHYPRE	YOUgosLAVIE
13,8	20,7	-	14,3 à 15	-

Il est à peu près certain que, dans le cadre d'une convention portant sur de forts tonnages, les prix les plus élevés figurant sur le tableau seraient réduits.

Comme base de calcul, nous retiendrons dans une première étape, le prix fourni par Rio-Tinto.

Cette pyrite est vendue CIF port tunisien 13,8 \$ (début 1969). En comptant 3 % de frais pour formalités douanières et frais de déchargement, et 2 % pour les frais d'acheminement à l'usine, le prix rendu usine s'élève à :

14,5 \$ / Tonne

La consommation annuelle est de 222.000 Tonnes, ce qui représente un montant annuel de : 3.219.000 \$

Le coût de cette pyrite est de 10,73 \$/Tonne d'acide (10,21 \$ prix CIF + 0,52 \$ frais de formalités et d'acheminement).

Une pyrite contenant uniquement fer et soufre devrait être moins coûteuse, n'exigerait pas de traitement des cendres à l'extérieur et serait évidemment assez intéressante. L'oxyde de fer (sous-produit) pourrait être dans ces conditions soit traité par la sidérurgie nationale, soit purement et simplement abandonné.

Rubrique 2 : Matières consommables : Catalyseur et produits chimiques divers

Les chiffres retenus sont ceux fournis par Rio-Tinto.

Rubriques 3, 4 :

Les pompes de circulation d'eau de réfrigération sont alimentées en énergie par la centrale électrique de l'usine.

L'eau de chaudière comme l'eau de process sont fournies par la station de déminéralisation qui est alimentée en vapeur résiduaire.

Il n'y a pas lieu de compter de frais, puisque tout a été déjà compté (l'investissement nécessaire, le personnel attaché aux installations), et que la source d'énergie est constituée par le grillage de la pyrite.

Rubrique 5 : Energie électrique.

L'énergie électrique est entièrement fournie par la centrale de l'usine alimentée en vapeur par le grillage de la pyrite.

Il n'y a donc pas lieu non plus de compter de dépenses supplémentaires.

Rubrique 6 : Salaires.

Les dépenses du personnel ont été évaluées comme suit (en dinars) :

. Direction et cadres	16	2.940
. Personnel administratif	30	1.250
. Main d'oeuvre de production	<u>78</u>	<u>3.165</u>
TOTAUX	124	7.355
Charges sociales : 55 %		4.045
et gratifications		<u>11.400</u>
<u>Total mensuel</u>		11.400
A l'année : 11.400 x 12		136.800 D

soit en dollars : 260.000

Remarque :

Le pourcentage des charges sociales et gratifications a été évalué en fonction de la décomposition suivante : (par rapport aux salaires de base)

- Taxe de formation professionnelle	2,0
- Cotisation CNSS	15,0
- Congés payés (21 jours)	7,0
- Journées chômées et payées	2,0
- CNSS 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 de travail	2
- Assurances	7,2
- Prime de fin d'année	8,0
- Prime de rendement	<u>10,0</u>
	55,0

Rubrique 7 : Assurances.

A l'instar de C.T.I.P., nous avons retenu un taux de 1 % des investissements techniques ; des taux supérieurs adoptés par certains bureaux d'études ne concernent pas les mêmes grandeurs.

Rubrique 8 : Entretien.

Il ne s'agit ici que des pièces de rechange et fournitures nécessaires à l'entretien.

Les frais de personnel ont été inclus dans les salaires de l'ensemble du personnel de l'usine.

Nous retiendrons un chiffre de 4 % du total des investissements techniques.

Le total des investissements techniques étant de :

13.105.000 \$

Le montant annuel de l'entretien est donc de :

524.000 \$

Rubrique 9 : Taxes diverses.

Les frais d'assurances ayant été comptés séparément, les taxes diverses ont été estimées forfaitairement à 15.000 \$, chiffre déduit de données d'études faites pour des installations similaires.

Rubrique 10 : Frais généraux.

Estimés forfaitairement à 75.000 \$, ils ne représentent que des frais d'administration. Les frais de commercialisation sont considérés comme négligeables, le produit étant un produit intermédiaire, de consommation intérieure, et destiné exclusivement à quelques clients importants et réguliers.

2.2. - RECETTES OBTENUES PAR VENTE DE SOUS PRODUITS.

La fabrication d'acide sulfurique à partir de pyrites, quelles que soient les caractéristiques de celles-ci, laisse deux sous produits (comme il a été vu dans l'étude technique), dont il est impératif de tirer parti :

- Les cendres
- L'énergie excédentaire.

2.2.1. - Cendres :

Le fer est le principal élément à récupérer des cendres pouvant servir de matières premières en sidérurgie, pour autant que les teneurs en Pb, As et Sb ne dépassent pas certaines limites. En effet ces éléments provoquent des défauts de matière (cavités).

Dans le cas des cendres obtenues à partir de la pyrite de Rio-Tinto, le cuivre et le zinc peuvent être extraits d'une manière rentable dans une des usines de traitement de grosse capacité qui existent en Europe Occidentale dont 3 sont en Allemagne, une en Espagne et une au Portugal. La principale est l'usine de traitement de Duisbourg en Allemagne.

Ces cendres peuvent être soit commercialisées directement par le consommateur de la pyrite, s'il trouve un acquéreur, soit par le fournisseur de pyrite qui déduit alors la valeur des cendres du prix de la pyrite qu'il fournit (cas de Rio-Tinto).

Le prix international des cendres de pyrite est établi sur la base suivante (Rio-Tinto) :

- Cendres sèches à 58 % de Fe.
- C.I.F Duisbourg

Le prix actuel est de 16,2 DM/t. = 4,05 \$ (début 1969)

Le prix estimé des métaux non ferreux récupérés est de :

20 DM/t. = 5 \$

Le coût estimé du transport des cendres de Gabès-Rotterdam -
Duisbourg est de :

4,7 \$

Le prix de vente des cendres serait donc :

$4,05 + 5 - 4,7 = \underline{4,35} \text{ \$ la tonne.}$

La tendance continue à la baisse constatée sur le prix des cendres ces dix dernières années et l'éloignement du lieu de traitement, rendent incertaines les rentrées escomptées à moins que des dispositions particulières ne soient négociées avec le fournisseur de pyrites.

Une pyrite ne contenant comme composants utiles que soufre et fer donnerait des cendres de moindre valeur. Ceci diminuerait les entrées (aléatoires), mais procurerait l'avantage certain d'une commercialisation plus aisée : les cendres pourraient être traitées localement. Dans le cas où celles-ci seraient fortement arsénicales elles pourraient être purement et simplement abandonnées.

Comme une tonne de pyrite fournit 0,70 tonne de cendres, et qu'il faut 0,74 tonne de pyrite pour une tonne d'acide sulfurique, il se produit $0,74 \times 0,70$ soit 0,52 tonne de cendres par tonne d'acide sulfurique.

Sur la base de la pyrite de Rio Tinto, que nous avons prise comme référence, nous obtenons par tonne d'acide sulfurique : $4,35 \times 0,52 = 2,26 \text{ \$/t}$

Ces recettes sont considérées comme un maximum, pouvant être atteint uniquement dans le cas où la commercialisation des cendres est intégrale et aux conditions de prix les meilleures.

Pour la présentation définitive du prix de revient global et pour tenir compte de ces aléas de commercialité des cendres, nous donnerons les variations du prix de la tonne d'acide sulfurique en fonction de ce que nous définirons comme étant le "prix réduit" de la pyrite (cf. chapitre 4).

2.2.2. - Surplus d'énergie :

L'usine telle qu'elle a été envisagée jusqu'ici disposera d'une centrale produisant 50 millions de kWh par an, les surplus représenteront 21 millions de kWh (environ).

Ces surplus pourraient être cédés soit à la STEG, dans des conditions à définir, soit à un consommateur d'importance (les ICM, dans leur conception actuelle consommeraient à elles seules 30 millions de kWh par an environ).

L'énergie est vendue par la STEG aux gros consommateurs à 12 \$ le MWh.

On peut donc estimer que 10 \$ constitue un plafond pour le prix de vente des surplus d'énergie, ce qui donne, un crédit par tonne d'acide de :

$$\frac{21 \times 10^3 \times 10}{3 \times 10^5} = 0,70 \text{ \$/t}$$

C H A P I T R E 3

CHARGES FINANCIERES ET AMORTISSEMENT TECHNIQUE

3.1. - SCHEMA DE FINANCEMENT ET CHARGES FINANCIERES.

3.1.1. - Schéma de financement.

La répartition du total des investissements présentée au tableau 6 page 11 a donné les résultats globaux suivants (en milliers de dollars) :

- besoins en monnaie locale	3.800
- besoins en devises	11.100
	<hr/>
	14.900

Sur la base de ces besoins, nous pouvons évaluer les sources de financement comme suit :

Capital propre : 30 % soit 4.500.000 \$, ce qui représente un peu plus de la totalité des dépenses en monnaie locale,

- Capitaux d'emprunt : 70 % soit 10.400.000 \$.

L'ensemble de ces apports pourrait être en principe financé par des crédits fournisseurs. Néanmoins, comme le projet est d'intérêt national, il est raisonnable d'envisager qu'il bénéficiera de crédits financiers plus avantageux que les crédits fournisseurs.

Nous avons estimé que la répartition suivante pouvait être retenue :

- . Crédits fournisseurs : 50 % soit 7.400.000 \$
- . Crédits financiers : 20 % soit 3.000.000 \$

Des emprunts à court terme pour le financement du fonds de roulement pourraient être éventuellement envisagés si le capital ou les emprunts se révélaient insuffisants.

3.1.2. - Charges financières :

Dans les charges financières que nous considérons, les deux années de construction ont été exclues puisqu'elles représentent la période de pré-financement pour laquelle on a déjà affecté des intérêts intercalaires.

Les conditions de rémunération du capital propre ont été estimées à 8 %.

Les crédits fournisseurs ont été considérés pour une durée de 10 ans et à un taux annuel de 7 %.

Les crédits financiers, font généralement l'objet d'accords spéciaux pour le financement de projets jugés d'intérêt national, soit dans le cadre d'accords bilatéraux ou d'emprunts à des organismes internationaux. On peut retenir des conditions moyennes de 15 ans à 5,5 %.

Les conditions que nous venons de mentionner conduisent aux annuités suivantes pour les différentes postes :

- Capital : $8\% \times 4.500.000 = 360.000$ \$

- Crédits fournisseurs (l'annuité correspondant au remboursement du principal et au paiement des intérêts) :

$0,142 \times 7.400.000 = 1.051.000$ \$

- Crédits financiers (l'annuité correspond au remboursement du principal et au paiement des intérêts) :

$0,0996 \times 3.000.000 = 299.000$ \$

L'ensemble de ces données figure dans le tableau suivant :

T A B L E A U 8

SCHEMA DE FINANCEMENT ET CHARGES FINANCIERES
(en milliers de dollars)

Financement	Montant	Conditions	Intérêts moyens annuels	Principal moyen annuel	Total annuel
Crédits fournisseurs	7 400	7% à 10 ans	311	740	1051
Crédits financiers	3 000	5,5% à 15 ans	99	200	299
Total partiel	10 400		410	940	1350
Capital propre	4 500	8 %	360	-	360
Total	14 900		770	940	1710

Ce total de 1.710.000 \$ donne comme charges financières à la tonne d'acide :

$$\frac{1.710.000}{300.000} = 5,70 \text{ \$/t.}$$

dont 1,2 \$/t pour la rémunération du capital propre (presqu'exclusivement en monnaie locale)

4,5 \$/t pour les annuités (principal + intérêts) des emprunts (devises)

Remarques

- Le calcul ci-dessus doit être considéré uniquement à titre d'illustration en vue :

- . d'attirer l'attention sur les conditions spéciales de financement d'un tel projet sur le plan national,
- . de rendre possible la comparaison avec les autres procédés (soufre, pyrites) par le biais d'un taux moyen d'amortissements et d'intérêts financiers, qui sera adopté dans la partie comparative comme base de référence à savoir :

$$\frac{1.710}{14.900} \times 100 = 11,5 \% \text{ (de l'investissement total)}$$

- Pour le seul calcul du coût d'exploitation ou prix de revient il aurait fallu retenir en toute rigueur, les intérêts des emprunts par tonne (c'est-à-dire 410.000 \$ = 1,37 \$/t) en ce qui concerne les frais financiers, et l'amortissement technique par tonne (cf. paragraphe suivant) ce qui aurait donné :

$$1,37 \text{ \$/t} + 4,48 \text{ \$/t} = 5,85 \text{ \$/t au lieu des } 5,70 \text{ \$/t retenus.}$$

- Dans tous les cas il faut toujours se rappeler que par prix de revient ou coût d'exploitation on entend prix d'équilibre pour lequel l'entreprise ne fait ni bénéfices ni pertes, ce qui entre autres implique une rémunération rigoureusement nulle du capital propre de l'entreprise.

3.2. - AMORTISSEMENT TECHNIQUE.

Bases du calcul :

Pour établir le tableau des amortissements, nous avons regroupé les postes en sections homogènes.

- On compte généralement pour les équipements lourds de l'industrie chimique, une durée d'amortissement de 10 ans, ce qui correspond très sensiblement à leur durée de vie.

- Laboratoire, atelier d'entretien et station de traitement comportant des équipements de mécanique sont comptés également pour 10 ans.

- Nous avons compté 15 ans de durée d'amortissement pour les stockages où intervient une bonne part de génie civil, et 15 ans pour la station de pompage et la centrale électrique, selon les normes généralement admises ; en fait les durées de vie seraient voisines de 20 ans.

- Il est de coutume d'amortir les bâtiments d'une réalisation industrielle sur 20 ans, et même 40 ans dans certains cas. Dans le cas présent nous ne séparerons pas le génie civil des équipements pour les raisons suivantes :

a) La plus grande partie du génie civil représente des travaux absolument liés aux équipements lourds, et il serait illogique d'amortir sur 20 ans des fondations, ou des protections d'appareils dont la durée de vie est de 10 ans, alors que ces fondations sont utilisables pour les seuls appareils pour lesquels elles ont été conçues et réalisées.

Au bout de 10 ans, l'usine subirait une réfection totale, comportant dépenses de génie civil, ou bien l'ensemble serait liquidé et dans ce cas, les travaux spécifiques exécutés ne présenteraient aucune valeur pour l'acheteur.

b) Les bâtiments administratifs, qui pourraient effectivement être utilisés par un acquéreur représentent un pourcentage très faible du total, et il reste quand même douteux qu'ils aient en liquidation une valeur notable.

c) Si l'on évalue les bâtiments administratifs à 150.000 \$ la différence représentée par un amortissement sur 20 ans, et celui que nous pratiquons dans le présent calcul, compris entre 10 et 15 ans, est négligeable à la précision de cette étude.

T A B L E A U 9

AMORTISSEMENTS

U N I T E S	Durée Années	Investis. Techniques \$	Investis. Associés \$	Annuités partielles \$
Fours de grillage, ali- mentation et épuration gaz.....	10	3.765.000	320.000	408.500
Chaudières de récupéra- tion de chaleur.....	10	2.320.000	200.000	252.000
Atelier d'acide sulfu- rique.....	10	4.300.000	360.000	466.000
Stockage pyrite, cendres acide.....	15	730.000	50.000	52.000
Laboratoire Atelier d'entretien Station de traitement...	10	550.000	36.000	59.000
Station de pompage Centrale électrique.....	15	1.440.000	133.500	105.000
<u>S/TOTAL :</u>		<u>13.105.000</u>	<u>1.099.500</u>	
Total Investissements techniques et associés		4.204.500		1.342.500

REMARQUE :

La part correspondant aux brevets n'a pas été comptée séparément car les brevets concernent presque exclusivement les équipements.

Etant donné qu'on procède à un amortissement global sur dix ans, il n'a pas été jugé indispensable non plus de calculer séparément l'amortissement relatif aux frais d'établissement.

La durée moyenne de l'ensemble des investissements serait dans ces conditions de :

$$\frac{14.204.500}{1.342.500} = 10,6 \text{ ans}$$

ce qui représente un pourcentage d'amortissement annuel de 9,45 % du total des investissements techniques et associés.

L'amortissement technique par tonne d'acide sulfurique est de :

$$\frac{1.342.500}{300.000} = 4,48 \text{ \$}$$

C H A P I T R E 4

P R I X D E R E V I E N T G L O B A L

4.1. - RECAPITULATION

La récapitulation des données présentées aux chapitres 2 et 3 permet de dresser le tableau suivant donnant la valeur en \$ des dépenses spécifiques par tonne d'acide sulfurique avec ventilation en devises et en monnaie locale :

T A B L E A U 10
R E C A P I T U L A T I O N
P R I X D E R E V I E N T

	Devises	Monnaie locale	Total
Pyrite			
. Prix CIF	10,21	-	10,21
. Formalités douanières et frais d'acheminement	-	0,52	0,52
Matières auxiliaires	0,05	-	0,05
Salaires	-	0,87	0,87
Assurances	-	0,04	0,04
Entretien	1,74	-	1,74
Frais généraux, taxes et dépenses diverses	-	0,30	0,30
Amortissement et frais financiers..	4,50	1,20	5,70
 <u>PRIX DE REVIENT MAXIMUM</u>	 16,50	 2,93	 19,43
Sous produits (Recettes)			- 2,96
. Energie	-	- 0,70	
. Cendres	- 2,26	-	
 <u>PRIX DE REVIENT MINIMUM</u>	 14,24	 2,23	 16,47

Ce tableau appelle les remarques suivantes :

- pour un même prix de pyrite, le prix de revient de la tonne d'acide comprend entre 14 et 18 % de dépenses en monnaie locale, selon l'existence ou l'absence des recettes des sous produits (cendres et énergie) dans le prix de revient total.

Le prix de revient global de la tonne d'acide varie entre les deux limites extrêmes 16,47 et 19,43 dollars et si l'on suppose que les surplus d'énergie sont entièrement écoulés, entre 16,47 et 18,73 dollars.

Pour tenir compte des variations de prix possibles des pyrites et de l'incertitude relative à la commerciabilité des cendres, on peut adopter la formule suivante pour le prix de revient global R de la tonne d'acide :

$$\underline{\underline{R = (0,74 P - \alpha 2,26) + 8,52}} \quad (1)$$

dans laquelle

P est le prix de vente CIF de la tonne de pyrite

α est un coefficient de commerciabilité des cendres

($0 < \alpha < 1$) obtenues à partir de pyrites de Rio-Tinto.

2,26 représente le montant maximum en \$ des recettes nettes de commercialisation des cendres.

8,52 représente le montant en \$ des dépenses autres que pyrites, diminué du crédit énergie.

4.2. - VARIATION DU PRIX DE REVIENT EN FONCTION DU PRIX RÉDUIT DE PYRITE :

Il serait inexact de se baser uniquement sur le prix commercial de la pyrite pour établir un prix de revient de la tonne d'acide. En effet, comme nous l'avons vu, la nature et les possibilités de commercialisation des cendres jouent un grand rôle dans le prix de revient final. On est donc conduit à substituer au prix commercial de la pyrite P un prix théorique que nous appellerons "prix réduit" P_r qui nous donnera pour chaque cas d'espèce, la part résiduelle du coût de la pyrite (déduction faite du crédit cendres) dans le prix de revient final de l'acide.

Ce prix réduit peut être représenté par la formule générale suivante :

$$\underline{\underline{P_r = P - 0,70 \alpha C}} \quad (2)$$

P et α ont été définis plus haut

0,70 est la fraction de tonne de cendres par tonne de pyrite

C est le bilan net du crédit par tonne de cendres en \$ (compte tenu du prix des différents oxydes de fer, de la valeur des différents métaux non ferreux récupérés - s'il y a lieu - après déduction du coût de transport au lieu éventuel de traitement).

Dans le cas des pyrites de Rio Tinto (C étant égal à 4,35 \$), on vérifie que :

$$0,74 \times 0,70 C = 0,52 \times 4,35 = 2,26 \text{ \$/T acide.}$$

On peut donner maintenant l'équation générale du prix de revient de la tonne d'acide sulfurique en fonction du prix réduit de pyrite :

$$\underline{\underline{R = 0,74 P_r + 8,52}} \quad (3)$$

Représentation graphique :

Lorsque P et C sont connus, que l'on s'est fixé α , on calcule facilement P_r par application de la formule (2).

Avec les chiffres que nous avons considérés jusqu'ici :

$$P = 13,8 \text{ \$}$$

$$C = 4,35 \text{ \$}$$

P_r est compris entre les deux limites

$$13,8 \text{ pour } \alpha = 0$$

$$\text{et } 10,75 \text{ pour } \alpha = 1$$

En portant en abscisse P_r et en ordonnée R, les variations de R en fonction de P_r sont représentées par une droite.

On obtient pour les valeurs extrêmes de P_r , les deux valeurs extrêmes du prix de revient de la tonne d'acide sulfurique :

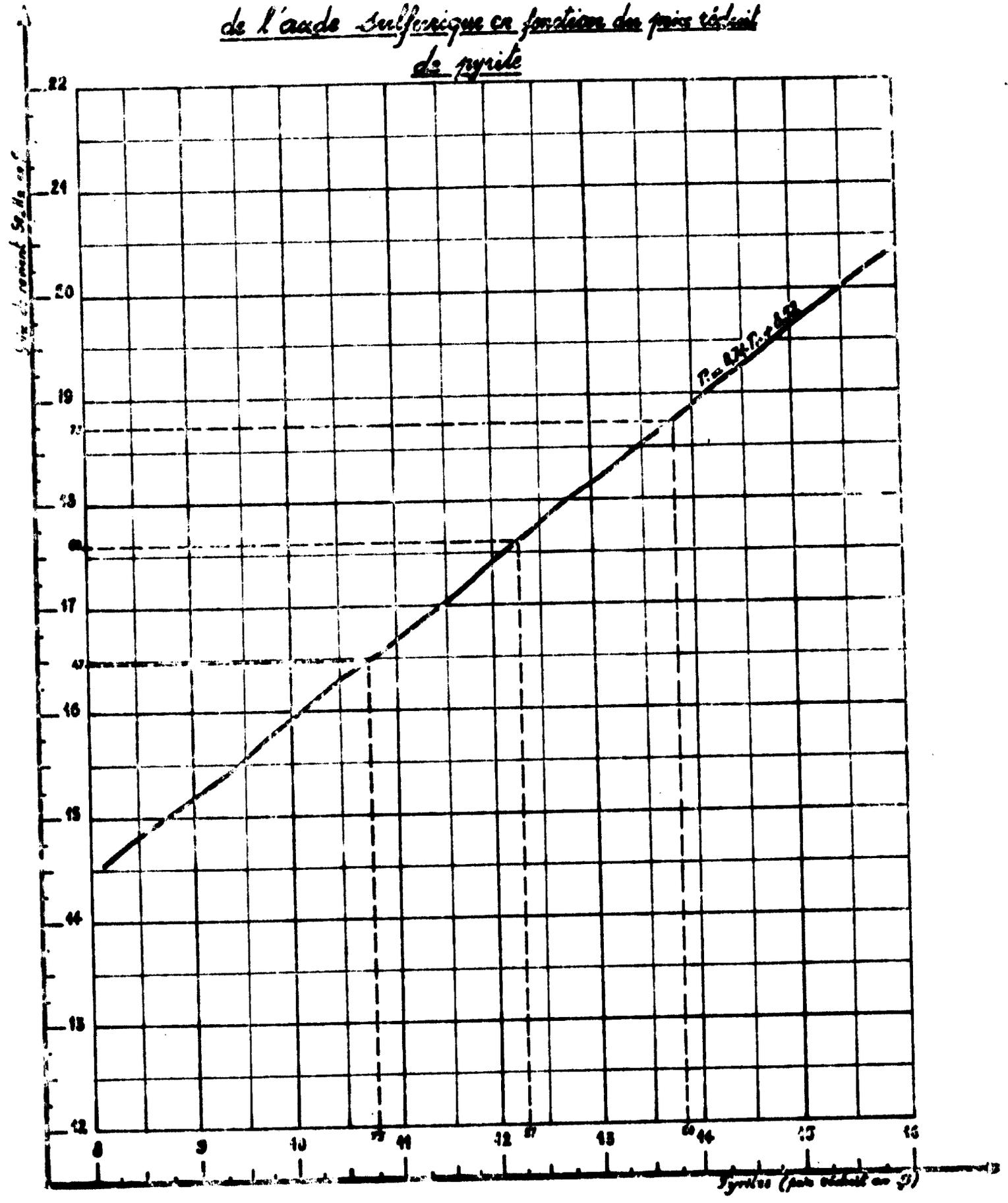
$$\text{Pour } P_r = 13,8 \text{ \$} \qquad R = 18,73 \text{ \$}$$

$$\text{Pour } P_r = 10,75 \text{ \$} \qquad R = 16,47 \text{ \$}$$

Dans l'hypothèse de conditions de commerciabilité moyennes, ($\alpha = 0,50$), on obtient :

$$P_r = 12,27 \text{ \$} \qquad R = 17,60 \text{ \$}$$

- Variation du prix de revient -
de l'acide sulfurique en fonction du prix relatif
de pyrite



C O N C L U S I O N

La présente étude a permis d'obtenir le prix de revient de l'acide sulfurique à partir des pyrites importées, de présenter une partie des avantages de la solution et d'exposer les difficultés qu'elle peut soulever.

Le prix de revient estimé est intéressant et, dans les conditions tunisiennes, semble compétitif. Sa comparaison avec les prix de revient estimés pour des procédés de fabrication utilisant d'autres matières premières (soufre ou gypse) requiert une étude particulière qui fera suite à la présente étude.

La comparaison complète des trois procédés, abordant tous les aspects de la question, comme les avantages pour l'économie nationale, le bilan devises de l'opération et d'autres effets directement induits comme la production d'énergie ou la consommation de combustibles, dépasse également le cadre strict de cette étude, et ne sera abordée que dans l'étude comparative spéciale.

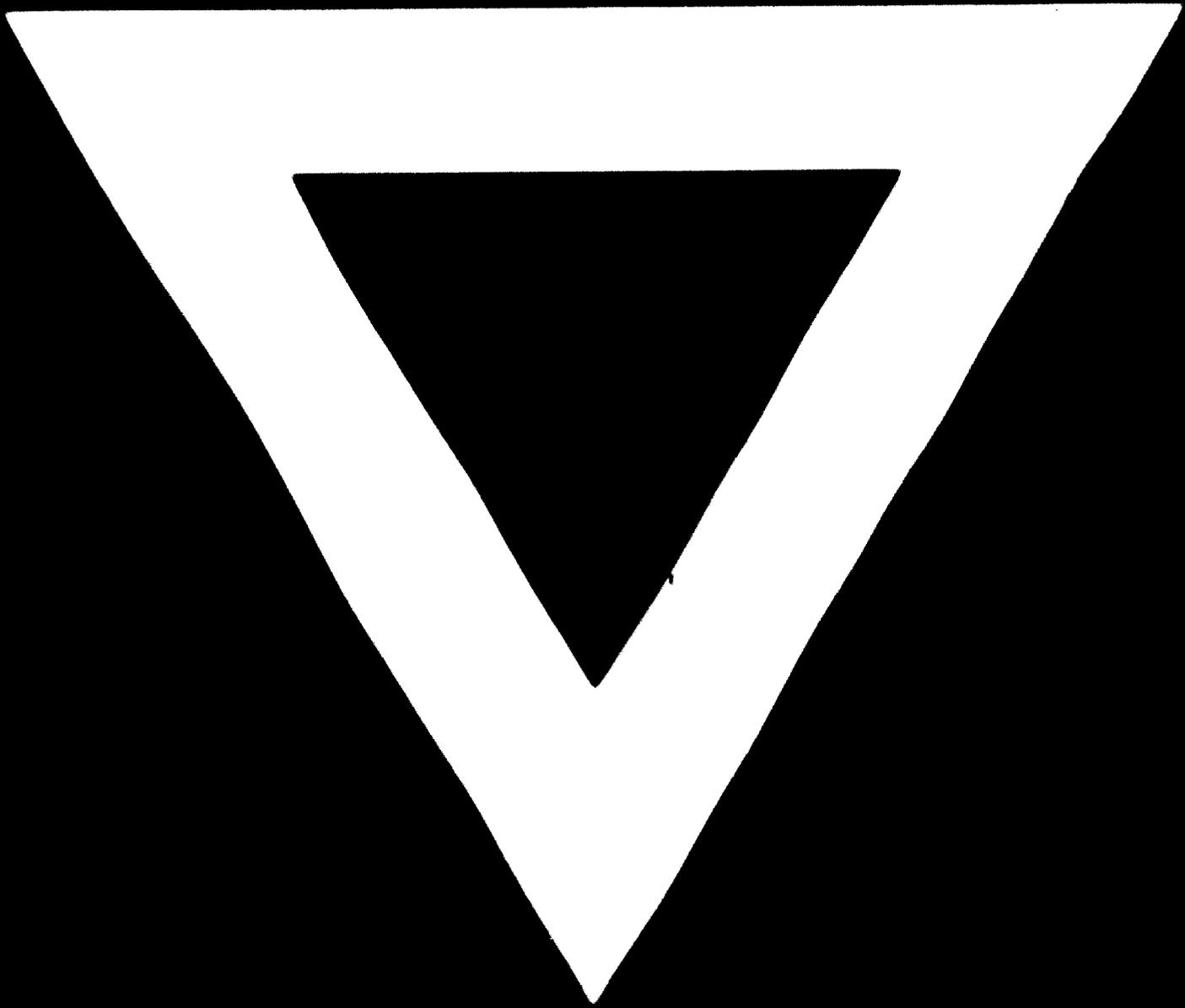
La solution retenue dans cette étude ne pose pas de difficultés techniques insurmontables et les procédés utilisés, tels qu'ils soient, sont parfaitement au point même si les rendements sont toujours susceptibles d'améliorations par innovations spécifiques.

Ces considérations jointes aux avantages économiques énoncés en font, pour une usine de pareille capacité, une solution parfaitement susceptible d'être mise en parallèle avec les solutions concurrentes.

Enfin cette étude s'est limitée aux caractéristiques d'une installation d'une capacité de 300.000 Tonnes par an, ce qui est considérable. Il est hors de doute qu'une étude prenant en compte des capacités différentes (100.000 et 200.000 Tonnes par an) comme variables procurerait des résultats à considérer attentivement.

W. H.
... ..
... ..
... ..
... ..

C-536



84.10.16

AD.86.07

ILL 5.5+10