



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

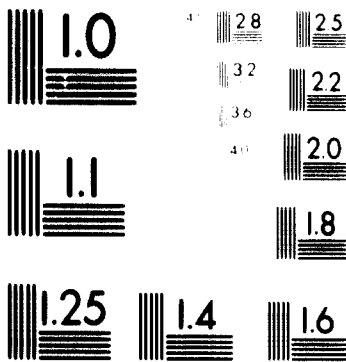
Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

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)

24x F

REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTRE DES AFFAIRES ECONOMIQUES

CENTRE NATIONAL D'ETUDES
INDUSTRIELLES

02475
1052

ETUDE COMPARATIVE DES DIFFERENTES SOURCES
DE FABRICATION D'ACIDE SULFURIQUE
(Soufre, Pyrites, Gypse)

ETUDE TECHNIQUE



REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTERE DES AFFAIRES ECONOMIQUES

CENTRE NATIONAL D'ETUDES
INDUSTRIELLES

02475
192

ETUDE COMPARATIVE DES DIFFERENTES SOURCES
DE FABRICATION D'ACIDE SULFURIQUE
(Soufre, Pyrites, Gypse)

E T U D E T E C H N I Q U E

JANVIER 1970

PIECE B₁

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, S/PSE)

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 (OUNUDI - Vienne).

S O M M A I R E

	<u>P a g e</u>	
INTRODUCTION	I	
1. SITUATION ET DISPONIBILITES DES MATIERES PREMIERES	1	14
1.1. Dans le Monde	1	11
1.1.1. Soufre		
1.1.2. Pyrites		
1.1.3. Anhydrite et gypse		
1.2. En Afrique du Nord	12	14
1.2.1. Soufre		
1.2.2. Pyrites		
1.2.3. Gypse naturel		
1.2.4. Phosphogypse		
2. LOCALISATION DE L'EMPLOI DES DIVERS PROCÉDÉS DE FABRICATION DE L'ACIDE SULFURIQUE	15	29
2.1. Dans le Monde	15	25
- Soufre et Pyrite		
- Gypse		
2.2. En Afrique du Nord	26	29
3. CONCLUSIONS	30	31
4. COMPARAISON TECHNIQUE DES DIVERS PROCÉDÉS DE FABRICATION DE H ₂ SO ₄		
4.1. Procédés	32	38
4.1.1. Production du SO ₂		
A. à partir de soufre		
B. à partir de pyrite		
C. à partir de gypse		
4.1.2. Production de SO ₃		
4.1.3. Production de H ₂ SO ₄		

4.2. Equipements	39	à	42
4.3. Consommations spécifiques	43	à	46
4.3.1. Procédé au soufre			
4.3.2. Procédé à la pyrite			
4.3.3. Procédé au gypse			
4.4. Production	47	à	48
4.4.1. Acide			
4.4.2. Sous-produits			
a) soufre			
b) pyrite			
c) gypse			
5. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE CHAQUE PROCEDE	49	à	52
5.1. Soufre			
a) Avantages			
b) Inconvénients			
5.2. Pyrites			
a) Avantages			
b) Inconvénients			
5.3. Gypse			
a) Avantages			
b) Inconvénients			
5.4. Coûts comparatifs de l'Investissement des Usines d'Acide basés sur différentes matières premières (estimation Bat- telle)			
GRAPHIQUE : INVESTISSEMENTS APPROXIMATIFS COMPARES			53
(soufre, pyrites, gypse)			

INTRODUCTION

Dans les pièces A nous avons essayé de cerner le problème de fabrication d'acide sulfurique à partir de pyrite aussi bien du point de vue technique qu'économique, dans la pièce B qui suit, nous étudierons l'aspect comparatif des divers procédés de fabrication de l'acide sulfurique à partir de soufre, de pyrite et de gypse.

Le choix de tel procédé dépend largement des disponibilités des matières premières et des incidences locales.

Il est évident pour un pays disposant des différentes matières premières (soufre, pyrite, gypse) que le procédé à partir du soufre est le plus rentable et le plus convenable ne nécessitant qu'un investissement faible avec un matériel relativement simple, et un entretien beaucoup plus aisé.

Ainsi aux U.S.A., la situation nettement favorable au soufre, se reflète dans une situation très modeste des pyrites et dans l'absence d'installations basées sur le gypse qui ne pourraient jamais soutenir la concurrence du soufre (du moins pour les U.S.A.).

En Europe la balance penche nettement vers la pyrite, en effet la production d'acide sulfurique à partir de pyrite en 1965 a été de 47,37 % contre 30 % à partir du soufre. Ceci s'explique par les fluctuations du cours du soufre et par les immenses réserves de pyrite dans certains pays européens comme l'Espagne.

La fabrication de l'acide sulfurique à partir de l'anhydrite (Ca SO_4) est très localisée dans le monde. On l'utilise en Angleterre, en Allemagne de l'Est, en Pologne et en Autriche. La quantité d'acide sulfurique fabriquée à partir de cette matière première a été en 1965 de l'ordre d'un million de tonnes.

Nous examinerons dans cette partie les disponibilités des matières premières et la localisation de l'emploi des divers procédés dans le monde et en Afrique du Nord, les procédés, les équipements, les consommations spécifiques, les productions, et en conclusion les avantages et les inconvénients de chaque procédé.

CHAPITRE 1

SITUATION ET DISPONIBILITES DES MATIERES PREMIERES SULFUREES

1.1. DANS LE MONDE :1.1.1. Soufre :

La production du soufre natif par pays est donnée dans le tableau 1.

Le continent Nord-Américain entrainait pour 90,6 % en 1950 et 78,6 % en 1955 dans le total de la production mondiale de soufre natif. Le bloc de l'Europe de l'Est a acquis plus d'importance en tant que producteur de soufre natif. En 1955, l'URSS (l'unique producteur) représentait 2,3 % alors qu'en 1965 l'URSS et la Pologne représentaient ensemble 14,6 % de la production mondiale totale de soufre natif.

TABLEAU 1

Les réserves mondiales de soufre natif ont été estimées comme suit :
(en millions de tonnes)

Réserves	Prouvé	Probable	Total
<u>Soufre Natif Frasch</u>			
USA	140 - 209	100 - 200	240 - 409
Mexique	36 - 39	100	136 - 139
<u>Soufre natif conventionnel</u>			
Monde occidental	110 - 130	40 - 60	150 - 190
Monde socialiste	200 - 300	.....	.....
Total Monde Occidental	290 - 380	240 - 360	530 - 740
Total Monde	490 - 780	.....	.....

Sources : US Bureau of mines, et autres sources.

Evolution des prix :

Il y a dix ans, la production mondiale de soufre se répartissait à peu près également entre le "soufre élémentaire" c'est à dire obtenu en l'état, et le "soufre contenu" c'est à dire obtenu essentiellement sous forme de SO₂ à partir des minerais métalliques. En 1968, le soufre élémentaire est devenu plus important sans toutefois représenter plus de 60 % de la production totale en soufre sous

toutes ses formes.

Les incertitudes qui règnent actuellement quant à l'avenir de l'industrie des engrais dans diverses parties du monde ne peuvent pas ne pas avoir de répercussions profondes sur la situation d'ensemble des matières sulfureuses et plus encore sur celle du soufre élémentaire. Le ralentissement de la production d'engrais aux Etats-Unis l'année dernière a fait que la consommation de soufre de ce pays n'a pas augmenté de plus de 1,5 %.

D'autre part, divers facteurs sont venus se conjuguer en Europe pour retarder le développement de la production d'acide phosphorique dans cette partie du monde :

1. Crainte des producteurs européens de voir des capacités importantes d'acide s'installer rapidement sur les lieux d'extraction des minerais phosphatés.

2. Hésitations de ces mêmes producteurs quant au fait de savoir s'il était préférable de baser leur production d'acide sulfurique sur les pyrites ou sur le soufre élémentaire.

3. Crainte enfin relative à la progression future de la consommation d'engrais en Europe, qui dépendra dans une large mesure de la solution qui sera finalement adoptée au sein de la C.E.E. sur le problème de l'agriculture.

Il a été souvent fait état ces dernières années des besoins considérables en engrais qui existent encore dans les pays en voie de développement. Les chiffres laissent cependant apparaître qu'au cours de la décade 1957/1967, l'Amérique et l'Europe Occidentale ont continué à représenter plus de 80 % de la consommation de soufre à elles seules. Si les taux de progression des autres parties du monde y compris le Japon ont été proche de 10 % ; les tonnages correspondants restent encore peu importants.

(1)

Peut-il exister un prix logique pour le soufre ? on pourrait en douter aux vues des seules fluctuations de ces deux dernières années et il est surprenant de constater qu'alors que les stocks n'ont qu'à peine commencé de se reconstituer, les baisses de prix sont déjà très importantes pour ne pas dire excessives et

(1) Informations Chimie n° 76 Page 136

dangereuses dans leurs conséquences.

Il est certain que pour de nombreux observateurs, le niveau de 45 dollars rendu ports européens qui avait été atteint par le soufre ces dernières années était sans aucun doute excessif. Il résultait probablement du désir de certains acheteurs de se couvrir à tout prix (les contrats de livraison de soufre étant en général établis sur une base annuelle) ; par ailleurs, évidemment, les producteurs désiraient amortir aussi rapidement que possible les capacités de production supplémentaires qu'ils venaient de mettre en place.

Quoi qu'il en soit, il est à craindre que les baisses spectaculaires obtenues dès avant les vacances par certains acheteurs avec une apparence de facilité auprès des Canadiens, risquent fort d'accréditer l'idée que ceci n'est que l'amorce d'un mouvement de baisse qui pourrait bien se poursuivre au long de l'année prochaine. Ceci est d'autant plus vrai que l'on sait qu'il y a maintenant la Pologne, qui si elle ne désire pas stocker une partie de sa production, est dès à présent capable d'offrir plus d'un million de tonnes de soufre sur le marché.

On peut se demander s'il ne serait pas possible de dessiner à long terme une courbe générale de prix pour le soufre, qui ferait la moyenne des fluctuations observés à court terme de ces vingt dernières années. Malheureusement, un tel essai aurait peu de valeur quant à une prévision des prix futurs.

La courbe des prix officiels cotés par les exportateurs américains, FOB Golfe, n'a traduit la réalité des prix pratiqués que dans les périodes des prix élevés. Au début des années 60, le prix "posté" n'est jamais descendu au-dessous de 25 \$, alors que les livraisons ont été effectivement traitées à 17 \$. Actuellement le prix officiel reste à 41 \$ et, s'il a été effectivement respecté l'année dernière, on sait que les producteurs américains ont déjà consenti des rabais de 7 à 8 \$ sur ce prix cette année.

La situation de la structure de production est fondamentalement différente de ce qu'elle était il y a quinze ans. Une entente entre producteurs pour le maintien d'un prix raisonnable semble aujourd'hui plus improbable.

Prix du soufre au deuxième semestre de 1969 :

Europe Nord-Ouest	32 - 36 \$/t CIF
Méditerranée	32 - 37 \$/t CIF
Asie Sud-Est	34 - 38 \$/t CIF
Amérique Latine	31 - 36 \$/t CIF
Amérique du Nord	39 \$/t FOB

(marché domestique : prix affichés)

Le coût de transport du soufre doit diminuer notablement avec l'apparition des grands minéraliers et avec la généralisation du transport du soufre sous forme liquide.

PRODUCTION DES MATIERES PREMIERES SULFUREUSES EN 1965 ET 1975

(en milliers de tonnes) (B)

SECTION 1

	Soufre Natif				Soufre élémentaire		
	1965	Frasch 1975		Conventionnel		1965	Pessimiste
		Minimum (1)	Probable	1965	1975		
Canada				-		1 000	4 650
Etats-Unis	6 214	7 300	8 400	-	50	1 234	1 750
Mexique	1 505	2 300	3 300	30	30	47	600
Amérique du Nord	7 719	9 600	11 700	30	80	2 977	6 400
Amérique du Sud				100	250	45	1 000
France				-	-	1 530	1 500
Reste CEE				143	250	117	1 500
Espagne				-	-	23	300
Reste Europe de l'Ouest				20	50	179	2 000
Europe de l'Ouest				163	300	1 858	1 900
Pologne				440	1 800	-	-
URSS				1 000	1 000	420	800
Reste Europe de l'Est				20	-	130	-
Europe de l'Est				1 440	2 800	550	800
Afrique				15	10	10	1 000
Moyen Orient				-	300	20	1 000
Japan				230	200	45	2 000
Asie Communiste				140	250	130	-
Reste Asie				10	10	3	-
Asie				380	760	198	1 200
Océanie				23	-	-	-
TOTAL Monde Occidental	7 719	9 600	11 700	571	1 150	4 958	10 000
TOTAL Monde	7 719	9 600	11 700	2 151	4 200	5 438	10 800

(1) Ces colonnes correspondent à la production en 1975 des gisements actuellement connus.

PRODUCTION EN 1965 ET 1975 PAR PAYS ET PAR MATIÈRES PREMIÈRES

(en milliers de tonnes) (BATTEMENT)

SECTION 2

Soufre élémentaire récupéré			Pyrites		Autres		Total	
1965	1975		1965	1975	1965	1975	1965	1975
	Pessimiste	Probable						
1 000	4 650	4 650	154	550	331	750	2 181	5 950
1 234	1 750	1 750	360	500	535	910	8 343	11 610
47	60	60	-	-	32	180	1 614	3 570
2 977	6 460	6 460	514	1 050	898	1 840	12 138	21 130
45	70	70	13	220	58	110	216	650
1 530	1 500	2 000	56	50	100	170	1 695	2 220
117	160	250	823	1 000	555	1 460	1 638	2 960
23	30	30	1 420	2 200	40	50	1 483	2 280
179	220	420	1 861	2 900	1 080	1 580	3 140	4 950
1 858	1 910	2 700	4 160	6 150	1 775	3 260	7 956	12 410
-	-	-	85	80	40	60	545	1 940
420	800	800	1 750	2 500	850	1 800	4 020	6 100
130	-	300	415	520	625	2 140	1 190	1 960
550	800	1 800	2 250	3 100	1 515	3 000	5 755	10 000
10	20	20	250	640	50	100	325	770
20	1 000	1 400	-	200	-	-	20	1 900
45	235	500	1 730	1 750	450	1 000	2 455	3 450
130	-	300	855	1 300	135	-	1 260	1 850
3	20	20	70	320	190	40	273	390
198	1 255	2 220	2 655	3 570	775	1 040	4 008	7 590
-	30	30	100	270	120	150	243	450
4 958	10 000	11 200	6 838	10 600	3 541	6 500	23 627	41 150
5 438	10 800	12 600	9 943	15 000	5 191	9 500	30 442	53 000

TABLEAU 3

EVOLUTION DE LA PRODUCTION MONDIALE DE MATIERES SULFUREUSES

(en millions de tonnes)

Année	Production totale	S contenu	S élémentaire	S Fresh	S récupération	Indice
1957	25,6	8,7	8,9	6,6	1,4	100
1958	24,7	8,7	8,4	6,0	1,6	97
1959	26,1	9,0	9,1	5,9	2,1	103
1960	31,5	11,8	10,7	6,3	2,7	127
1961	33,8	12,0	11,8	6,6	3,4	135
1962	34,9	12,2	12,3	6,4	4,0	139
1963	36,0	12,2	12,8	6,4	4,6	142
1964	39,1	13,0	14,0	7,0	5,1	153
1965	43,1	14,3	15,5	7,7	5,6	164
1966	46,3	15,2	16,6	8,7	5,7	181
1967	48,6	15,6	17,8	8,9	6,3	190

TABLEAU 4

ESTIMATION DE LA STRUCTURE DE LA CONSOMMATION DU SOUFRE
SOUS TOUTES SES FORMES EN 10³ TONNES DE SOUFRE CONTENU EN 1967

Pays	S Élémentaire	Pyrites	Autres	Total	%
U.S.A.	8.500	500	1.000	10.000	52,6
Japon	300	1.600	600	2.500	13,2
RFA	400	1.000	200	1.600	8,4
G.B.	900	100	300	1.300	6,8
France	950	200	150	1.300	6,8
Italie	200	1.150	50	1.400	7,4
Espagne	50	800	50	900	4,8

TABLEAU 5

PRODUCTION DES MATIERES SULFUREUSES ENTRE 1967 - 69

(en milliers de tonnes)

P A Y S	A N N E E	S O U F R E	P Y R I T E
U.S.A.	1967	n. d.	900
	68	-	900
Canada	1967	2.200	-
	68	-	450
Mexique	1967	1.900	
Amérique du Nord	1967	-	2.027
	68	-	2.127
Amérique du Sud	1967	-	15,2
	68	-	15,2
France	1967	1.600	37
	68	-	38
	69 (1 ^o sem.)	761	-
Espagne	1967	-	1.133
	68	-	1.160
Pologne	1967	500	
	68	-	
	69 (1 ^o sem.)	801	
Italie	1967	100	608
	68	-	630
Chypre	1967	-	490
	68		530
Norvège	1967	-	287
	68	-	300
RFA	1967	-	221
	68	-	245
Suède	1967	-	244
	68		250

TABLEAU 5 (Suite)

Portugal	1967	-	242
	68	-	240
Grèce	1967	-	100
	68	-	100
Finlande	1967	0,9	97
	68	1,4	100
U.R.S.S.	1967	-	5.210
	68	-	5.740
Japon	1967	300	138
	68	-	-
Turquie	1967	-	54
	68	-	50
Philippines	1967	-	155
	68	-	182
Australie	1967	-	257
	68	-	184
Maroc	1967	-	354
	68	-	418
Afrique du Sud	1967	-	-
	68	-	588
Total Afrique	1967	-	1.003
	68	-	1.111

TABLAU 6

EXPORTATIONS DE SOUFRE PAR LES GRANDS FOURNISSEURS

(en 1000 tonnes)

	Janvier - Juin 1968				Janvier - Juin 1969			
	1	2	3	4	1	2	3	4
	U.S.A.	CANADA	MEXIQUE	FRANCE	U.S.A.	CANADA	MEXIQUE	FRANCE
TOTAL	527,2	438,7	628,7	850,7	553,8	568,2	483,2	761,1
Europe de l'Ouest	468	20	221,1	709,1	467,4	81	117	723,0
Belgique	114	-	-	24,8	124,5	-	-	15
France	22,2	-	81,7	332,2	-	3,6	48,1	363,0
RFA	75,0	-	-	35,1	83,6	-	-	43,9
Hollande	114	5,5	-	38,5	118,8	77,4	-	33,2
R. U. Irlande	51,0	-	139,4	131,7	125,9	-	68,0	142,7
Europe de l'Est	-	37,1	-	3,0	-	-	-	-
Asie	10	110,6	11	45,9	17,6	234	-	0,1
Inde	-	65,3	11	22,9	-	101,3	-	-
Corée Sud	-	20	-	-	-	43,7	-	-
Taiwan	-	19,1	-	-	-	67,9	-	-
Afrique	0,2	65,3	10,7	64,4	13,2	43,1	-	15,0
Afrique du Sud	-	65,3	-	17,0	13,2	43,1	-	-
Amérique du Nord	-	-	257,1	-	-	-	178,3	-
Amérique Latine	48	6,1	86,6	7,6	37,3	8,0	139,2	14,2
Brésil	36,0	6,1	-	7,6	25,3	8,0	4,7	8,7
Australie	10	199,6	42,2	20,7	18,3	202,1	41,2	-

1) Ventes par Sullexco
2) Exportations par bateaux

3) Ventes par AZUFREIRA PAN AMERICANA S.A.
4) Ventes par SNPA.

1.1.2. Pyrites :

La production mondiale de pyrites en 1965 a été d'environ 21,5 millions de tonnes contenant 9,6 millions de tonnes de soufre, et a fourni en soufre 32,6 % de la demande mondiale. Environ 1,5 % du soufre a été récupéré comme soufre élémentaire, et les 98,5 % restants consommés dans la production d'acide sulfurique et des liqueurs sulfatiques. La production mondiale de pyrites en 1955 était d'environ 17 millions de tonnes contenant 7,5 millions de tonnes de soufre.

Durant la période de 1955 à 1965, la production a eu tendance à fluctuer d'année en année ; son taux annuel de développement s'est fixé autour de 3 %.

Le marché et les réserves mondiales de pyrites ont été étudiés dans la partie technique du projet (Possibilités de fabrication d'acide sulfurique à partir de pyrites, pièce A₁)

- Les gisements de pyrites sont mieux répartis dans le monde que ceux du soufre ce qui fait que les cours de pyrites ne suivent pas les fluctuations rapides de ceux de soufre. En principe les pyrites ne posent pas de problèmes d'approvisionnement. Le prix international est établi chaque mois sur la base suivante : "pyrite sèche 48 % de soufre et 0,6 % de Cu". Le prix au mois d'avril 1969 de la pyrite espagnole de Rio-Tinto était de l'ordre de 13,8 \$/tonne CIF port Tunis. Il paraît qu'actuellement une baisse est enregistrée et on peut avoir la pyrite russe à 12,5 \$ la tonne CIF Tunis.

Prix de la tonne de pyrite pendant le deuxième semestre de 1969 :

FOB Portugal	10,9 \$
FOB Huelva (48 % S) Rio Tinto	11,1 \$
Tharsis	11,3 \$

Les pyrites norvégiennes et chypriotes sont compétitives.

1.1.3. Anhydrite et gypse :

Le manque de soufre des années 50 a encouragé l'installation de nouvelles usines pour la production d'acide sulfurique basées sur le sulfate de calcium. En 1965 on estime à 0,97 million de tonnes la quantité d'équivalent soufre du sulfate de calcium utilisée dans la production d'acide sulfurique et de sulfate d'ammonium, ce qui représente 2,9 % de la production totale de soufre dans le monde sous toutes ses formes. Le pays le plus important consommateur de sulfate de calcium

pour la production de l'acide sulfurique est le Royaume-Uni.

Quelques exemples d'exploitation de gisements de pyrites ont démontré que dans certaines conditions locales favorables, l'acide sulfurique peut être préparé rentablement à partir de l'anhydrite ou de gypse.

Il est difficile de définir un prix d'équilibre entre le soufre et l'anhydrite car il varie fortement d'une usine à l'autre. Il faut noter que les matières premières à base de sulfate de calcium sont réparties en très larges quantités dans la plupart des pays. Cette ressource potentielle de soufre continuera donc à provoquer de l'intérêt parmi les pays qui ne disposent pas d'autres sources de soufre.

1.2. EN AFRIQUE DU NORD :

1.2.1. Soufre :

Il n'y a pas de gisements de soufre en Afrique du Nord. Néanmoins presque tout l'acide fabriqué jusqu'à présent en Tunisie l'est à partir du soufre ; à part la STEC qui fabrique près de 17.000 t/an d'acide sulfurique à 53° Bé à partir de pyrites, les autres usines SIAPE et NPK travaillent à partir du soufre importé du Mexique, de la France, de la Pologne et U.S.A. Le projet des ICM prévoit également l'utilisation du soufre élémentaire comme matière première sulfureuse.

1.2.2. Pyrite :

Pour la Tunisie, un élément nouveau et important vient militer en faveur de l'adoption de la pyrite c'est la découverte de gisements de pyrite en Tunisie à Sidi Driss et à Kebbouch dont l'exploitation commencera en Juillet 1970. Une lettre à ce sujet nous est parvenue de la Société Tunisienne d'Expansion Minière SOTEMI.

Le Maroc dispose de pyrrhoïtine (32 % en Soufre) : mine de Kettana, les réserves sont estimées à 10 millions la tonne.

L'Algérie dispose aussi de la pyrite, les réserves et la production actuelle ne sont pas connues. En 1965, l'Algérie produisait 57.000 tonnes de pyrites.

1.2.3. Le gypse naturel :

Les gisements de gypse tunisiens se trouvent dans la région de Maknassy. Ce gypse montre une composition chimique variable. De plus, il est entremêlé par des couches de roche étrangère. Il est à noter que la matière première prévue à être utilisée dans une unité de Müller-Kühne doit avoir une teneur en gypse au moins de 95 % ce qui est le cas du gypse tunisien. L'exploitation du gypse de Maknassy se fera à ciel ouvert. Les réserves sont suffisantes pour alimenter une usine produisant 300.000 tonnes d'acide par an pendant plus de 40 ans,

Le gypse de Maknassy a la composition moyenne suivante :

Perte au feu	22,1 %
SiO ₂	1,05 %
Al ₂ O ₃	0,56 %
Fe ₂ O ₃	0,28 %
CaO	31,9 %
MgO	1,2 %

SO ₃	41,7 %
Na ₂ O	0,02 %
K ₂ O	0,09 %
P ₂ O ₅	0,024%
F	0,026%
H ₂ O (à + de 60°)	0,29 %

Au Maroo, des gisements de gypse et d'anhydrite existent dans la région de Safi, ces gisements ne sont pas exploités.

1.2.4. Le phosphogypse :

Le phosphogypse ou le gypse résiduel est aussi disponible en quantité suffisante. La SIAPE en produit 600.000 t/an et dispose d'un stock de six millions de tonnes. La NPK devrait en produire autant que la SIAPE. Les réserves ne posent donc aucun problème.

TABLEAU 7

COMPOSITION CHIMIQUE DU PHOSPHOGYPSE DE LA SIAPE

Composants	Phospho-gypse de stock	Phospho-gypse de filtres
H ₂ O (combinée)	19,5 %	21,9 %
CaO	29,7	30,8
MgO	0,0	0,0
SO ₃	42,7	42,7
CO ₂	0,6	0,3
Fe ₂ O ₃	1,7	1,3
SiO ₂	5,5	3,9
NaCl	0,5	0,3
Total	100,2 %	101,2 %

L'analyse de ce phosphogypse lavé, séché et tamisé donne la composition suivante pour les principaux composés :

	Phospho-gypse traité	Phospho-gypse recristallisé
CaO	37,5 %	32,5 %
SO ₃	53,8	46,8
H ₂ O	7,0	19,8

Des analyses spéciales ont montré l'existence de fluorine et de phosphore dans le phospho-gypse. Les compositions sont indiquées ci-dessous après retrait de l'eau de suspension :

	Phospho-gypse de stock	Phospho-gypse de filtres
P ₂ O ₅	0,94 %	1,46 %
F	1,12 %	1,25 %

En traitant le phospho-gypse avec de l'acide sulfurique dilué à 100°C pendant longtemps on réduit fortement les concentrations de composés de phosphore et de fluorine et on retire probablement d'autres impuretés en même temps.

On pense que cette purification est obtenue par la recristallisation. En se basant sur les essais effectués, le gypse naturel de Maknassy semble être la matière première pouvant être utilisée avec le minimum d'essais pilotes supplémentaires. D'autre part, l'emploi de phosphogypse de stock ou traité exigera un travail considérable d'essais-pilotes pour déterminer s'ils peuvent être employés comme matières premières.

Pour le reste de l'Afrique du Nord, le phospho-gypse doit exister dans toutes les usines d'acide phosphorique notamment celles du Maroc.

CHAPITRE 2

LOCALISATION DE L'EMPLOI DES DIVERS PROCEDES DE FABRICATION
DE L'ACIDE SULFURIQUE

2.1. DANS LE MONDE :

- Soufre et pyrite :

La fabrication à partir de soufre est la plus répandue en Amérique et en Océanie où elle donne respectivement 75 % et 65,3 % de la production totale d'acide sulfurique. Pour l'Amérique productrice de 71 % du soufre mondial la raison est évidente. L'Océanie par contre importe du soufre pour satisfaire ses besoins, elle produit 1,3 millions de tonnes d'acide à partir de soufre, alors qu'elle ne produit que 23.000 tonnes/an de soufre. La production totale en acide sulfurique de l'Océanie est de l'ordre de 2 millions de tonnes alors que sa production totale en soufre à partir de différentes matières premières sulfureuses n'est que de 243.000 tonnes.

En Europe comme en Asie et en Afrique c'est le procédé à partir de pyrites qui l'emporte. En effet la production d'acide sulfurique à partir des pyrites représente 47,37 % de la production totale d'acide sulfurique de l'Europe, 64,49 % de celle de l'Asie et 46,6 % de celle de l'Afrique. La raison de ce choix est l'existence des pyrites en quantités importantes.

Le gaz de grillage (SO_2) occupe la deuxième place après le soufre en Amérique et après les pyrites en Asie, il occupe la troisième place après le soufre et les pyrites dans le reste du monde.

L'anhydrite $CaSO_4$ occupe la dernière place, il est utilisé en Angleterre où on fabrique près de 540.000 tonnes/an d'acide sulfurique à partir de cette matière première, en Allemagne de l'Est où on fabrique près de 400.000 tonnes/an, en Pologne 110.000 tonnes/an et en Autriche 60.000 tonnes/an.

De 1964 à 1967, l'installation de nouvelles unités a évolué à un rythme assez rapide, surtout dans les pays socialistes et les pays en voie de développement.

La consommation de matières sulfureuses pour la fabrication d'acide sulfurique en 1967 est représentée par le tableau 9. On remarque que l'Allemagne, l'Italie et l'Espagne produisent leur acide sulfurique en grande partie à partir de pyrite.

64,9 % pour l'Allemagne

90 % pour l'Italie

94,4 % pour l'Espagne

Alors que la France et le Royaume-Uni produisent leur acide en grande partie à partir du soufre

68,1 % pour la France

56,3 % pour le Royaume-Uni

- Gypse :

Le coût élevé des investissements et de l'exploitation a jusqu'à présent freiné l'utilisation à grande échelle de l'anhydrite, et du gypse en tant que sources de soufre, excepté dans quelques régions où l'on trouve des conditions économiques locales extrêmement favorables.

Les gisements d'anhydrite et de gypse sont largement répartis sur le globe et les réserves potentielles de soufre sous cette forme seraient pratiquement inépuisables. De grandes quantités d'anhydrite sont consommées dans le royaume-Uni, en Autriche, en Italie, aux Indes et en Allemagne de l'Est pour produire du sulfate d'ammoniaque à partir de l'anhydrite ou du gypse (Voir tableau 5).

En 1965, un million de tonnes de quantité équivalente de soufre a été consommé pour la fabrication de H_2SO_4 et sulfate d'ammoniaque dans le monde, utilisant le gypse ou l'anhydrite, malgré une disponibilité quasi illimitée d'anhydrite ou de gypse de bonne qualité dans un grand nombre de pays, il apparaît que le procédé basé sur l'anhydrite est peu employé.

Des investissements élevés, joints à la difficulté de vente de ciment, ont empêché une exploitation plus grande de l'anhydrite et du gypse comme source de soufre.

Néanmoins, plusieurs pays désirent être moins dépendants des matières premières importées (soufre et pyrites). Le procédé basé sur l'anhydrite est alors une solution d'un grand intérêt.

Partant de cette conclusion plusieurs organismes et sociétés privés se sont lancés dans des programmes de recherches.

Depuis, plusieurs procédés nouveaux ont été mis au point, (notamment aux U.S.A.) après des essais positifs menés au stade laboratoire et pilote. (voir tableau récapitulatif #3 des procédés déjà testés).

A ce propos d'après l'Industrie Chimique Juin 1969, la firme Eloor Chemical Co mettra en route en 1969 une usine d'extraction de soufre du gypse par un procédé original sur lequel aucun renseignement technique n'est fourni mais qui s'apparenterait avec le procédé du Bureau des Mines. La firme Eloor, dans son usine qui aura une capacité de 350.000 t/an estime fournir la tonne de soufre à 35,5 \$, soit 6 \$ inférieur aux prix U.S.A. du soufre natif. L'investissement total est de l'ordre de 29,3 millions de dollars. Les sous-produits obtenus sont de l'ordre : (une tonne de carbonate de sodium et 1/2 tonne de CaCl_2 pour une tonne d'acide sulfurique produite).

TABLEAU 8

VENTILATION DE LA FABRICATION DE L'ACIDE SULFURIQUE
PAR MATIERES PREMIERES
(en milliers de T.)

1964 - 1965

PAYS	SOUFRE	PYRITES	GAZ DE GRILLAGE	ANHYDRITE D'EPURATION	MASSE D'EPURATION DES COKE RIES	AUTRES	TOTAL
AMERIQUE							
U.S.A. 64	15.608	1.300	1.138			1.880	19.926
Canada 64	413	605	761				1.779
Mexique	408		25				433
Argentine 64	130		20				150
Brésil 64	300					20	320
Chili	150						150
Colombie 65	28					7	35
Vénusuela	33	20					53
Uruguay	19						19
Pérou	22		15				37
Autres	234						234
TOTAL	17.345	1.925	1.959			1.907	23.136
%	74,97	8,32	8,47			8,24	100 %
EUROPE							
France 64	1.567	784	270			81	2.702
(Allemagne Fédérale 64	1.010	2.120	469				3.599
Italie 64	189	2.345				261	2.795
Belgique 64	545	396	406				1.347
Hollande 64	628	348					976
Royaume-Uni 64	1.750	366	197	540	278		3.131
Autriche 64/65	112		35	(max) 70			217
Danemark 65	36	204					240
Norvège 64	68	40					108
Suède 64		500					500
Portugal 64	70	353					423
Espagne 64		1.380	147				1.527
Grèce 64	120	84					204
Irlande	130						130
Turquie	24						24
Finlande		356					356
Yougoslavie			472				472

TABLEAU 8 (SUITE)

PAYS	SOUFRE	PYRITES	GAZ DE GRILLAGE	ANHYDRITE	MASSÉ D'ÉPURATION DES COCKERIES	AUTRES	TOTAL
URSS 65	1.530	3.485	2.635			850	8.500
Roumanie 64		326	94				420
Pologne (Allemagne de l'Est)	830		100	70			1.000
Hongrie 66	200	537		400			937
Bulgarie		140					340
Tchécoslovaquie	200	291					291
TOTAL :	9.009	14.745	4.825	1.080	278	1.192	31.129
%	28,94	47,37	15,50	3,47	0,89	3,83	100 %
AFRIQUE							
Algérie 64	19	14					33
Maroc 64	20	20					40
Tunisie 64	225						225
R.A.U.	120	50					170
Afrique centrale	12		187				199
Rép. S. Africain	284	716					1.000
Rhodésie		70	130				200
TOTAL :	680	870	317				1.867
%	36,42	46,50	16,98				100 %
ASIE							
Israël 64	160						160
Liban	30						30
Japon		4.085	1.286				5.371
Inde 64/65	680						680
Formose	125						125
Philippines		40					40
TOTAL :	925	4.125	1.286				6.406
%	14,83	64,39	20,07				100 %

TABLEAU 8 (SUITE ET FIN)

PAYS	SOUFRE	PYRITES	GAZ DE GRILLAGE	ANHYDRITE	MASSÉ D'ÉPURATION DES COKERIES	AUTRES	TOTAL
<u>OCEANIE</u>							
Australie	880	340	230			120	1.570
Nouvelle Zélande	418						418
TOTAL :	1.298	340	230			120	1.988
%	65,29	17,10	11,57			6,04	100 %
<u>TOTAL MONDE</u> (1965)	29.327	22.005	8.617	1.080	278	3.219	64.526
%	45,45	34,12	13,35	1,67	0,43	4,99	100 %

TABLEAU 9

CONSOMMATION DE MATIERES SULFUREUSES POUR LA FABRICATION
D'ACIDE SULFURIQUE EN 1967 EN 1000 TONNES DE SOUFRE EQUIVALENT

Pays	Soufre		Pyrites		Autres		% soufre utilisé pour la fabrica- tion de H ₂ SO ₄
	Consom- mation	%	Consom- mation	%	Consom- mation	%	
Allemagne	215,0	16,4	853,0	64,9	246,0	18,7	82,3
Belgique	228,9	43,2	125,5	23,7	175,6	33,1	96,1
Espagne	-	-	794,1	94,4	46,2	5,6	92,6
France	740,6	68,1	190,0	17,5	147,1	14,4	83,5
Italie	66,0	5,1	1138,0	90,0	51,0	4,8	90,7
R.U.	644,3	56,3	113,3	3,3	486,8	40,4	-
Suisse	nd	-	nd	-	-	-	-
Total	2267,4	33,1	3412,4	49,7	1179,9	17,2	
U.S.A.	nd	-	528,0	2,1	-	-	-
Japon	-	-	1574,0	71,9	-	-	88,2

TABLEAU 10
EVOLUTION DE LA PRODUCTION DE H₂SO₄ DANS CERTAINS PAYS
 (1964 - 1969)
 (en milliers de tonnes de H₂SO₄)

P A Y S	1964	1966	1967	1968	69-70	73-74
Allemagne	3.600	-	5.300	5.430	5.630	
Autriche	217	-	250	-	-	
Belgique	1.347	1.500	1.657	-	-	
Danemark	240	244	233	250	-	
Espagne	1.527	-	1.770	1.980	-	
Finlande	356	480	549	770	900	
France	2.702	3.227	3.227	3.345	-	
Grande Bretagne	3.131	-	3.236	3.340	-	
Italie	2.795	-	3.953	-	-	
Roumanie	420	541	679	-	-	
Yougoslavie	475	-	670	-	-	
Inde	680	-	-	1.000	-	3.500
Japon	5.371	-	6.312	-	-	
U.S.A.	119.926		129.000	131.250	134.375	

TABLEAU 11

PRODUCTION ET CONSOMMATION DE L'ACIDE SULFURIQUE EN 1967

(milliers tonnes H₂SO₄ - 100%)

Pays	Production	Consommation
Allemagne	5.300	3.773
France	3.227	3.282
Italie	3.953	3.377
R.U.	3.236	3.413
U.S.A.	29.000	26.375
Japon	6.312	6.325

TABLEAU 12

LOCALISATION ET CAPACITE APPROXIMATIVE DES USINES D'ACIDE

BASEES SUR L'ANHYDRITE EN 1969

Lieu	Pays	Capacités 10 ³ tonnes	Total
Billingham	Royaume-Uni	206,000	766,000
White haven	"	400,000	
Widnes	"	160,000	
Coswig	R. D. A.	217,000	417,000
Wolfen	R. D. A.	200,000	
Linz	Autriche	62,000	62,000
Wisow	Pologne	105,000	105,000

TABLEAU 13

PROCEDES NOUVEAUX POUR LA FABRICATION DE SOUFRE A PARTIR DU GYPSE

Procédé	Dorr Oliver	I	U.S. Bureau of Mines II	Elcor Chemical	Kent feeds (Iowa)
Matières premières	Gypse, phosphogypse	Idem	Idem	Idem	Idem
Réducteur	Coke, gas naturel (avec O ₂ pur)	-	-	Gas naturel	-
Réactions caractéristiques	1 - Séchage		1 - Idem		
	2 - Réduction gypse en Ca S		2 - Idem		
	3 - Récupération CS ₂ comme suspension dans l'eau		3 - Traitement avec H ₂ S - CaS + H ₂ = Ca (HS) 2		
	4 - Carbonatation à l'eau pour avoir CaCO ₃ et H ₂ S		4 - Traitement avec NaCl ...		Idem que Dorr Oliver
	H ₂ O + CaS + CO ₂ = H ₂ S + CaCO ₃		2 NaHS + CaCl ₂		
	5 - Combustion H ₂ S dans un four		5 - Carbonatation 2 NaHS + 2CO ₂ + 2H ₂ S = 2NaHCO ₃ + 2H ₂ S		
	oleum H ₂ S + O ₂ = H ₂ O + S		6 - 2 NaH CO ₃ = Na ₂ CO ₃ + H ₂ O + CO ₂		
Rendement	2/3 de S récupéré	90% soufre récupéré	5,5 t gypse donnent 1 t de soufre et 3 t de Na ₂ CO ₃		Idem que Dorr Oliver
Sous-produit	CaCO ₃	Ca CO ₃	Na ₂ CO ₃ et CaCl ₂		Ca CO ₃
Coût indicatif	-	\$ 10,8 millions pour 116.000 t/an de soufre		360.000 t/an de soufre pour 29,3 millions \$ compte four-nir le soufre à 35,5 \$/t	

TABLEAU 14

PAYS	Quelques nouvelles installations (annoncées en 1969)
1) POLOGNE	Nouveau atelier de 1000 t/j de H ₂ SO ₄ (1971) en construction (soufre)
2) ALGERIE	Complexe Annaba, usine H ₂ SO ₄ 1500 t/j, procédé usine Kuhlmann
3) IRLANDE	A Arklow, transformation d'un atelier de 75.000 T/an de H ₂ SO ₄ utilisant le soufre en une unité à partir de pyrite cuivreuse (120.000 t/an).
4) HOLLANDE	Ruhr Schwefelsanve GMBH : construction à Bochm Riemke une unité de H ₂ SO ₄ de 165.000 t/an (pyrites)
5) ITALIE	Dès 1971 production de 150.000 t/an de H ₂ SO ₄ (nouvelle installation)
6) BRÉSIL	300.000 t/an de H ₂ SO ₄ à partir de pyrites
7) BELGIQUE	Bayer 612.000 t/an H ₂ SO ₄ à partir de pyrites
8) JAPON	1200 T/jour de H ₂ SO ₄ à partir des pyrites (chimico)
9) AFRIQUE DU SUD	500 t/j à partir phosphogypse plus 300 t/j (matière première non indiquée)
10) ALLEMAGNE OUEST	165.000 t/an à partir des pyrites
11) AUSTRALIE	550 t/j à partir du soufre
12) CANADA	1200 t/j utilisant soufre
13) INDE	550 t/j " "
14) SUEDE	250.000 t/an " pyrites

2.2. EN AFRIQUE DU NORD :

En Afrique du Nord, avant la découverte de gisements de pyrothine et de gypse, la fabrication d'acide sulfurique, destinée surtout à l'enrichissement des phosphates a été basée sur le soufre importé. Au Maroc l'exploitation des gisements de pyrothines a permis l'implantation des deux usines de BEPT et de Safi qui produiront 470.000 tonnes/an d'acide chacune en 1972.

L'Algérie aussi pauvre que la Tunisie et le Maroc en soufre, a décidé récemment de porter sa production d'acide sulfurique en 1972 à 593.000 t, grâce à une nouvelle petite usine de 60.000 t/an utilisant les blends de la mine El Abid, et au projet de construction du complexe de Annaba qui comporte entre autre un atelier d'acide sulfurique de 500.000 t/an à partir de soufre importé. (constructeur : KREBS.)

En Tunisie, où le soufre et la pyrite sont presque inexistantes (à part les gisements de Kebboush et Sidi Driss récemment découverts) et où le gypse constitue la seule matière première disponible pour les installations futures, les besoins en acide ont été couverts jusqu'à présent par le soufre importé (voir tableau 15 a)

Quand le projet ICM, Annaba et Safi seront exécutés vers 1972, la production maghrébine représentera 2,1 % de la production mondiale qui atteindra à la même date 150 % de la production actuelle. La production du maghreb en 1965 est de 0,16% celle du monde, l'Afrique entière à son tour dispose des 3 % seulement en 1965 également.

TABLEAU 15a

PRODUCTION D'ACIDE SULFURIQUE EN AFRIQUE DU NORD

(milliers de tonnes)

TUNISIE

Usines	1964		1968		1972 (Prévisions)	
	S	Pyrites	S	Pyrites	S	Pyrites
	importé	espagnoles	importé	espagnoles	importé	espagnoles
SIAPÉ	205	/	250	/	300	/
N.P.K.	/	/	180	/	215	/
STEC (ex SAPCE)	/	20	/	20	/	20
I.C.M.	/	/	/	/	360	/
TOTAL :	205	20	430	20	875	20
TOTAL INTEGRAL	225		450		895	

TABLEAU 15b

MAROC

Usines	1964		1968		1972 (Prévision)	
	S	Pyrrothi-	S	Pyrrothi-	S	Pyrrothi-
	importé	nes	importé	nes	importé	nes
Maroc chimie (BEPI)	/	/	/	400	/	470
SCE	20	20	25	25	25	25
Complexe Safi	/	/	/	/	/	470
TOTAL	40		450		990	

TABLEAU 15c

ALGERIE

Usines	1964		1972 (Prévision)		
	S	Pyrite	S	Pyrite	Blende
SAPCE	19	14	19	14	/
Complexe Annaba	-	-	500	/	60
TOTAL	33		593		

TABLEAU RECAPITULATIF N° 16

PRODUCTION H₂SO₄ EN AFRIQUE DU NORD

(milliers de tonnes)

PAYS	1964			1972 (Prévision)			
	Soufre	Pyrites	%	Soufre	Pyrites	Blende	%
TUNISIE	205	20	75,50	875	20		37,17
MAROC	20	20	13,12	25	895		38,21
ALGERIE	19	14	11,07	519	14	60	24,62
TOTAL	244	54	100 %	1.419	929	60	100 %
TOTAL IN- TEGRAL	298			2.408			

TABLEAU 17

PROJETS ETUDIÉS PAR SIM-CHEM/MONSANTO ACTUELLEMENT

Client	Capacité	Matières premières	Etat actuel du projet
<u>Australie</u>			
Cresco (Bayswater)	450 t/j	Soufre (inter-absorption)	Comité à l'étude
Cresco (Portland)	250 t/j	Soufre	En construction
Adelaide & Wallaroo Fertilizer Co	300 t/j	Soufre	" "
Electrolytic Co	1300 t/j	Pyrites (inter-absorption)	" "
<u>Canada</u>			
Imperial Oil	1100 t/j	Soufre	Comité à l'étude
<u>Royaume-Uni</u>			
Leather Chemical Co	600 t/j	Soufre (inter-absorption)	En construction
<u>Inde</u>			
P.C.I. Sindri	400 tons/j	Pyrites	Comité à l'étude
India Copper Corp.	150 t/j	Gaz de grillage de cuivre	En construction
<u>Irlande</u>			
Constaunds Ltd	200 t/j	Soufre	Comité à l'étude
<u>Japon</u>			
Shapur Chemical Co	1320 t/j	Soufre	En construction
<u>Jamaïque</u>			
Industrial Chemical Corporation (Jamaïque)	75/100 t/j	Soufre	En construction sous le contrôle de Sim-Chem
<u>Afrique du Sud</u>			
Goldfields of S.A. Ltd	210 t/j	Grillage de sulfures inter-absorption	Comité à l'étude

3. CONCLUSIONS

L'absence de statistiques qui démontrent l'évolution de l'utilisation des 2 procédés dans la fabrication d'acide sulfurique dans le monde nous empêchent de conclure sur l'évolution relative de chacun des procédés. On peut noter cependant, que les pyrites, source plus récente d'acide sulfurique a connu une évolution très rapide, surtout en Europe et en U.R.S.S. En 1965, 34,1 % de l'acide sulfurique provenaient des pyrites, et 13,3 % des gaz de grillage, pendant que le soufre fournissait à lui seul 45,5 %. En 1967 la structure de l'industrie sulfurique a évolué selon les disponibilités de matières premières dans les pays producteurs ou avoisinants.

Les prévisions de **Battelle** pour 1975 confirment cette orientation, pour dire que les pyrites continueront à concurrencer le soufre mais à raison d'un pourcentage regressif en 1975 par rapport à 1965 (Voir tableau 18). En Europe, c'est la pyrite qui l'emporte pour les installations nouvelles, ainsi que les petites installations de récupération à partir de gaz de raffinerie ou de fractions pétrolières (procédés H. OIL ou autres), voir même de fumées de fours industriels. Le gypse inexploité jusqu'à présent, risque de concurrencer les autres procédés, la découverte du procédé du bureau des mines (U.S.) et de ses variantes (procédé Elcor Chemical) et peut être d'autres, constituent en vérité une découverte révolutionnaire dans le domaine, déjà l'Elcor chemical (qui garde le silence total au sujet de son nouveau procédé) est en train de construire une usine qui produirait 360.000 t de soufre au prix de 29,3 millions de dollars dont 18,6 M serviront pour l'achat de matériel d'extraction du gypse et de l'équipement de l'usine. Ces procédés offrent des avantages par la nature de ses sous-produits, beaucoup plus demandés et qui se vendent plus chers sur le marché international :

- par le coût relativement bas des investissements
- par la possibilité de produire du soufre élémentaire et non de l'anhydrite sulfureux
- par la possibilité d'utiliser le gaz naturel au lieu du coke comme matière première.

Le vieux procédé MULLER-KUHNE à son tour gagne encore du terrain, ainsi Kellogg a fait une étude complète pour le compte de Marcona-Corporation pour l'installation d'une unité de 1500 t/j d'acide au Chili au coût de \$ 30 millions.

En effet on peut dire que les pays pauvres en soufre naturel et en sulfures métalliques peuvent espérer prochainement avoir les possibilités de développer leur industrie sulfurique à partir de gypse.

Dans le contexte maghrébin, l'Algérie avec le complexe de Annaba, la Tunisie avec celui de Gabès et l'extension de l'Usine de la SIAPE, devraient selon des projets déjà en cours de réalisation compter sur du soufre importé. C'est ainsi que Krebs par le procédé UGINE KUHLMANN est en train de réaliser pour le complexe d'Annaba en Algérie : construction clé en main d'un atelier de 500.000 tonnes/an de SO_4H_2 à partir de soufre importé.

Le Maroc, à son tour estime augmenter l'exploitation de ses pyrrothines dans le but d'accroître sa capacité de production d'acide, voire en exporter une partie. En Tunisie, les réserves prouvées en pyrites restent limitées, les informations les plus récentes prévoient la disponibilité de 600 mille tonnes de pyrites flottées à 48 % de soufre provenant des mines de Sidi-Driss et Kebbouh. Ces quantités peuvent alimenter l'usine projetée en Tunisie près de 3 ans, l'absence d'arsenic et la localisation de la mine sus-dite favorisent en eux-mêmes l'exploitation de cette matière première, toujours dans l'espoir de découvrir d'autres gisements.

TABLEAU 18

MATIERES SULFUREUSES EN % UTILISEES DANS LA FABRICATION
DE H_2SO_4 DANS LE MONDE (BATTELLE)

	1965	1975
Soufre	45,45 %	46,8 %
Pyrites	34,1	32,5
Gaz grillage	13,3	20,7
Anhydrite	1,7	
Autres	5,4	
	100,0 %	100,0 %

CHAPITRE 1

COMPARAISON TECHNIQUE DES DIVERS PROCÉDÉS
DE FABRICATION DE H₂SO₄

4.1. PROCEDES :

Les procédés de fabrication de l'acide sulfurique ne diffèrent pratiquement que par la production de SO_2 :

- pour le soufre, le procédé est commun, c'est une combustion et l'installation de purification des gaz est relativement simple.

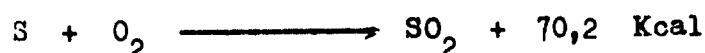
- Pour la pyrite il y a des variantes, selon que la pyrite est de roche ou de flottation, arsénicale ou non.

- Pour le gypse qui est la matière première la moins utilisée à nos jours, il y a également des variantes, selon qu'on utilise le gypse ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), l'anhydrite ($CaSO_4$) ou le phosphogypse (gypse résiduaire), selon aussi qu'on obtient comme sous produit du ciment ou de la chaux. La conversion du SO_2 en SO_3 et l'absorption de ce dernier ne diffèrent que légèrement d'un procédé à l'autre.

4.1.1. Production du SO_2

A. à partir de soufre

La première phase du procédé est basée sur la réaction suivante :



Le soufre est d'abord fondu à $120^\circ C$ et purifié par sédimentation et filtration ; il passe dans un bac de **stockage**, puis à l'aide de pompes le soufre est prélevé à $135^\circ C$ puis amené par un tuyau chauffé à la vapeur d'eau jusqu'au pulvérisateur puis au four. La combustion se fait avec de l'oxygène de l'air desséché avec H_2SO_4 concentré à 95 %.

Le soufre brûle avec une courte flamme bleue. La dispersion doit être très fine pour éviter toute sublimation du soufre. L'emploi des buses modernes assurent une combustion si complète qu'il n'est pas nécessaire d'utiliser comme autrefois des **chambres** de post-combustion.

La combustion du soufre est exothermique, les gaz de combustion passent dans une chaudière de récupération pour y céder leurs calories. Lors de cette combustion on récupère de 2,2 à 2,4 tonnes de vapeur H.P. par tonne de soufre, soit de 0,7 à 0,8 tonnes de vapeur par tonne d'acide. Les gaz ainsi obtenus contenant jusqu'à 20,6 % de SO_2 , passent dans un filtre à gaz qui peut être en quartz ou en céramique comme il peut être électrostatique. Enfin, les gaz ainsi purifiés et séchés passent dans

le convertisseur.

Les fours à soufre sont meilleur-marché, de service simple, de dimensions plus réduites, de mise en marche et d'arrêt rapides.

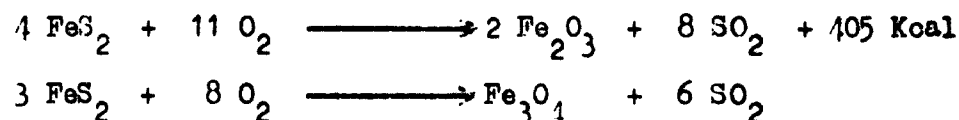
Le soufre a l'avantage d'être le plus souvent très pur et de pouvoir être purifié; c'est pour cela que l'installation de purification des gaz pour ce procédé est relativement simple.

Enfin, le transport des matières premières est simple et il n'y a pas de transport de résidus.

B. à partir de pyrite :

a) grillage

La première phase de la fabrication est basée sur les réactions suivantes :



Les résidus constituent ce qu'on appelle les cendres.

Le grillage a lieu dans un four spécial. Il y a plusieurs types de fours :

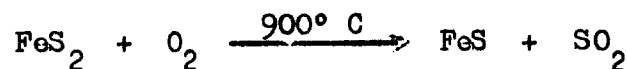
- fours à étages
- fours rotatifs
- fours à grillage éclair
- fours à lit fluidisé
- fours à fluidisation mécanique

Les fours à lit fluidisé ou à couche turbulente constituent actuellement le procédé le plus approprié pour le traitement des pyrites. Ces fours se distinguent surtout par un haut rendement spécifique de grillage, une grande capacité unitaire, et une grande flexibilité de marche.

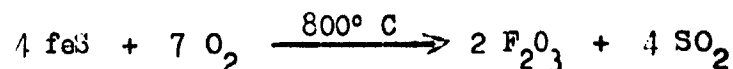
Les différents procédés ont été décrits dans la pièce A, Etude technique : "Possibilités de fabrication d'acide sulfurique à partir de pyrites"

On se placera dans ce qui va suivre dans le cas d'une pyrite arsénicole utilisant le procédé B.A.S.F. à 2 étapes. Le grillage a lieu dans deux fours en série.

Dans le premier four de prégrillage les pyrites sont grillées jusqu'à une teneur de 25 % de soufre résiduel :



Les cendres sont obtenues sous forme de FeS qui ne réagit pas avec As_2O_3 , elles passent dans le deuxième four plus grand où s'achève le grillage jusqu'à une teneur de 2 % de soufre résiduel



Les gaz sortant du 2e four titrent 10 % de SO_2 .

b) refroidissement et purification des gaz

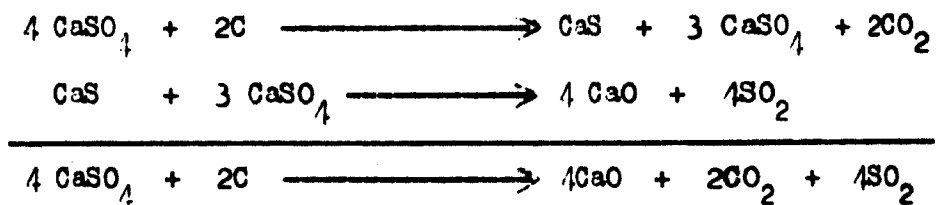
Les gaz de grillage après leur sortie du four et leur passage dans le cyclone de procédé passent dans une chaudière de récupération de chaleur à 800°C , où ils sont refroidis jusqu'à une température de 380°C pour produire de la vapeur saturée ou surchauffée. Les gaz sortant de la chaudière, passent dans une batterie de filtres électrostatiques de gaz chauds ; ces filtres sont munis de système de décolmatage automatique pour une précipitation complète des résidus de poussières entraînés.

Les gaz provenant de divers électrofiltres seront rassemblés dans un collecteur et passent au refroidissement et à la purification finale.

Le dépoussiérage, la purification et le refroidissement ne sont efficaces qu'en milieu humide et s'effectuent dans une tour remplie de matériau céramique où les gaz sont refroidis et lavés par de l'eau. A la sortie de la tour de lavage, les gaz contenant des brouillards de H_2SO_4 , de vapeur d'eau et des traces de SO_3 passent dans une batterie d'électrofiltres humides où les traces de SO_3 s'hydratent et tout l'acide sulfurique est précipité.

c. à partir de gypse :

La première phase du procédé est basée sur les réactions suivantes :



Le procédé Muller Kuhne prévoit la fabrication du clinker et du SO_2 à partir du sulfate de calcium (soit sous forme d'anhydrite, de gypse ou de phosphogypse).

Cas de la fabrication de l'acide sulfurique à partir du gypse naturel avec comme sous-produit le ciment :

La première étape consiste en la préparation de la charge qui commence par le broyage et le séchage du gypse afin d'obtenir de l'anhydrite broyé et sec. La déshydratation du gypse naturel se fera en commun avec le broyage fin, de l'installation de broyage.

Les matières premières : (anhydrite, argile, sable et coke) sont broyées séparément à des granulométries différentes et stockées dans des trémies individuelles puis elles sont chargées automatiquement dans un mélangeur. Une charge typique est :

- anhydrite : 82 %
- argile : 7,4 %
- coke : 5,8 %
- sable : 1,4 %

Ces composants sont mélangés et donnent une farine de composition homogène, qui sera déversée dans l'installation de granulation au contact de l'eau. A la sortie de cette installation ce mélange sera chargé dans le four rotatif (qui ressemble à un four de ciment normal excepté que les températures élevées exigent des matériaux spéciaux). Le chauffage du four rotatif se faisant au moyen de fuel auquel on ajoute dans le brûleur de l'air primaire.

Dans le four rotatif, l'anhydrite se dégage et la formation du clinker aura lieu dans 3 zones :

- zone de préchauffage
- zone de calcination

qui dépendent de la température ; la formation du clinker n'aura pas lieu de manière continue. Dans la zone de préchauffage se fait le mélange de la farine. Dans la zone de calcination l'eau s'évapore et la décomposition du sulfate de calcium commence. Dans la zone de cuisson le clinker est brûlé et la formation de l'anhydrite sulfureux aura lieu. Il est très important d'observer dans cette phase une atmosphère de four exacte, qui dépend de la teneur EN CARBONE DU MÉLANGE DE LA FARINE CRUE.

Les gaz déhappement venant des fours rotatifs contiennent, à part l'anhydrite sulfureux, des poussières, des buées d'acide sulfurique, et de la vapeur d'eau.

Ces impuretés doivent être éliminées dans une tour de lavage où les gaz se refroidissent jusqu'à 35°C environ.

Pour la séparation des buées d'acide sulfurique on a prévu deux chambres filtrantes à gaz humide en deux étages ; les buées de H₂SO₄ seront chargées, et, de là elles seront dirigées vers les électrodes de précipitation, celles-ci seront chargées en sens inverse. Enfin les gaz seront séchés dans une tour de séchage revêtue de briques anti-acides. A la sortie de la tour de séchage, la concentration en SO₂ est de l'ordre de 5 à 8 %.

Le clinker à sa sortie du four sera envoyé, par l'intermédiaire d'un refroidisseur Fuller, jusqu'au stockage. Après une période de murissement, on lui ajoute une certaine quantité de gypse et il sera broyé pour produire du ciment.

d) à partir de phospho-gypse

Le phosphogypse est un produit de déchet dans la fabrication de l'acide phosphorique, il est donc disponible sur place à l'usine sans aucun frais. Son emploi évite des frais d'extraction, de concassage et de transport requis pour le gypse naturel. Toutefois le phosphogypse contient des impuretés, principalement fluorine et phosphate qui pourraient avoir des effets indésirables sur le matériel employé ou sur la qualité de l'acide et des sous-produits manufacturés. Bien que des essais préliminaires indiquent que ces difficultés peuvent être surmontées par lavage et recristallisation, une étude pilote supplémentaire devrait être requise.

Une fois débarrassé des impuretés, le phosphogypse subit un traitement identique à celui du gypse naturel ou de l'anhydrite.

4.1.2. Production de SO₃ :

a) principe



C'est une réaction exothermique, favorisée par une baisse de température.

b) mode de conversion

L'oxydation catalytique de SO₂ en SO₃ est réalisée en plusieurs lits fixes successifs avec refroidissement intermédiaire. Elle offre suivant la matière première utilisée diverses variantes auxquelles correspondent des conditions différentes pour l'alimentation du groupe convertisseur.

Si l'on part de soufre, les gaz de combustion n'ont pas besoin d'une épuration poussée avec lavage après refroidissement partiel dans une chaudière de récupération et filtration éventuelle, ils entrent au convertisseur à la température de 420/450°C nécessaire à l'accrochage de la réaction d'oxydation. Ils sont secs, relativement concentrés en SO_2 - 10 à 13 % et riches en oxygène. Le refroidissement des gaz entre lits se fait de différentes façons : chaudière de récupération, échangeur, injection d'air froid et sec.

Par contre avec la pyrite, les gaz de grillage sont très poussiéreux et ils peuvent être chargés d'impuretés diverses à éliminer comme l'arsenic. Ils font donc l'objet d'une épuration très poussée qui implique pratiquement lavage et débrouillardage, puis séchage. Pour les porter à la température d'accrochage de la réaction de 420/450° C, ils sont réchauffés dans un système d'échangeurs. Ces gaz sont moins riches en oxygène par rapport à la combustion du soufre, car une partie reste fixée sous forme d'oxyde de fer dans les cendres de pyrites. De ce fait, il faut maintenir une concentration plus faible en SO_2 - de 8 % environ, de façon à obtenir un taux de conversion suffisamment élevé. Malgré cela, pour avoir un taux du même ordre que dans les ateliers du soufre, il faut majorer d'environ 50 % la quantité de catalyseur à mettre en oeuvre.

Dans le cas du gypse, la section catalyse est très comparable à celle des ateliers de pyrites.

Le procédé classique d'oxydation par lits successifs avec refroidissement intermédiaire permet d'obtenir des taux de conversion de 98/98,5 % ; on arrive à s'approcher de 99 % en prenant des précautions particulières au point de vue homogénéité et répartition des gaz et en utilisant des catalyseurs d'excellente qualité.

La taille croissante des ateliers et l'importance accrue attachée aux problèmes de pollution atmosphérique, ont conduit certaines sociétés comme Bayer à mettre en oeuvre un procédé d'oxydation avec absorption intermédiaire souvent appelé "procédé de double catalyse". Les gaz oxydés à 85/90 % sont refroidis et passent dans une première colonne d'absorption qui retient SO_3 . Les gaz restants sont rechauffés et repassent sur 1 ou 2 lits de catalyse. Grâce au déplacement du taux de conversion à l'équilibre dû à l'absorption intermédiaire, on atteint ainsi des taux supérieurs à 99,5 % et les gaz à la sortie de la cheminée sont pratiquement exempts de produits sulfureux.

4.1.3. Production de H_2SO_4 :

Le SO_3 sortant du convertisseur après récupération de chaleur et refroidissement 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 sera dilué et porté à la concentration de 98,5 % avec le surplus de l'acide de séchage et des appoints d'eau.

L'acide ainsi produit sera envoyé dans un réfrigérant à ruissellement d'où il revient à la tour d'absorption, une partie étant envoyée au bac de stockage.

Les gas de queue contenant de l'azote, un peu d' O_2 des traces de SO_2 et SO_3 sont envoyés à la cheminée.

4.2. EQUIPEMENTS :

Les installations de fabrication d'acide sulfurique quelles que soient les matières premières utilisées comprennent trois parties :

- production d'anhydride sulfureux
- production d'anhydride sulfurique
- production d'acide sulfurique

le matériel utilisé dans chaque stade diffère d'un procédé à l'autre selon les matières premières utilisées.

En effet les installations de conversion et d'absorption sont à quelques détails près les mêmes, c'est à dire qu'à part quelques différences dans la récupération de l'excès de chaleur du convertisseur (chaudière ou échangeurs de chaleur), le même matériel est utilisé pour la conversion, l'absorption, et le refroidissement de l'acide. La première étape ou fabrication de SO_2 se réserve à elle seule dans le cas des pyrites et du gypse le plus gros du matériel, à cause des quantités de matières premières à traiter et des installations supplémentaires de lavage et de dépoussiérage des gaz, requises afin de limiter les pertes et de ne pas diminuer l'activité du catalyseur. On peut conclure à cet effet que plus le soufre est combiné dans la matière première, plus la quantité de matériel requise pour la production de SO_2 est élevée.

TABEAU 19

COMPARAISON DES EQUIPEMENTS SUIVANT PROCÉDES

Equipement	Procédé soufre	Procédé pyrites BASF à 2 étapes	Gypso procédé : Muller Kuhne
Matériel pour chargement de matières premières	- Matériel de chargement du soufre de la fosse - Système de traitement d'eau de chaudière (adoucissement de l'eau, dégazage...)	- trémie de stockage - bande extractrice - bande d'alimentation - trémie rotative - redler - système d'évacuation des cendres	- 3 bandes transporteuses pour coke-argile et sable - 3 broyeurs-coke argile et sable - 3 filtres à manche pour fines de coke, argile et sable - 3 transporteurs, pneumatiques pour coke, argile et sable - 3 tremies de stockage pour coke argile et sable - 3 systèmes de fluidisation à l'air comprimé des tremies de stockage - pompe d'alimentation commune - tambour de mélange et tremie pour farine crue - installation de granulation
Fours	2 fours de combustion	2 fours de prégrillage 2 fours de grillage 2 fours de combustion secondaire	3 fours rotatifs (possibilité de lit fluidisé)
Chaudières	2 chaudières (vapeur H.P. 45 bars)	2 chaudières de récupération	-
Tours de lavage et séchage de l'air des gaz et des sous-produits	2 tours de séchage d'air	1 tour de lavage 1 tour de saturation 1 tour de séchage	2 tours de séchage (air SO ₂) 1 tour de dégazage 1 tour de lavage et de refroidissement combinés 2 installations de séchage de ciment.

TABLEAU 19 (suite)

! Equipement !	! Procédé soufre !	! Procédé pyrites BASF à 2 étapes !	! Gypse procédé : Muller Kuhne !
! Dépoussié- ! reurs de ! l'air et des ! gaz !	! 2 filtres à gaz !	! 1 filtre à air ! 4 cyclones à gaz chauds ! 4 électrofiltres à gaz ! 4 décanteurs ! 8 électrofiltres humides !	! 3 filtres à air ! 3 filtres à gaz chauds ! 4 filtres humides élec- ! trostatiques ! 3 filtres pour trémie ! d'avant stockage ! 3 filtres pour trémie ! de stock ! 1 filtre à manche pour ! silos de ciment !
! Ventilateurs !	! 3 soufflantes d'air !	! 3 ventilateurs !	! 3 ventilateurs !
! Cheminées !	! - !	! 1 cheminée !	! 1 cheminée !
! Refroidis- ! seurs des ! gaz !	! - !	! 4 refroidisseurs à gaz !	! - !
! Convertis- ! seur !	! 2 à 4 étages !	! 1 convertisseur à 4 éta- ! ges !	! 1 convertisseur à 4 ! étages !
! Echangeurs !	! - !	! 4 échangeurs pour con- ! vertisseur !	! 4 échangeurs pour con- ! vertisseur !
! Absorbeur !	! 2 tours !	! 2 absorbeurs !	! 1 tour d'absorption ! 1 tour d'asbeste ! 2 cuves de dilution !
! Pompes !	! 5 centrifuges immer- ! gées !	! 13 pompes !	! 7 pompes !
! Refroidis- ! seurs !	! 2 à ruissellement ! d'acide !	! 4 refroidisseurs à ruis- ! sellement d'acide !	! 3 refroidisseurs fuller ! 4 " à ruisselle- ! ment !
! Matériel de ! traitement ! des sous- ! produits !	! - !	! - !	! Broyeur à clinker !
! Stockages !	! Réservoirs pour aci- ! de sulfurique !	! Réservoir à fuel avec ! pompes ! Réservoir d'acide sulfu- ! rique !	! Réservoir d'acide ! Station d'emballage du ! ciment et silos de ! stockage !

TABLEAU 20
DIMENSIONS DES FOURS POUR LA PREPARATION DE SO₂
A PARTIR DE SOUFRE, PYRITE ET GYPSE
 (Données de Lurgi pour 1000 tonnes/jour)

S O U F R E	P Y R I T E	G Y P S E
Un seul four peut suffire	B.A.S.F. 2 étapes	Fours tournants
Longueur : 6 m	<u>Four de prégrillage</u> :	Espace nécessaire pour deux fours
Diamètre intérieur : 2,6m	hauteur : 14 m	
	Diamètre intérieur : 2 m	Longueur : 125 m
		Largeur : 25 m
	<u>Four de grillage</u> :	Largeur effective : 5m
	Hauteur : 14 m	
	diamètre: 3,5	

4.3. CONSOmmATIONS SPECIFIQUES :

4.3.1. Procédé au soufre :

"Combustion de soufre avec catalyse double".

La fabrication de H_2SO_4 a lieu d'après la réaction globale suivante :



d'après la réaction ci-dessus, une mole de soufre donne lieu à la formation d'une mole d'acide (soit 32 g de soufre pour 98 g d'acide). Le rendement total en soufre n'étant que de 97,4 %. Pour obtenir 900 t d'acide par jour, il faudra donc :

$$32,0 \times \frac{90,0}{98,0} \times \frac{100}{97,4} = 301,85 \text{ t}$$

La consommation en soufre est donc de 302 t/j

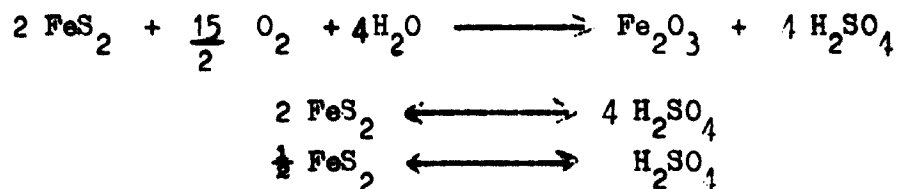
Les utilités nécessaires pour la fabrication d'une tonne d'acide sulfurique par ce procédé sont d'après Lurgi les suivantes :

Energie électrique	: 40 Kwh
Eau de refroidissement	12 m ³
Eau de procédé	: 0,15 m ³
Eau d'alimentation	: 1,25 m ³
Vapeur B.P.	: 55 kg
Air comprimé	: 1 N m ³ /h

4.3.2. Procédé à la pyrite :

- Grillage BASF à deux étapes avec deux chaudières de récupération et catalyse double.

La réaction de formation de H_2SO_4 à partir des pyrites est la suivante :



On obtient une mole de H_2SO_4 pour une demi-mole de FeS_2 (soit 98 g d'acide par 60 g de pyrites), pour obtenir 900 tonnes d'acide par jour et sachant que le rendement de grillage est de 93 %, il faudra donc :

$$60 \times \frac{900}{98} \times \frac{100}{93} = 592,5 \text{ t de pyrite à } 100 \% \text{ alors que la pyrite}$$

commerciale ne contient que 90 % en pyrite, de ce fait pour obtenir la même quantité d'acide (900 t/j) il faudra :

$$\frac{592,5 \times 100}{90} = 658,3 \quad \text{soit } 660 \text{ t}$$

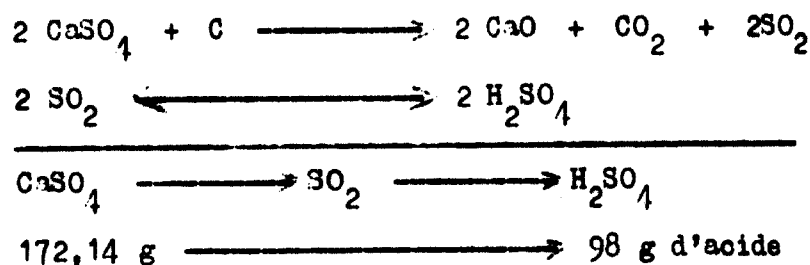
soit 660 t/j de pyrite à 90 %

les utilités correspondantes à ce procédé, sont d'après Lurgi et par tonne d'acide les suivantes :

Energie électrique	: 100 Kwh
Eau de refroidissement	: (110 m ³ eau de mer) (et 5 m ³ eau douce)
Eau de procédé	: 0,15 m ³
Eau d'alimentation	: 1,1 m ³
Air comprimé	: 1 Nm ³ /h

4.3.3. Procédé au gypse :

- deux lignes de fabrication avec catalyse double, la fabrication de H₂SO₄ à partir de gypse a lieu d'après la réaction globale suivante :



- une mole de gypse donne une mole d'acide, soit 172,14 g de gypse pour 98 g d'acide si on suppose que la teneur en gypse est de 100 % alors qu'elle ne dépasse pas les 95 % (c'est aussi le cas du gypse de Maknassy) pour obtenir 900 t d'acide par jour, il faudra donc :

$$172,14 \times \frac{900}{98} \times \frac{100}{95} = 1.658 \text{ t de gypse à 95 \%}$$

le rendement total de la réaction étant de 92 %, il faudra par conséquent :

$$\frac{1.658 \times 100}{92} = 1.802 \text{ t/jour}$$

la consommation journalière en gypse est de 1.802 tonnes. Les matières auxiliaires correspondantes à ce procédé sont d'après Lurgi (pour une tonne d'acide et une tonne

de ciment) les suivantes :

Argile : 253 t
Coke : 81 t
Adjuvants : 8,2 t

Les utilités pour une tonne d'acide et une tonne de ciment d'après la même source sont les suivantes :

Energie électrique : 205 Kwh
Eau de refroidissement : 100 m³ eau de mer
5 m³ eau douce
Eau de procédé : 0,15 m³
Vapeur EP : 90 Kg
Air comprimé : 2 Nm³/h
Chaleur : 1,9.10⁶ Kcal, soit 283 Kg de fuel n°2.

Consommation de la charge par tonne d'acide et tonne de ciment :

(Estimation Lurgi)

Gypse	2.000	84 %
Coke	90	3,8 %
Argile	281	11,8 %
Adjuvants	9,1	0,4

TABLEAU RECAPITULATIF
CONSOUMATIONS SPECIFIQUES UNITE DE H₂SO₄ / 300.000 T/an
 (estimation Lurgi)

Procédé basé sur	c o n s o m m a t i o n								Air comprimé Nm ³ /h
	Utilités/tonnes d'acide								
	Matières premières (t/j)	Kwh	Vapeur BP Kg	Fuel n°2 Kg	Eau de refroidissement eau de Mer m ³	Eau douce m ³	Eau d'alimentation m ³	Eau de Process m ³	
SOUFRE	302	40	55	-	42	1,25	0,15	1	
PYRITE	660	100	-	-	110	5	1,1	0,15	1
GYPSE	Gypse sec : 2.000 argile 281 coke 90 adjuvants 9	205	90	223	100	5	-	0,15	2

4.4. PRODUCTION :

4.4.1. Acide :

Chaque procédé produit 900 t d'acide sulfurique par jour. La concentration de l'acide est de 98,5 à 99 %. Le rendement de conversion et celui d'absorption sont de 99 % avec catalyse simple et de 99,5 % avec catalyse double pour les trois procédés.

4.4.2. Sous-produits :

a) soufre :

Le procédé basé sur le soufre donne lieu à 1.030 t/j de vapeur à 40 bars et surchauffée à 425° C qui servira à la production de l'énergie électrique. Ce procédé ne donne aucun sous-produit.

b) pyrite :

Le procédé basé sur les pyrites donne de la vapeur HP avec un sous-produit important. La production de vapeur (40 bars et 400°C) est évaluée à 990 t/jour. Le sous-produit est constitué par les cendres.

c) gypse :

La décomposition du gypse étant endothermique, nécessite donc de l'énergie calorifique et par conséquent il n'est pas possible de produire de la vapeur. Seul le ciment est obtenu comme sous-produit, on en obtient 900 tonnes par jour. Les caractéristiques physiques de ce ciment d'après VOEST correspondent au type de ciment 275 suivant ONORM B-3310, ayant les qualités suivantes :

* résistance à la flexion et à la traction en Kp/cm² :

Après	13 jours	17 jours	28 jours
Kp/cm ²	-	30	50

* résistance à la pression en Kp/cm² :

Après	13 jours	17 jours	28 jours
Kp/cm ²	-	110	275

TABLERAU 21

PRODUCTIONS OBTENUES : TONNES/JOUR

Nous mentionnons dans le tableau ci-après les productions obtenues pour une unité de 300.000 t/an d'acide sulfurique.

Procédé	Acide	Vapeur HP	Résidus
Soufre	900	1.030	-
Pyrite	900	990	Cendres : 500t/j
Gypse	900	-	Ciment : 900t/j

CHAPITRE 5

AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE CHAQUE PROCEDE

La comparaison des trois procédés ne doit comporter que l'étude des problèmes d'ordre mécanique tels que la vie de l'équipement (corrosion, usure), qui normalement ne change pas beaucoup d'un procédé à l'autre ; exploitation et entretien, et des problèmes de pollution atmosphérique.

Cependant les données spécifiques concernant ces éléments mentionnés nous manquent, nous nous contentons par conséquent de comparer les aspects d'ordre général ; la liste suivante démontre les avantages et les inconvénients relatifs à chaque procédé.

5.1. SOUFRE :

a) avantages

- Investissement faible (voir tableau 22)
- Exploitation technique et entretien simples
- Absence d'impuretés nuisibles dans la matière première et dans les gaz
- Production de vapeur qui peut être transformée en électricité
- Pas de sous-produit encombrant, ni de matières premières auxiliaires
- Coût d'exploitation réduit
- Coût de catalyse réduit

b) inconvénients

- Soufre importé donc dépense de devises
- Fluctuations du cours du soufre
- Approvisionnement non garanti.

5.2. PYRITES :

a) avantages

- Réserves mieux réparties dans le monde
- Cours assez stables et approvisionnement garanti
- Possibilité d'en produire en Tunisie
- Production de vapeur
- Pas de matières premières auxiliaires
- Frais d'investissements et d'exploitation inférieurs à ceux du gypse
(voir tableau 23)

b) inconvénients

- Dépenses de devises
- Installation et entretien plus coûteux que pour le soufre
- Impuretés nuisibles (As - Pb - Sb)
- Production d'un sous-produit qui conditionne la rentabilité de l'acide
- Pollution accentuée.

5.3. GYPSE :

a) avantages

- Disponibilité des matières premières en Tunisie d'où économie de devises.
- Réserves et approvisionnement garantis
- Exploitation de gisements à "ciel ouvert" et absence d'impuretés gênantes
- Possibilité d'emploi d'une main d'oeuvre nombreuse
- Possibilité éventuelle de consommer le gaz d'El Borma au lieu du coke

b) inconvénients

- Investissement très élevé
- Déshydratation de gypse coûteuse
- Manque de coke en Tunisie
- Production d'un sous-produit encombrant
- Prix de revient dépendant de l'écoulement du sous-produit
- Absence de production de vapeur
- Coût d'exploitation élevé
- Pollution atmosphérique importante.

5.4. Le tableau suivant d'après estimation Battelle donne les :

COUTS COMPARATIFS DE L'INVESTISSEMENT DES USINES
D'ACIDE BASES SUR DIFFERENTES MATIERES PREMIERES
(en dollars/t - an)

	300 t/jour	500 t/jour
Soufre	12,3	10,4
Pyrite	30,3	25,5
Anhydrite ...	84	78,5

TABLEAU 22

COUT DE PRODUCTION DE L'ACIDE SULFURIQUE A PARTIR DU SOUFRE

PROCEDE DE CONTACT

(en \$/tonne)

(Estimation BATTELLE) 1966

	Capacité tonnes / jour			
	100	300	500	
<u>Investissement</u>	550.000	1.300.000	1.800.000	
<u>Matières premières soufre</u>	0,34 tonne par tonne d'acide			
<u>Utilités</u>				
Electricité 24 kWh/t	0,24	0,24	0,24	
Eau de refroidissement 20 m ³ /t	0,08	0,08	0,08	
<u>Entretien 3,5 % de l'investissement</u>	0,65	0,43	0,36	
<u>Main-d'oeuvre 6 ouvriers (2 par poste)</u> <u>+ 40 % supervision</u>	0,60 0,24	0,20 0,08	0,12 0,05	
<u>Crédits</u>				
Vapeur 1 t/t	- 2,20	- 2,20	- 2,20	
<u>Amortissement et intérêts 12,6 %</u>	2,35	1,57	1,30	
<u>Total</u> (coût de fabrication non compris le coût du soufre)	1,96	0,40	- 0,05	
<u>Coût de fabrication suivant le coût du soufre (C.I.F. Usine)</u>				
	(= 20	0,76	7,20	6,75
	(= 30	12,16	10,60	10,15
<u>Coût du soufre \$/tonne</u>	(= 40	15,56	14,99	13,55
	(= 50	18,96	17,40	17,40
	(= 60	22,36	20,80	20,35

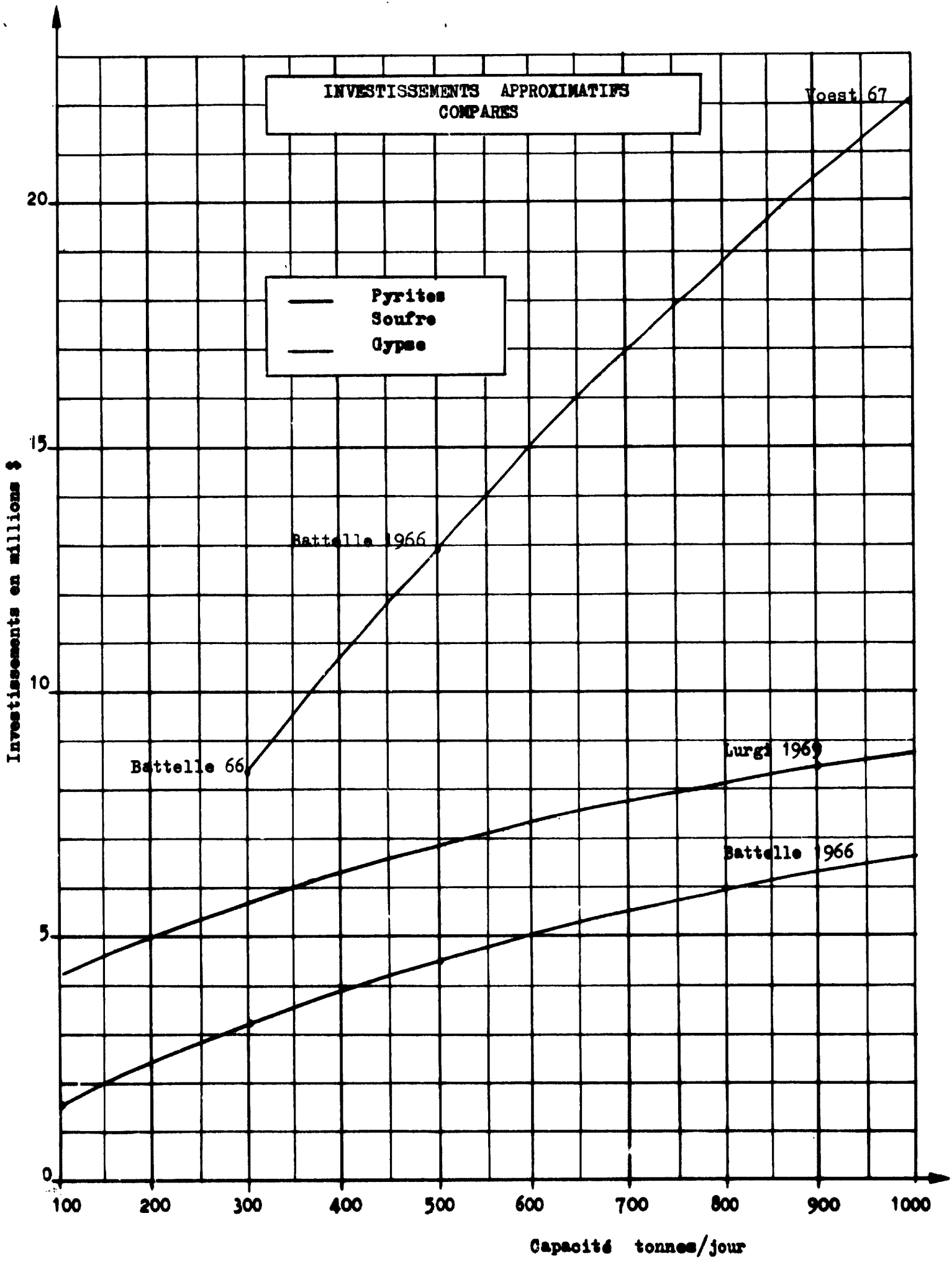
TABLEAU 23

COUT DE PRODUCTION DE L'ACIDE SULFURIQUE A PARTIR DES PYRITES

PROCEDE DE CONTACT

(en \$ tonne)

	Capacité tonnes / jour			
	100	300	500	
Investissement	1.500.000	3.200.000	4.500.000	
Matière première Pyrite à 48 %	0,79 tonne par tonne d'acide			
Utilités				
Electricité 72 kWh/t	0,72	0,72	0,72	
Eau de refroidissement 55 m ³ /t	0,22	0,22	0,22	
Entretien 5 % de l'investissement	2,15	1,52	1,28	
Main d'oeuvre 12 ouvriers (4 + 40 % supervision)	1,15	0,38	0,23	
	0,46	0,15	0,09	
Crédits				
Vapeur 1 t/t	- 2,20	- 2,20	- 2,20	
Cendres 0,5 t/t	- 2,50	- 2,50	- 2,50	
Amortissement et intérêts 12,6 %	5,40	3,84	3,24	
Coût de fabrication suivant le coût des pyrites (CIF Usine)				
	(= 10	13,30	10,0	9,0
Prix des pyrites \$/t	(= 15	17,25	14,0	12,95
	(= 20	21,20	17,9	16,9



INVESTISSEMENTS APPROXIMATIFS COMPARÉS

Pyrites Soufre
Gypse

Voest 67

Battelle 1966

Battelle 66

Lurgi 1969

Battelle 1966

Capacité tonnes/jour

REPUBLIQUE TUNISIENNE

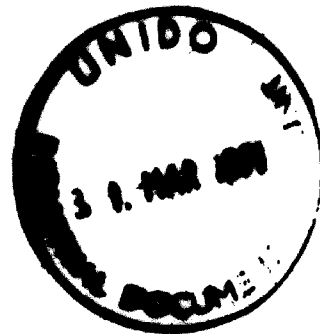
MINISTRE DES AFFAIRES ECONOMIQUES

CENTRE NATIONAL D'ETUDES
INDUSTRIELLES

02475
2 of 2

ETUDE COMPARATIVE DES DIFFERENTES SOURCES
DE FABRICATION D'ACIDE SULFURIQUE
(Soufre, Pyrites, Gypse)

ETUDE ECONOMIQUE



JANVIER 1970

PIECE B-2

REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTERE DES AFFAIRES ECONOMIQUES

CENTRE NATIONAL D'ETUDES
INDUSTRIELLES

02475
242

ETUDE COMPARATIVE DES DIFFERENTES SOURCES
DE FABRICATION D'ACIDE SULFURIQUE
(Soufre, Pyrites, Gypse)

—

ETUDE ECONOMIQUE

—

JANVIER 1970

PAGE 2-2

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 (UNUDI - Vienne).

- S O M M A I R E -

	Page
INTRODUCTION	I à III
1. Les INVESTISSEMENTS	1
2. Les COUTS DE PRODUCTION	11
3. CASH FLOW et TAUX DE RENTABILITE INTERNE..	13
4. CONCLUSIONS	19

- A N N E X E S -

<u>ANNEXE. I.</u> : Investissements pour le Soufre	21
<u>ANNEXE. II.</u> : " " le Gypse	28
<u>ANNEXE. III.</u> : Variations des Prix du Soufre et de la Pyrite	33
<u>ANNEXE IV.</u> : Coûts de Production à partir des différentes matières premières - <u>Matière première SOUFRE.</u>	38
<u>ANNEXE. V.</u> : Coûts de Production à partir des différentes matières premières - <u>Matière première GYPSE.</u>	48
Récapitulation: Dépense nette par tonne d'acide	62a
<u>ANNEXE VI.</u> : Dépense nette actualisée par tonne d'acide	63
<u>ANNEXE VII.</u> : Tableaux des dépenses et Recettes	74
<u>ANNEXE VIII.</u> : Bilan devises	78

INTRODUCTION

Au moment où l'on cherche à pallier le déficit d'acide sulfurique prévu pour 1972, déficit résultant de la différence entre les besoins prévus par le Plan Quadriennal (1969/72), soit 1.200.000 tonnes et les prévisions de production des différentes entreprises, soit 835.000 tonnes, il y a lieu de choisir, dans la réalisation d'une installation d'environ 300.000 tonnes/an de capacité, entre diverses matières premières :

- soufre
- pyrites
- gypse naturel (ou phosphogypse)

Nous n'avons pas retenu l'importation directe d'acide, qui valable, et réalisée, pour de petites quantités (1.000 à 2.000 tonnes par an) constituerait, pour les quantités envisagées, une innovation exigeant une étude très particulière.

Nous n'avons retenu que la solution d'une production nationale, et nous avons recherché dans l'étude qui suit, par une comparaison économique détaillée des différents procédés, quelle était la matière première présentant le plus d'avantages.

Nous avons disposé pour l'étude de ces procédés d'une documentation plus ou moins récente, constituée par les rapports suivants :

Fabrication ex soufre : Etude Foster Wheeler, datant de 1963

Etude COMPAGNIA TECHNICA INDUSTRIE PETROLI de 1967

Etude ICM de 1968

Fabrication ex gypse : Etude polonaise de 1961

Etude de Stanley Engineering Co de 1967

Etude de VOEST de 1968

Deux notes de M. KLINGHOFFER de 1967 et 1968 et par deux études plus générales :

- l'une de BATELLE, sur les sources de soufre dans le monde
- l'autre de la SEDES, sur les possibilités de mise en valeur des ressources minières tunisiennes.

Par contre nous ne disposons d'aucun élément pour l'étude de la fabrication ex-pyrite.

Or cette source était à retenir, car les variations des cours de la pyrite n'ont jamais semble-t-il atteint l'amplitude de celles des cours du soufre. De plus bon nombre de fournisseurs éventuels sont localisés dans le bassin méditerranéen ; à priori, les coûts de transport de matières premières ne sont donc pas prohibitifs.

Cette lacune dans la documentation nous a conduits à effectuer une étude détaillée de la fabrication ex-pyrite, aussi bien sur le plan technique que sur le plan économique.

En effet les alléchantes perspectives économiques d'un procédé peuvent s'évanouir lors de la réalisation, si la conduite de l'usine exige des tours de main relevant de l'acrobatie pour le respect des impératifs techniques de fabrication.

Enfin, à plusieurs reprises, des gisements de pyrites ont été mentionnés en Tunisie : si ces renseignements étaient définitivement confirmés, la production à partir de pyrite s'imposerait ipso facto.

Cette étude détaillée fait l'objet des parties A₁, étude technique, et A₂, étude économique

Comparaison des procédés

La comparaison des procédés fait l'objet des parties B₁ étude technique, et B₂ la présente étude économique. Nous avons résumé la documentation à notre disposition pour les autres fabrications en même temps que nous l'avons analysée : ceci nous a fourni les éléments d'une comparaison des sources possibles.

En effet il était couramment admis que les avantages et désavantages de deux des sources étaient les suivants :

- Faible investissement pour le soufre, mais variations spectaculaires des cours mondiaux, sortie de devises constante pour l'achat de la matière première.

- Aucune sortie de devises pour la production ex-gypse, puisque la matière première est locale, production complémentaire de ciment, dont l'écoulement est générateur de devises ; en contre partie investissements plus lourds bien entendu que dans la fabrication ex soufre, soit un prix de revient sans doute un peu plus élevé mais contrebalancé par un gain de devises.

Nous avons donc examiné en détail :

- les investissements
- les dépenses d'exploitation

Nous avons utilisé deux techniques : tout d'abord la comparaison des coûts, qui prennent en compte entre autres rubriques amortissement et charges financières des emprunts; les taux d'intérêt retenus sont ceux dont a pu bénéficier la Tunisie pour des réalisations passées.

Comme il n'est pas certain que ces chiffres soient valables pour l'avenir, nous avons repris l'étude par analyse du cash-flow et détermination du taux de rentabilité interne.

L'ensemble des résultats est présenté dans le texte qui suit : les calculs ou les notes complémentaires sont donnés dans les annexes.

1. LES INVESTISSEMENTS

1.1. COUTS D'INVESTISSEMENT D'UNE INSTALLATION UTILISANT LE SOUFRE

L'estimation du CENTRE NATIONAL D'ETUDES INDUSTRIELLES est faite à partir de données fournies par la COMPAGNIA TECHNICA DE INDUSTRIE PETROLEI, (CTIP)⁽¹⁾, révisées par les INDUSTRIES CHIMIQUES MAGREHIBINES (ICM) et vérifiées par recoupement avec les chiffres donnés dans les rapports de la STANLEY ENGINEERING COMPANY, cités en annexes.

Le tableau d'investissements donné en annexe est établi sur les bases de calcul suivantes :

- a) Les pièces de rechange représentent 10 % de la valeur des investissements.
- b) Les formalités douanières et frais de déchargement représentent 3 % environ des équipements.
- c) Les imprévus sont estimés à 5 %.
- d) Les frais de premier établissement, les intérêts intercalaires, les frais de mise en route sont calculés au prorata des investissements.
- e) Dans le fonds de roulement, il semble qu'il faille bien compter 4 mois de soufre en stock par suite de l'éloignement des sources d'approvisionnement et des aléas de la fourniture, ce qui nous donne 1 mois de fonds de roulement nécessaire, compte tenu d'un crédit fournisseur de trois mois.

Pour les raisons que nous avons données dans l'étude de la fabrication à partir de pyrites, nous comptons également ici un stockage d'acids de 15.000 tonnes.

Enfin, pour que les données soient aisément comparables avec celles qui ont été

(1) Etude sans n° de référence, Juillet 1967.

obtenues pour une installation utilisant, la pyrite, nous avons prévu une centrale électrique destinée à utiliser la vapeur produite. L'énergie sera en partie consommée par l'usine et le surplus vendu.

Les coûts d'investissements sont donnés dans le tableau ci-après, les détails des différents postes, et la voie suivie pour cette détermination sont exposés dans l'annexe I.

COUTS D'INVESTISSEMENT POUR UNE INSTALLATION UTILISANT LE SOUFRE
 (Capacité 300.000 tonnes/an d'acide sulfurique)
 (Les coûts sont en milliers de dollars)

1. ŒUVRE CIVIL :

Terrains et infrastructures :	100	
Bâtiments	900	
Engineering	320	
	<hr/>	1.320

2. EQUIPEMENTS (Prix FOB)

Matériel principal	3.490	
Utilités	530	
Transports	380	
	<hr/>	4.400

3. FRAIS DIVERS

Frais de 1er établissement, licences et douanes :	350	
Intérêts intercalaires	400	
Frais de mise en route et imprévus	350	
Fonds de roulement	750	
	<hr/>	1.850
		<hr/>
		7.570

Soit en D.T. : 3.974.250

../...

1.1.1. Dépenses d'investissements payables en devises :

Ces dépenses concernent les achats de machines, les services techniques étrangers, divers frais comme brevets, intérêts intercalaires ou matières premières importées pour le fonds de roulement.

Un même poste peut comporter des dépenses en devises et en monnaie locale, sans que le pourcentage de répartition soit clairement défini : dans certains cas lorsqu'il s'agit de transports par exemple, le pourcentage dépend de l'agressivité commerciale des parties en présence.

Le détail de ces dépenses est donné en annexe 1, tableau 4.

1.1.2. Dépenses d'investissement payables en monnaie locale :

Ce sont les dépenses d'infrastructure et d'installation : achats de terrains, constructions de bâtiments, génie civil des installations, dépenses d'études techniques et de formation de cadres et ouvriers spécialisés.

Le tableau 4 de l'Annexe 1 donne le détail de ces différentes dépenses.

1.1.3. Récapitulation :

La décomposition des coûts d'investissement en devises et en monnaie locale, regroupée par rubriques, est présentée dans le tableau ci-dessous :

DEPENSES EN DEVICES ET EN MONNAIE LOCALE

(Valeurs en milliers de dollars US)

	<u>Devises</u>		<u>Monnaie locale</u>		<u>Total</u>
Génie civil	380	.....	940	.....	1.320
Equipements	4.490	.....	110	.....	4.600
Frais divers	880	.....	770	.....	1.650
	<u>5.750</u>		<u>1.820</u>		<u>7.570</u>

.../...

1.1.4. Echéancier des dépenses d'investissements :

Bien que, dans certains cas, et en particulier pour la prévision du montant des intérêts intercalaires, il soit nécessaire de disposer d'un échéancier détaillé, mensuel, nous nous bornerons dans la suite de l'étude à répartir les dépenses d'investissements par part égale sur les deux années de construction. Cette approximation est largement suffisante pour établir la comparaison qui nous intéresse.

1.2. COUTS D'INVESTISSEMENT D'UNE INSTALLATION UTILISANT LE GYPSE :

1.2.1. Note liminaire :

Le procédé au gypse a été initialement mis au point par des pays dont l'approvisionnement en soufre ou en pyrite était perturbé par des circonstances exceptionnelles (première guerre mondiale). C'était donc un procédé de remplacement, fort coûteux, et que des améliorations successives ont pu maintenir en vie quand des conditions économiques particulières étaient réunies.

Ce procédé et les procédés dérivés (phosphogypse) sont périodiquement mentionnés dans la littérature technique, chaque laboratoire publiant les dernières innovations de son cru. Il est alors aisé, à partir de quelques chiffres fournis par un laboratoire d'établir un schéma économique montrant tous les avantages d'une source nationale de matières premières.

La réalité jusqu'alors n'a pas montré un avantage déterminant pour la fabrication ex. gypse, et comme l'a montré l'étude technique, une infime quantité d'acide sulfurique est produite par ce procédé dans le monde. Etant donné les dépôts énormes de gypse dans tous les pays, un avantage décisif aurait généralisé le procédé.

Il s'agit donc de reconnaître si les conditions propres tunisiennes sont bien celles qui conviennent pour que ce procédé soit intéressant.

Parmi les auteurs consultés favorables à une fabrication ex-gypse, il faut citer :

- KLINGHOFFER, avec son "RAPPORT SUR LA FABRICATION D'ACIDE SULFURIQUE EN TUNISIE, Tunis 20 Octobre 1967.

Les chiffres donnés dans ce rapport, pour les investissements ou les coûts de production, devraient être revus, pour que l'on puisse tirer profit du texte.

.../...

Parmi les auteurs favorables à une fabrication ex-phosphogypse :

a) L'étude de STANLEY ENGINEERING CO., qui embrasse les variantes de fabrication suivantes :

A partir de gypse naturel

1. Acide sulfurique-ciment

2. Acide sulfurique-chaux

A partir de phospho-gypse

3. Acide sulfurique-ciment

4. Acide sulfurique-chaux

D'après cette étude, les variantes 2 et 4 représentent des investissements moitié de ceux correspondant aux variantes 1 et 3, cependant le sous-produit chaux, qui figure pour 200.000 tonnes environ n'a que peu de valeur et peu de possibilités d'écoulement.

Les deux procédés à partir du phosphogypse sont néanmoins, à l'époque de l'étude, au stade des recherches : Stanley prévoit pour la variante 3 un délai de neuf mois de recherches en usine pilote, et dix huit mois à deux ans pour définir une méthodologie de purification et passer à une étude de réalisation d'une usine pilote. L'étude de Stanley conclut en faveur du phosphogypse à condition de réaliser au préalable l'installation d'une unité pilote.

b) M. KLINGHOFFER, dans une note de Novembre 1968 émanant du Centre d'Etudes Industrielles du Maghreb et intitulée "Rapport sur la fabrication de l'acide sulfurique en Tunisie à partir de gypse résiduaire de la production de l'acide phosphorique" estime que "la production d'acide sulfurique et de ciment à partir de phosphogypse se présente sous un jour favorable et mérite d'être prise en considération sérieuse".

Cette affirmation est contestable car aucune usine n'a encore été réalisée dans le monde pour produire l'acide sulfurique à partir de phosphogypse, et la première réalisation de ce genre est appelée ipso facto à supporter tous les aléas de recherche et de mise au point. Elle devrait par suite obligatoirement voir le jour dans un pays possédant l'infrastructure technique et scientifique nécessaire, les capitaux disponibles et pouvant se permettre (ou étant obligé) de consacrer de lourds investissements au traitement de ces résidus industriels.

.../...

Le cas de la Tunisie est différent pour le moment, car le phosphogypse ne constitue nullement une "richesse" particulière au pays, sinon un résidu encombrant dont il est très difficile de se débarrasser (toxique si on l'évacue à la mer).

Nous nous contenterons donc d'étudier la variante gypse naturel couplé avec le sous produit pouvant donner des avantages économiques (notamment à l'exportation) : le ciment.

Nous étudierons en annexe seulement les nouveaux procédés de traitement du phosphogypse, pour récupération du soufre et production de carbonate de sodium : de nombreuses recherches sont en cours sur des usines-pilotes et si l'une d'elle débouche sur des résultats économiques intéressants, un complément d'étude serait nécessaire.

1.2.2. Coûts d'investissement d'une usine utilisant le gypse comme matière première

(Capacité : 330.000 tonnes/an de ciment
330.000 tonnes/an d'acide sulfurique)

L'estimation C.N.E.I. effectuée à partir des renseignements figurant dans l'annexe II, conduit au tableau suivant :

(Valeurs en milliers de dollars)

1. ŒUVRE CIVIL :

Terrains et infrastructures :	200	
Bâtiments	2.880	
Engineering	1.000	
	4.080	

2. EQUIPEMENTS (Prix FOB)

Matériel principal	14.560	
Installations secondaires	900	
Transports	1.500	
Montage	3.430	
	20.390	

.../...

3. FRAIS DIVERS

Frais de premier établissement, brevets et Douanes	1.330	
Intérêts intercalaires	2.500	
Mise en marche et imprévus	1.400	
Fonds de roulement	700	
		<u>5.930</u>
Total		30.400

doit en DT : 15.960.000

1.2.3. Répartition des dépenses en devises et monnaie locale :

Les observations qui ont été faites pour la répartition des dépenses dans le cas d'une usine utilisant le soufre sont valables dans celui d'une installation ex-gypse.

Le tableau de répartition est donné ci-dessous, et le détail des dépenses est donné dans l'annexe II, tableau 10.

(Valeurs en milliers de dollars)

	<u>Devises</u>	<u>Monnaie locale</u>	<u>Total</u>
Génie Civil	1.200	2.880	4.080
Equipements	18.460	1.930	20.390
Frais divers	3.340	2.590	5.930
	<u>23.000</u>	<u>7.400</u>	<u>30.400</u>

.../...

1.3. RÉCAPITULATION DES COUTS D'INVESTISSEMENT POUR LES DIFFÉRENTES SOLUTIONS :

Nous donnons ci-après la récapitulation des dépenses d'investissement avec la décomposition correspondante des dépenses en devises et monnaie locale.

Deux faits appellent particulièrement l'attention :

1°) Les investissements, rapportés à l'investissement pour la fabrication ex-soufre, sont :

- double pour la fabrication ex-pyrite
- quadruple pour la fabrication ex-gypse.

2°) La proportion de devises dans ce type d'investissements est sensiblement de 75 %, contre 25 % pour l'investissement en monnaie locale.

Sous le rapport de l'investissement, la fabrication ex soufre présente donc un avantage décisif sur les autres possibilités examinées.

Il reste à étudier maintenant comment se classent les différentes possibilités de fabrication sous le rapport des coûts de production.

RECAPITULATION

COURS D'INVESTISSEMENT DES DIFFERENTS PROJETS

(VALEURS EN MILLIERS DE DOLLARS)

EX-COURE

EX-FRANCE

EX-GERM

Monnaie

Monnaie

Monnaie

	EX-COURE			EX-FRANCE			EX-GERM		
	Devises	Locale	Total	Devises	Locale	Total	Devises	Locale	Total
Génie Ci- vil	380	940	1 320	980	1 625	2 605	1 200	2 880	4 080
Equipe- ments	4 490	110	4 400	8 215	1 235	9 450	18 460	1 930	20 390
Frais di- vers	880	770	1 650	1 893	949	2 795	3 340	2 590	5 930
TOTAL	5 750	1 820	7 570	11 088	3 812	14 900	23 000	7 400	39 400

2. LES COUTS DE PRODUCTION (1)

La comparaison des différentes évaluations (Annexes IV et V) a permis d'établir une estimation moyenne de la dépense totale par tonne d'acide, soit :

R = correspondant au soufre
R' = " à la pyrite
R'' = " au gypse

2.1. FABRICATION EX-SOUFRE :

La formule établie en fonction de S, prix CIF de la tonne de soufre est la suivante :

$$R = (0,34 S + 4,07) \text{ US\$}$$

Si l'on choisit pour le prix du soufre 36 US\$ la tonne CIF, ce prix étant celui donné par BATTELLE dans les prévisions pour 1970-75, la dépense totale par tonne est alors :

$$R = 16,28 \text{ US\$}$$

2.2. FABRICATION EX-PYRITE :

De la même manière les calculs ont donné (voir pièce A₂ page 29), en prenant pour prix CIF de la pyrite 13,8 US\$, et des conditions moyennes de commerciabilité des cendres :

$$R' = 17,60 \text{ US\$}$$

2.3. FABRICATION EX-GYPSE :

La formule établie :

$R'' = (38,30 - K) \text{ US\$}$ dans laquelle K est le prix de vente de la tonne de ciment FOB arrimé, -dans les circonstances actuelles 10 US\$-, donne pour dépense totale par tonne d'acide :

$$R'' = 28,30 \text{ US\$}$$

(1) Nous entendons par "Coûts de production" la dépense totale par tonne d'acide, soit total des dépenses de tout genre diminué du total des recettes de tout genre excepté ventes de l'acide.

Il apparaît à l'évidence qu'il faut compter, dans les conditions actuelles, une dizaine de dollars supplémentaires pour une fabrication d'acide à partir de gypse par rapport aux fabrications ex-soufre et ex-pyrite.

2.4. REMARQUES :

Les résultats précédents proviennent de calculs conduits avec des taux de financement relativement favorables, puisque l'ensemble des frais financiers et remboursement de capital est compté annuellement à 11,5 % de l'investissement, alors qu'il est couramment compté dans d'autres pays de 15 à 17 %. Le pourcentage faible de 11,5 % provient des taux exceptionnellement intéressants dont a pu profiter la Tunisie dans le passé. Il serait, toutefois prudent de considérer que ces emprunts pourraient être de plus en plus difficiles à négocier.

3. CASH FLOW ET TAUX DE RENTABILITE INTERNE :

Compte tenu des observations que nous venons de faire au chapitre précédent sur les taux de financement, dont il est prudent de ne pas sous estimer la valeur, nous opérerons la comparaison des trois fabrications envisagées correspondant à trois projets incompatibles entre eux en utilisant le critère de taux de rentabilité interne.

Nous donnons dans l'annexe VI un exposé des considérations méthodologiques et un calcul complet de la dépense totale par tonne d'acide, ainsi que les conclusions qui s'en dégagent.

Nous donnons ci-après les résultats de calculs de taux de rentabilité interne établis pour divers prix de matières premières, et résultant de diverses hypothèses sur le prix de vente de l'acide sulfurique.

3.1. PRIX DE VENTE DE L'ACIDE SULFURIQUE :

Le prix de vente de l'acide fabriqué en Tunisie revendu dans le pays même ayant atteint 40 US\$ ne peut être pris en considération.

Par contre, la STIR a importé d'Italie depuis plus de deux ans de l'acide en petites quantités (500 à 1.000 tonnes par an) à un prix de 24,85 US\$ la tonne CIF Bizerte, sans que les variations récentes du prix du soufre aient influé sur le prix de vente de l'acide.

Il est certain que des quantités plus importantes seraient vendues à un prix inférieur, mais de toute façon, le prix de vente considéré constitue un plafond, largement calculé, pour déterminer cash flow et taux de rentabilité interne.

Nous considérerons que le prix de vente de l'acide sera compris entre 19 et 23 US\$ la tonne départ usine.

3.2. FABRICATION EX-SOUFRE :

Nous considérerons que le soufre peut varier de 36 US\$ (Prix donné dans les prévisions de BATTELLE) à 45 US\$ la tonne CIF, soit 25 % de marge d'augmentation.

.../...

L'échéancier des dépenses et recettes comportent deux années de dépenses d'investissement et dix années de dépenses et recettes d'exploitation.

Nous donnons dans l'annexe VII le détail des calculs, dans lesquels on a tenu compte des dépenses en devises et en monnaie locale, avec les hypothèses suivantes :

Prix du soufre : 36 US\$/tonne CIF

Prix de vente de l'acide : 20 US\$ la tonne soit 10,500 D.T./tonne.

Le taux de rentabilité interne est trouvé égal à 20 %.

Le tableau résumé des dépenses et recettes actualisées (calculs effectués pour le taux de rentabilité interne) est le suivant :

Dépenses : (en milliers de US\$)	US\$	Monnaie locale
Investissements	5.270	1.668
Exploitation	13.963	1.515
	19.233	3.183
TOTAL :	22.416	
Recettes :	TOTAL :	22.385

Le total des dépenses actualisées et le total des recettes actualisées sont bien égaux à très peu près.

En reprenant les calculs pour un prix de la tonne de soufre de 40 US\$ puis de 45 US\$, on constate que le taux de rentabilité interne prend pour valeurs :

pour S = 40 US\$	r = 14 %
S = 45 US\$	r = 6 %

3.3. FABRICATION DE L'HYDRATE :

Comme précédemment, nous établissons l'échéancier des dépenses et recettes, et calculons le taux de rentabilité interne pour différents prix de vente CIF de pyrite et différents prix de vente de l'acide (en supposant que les cendres soient commercialisées en totalité)

Avec les hypothèses suivantes :

(Prix CIF de la pyrite : 13,8 US\$, vente de l'acide à 20 US\$ la tonne et cendres commercialisées en totalité), calculs effectués pour le taux de rentabilité interne que l'on trouve égal à 12 %).

Le tableau résumé des dépenses et recettes actualisées s'établit ainsi :

Dépenses : (en milliers de US\$)

	<u>US\$</u>	<u>Monnaie locale</u>
Investissements	10.495	3.608
Exploitation	18.177	2.613
	<u>28.672</u>	<u>6.221</u>
TOTAL :	34.893	
Recettes :	TOTAL :	34.750
dont 3.454 en US\$		

Un calcul identique mené avec un prix de la pyrite de 12,5 US\$/tonne CIF, (soit 10 % d'écart avec le prix précédent) donne pour taux de rentabilité 14 %.

Nous constatons que le taux de rentabilité interne varie très peu, de 12 à 14 % pour une variation relative importante du prix de la pyrite, puisque la fluctuation considérée de 10 % est celle correspondante à une variation extrêmement importante du prix du soufre (1969-1970).

2.2. : Nous avons fait l'hypothèse que les cendres étaient commercialisées dans leur totalité.

Nous reviendrons sur ce point dans la comparaison soufre-pyrite qui suit.

3.4. FABRICATION EX-GYPSE :

L'échéancier des dépenses et des recettes correspondantes fait immédiatement ressortir que le taux de rentabilité est négatif.

En effet pour un taux d'actualisation de $i = 0$, on obtient le tableau résumé suivant des dépenses et recettes :

.../...

Dépenses (en milliers de US\$)

	<u>US\$</u>	<u>Monnaie locale</u>
Investissements	23.000	7.400
Exploitation	24.090	63.920
	<u>47.090</u>	<u>71.320</u>
TOTAL :	118.420	
Recettes :	TOTAL :	99.000
	(dont 33.000 en US\$)	

Le taux de rentabilité interne est donc négatif, et très faible en valeur absolue, c'est à dire très voisin de 0.

3.5. RECAPITULATION :

Le critère du taux de rentabilité interne fait particulièrement ressortir la différence économique considérable entre les différents projets.

Avec les hypothèses que nous avons retenues, deux projets sont viables : la fabrication ex soufre et la fabrication ex-pyrite ; le troisième ne l'est pas.

Il reste alors à choisir entre fabrication ex soufre et ex-pyrite.

Pour que la comparaison entre ces deux projets soit valable, il faut que les conditions d'emprunt ou de placement soient identiques pour les deux projets. Nous serons donc amenés à calculer le bénéfice actualisé pour l'un et l'autre projet dans des conditions identiques avec un même taux d'actualisation.

Il est du reste courant que la comparaison de deux projets incompatibles soit en faveur de l'un au dessus d'un certain taux d'actualisation et en faveur de l'autre au dessous de ce même taux.

Les courbes représentant le bénéfice actualisé en fonction du taux d'actualisation se coupent pour une valeur du taux dit "taux d'équivalence", les ordonnées de valeur nulle, bénéfice actualisé nul, correspondant au taux de rentabilité interne.

Choisissons pour fixer les idées un taux de 10 %, qui n'est pas un taux élevé, et prenons des conditions moyennes de soufre à 40 US\$ la tonne CIF, et de py-

.../...

rite à 13 US\$ la tonne CIF. Nous supposons que l'acide se vend toujours à 20 US\$ la tonne.

Nous obtenons : (Chiffres en milliers de US \$)

Soufre :	Dépenses actualisées :	34.244	(dont 30.083 en devises)
	Recettes actualisées :	35.778	
	Bénéfice actualisé :	<u>1.534</u>	
Pyrite :	Dépenses actualisées :	36.248	(dont 29.715 en devises)
	Recettes :	<u>38.476</u>	(dont 3.787 en devises pour les cendres)
	Bénéfice actualisé :	2.228	

La fabrication ex-pyrite comportant le handicap certain de vente des cendres, nous en tiendrons compte en supposant qu'on ne commercialise effectivement, au prix indiqué, que la moitié des cendres.

Le montant des recettes de ce poste seront moitié moindres que le montant considéré jusqu'à maintenant.

La comparaison effectuée précédemment avec un taux d'actualisation de 10 % est dans ces conditions en faveur du soufre car les recettes du poste cendres passent de : 3.787.000 US\$ à 1.893.000 US\$, le bénéfice actualisé n'étant plus que de :

335.000 US \$ au lieu de 2.228.000 US \$

Compte tenu de tous les facteurs en jeu, on peut donc considérer que, dans ces conditions le taux d'équivalence pour le soufre et la pyrite est de 9 à 10 %.

Il ne serait pas réaliste de raffiner les calculs car les cendres représentent un pourcentage de 25 % environ du prix d'achat FOB de la pyrite, et toute variation du poste cendres devient dominante dans les résultats au voisinage de ces taux d'actualisation.

3.6. TAUX DE RENTABILITE INTERNE D'UNE FABRICATION EX-SOUFRE EN FONCTION DU PRIX DE LA TONNE DE SOUFRE :

Si l'on estime que le taux d'actualisation est supérieur à 9 ou 10 %, il reste donc comme seule matière première à retenir le soufre.

Il serait convenable d'obtenir un taux de rentabilité interne supérieur ou égal à 20 %.

Dans ces conditions, nous donnons dans le tableau suivant en fonction du prix de vente de l'acide que l'on peut se permettre de pratiquer, et du taux de rentabilité interne recherché, le prix CIF de la tonne de soufre nécessaire : de ce prix, et selon les pays fournisseurs, on déduira le prix FOB auquel il faudrait traiter un marché pour obtenir les résultats désirés.

Prix de vente de l'acide	19	20	21	22	23	24
Taux de rentabilité interne						
10	39,7	42,7	45,7	48,6	51,6	
15	36,5	39,5	42,4	45,4	48,3	
20	-	36	38,9	44,8	44,7	
25			35,2	37,8		

4. CONCLUSIONS

Les conclusions sont déjà apparues au cours de l'étude, et nous les résumons rapidement.

Sur le plan de la rentabilité des projets, il est clair que la fabrication ex-gypse ne peut être retenue. Les investissements d'installation considérables suffisent à annuler tout espoir d'obtenir le produit effectivement désiré, l'acide sulfurique, à un prix raisonnable, même avec l'hypothèse de conditions de vente favorables pour le sous produit, d'un poids considérable, que représente le ciment.

Sur le plan "balance devises", le procédé paraît attractif, mais les charges payables en devises comme l'entretien du matériel et divers frais d'exploitation viennent restreindre l'intérêt du facteur matière première locale.

Le procédé, séduisant, ne peut donc être considéré après examen approfondi, comme viable dans l'économie tunisienne.

De plus, si l'on analyse les seules installations qui aient réellement fait leurs preuves, celles de MARCHON, force est de constater que la physionomie de cette exploitation est à peu près la suivante ; dans une région puissamment industrialisée une équipe d'une exceptionnelle compétence technique, et d'une longue expérience, assistée de services commerciaux énergiques et habiles, a pu, dans des circonstances très favorables pour la vente de ciment sur un marché national, faire passer à la société les caps difficiles de baisses des cours du soufre, en épuisant toutes les ressources utilisables pour améliorer le procédé et reculer les limites de non-rentabilité.

Ces circonstances sont très éloignées de celles qui prévaudraient en Tunisie.

Pyrite et soufre, dans une certaine mesure se tiennent, et le grand nombre des variables rend l'étude un peu complexe. Pourtant, il semble bien qu'il faille opter pour le soufre, dans les conditions actuelles et pour celles que l'on peut raisonnablement prévoir dans les dix années qui viennent.

En effet : pour la pyrite, un handicap est certain car il y a toute raison de penser que la vente des cendres sera de plus en plus difficile et de moins en moins rémunératrice.

Quant aux prix des pyrites, ils suivent ceux du soufre, il faut bien le reconnaître, et si l'on tient compte des prix pratiqués depuis dix ans pour le soufre et pour la pyrite, on ne peut pas démontrer qu'il y a un "gain" à utiliser la pyrite importée. L'utilisation d'une pyrite locale changerait la physionomie du problème.

Quant à l'investissement pour une installation ex-pyrite, il est sensiblement double de celui nécessaire pour une installation ex-soufre.

Peut être grâce à cet investissement supérieur l'utilisateur de pyrite, en se mettant à l'abri de variations trop brutales du prix du soufre, s'assure une certaine tranquillité d'exploitation, toujours menacée toutefois par la vente aléatoire des cendres.

Pour le soufre, produit inquiétant par les sautes spectaculaires de ses cours, il faut bien tenir compte de l'analyse que nous avons signalée : les producteurs de longue date ont tout intérêt à tenir un marché stable, et la spéculation semble bien avoir été l'oeuvre de nouveaux producteurs concurrents.

Le soufre garde pour lui l'avantage économique immédiat de l'investissement initial le plus léger et de l'exploitation technique sans problèmes : sur une période de dix ans les hausses ont été aussi spectaculaires que les baisses et, à long terme, le procédé ne semble pas plus coûteux que celui utilisant la pyrite.

Des trois matières premières qui ont été étudiées, il ne reste donc par élimination que le soufre pour produire en Tunisie l'acide sulfurique désiré, dans l'état actuel des techniques qui peuvent bien entendu évoluer.

D'autres procédés, utilisant d'autres matières premières pourront ainsi être étudiés avec profit dans un avenir très proche : les usines pilotes traitant le phosphogypse selon des procédés modernes vont donner sous peu des résultats d'exploitation, et une étude approfondie de cette question paraît recommandable.

Enfin, rappelons-le, la présente étude suppose un déficit d'acide sulfurique, acide destiné à l'attaque des phosphates ; mais d'autres procédés de valorisation des phosphates peuvent être étudiés comme celui de l'attaque nitrique pour la production d'engrais complets dont la demande croît constamment.

ANNEXES

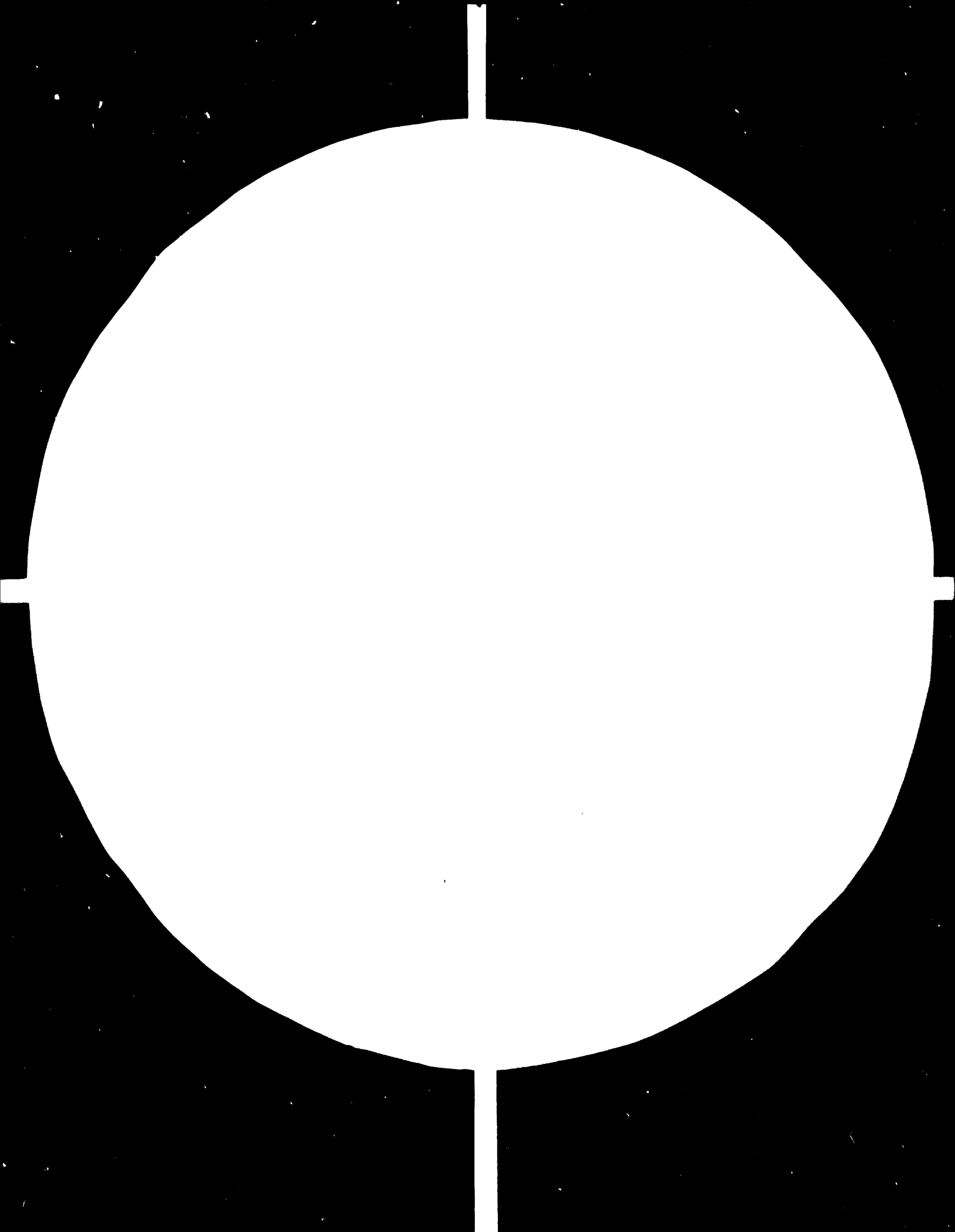
B-553



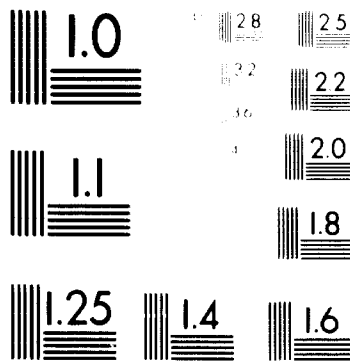
84.11.07

AD.86.07

ILL4.0+10



2 OF 2



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

24x
F

A N N E X E IINVESTISSEMENTS POUR LE SOUFRE :

Nous avons disposé de deux sources de renseignements, de caractère essentiellement différent :

- l'une est une estimation figurant dans l'étude de la Stanley Engineering Co., et donnée aux fins de comparaison avec les différents procédés utilisant le gypse ;

- l'autre est une estimation globale de la CTIP pour le complexe de Gabès, (fabrication d'acide phosphorique et d'engrais phosphatés) estimation soigneusement révisée par les ICM, et dont nous avons extrait les chiffres correspondants à un atelier d'acide sulfurique utilisant le soufre.

Nous examinerons successivement les deux estimations, et nous en déduirons une estimation C.N.E.I comportant l'ensemble des rubriques que nous avons prises en compte dans l'étude de l'investissement nécessaire pour une installation utilisant la pyrite.

Comme pour la pyrite, nous adjoindrons une centrale électrique pour obtenir des conditions aisément comparables de vents des sous produits "énergie".

1.1. Estimation Stanley Engineering Co. :

Nous reproduisons ci-après le tableau des investissements donné par la Stanley Engineering Co., et correspondant au coût de construction d'une usine d'acide sulfurique.

Cette estimation date de 1967.

T A B L E A U 1ESTIMATION STANLEY ENGINEERING CO. (1967)

(Valeurs en milliers US \$)

1. Aménagement du terrain et de l'emplacement	40
2. Bâtiments	
a) Emmagasinage du soufre	100
b) Compresseur	85
c) Contrôle	45
3. Matériel de fabrication	
a) Manutention du soufre	195
b) Combustion du soufre	315
c) Conversion du Gaz	860
d) Absorption du Gaz	1.293
e) Emmagasinage du produit intermédiaire	262
f) Emmagasinage de l'acide fini	575
4. Tuyauterie	680
5. Services auxiliaires	
a) Electrique	340
b) Vapeur, eau et égouts	410
6. Divers	100
7. Intérêts en cours de construction et frais d'organisation	350
<u>TOTAL</u> 1000 US \$	<u>5.650</u>
Soit en D.T.	2.966.250

Source : Rapport de la STANLEY ENGINEERING COMPANY, intitulé "Fabrication de l'acide sulfurique à partir du Phospho-gypse ou du Gypse naturel", daté du 22 Novembre 1967 (Contrat PIO/T No. 664-30083, en date du 19 Septembre 1965 entre la Stanley Engineering CO. et le Secrétariat d'Etat au Plan et à l'Economie Nationale.

1.1.2. Estimation CTIP - ICM :

Nous donnons, dans les tableaux 2 et 3, les estimations CTIP et ICM relatives au complexe des Industries Chimiques Maghrébines (acide sulfurique et acide phosphorique).

Bien que la capacité nominale soit de 284.000 tonnes, il a été prévu que pendant dix années l'usine fonctionnerait à 110 % de cette capacité, ce qui conduit à une production de 321.000 tonnes d'acide sulfurique. Comme les premières années sont par ailleurs comptées à une capacité de 70 et 90 % de la capacité nominale, nous estimerons que globalement l'usine a une Capacité moyenne de 300.000 tonnes/an d'acide et qu'elle est parfaitement comparable sous le rapport de la capacité à l'usine considérée dans l'étude Stanley.

La comparaison des estimations de CTIP et d'ICM pour les investissements s'établit de la manière suivante : (valeurs en milliers de dollars)

	<u>C.T.I.P.</u>	<u>I.C.M.</u>	<u>Rapport ICM/CTIP</u>
- Investissements techniques ...	15.000	11.700	0,78
- Investissements associés	2.460	1.600	0,65
Total investissements techniques et associés	17.460	13.300	0,76
- Fonds de roulement	4.240	2.700	0,64
Investissement total	21.700	16.000	0,74
Soit en D.T.	11.393	8.400	

Dans l'ensemble, l'estimation ICM est de 26 % inférieure à celle de CTIP. Elle prend en compte en effet certains avantages conjoncturels, (terrain et infrastructure, douanes mentionnées par mémoire) et elle réduit à juste titre dans des proportions importantes certains postes manifestement surestimés par CTIP (Frais de premier établissement).

Pour l'établissement des investissements correspondant en propre à l'atelier d'acide sulfurique, nous nous basons sur l'estimation ICM que nous considérons comme une version mise à jour de l'estimation CTIP à laquelle nous ajouterons certaines rubriques nécessaires pour une usine non intégrée à un complexe.

T A B L E A U 2

ESTIMATION C.T.I.P. (67)

(Complexe d'engrais chimiques comportant une usine d'acide sulfurique de 284.000 t par an)

(Valeurs en milliers de US \$)

1.	Unité 500	acide sulfurique	2.200	
2.	" 600	acide phosphorique)		
3.	" 650	concentration et stockage (....	4.200	
		acide phosphorique)		
4.	" 1000	stockage et manutention des produits finis et matières premières	100	
				6.500
5.	Unité 1100	air comprimé	100	
6.	" 1200	eau de forage-eau déminéralisée	300	
7.	" 1300	centrale thermique	200	
8.	" 1400	eau de mer	200	
9.	" 1500	interconnexions enterrées	80	
10.	" 1600	interconnexions aériennes	500	
11.	" 1700	bâtiments-atelier d'entretien .	170	
12.	" 1800	distribution énergie électrique	200	
				1.750
13.	Travaux de génie civil	2.700		
14.	Terrain et infrastructures	100		
15.	Achat de licences	330		
16.	Coût de l'engineering	1.200		
17.	Transports	800		
18.	Taxes douanières	670		
				5.800
19.	Imprévus 7 % environ		14.250	
			950	
	INVESTISSEMENTS TECHNIQUES		15.000	
20.	Frais d'établissement ICM	900		
21.	Intérêts intercalaires jusqu'à la fin du montage	1.060		
22.	Personnel de mise en marche	200		
23.	Coût du démarrage	300		
	INVESTISSEMENTS ASSOCIES		2.460	
	INVESTISSEMENTS TECHNIQUES ET ASSOCIES ...		17.460	
24.	Pièces de rechange	600		
25.	Réserves spéciales	600		
26.	Matières premières	2.500		
27.	Charges fixes	540		
	FONDS DE ROULEMENT		4.240	
	INVESTISSEMENT TOTAL EN 1000 US\$		21.700.	

	Soit en D.T.		11.392.500	

T A B L E A U 3ESTIMATION I.C.M

(Complexe d'engrais chimiques comportant une usine d'acide sulfurique de 284.000 t par an et une unité d'acide phosphorique) projet évolué.

(Valeur en milliers US\$)

INVESTISSEMENTS TECHNIQUES

1. Acide sulfurique	2.200.000	
2. Acide phosphorique et stockage	3.500.000	
3. Stockage du soufre	100.000	
	<u>5.800.000</u>	5.800.000 \$
4. Air comprimé	70.000	
5. Eau industrielle	200.000	
6. Centrale thermique	200.000	
7. Eau de mer	140.000	
8. Interconnexions enterrées	350.000	
9. Interconnexions aériennes		
10. Ateliers et laboratoires	170.000	
11. Distribution d'énergie	200.000	
	<u>1.330.000</u>	1.330.000 \$
12. Génie Civil	1.900.000	1.900.000 \$
13. Terrain et infrastructures	Pour mémoire	
14. Engineering	800.000	
15. Licences	330.000	
16. Transport	800.000	
17. Douane	Pour mémoire	
	<u>1.930.000</u>	1.930.000 \$
18. Contingences	740.000	740.000 \$
		<u>11.700.000 \$</u>

INVESTISSEMENTS ASSOCIES

19. Frais de 1er établissement	300.000	
20. Intérêts intercalaires	850.000	
21. Frais de mise en route	450.000	
	<u>1.600.000</u>	1.600.000 \$

Investissements techniques et associés 13.300.000 \$

FONDS DE ROULEMENT

22. Pièces de rechange	1.000.000	
23. Fonds de roulement proprement dit	1.700.000	
	<u>2.700.000</u>	2.700.000 \$

INVESTISSEMENT TOTAL EN 1000 US\$ 16.000.000 \$

Soit en D.T.

8.400.000

La part des investissements du complexe qui sera affectée au propre à l'acide sulfurique correspondra dans l'ensemble à la part des équipements de production de l'unité sulfurique dans le total des équipements, c'est-à-dire :

$$\frac{2.300.000 \text{ US\$}}{5.800.000 \text{ US\$}} = 0,397 \text{ soit } 40 \%$$

En effet (voir annexe 3) les investissements techniques correspondants à la production d'acide se décomposent de la manière suivante :

1. Unité d'acide sulfurique : 2.200.000 US\$

3. Stockage du soufre : 100.000 US\$

TOTAL : 2.300.000 US\$

alors que le total des rubriques 1, 2, 3 de l'annexe est de 5.800.000 US\$.

T A B L E A U 4

ESTIMATION DU CENTRE NATIONAL D'ETUDES INDUSTRIELLES
POUR UNE USINE D'ACIDE SULFURIQUE UTILISANT LE SOUFRE

<u>INVESTISSEMENTS TECHNIQUES.</u>	Milliers de US \$	<u>Devises</u>	<u>Monnaie locale</u>
Stockage du soufre et équipements de l'unité sulfurique	2.300.000	2.300	
Stockage de l'acide	290.000	290	
Utilités	530.000	500	30
Pièces de rechange (10% environ des équipements)	300.000	300	
Génie Civil	760.000	60	700
Centrale électrique	740.000 (1)	600	140
Engineering	320.000	320	
Licences	130.000	130	
Transport	380.000	300	80
Formalités douanières et frais de débarquement (3% env. des équip.)	100.000		100
Terrains et infrastructures	100.000		100
	<u>5.950.000</u>		
Imprévis 5 %	300.000	200	100
Investissements techniques	<u>6.250.000</u>		
 <u>INVESTISSEMENTS ASSOCIES.</u>			
Frais de premier établissement ..	120.000		120
Intérêts intercalaires	400.000	300	100
Frais de mise en route	50.000		50
Investissements associés	<u>570.000</u>		
Investissements techniques et associés	6.820.000		
 <u>FONDS DE ROULEMENT.</u>			
Soufre (4 mois de consommation, 3 mois de crédit fournisseur, 50 \$ la tonne	450.000	450	
Acide sulfurique : 15.000T à 20\$	300.000		300
	<u>750.000</u>		
<u>INVESTISSEMENT TOTAL EN 1000 US \$</u>	<u>7.570.000</u>	<u>5.750</u>	<u>1.820</u>
Soit en D.T.	3.974.250		

(1) N.B. Les puissances étant très sensiblement les mêmes, nous avons repris les chiffres qui ont été adoptés pour la centrale de l'usine utilisant la pyrite :

US\$ 600.000 départ usine
60.000 transport
140.000 dépenses locales

US\$ 800.000 O.S.B.L.

ANNEXE IIINVESTISSEMENTS POUR LE GYPSET A B L E A U 6ESTIMATION STANLEY ENGINEERING COMPANY

	<u>Dollars</u>
1. Aménagements du terrain et de l'emplacement	80.000
2. Bâtiments	
a) fabrication	1.100.000
b) pont roulant	1.658.000
c) emmagasinage	902.000
3. Matériel de fabrication	
a) Moyens de désulfuration et de production de ciment :	
- concassage (gypse et ciment)	1.001.000
- broyage (gypse et ciment)	624.500
- mélange	516.000
- four rotatif.....	1.065.000
- finition	935.200
- emballage	274.500
- filtres à gaz et précipitateurs	1.239.000
- silos	1.980.000
- dépenses diverses	402.500
b) Moyens de purification du gaz bioxyde de soufre ..	1.326.800
c) Groupes de conversion du bioxyde de soufre	4.790.000
4. Ateliers et laboratoires	218.500
5. Services auxiliaires	
a) électrique	1.006.000
b) vapeur, eau, égouts	723.000
6. Divers	358.000
7. Intérêts en cours de construction et frais d'organi- sation	1.220.000
<u>TOTAL</u>	<u>US\$ 21.420.000 \$</u>
Soit en D.T.	D.T. 11.245.500

T A B L E A U 7

E S T I M A T I O N V O E S T

	<u>Dollars</u>
A. <u>Dépenses relatives au Génie Civil</u>	
Bâtiments, fondations	2.417.731
B. <u>Dépenses relatives aux équipements</u>	
a) <u>Unité de ciment</u>	9.152.155
Stock matières premières et traitement, fabrication de la poudre orue, fours, chauffage et purification électrique des gaz, broyage du ciment et chargement.	
b) <u>Unité d'acide sulfurique</u>	3.982.617
Agent de contact et groupe de secours	
c) <u>Installations secondaires</u>	1.463.647
Laboratoires et atelier d'entretien, instrumentation, traitement d'eau, stock à l'huile et tuyauterie.	
d) <u>Pièces de rechange</u>	<u>159.079</u>
	14.758.498
C. Montage et mise en service	3.434.534
D. Licence, engineering, étude générale et développement, Know-How	<u>1.435.772</u>
<u>T O T A L</u> US\$	22.046.535
Soit en D.T.	11.574.430

T A B L E A U 8E S T I M A T I O N B I P R O K W A SC I M E N T E R I E .

	<u>Dollars</u>
<u>Appareillage et machines (Montage compris) :.....</u>	8.780.000 \$
<u>Bâtiments, génie civil</u>	3.330.000 \$
	<hr/>
<u>S/TOTAL</u>	12.110.000 \$

U S I N E D ' A C I D E S U L F U R I Q U E .

<u>Appareillage et machines (montage compris)</u>	10.400.000 \$
<u>Bâtiments, génie civil</u>	705.000 \$
	<hr/>
<u>S/TOTAL</u>	11.105.000 \$

S E R V I C E S G E N E R A U X .

Appareillage électrique et de mesure	3.400.000 \$
Voie ferrée, routes, places	686.000 \$
Carrières de gypse, mines de sable et d'argile ..	482.000 \$
Ateliers, magasins, bâtiments d'administration, service d'eaux et sanitaires	2.424.000 \$
	<hr/>
<u>S/TOTAL</u>	6.992.000 \$

T O T A L US \$ 30.207.000

Soit en D.T. 15.860.000

T A B L E A U 9COMPARAISON DES INVESTISSEMENTS

(en dollars)

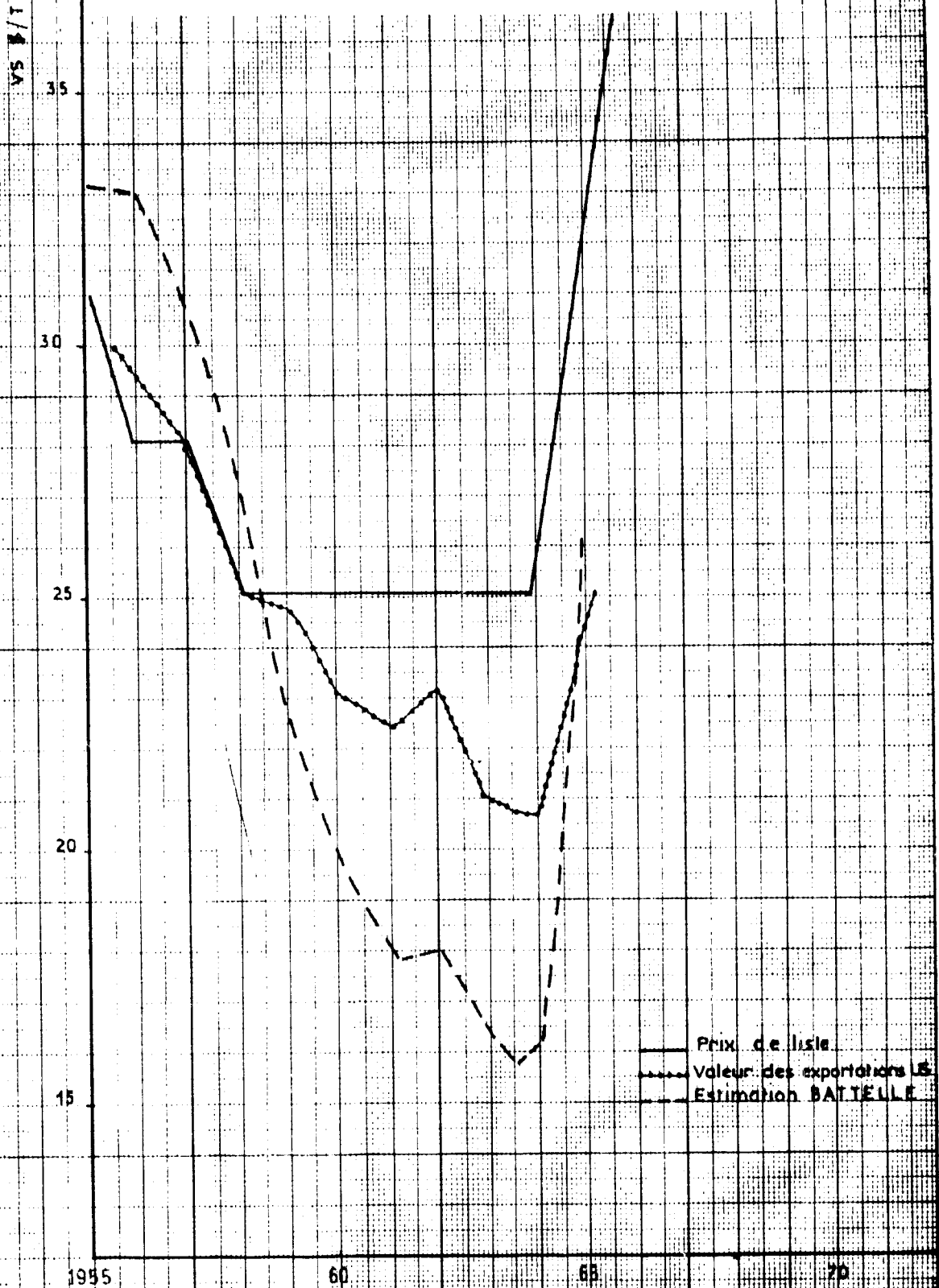
Source	Stanley (67)	Veest (69)	Biprokwas (69)
Spécifications			
Equipements de production	14.154.500	18.005.078	22.580.000
dont : Cimenterie	6.798.700	9.152.155	8.780.000
Unité sulfurique	7.355.800	3.982.617	10.400.000
Appareillage			3.400.000
Montage et mise en route		3.434.534	
Engineering et brevets		11.435.772	
Génie Civil	3.740.000	2.417.731	4.035.000
Cimenterie			3.330.000
Unité sulfurique			705.000
Installations secondaires	2.305.500	1.463.647	12.424.000
<u>TOTAL COMPARABLE</u>	<u>20.200.000</u>	<u>21.886.456</u>	<u>29.039.000</u>
Rubriques individualisées			
Carrières de gypse, sable et argile, voie ferrée			482.000 686.000
Pièces de rechanges		159.079	
Intérêts intercalaires	1.220.000		
<u>TOTAL INITIAL</u>	<u>21.420.000</u>	<u>22.045.535</u>	<u>30.207.000</u>

T A B L E A U 10
ESTIMATION C. N. E. I.
 (Valeurs en milliers de dollars)

	<u>US\$</u>	<u>Devises</u>	<u>Monnaie locale</u>
Equipements producteurs	13.240	13.240	
Génie Civil	2.420	200	2.220
Pièces de rechange (10 % Eq. production)	1.320	1.320	
Installations secondaires			
- Génie Civil	460		460
- Equipements	900	900	
Montage et mise en route	3.430	2.000	1.430
Engineering et brevets	1.440	1.440	
	<u>23.210</u>		
Transports	1.500	1.000	500
Terrains et infrastructures	200		200
Formalités douanières et frais d'acheminement 3 %	390		390
	<u>25.300</u>		
Imprévus (5 % app)	1.200	900	300
TOTAL INVESTISSEMENTS TECHNIQUES	26.500		
Frais d'établissement	500		500
Intérêts intercalaires (3 ans de construction)	2.500	2.000	500
Mise en marche	<u>200</u>		200
TOTAL INVESTISSEMENTS TECHNIQUES ET ASSOCIES..	29.700		
<u>FONDS DE ROULEMENT</u>			
Matières premières	300		300
Ciment (10.000 T à 10 \$)	100		100
Acide sulfurique (15.000 T à 20 \$)	<u>300</u>		30
	<u>700</u>		
INVESTISSEMENT TOTAL US \$	<u>30.400</u>	<u>23.000</u>	<u>7.400</u>
soit en D.T.	15.960.000	12.075.000	3.885.000

PRIX DU SOUFRE ELEMENTAIRE

(F.O.B. Galveston en US \$ courants au 1 Juillet de chaque année)



Estimation BATTELLE FIG. 1

A N N E X E I I I

3. VARIATIONS DES PRIX DU SOUFRE ET DE LA PYRITE

La Tunisie n'ayant pas de source propre de matières sulfureuses reconnues à l'heure actuelle, c'est bien la seule crainte des variations des prix du soufre qui peut éloigner l'utilisateur d'un procédé qui présente les avantages d'un investissement minimum et d'une technique simple.

Il importe donc de vérifier qu'elles ont été réellement les variations de prix comparées du soufre et de la pyrite.

3.1. Variations des prix du soufre :

a) Evolution au cours des 10 dernières années :

BATTELLE a fourni une étude particulièrement détaillée sur cette question dans son "RAPPORT DE L'EVOLUTION DE L'INDUSTRIE DU SOUFRE", daté de Mars 1966 - Février 1967.

Notons :

- qu'il n'existe pas de bourse mondiale des deux matières premières sulfureuses faisant l'objet d'un commerce international : soufre et pyrites,

- que les prix sont discutés et les marchés se traitent au niveau de la direction générale, car les contrats sont relativement peu nombreux,

- que ce prix négocié n'est pas révélé et que les journaux d'informations industrielles publient un "prix de liste" (quoted price) donnant la tendance à la hausse ou à la baisse, en adoucissant les fluctuations réelles.

Les écarts entre prix réels et prix "affichés" peuvent atteindre 50 % : alors que le prix réel descendait aux environs de 16 \$ au milieu de 1963, le prix de liste resterait fixe à 25 \$. En fait le prix de liste n'a été à considérer que pendant les périodes stables.

Nous donnons, fig 1, les variations du prix de liste, et l'estimation BATTELLE pour la période 1950-1965 et dans le tableau 13 les renseignements fournis par "Information Chimie" (Janvier 1969).

b) Prévisions pour 1975 :

Il est estimé que tant que la production de soufre est entre les mains d'un oligopole, le prix reste relativement bas et stable, pour que les utilisateurs ne se tournent pas vers d'autres sources de matières sulfureuses.

Si par contre le marché devient concurrentiel par suite de l'arrivée de nouveaux producteurs, des crises cycliques prennent naissance, les nouveaux arrivants désorganisant le marché pour y prendre place et chacun spéculant ensuite en fonction de l'évolution de ses stocks.

Dans ces conditions BATTELLE estime que les premières années de la décade 70 verront sans doute encore quelques perturbations (arrivée de la Pologne et de l'Irak comme producteurs, désir de nombreuses raffineries de récupérer le soufre contenu dans leurs bruts pétroliers) mais que, en 1975, la politique traditionnelle des firmes américaines prévaudra sur le marché mondial, et sera adoptée par tous les partenaires.

Les prévisions données début 1967 par BATTELLE sont donc :

- à court terme baisse des prix, ce qui s'est effectivement réalisé, sensiblement à l'époque indiquée dans le rapport ;
- à long terme stabilisation à un prix de 30 \$ FOB Golfe du Mexique, prix résultant de l'évolution de divers facteurs.

Actuellement la tendance à la baisse s'est encore accentuée puisque les derniers prix relevés (Janvier 1970) sont de 26 \$ CIF rendu usine tunisienne, ce qui correspond à moins de 20 \$ FOB Golfe du Mexique.

c) Conclusion :

Si l'on considère l'ensemble des résultats avancés par BATTELLE, on peut conclure que les variations très fortes du prix du soufre sont certaines, mais qu'elles sont cycliques (période de 6 à 7 ans), de sorte qu'une installation de fabrication d'acide sulfurique qui a une durée de vie de dix à 20 ans en verra plusieurs.

T A B L E A U 13Variations des prix du soufre

(Prix de liste FOB Galveston)

(en Dollars)

Année	Source : BATTELLE	Source : Information Chimie Janv. 1969
1959	25	23
1960	25	23
1961	25	23
1962	25	23
1963	25	23
1964	25	23
1965	31	30
1966	39	31
1967	-	32
1968	-	38
1969	-	

Variations du prix de la pyrite Rio-Tinto

Années	Prix FOB HUELVA en \$/t
1959	8,99
1960	8,47
1961	8,47
1962	8
1963	7,51
1964	7,51
1965	9,25
1966	11,59
1967	11,97
1968	11,22
1969	11,22
1970 (Pée)	9,85

EVOLUTION COMPAREE DU PRIX DU SOUFRE ELEMENTAIRE ET DES PYRITES

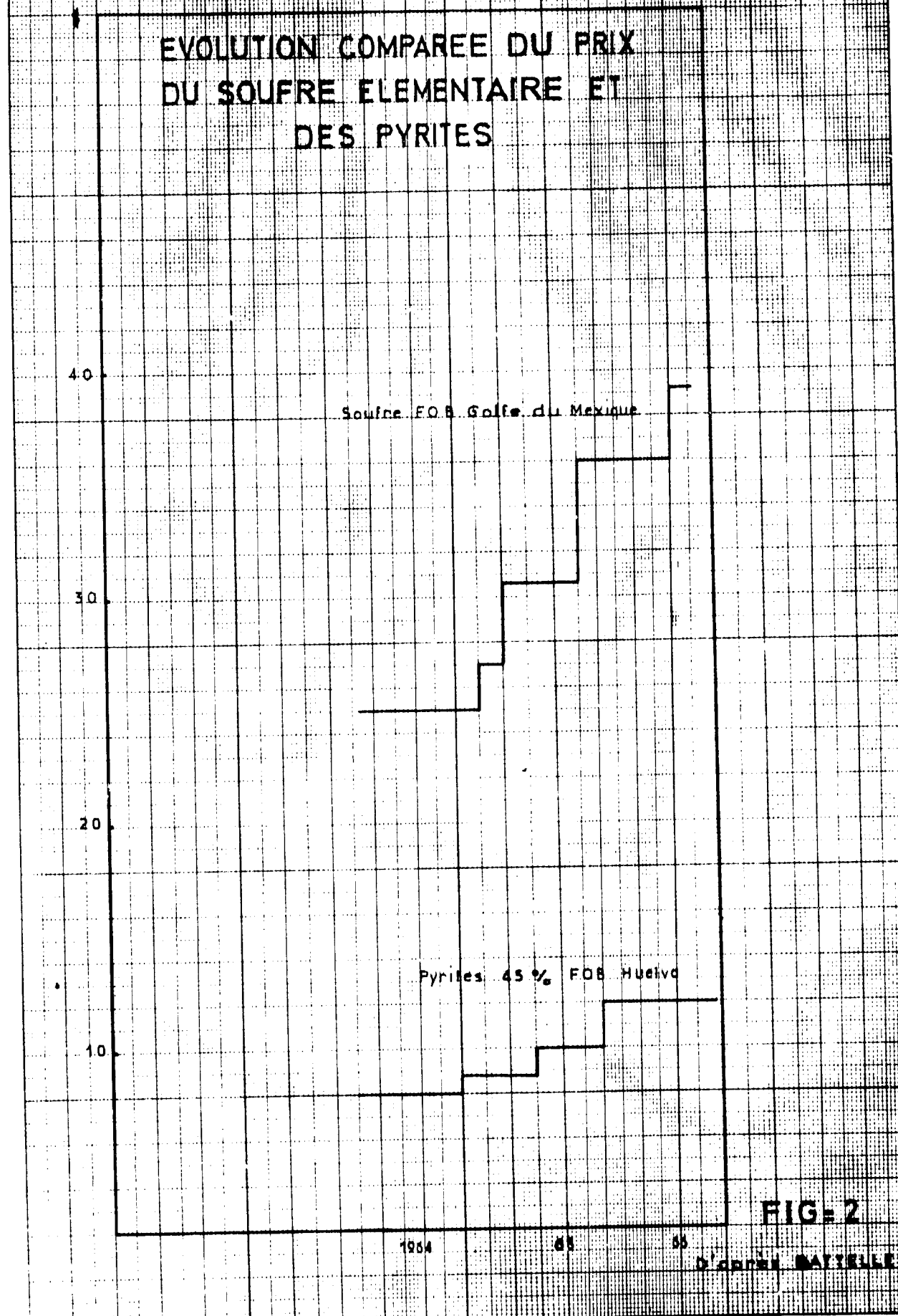


FIG. 2

D'après MATIELLE

D'autre part, les pointes extrêmes peuvent certainement être très adoucies par la négociation de contrats à long terme, non pas à prix constants comme il est mentionné quelquefois, mais à prix révisables tous les six mois ; d'autres facteurs comme le désir de la stabilité des approvisionnements et des fournitures interviennent alors pour tempérer les excès de la spéculation.

3.2. Variations des prix de la pyrite :

Selon BATTELLE, la pyrite ne fait que suivre l'évolution des cours du soufre ; nous reproduisons le graphique correspondant à l'évolution comparée du prix du soufre élémentaire et des pyrites. Mais dans ce graphique c'est le prix de liste qui a été pris pour le soufre. Or il est admis par ailleurs que le prix de liste ne peut correspondre à la réalité que pendant les périodes stables ; dans cette période de hausse rapide, le soufre a en fait atteint des prix très nettement supérieurs aux prix de liste.

Nous pensons donc que, même si, comme il est normal, le prix de la pyrite suit bien les variations du prix du soufre, la courbe de variations est beaucoup plus adoucie, et l'acheteur de pyrites se trouve dans une certaine mesure à l'abri de la spéculation.

3.3. Influence du frêt :

1/ Pyrites : le frêt HUELVA port tunisien est d'environ 2,60 \$ par tonne de pyrites.

2/ Soufre : le soufre, pour la Tunisie, pourrait avoir des provenances fort diverses. Nous donnons ci-dessous quelques exemples de valeurs de frêt selon les pays de provenance et de destination :

a) Du Golfe du Mexique, port US à Gênes, Italie : 5,60 \$/t.

Puis selon les tonnages : 6,65 \$/t. (pour 15.000 tonnes)

6,35 \$/t. (pour 18.000 tonnes)

6,10 \$/t. (pour 20.000 tonnes)

b) De Pologne (Gdansk)

à Thessaloniki (Grèce) 6,75 \$/t. (pour 10.000 tonnes)

à Santos (Brésil) 10,40 \$/t. (pour 5.250 tonnes)

à Porto Marghera (Italie) 6,15 \$/t. (pour 14.000 tonnes)

c) De Canada (Vancouver)

à port Inde de l'Ouest 14,50 \$/t. (pour 14.500 tonnes)

On peut donc considérer que les frêts seraient pour la Tunisie :

- de 2,60 \$/T. pour les pyrites
- de 6 \$/T., pour le soufre avec beaucoup de probabilités, même si certaines sources d'approvisionnement en soufre sont moins éloignées que le continent Américain ou la Pologne (Soufre de Lacq).

Le frêt, soumis également à des crises mondiales, peut intervenir d'une manière notable dans le coût total de l'acide sulfurique produit.

A N N E X E I VCOÛTS DE PRODUCTION A PARTIR DES DIFFERENTES MATIERES PREMIERES4. MATIERE PREMIERE SOUFRE4.1. Bases de calcul :

Nous disposons des renseignements extraits des trois sources mentionnées (Stanley Engineering Co., CTIP-ICM, Voest). Nous les avons reproduits sous leur forme originale dans les tableaux 12, 13 et 14.

Nous ferons les remarques suivantes :

4.1.1. Estimation Stanley Engineering Co.

a) Les chiffres de main d'oeuvre sont peut-être un peu faibles (135.000 US\$) mais néanmoins admissibles.

b) Les chiffres correspondant à l'entretien ont été discutés dans l'étude de technique de la fabrication d'acide sulfurique à partir de pyrite, nous renvoyons à ces considérations un minimum de 5 % est nécessaire.

c) L'assurance est un peu plus forte que celle qui a été considérée dans la partie A.

d) L'intérêt du fonds de roulement est de 6 % alors que nous avons retenu 8 %.

e) Le crédit énergie a été longuement discuté dans l'étude précédente. L'amortissement et les charges financières sont comptés pour une durée de vie de 20 ans.

4.1.2. Estimation Voëst

- le coût de personnel, d'un montant annuel de 160.000 US \$ parait adapté aux conditions tunisiennes, compte-tenu des estimations faites pour l'usine utilisant la pyrite.
- Entretien : avec 350.000 Dollars par an, il représente plus de 5 % des investissements techniques ; il est donc compté largement.

4.1.3. Estimation C.T.I.P.

Aucune remarque.

N.B. Mettons à part :

- a) les dépenses correspondant à la consommation de soufre
- b) les frais correspondant au poste amortissements et charges financières.

Nous obtenons les résultats suivants :

	STANLEY	OTIP	VOEST
Soufre	22,10	15,266	15,300
Autres dépenses	0,810	1,620	1,183
Amortissements et charges financières	1,050	2,254	3,000
Coût de production	23,96	19,140	19,483

Nous constatons qu'abstraction faite des dépenses correspondant au soufre (prix de la tonne de soufre différent pour Stanley) et du poste amortissements et charges financières (Critères et investissements différents), les autres dépenses nettes se situent entre 0,81 et 1,62 dollars et présentent une fourchette satisfaisante, en dépit :

- des différences de conception et de structure (OTIP présente une comptabilité analytique pour l'acide sulfurique dans le cadre d'un complexe);
- des critères de classement différents et d'une évaluation difficilement comparable de postes qui se compensent ou se chevauchent (Crédit vapeur et consommation d'eau de chaudière
Frais de personnel et évaluation de l'entretien).

4.2. Estimation C.N.E.I.

A partir des données que nous venons de résumer il s'agit d'établir une formule générale donnant le prix de revient de la tonne d'acide en fonction du prix de la tonne de soufre pour une usine de 300.000 tonnes/an.

Comme nous l'avons fait précédemment, nous devons choisir l'une des estimations, la compléter s'il y a lieu, rectifier les chiffres pour les adapter aux conditions locales, sans toutefois modifier des chiffres de consommations qui sont d'ordre technique, et par conséquent propres au procédé considéré, et pour lesquels il est impératif de s'en tenir aux données du constructeur. (Consommation de soufre ou des diverses utilités).

Nous ne suivrons pas la démarche de calcul de CTIP, qui est propre à l'établissement du coût de fabrication à l'intérieur d'un complexe à produits multiples.

Restent les estimations de Stanley Engineering Co. et de Voest.

Nous retiendrons celles de Voest qui sont les plus proches des conditions tunisiennes pour l'ensemble des postes.

Compte tenu de l'utilisation d'une centrale électrique pour transformer l'énergie vapeur en énergie électrique plus facilement commerciable, nous apporterons les modifications suivantes :

Eau de condensation : Quantité par tonne d'acide : $0,14 \text{ m}^3$ (Seulement 10 % pour appoint) soit 0,007 \$ par tonne.

Energie électrique : non facturée car produite par l'usine.

Main d'oeuvre : Nous estimerons les effectifs à 75 personnes (contre 124 pour l'installation utilisant la pyrite) soit sensiblement 150.000 US \$ annuels.

Service du capital : Pour l'amortissement et les charges financières, nous prendrons en compte le même taux moyen que celui résultant des conditions de financement adoptées dans l'étude sur la

pyrite, soit 11,5 % de l'investissement total,
c'est à dire :

$$\frac{7.570.000 \times 11,5\%}{300.000} = 2,90 \text{ \$/t.}$$

Crédit énergie : L'usine telle qu'elle est envisagée disposera
d'une centrale produisant 50 millions de KWH
par an, très sensiblement. (Comme celle utilisant
la pyrite).

La consommation d'énergie, selon l'estimation de VOEST, est de 30 KWH
par tonne d'acide, soit pour l'année de 9×10^6 KWH.

Les surplus représentent donc 41 millions de KWH.

Ces surplus, comme nous l'avons vu pour l'installation utilisant la
pyrite, 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).

L'énergie étant vendue par la STEG aux gros consommateurs à 12 \$ le MWH,
on peut estimer que 10 \$ constitue un plafond pour le prix de vente des sur-
plus d'énergie, ce qui donne un crédit par tonne d'acide de :

$$\frac{41 \times 10^3 \times 10}{3 \times 10^5} = 1,35 \text{ \$/t.}$$

TABLEAU 14

ESTIMATION STANLEY ENGINEERING CO

Emplacement : Sfax - Tunisie.

Capacité : 300.000 Tonnes Métriques d'acide sulfurique par an.

Marche : 330 jours par an,
24 Heures par jour.

Coût de l'usine 6.000.000.

Frais d'exploitation	Unité	Quantité par tonne métrique d'acide	Coût par unité de matière	Dollars par tonne métrique d'acide
<u>Fabrication</u>				
<u>Matières premières</u>				
Soufre.....	Tonne	0,34	\$ 65,00*	\$ 22,10
Eau.....	1000 gallons	0,200	0,12	0,02
<u>Main d'oeuvre</u>				
Opérateurs	Heure de main d'oeuvre	0,30	0,80	0,24
Supervision.....	Heure de main d'oeuvre	0,03	1,30	0,04
<u>Services :</u>				
Eau.....	1000 gallons (4m ³).	6,6	0,05	0,33
Energie électrique..	Kwh.	8,8	0,025	0,22
Fournitures.....	0,8 % du coût de l'usine par an.			0,15
Entretien.....	3 % du coût de l'usine par an.			0,57
Assurance.....	0,5 % du coût de l'usine par an.			0,09
Administration générale	60 % de la main-d'oeuvre de production.			0,17
Intérêts du capital de roulement.....	6 % du capital de roulement			0,11
			Total partiel	\$ 24,04
Crédit pour vapeur résultant du brûlage du soufre				- 1,02
			TOTAL	\$ 23,02
Charges financières..	5 % du coût de l'usine par an			0,94
FRAIS TOTAUX D'EXPLOITATION.....				\$ 23,96

TABLEAU 15

ESTIMATION VORST

CAPACITE : 330.000 TONNES AN D'ACIDE SULFURIQUE A PARTIR DU SOUFRE NATUREL

FRAIS D'EXPLOITATION	Quantité par t H ₂ SO ₄	Prix US \$/t matière	US \$/t H ₂ SO ₄
<u>Matière première</u>			
Soufre élémentaire.....	0,340 t	45,000	15,300
<u>Frais de traitement</u>			
Eau de chaudière.....	1,370 m ³	0,050/m ³	0,069
Vapeur saturée.....	0,070 m ³	1,500/t	0,011
Eau de réfrigération....	24 m ³	0,019/m ³	0,456
Energie électrique.....	30 Kwh	0,0162/Kwh	0,486
Coût de personnel.....			0,481
Entretien.....			1,068
Assurances.....			0,228
Agent de contact.....			0,244
Service de capital.....			3,000
Crédit vapeur.....			- 1,860
Somme coût de traitement			4,183
Coût de production			19,483

TABLEAU 16

ESTIMATION C.T.I.P.

(Production : 284 000 T/A)

Coût de l'unité montée		CONTINGENCES	
Frais de l'étude		FRAIS GENERAUX	
Frais supplémentaires		CAPITAL AMORTISSABLE A	
Frais de mise en route		CAPITAL IMMOBILISE B	
Achats de licence		INVESTISSEMENT TOTAL C	
: \$ 2 360 000		: \$ 250 000	
: \$		: \$ 785 000	
: \$ 380 000		: \$ 3 720 000	
: \$		: \$ 600 000	
: \$		: \$ 4 320 000	
ELEMENTS DE COUT	\$/ Unité	PRODUCTION 100 %	
		Quantité ann.	Coût ann. (\$)
1 SOUFRE		95 970	4 335 450
2 MATIERES PREMIERES			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9 Produits consommables			20 000
10 TOTAL MATIERES PREMIERES			4 355 450
11 VAPEUR B.P.	3,74	137 000	512 400
12 VAPEUR H.P.	3,74	218 700	817 900
13			
14 CATALYSEUR (1)			- 30 000
15 AIR COMPRI ME	0,0337	800 000	- 27 000
16 R.F.W.	3,00	375 000	-1 125 000
17 TOTAL DE SOUS/PRODUITS RECUPERES ...			148 300
18 COUT NET MATIERES PREMIERES (10 - 17)			4 207 150
19 Energie électrique	167/1000	2 803 500	46 800
20 Eau industrielle	0,0791	68 200	5 400
21 Eau de mer	0,00706	24 030 000	169 600
22 Vapeur H.P.	3,74	260	1 000
23 Eau déminéralisée	1,87	4 000	7 500
24 Combustible MAX 400 T/A	1,35	400	5 400
25 Eau douce	0,101	80 100	8 100
26 TOTAL UTILITES			243 800
27 MAIN D'OEUVRE			174 000
28 ENTRETIEN			100 000
29 SERVICES GENERAUX DE L'USINE (Taxes, Assurances)			9 500
30 LOYERS			13 000
31 COUT DE CHARGES FIXES (28 + 29 + 30)			116 500
32 COUT DE LA FABRICATION (18 + 27 + 31)			4 741 450
33 ROYALTUES			
34 AMORTISSEMENTS ET CHARGES FINANCIERES 17,2 o/o A.			640 000
35 INTERETS DU CAPITAL IMMOBILISE o/o B.			
36 FRAIS GENERAUX DE GESTION			55 000
37 COUT DE PRODUCTION ANNUEL (32 + 33 + 34 + 35 + 36)			5 436 450
38 COUT DE PRODUCTION UNITAIRE			19,14

NOTE : (1) CATALYSEUR POUR 10 ANS EQUIVALENT A 30 000 \$/AN

TABLEAU 17

PRODUCTION RTIR DE SOUFRE

RECAPITULATION DES ESTIMATIONS DU CÔTÉ DE PRODUCTION POUR UNE TONNE D'ACIDE

(en US \$)

Spécification	Source	Stanley	Voest	CTIP
I. <u>Dépenses diverses</u>				
Personnel et frais généraux		0,54	0,709	0,886
Matières auxiliaires		0,15	0,255	0,275
		0,69	0,964	1,161
II. <u>Utilités</u>				
Energie électrique		0,22	0,486	0,165
Eau		0,02		0,073
Eau de réfrigération		0,33	0,456	0,597
Eau de chaudière		-	0,069	3,961
Combustible		-		0,019
(A) Total I + II		1,83	1,975	5,976
III <u>Entretien</u>		0,57	1,068	0,352
(B) Total (A) + III		2,40	3,043	6,328
IV. <u>Service du capital</u>		1,05	3,000	2,254
(C) Total (B) + IV		3,45	6,043	8,582
V. <u>Matière première</u>		0,345	0,345	0,345
VI. <u>Crédit vapeur</u>		- 1,02	- 1,860	- 4,684
Coût de production		0,34 \$ + 2,43	0,34 \$ + 1,83	0,34\$ + 3,898

TABLEAU 18

ESTIMATION C.N.F.I.

(à partir de données VORST en US\$)

FRAIS D'EXPLOITATION	Quantité par tonne d'acide	Prix \$/t matière	\$/t d'acide
<u>Matières premières</u>			
Soufre élémentaire			0,34 S
Formalités douanières et frais d'acheminement			0,300
<u>Frais de traitement</u>			
Eau de chaudière	0,14 m ³	0,050/m ³	0,007
Eau de réfrigération	24 m ³	0,019/ m ³	0,456
Vapeur saturée	0,070	1,500/t.	0,011
Energie électrique	30 kwh	" "	" "
Coût de personnel (150 000 US\$ annuels)			0,500
Entretien (4 % Inv. techn.)			0,833
Assurances (1% Inv. techn.)			0,021
Agent de contact			0,244
Frais généraux taxes et dépenses diverses			0,150
Service de capital (11,5 % Inv. total)			2,900
Crédit énergie			1,350
Somme coût de traitement			5,422
Coût de production			4,072+0,34 S

Nous obtenons donc pour formule générale de la dépense totale par tonne d'acide en fonction de S, prix CIF de la tonne de soufre :

$$R = 0,34 S + 4,07 \text{ US } \$$$

ANNEXE VCOUT DE PRODUCTION A PARTIR DES DIFFERENTES MATIERES PREMIERES5. MATIERE PREMIERE GYPSENOTE LIMINAIRE.

Les dépenses d'exploitation correspondent en réalité à la production liée d'acide et de ciment.

Toutefois comme le but recherché est avant tout la production d'acide sulfurique, nous considérerons que la dépense totale par tonne d'acide sulfurique est la somme des dépenses qui sont supportées lorsque l'on a vendu le ciment fabriqué, considéré comme un simple sous produit ⁽¹⁾, même s'il est d'un poids économique considérable puisque certaines études estiment la tonne de ciment à un prix supérieur à celui de la tonne d'acide (BIPROKMAS = tonne de ciment 19 \$ et tonne d'acide 15,68 \$).

Pour estimer cette dépense totale par tonne d'acide, il est donc nécessaire d'évaluer le prix de vente du ciment.

De plus pour les études de balance devises qui sont à effectuer, il est nécessaire d'envisager les deux possibilités :

- Ventes sur le marché intérieur
- Ventes à l'exportation,

la production totale pouvant du reste être répartie entre les deux marchés selon les nécessités ou les possibilités.

5.1 Débouchés et prix de vente possibles du ciment

Les facilités de débouchés du ciment conditionnent étroitement la viabilité de la réalisation, en même temps qu'elles influent lourdement sur les prix praticables à l'exportation.

5.1.1. Exportation :

Les travaux du sous-comité des Matériaux de Construction relatifs à la production, consommation et exportation de ciment indiquent que les aménagements actuels doivent satisfaire la consommation intérieure et permettre à la Tunisie de reprendre sa place d'exportateur.

"Tout projet de nouvelles unités ne doit être envisagée que pour une mise d'exploitation ultérieure à 1972".

Mais les tentatives d'exportation se heurtent à des difficultés très sérieuses : les pays producteurs pratiquent des prix de délestage pour un pourcentage infime de leur production disponible à l'exportation (5 % maximum) ou de dumping comme c'est le cas des pays de l'Est, ce qui a pour effet de baisser considérablement les prix sur le marché international.

D'autre part, les pays traditionnellement importateurs se souciant de plus en plus de leur équipement en cimenteries, réduisent encore les débouchés pour les produits tunisiens.

Sur le plan financier, les ventes à l'exportation entraînent pour l'entreprise tunisienne exportatrice de ciment des pertes de 1,112 D. (2,12 US \$) résultant des conditions suivantes :

Prix de revient du ciment mis à bord (FOB arrimé) :	5,392 D
Prix plancher de vente FOB :	<u>3,780</u>
	1,612
Prime de compensation sur les ciments à l'ex-	
portation :	<u>0,500</u>
Perte définitive :	1,112 D

(1) Les études considérées adoptent également ce mode de présentation.

Il est intéressant de considérer les éléments de coût composant le prix de revient de la tonne à l'exportation :

Fuel	0,528 D
Energie électrique	1,139 D
Main-d'oeuvre	0,608
Entretien et fournitures	0,819
Sacherie	0,820
Chargement et mise à bord	0,400
Charges de structure	<u>1,024</u>
	5,392 D

Cette décomposition fait apparaître un total de :

1,220 Dinars
soit 2,32 US \$

pour mise en sac, chargement et mise à bord.

Il apparaît, après enquête auprès d'exportateurs de ciment, que le prix moyen réalisé au cours de la dernière année d'exploitation est de 10 dollars environ FOB, ciment en sacs.

En déduisant le prix de la sacherie et de la mise à bord, soit 2,30 \$ environ, il reste pour le ciment en vrac une recette de :

$10,00 - 2,30 = 7,70$ US \$

Aux fins de détermination du "prix de revient" de l'acide sulfurique, ce sont ces chiffres que nous retiendrons.

Quant aux débouchés, le rapport donne, sous la rubrique II-3 "Possibilités d'exportation", le disponible après satisfaction des consommations locales :

1968	1969	1970	1971	1972
80.000 T	135.000 T	135.000 T	110.000 T	70.000 T

mais n'oublie pas d'évaluer la probabilité de ces exportations.

5.1.2. Marché intérieur r.

Le prix de vente sur le marché intérieur est de 6 Dinars la tonne, soit de 11,43 US \$

5.2. Différentes estimations de prix de revient :

Nous reproduisons, ci-après, les estimations des trois sources que nous avons consultées, et présentons à la suite les remarques que ces estimations appellent.

TABLEAU 19

COSTS OF PRODUCTION

Coût de revient d'usine pour la production de 330 000 tonnes/an d'acide sulfurique et de 330 000 tonnes/an de ciment suivant le procédé gypse-acide sulfurique (Müller-Kühne).

Type de coût	Quantité par tonne H ₂ SO ₄	Prix US\$ Unité/matière	Coût US\$/an	US\$/tonne H ₂ SO ₄
<u>Matières utilisées :</u>				
Gypse	2,000 T	3,030 T	1.999.800	6,060
Argile	0,277 T	1,990 T	181.830	0,551
Sable	0,031 T	1,610 T	16.170	0,049
Coke	0,095 T	27,500 T	862,290	2,613
A) Comme matières utilisées			3.060.090	9,273
<u>Coût de traitement</u>				
Mazout	0,270 T	13,850 T	1.233.870	3,739
Energie électrique	250 Kwh	0,0162/Kwh	1.336.500	4,050
Eau	65 m ³	0,019/m ³	407.550	1,235
a) Somme énergies			2.977.920	9,024
Salaires y inclus			82.602	0,250
Coût auxiliaire				
Traitement y inclus				
Auxiliaires			108.795	0,329
b) Somme coût de personnel			191.397	0,579
Entretien génie civil			48.355	0,146
Entretien équipement			442.755	1,342
c) Somme entretien			491.110	1,488
d) Assurances			132.279	0,401
Matière de contact			80.600	0,244
Matériel réfractaire par four			109.919	0,333
Somme matière auxiliaire et utilités			190.519	0,577
Amortissements calculés			1.429.479	4,332
Intérêts calculés pour capital investis			799.187	2,422
Intérêts calculés pour capital circulant			25.565	0,077
f) Somme service du capital			2.254.226	6,831
g) Crédit pour ciment (à 10 \$ la tonne)			3.300.000	10,000
B) Somme coût de traitement			2.937.451	8,900
Frais de production (A) + (B)			5.997.541	18,173
C) Frais d'administration 6,5 % o. HSE			389.730	1,181
Frais de revient d'usine (A + B + C)			6.387.271	19,254

TABLEAU 20

ESTIMATION STANLEY ENGINEERING CO.FRAIS D'EXPLOITATIONACIDE SULFURIQUE - CIMENT A PARTIR DU GYPSE NATUREL

Capacité : 300 000 tonnes métriques d'acide sulfurique par an
 300 000 tonnes métriques de ciment par an
 Marche : 330 jours par an
 24 heures par jour
 Coût de l'usine : 21 420 000

<u>Frais d'exploitation</u>	<u>Unité</u>	<u>Quantité par T. métrique d'acide</u>	<u>Coût par unité de matière</u>	<u>Dollars par T. métrique d'acide</u>
<u>Fabrication</u>				
<u>Matières premières :</u>				
Gypse naturel	Tonne	2,00	\$ 2,50	\$ 5,00
Coke	Tonne	0,14	\$21,00	2,94
Marne	Tonne	0,40	1,50	0,60
Sable	Tonne	0,05	1,50	0,08
Eau	1000 gallons	0,20	0,12	0,02
<u>Main d'oeuvre :</u>				
Opérateurs	H. de main d'oeuvre	1,25	0,80	1,00
Supervision	H. de main d'oeuvre	0,15	1,30	0,20
<u>Services :</u>				
Eau	1000 gallons	10,0	0,05	0,50
Energie électrique	Kwh	250	0,012	3,00
Fuel	Million de Kwh	10,0	0,35	3,50
<u>Fournitures Générales</u>		0,8 % du coût de l'usine par an		0,57
Sacs de ciment		21 sacs par tonne de ciment	0,15	3,15
Entretien		3 % du coût de l'usine par an		2,14
Assurances		0,5 % du coût de l'usine par an		0,36
Administration Générale		60 % de main d'oeuvre de production		0,72
Intérêt du capital de roulement		6 % du capital de roulement		0,11
			TOTAL PARTIEL	\$ 23,89
Moins crédit sous-produit 1 tonne métrique de ciment à 12 \$ par tonne				- 12,00
			TOTAL	\$ 11,89
				3,57
			FRAIS TOTAUX D'EXPLOITATION*	\$ 15,46

* Avant intérêt sur dette à long terme.

TABLEAU 21

ESTIMATION BIPROK WAS

Tableau de calcul des frais de production
de 300 000 tonnes d'acide sulfurique et de
300 000 tonnes de ciment.

<u>I. Frais fixes</u>			<u>Valeurs en</u> <u>dollars</u>	<u>Dollars par</u> <u>tonne d'acide</u>
1. <u>Amortissement</u>				
Appareillage	22.579.980	15 % =	3.386.997	11,27
Bâtiments, gé- nie civil	7.144.988	5 % =	357.257	1,18
2. <u>Assurances</u>	29.724.968	0,6 % =	178.353	0,60
3. <u>Fonds de salaires</u>			536.617	1,79
5 % frais généraux			26.828	0,09
			<hr/>	<hr/>
Total frais fixes			4.486.052	14,93
<u>II. Frais variables</u>	<u>Quantités</u>	<u>Prix unitaire \$</u>		
1. <u>Matières premières</u>				
Gypse	645.000	0,4332 =	279.414	0,93
Sable	54.000	0,9101 =	49.144	0,17
Argile	54.000	0,9101 =	49.144	0,17
Coke	36.000	14,25 =	513.000	1,71
			<hr/>	<hr/>
			890.702	2,98
2. <u>Energie</u>				
Fuel	84.000	16,15 =	1.356.600	4,52
Energie électrique	60.000 Kwh	19 =	1.140.000	3,82
			<hr/>	<hr/>
			2.496.600	8,34
3. <u>Transports</u>				
Transport du coke	36.000	2,1755 =	78.318	0,26
Transport du fuel	84.000	2,242 =	188.328	0,63
			<hr/>	<hr/>
			266.646	0,89
4. <u>Réparations courantes, pièces de rechange</u>				
60 % x 3 386 997			2.032.202	6,78
5. <u>Divers</u>			171.000	0,57
			<hr/>	<hr/>
			5 857 149	19,56

	Report	5.857.149	19,56
	Majoration de 1 %	58.900	0,19
	Frais variables	<u>5.916.049</u>	<u>19,75</u>
Frais fixes	4.486.052		
Frais variables	<u>5.916.049</u>		
Total	10.402.101		

Valeur du ciment produit (à 19 \$ la tonne)

300.000 T x 19 \$/t =	5.700.000 \$
Total des frais	10.402.101
Valeur du ciment	<u>5.700.000</u>
	4.702.101 \$

Ce dernier chiffre représente les frais de production de 300 000 t d'acide sulfurique. Par tonne :

$$\frac{4.702.101}{300.000} = 15,675 \$$$

Transport à Sfax	<u>2.242</u>
Prix d'acide sulfurique à Sfax	17,917 \$

REMARQUES.1/ Estimation VOEST :

Nous passerons en revue les différents postes du coût de revient d'usine, en apportant remarques ou corrections :

A) Matières premières :

Le coût des matières premières n'est plus lié à un coût mondial comme pour le soufre. Le coût des matières premières, en elles-mêmes de faible valeur, est représenté par le coût des exploitations respectives et le coût des transports à l'usine. Chaque projet a comporté une étude qui l'a conduit à une estimation personnelle du coût des matières premières.

Nous n'apporterons en conséquence aucune modification à ces chiffres bien qu'ils nous semblent quelque peu sous-estimés. Nous porterons par contre dans le tableau de comparaison final des écarts d'estimation des différentes études.

B) Coût de traitementa) Energies

Mazout : estimation correcte.

Energie électrique : à 0,016 \$ le Kwh, estimation correcte pour une fourniture, même si des négociations permettent, dans certains cas d'obtenir des prix moins élevés.

Eau : à 0,019 \$ le m³, l'estimation est correcte.

b) Personnel

Salaires et traitements :

Le montant annuel est de : 191,397 US \$.

Le salaire moyen est de 1.979 \$ par an, chiffre très voisin de celui qui a été établi dans nos précédentes études (2.097, soit une différence de 118 \$, représentant 6 % environ).

Mais les effectifs paraissent beaucoup trop faibles.

Nous avons en effet estimé à 124 agents une installation d'acide sulfurique de même capacité sensiblement, et utilisant la pyrite. Ici, il y a non

seulement une installation d'acide sulfurique d'une même capacité mais également une cimenterie. Il semble donc que les effectifs prévus soient beaucoup trop légers, et que, dans ce cas, 200 agents à 2.000 dollars annuels, représentant une masse salariale de 400.000 dollars annuels soit une estimation plus proche de la réalité.

o) Entretien :

La somme de l'entretien du génie civil et des équipements représente annuellement : 491.110 \$

1. Pour le génie civil, il a été prévu 48.355 \$

Le coût total du génie civil est de : 2.417.731 \$

Le pourcentage est donc de : 2,4 %

2. Pour les équipements : Le total des équipements et services généraux représente :

18.005.078 + 1.463.647 = 19.468.725 \$

Le pourcentage retenu est par suite de : 2,27 %

Ceci est exceptionnellement faible.

Il faut au moins doubler cette valeur et la porter à 5 %. L'ensemble des équipements étant estimés à 20.000.000 environ, il faudrait retenir un chiffre de : 1.000.000 \$ environ, pour l'entretien global, génie civil et équipements ; soit rapporté à la tonne d'acide : 3,030 US\$/t.

Assurances : Rapporté au coût total de l'usine, les primes représentent :

$$\frac{132.279}{21.886.456} = 6,6 \%$$

ce qui est une valeur conventionnelle que nous estimons un peu forte.

Somme service capital : Tout compris, amortissements, intérêts pour les capitaux investis et les capitaux du fonds de roulement, la somme service capital représente par tonne d'acide : 6,83 1 US\$

Pour homogénéiser les calculs, et les rendre comparables à ceux effectués pour les installations utilisant la pyrite comme matière première, nous avons retenu d'effectuer les calculs, en adoptant comme montant des

.../...

charges financières 11,5 % du montant total de l'investissement (soit investissements techniques et associés plus fonds de roulement).

Crédit pour ciment :

Estimé à 10,00 US\$ la tonne par VOEST ; cette question a été étudiée plus haut.

Frais d'administration et de gestion

Ces frais généraux d'un montant de 389.730 \$ paraissent élevés. Ils représentent, dans l'estimation de VOEST, plus de deux fois la somme des salaires et traitements.

Nous pensons qu'il serait raisonnable de les réduire à un montant de 200.000 US\$.

Il peut y avoir selon les auteurs, une certaine interpénétration entre les dépenses de salaires et traitements, primes, indemnités, charges sociales, assurances, taxes et frais généraux.

Estimation VOEST :	Traitements et salaires	191.397
	Frais généraux	<u>389.730</u>
		581.127 \$

L'estimation que nous jugeons plus proche de la réalité serait la suivante :

	Traitements et salaires	400.000
	Frais généraux	<u>200.000</u>
		600.000 US\$

La différence sur le total est minime et peut tenir à des méthodes d'évaluation différentes. Néanmoins, les effectifs restent différents.

2) ESTIMATION STANLEY ENGINEERING CO

De la même manière que pour l'étude VOEST, nous suivrons, rubrique par rubrique, l'estimation de STANLEY ENGINEERING CO, en apportant remarques et corrections.

- Matières premières : mêmes remarques que précédemment.
- Main d'oeuvre : Total annuel : 300.000 x 1,20 = 360.000 \$

.../...

Ce montant correspond, avec les chiffres que nous avons définis précédemment, à un ensemble de 180 agents (2.000 \$ par an de rémunération moyenne), ensemble suffisant pour l'usine d'acide et la cimenterie.

Services :

Energie électrique : Le prix actuel est de 0,016 \$ le Kwh au lieu de 0,012, ce qui représente 1 \$ de supplément à la tonne.

Fuel : tel qu'il est compté, il représente 3,50 US \$ par tonne d'acide, contre 3,74 pour l'étude VOEST. Nous gardons cette estimation.

Fournitures générales : nous conservons cette estimation

Sacs de ciments :

Cette question concernant avant tout le ciment, nous ne retiendrons que la production de ciment en vrac.

Entretien : L'estimation est un peu légère.

Administration générale : avec une dépense totale de : $0,72 \times 300.000 = 216.000\$$, les frais d'administration générale sont très voisins de ceux que nous avons estimés (200.000).

Crédit ciment : déjà étudié

Amortissements et charges financières : déjà étudié

ESTIMATION BIPROKNAS

Nous pouvons faire les observations suivantes :

1.- Amortissements et charges financières.

L'investissement comprendrait normalement, en sus des montants déterminés, les rubriques suivantes qui ont été omises:

- Stock initial de pièces de rechange
- Terrain et infrastructure
- Formalités douanières et frais de déchargement
- Imprévus et réserves pour hausses diverses
- Frais d'établissement de la société
- Intérêts intercalaires
- Frais de mise en marche
- Fonds de roulement

.../...

Frais variables

- 1-Matières premières : pas d'observation.
- 2-Energie électrique : serait à compter à 16 US\$ le MWH au lieu de 19 US\$.
- 3-Transports : pas d'observation.
- 4-Réparations courantes, pièces de rechange (entretien) :
à 4 % du coût de l'usine (environ 35.000.000 US\$) ce poste serait de
1.400.000 au lieu de 2.032.202 US\$.

2.3.3. Récapitulation et estimation CNEI

Nous donnons dans le tableau 22 la récapitulation des estimations.

Il est flagrant que autant certains postes sont parfaitement comparables, autant des différences considérables apparaissent dans certaines rubriques comme celle de "Service de capital" ou "crédit ciment".

Il est à la portée de chacun d'opérer les corrections de valeurs manifestement erronées (Prix de l'énergie sous ses différentes formes par exemple), sous-estimées (entretien ou pièces de rechange) ou surestimées (ciment).

Il serait par contre hasardeux de rectifier des consommations annoncées, même si elles sont très différentes (énergies) car on entrerait dans un domaine d'engineering que cette étude économique n'a pas pour but d'aborder.

Nous avons donc établi notre estimation, en regard des estimations précédentes, sur les lignes directrices suivantes ; énoncées par rubriques :

- 1) Dépenses diverses : les estimations se tiennent de très près. Nous en prenons un chiffre moyen, et diminuons seulement les frais d'assurances.
- 2) Energie : Nous nous en tenons pratiquement à l'estimation VOEST.
- 3) Entretien : Nous avons adopté, comme pour des études précédentes sur la fabrication à partir de pyrites une valeur de 4 % des investissements techniques.
- 4) Service du capital : Compte tenu des considérations qui ont été développées dans l'étude de la fabrication d'acide sulfurique à partir de pyrite, nous comptons 11,5 % de l'investissement total.

.../...

TABLEAU 22

(COUTS DE PRODUCTION)

RECAPITULATION ET ESTIMATION C.N.E.I.

SPECIFICATIONS	SOURCE	ESTIMATION C. N. E. I.			DEVICES IM. LOCALE	
		Stanley	Voëst	Biprokwas	TOTAL	
I. <u>Dépenses diverses</u>		2,85	2,74	3,24	2,60	
Personnel et frais généraux		1,92	1,76	1,88	1,90	1,90
Matières auxiliaires		0,57	0,58	0,76	0,60	0,60
Assurances		0,36	0,40	0,60	0,10	0,10
II <u>Energie</u>		7,00	9,02	8,97	9,00	
Mazout ou fuel		13,50	13,74	15,15	14,00	14,00
Energie électrique		13,00	14,05	13,82	14,00	14,00
Eau		0,50	1,23	-	1,00	1,00
A. TOTAL (I + II)		9,85	11,76	12,21	11,60	0,60 11,00
III <u>Entretien</u>		2,14	1,49	6,78	3,50	3,50
B. TOTAL (A + III)		11,99	13,25	18,99	15,10	4,10 11,00
IV <u>Service du capital</u>		3,68	6,83	12,45	11,63	9,20 2,43
Amortissement calculé		13,57	14,33	-		
Intérêts calculés		0,11	2,50	-		
C. Coût de traitement (TOTAL B + IV)		15,67	20,08	31,44	26,73	13,30 13,43
V <u>Matières premières</u>		8,64	9,27	3,24	9,27	
Coque		2,94	2,61	1,97	2,61	2,40 0,21
Gypse		5,00	6,06	0,93	6,06	6,06
Argile		0,60	0,55	0,17	0,55	0,55
Sable		0,08	0,05	0,17	0,05	0,05
D. TOTAL (C + V)		24,31	29,35	34,68	36,00	15,70 20,30
VI <u>Crédit ciment</u>		- 8,85	- 10,00	- 19,00	7,70	
Crédit ciment en sac		-12,00	-	-		- 10,00
Sacs de ciment, chargements et mise à bord		3,15	-	-		0,80 1,50
Dépense totale par tonne d'a- cide		15,46	19,35	15,68	28,30	+ 6,50 21,80

- 5) **Matières premières** : Nous retiendrons les estimations VOEST qui nous semblent se rapprocher le plus des conditions souhaitées pour l'usine d'acide sulfurique (site : Gabès ou environs proches) les prix unitaires contrôlables étant corrects.
- 6) **Crédit ciment** : Comme nous l'avons vu dans la note liminaire sur le prix de vente possible du ciment, nous retenons ici une vente à l'exportation, ciment en sacs, à 10 Us\$ FOB arrimé.
La sacherie et le chargement à bord sont évalués à 2,30 \$ selon l'étude du Sous-Comité sectoriel des matériaux de construction.

Il faut remarquer que dans les 820 millimes de sacherie soit 1,56 \$ mo, il faut compter la moitié environ en devises, le papier étant importé, soit 0,80 \$ approximativement.

- 7) **Dépenses en monnaie locale et en devises** :

Elles sont portées en regard de chaque poste.

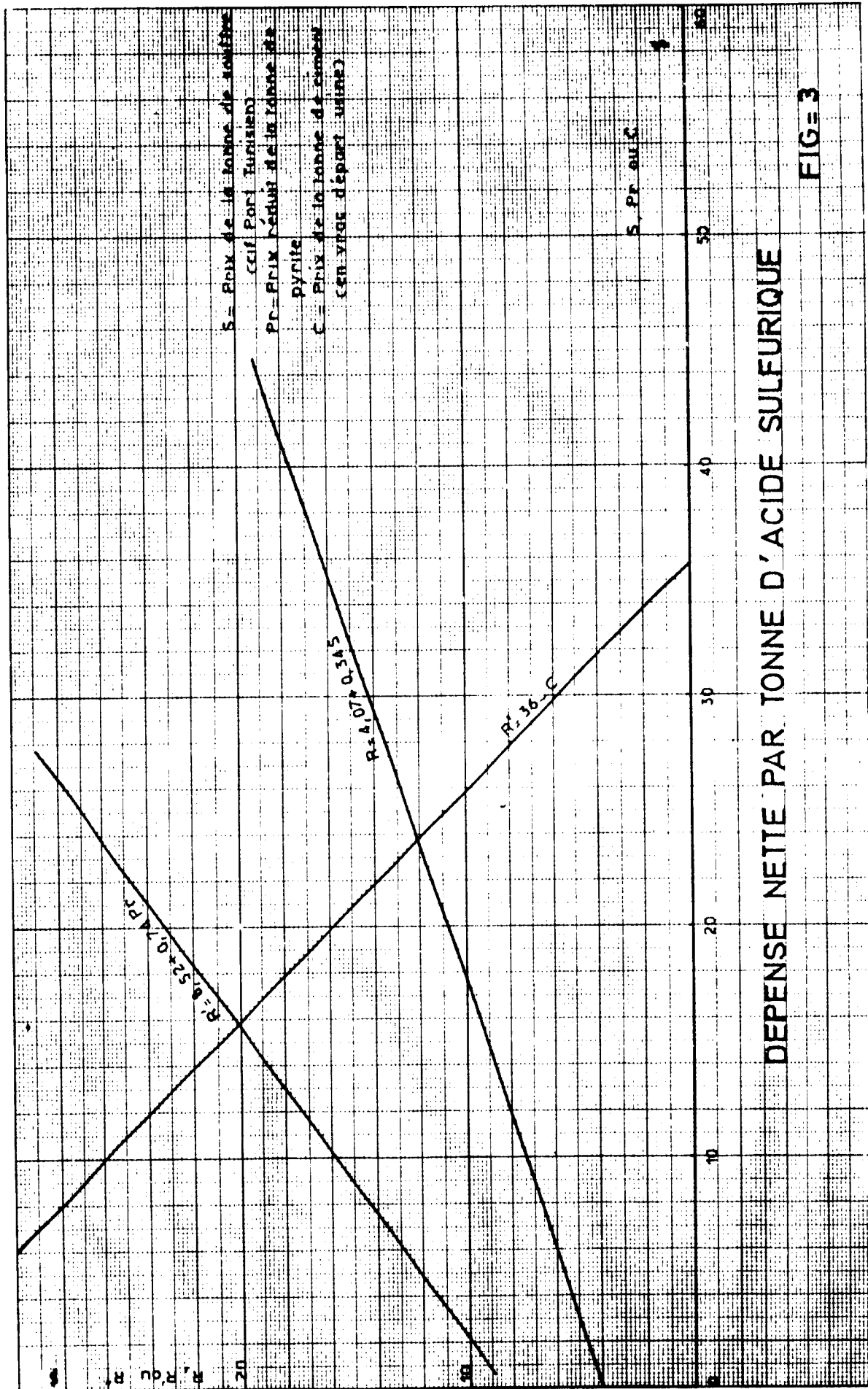
- 8) Enfin si l'on veut tenir compte de variations possibles du prix de vente du ciment, nous obtiendrons comme formule générale de la dépense totale par tonne d'acide, en fonction de K, prix de la tonne de ciment en sacs, FOB, arrimé :

$$R'' = 38,30 - K$$

ou en fonction de C, prix de la tonne de ciment, en vrac, départ usine :

$$R'' = 36,00 - C$$

.../...



S = Prix de la tonne de soufre
 CCIF Port Turisien
 PP = Prix net de la tonne de
 pyrite
 C = Prix de la tonne de ciment
 (en yves départ usines)

DEPENSE NETTE PAR TONNE D'ACIDE SULFURIQUE

FIG=3

5.3. RECAPITULATION : Dépense nette par tonne d'acide

Les formules obtenues successivement dans l'analyse de la dépense nette (investissements et exploitation) par tonne d'acide sulfurique sont les suivantes (Nous abrégerons en désignant par "SOUFRE" une installation utilisant comme matière première le soufre.)

SOUFRE: $R = 0,34S + 4,07$

PYRITE: $R' = 0,74P_x + 8,52\$$

GYPSE : $R'' = 36,00 - C \$$

Formules dans lesquelles :

S est le prix de la tonne de soufre CIF port Tunisien

P_x : Prix "réduit de la pyrite", déjà défini

C : Prix de vente du ciment en vrac, départ usine

Les trois droites figurant les variations de ces dépenses sont représentées sur la figure N°3.

Cette représentation appelle les observations suivantes, qu'il est bon de souligner.

a) La droite de pente la plus forte est celle de R en fonction de C, et celle de pente la plus faible est celle de R en fonction de S.

Une variation dans le prix du ciment de un dollar provoque une variation de un dollar dans la dépense nette par tonne d'acide, alors qu'il faut une variation de trois dollars dans le prix du soufre pour provoquer la même variation.

Il y a donc lieu de considérer les variations extrêmes du prix du soufre, leurs répercussions sur la dépense nette par tonne d'acide à leur juste valeur,

les variations éventuelles du prix du ciment étant de conséquences beaucoup plus lourdes.

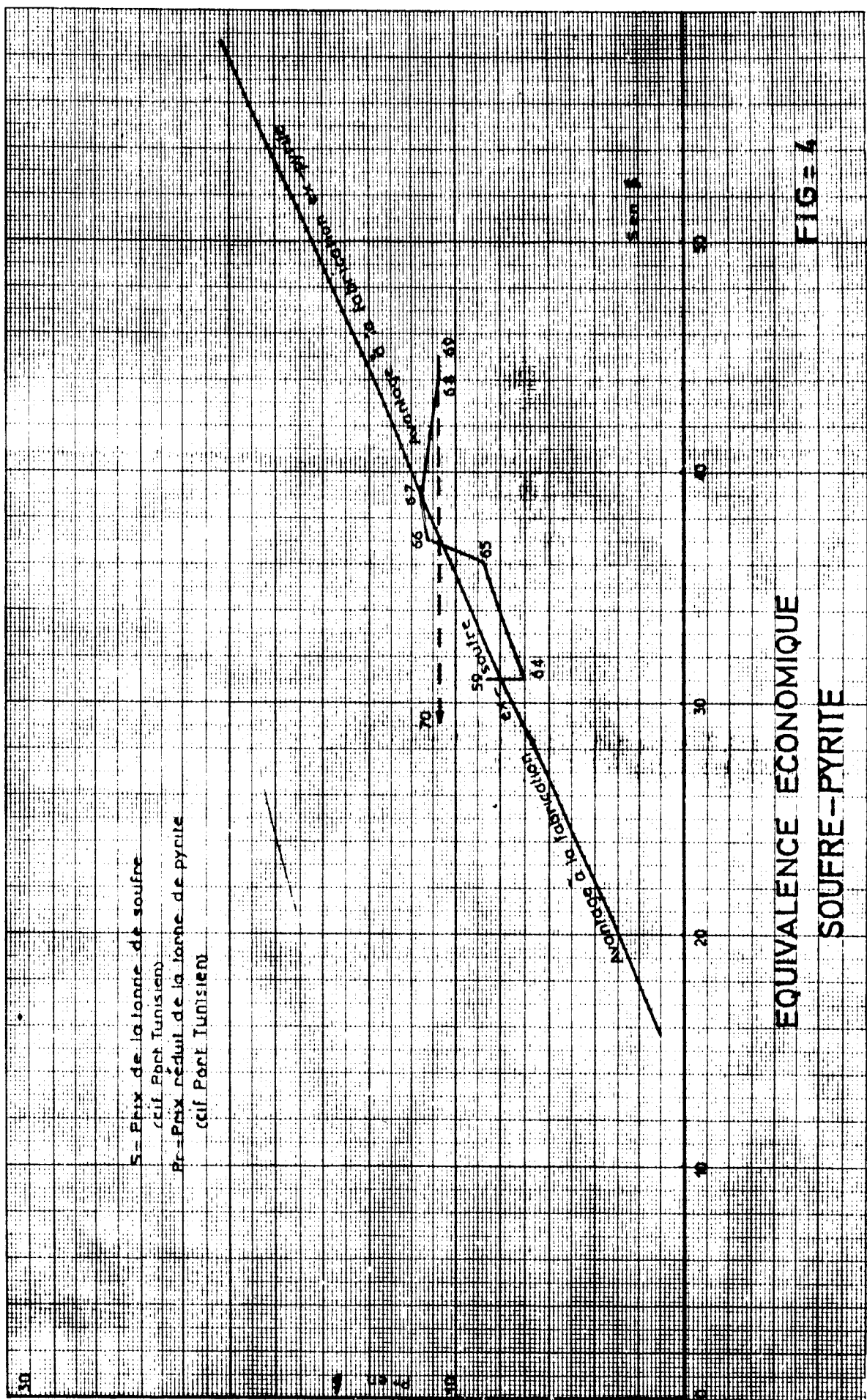
b) Dans les zones de prix pratiqués à l'heure actuelle, il apparaît nettement que la dépense nette par tonne d'acide sulfurique

- à partir de gypse, se situe au voisinage de 28 \$

- à partir de pyrite, au voisinage de 17,18 \$

- à partir de soufre, sur une plage de 15 à 19 \$, si l'on tient compte des dernières variations du prix du soufre (45 à 50 \$ au début de l'année 1969 et 30 à 35 \$ dans la seconde semestre 1969 et moins de 20/25 au début de 1970).

.../...



EQUIVALENCE ECONOMIQUE
SOUFRE-PYRITE

FIG. 6

Il faut donc compter à la tonne, dans les conditions actuelles, une dizaine de dollars supplémentaires pour une fabrication de gypse.

o) il est possible de porter en abscisse le prix CIF du soufre et en ordonnée le prix réduit de la pyrite.

A chaque valeur de la dépense nette par tonne d'acide sulfurique, il correspond un couple de valeurs (prix du soufre, prix réduit de la pyrite), définissant une équivalence économique sous le rapport de la dépense nette par tonne d'acide.

La droite représentatrice de P_r en fonction de S a pour équation

$$P_r = 0,46 S - 6,02$$

Cette droite partage le plan en deux demi-plans : les conditions du marché fournissant les prix de la pyrite et du soufre et cette conjoncture est figurée par un point sur la figure 4.

Dans ces conditions tout point situé au dessus de la droite correspond à des circonstances pour lesquelles une installation la pyrite est plus avantageuse qu'une installation utilisant le soufre et vice versa.

Sur une durée de dix ans les points représentatifs peuvent se situer de part et d'autre de la courbe, de sorte que la décision ne peut être prise sur des considérations purement économiques. Nous avons porté à titre indicatif les couples de valeurs (prix réduit de la pyrite, soit approximativement prix FOB Huelva diminué de 0,45 \$, et pour le soufre, prix de liste, - seul disponible, - augmenté de 6 US \$ de fret) obtenus pour les dix dernières années à partir du tableau 13 (tableau 23).

On peut constater que les points se situant de part et d'autre de la droite de partage du plan.

L'évolution, lors de la hausse du soufre et de la hausse concomitante de la pyrite se fait dans une direction approximativement parallèle à la droite de partage.

Un certain avantage pourtant semble revenir à la pyrite.

En fait, pendant la période 1959-1964, avec un prix de liste bloqué à 25\$/t. FOB Galveston, le soufre avait un prix de vente réel inférieur, avec un maximum de 16 \$/t. selon BATELLE. Pendant cette période de cinq ans, et

.../...

dans ces conditions, l'avantage reviendrait au soufre.

Pendant la période suivante de cinq ans , l'avantage reviendrait à la pyrite (le prix de vente réel du soufre était supérieur au prix de liste), et 1970 donnerait à nouveau l'avantage au soufre.

Nous reviendrons sur cette question après étude de l'actualisation des dépenses.

ANNEXE VI6. DEPENSE NETTE ACTUALISEE PAR TONNE D'ACIDE6.1. Principe de la méthode de calcul :

La comparaison que nous avons donnée précédemment des chiffres d'investissements avait le souci de mettre en évidence les différents ordres de grandeur, puis d'établir des rapports entre les différents prix de revient, grandeurs dans lesquelles intervient l'investissement initial par la rubrique "Amortissement et charges financières" c'est-à-dire remboursement de la dette contractée, capital et intérêts.

Comme il s'agit d'usines fabriquant un même produit, cette méthode rapide a pu être adoptée.

Dès qu'il s'agit de faire un choix entre des projets notablement différents, la seule méthode valable reste celle du bénéfice actualisé, (ou du taux de rendement interne, qui en est dérivé) l'ensemble de la comparaison reposant sur l'actualisation des résultats, c'est-à-dire la comparaison d'un acte pratiquement instantané, l'investissement, et de ses résultats s'échelonnant sur dix, vingt ans ou plus : l'exploitation de l'installation.

Il s'agit donc de ramener les gains obtenus au cours du temps à leur valeur à une époque déterminée, et l'on choisit logiquement l'époque à laquelle a été fait l'investissement.

Les gains éloignés dans l'avenir sont ainsi ramenés à la valeur équivalente à l'époque de l'investissement, le rapport entre ces deux valeurs étant le coefficient d'actualisation correspondant à l'année du gain considéré.

Dans le cas présent, il est possible de pratiquer le calcul du taux de rentabilité interne si l'on se fixe le prix de vente de l'acide sulfurique.

Mais les usines fournissant le même produit, il est aussi possible sans avoir à fixer le prix de vente d'acide de comparer seulement les dépenses afférentes à cette production :

- les ones d'investissement, pour ainsi dire instantanées
- les autres d'exploitation s'échelonnant sur dix ans par exemple, et qu'il faut actualiser, pour qu'elles deviennent comparables, et additives à celles de l'investissement.

6.2. Application :

L'application de ce schéma simple, nécessite la considération des points suivants :

1) Si la fabrication ex-soufre ne conduit qu'à un seul produit, la fabrication ex-pyrite donne des cendres comme sous-produit et la fabrication ex-gypse fournit du ciment. Nous considérons que les recettes correspondantes diminuent simplement les dépenses afférentes à la fabrication de l'acide sulfurique, qui est le produit recherché, et nous étudierons ainsi, comme précédemment les "dépenses" correspondant à la fabrication d'acide sulfurique.

2) Période d'actualisation :

a) durée de construction des usines :

Nous compterons pour les trois projets uniformément 2 ans de construction.

Pour les installations utilisant la pyrite, 21 mois ont été prévus, ce qui représente un minimum.

Pour les installations utilisant le gypse, il est probable que la durée de construction serait plutôt voisine de trois ans : par souci d'uniformité nous compterons néanmoins 2 ans, ce qui revient à favoriser dans l'étude le procédé, ou du moins à lui effacer un handicap.

Pour l'usine utilisant le soufre, plus réduite, deux années peuvent constituer un maximum, mais que l'on ne peut réduire dans des proportions influant notablement sur les résultats du calcul.

b) durée d'exploitation :

Nous avons considéré dans le calcul des amortissements que la durée de vie des équipements était de 10 ans, et que certaines installations avaient une durée

de vie de 15 ans. Mais, à très peu près, l'ensemble peut être considéré comme ayant une durée de vie de 10 ans, durée que nous prendrons comme durée d'exploitation.

e) Deux hypothèses peuvent alors être formulées pour le choix de la période d'actualisation.

1) Si l'on choisit une période d'actualisation de 12 ans, il faut estimer la valeur résiduelle des équipements :

- soit à leur valeur pour un tiers ou des tiers (vente séparée des terrains bâtiments administratifs, et des équipements résiduels)

- soit à leur valeur d'usage dans l'hypothèse où l'exploitation de l'usine se poursuit.

2) Si l'on choisit une valeur supérieure à 12 ans, il faut envisager des dépenses de renouvellement pour les trois installations.

Nous éliminons la seconde hypothèse qui conduirait à des approximations trop lâches : les dépenses d'investissement pour le cas du gypse ont déjà une marge d'incertitude importante, et les dépenses de renouvellement dans ce cas seraient parfaitement douteuses.

Nous retenons la première solution, période d'actualisation de 12 ans, et nous tiendrons compte des considérations suivantes pour la valeur résiduelle de l'installation.

La réexportation d'équipements usagés comme des laminoirs et d'équipements d'usines de textiles, sucreries, distilleries, etc.... n'est pas rare, mais une partie des équipements est relativement compacte et transportable et a une durée de vie très élevée. Dans le cas présent, il n'y aurait pratiquement pas de possibilités de vente des équipements, et les installations représenteraient plutôt un handicap à la vente du terrain.

Quant à la vente pour poursuite d'exploitation, la conjoncture serait déterminante dans l'estimation : l'évolution du marché peut être rapide, les variations du prix des matières premières également ; les fluctuations enregistrées au cours du premier semestre 1969 le démontrent amplement (variations du prix du sou-

fre et de la demande mondiale des engrais).

Pour ces différentes raisons nous comparerons les trois projets en leur affectant une période d'actualisation de 12 ans et, considérant que la durée de vie des équipements est très voisine de dix ans, nous ne compterons pas de valeur résiduelle de terrains ou de bâtiments (valeur très sensiblement égale pour les trois projets) et aucun des 3 projets ne sera défavorisé par rapport aux deux autres.

3) L'expression des dépenses nettes actualisées pour une installation donnée est donc :

$$D = F + \sum_0^n \frac{A_p}{(1+i)^p} + \sum_0^n \frac{de_p}{(1+i)^p} - \sum_0^n \frac{r_p}{(1+i)^p}$$

$$= F + E_1 + D_e - R_e$$

dans laquelle

A_p représente la somme des différentes annuités correspondant aux charges financières (remboursement capital et intérêts) des différents emprunts que nous avons considérés. Nous considérons pour simplifier l'écriture que la somme des différents emprunts est équivalente à un emprunt unique au taux t et conduisant à une annuité de A_p .

de_p dépenses d'exploitation pour l'année p

r_p recettes d'exploitation dues aux sous-produits (cendres ou ciment)

F fonds propres

Imaginons alors que l'entreprise est scindée en deux parties : un "service industriel" et un "service financier". Le "service industriel" utilise les capitaux mis à sa disposition par le "service financier" de l'entreprise moyennant un taux d'intérêt unique égal au taux d'actualisation jugé valable. L'écart entre les taux d'emprunt ou de prêt et le taux d'actualisation correspond à des recettes ou à des dépenses financières qui ne doivent pas intervenir dans le calcul de rentabilité des investissements de l'entreprise. Cette conception justifie alors les calculs excluant la prise en compte de charges financières.

Dans ces conditions, le terme $\sum_0^n \frac{A_p}{(1+i)^p}$ est égal à E,

puisque $i = t$ et que $\sum_0^n \frac{A_p}{(1+i)^p} = E$ par définition des annuités.

La formule donnant les dépenses actualisées est alors :

$$D = I + E + D_e - R_e$$

$$\text{soit } D = I + D_e - R_e$$

où I est actualisé si besoin est comme nous l'avons vu, dans le cas où l'investissement s'échelonne sur plusieurs années.

Nous adopterons de plus une formule correspondant à la tonne d'acide produit, c'est à dire que la dépense actualisée I sera divisée par la production en 10 ans, comme D_e et R_e .

6.3. Choix du taux d'actualisation

Les facteurs suivants interviennent dans le choix du taux d'actualisation :

- taux d'emprunt en vigueur sur un marché sans restrictions ; on considère que la référence au taux le plus élevé, pour le calcul d'un bénéfice actualisé est une pratique saine.
- taux de profit que l'on peut escompter pour une entreprise existante.
- nature d'activité de l'entreprise. Une industrie de pointe dans laquelle le progrès technique est rapide, est fondée à utiliser un taux plus élevé qu'une société de production de force électrique ou une entreprise de sidérurgie.

Dans le cas présent, le taux d'actualisation choisi doit être, en toute logique supérieur au taux d'intérêt en vigueur pour les prêts obtenus par la société, donc être supérieur à 8 %, taux maximum de rémunération de l'ensemble des emprunts.

D'un autre côté, les bénéfices que peut espérer la société ne sauraient considérables puisqu'elle vend un produit intermédiaire destiné à la transformation d'une matière première nationale, d'un intérêt vital pour le pays.

Le taux d'actualisation doit donc être supérieur à 8 % et assez voisin.

L'évolution très récente du marché des capitaux, les hausses de différents taux laissent à penser que les taux intéressants qui ont été obtenus jusqu'à maintenant seraient de plus en plus difficiles à obtenir.

Compte tenu de ces circonstances spéciales, nous retiendrons donc les taux de 8, 10, et 12 pour cette étude, le taux d'actualisation pouvant ainsi être choisi à l'époque où une décision pour ces investissements deviendrait imminente ; pour la critique des résultats les calculs ont été effectués également avec les taux de 4, 5, 6, 7 %.

Ces calculs ne prennent pas en compte l'inflation ; si l'on veut tenir compte du phénomène il faut ajouter le taux d'inflation au taux d'actualisation.

6.4. Résultats d'actualisation

Nous désignerons de la manière suivante les années de construction, et les années d'exploitation :

- Année (- 2 / - 1) Première année de construction, $n = 0$ (investissement $\frac{I}{2}$)
 Année (- 1 / 0) : Seconde année de construction, $n = 1$ (investissement $\frac{I}{2}$)
 Année (0 / 1) : Première année d'exploitation, $n = 2$
 etc.....
 Année (9 / 10) : Dixième année d'exploitation, $n = 11$

De cette manière, la construction de l'usine commence au temps (-2), la mise en route se fait au temps (0).

Posons $\frac{I}{P} = u$ où I est l'investissement total et P la production en dix ans.

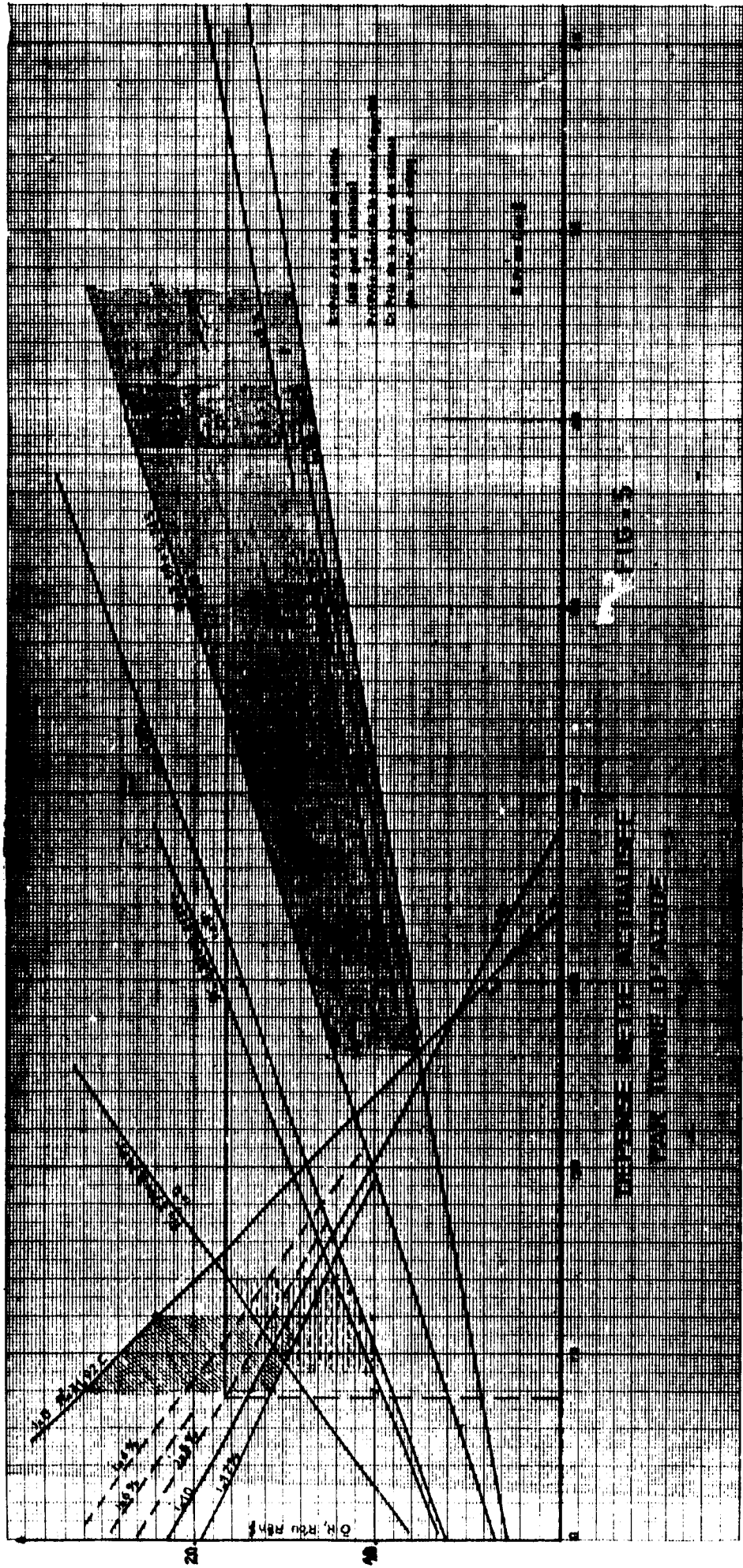
et désignons par d_e les dépenses d'exploitation par tonne d'acide.

et r_e les recettes d'exploitation par tonne d'acide.

La dépense nette actualisée sera :

$$d = \frac{I}{2} \sum_{n=0}^{n=1} \frac{1}{(1+i)^n} + \frac{d_e}{10} \sum_{n=2}^{n=11} \frac{1}{(1+i)^n} - \frac{r_e}{10} \sum_{n=2}^{n=11} \frac{1}{(1+i)^n}$$

$$= K_u u + K_e d_e - K_e r_e$$



Les calculs et l'établissement des formules donnant les valeurs actualisées de la dépense nette par tonne d'acide se font à l'aide des tableaux suivants :

- 1) Calcul des coefficients d'actualisation correspondant aux investissements d'une part, aux dépenses et recettes d'exploitation d'autre part pour différents taux d'actualisation (Tableau 24)
- 2) Calcul des dépenses actualisées (hors soufre et hors pyrite) (tableau 25)
- 3) Formules des dépenses nettes par tonne R, R', R'' en valeurs actualisées (dépenses totales diminuées des recettes provenant de la vente des sous-produits) (tableau 26).

6.5. Représentation graphique

Nous portons sur la figure 5 les droites représentatives :

- 1) Au prix de vente du ciment de 7,70 \$ la tonne en vrac à l'exportation ; il est clair que la fabrication ex gypse ne peut concurrencer les fabrications ex-soufre et ex-pyrite.

Pour donner quelques chiffres remarquables : avec taux d'actualisation de 8 %, le soufre devrait être constamment à un prix supérieur à 76 \$ pour que la fabrication ex-gypse soit compétitive.

- avec un taux d'actualisation de 12 %, le soufre devrait alors être constamment à un prix supérieur à 73 \$ pour que la fabrication ex-gypse soit compétitive.

- 2) Il reste à comparer les fabrications ex-soufre et ex-pyrite,

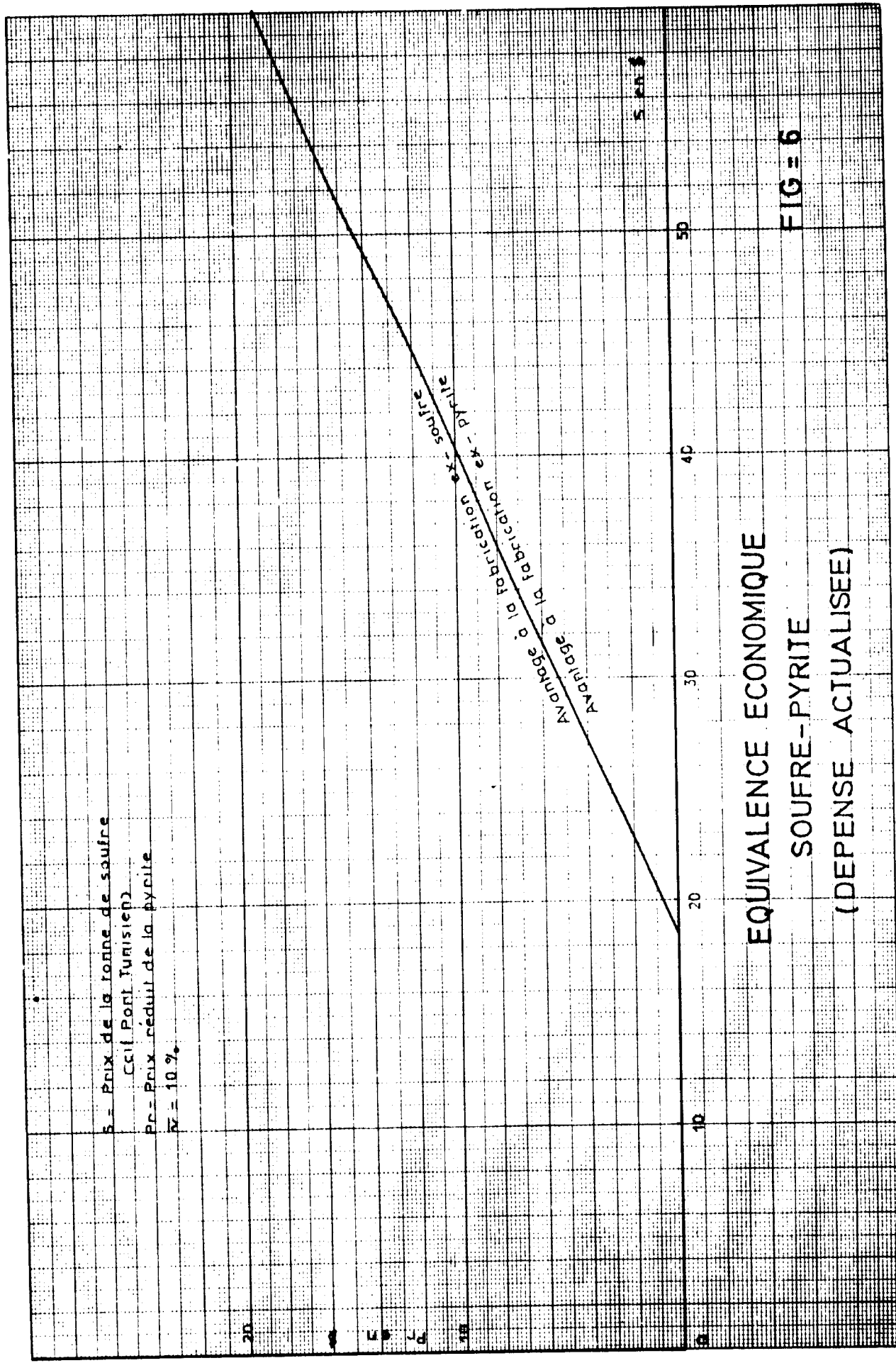
a) Pour un taux d'actualisation donné, 10 % par exemple, et une dépense totale par tonne d'acide sulfurique déterminée, il est une valeur de P_r et une valeur de S qui fournissent un acide sulfurique pour cette même dépense totale.

Il est donc possible de tracer, dans le plan (P_r , S) la droite donnant l'équivalence économique des deux fabrications.

Dans le plan (P_r , S), la droite a pour équation :

$$P_r = 0,46 S - Cste$$

nous l'avons tracée pour $i = 10 \%$ sur la figure 6.



EQUIVALENCE ECONOMIQUE
 SOUFRE-PYRITE
 (DEPENSE ACTUALISEE)

FIG = 6

TABLEAU 24

COEFFICIENTS D'ACTUALISATION

A) Dépenses d'investissements (Dépenses actualisées : $k_u u$)

i %	4	5	6	7	8	10	12
K_u	0,981	0,976	0,9715	0,9675	0,963	0,9545	0,9465

B) Dépenses d'exploitation (Dépenses actualisées $k_e d_e$)

i %	4	5	6	7	8	10	12
ANNEE							
0/1	0,925	0,907	0,890	0,873	0,857	0,826	0,797
1/2	0,889	0,864	0,840	0,816	0,794	0,751	0,712
2/3	0,855	0,823	0,792	0,763	0,735	0,683	0,636
3/4	0,822	0,784	0,747	0,713	0,681	0,621	0,567
4/5	0,790	0,746	0,705	0,666	0,630	0,564	0,507
5/6	0,760	0,711	0,665	0,623	0,583	0,513	0,452
6/7	0,731	0,677	0,627	0,582	0,540	0,467	0,404
7/8	0,703	0,645	0,592	0,544	0,500	0,424	0,361
8/9	0,676	0,614	0,558	0,508	0,463	0,386	0,322
9/10	0,650	0,585	0,527	0,475	0,429	0,350	0,287
	7,798	7,356	6,943	6,563	6,213	5,586	5,095

TABLEAU 25

TOTAL DEPENSES ACTUALISEES (Hors soufre, hors pyrite)

	4 %			5 %			6 %			7 %					
	u	d _e	TOTAL	k _u	u	k _e d _e	TOTAL	k _u	d _e	k _e d _e	TOTAL	k _u	d _e	k _e d _e	TOTAL
Ex SOUFRE	2,52	1,17	3,38	2,47	0,091	3,38	2,46	0,86	3,32	2,45	0,81	3,26	2,44	0,77	3,20
Ex PYRITE	4,97	2,82	7,08	4,88	2,20	7,08	4,85	2,07	6,92	4,83	1,95	6,79	4,81	1,85	6,66
Ex GYPSE	9,22	22,70	26,74	9,04	17,70	26,74	9,00	16,69	25,69	8,96	15,76	24,72	8,92	14,90	23,82

	8 %			10 %			12 %				
	u	d _e	TOTAL	k _u	u	k _e d _e	TOTAL	k _u	u	k _e d _e	TOTAL
Ex SOUFRE	2,52	1,17	2,43	0,73	3,16	2,41	0,65	3,06	2,40	0,60	3,00
Ex PYRITE	4,97	2,82	4,79	1,75	6,54	4,74	1,58	6,32	4,70	1,45	6,15
Ex GYPSE	9,22	22,70	8,88	14,10	22,98	8,80	112,68	21,48	8,70	11,58	20,28

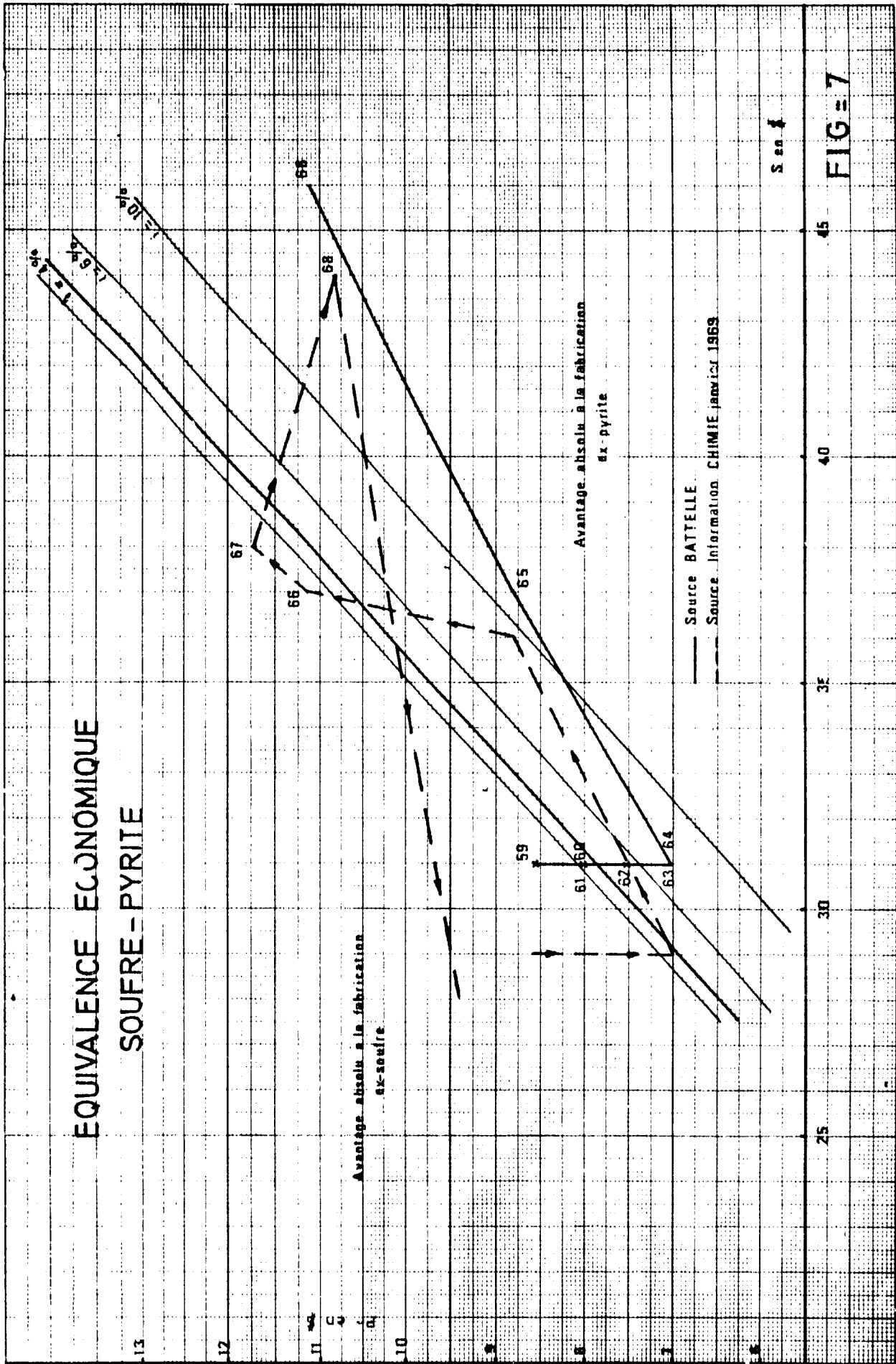
T A B L E A U 26

FORMULES DE DEPENSE TOTALE PAR TONNE (Valeurs actualisées)
 POUR FABRICATION Ex SOUFRE Ex PYRITE et Ex GYPSE

	i = 4 %	i = 5 %	i = 6 %
! Ex SOUFRE R !	3,38 + 0,265 S	3,32 + 0,250 S	3,26 + 0,236 S
! Ex PYRITE R !	7,08 + 0,577 P _r	6,92 + 0,544 P _r	6,79 + 0,514 P _r
! Equivalence !	P _r = 0,46 S - 6,41	P _r = 0,46 S - 6,63	P _r = 0,46 S - 6,87
! Ex GYPSE R" !	26,74 - 0,780 C	25,69 - 0,74 C	24,72 - 0,69 C

	i = 7 %	i = 8 %	i = 10 %	i = 12 %
! Ex SOUFRE R !	3,21 + 0,223 S	3,16 + 0,211 S	3,06 + 0,190 S	3,00 + 0,173 S
! Ex PYRITE R !	6,66 + 0,486 P _r	6,54 + 0,460 P _r	6,32 + 0,413 P _r	6,15 + 0,377 P _r
! Equivalence !	P _r = 0,46 S - 7,10	P _r = 0,46 S - 7,35	P _r = 0,46 S - 7,9	P _r = 0,465 S - 8,36
! Ex GYPSE R" !	23,82 - 0,66 C	22,98 - 0,62 C	21,48 - 0,56 C	20,28 - 0,51 C

EQUIVALENCE ECONOMIQUE SOUFRE - PYRITE



S en f

FIG = 7

La droite sépare le plan en deux régions.

Les conditions du marché fixant le prix S du soufre et P_r de la pyrite, le point des coordonnées (S, P_r) peut être porté sur la figure.

Si ce point est au-dessus de la droite, le procédé au soufre est plus avantageux.

Si le point est en dessous, l'installation ex pyrite est préférable.

b) Si l'on fait varier le taux d'actualisation, on obtient un faisceau de droites d'équivalence D_0 pour $i = 0$, D_1 pour $i = 1\%$ etc D_{12} pour $i = 12\%$

Ces droites ont été tracées sur la figure 7.

Portons alors dans ce plan (S, P_r) les points représentatifs des conditions du marché depuis 1969, comme nous l'avons fait sur la figure 2. Une comparaison très exacte devrait être faite à partir de propositions effectives, les prix pratiqués étant différents des cours officiels.

Nous constatons que pour un taux d'actualisation de 10% ou supérieur, l'avantage sans contestation va au soufre.

Or le minimum auquel il est possible de descendre d'une manière réaliste serait de 8 à 9% , taux que l'on pourrait retenir dans l'hypothèse d'emprunts extérieurs à des taux extrêmement intéressants. A cette limite il semble que les deux procédés pourraient être en balance, sous l'angle de la dépense nette par tonne d'acide et que d'autres critères de décisions devraient être pris en considération.

A N N E X E VIITABLEAUX DES DEPENSES ET RECETTESINVESTISSEMENT ET EXPLOITATION POUR LES FABRICATIONS

Ex-SOUFRE, Ex-PYRITE et Ex-GYPSE

Les tableaux ci-après sont établis dans les hypothèses suivantes :

Achats :

Prix du soufre : 36 US\$/tonne CIF port tunisien

Prix de la pyrite : 13,8 US\$/tonne Cif port tunisien

Ventes :

Prix de vente de l'acide : 20 US\$/tonne (soit 10,50 Dinars) départ usine

Prix de vente des cendres : 4,35 US\$/tonne départ usine

Prix de vente de l'énergie : 10 US\$ le MWH

Prix de vente du ciment : 10 US\$/tonne FOB port tunisien

FABRICATION EX-SOUFRE

VALEURS EN MILLIERS DE DOLLARS

S - 36 US\$/tonne CIF
A0 - 20 US\$/tonne

	D E P E N S E S				R E C E T T E S					
	I N V E S T I S S E M E N T S		E X P L O I T A T I O N		A c i d e		E n e r g i e		T O T A L	
	US\$	M.N.	Mat. Pre US \$	US \$	M.N.				i - 20 \$/i	
- 2/-1	2 875	910	0	0	0	3 785	0	0	1	
- 1/0	2 875	910	0	0	0	3 785	0	0	0,833	
0/1			3 672	323,1	433,5	4 428,6	6 000	405	6 405	0,694
1/2			"	"	"	"	"	"	"	0,579
2/3			"	"	"	"	"	"	"	0,482
3/4			"	"	"	"	"	"	"	0,402
4/5			"	"	"	"	"	"	"	0,335
5/6			"	"	"	"	"	"	"	0,279
6/7			"	"	"	"	"	"	"	0,233
7/8			"	"	"	"	"	"	"	0,194
8/5			"	"	"	"	"	"	"	0,162
9/10			"	"	"	"	"	"	"	0,135
Totaux so-	5 270	1 668				6 938				
totalisés			12.834	1 129	1 515	15 478	20 970	1.415		
						22 416			22 385	

!Ao à 20 US\$/tonne!
!Pyr. à 13.8 CIF !
!

FABRICATION EL-PYRITE

(VALEURS EN MILLIERS DE DOLLARS)

Années	D E P E N S E S				R E C E T T E S				TOTAL	i -
	Investissements		Exploitation		Vente SO ₄ H ₂	Energie	Cendres (US \$)	TOTAL		
	US \$	M.N.	US \$	M.N.						
-62/-1	5 544	1 906	0	0	0	0	0	0	0	0,893
-1/0	5 544	1 906	0	0	0	0	0	0	0	0,893
0/1	0	0	3 064	539	518	6 000	210	678	6 888	0,797
1/2	0	0	"	"	"	"	"	"	"	0,712
2/3	0	0	"	"	"	"	"	"	"	0,636
3/4	0	0	"	"	"	"	"	"	"	0,567
4/5	0	0	"	"	"	"	"	"	"	0,507
5/6	0	0	"	"	"	"	"	"	"	0,452
6/7	0	0	"	"	"	"	"	"	"	0,404
7/8	0	0	"	"	"	"	"	"	"	0,361
8/9	0	0	"	"	"	"	"	"	"	0,322
9/10	0	0	"	"	"	"	"	"	"	0,287
Totaux so totalisés	10 495	3 608	15 458	2 749	2 613	30 270	1 060	3 420	34 750	

FABRICATION EL-GYPSE
(En Millions de US\$)

! Ao à 20 US\$/tonne !
! Ciment à 10 US\$/tonne FOR !

Annexes	Investissements		EXPLOITATION				RECETTES		
	US \$	M.N.	Mat.prem	M.N.	Autres	TOTAL	Vente SO ₄ H ₂	Vente Ciment	Total
	US \$	US \$	US \$	US \$	M.N.	US \$	M.N.	M.N.	M.N.
	23 000	7 400							
-2/-1	11 500	3 700	0	0	0	15 200	-	-	-
-1/0	11 500	3 700	0	0	0	15 200	-	-	-
0/1	0	0	792	2 267	1 617	4 125	6 600	3 300	9 900
1/2	0	0							
2/3	0	0							
3/4	0	0							
4/5	0	0							
5/6	0	0							
6/7	0	0							
7/8	0	0							
8/9	0	0							
9/10	0	0							
	23 000	7 400	7 920	22 670	16 170	41 250	66 000	33 000	
							30 400		
							88 010		
Totaux							1118 410		99 000

ANNEXE VIII

8. BILAN DEVICES

Les tableaux de l'annexe VII montrent les dépenses en devises auxquelles conduit l'utilisation des différentes matières premières ; il est utile de mettre en lumière les points saillants de cette question.

En effet la notion très courante d'utilisation des ressources naturelles conduit à penser que le procédé utilisant le gypse, malgré un prix de revient supérieur, ménage une économie de devises puisque la matière première est nationale, alors que les deux autres procédés importent leur matière première.

Nous opérerons une première comparaison à partir de la dépense nette en devise par tonne d'acide, et une seconde en utilisant la dépense nette actualisée par tonne en devises.

8.1. Dépenses nette en devises par tonne d'acide (charges, remboursement capital et intérêts comprises)

1) Installation utilisant le soufre :

Nous pouvons considérer que les seules dépenses en devises, en dehors de la matière première, sont les matières auxiliaires et l'entretien (dans l'estimation de VOEST, que nous avons prise pour base au point de vue technique) :

Matières auxiliaires	0,244
Entretien	0,833

et le service de capital proportionnellement à l'investissement en devises

$$\text{soit : } 2,90 \$ \times 0,76 = 2,204$$

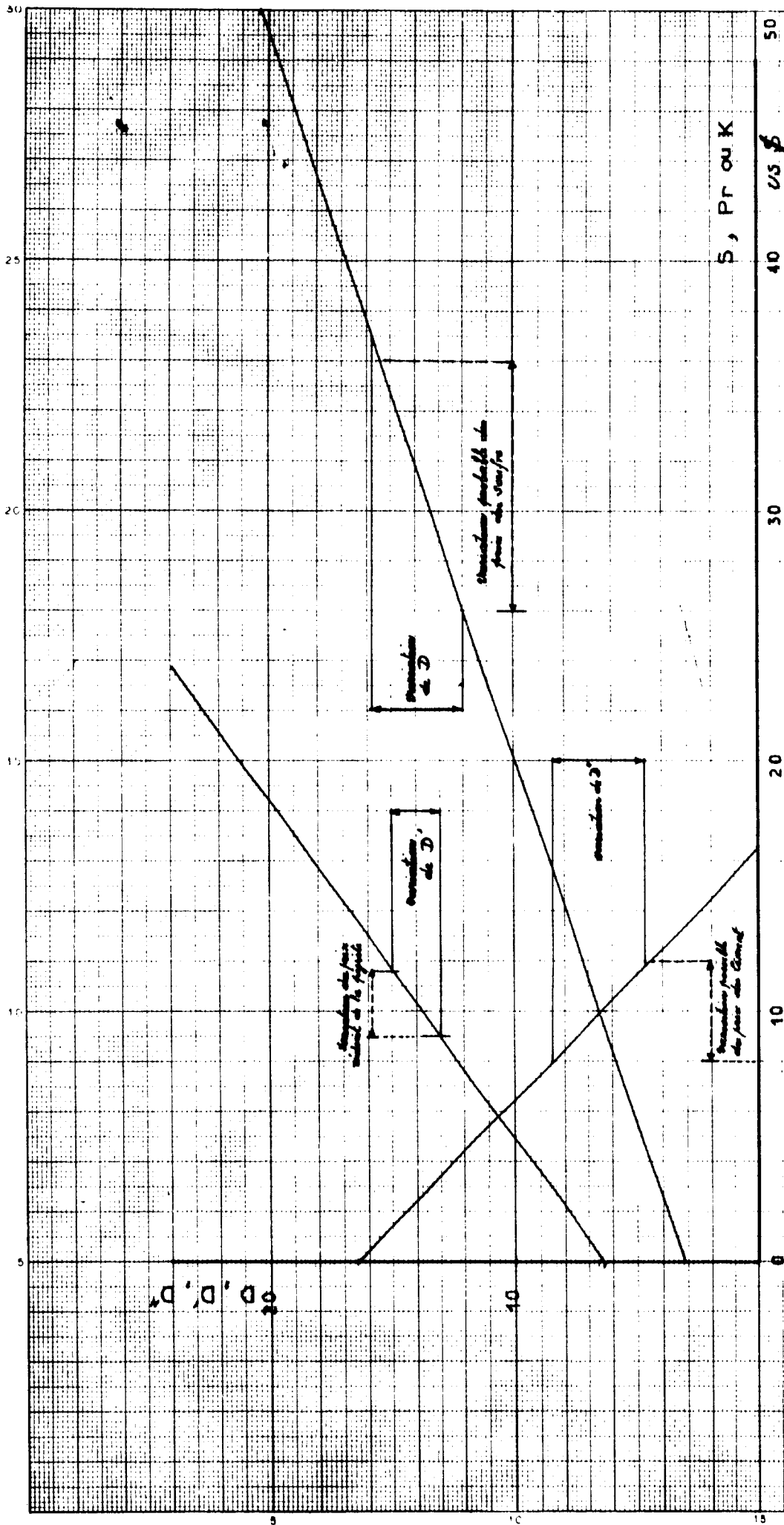
Les dépenses en devises sont donc au total :

$$D = 3,28 + 0,34 \$$$

2) Fabrication ex pyrite :

D'après le tableau 10 de la A₂ nous obtenons la formule :

$$D = 6,29 + 0,74 P_r$$



DEPENSE NETTE EN DEVICES
PAR TONNE D'ACIDE

(Charges de remboursement Capital et Intérêts comprises)

FIG. 8

3) Fabrication de gypse :

Le tableau 19 de la présente étude conduit à la formule :

$$D = 16,50 - K$$

K prix du ciment FOB arrimé.

$$(K = C + \text{sacherie} + \text{mise à bord}).$$

Les droites représentatives sont tracées sur la figure 8.

Il est manifeste que dans les conditions actuelles pour la pyrite et le soufre, et les conditions supposées pour le ciment :

$$K = 10 \text{ US } \$$$

$$P_r = \text{environ } 10.75 \text{ US } \$$$

$$S = \text{aux environs de } 35 \text{ US } \$,$$

La fabrication ex gypse fait apparaître une économie de devises importante de plus de 8 dollars par tonne d'acide sulfurique produit .

Dans ces 8 dollars, il faut remarquer que sont comptés 1,50 dollars de sacherie (dont a été le papier importé), et mise à bord, dépenses en dinars qui se transforment en recettes en dollars.

8.2. Dépenses en devises actualisées

Nous procéderons comme précédemment pour l'étude des valeurs actualisées des dépenses totales.

En ce qui concerne le service du capital, nous gardons le schéma qui a été tracé à propos de la méthode d'actualisation que nous avons retenue.

Nous ne prenons donc pas en compte les charges financières correspondant aux différents emprunts, à long ou à court terme, et rapportons la dépense actualisée à l'investissement par tonne d'acide.

Nous obtenons ainsi pour l'investissement en devises par tonne :

1) Fabrication ex soufre :

Investissement par tonne : $\frac{5.600.000}{3.000.000} = 1,87$ US \$

et la formule de "dépenses" en devises devient :

$$R = 1,87 + (0,34 S + 1,32) \text{ US } \$ = 2,95 + 0,34 S$$

2) Fabrication ex pyrite :

Investissement par tonne : $\frac{11.088.000}{3.000.000} = 3,696$ US \$

$$R' = 3,70 + (0,74 P_r + 1,79) \$ = 5,49 + 0,74 P_r$$

3) Fabrication ex gypse :

Investissement par tonne : $\frac{22.520.000}{3.300.000} = 6,824$ US \$

$$R'' = 6,82 + (7,30 - K) \text{ US } \$ = 14,12 - K$$

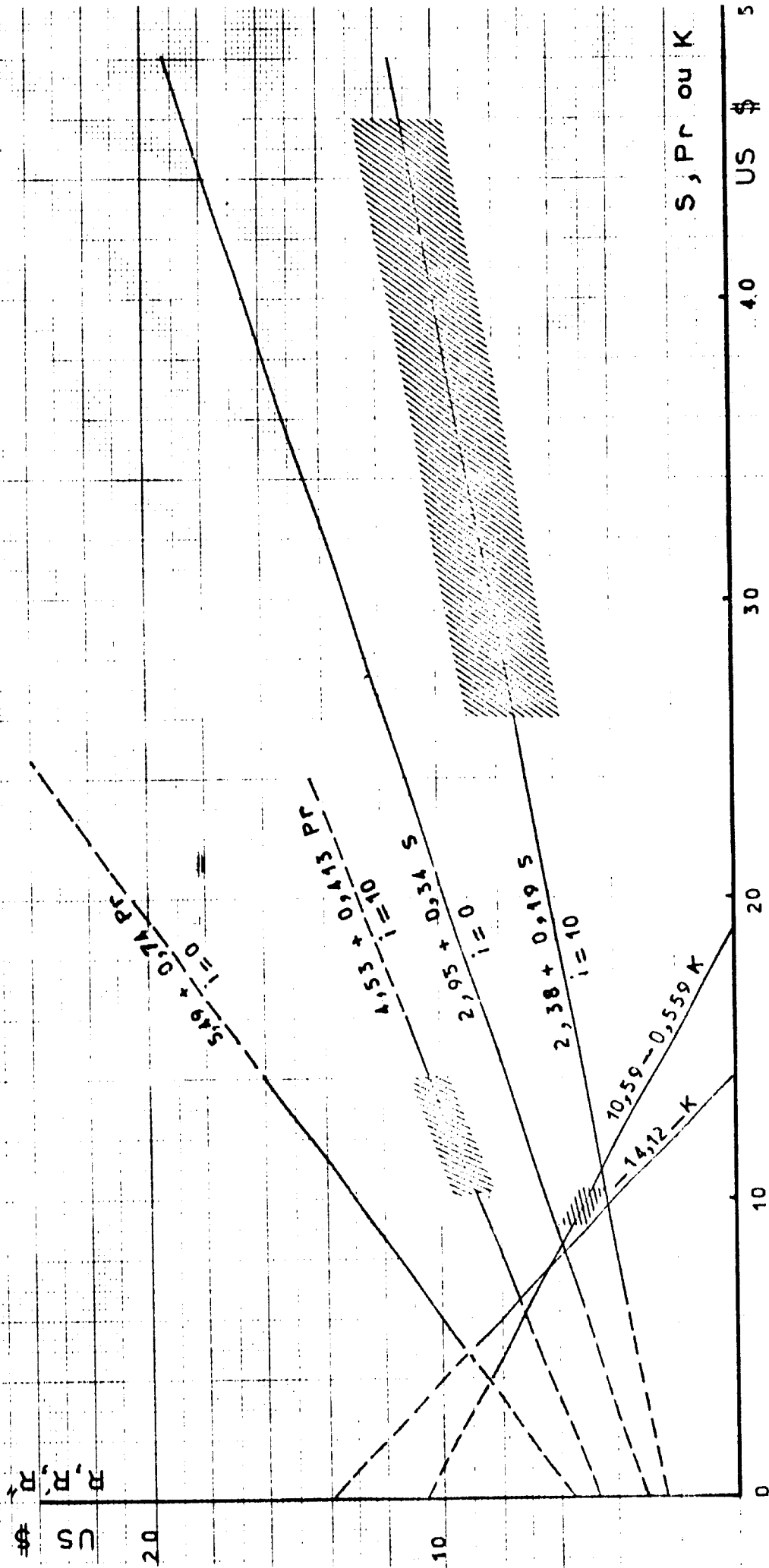
(où K est le prix de vente de la tonne de ciment FOB arrimé)

Les différentes dépenses en devises, qu'elles soient d'investissement ou d'exploitation (hors soufre et hors pyrite) conduisent aux chiffres suivants, en valeurs actualisées (calculées seulement pour des taux de 8 et 10 %).

Investisse- ment par tonne	Dépense d'exploit- ation par tonne	i = 8 %			i = 10 %		
		k_u	k_e	TOTAL	k_u	k_e	TOTAL
	d_e	0,963	0,6213		0,955	0,5586	
Soufre	1,87	1,80	0,67	2,47	1,78	0,60	2,38
Pyrite	3,70	3,56	1,11	4,67	3,53	1,00	4,53
Gypse	6,82	6,57	4,53	11,10	6,51	4,08	10,59

L'on obtient ainsi le tableau suivant des formules donnant les dépenses actualisées à la tonne d'acide sulfurique.

	i = 8 %			i = 10 %		
Soufre	2,47	+ 0,211 S		2,38	+ 0,190 S	
Pyrite	4,67	+ 0,46 P _r		4,53	+ 0,413 P _r	
Gypse	11,10	- 0,62 K		10,59	- 0,559 K	



DEPENSE EN DEVICES ACTUALISEE.
PAR TONNE D'ACIDE

Nous avons porté pour le taux d'actualisation $i = 10\%$ les résultats sur la figure 9.

On constate immédiatement que :

1) Dans les circonstances actuelles (fin 1969), le prix réduit de la pyrite étant de 10,75 dollars la tonne correspond, si nous supposons maintenu bien entendu ce prix au cours des dix années d'exploitation et si les cendres sont bien exportées en totalité à une dépense de devises de 9,0 US \$ par tonne d'acide environ. Il faut alors que le soufre soit, durant cette même période, à un prix inférieur à 35 US \$, pour être plus avantageux que la pyrite sous le rapport des dépenses en devises.

2) La fabrication gypse, correspond pour le prix du ciment FOB armé 10 \$ la tonne exportée à une dépense en devises de 5 \$ pour une tonne d'acide. Il y a donc dans ces conditions une économie de devises de $E_{10} = 9,0 - 5,04 = 4$ dollars par tonne d'acide.

Remarque :

Influence du taux d'actualisation :

Nous avons sur la figure 9, tracé les droites représentatives des dépenses en devises actualisées pour un taux d'actualisation de 10 %.

Portons sur la figure 9 les droites qui correspondent à un taux d'actualisation nul.

Les différents taux d'actualisation qui seront retenus correspondent à des droites qui balayeront la zone comprise entre les deux droites figuratives. ($i = 0$, et $i = 10\%$)

Par exemple pour le soufre, ce sera la zone de plan comprise entre les droites :

$$R = 2,38 + 0,19 S$$

$$R = 2,95 + 0,34 S$$

L'influence du taux d'actualisation est donc particulièrement sensible, et la différence en faveur d'une fabrication ex gypse ira croissant à mesure que le taux d'actualisation ira diminuant.

Pour $i = 0$, condition toute théorique et irréalisable, la dépense en devises pour la fabrication ex gypse est de : 4,12 \$ et pour la pyrite de 13,40. L'avantage pour le gypse est de 9 dollars.

8.3. Comparaison soufre pyrite :

Nous ne reprendrons pas la discussion menée à propos des dépenses totales par tonne d'acide. La différence dans les deux installations échappe à l'analyse tant que l'on n'a pas de prix réels reposant sur des offres concrètes. Les deux fabrications se tiennent sous le rapport des devises comme elles se tiennent sous le rapport des dépenses totales par tonne d'acide, en supposant toujours que les cendres sont effectivement exportées en totalité.

Si des considérations spéciales intervenaient, comme l'assurance d'une source de pyrites nationales ou en sens inverse la nécessité nationale de réduire les investissements au minimum, la solution du problème serait évidente.

8.4. Comparaison des fabrications ex pyrite et ex gypse :

Nous avons vu que, dans les conditions retenues, il y a en fait une certaine économie de devises dans la production ex gypse, économie que nous avons pu estimer à 4 dollars environ. (En supposant bien entendu que toute la production de l'usine soit exportée).

Il reste à voir quel prix réel sont payées ces devises gagnées par la société qui pratique cette opération: nous effectuerons pour cela les calculs en dollars monnaie de compte : \$ mc.

En effet le ciment produit a une valeur sur le marché national de 6 dinars la tonne (en sacs) soit en comptant 820 millimes pour la sacherie, 5, 180Dinars en vrac, ou 9,87 \$ mc.

C'est à dire que la vente à l'extérieur, en devises, conduit à un manque à gagner de :

$$9,87 - 7,70 = 2,17 \text{ \$ mc.}$$

Or nous avons vu que le prix de revient de l'acide sulfurique est lui-même obéré de plus d'une dizaine de dollars par rapport à celui de l'acide ex pyrite.

Les 4 dollars d'économie en devises que nous avons rencontrés plus haut se paient donc au prix de :

2,17 \$ mo de manque à gagner sur le ciment

10 \$ de supplément de coût sur l'acide sulfurique.

On aboutit ainsi à l'égalité (en chiffres arrondis)

4 \$ = (12) \$ mo. (12 \$ mo = 6,3 Dinars)

Les devises "économisées" sont payées environ 3 fois le cours officiel, ce qui constitue une dévaluation implicite hors de proportion avec ce que l'on peut consentir dans une opération de "chasse aux devises".

La présentation précédente est frappante, et il est bien entendu parfaitement possible d'affirmer que le taux d'actualisation choisi de 10 % ne reflète pas la réalité, les estimations de taux d'actualisation étant particulièrement délicates et sujettes à controverse.

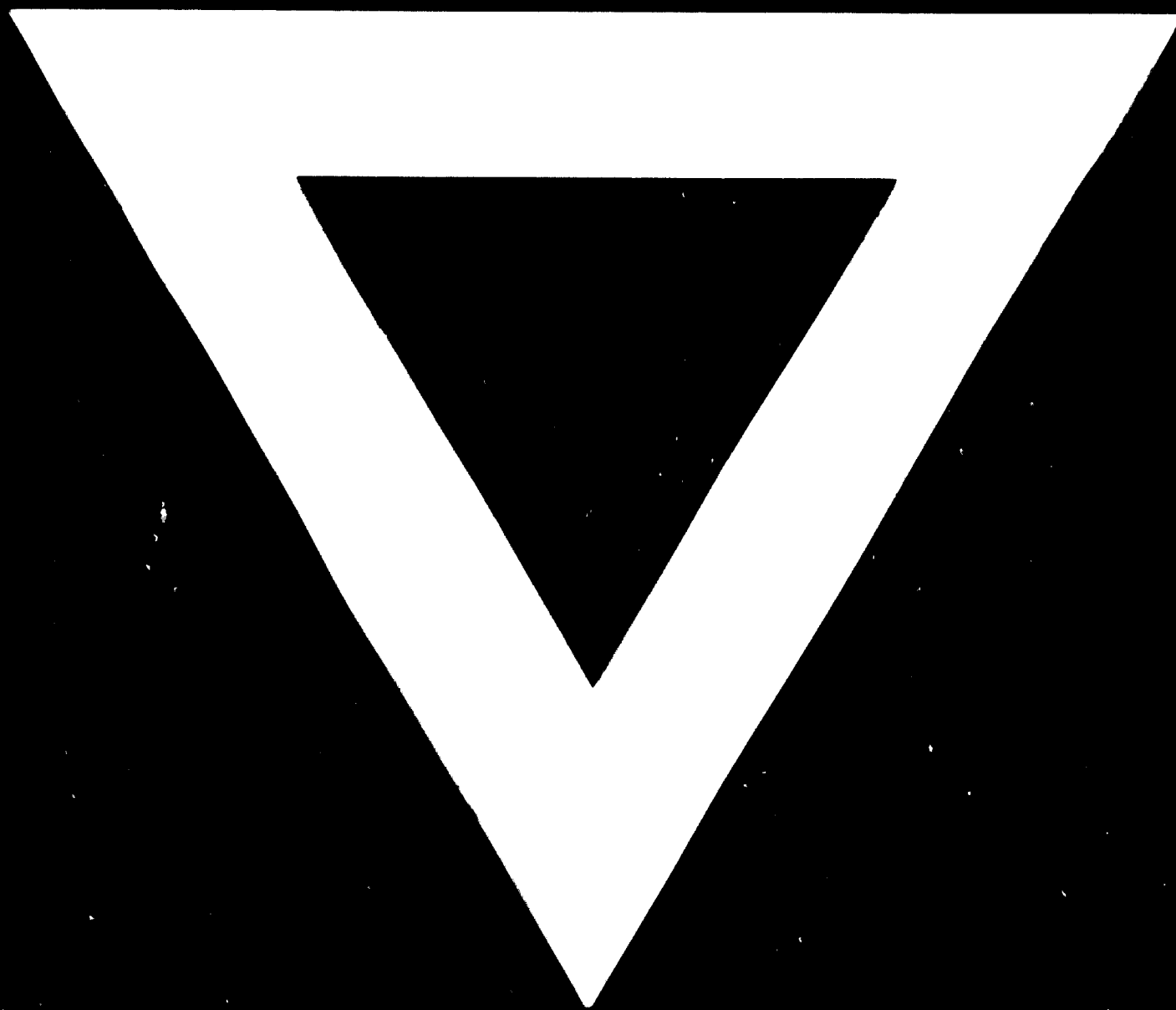
Sans descendre à des taux d'actualisation qui n'auraient aucun rapport avec la réalité, on peut estimer qu'un taux faible serait de 6 %. Dans ce cas, l'avantage de la fabrication ex gypse serait d'environ 5 dollars sur la fabrication à partir de pyrite. Les devises sont encore payées plus de deux fois le cours officiel.

Dans le cas où le ciment ne serait pas exporté, la dépense actualisée serait un peu plus de 10 US \$ par tonne d'acide, c'est à dire supérieur à celle que l'on peut attendre à une installation utilisant soufre ou pyrite.

8.5. Conclusion.

Le risque pris est donc celui de faire un investissement élevé sans avoir la certitude d'exporter la totalité du ciment et de payer de toute façon très cher les devises gagnées, si tant est qu'on puisse en gagner, et dans ces conditions la fabrication d'acide sulfurique à partir de gypse ne peut être considérée comme une réalisation intéressante sous le rapport de la balance devise.

B-553



84.11.07

AD.86.07

ILL4.0+10