

UNIVERSITE D'ALGER
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

6/71

MINES ET METALLURGIE

157

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
الجزائرية
THESE DE FIN D'ETUDES

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

MINE DE HAMMAM N'BAILS

Traitement de Minerais

Complexes d'Antimoine

Zinc et Plomb

S U J E T

Proposé par :

SONAREM

Etudié par :

A. ZIDANI

Dirigé par :

A. ARAB

1971

E C O L E N A T I O N A L E P O L Y T E C H N I Q U E

D E P A R T E M E N T

- /) /) I N E S E T /) /) E T A L L U R G I E

Thèse de fin d'Etudes

TRAITEMENT DE MINERAIS COMPLEXES
D'ANTIMOINE ZINC ET PLOMB.

S U J E T

Proposé par:
SONAREM

Etudié par:
A.ZIDANI

Dirigé par:
A.ARAB

1970-1971

A MON FRERE

A B D E L H A M I D

(1941 -- 1965)

AVANT PROPOS
=====

J'é remercie

MONSIEUR Arab chef du département MINES ET METALLURGIE qui
n'a pas cessé de porter à mon travail le plus
vif intérêt .

MESSIEURS tous mes professeurs qui par leurs conseils éclairés
m'ont guidé dans mon travail.

TOUT le personnel de la société nationale SONAREM qui par
sa précieuse collaboration m'a aidé à la réali-
-sation de ce projet.

ABDELAZIZ ZIDANI

S O M M A I R E

	PAGE
INTRODUCTION	
I ECONOMIE DE L'ANTIMOINE	
I-1 Usages.....	3
I-2 Productions et grands producteurs.....	4
I-3 Marchés et cours.....	7
2 MINERAIS ET METALLOGENIE	
2-1 Types de gisements.....	8
2-2 Grands gisements dans le monde.....	9
2-3 Principaux minerais d'antimoine.....	10
3 PRESENTATION DU GISEMENT DE HAMMAM N'BAILS	
3-1 Situation géographique.....	12
3-2 Géologie générale.....	14
3-3 Minéralogie.....	18
4 FRAGMENTATION	
4-1 Concassage.....	22
4-2 Broyage.....	27
5 MODES D'ENRICHISSEMENT	
5-1 FLOTATION	
-Directe collective.....	48
-Directe selective.....	50
-Inverse.....	54
5-2 LIxiviation	
-Méthode du sulfure de sodium.....	63
-Méthode de la soude.....	66
6 CONCLUSION ET ETUDE COMPARATIVE.....	

INTRODUCTION GENERALE SUR LES MINERAIS D'ANTIMOINE

- ECONOMIE
- MINERAIS ET METALLOGENIE

Première Partie

DONNEES ECONOMIQUES SUR L'ANTIMOINE

I) Les usages de l'antimoine.

L'utilité principale de l'antimoine est la fabrication d'alliages. Ajouté à d'autres métaux plus doux comme le plomb ou l'étain, il donne de la résistance aux ~~acides~~ ^{alliages} et surtout durcit l'alliage ainsi formé. Les principaux alliages sont les alliages anti-friction. C'est là qu'il intervient dans les plus fortes proportions. Il intervient aussi dans l'élaboration des caractères d'imprimerie et des ustensiles de cuisine.

A l'état combiné, on l'utilise comme pigment, colorant ect... ex: céramiques, poteries, tissus, papiers.

En chimie on l'utilise comme catalyseur. Malgré d'ardentes polémiques sur son caractère toxique, on l'utilise en médecine et en pharmacie.

L'antimoine intervient dans la fabrication d'accumulateurs.

Tableau des utilisations diverses de l'antimoine
aux Etats Unis et au Royaume Uni

	Tonne courte (S.T)	%
Accumulateurs	9911	39,30
Alliages divers	2863	11,40
Colorants	1515	6,00
Oxydes	9143	36,30
Divers	1758	7,00
T O T A L	25190	100,00

S.T. (Short ton) = 907,184 Kg.

II) Production mondiale et grands pays producteurs

D'après les derniers renseignements la production est passée de 67.191 S.T. en 1968 à 69.794 S.T. en 1969 marquant une augmentation de 2,9%.

- L'Afrique du Sud maintient sa position de premier producteur mondial depuis le refus de la Chine Populaire de mettre ses produits sur le marché mondial. La région de Gravelotte (Est du Transvaal) fournit les 29% qui donnent à l'A. du Sud ce premier rang. Ce pays profite des conjonctures internationales pour dépasser ses prévisions.

- On pense que la Bolivie qui est un producteur depuis longtemps n'a pas augmenté sa production qui reste aux environs de 17,5% de la production mondiale depuis 1960.

tableau des principaux producteurs

PAYS	Productions (S.T.)		
	Année 1968	Année 1969	Augm. en %
Afrique du Sud	18.535	20.014	8,00
Bolivie	12.188	12.200	-
Mexique	3.819	4.000	4,7
Yougoslavie	1.935	2.000	3,4
Chine Populaire			
U.R.S.S.	21.600		
Tchécoslovaquie			
Reste	9.914	9.980	0,7
T O T A L	67.700	67.900	2,9

On remarque que la principale augmentation provient d'Afrique du Sud .Le tableau suivant est assez significatif.

	1967	1968	1968	1969/1967
Afrique du Sud	13.597	18.535	20.014	1,5
Reste du monde	50.103	49.256	49.780	1,015
TOTAL	63.700	67.791	69.794	1,1

Ceci est dû à la découverte de nouveaux gisements qui présentent des facilités d'exploitation.

III) Les marchés et les cours

Les pays sont producteurs quels que soient les cours : Afrique du Sud; Chine ; Bolivie et Mexique. Les réserves sont grandes et l'exploitation rentable. Le reste est formé de pays qui produisent en période de cours élevés.

a) Les teneurs

On exploite généralement de 1 à 10%. On peut aller jusqu'à des teneurs inférieures à 1%. Dans ce cas la minéralisation est complexe et contient des métaux de valeur ex; Ag, Cu, Au ect.. Notons qu'il est rare de trouver des gisements ayant des teneurs élevées . Rappelons que la teneur de la croûte terrestre en Sb est de l'ordre de $10^{-4}\%$.

Dans les marchés mondiaux , on admet que la teneur de 35% est marchande. En effet , c'est à partir de cette teneur que le minéral est accepté par les fondeurs.

b) Les impuretés

Considéré lui même comme une impureté gênante donc pénalisé dans d'autres concentrés, l'antimoine ne peut à son tour tolérer des teneurs assez élevées qui limiteraient ses emplois. C'est le cas des concentrés de Pb et Zn qui deviennent cassants après grillage. L'arsenic et d'autres métaux le rendent très toxiques. EN médecine on ne tolère pas plus de 0,25% en As et 0,75% en Pb ou Cu.

c) Les cours

Les cours sont très conditionnés par la production chinoise qui refuse de mettre ses produits sur le marché libre. Ceci crée une instabilité des cours. Malgré les prix plus élevés qui lui sont offerts, ce pays préfère en faire des stocks stratégiques.

Notons que les guerres ont toujours été de très bonnes conditions pour l'augmentation de la production et des cours. Ces guerres ont permis :

-L'exploitation de gisements considérés comme non rentables. (teneurs faibles ou mauvaises conditions d'exploitabilité).

-De faire des recherches pour trouver de nouvelles méthodes d'enrichissement.

-Surtout de récupérer le métal contenu comme sous produit produit dans d'autres minerais. Notons comme exemple que cette récupération est majoritaire au U.S.A. et surtout au Japon.

COURS DES METAUX: Sb, Zn et Pb

(D'après London Metal Exchange)

Zinc et Plomb à 98% en DA/T

Année	ZINC	PLOMB
1963	1210	1100
1964	1540	1500
1965	1714	1760
1966	1628	1485
1968	876	1215
1970		

Antimoine à 99,99 %

Année	DA/tonne
1950	2400
1955	2650
1965	3400
1970-I	30.000
" 6	18.000
" II	10.800
" 12	9.400

II^{ème} PARTIE

MINÉRAIS ET MÉTALLOGÉNIE

A) LES TYPES DE GISEMENTS D'ANTIMOINE

La tendance est principalement calcophile (C.A.D. se combine surtout avec le soufre). Certains minéraux peuvent être cependant sidérophiles (natifs.).

AI) Gisement filonien épithermal

Ce genre de gisement est en rapport avec le volcanisme. La formation a lieu pas loin de la surface du sol. La température serait de l'ordre de 150°C. La profondeur dépasse rarement 100m. C'est en général le cas de la stibine. Celle-ci a une gangue quartzée et une paragenèse restreinte (Pyrite surtout). Elle est en général suivie de sulfures tels: Mispickel, Réalgar, blende et Cinabre. On peut y trouver des sulfo-antimoniures ainsi que de l'or et de l'argent.

AII) Gisement mesothermal

La température est de l'ordre de 250°C. La paragenèse est à base de plomb et de cuivre surtout. On a alors formation de sulfo-antimoniures. Ces gisements sont exploités rarement pour l'antimoine qu'ils contiennent mais pour d'autres métaux plus nobles tels que : Argent, Or, Cuivre....

La profondeur des gisements de ce genre peut être assez grande (+200m.). La minéralisation contient des intrusions de microgranites. C'est le cas des gisements marocains et français.

B) Les grands gisements d'antimoine dans le monde

CHINE La totalité de la production provient de la province du Hunnan (sud du pays) la ~~minéralisation~~ minéralisation est principalement formée de stibine à gangue quartzreuse. La pyrite et le cinabre n'ont pas été rencontrés. Le minerai est tantôt compact finement impregné tantôt bréchoidal avec des veines entrecroisées de stibine pure.

BOLIVIE L'antimoine est contenu dans des minerais complexes de cuivre, argent et étain.

SLOVAQUIE Ce sont des gisements auro-antimonifères qui titraient 8% de Sb.

FRANCE La France était le premier producteur européen avec ses différents gisements de Hauriac, Lucette. C'étaient des filons quartzeux minéralisés en stibine et pyrite aurifère. Les roches encaissantes étaient des schistes siluriens. Ils sont épuisés de nos jours. Les gisements qui restent en exploitation sont situés dans le Massif Central, Le Gard; Brioude (Haute Savoie)

C) PRINCIPAUX MINERAIS D'ANTIMOINE

CI) Minerais où l'antimoine est le métal principal

---CIa) Stibine	Sb_2S_3		
	Dureté		2
	%Sb		71,4
	%S		28,3

La Stibine contient parfois des inclusions de Cu, AS et Au qui peut être à l'état natif. La stibine cristallise dans le système orthorombique. Chimiquement ce sont des chaînes de soufre et d'antimoine étroitement liées par des liaisons covalentes suivant l'axe C. Il est classé premier minéral dans l'échelle de fusibilité. Il a une couleur gris plomb; éclat métallique. C'est le principal minéral d'antimoine.

~~XXX~~
~~XXX~~ On trouve de la stibine en Chine (Hounnan), en Bolivie, Pérou.
en Algérie: In Kerma.

---CIb) Sénarmonite et Valentinite: Sb_2O_3

Ce sont les deux principaux minéraux oxydés de Sb.

Sénarmonite: Elle cristallise dans le cubique.

83,5% de Sb

Densité 5,3

Dureté : 3 (?)

se trouve en Böhème, Hongrie...

en Algérie : région de Constantine, Hammimet..

Valentinite : Elle cristallise dans le système orthorombique

%Sb : 83,5

Dureté 3,72

Couleur: blanc de neige si elle est pure et non altérée.

---CIc) L'antimoine à l'état natif

Se rencontre en cristaux rhomboédriques ou hexagonaux.

Généralement ce sont des masses lamellaires réniformes.

Toujours accompagné de Ag, Fe As.

On en trouve au Chili à Bornéo et en Bolivie.

III^{ème} PARTIE

PRESENTATION DU GISEMENT DE HAJJAM H'BAÏLS

- SITUATION GEOGRAPHIQUE
- GEOLOGIE ET STRATIGRAPHIE DU GISEMENT
- CARACTERISTIQUES MINERALOGIQUES

= + = + = + = + = + = + = + =

A) SITUATION GEOGRAPHIQUE DU GISEMENT

Le gisement de Hammam N'Bails est situé sur le versant nord xxxx ouest du massif Djebel Nador qui est lui même situé au sud-est de la ville de Guelja .Il est relié à cette dernière par une route goudronnée de 40Km.

La découverte du gisement remonte à une période ancienne (1845).Son exploitation aurait commencé vers 1880.Elle s'est poursuivie jusqu'en 1964 dte à laquelle les teneurs devinrent assez faibles. Les minerais extraits jusqu'à cette date étaient remarquables par leurs teneurs .Elles étaient de :

- 15 à 40 % en Zinc.
- 25 à 35 % en antimoine.
- 40 à 45 % en plomb.

La compagnie exploitante livrait l'antimoine en Angleterre tandis que le plomb et le zinc était vendus à la France .

Outre le gisement de Hammam N'Bails, on exploitait aussi les gisements de Ain Sefra et Ain Acchour près du gisement principal. Malgré la longue durée d'exploitation ,le gisement de Hammam N'bails reste mal connu de nos jours.Les anciens moyens de communication avec le fond (puit ,galerie ect...) étant effondrés.La connaissance du gisement en profondeur est aussi très limitée.Ceci a entraîné les dirigeants de la S.O.N.A.R.E.M. à entreprendre des recherches systématiques sur toute la région.On effectua alors des travaux géologiques divers:Cartes au 1/10.000^e et 1/1000; galeries ,tranchées et autres .Les recherches ne sont pas terminées de nos jours et on ne peut pas se fixer une idée sur les réserves et les teneurs.

Toutefois les premiers résultats nous donnent le tableau suivant.

RESERVES	10 ³ Tonnes	Teneurs (%)		
		Antimoine	Plomb	Zinc
Catégorie B+C _I	531,00	6,14	2,10	8,06
Catégorie C ₂	1.017,00	2,55	4,49	5,34

Ces valeurs ne peuvent en aucun cas être prises comme définitives car les recherches continuent encore.

B) GEOLOGIE ET STRATIGRAPHIE

Les terrains de la région comptent des formations secondaires et tertiaires. Pour l'étude de la région, compte tenu de l'absence de fossiles, on a été obligé d'utiliser le principe lithologique.

BI) STRATIGRAPHIE DE LA REGION

BI-I) Les formations secondaires

Ce sont des dépôts de : TRIAS ; JURASSIQUE et CRETACE SUPERIEUR.

-TRIAS. Ces dépôts sont observés aux limites nord et sud de la partie ouest de la région. Ce sont des masses lavoïdes poreuses et spongieuses avec des débris de calcaires et de marnes. Ils renferment des intercallations de quartz, calcite et apatite. La coloration est altérée.

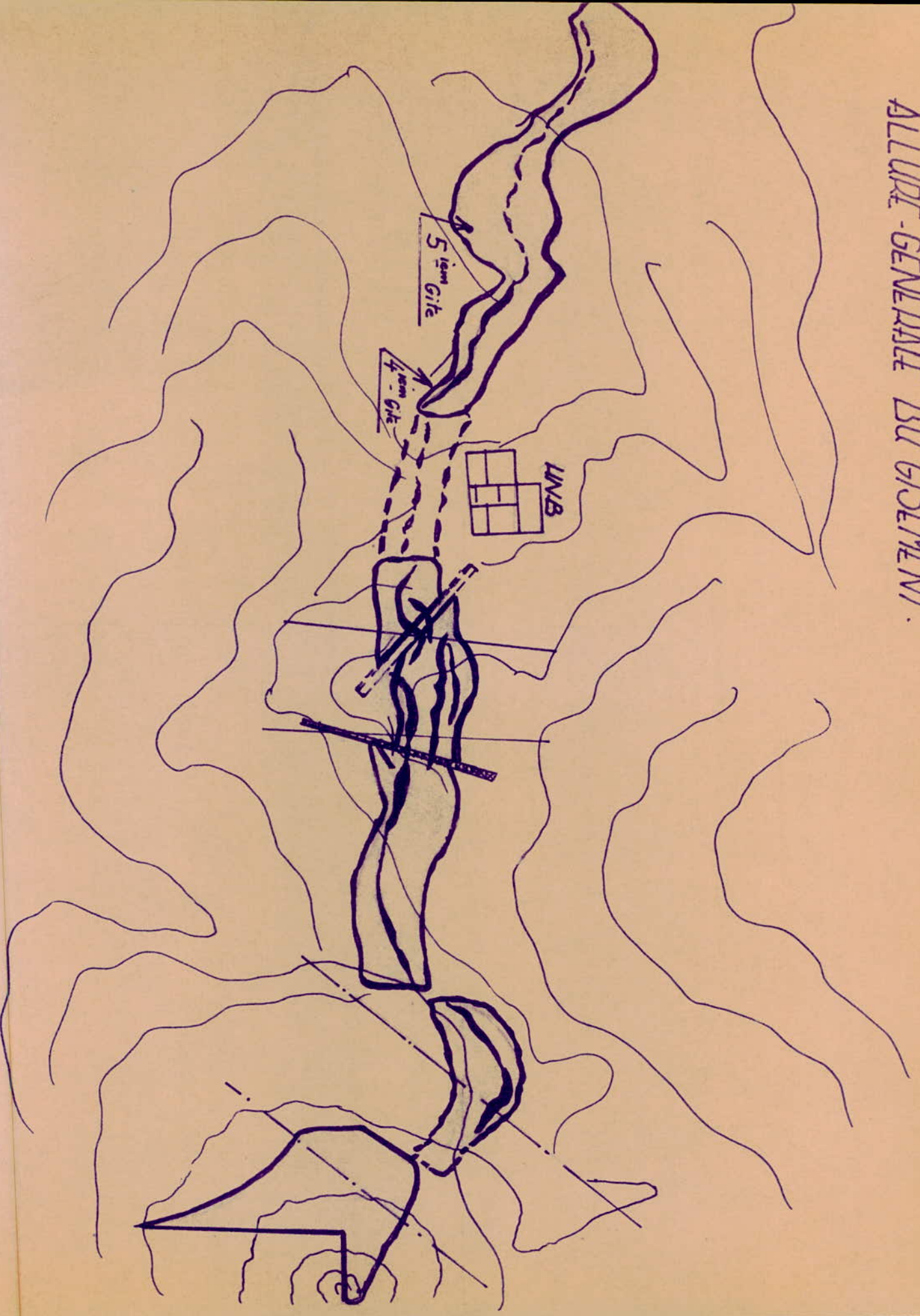
-JURASSIQUE Il affleure au flanc droit de la vallée de l'Oued Hammam. Ce sont des calcaires très altérés. La couleur varie avec la profondeur.

-CRETACE SUPERIEUR Il représente les formations les plus répandues du secondaire. Il comprend trois niveaux dont les caractéristiques stratigraphiques sont maintenues.

—Niveau inférieur: Calcaires à texture cristalline avec des bancs de marnes.

—Niveau supérieur et moyen: Bancs de calcaires lités. Il est séparé du niveau précédent par des roches bréchiques. On peut y trouver aussi des bancs de marnes. Les couleurs diffèrent de celles du niveau inférieur.

ALLURE-GENERALE DU GISEMENT.



BI-2) Les formations tertiaires

Elles occupent les parties centrales de la région. Ce sont des formations du Paléogène (Eocène, Oligocène) et du Néogène (Miocène et Pliocène).

-21) ~~XXXXXXXX~~ PALEOGENE

Surtout au pied du flanc gauche de l'Oued.

Il comprend :

-Calcaires noirs bitumeux avec nodules de silice et calcaires gréseux au niveau inférieur.

-Grès jaunâtres à texture microcristalline souvent avec des intercalations de poudingues au niveau supérieur.

-22) NEOGENE

Observé surtout dans la partie orientale de la région.

-2-2-1) MIOGENE

Comprend quatre niveaux à lithologie différente.

--A la base: marnes calcaires avec nids de gypse.

--Partie centrale du graben de Hamman N'Bails: c'est le niveau des calcaires marneux.

--Minéraux de marnes en concordance sur ces calcaires.

--Autre flanc du graben: argiles rouges. L'épaisseur est remarquable.

-2-2-2) PLIOCENE

C'est le domaine des travertins. Ces derniers recouvrent les roches mentionnées ci-dessus. On a des calcaires travertineux gris à rose rougeâtre au niveau inférieur et argilifères au niveau supérieur.

B2) LE GISEMENT DE HAMMAN N'BAILS

Les travertins et les dépôts dilluviens couvrent 70% des terrains où ont été effectuées les levées géologiques. Les dépôts du Néogène sont mis en contact avec les calcaires jurassiques du Crétacé supérieur et du paléogène. A la partie sud du plis, le flanc est effondré et les calcaires se mettent en contact le long d'une faille avec des marnes grises.

On peut observer dans le cadre du gisement toute une série de cassures subméridionales dont la plus grande est la faille minéralisée où sont localisées les différents gîtes minéraux. Les contacts se trouvent ainsi très enchevêtrés.

Le pendage de la faille est assez fort dans la partie nord et nord-ouest.

Cette faille est entrecoupée par d'autres ~~accidents~~ formant "les gîtes métallifères du gisement de Hamman N'Bails."

La minéralisation complexe de plomb, zinc et antimoine se trouve dans les gîtes N° 4, 5 et 5bis. Nous donnons une description résumée de ces derniers.

B2-I) LE QUATRIEME GITE

Les travaux de reconnaissance ont été faits à l'aide de galeries, tranchées ect.. La minéralisation est liée à une faille en contact avec des marnes grises. La minéralisation est surtout représentée par des débris calcaires limonitisés avec smithsonite cimentée par la nadorite ($PbSbO_2Cl$). Suivant les cassures, on a des ocres d'antimoine de couleur jaune vive. Les teneurs en divers métaux sont très variables. Au nord la minéralisation est recouverte par des travertins. L'extension est surtout longitudinale. Notons encore qu'il n'a pas encore été délimité en profondeur (les sondages se continuent de nos jours).

B2-2) LE CINQUIEME GITE.

C'est le plus ancien et il était la principale ressource d'exploitation .L'extraction est arrêtée maintenant .Le corps métallifère n'affleure pas dans ce gîte.Les indices sont principalement les calcaires marnoux et les marnes grises.Les failles y sont fortement limonitisées.Elles comportent des inter-callations d'ocres d'antimoine.

Le corps métallifère a la forme d'une lentille avec retressissement brusque vers le sud.

--Au centre la minéralisation est antimonifère.

--Aux alentours elle est zincifère avec des nids de nadorite.La teneur totale en Sb,Pbet Zn ne dépasse pas 30%.

B2-3) GITE 5 bis.

La minéralisation est représentée par des ocres d'antimoinos de puissance variable.C'est dans cette partie qu'a été extraite une lentille de galène qui titrait 45% de PbS.Des recoups ont mis en évidence un corps métallifère localisé dans les argiles rouges.

c) CARACTERISTIQUES MINERALOGIQUES DU GISEMENT.

Elles sont très importantes pour le choix d'une méthode d'enrichissement.

La minéralisation xx est représentée par deux types de minerais:

- Mineral complexe riche
- " " pauvre.

CI) MINERAL COMPLEXE RICHE

--

Composition:

.Nadorite $Pb SbO_2 Cl$

.Mimétésite $PbCl(AsO_4)_3$

.Hydroxydes de fer.

.Ogres d'antimoine: L'ocre est une variété d'argile riche en hématite.

.Minéraux accessoires :

-Fluorine

-Cérusite

-Galène

--Structure

Elle est bréchique et en filonnets.

--Texture: Allotriomorphe et hippidiomorphe grenue.

--Type de minéral

Il s'agit de carbonato-arséniuro-oxychlorures.

On a des brèches carbonatées intensément ferrugineuses.

ANNEXES: Quelques aspects du minéral complexe de Hammam N°Bails: I
-----oooooooooooo00000000oooooooo-----

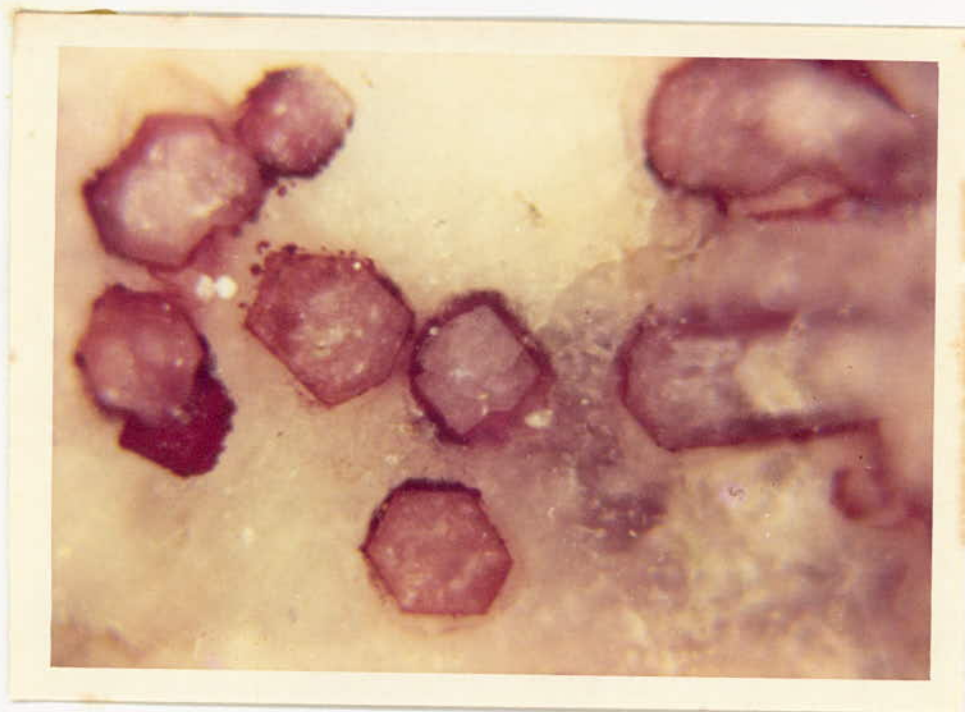


Photo I

Photo I : Cristaux de mimétésite avec grains de limonite.

Photo 2 : Inclusions d'ocres d'antimoine sur fond carbonaté (blanc)

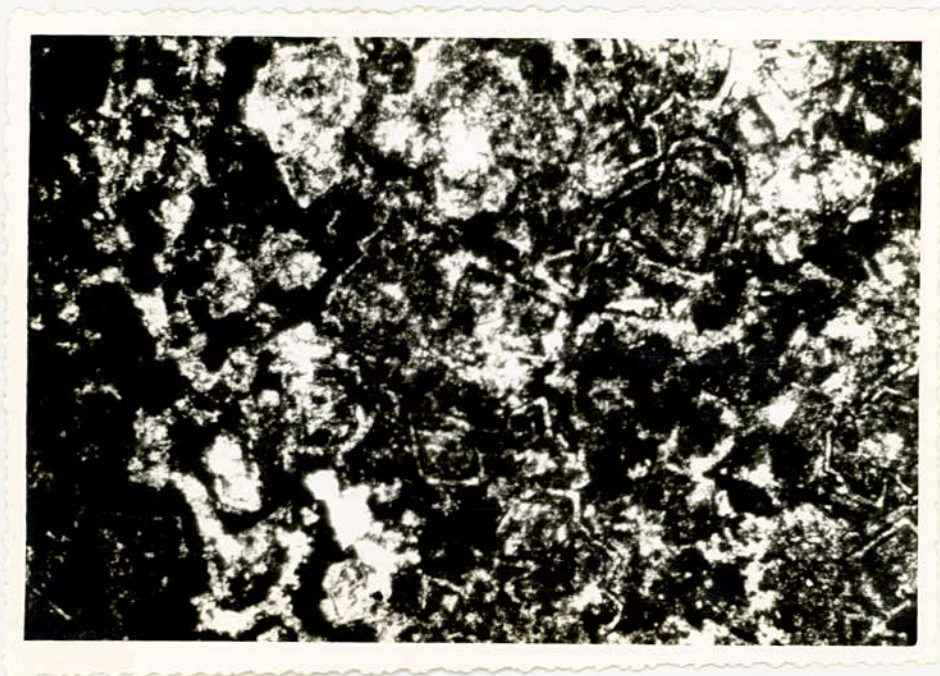


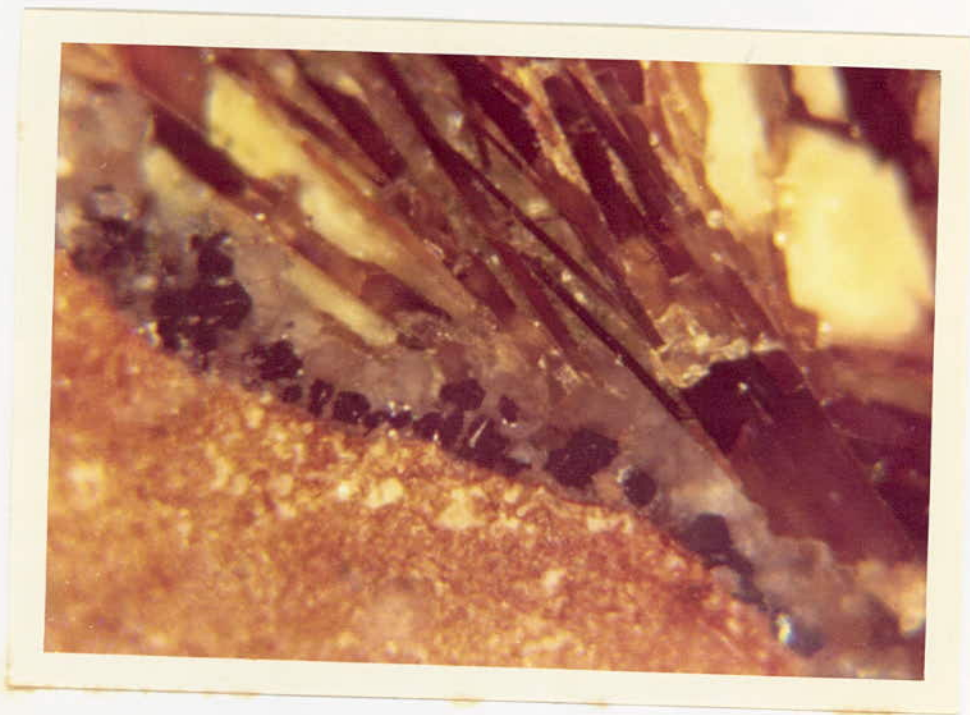
Photo 2



3

Photo 3 : Observation de la structure bréchique de la minéralisation.

Photo 4 - Minerai complexe typique: Galène (en bleu) le long des joints de cristallisation; Nadorite (rouge miel); Cérusite (jaune clair)



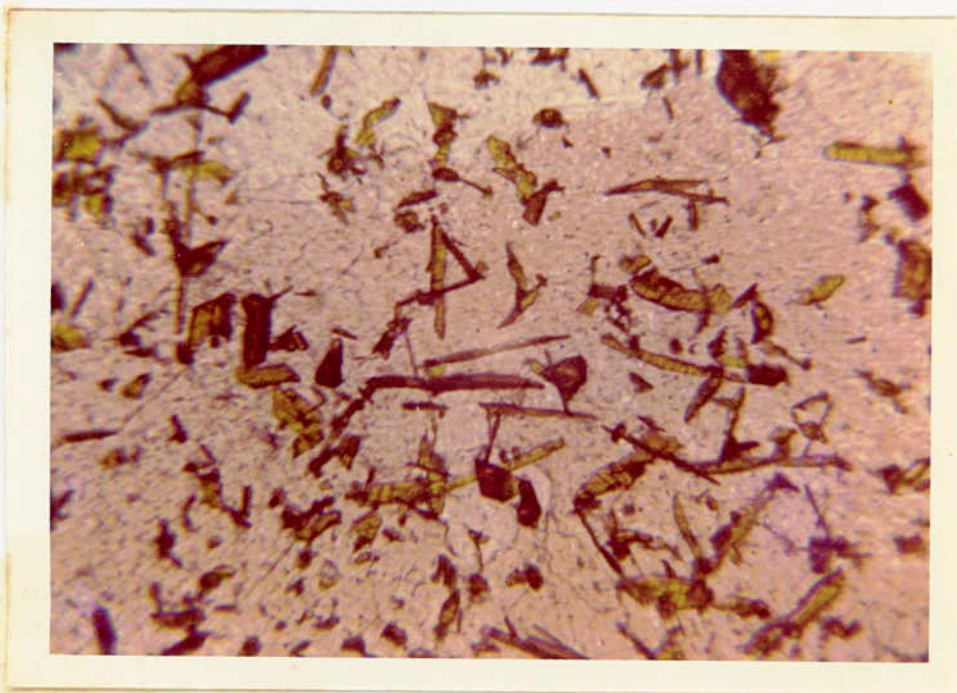
4



5

Photo 5 : NADORITE: Forme naturelle (L.M.)

Photo 6 : Un autre aspect de la minéralisation de Hammam N'Bails
Réalgar et Stibnite sur fond complexe
(Nicols parallèles; Grossissent 50)



6

La cimentation est faite de grains de dimensions différentes. La surface de ces grains est généralement recouverte de Nadorite. Le reste est recouvert d'oxydes de fer.

On note que:

- La smithsonite est très finement réparti.
- La minéralisation en Nadorite et mimétésite se trouve en veinules et en cristaux le long des joints de cristallisation.
- La galène a imprégné certaines de ces veinules.
- Des roches carbonnatées peuvent accompagner le ciment ferrugineux.
- La Nadorite est franchement xénomorphe par rapport aux autres minéraux. Elle érode et remplace parfois les minéraux cités précédemment. (voir photographies).

C2) MINERAL COMPLEXE PAUVRE

--Constitution

Il est constitué de:

- | | |
|----------------|-------------------|
| - Cérusite | $PbCO_3$ |
| - Mimétésite | $Pb_5Cl(AsO_4)_3$ |
| - Tripuhuite | $Fe_2Sb_2O_7$ |
| - Strontianite | $SrCO_3$ |

--Structure:

en couches .Souvent bréchique

--Texture:

Allotriomorphe et hippidiomorphe grenue parfois rayonnée et subgraphique.

Type de minéraux:

Ce type est caractérisé par un appauvrissement en antimoine et en arsenic.

Les roches encaissantes sont: Alkali brun, conglomérats carbonnatés et tufs endurcis et recristallisés. L'antimoine y est finement réparti.

IV^{ème}
PARTIE

R E C H E R C H E

D' U N E M E T H O D E

D' E N R I C H I S S E M E N T

+ = + = + = + = + = + = +

FRAGMENTATION

====+

Elle permet la libération des particules minérales de la gangue qui les entoure. Elle réduit ainsi les blocs de plusieurs décimètres de diamètre à l'état de poudre fine. Les dimensions obtenues sont fonction directe du mode d'enrichissement à utiliser.

La section fragmentation est constituée de deux phases

-Le concassage : les blocs sont ramenés à des dimensions de 2 à 20 mm.

- a/ de 300 à 60 mm. concassage primaire.
- b/ de 60 à 2 mm. " secondaire.

-Le broyage : Les produits concassés sont encore gros pour être admis dans la section flottation ou autre mode d'enrichissement. Le rôle du broyage est de donner des produits assez fins qui seront aptes à être traités.

ESSAIS SUR LES MINERAIS DE MAMIAM N'BAISS:

A) CONCASSAGE.

A cause de ses constituants divers, le tout venant est très tendre et ne nécessite pas de concassage primaire.

On le fait passer directement au concasseur à cylindre ou à marteaux. À cause de la nature "colloïde" de l'argile, on a formation de grains plats dont le diamètre peut atteindre 1 cm. Ceci se passe dans le concasseur à cylindres. C'est pour cela qu'on a utilisé uniquement le concasseur à marteaux.

I) ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU TOUT VENANT

Le tout venant est bien homogénéisé.
Il subit un quartage dans le diviseur.

Nous prélevons un échantillon de poids connu et on le fait passer dans une série de tamis dont la maille varie de 40 à 3 mm. On pèse le refus dans chaque tamis et on détermine le pourcentage de chaque classe. (cf. tableau N° 1)

Matériel utilisé.

- Concasseur à marteaux.
- Concasseur à cylindres
- Tamis normalisés AFNOR.

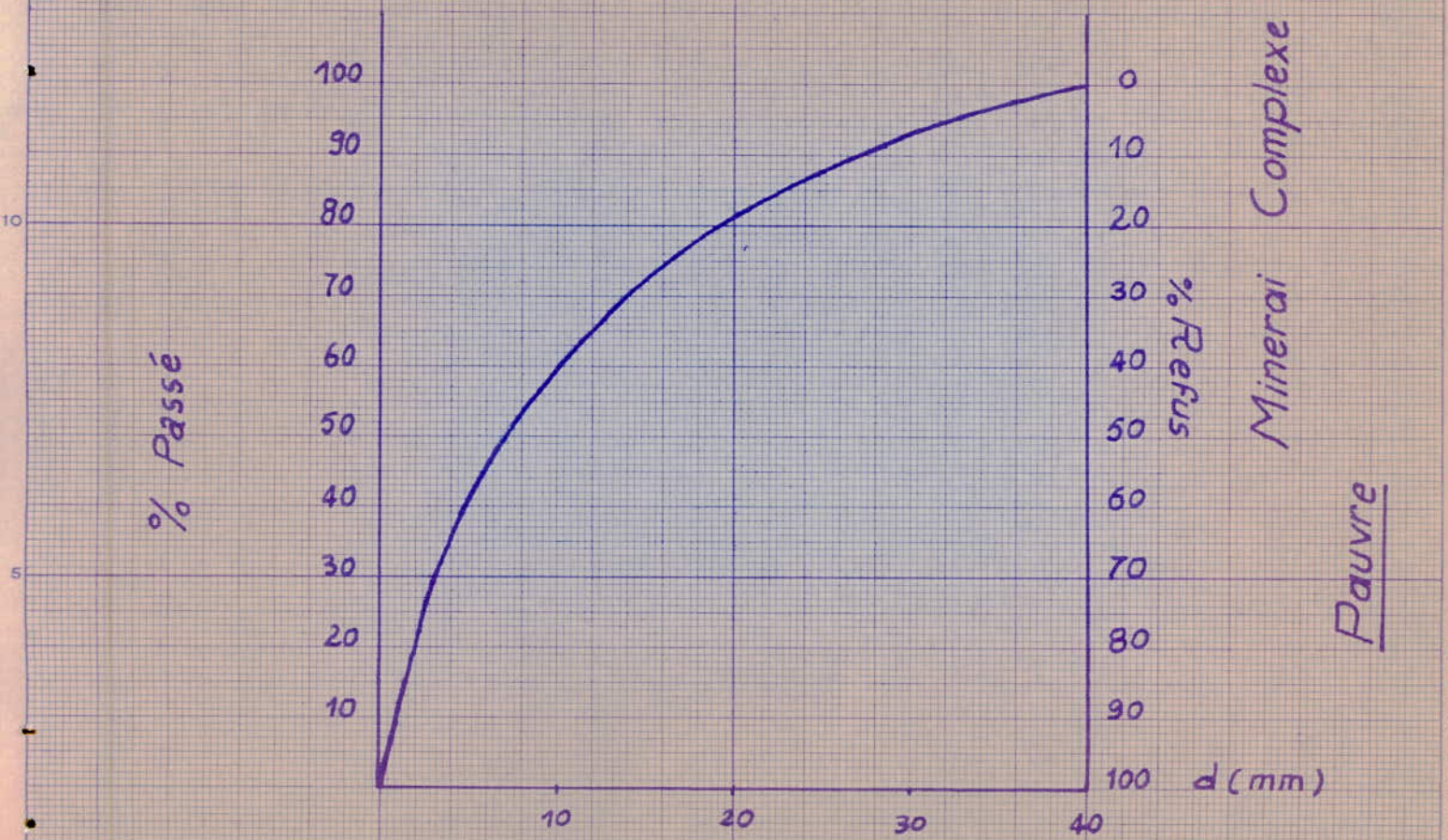
TABLEAUX DES RESULTATS

a/ Minerai complexe riche

Tamis (mm)	Poids du refus (gr.)	Poids en %	% cumulé
+20	1175	20,96	20,96
+10 , -20	1045	18,60	39,56
+ 5 , -10	1050	18,80	58,36
+ 4 , - 5	265	4,75	63,11
+ 3 , -4	450	8,02	71,13
-3	1630	29,02	100,00
TOTAL	5615		100,00

b/ Minerai complexe pauvre

TAMIS EN mm.	Refus ongr.	%	% cumulé
+20	1963	20,69	20,69
+10, -20	2038	21,20	41,89
+5, -10	2065	21,60	63,49
+4, -5	492	5,15	68,64
+3, -4	548	5,55	74,19
-3	2467	25,80	99,99
TOTAL	9573	-----	99,99



Avant de passer à l'analyse de la fraction -3 mm. Notons que la fraction +20mm. est dominée par la fraction -35,+30.

II) ANALYSE GRANULOMETRIQUE DE LA CLASSE -3 mm.

On préleve un échantillon après quartage et on le fait passer au tamis vibrant "Rotap". On pèse le refus dans chaque cas et on détermine le pourcentage de chaque classe. On obtient les tableaux N°2 et N°2 bis.

II-a/ Minéral complexe riches

Tableau N°2

Ouvertures des tamis (mm.)	Poids du refus	Poids en %	% cumulé
+1,60,-3	191	19,1	19,1
+0,63,-1,60	213	21,3	40,4
+0,315,-0,63	280	28,0	68,4
+0,16,-0,315	128	12,8	81,2
+0,08,-0,16	86	8,6	89,8
+0,04,-0,08	52	5,2	95,0
-0,04	50	5,0	
T O T A L	1000	100,00	100,00

% Passé

100
90
80
70
60
50
40
30
20
10

% Refus

0
10
20
30
40
50
60
70
80
90

0,8 1,6 2,4 3

d (mm)

Minerai Complexe : Analyse de la Classe - 3mm -

- Riche -

% Passé

100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

% Refus

00
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

0,8 1,6 2,4 3

d (mm)

- Pauvre -

II-b/Minerai complexe pauvre

Tableau N°2 bis.

Ouverture des tamis (mm.)	Poids du refus	Poids en %	% Cumulé
-3,+1,60	169	16,9	16,9
+0,63,-1,60	325	32,5	49,4
+0,315,-0,63	164	16,4	65,8
+0,16,-0,315	110	11,0	76,8
+0,08,-0,16	92	9,2	86,0
+0,04,-0,08	100	10,0	96,0
-0,04	40	4,0	100,0
T O T A L	1000	100,00	—

Toutes ces valeurs sont portées sur des courbes .On obtient les courbes caractéristiques du minerai en question.

III)ESSAIS SUR UN MELANGE DES DEUX MINERAIS.

Comme nous serons obligés d'effectuer des essais sur un mélange des deux minerais ,on a procédé aux essais de même nature que les précédents .

La différence des teneurs entre le riche et le pauvre est assez appréciable.Il serait fastidieux d'entreprendre un enrichissement des deux minerais chacun à part dans le cadre de cette étude .Nous avons alors procédé à un mélange des deux minerais dans des proportions égales.Les résultats de l'analyse granulométriques de la fraction des -3mm sont donnés dans le tableau N°3

TABLEAU N°3

Ouverture des tamis	Poids du refus	Poids en %	% cumulé
-3,+1,60	360	18	18
+0,63,-1,60	538	26,9	44,9
+0,315,-0,63	444	22,2	67,1
+0,16,-0,315	238	11,9	79,0
+0,08,-0,16	178	8,9	87,9
+0,04,-0,08	152	7,6	95,5
-0,04	90	4,5	100,0
T O T A L	2000	100,0	--

Conclusion sur la fragmentation primaire

Les résultats ci-dessus ainsi que les tableaux correspondants nous prouvent^{nt} que le minéral est très tendre et que le problème de la fragmentation est facile à résoudre.

B) B R O Y A G E

But : Libérer les particules minérales pour que se développe le processus de flotation.

Matériel utilisé

- Broyeur à boulets de 10 litres "Minerais et métaux"
- Capacité : 0,5 à 2 kg. de minerai.
- Charge broyante 10 kg. environ
- Vitesse de rotation : 40t/min.
- Puissance du moteur 0,75 Ch.

II) ESSAIS DE BROUAGE

Le but des essais effectués était la recherche d'une durée optimale de broyage. Cette durée doit correspondre à une libération maximale des espèces minérales. Comme cette dernière est en relation directe avec l'énergie consommée, elle influera sur le prix de revient.

Le broyage constitue la phase finale de la fragmentation.

-a) Considérations théoriques

Le broyage dépend de plusieurs facteurs:

aI) Composition minéralogique

C'est la connaissance des divers caractères et propriétés du minerai (dureté, densité, éclat, etc..) qui permet de faire un choix de fragmentation.

aII) Dispersion.

Elle est étudiée sur des plaques minces et surfaces polies. L'observation est directe ou sur clichés et photos.

Cette dispersion diffère d'un minéral à un autre. Dans le cas du minéral de Hamaca N'Bails elle est dite complexe c'est à dire que les grains minéraux ont des diamètres très variables. Ils peuvent très gros ou extrêmement fins.

Ainsi on voit la nécessité d'effectuer un broyage poussé si on veut avoir une libération totale des particules et des espèces minérales.

a3/ L'effet des schlamms(boues)

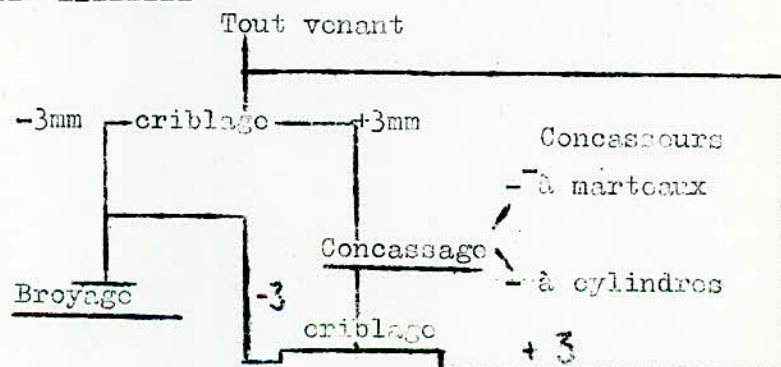
Ils provoquent une diminution du rendement. Il faut éviter la formation de ces produits. L'argile est éliminée par un lavage préalable à l'eau. Ces particules qui sont très fines montent avec le concentré et la teneur de ce dernier se trouve diminué. La formation des schlamms est en relation directe avec le broyage. On évite leur formation en augmentant la circulation de la charge à l'intérieur du broyeur.

a4) Consistance de la pulpe

Elle doit permettre au minéral de bien coller aux boulets. L'efficacité de broyage en sera améliorée.

La consistance d'une pulpe doit être aussi grande que la dispersion est fine.

IIb) SCHEMA DE PREPARATION.



D'après le schéma précédant on a fait des essais de broyage pour des durées différentes. On a pris les durées de 3, 5, 10, 15, 20, 25 et 30 minutes .

Le produit broyé est passé au tamis de 80 microns (0,08mm.) On pèse le refus et on détermine ainsi le pourcentage de la classe -0,08mm. Les résultats sont mentionnés dans les tableaux 1' et 2' respectivement pour le minéral complexe riche et pauvre. A ces tableaux correspondent les courbes C1' et C2'

a. Minéral complexe riche Tableau 1'

Temps de broyage (min.)	Poids du refus (+0,08mm.)	Poids en %	% Fortes XXXXXX -0,08mm
3	415	41,5	58,5
5	290	29,0	71,0
10	175	17,5	82,5
15	150	15,0	85,0
20	95	9,5	90,5
25	56	5,6	94,4
30	52	5,2	94,8

Tous ces essais ont été effectués sur des échantillons de 1Kg de minéral tout venant.

Le même processus a été fait pour le minéral complexe pauvre on obtient le tableau 2' et la courbe C2'.

% Classe - 0,08 mm

100%

50

10%

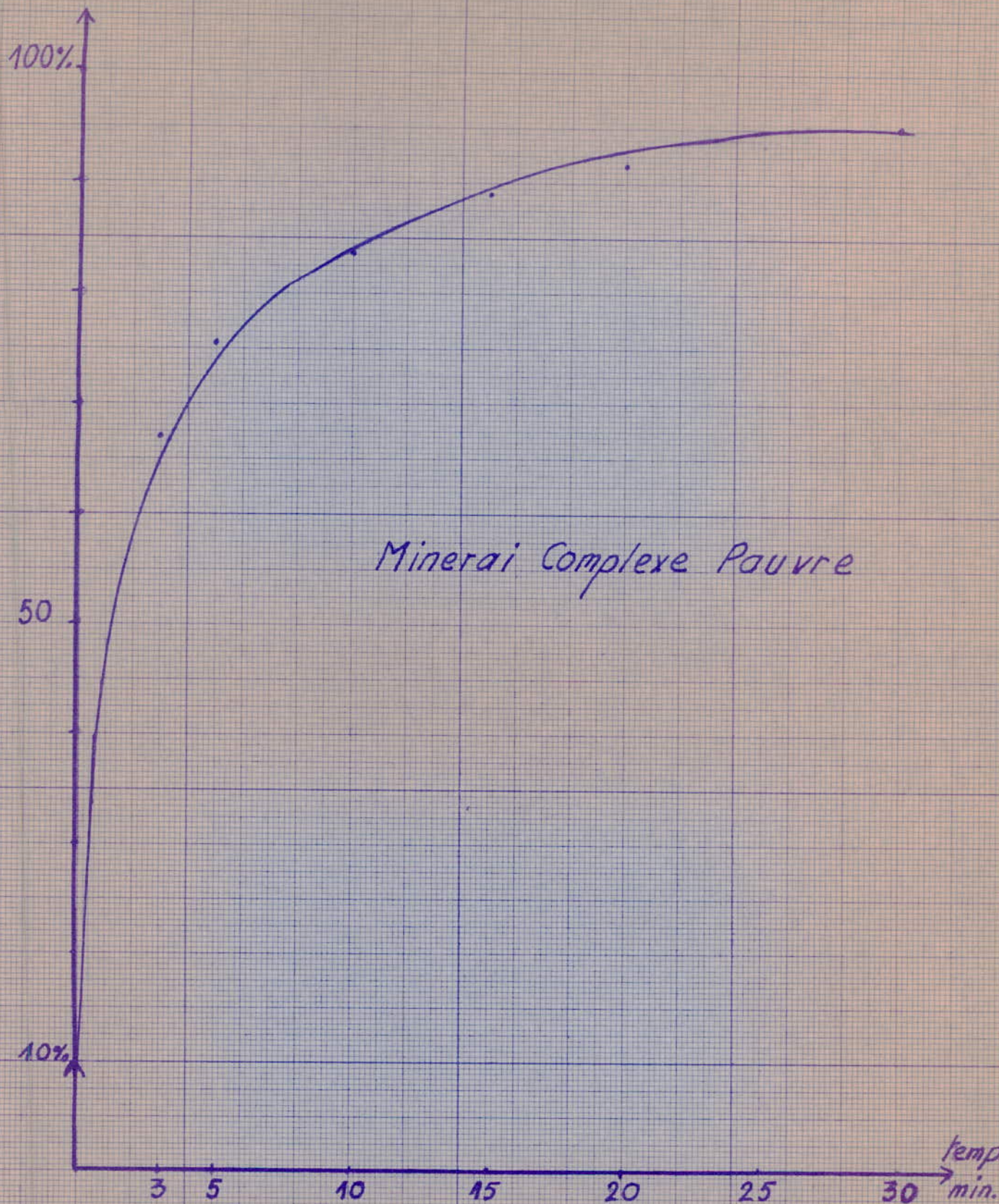
Minerai Complexe Riche

Temps
min

3 5 10 15 20 25 30

Pourcentage Classe - 0,08 en fonction du temps de broyage

% Classe - 0,08 mm.



Pourcentage Classe - 0,08 mm en fonction du temps de Broyage

b/ Minéral complexe pauvre :Tableau 2'

Temps de broyage(min.)	Poids du refus +0,08mm.	% de refus	% des pertes (-0,08mm.)
3	355	35,5	64,5
5	245	24,5	75,5
10	165	16,5	83,5
15	110	11,0	89,0
20	85	8,5	91,5
25	68,0	6,8	93,2
30	50	5,0	95,0

c/ Analyse Granulométrique des +0,08mm. après les différents temps de broyage.

Après broyage, il est nécessaire pour nous de connaître la fraction dominante dans le produit broyé.

Pour ce faire on sèche le produit dans l'étuve et on le fait passer dans le tamis vibrant. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant:

ouverture des tamis (mm)	temps de broyage (minute)													
	3'		5'		10'		15'		20'		25'		30'	
	%	cumulé	%	cumulé	%	cumulé	%	cumulé	%	cumulé	%	cumulé	%	cumulé
+ 1,6	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-1,6 ; +0,8	7,2	7,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-0,8 ; +0,63	6,4	13,6	13,5	13,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-0,63 ; +0,25	10,32	23,92	2,1	15,6	9,9	9,9	9,8	9,8	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62	6,62
-0,25 ; +0,16	7,69	31,61	4,9	20,5	3,2	13,1	3,00	12,8	1,11	7,73	7,73	7,73	7,73	7,73
-0,16 ; +0,08	15,8	47,41	8,5	29,0	4,4	17,5	2,2	15	0,77	8,5	5,6	5,6	5,6	5,2
- 0,08	58,5	100,0	71,0	100,0	82,5	100,0	85,0	100,0	90,5	100,0	94,4	100,0	94,8	100,0

Analyse granulométrique en fonction du temps de broyage.

(des +0,08mm)

Mineral Complexe Riche

E S S A I S - - D ' E N R I C H I S S E M E N T

- ENRICHISSEMENT PAR FLOTATION

--Collective

--Selective

--Inverse

-ENRICHISSEMENT PAR LIXIVIATION

--Méthode du sulfure de sodium

-- " de la soude

ENRICHISSEMENT PAR FLOTATION

A) THEORIE DE LA FLOTATION

I) Principe.

La flottation consiste à séparer en les amenant à la surface malgré leur densité élevée les particules minérales de valeur par adhérence (de ces particules) à des bulles d'air insufflées dans la pulpe.

La séparation dans la pulpe des éléments de valeur et de la gangue est basée sur leur comportement superficiel vis à vis des éléments ajoutés dans la pulpe.

Le tout venant est broyé. Les particules minérales sont hydrophobes et elles chassent l'eau de leur surface. La gangue est hydrophile, elle retient la pellicule d'eau même en présence de produits chimiques. En raison de ce comportement, on peut effectuer une séparation entre éléments de valeur rendus progressivement hydrophobes et les éléments de gangue restés hydrophiles.

On introduit dans la pulpe:

- de l'air

- des substances chimiques collectrices destinées à rendre hydrophobes les particules minérales et laisser hydrophiles les gangues.

Les particules minérales non mouillables s'attachent alors aux bulles d'air et le système bulle d'air-particule moins dense que la pulpe remonte à la surface.

AI/ Phénomènes superficiels dans les liquides .

Tension superficielle.

Une molécule située à l'intérieur

d'un liquide est attirée par toutes les molécules qui l'entourent.

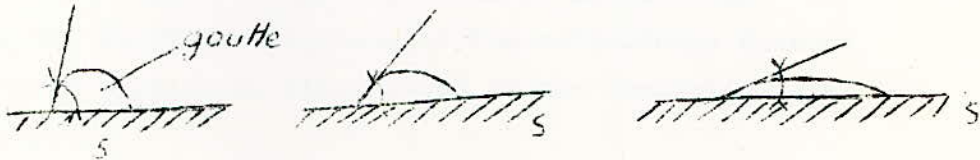
Une molécule située en surface est attirée seulement par les molécules qui sont situées au dessous d'elle.

Pour pouvoir amener des molécules en surface (ce qui équivaut à augmenter la surface du liquide), il nous faudra fournir un certain travail. On exerce une force F proportionnelle à la surface du liquide: On écrira:

$$dF = A \cdot dS$$

A est une constante. Elle est dite tension superficielle.

A2/ Phénomènes superficiels dans les solides: Angle de contact



Une goutte de liquide est déposée sur une plaque solide. L

- Si les molécules du solide et du liquide s'attirent, la goutte s'applatit sur la plaque et l'angle de contact est petit. S'il y a répulsion, la goutte se gonfle et l'angle de contact est grand.
- Les corps hydrophobes seront ceux qui auront un grand angle de contact. Ils s'accrochent facilement aux bulles d'air et flottent relativement bien.
- Les corps hydrophiles s'accrochent difficilement ou pas du tout par conséquent ils ne flottent pas.

A3/ Flottabilité des corps

La flottabilité naturelle est reconnue pour certains

..../....

Les plus importants sont les amines .Ces derniers ont pris une grande importance depuis qu'on les utilise pour la flotation des minerais oxydés et surtout des calamines.

4-2) Les moussants.

Ils permettent d'avoir un grand nombre de bulles suffisamment stables pour pouvoir rassembler toutes les particules minérales. Le plus utilisé est l'huile de pin.

4-3) Les déprimants.

Ils ont pour rôle d'empêcher la flotation de certains minéraux de façon temporaire ou plus ou moins permanente sans gêner la flotation des minéraux qu'on veut récupérer. Ils chargent fortement les particules à ne pas flotter d'ions équivalents en charge à ceux du collecteur.

4-4) Les activants.

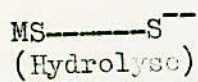
Ils augmentent la flottabilité de certains minéraux .Ils rendent aussi "flottables" les minéraux qui ont été déprimés au cours de la flotation différentielle.

4-5) Les régulateurs.

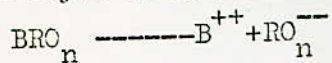
Ils peuvent faire varier la tension superficielle de l'eau par l'intermédiaire du pH. Notons qu'un pH acide provoque une diminution de la tension superficielle de l'eau .Les principaux sont: la chaux et le carbonate de soude.

4-6) Les sulfurants.

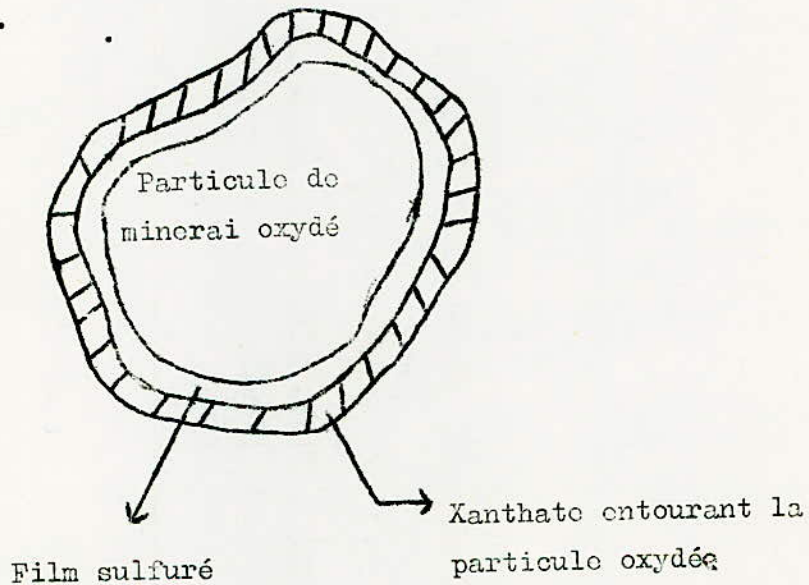
La sulfuration consiste à former un film sulfuré à la surface du minerai oxydé pour que celui-ci réponde aux exigences du collecteur.



L'oxyde se dissocie:



- Il y a un échange d'ions entre S^{--} et RO_n^{--} .
- Le métal oxydé BRO_n devient BS
- le collecteur pourra alors se développer autour du nouveau sulfure et la flottation a lieu (cf fig.)



ANALYSES CHIMIQUES DES PRODUITS

I) Dosage de l'antimoine

La méthode colorimétrique comprend:

- Calcination: Suivant les teneurs qu'on a, on pèse 0,5 ou 1 gr.
Dans un creuset de porcelaine on ajoute 3 gr. de Na_2CO_3 . ON recouvre et on met à chauffer d'abord sur feu doux puis on augmente progressivement la température à 800°C . On laisse refroidir.
- Dissolution: On met le creuset froid dans un becher, on y ajoute de l'eau et on chauffe pour dissoudre l'alliage. On lave le creuset puis on filtre. On obtient Sb^{5+} .
- Précipitation: se fait en ajoutant 10ml. SO_4H_2 et 5 ml. de HNO_3
On évapore à sec pour éliminer tout le soufre.
- Il se forme alors des cristaux blancs qu'on dissout avec un mélange de H_2SO_4 et acide citrique ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7, \text{H}_2\text{O}$). Sinon on chauffe un peu.
- On met la solution dans des fioles de 100ml. et on complète jusqu'au trait de jauge avec le mélange ci-dessus. Ce mélange de H_2SO_4 (16%) forme des complexes avec les autres ions gênants
- Mesure de la densité optique D.O.
On prend une aliquote à laquelle on ajoute 10ml. de KI. et acide ascorbique mélangés dans des proportions précises. Il y a alors formation du complexe SbI_5 de couleur jaune caractéristique. En utilisant une solution neutre C.A.D. ayant subi les mêmes opérations que précédemment mais sans prise d'essai d'essai, le colorimètre nous donnera la densité optique de l'antimoine contenu dans la prise.
- On lit la teneur correspondante sur la courbe d'étalonnage.

-Détermination de la teneur en Sb.

Si on appelle :

- m la prise d'essai effectuée en gramme.
- R le rapport $\frac{\text{Volume de l'aliquote neutre}}{\text{d'essai}}$
- D.O. la densité optique à laquelle correspond une teneur t donnée par la courbe d'étalonnage .

On aura :

$$\%Sb = \frac{t \cdot R}{m}$$

Dosage du zinc

On a utilisé deux méthodes d'analyses: Polarographie et E.D.T.A. La deuxième méthode est la plus pratique. La première se faisant généralement pour des teneurs assez petites.

Méthode par volumétrie.

-Prise d'éessai 0,5 gr.

-On ajoute 15 ml. HCl concentré, on chauffe sur bain de sable 10 mn.

-On ajoute 5 ml; de HNO_3 et recouvre de verre de montre.

On évapore à sels humides et on laisse refroidir.

-On ajoute 0,1 à 2 gr. de mélange de NH_4SO_4 (NH_4) SO_4 + NH_4Cl puis 10 ml; de NH_4OH et 2 ml. de H_2O_2 .

On chauffe 5 mn. puis on laisse refroidir.

-On ajoute 8 ml. NH_4OH et 80 ml. d'eau chaude.

-Le fer a été complètement précipité. On filtre puis on lave.

-On chauffe pour évaporer l'ammoniaque.

-On précipite les ions gênants Mn et Cu par $\text{S}_2\text{O}(\text{NH}_4)_2$ et H_2O_2 et $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

On titre avec l'E.D.T.A.

Indicateurs Xylon Orange

pH = 5,5

III) Dosage du plomb

La méthode polarographique est très utilisée car elle est assez rapide. Si les teneurs sont assez grandes, on utilise les méthodes volumétriques .

- On pèse 0,5 gr. dans un becher de 100 ou 150 ml.
- On ajoute 25 ml. de HCl. On recouvre de verre de montre et on fait bouillir pendant 15 mn.
- On ajoute 5gr. de NaCl et on fait bouillir encore pendant 15mn.
- On laisse refroidir et on met dans des fioles de 100 ml.
- On complète jusqu'au trait de jauge avec de l'acide HCl + H₂O en proportion 1:1
- On ajoute 2 ml. de gelatine à 1%
- On complète jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée.

On fait passer alors au polarographe .

Principe résumé:

Cet appareil trace la courbe Intensité-potentiel. L'intensité est proportionnelle à la concentration.

La constante de proportionnalité est donnée par une courbe standard. Cette dernière étant tracée à partir des échantillons à teneurs connues .

B) FLOTABILITE DES MINERAIS D'ANTIMOINE.

A cause de la relative friabilité des minerais d'antimoine en général, les procédés gravimétriques sont rarement utilisés. La récupération est généralement faible. Pour cela on utilise surtout la flottation. Cette dernière donne toujours de bons résultats.

L'expérience acquise dans ce domaine en laboratoire ou en marche industrielle indique les conditions suivantes :

1°/ Broyage:

Il doit être très fin. Au moins 90% de particules à -100 meshes (0,15 mm.)

2°/ Dilution:

Elle est importante pour les minerais d'antimoine. On doit avoir un rapport solide-liquide de 1/5. Ceci pour permettre aux schlamms d'avoir le temps de s'enfoncer dans le liquide.

3°/ La température.

Elle n'intervient^{pas} en général dans la flottation de l'antimoine. La température ambiante est favorable.

4°/ pH :

Un pH acide est souhaitable surtout pour les minerais sulfurés.

5°/ Sulfurant:

Une sulfuration organique est nécessaire si le minerai est oxydé même partiellement.

6°/ Activation:

La flottation de l'antimoine est activée par les sels de métaux lourds. On utilise surtout les sels de plomb nitrates ou sulfates.

7°/ Déprimant:

L'antimoine est rarement déprimé. On lui connaît un seul déprimant efficace: l'AMIDON.

8°/ Collecteur.

Les principaux collecteurs sont les xanthates surtout les butyles.

C) CARACTERES SPECIFIQUES AU MINERAL COMPLEXE DE HAMMAM N'BAILS

1°/ BROYAGE.

D'après les essais effectués, il ressort que la libération à 85% -200 meshes est obtenue pour une durée de 15 mn.

2°/ MINERALISATION.

Une minéralisation complexe est formée de grains de grosseurs différentes. Le diamètre varie de quelques cm. jusqu'à une dizaine de microns.

Ex: Nadorite Elle peut exister sous forme de longs cristaux ou dissimulée finement dans les ocres d'antimoine.

Il est de même pour la minétesite et les hydroxydes de fer. On aura donc intérêt à effectuer un broyage assez fin pour permettre une libération de toutes les espèces minérales. Sinon le résultat s'en ressentira de beaucoup.

3°/ LES ARGILES ET LES SCHLAMMS.

A cause de la finesse de leurs grains, ces parties diminuent la teneur des concentrés en englobant ou en accompagnant le concentré pendant la flottation.



(1)



(2)

Dans le premier cas on a des particules fines de gangue qui se collent à la particule minérale A. La collection n'aura pas lieu. ^{enroulée par des}
Dans le deuxième cas, une particule de gangue est particules minérales et flottera avec elles.

4°/ Problème de la sulfuration.

Comme nous avons à faire à des minéraux oxydés (Madorite, cérusite, smithsonite ect..) le problème de la sulfuration sera bien discuté pendant les essais.

D) ESSAIS PRELIMINAIRESI) Localisation des particules minérales.

Ce travail nous donne une idée sur la répartition des métaux dans le tout venant. Pour ce faire, on prend un échantillon de chaque classe et après broyage on l'analyse pour déterminer la contenance de cette dernière en métaux Pb, Zn et Sb.

Nous donnons les résultats dans les tableaux suivants. On trace les courbes correspondantes.

Ia/ Minéral complexe riche

CLASSE (mm)	POIDS EN %	CUMULE	CONTENU Sb %	REPARTITION Sb	
				%	CUMULE
+20mm	20,96	20,96	7,5	24,20	24,20
+2,5,-20	51,04	72,00	5,25	41,25	65,45
+1,25,-2,5	10,20	82,20	6,25	8,25	73,70
+0,25,-1,25	9,80	92,	5,35	8,10	81,8
+0,04,-0,25			6,75	12,2	95,00
-0,04	5,00	100,00	6,35	5,00	100,00
tout venant			6,50	100,00	100,00

Ce travail de localisation a été effectué pour les trois métaux. Les résultats sont donnés dans le tableau suivant.

../..

Minéral complexe riche: Répartition du plomb et du zinc

CLASSE (mm)	Teneur en Pb %	Teneur en Zn %
+20	0,38	3,5
-20,+2,5	0,43	3,90
-2,5,+1,25	0,65	3,75
-1,25,+0,25	0,52	3,76
-0,25,+0,04	0,60	3,99
-0,04,+0,00	0,68	4,33
Tout venant	0,53	3,94

Ib/ MINÉRAL COMPLEXE PAUVRE: Répartition de Sb, Pb et Zn.

CLASSE (mm)	%Sb	%Zn	%Pb
+20	3,00	8,2	0,77
+ 2,5 , -20	3,1	12,4	1,85
+ 1,25, - 2,5	3,00	9,15	1,56
+ 0,25, - 1,25	2,85	10,5	1,78
+ 0,04, - 0,25	3,12	9,5	1,51
+ 0,00, - 0,04	3,10	9,5	1,46
Tout venant	3,1	9,5	1,52

2°/ Essais de deschlammation

La dispersion des espèces minérales nous oblige à effectuer éventuellement une élimination des particules trop fines que sont les -0,04mm. On pourra ainsi déterminer les tonnages perdus si on aurait pas une méthode pour récupérer les métaux qui s'y trouvent. Pour effectuer ce travail on a utilisé deux méthodes.

2a/ Méthode calculée

Cette méthode nous a permis de calculer la teneur de la classe -0,04mm. connaissant la teneur de la classe +0,04mm. IL s'agit d'écrire

-Une balance-poids : $P = P1(+0,04) + P2(-0,04)$

-Une balance-métal : $P \times a = P1 \times a1 + P2 \times a2$

où:

Pest le poids d'un échantillon tout venant de teneur	a
P1 " " de la classe (+0,04mm) de teneur	a1
P2 " " " " " (-0,04mm) " "	a2 cherché.

Expérience: Un échantillon est broyé pendant 15mn. et on le fait passer au tamis de 0,04mm .On sèche le refus et on pèse .

Résultats:

P1= 171,8 Gr. 17,18%

P2= 828,20 82,82%

a= 6,35%

a2 calculée sera : 6,4%

a2 mesurée par analyse chimique : 6,35 % .

Cette valeur de peu de la teneur mesurée qui est de 6,35%. Cette valeur diffère de peu de la teneur moyenne (6,4%) du tout venant observée jusque là.

Notons qu'un essai identique a été effectué pour le minerai complexe pauvre .La teneur des -0,04mm calculée est de : 3,34%

RESULTATS DE LA DESCHLAMMATION.

	Minerai complexe riche	Minerai complexe pauvre
- <u>Broyage</u> (mn.)	15	15
- <u>Poids</u> (Gr.)		
--tout venant	1000	1000
-- +0,04mm	171,80	154,80
-- -0,04mm	828,20	845,20
- <u>Teneurs:Sb</u> (%)		
--tout venant	6,40	3,10
-- +0,04mm		
-- -0,04mm	6,35	3,22

Remarques:

On voit d'après ces résultats :

- que la classe des moins 40 microns est prédominante après un broyage de 15 mn qui libère pratiquement toutes les espèces minérales.
- Que la teneur des particules moins 40 microns est très peu différente de celle du tout venant.

Conclusions: une élimination de ces fines entraînerait une grande perte métal :Sb,Zn,Pb.

3°/ Essais de lavage.

Les lavages de tout venant ont pour but d'éliminer les particules fines d'argile ou autres

Le minerai est lavé par simple jet d'eau. On récupère le refus d'un tamis de 40 microns. On sèche à l'étuve et on pèse le produit obtenu. Ces essais ont été effectués pour trois échantillons: le pauvre, le riche et un minerai mixte dans la proportion I:I. Les résultats sont les suivants:

Minerai	Poids	Lavé	Refus	Pertes	
				Poids	%
Riche	1000	1000	650	350	35,0
Pauvre	"	"	720	280	28,0
Mélange	2000	2000	1400	600	30,0

E) RESULTATS DES ESSAIS DE FLOTATION.

En tenant compte de tous les facteurs ci-dessus et des caractéristiques du minerai de Hammam N'Bails on a effectué des essais de flottation. On a cherché surtout à récupérer l'antimoine qui est le métal le plus important.

I) ESSAIS DE FLOTATION COLLECTIVE.

I-a/ Conditions de flottation.

-Durée de broyage.....15mn.

-Réactifs:

Sulfure Na_2S1 Kg/tonne.

Collecteur: Amine acétat..200 gr/tonne.

Deschlammation Na_2SiO_3 150 gr/tonne.

Cet essai a été effectué pour les minerais complexes riches et pauvres. Le but de cet essai était de faire flotter les métaux utiles après une sulfuration préalable.

Tableau des résultats.

a) Minerais complexes riches

Produits	Tenueurs (%)		
	Sb	Zn	Pb
Tout venant	6,4	3,94	0,53
Concentré collectif	7,8	6,54	1,85
Stérile	1,14	1,22	0,59

b) Minerais complexes pauvres.

Produits	Tenueurs		
	Sb	Zn	Pb
Tout venant	3,1	9,50	1,52
Concentré collectif	3,0	15,05	1,77
Stérile	—	6,35	0,98

Le but de cet essai était de rechercher une teneur remarquablement marchande. Comme on le voit les résultats ne sont pas acceptables : la flottation a été totale. Même les argiles ont flotté. Ceux-ci ayant une charge totale négative sont fixés par le collecteur amines qui est positif (Amine acétat dans notre cas).

II) ESSAIS DE FLOTATION SELECTIVE.

Les concentrés collectifs de Plomb et de zinc sont susceptibles d'être traités de nos jours ensemble. En partant de cette idée on a essayé d'avoir un concentré mixte de plomb et de zinc. L'antimoine déprimé au début sera activé avec des réactifs qu'on lui connaît. On aura donc comme produits

- Un concentré mixte de Pb et de Zn
- Un concentré d'antimoine
- Un stérile définitif.

II-a) Conditions de flotation.

La durée de broyage et la dilution ont été maintenues. On a ajouté seulement des réactifs chimiques qui sont

- Na_2SiO_3
- Amine acétat
- Huile de pin +pétrole :Ce mélange a pour rôle de diminuer la quantité de mousses produites.

-Amidon :Il déprime l'antimoine.

-Sulfure de sodium

-Sulfate de cuivre:Comme la teneur en zinc est appréciable on a essayé d'activer ses minéraux.

Le silicate de sodium est ajouté dans le broyeur.

Le schéma est donc le suivant:

=Flotation activée du plomb et du zinc. Déprimé de l'antimoine.

=Flotation après conditionnement et activation de l'antimoine:

=Il nous restera un stérile appauvri définitif.

Tableau des résultats.

II-a) Minerai complexe riche.

Produits	Teneurs		
	Sb	Zn	Pb
Tout venant	6,4	3,94	0,53
Concentré Pb-Zn	—	3,4	0,59
Concentré Sb	8,4	3,82	0,49
Stérile définitif	—	4,00	0,27

II-b) Minerai complexe pauvre

Produits	Teneurs		
	Sb	Zn	Pb
Tout venant	3,1	9,50	1,52
Concentré Pb-Zn	0,88	12,40	5,60
Stérile définitif	3,15	—	—
Concentré Sb	5,20	2,7	1,13

Ces teneurs faibles sont dûes à la grande quantité d'argile qui a flotté. Les argiles forment un mélange de minéraux divers caractérisés par des états de dispersion différents. La charge de ceux-ci est négatives, ils sont attirés par le collecteur amine chargé positivement. On explique ainsi la remontée d'une écume ne contenant^{pas} d'éléments solides.

Conclusions sur ces premiers essais.

D'après les résultats obtenus ci-dessus on peut dire que la flottation du minerai complexe de Hammam N'Bails par des amines et après sulfuration préalable ne peut donner des résultats valables si on élimine^{tes} les argiles et les hydroxydes de fer qui diminuent les teneurs. Les essais suivants que nous allons effectuer auront pour but d'éliminer ces fines par lavage

III) ESSAIS DE FLOTATION APRES LAVAGE.

Ce lavage élimine les fines qui peuvent se coller au minerai. Il se fait par simple jet d'eau. Ce procédé entraîne des pertes de minerais. Le tableau suivant nous montre les pertes en métal que nous aurons au cas où cette méthode arriverait à être appliquée.

Comme les fines à éliminer appartiennent à la classe des -10 microns, on a essayé de faire passer les eaux de lavage dans un hydrocyclone. Sur les 30% de pertes moyennes sur un minerai mixte, celui-ci nous en récupère 50%. Comme les moyens de contrôler la coupure (en général par sédimentation) nous manquent, on a admis que la coupure effectuée au laboratoire de l'E.N.P.A. se fait à -20 microns. Ainsi les pertes définitives deviennent seulement de 15%. On obtient le tableau suivant

..../...

III-b) Essai de flottation inverse après lavage.

Comme dans nos précédents essais, les stériles flottaient toujours avec en surface, l'essai suivant aura pour but d'améliorer cette flottation et laisser l'antimoine au fond des cellules de flottation. C'est là le but de la flottation inverse.

La gangue que nous voulons flotter est de nature différente, les réactifs à utiliser sont spécifiques pour chaque gangue. Nous utiliserons l'acétate d'amine pour les argiles et un collecteur sulfhydryle ou moléculaire pour les hydroxydes de fer et autres impuretés.

Les réactifs qu'on a utilisés sont : l'amine acétat, l'isobutyle xantate et enfin un mélange des deux en espérant que chacun d'eux aura un effet sur des impuretés distinctes. Les résultats sont les suivants:

Collecteur utilisé	Concentrés	Teneur Sb%	Teneur Zn %	Récupération (%)
Amine acétat	Antimoine	7,5	8,25	10
Isobutyle xant.	"	23,2	—	48,5
Mélange Is.X + A.A	"	12,80		11,70

Mode opératoire.

Après sulfuration avec du sulfure de sodium, on a fait flotter les impuretés avec les réactifs ci-dessus. L'antimoine a été déprimé avec de l'amidon afin d'éviter au maximum son éventuelle flottation.

Comme cette méth. de est la seule jusqu'à présent à donner

des résultats notables, on a essayé de l'améliorer en faisant varier les différents paramètres. C'est une méthode classique qui consiste à combiner les différents paramètres et à en prendre les optimums.

III-c) Amélioration de la flotation inverse

c-I/ Sulfuration.

On a essayé de travailler dans les meilleures conditions possibles. Le phénomène de sulfuration doit être bien étudié. Ainsi le temps de conditionnement (de contact) est très variable. Mais une fois la sulfuration effectuée, le minerai doit être flotté immédiatement sinon la pellicule de sulfure formée s'oxydera. On obtient de bons résultats en maintenant une agitation continue. On ajoutera éventuellement un dispersant chimique comme le silicate de sodium.

Cependant il existe un optimum à respecter dans la sulfuration car un excès ou un défaut peut entraîner une variation notable du rendement. Ceci provient de certaines réactions secondaires qui entraînent la dissolution du minerai.

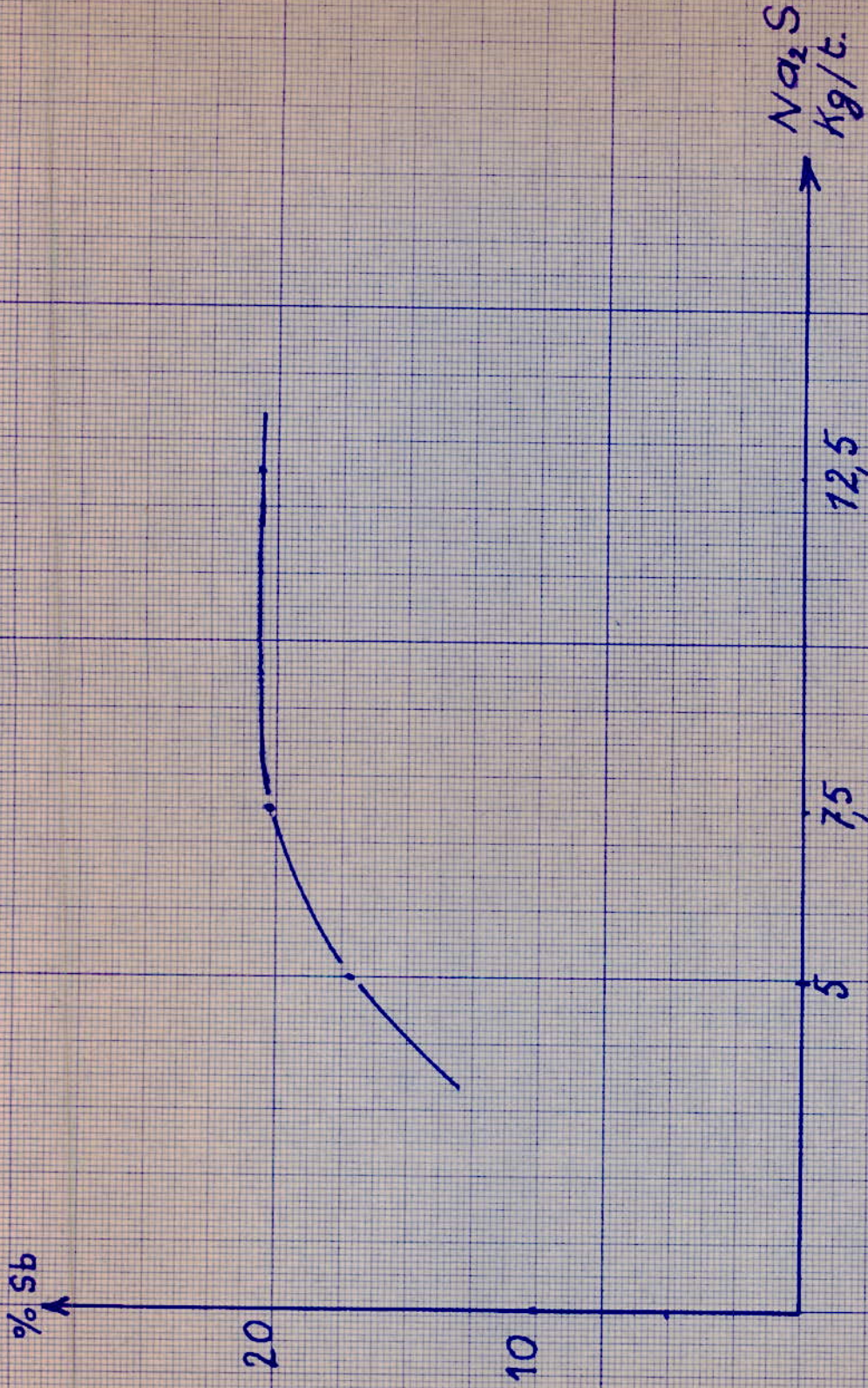
Consommation de Na_2S : Elle peut être très grande. Ce-
-lui étant consommé par certains minéraux actifs. On peut la diminuer en éliminant au préalable une partie de ces minéraux.

ex: Cas de la limonite $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_3(\text{OH})_6$

On pense que la réaction est la suivante:



On voit d'après la réaction ci-dessus qu'une molécule de limonite consomme 3 de Na_2S . On aura donc intérêt à éliminer une partie des



Sulfuration

Amélioration de la Flotation Inverse

des hydroxydes de fer. Dans notre cas on le fait par simple lavage à l'eau courante. On peut effectuer une déshlammation dans divers appareillages : Hydrocyclone, vibro-classeurs .

Pour l'étude de la sulfuration, on a pris une fourchette assez large. On a obtenu les résultats suivants :

Consommation de Na S (Kg/tonne)	Teneur en antimoine du concentré (%)	Coeffi. de conc.
5,00	18,25	2,85
7,50	20,20	3,16
12,50	21,00	3,28

Le coefficient de concentration est le rapport entre la teneur du concentré obtenu et la teneur du tout venant. Celle ci est de 6,4%.

On voit que la teneur du concentré devient presque constante quand la sulfuration dépasse 7,00 Kg/tonne.

c-2/ Collecteur: Isobutyle xanthate

On a pris les conditions suivantes:

- Broyage : Durée 15mn.
- Dilution: Solide/Liquide = 1/5
- Sulfurant Na₂S 12,50 Kg/tonne.
- Déprimant Amidon 0,50 "
- Dispersion des schlammes.. Na₂Si O₃ 0,200 Kg/tonne.

On a pris les valeurs suivantes pour le collecteur : 0,1; 0,2; 0,4 et 0,6 Kg/tonne Les résultats sont donnés dans le tableau suivant:

...../.....

Tableau des résultats.

Quantité de collecteur (Kg/tonne)	Teneur en antimoine du concentré(%)	Coeff. de conc.
0,100	17,00	2,658
0,200	21,00	3,28
0,400	15,00	2,34
0,6.	14,70	2,30

On voit d'après ce tableau qu'un excès de collecteur provoque une déprimant de l'antimoine.

c-3/ Déprimant : Amidon

L'opération de déprimant doit une période d'induction longue et par conséquent un conditionnement est nécessaire. Les conditions de flotation étaient les mêmes qu'auparavant et auxquelles on a ajouté l'optimum obtenu pour la collection (200Gr/tonne). Le tableau suivant donne les résultats obtenus. On a pris 250,500 et 750 gr/tonne.

Récupération ②

Sb

% Sb

20

% Sb ①

60

20

20

g/tonne

200

400

600

g/t

250

750

②

①

Collecteur Isobutyle Xanthate Déprimant Amidon

Amélioration de la Flotation Inverse

Déprimition : Tableau des résultats

Produits	Poids (gr)	teneurs Sb(%)	Contenu Sb	Récupé- ration(%)
Tout venant	1000	6,40	64,00	100
Concentré Sb pour 250gr/t	160	14,50	23,20	36,20
Concentré Sb pour 500gr/t	146,00	21,00	30,60	48,20
Concentré Sb pour 750gr/t	130,00	23,20	30,00	47,20

On voit que la déprimition a augmenté la récupération en antimoine. L'amidon est un produit qui n'est pas cher, nous permettrons une telle consommation.

Nous remarquons que la récupération a tendance à diminuer si on augmente encore la quantité d'amidon. Celle-ci diminue la quantité de collecteur et provoque ainsi une diminution de la quantité de stérile flotté.

Conclusion sur les essais de flottation inverse.

La flottation inverse est la seule méthode qui pour nous donner des résultats acceptables. Néanmoins cette méthode ne sera pas très économique. Les principales causes sont:

.../...

-Consommation excessive d'énergie :

- Broyage poussé:
 - Classification et élimination des fines par cyclonage.
 - Flotation nécessitant des temps de conditionnement pour une meilleure efficacité des réactifs.
 - Pertes de métaux contenus dans les fines de lavage.
- Nous appelons que celles-ci ont une teneur identique à celle du tout venant.

Les meilleures conditions rassemblées sont les suivantes

- Broyage.....15mn.
- Réactifs
 - Sulfure(conditionnement 15mn.).....12 Kg/tonne
 - Collecteur Isobutyle xanthate0,200 " " "
 - Déprimant:Amidon.....0,750 " " "
 - Dispersion des schlamms(Na_2SiO_3).....2 00 " " "

F) CONCLUSION GENERALE SUR LES ESSAIS DE FLOTATION DU MINERAL COMPLEXE DE HAMMAM N'BAILS.

Le minerai de Hammam N'Bails est un minerai complexe relativement riche en Pb;Zn et Sb surtout. Ce dernier métal se trouve sous forme de cristaux de Nadorite et surtout sous forme d'ocres antimoniés très difficiles à séparer. Les résultats obtenus par flottation inverse sont plus acceptables que ceux donnés par la flottation directe. Néanmoins d'autres méthodes (hydrométallurgie, pyrométallurgie) doivent être essayés. Ces modes de traitement donneraient certainement de meilleurs résultats.

L I X I V I A T I O N
=+=+=+=+=+=+=+=+=+=+=

La lixiviation des minerais est un moyen récent d'enrichissement. Le procédé ne tient pas compte des propriétés physiques du minerai. La méthode est donc très intéressante pour les minerais dont les propriétés diffèrent peu de celles de la gangue. Les propriétés physiques n'interviennent que de façons secondaires.

La lixiviation relève des procédés de la chimie. Elle effectue une dissolution des métaux contenus dans le minerai. Cette mise en solution qui peut être très lente sera suivie d'une séparation des métaux contenus dans la solution.

A) MISE EN SOLUTION DES MINERAIS.

-1) Broyage:

Pour l'attaque des réactifs soit la plus efficace possible, le broyage doit être aussi fin que possible. En général le minerai est toujours broyé à -50 microns.

-2) Méthodes de solubilisation.

L'attaque pour la solubilisation peut être basique ou acide. On utilise généralement des solutions diluées. La durée de contact peut atteindre un mois ou plus. La récupération des métaux n'en sera que plus grande.

2-1/ Attaque acide.

Les acides les plus utilisés sont l'acide chlorhydrique

.../...

-que pour les métaux non nobles et l'acide nitrique pour les métaux nobles. L'acide sulfurique est surtout utilisé pour le zinc si la teneur est bonne: en général il se trouve sous forme grillé: ZnO . On cherche toujours à éviter les solutions oxydantes.

exemple de métaux nobles lessivés avec $HCl:Fe, Al, Mg$. Ils sont plus réductibles que l'ion H^+ .

2-2) Attaque basique.

On utilise surtout la soude ou des sels de sodium comme le carbonate de sodium: Na_2CO_3 . On obtient

-des cations précipités sous forme de carbonates, hydroxydes ou oxydes.

-des anions solubilisés sous forme de sels de sodium.

2-3) Fusion alcaline.

Si le minerai résiste à toutes ces attaques, on effectue une fusion. C'est le domaine de l'hydrométallurgie. La réaction se passe dans un four (600 à 1000°C).

B) LES METHODES DE SEPARATION.

Les minerais après l'attaque de solubilisation donne une solution contenant un mélange d'ions ou de molécules. Le problème qui en découle concerne ^{l'extraction} des métaux qui sont contenus dans ces solutions. Les principales méthodes utilisées sont

-1'Electrolyse: Le passage d'un courant dans la solution provoque la libération des anions et des cations.

-Echangeurs d'ions

-Extraction par solvant

-Distillation: On provoque la condensation du métal évaporé.

-Chromatographie: C'est l'absorption sélective des constituants d'un mélange.

La réaction de formation des polysulfures est facilitée par la formation de l'acide sulfhydrique .

II) Récupération de l'antimoine .

Méthode de précipitation.

La séparation de l'antimoine de la solution peut nous donner directement de l'antimoine métallique par précipitation par le fer l'étain ou le zinc. C'est une réaction de réduction. L'antimoine passe du nombre d'oxydation +3 à 0. Il y a formation de sulfures de fer. Ainsi si le sulfure formé est Sb_2S_3 la réaction de réduction s'écrira:



Dans le cas du minerai de Hammam N'Bails, on a des hydroxydes de fer qui font partie de la minéralisation: ainsi la dissolution sera suivie d'une précipitation imminente. Il y a donc des pertes d'antimoine au niveau même de la mise en solution. Le précipité d'antimoine obtenu ne se sépare pas toujours du sulfure de fer formé.

Un essai de séparation au séparateur magnétique à haute intensité a permis d'éliminer une partie de ces sulfures de fer

Mode opératoire et expression des résultats

Pour avoir une bonne dissolution de l'antimoine, on fait plusieurs lavages. On filtre la solution obtenue et on précipite par le fer.

APPLICATION DE LA LIXIVIATION AU MINERAI COMPLEXE
DE HAMMAM N'BAILS

Dans ces essais nous avons essayé de récupérer l'antimoine surtout. Selon les disponibilités en matériel, nous avons choisi deux méthodes de lixiviation. Il en existe d'autres mais qui demandent des conditions spéciales et des réactifs pas toujours disponibles. Les méthodes utilisées sont:

- Solubilisation au sulfure de sodium.
- Utilisation de la soude .

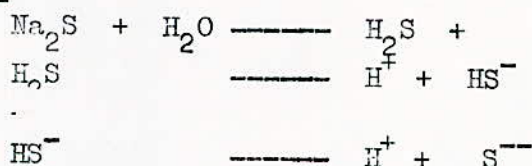
A/ LIXIVIATION AU SULFURE DE SODIUM

Cette méthode assez chère a été utilisée aux U.S.A. et en Allemagne pendant la deuxième guerre mondiale. Les besoins étaient énormes pour la fabrication d'armements.

-I) Mise en solution.

Le minerai finement broyé est attaqué par une solution de sulfure de sodium à 7%. L'antimoine est mis en solution sous forme de polysulfures complexes. Les réactions sont les suivantes:

-Hydrolyse de Na₂S



-Réaction avec le minerai

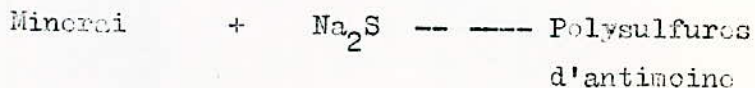


Tableau des résultats.

	Poids	%Sb	Poids de Sb	Récupération (%)
Alimentation	200	6,40	12,80	100
Concentré (Sb, FeS)	39,60	19,00	7,40	58
Stérile	160,00	3,37	5,40	42

On voit d'après ce tableau que le pourcentage d'antimoine dissout est faible. La teneur du concentré est faible. Seulement le stérile récupéré a une teneur est assez riche encore. Comme le concentré a une teneur qui est assez faible pour tout l'antimoine qu'il contient.

Ce concentré d'antimoine est passé au séparateur magnétique pour diminuer les sulfures de fer. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant:

Produits	Poids	%Sb	Poids de Sb	Récupération (%)
Admission au séparateur	39,60	19	7,40	100
Concentré Sb	19,06	36,00	6,65	90
Stérile définitif	22,24	0,34	0,75	10

La récupération totale d'antimoine devient donc : 52,00% avec une teneur de 36,00%

.../...

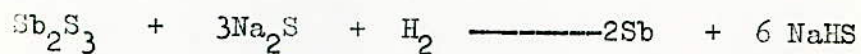
II-b) Extraction de l'antimoine par ELECTROLYSE.

Les méthodes d'extraction de l'antimoine de la solution par électrolyse sont très nombreuses. Elles exigent des conditions et un matériel original. Nous en donnons seulement le principe.

Méthode de Bochers (Elektrometallurgie Brunshwig)

Il effectue l'électrolyse d'une solution d'antimoine sulfurée dans une cellule en fer en présence de sodium. La cellule elle-même est utilisée comme cathode. La liqueur alcaline est récupérable par la suite. L'antimoine obtenu est d'une grande pureté.

à la cathode on aura la réaction suivante:



Le sulfure acide de sodium s'oxyde à l'anode où on aura:



Autres méthodes

(Voir Pascal Tome XI page 500.)

Ces méthodes ne se font pas à la température ordinaire. Elles exigent des catalyseurs spéciaux. Néanmoins on obtient un produit très pur.

Conclusion sur la lixiviation au sulfure de sodium.

D'après les résultats obtenus, on peut dire que la lixiviation donne de meilleurs résultats que la flottation. On peut améliorer le pourcentage d'antimoine dissout en augmentant la durée de contact et le nombre de lavages. Notons que la teneur obtenue (36%) est marchande et que la méthode ne donne pas de pertes au lavage comme en flottation où nous sommes obligés d'éliminer la classe -20 microns.

B/

ESSAIS DE LIXIVIATION A LA SOUDE.

La méthode est basée sur la solubilité du trioxyde d'antimoine en milieu alcalin. On a alors formation de l'ion SbO_2^- d'après la réaction suivante :



Cette réaction se passe à la température de 100°C. Dans ce cas la séparation devient plus difficile car l'antimoine se trouve seulement sous forme oxydée et la précipitation par le fer n'est plus possible. Ainsi l'électrolyse s'impose.

Pour avoir une idée sur le rendement de l'opération, on a pesé et analysé le stérile après lixiviation. On obtient le tableau suivant.

Lixiviation à la soude

Tableau des résultats

Produits	Poids (gr.)	% Sb	Poids de Sb	Récupération (%)
Tout venant	200	6,4	12,8	100
Stérile de lixiviation	172	3,50	6,2	48,5
Solution de SbO_2^-	28	24,00	6,6	51,5

Les caractéristiques de la solution de SbO_2^- ont été calculées.

C/ ETUDE COMPARATIVE DES DEUX METHODES DE LIXIVIATION

C-I) Comparaison des modes opératoires.

Le lavage avec la solution de soude est plus difficile à réaliser que le lavage au sulfure de sodium. Il faut effectuer un chauffage à 100°C ce que l'on ne peut réaliser toujours à une échelle industrielle.

La réaction avec la soude doit être effectuée avec une certaine minutie pour éviter d'avoir une distillation de l'antimoine sous forme de chlorure d'antimoine

Les autres opérations de la lixiviation sont identiques pour les deux méthodes : Lavage, mélange, filtration et séparation. On peut dire donc que la lixiviation au sulfure de sodium est plus facile à réaliser que la méthode qui utilise la soude.

C-2) Comparaison des rendements.

La récupération avec le sulfure de sodium est plus grande que celle donnée par la soude. Bien que la teneur en soit plus faible au début ceci n'est dû qu'au mélange de sulfures de fer qu'on peut éliminer par la suite.

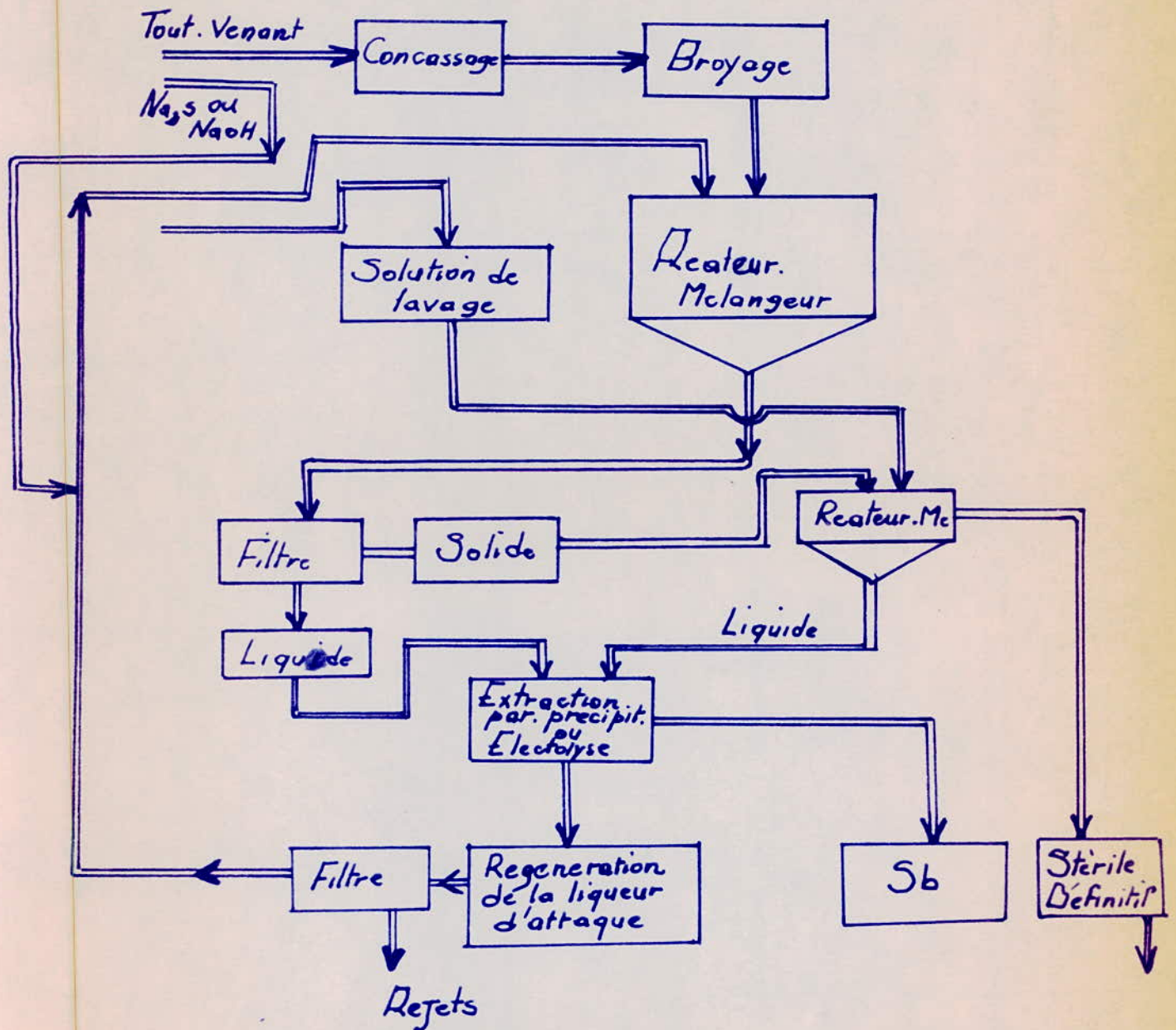
C-3) Consommation des réactifs.

On consomme plus de réactifs avec la première méthode mais les prix en sont plus petits. Comme on l'a vu, on pourrait envisager la récupération du sulfure utilisé ou du moins en partie.

Cette récupération pourrait être faite par régénération dans des échangeurs d'ions.

On pourrait aussi envisager des lavages épaisseurs et finisseurs pour diminuer les pertes d'antimoine au minimum

SCHEMA - DE - LIXIVATION - PROPOSEE



ooOooANALYSE COMPARATIVE ENTRE FLOTATION ET LIXIVIATIONooOoo

La lixiviation des minerais qui ne contiennent pas des métaux rares n'a pris une grande ampleur à l'échelle industrielle. Les principaux facteurs qui interviennent sont:

-Dans la phase de dissolution des produits

--la cinétique de la réaction

--Les phénomènes de diffusion

--Le choix des réactifs appropriés.

--Le choix des machines: "réacteur"

-Dans la phase d'extraction des métaux de la solution.

--La vitesse de séparation: Centrifugation; décantation, filtration.

Tous ces facteurs doivent faire l'objet d'une étude détaillée qui nous permettrait d'opter pour telle ou telle méthode. Celle-ci compensera la faiblesse de la flottation qui est restée depuis longtemps la seule méthode d'enrichissement rentable et efficace.

La nature et les propriétés des minerais complexes de Hamman N'Bails font que la flottation ne peut donner des résultats positifs et économiquement viables.

La lixiviation donnerait de meilleurs résultats que ceux obtenus dans les essais au laboratoire de l'E.H.P.A. en recherchant les optimum pour chaque phase de l'opération.

Avant de terminer notons que les méthodes pyrométallurgiques donnent un champ d'essai assez large qui nous permettra de récupérer les métaux sous forme de cendres volantes ou autres.

-ooOoo- B I B L I O G R A P H I E -ooOoo-

- Nouveau traité de chimie minérale: PASCAL (tome XI) 1958
- Mining annual review.....1970
- Techniques de l'ingénieur: Métallurgie
- Préparation mécanique et concentration des minerais par flo-
-tation et sur liquides denses: HORACE HAVRE
- Cours de traitement des minerais dispensés à l'école
-nationale polytechnique par :
M^{RS} ANANE; MAHMALDJI et ARAB.
- Cours de chimie analytique dispensé par M^F VERMANDE
- Rapports géologiques et minéralogiques sur la minéralisation
complexe de Hamman N'Bails (SONAREM).

ooOooANALYSE COMPARATIVE ENTRE FLOTATION ET LIXIVIATIONooOoo

La lixiviation des minerais qui ne contiennent pas des métaux rares n'a pris une grande ampleur à l'échelle industrielle. Les principaux facteurs qui interviennent sont:

-Dans la phase de dissolution des produits

--la cinétique de la réaction

--Les phénomènes de diffusion

--Le choix des réactifs appropriés.

--Le choix des machines: "réacteur"

-Dans la phase d'extraction des métaux de la solution.

--La vitesse de séparation: Centrifugation; décantation, filtration.

Tous ces facteurs doivent faire l'objet d'une étude détaillée qui nous permettrait d'opter pour telle ou telle méthode. Celle-ci compensera la faiblesse de la flottation qui est restée depuis longtemps la seule méthode d'enrichissement rentable et efficace.

La nature et les propriétés des minerais complexes de Hammam N'Bails font que la flottation ne peut donner des résultats positifs et économiquement viables.

La lixiviation donnerait de meilleurs résultats que ceux obtenus dans les essais au laboratoire de l'E.H.P.A. en recherchant les optimum pour chaque phase de l'opération.

Avant de terminer notons que les méthodes pyrométallurgiques donnent un champ d'essais assez large qui nous permettra de récupérer les métaux sous forme de cendres volantes ou autres.

