

4/95

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département : Génie Minier

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES
POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR
D'ETAT

THEME

ETUDE DE SEPARATION GRAVIMETRIQUE D'UN
MINERAL POLYMETALLIQUE DE PLOMB-ZINC,
APPLICATION AU GISEMENT D'OUED AMIZOUR
(W-BEJAIA)

Proposé par:

O.R.G.M.

E.N.O.F

Etudié par:

Mr. A.DEY

Dirigé par:

Mr. A.SAADA

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département : Génie Minier

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES
POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR
D'ETAT

THEME

ETUDE DE SEPARATION GRAVIMETRIQUE D'UN
MINERAL POLYMETALLIQUE DE PLOMB-ZINC,
APPLICATION AU GISEMENT D'OUED AMIZOUR
(W-BEJALA)

Proposé par:

O.R.G.M.

E.N.O.F

Etudié par:

Mr. A.DEY

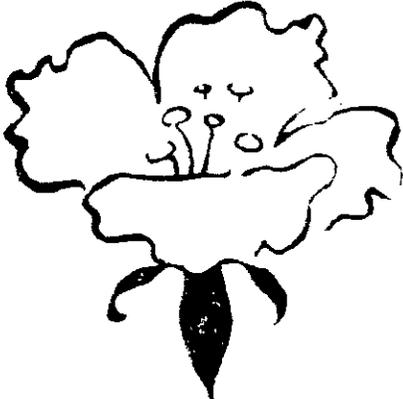
Dirigé par:

Mr. A.SAADA

PROMOTION : Juin 1995

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail:



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

A ma mère pour sa tendresse

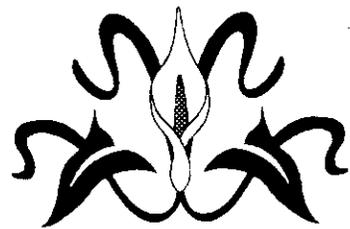
A mon père pour ses sacrifices

A mon frère Azzedine

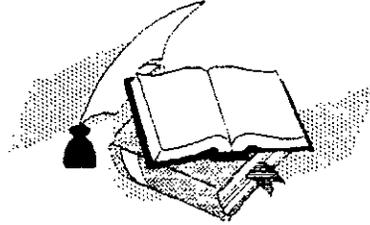
A ma chère soeur Bagdou cha

A toutes mes soeurs

A tous ceux qui sont proches de mon coeur



Remerciements



Ce travail a été réalisé sous la direction de monsieur Saada . A. Qu'il me soit permis de le remercier très sincèrement et de lui exprimer toute ma reconnaissance pour l'aide précieuse, les conseils éclairés, et les encouragements qu'il n'a cessé de me prodiguer, afin de mener à bien cette étude.

Mes remerciements s'adressent également à:

- * Monsieur Zibouche, M: chef du département de valorisation de l'O. R. G. M pour avoir orienté et dirigé ce travail au laboratoire de l'O. R. G. M.*
- * Monsieur Abd El-Ouahed, C : chef du département de chimie à l'O. R. G. M.*
- * Madame Chabou, S.*
- * Monsieur Djadoun, A.*

Je remercie également les personnes suivantes pour leur aide et encouragement :

Messieurs: Djafer, A

Ainouche, M. A.

Zouaoui, A

Fridi, L.

Je n'oublie pas de remercier aussi tous les amis de la cité universitaire de Bouraoui, pour leur soutien et encouragements, qu'ils trouvent ici mes meilleurs salutations les plus distinguées.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

Chapitre I: Généralités sur l'enrichissement physique des minéraux.

I.1. Introduction.....	3
I.2. Séparation par milieu dense.....	6
I.2.1. Principe de la méthode.....	6
I.2.2. Objectifs de la méthode.....	8
I.2.3. Les milieux denses utilisés.....	8
I.2.4. Déroulement de l'opération.....	9
* Préparation du minerai.....	9
* préparation du médium.....	9
I.2.5. Conclusion.....	14
I.3. Méthode de la nappe fluante.....	15
I.3.1. Les tables à secousses.....	16
I.3.1.1. Principe et objectifs.....	16
I.3.1.2. Conclusion.....	18
I.4. Séparation par accélération différentielle.....	19
I.4.1. Principe du Jig.....	21
I.4.2. Les principaux paramètres d'un Jig.....	25
I.4.3. Conclusion.....	27

Chapitre II: Identification du gisement d'Oued Amizour et de son minerai polymétallique.

II.1. Gisement d'Oued Amizour.....	28
II.1.1. Situation géographique.....	28
II.1.2. Géologie du gisement.....	28
II.2. Identification d'un échantillon du minerai polymétallique.....	32

II.2.1. Etude pétrographique.....	32
II.2.2. Préparation de l'échantillon.....	34
II.2.3. Analyse granulométrique.....	36
II.2.4. Analyse granulochimique.....	40
II.2.5. Expression des résultats.....	44

Chapitre III: Enrichissement par liqueur dense

III.1. Déroulement d'une expérience.....	46
III.2. Expression des résultats.....	50
III.3. Interprétation finale.....	63

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATION..... 64

Annexe I: Analyse chimique..... 66

Annexe II: Minéralogie-Pétrographie..... 69

BIBLIOGRAPHIE.

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION GENERALE

Le développement de l'industrie minérale extractive du Zn en Algérie se doit d'être réactiver, compte tenu des besoins croissants au niveau des industries de transformation (alliages, construction automobiles, etc...), et, en premier lieu de l'usine d'électrolyse de Ghazaouet (W. de Telemcen).

La capacité de traitement de cette usine est de 80 000 tonnes par an de concentré de Zinc. Il semblerait que près de 10% du concentré traité provienne des usines de concentration d'El-Abed et de Kharzet-Youcef (réfère tableau I.1). Le reste est importé, provenant de différents gisements de par le monde.

Afin de pouvoir compenser ces importations en concentré de Zinc, les entreprises ENOF et ORGM ont entamé des recherches dans le Nord de l'Algérie, en vue de palier à ce déficit.

La découverte du gisement polymétallique d'Oued Amizour, suivie d'étude de faisabilité, semble être potentiellement réalisable .

Le développement d'un complexe minier dans cette région peut répondre à plusieurs critères, à savoir:

- La région est très peuplée, ce qui implique qu'il faille créer des emplois pour répondre au problèmes du chômage;**
- Les moyens de transport (routier, maritime, air) permettent de faciliter les échanges et approvisionnement;**
- permettre d'alimenter en concentré de Zinc par voie maritime le complexe métallurgique d'électrolyse situé à Ghazaouet**

Le travail que nous nous sommes proposés d'entreprendre dans le cadre de ce projet consiste à réaliser une étude de précocentration gravimétrique du minerai d'Oued Amizour.

Sachant que les tests réalisés à l'ORGM, portant essentiellement sur des essais de broyabilité et de flottation du dit minerai, nous nous sommes fixés pour objectifs:

-/ Une étude d'orientation, complémentaire à celle de l'ORGM.

-/ De contrôler si le minerai se prête bien à une des techniques gravimétriques (séparation par liqueur dense).

Usine de concentration de minerais polymétalliques (Zn, Pb,...) provenant des gisements de:	El-Abed	Kharzet Youcef
Capacité standard obtenu - teneur en Zinc - teneur en Plomb	52-54 % 500 g/t	52-54 % -
Production de concentré de Zinc - Année 1998 - Année 1990 - Année 1991 - Année 1992 - Année 1993	12.100 t 9.850 t 7.900 t 7.236 t 6.801 t	1.820 t Usine à l'arrêt // // //
Production de concentré de Plomb - Année 1989 - Année 1990 - Année 1991 - Année 1992 - Année 1993	2.300 t 1.900 t 1.880 t 1.539 t 1.538 t	440 t Usine à l'arrêt // // //

Tableau I-1: Production de concentré de Zinc et de Plomb (tonnes/an) (Années 1989 à 1993) (Entreprise ENOF) [10].

CHAPITRE I

Généralités sur l'enrichissement physique des minéraux

♦♦♦♦

I.1- INTRODUCTION: [1; 4; 5; 7; 10; 14]

La concentration gravimétrique se base sur la différence des masses spécifiques des minéraux à séparer, et, sur la différence de leurs vitesses de chute dans un milieu liquide ou gazeux.

En tombant dans un fluide, une particule solide est soumise aux forces suivantes:

- Son poids : $p = m \cdot g$ (1)

m étant la masse de la particule, P son poids.

- La résistance du fluide: $p' = m' \cdot g$

m' étant la masse du fluide déplacée par la particule solide.

L'équation qui décrit le mouvement de la particule est:

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = p - p' \quad (2)$$

Lors de la chute d'une particule sphérique dans un fluide, le comportement de ce dernier est caractérisé par le nombre de Reynolds:

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\mu} \cdot \Delta \quad (3)$$

Δ : le poids spécifique du fluide;

μ : la viscosité du fluide;

v : vitesse de chute de la particule;

d : diamètre de la particule.

- Si R_e est petit, l'écoulement du fluide autour de la particule est laminaire, et la résistance du fluide est donnée par la formule de Stokes

$$R_1 = \sigma \cdot \pi \cdot \mu \cdot d/2 \cdot v \quad (4)$$

C'est le cas des particules tombant à faible vitesse.

- Si R_e est plus grand, l'écoulement présente un sillage en forme de coeur; la résistance du fluide est donnée par la formule de Newton.

$$R_2 = \pi/2 \cdot Q \cdot \Delta \cdot d^2/4 \cdot v^2 \quad (5)$$

Q étant le coefficient de résistance, obtenu expérimentalement, en fonction de R_e .

- Si R_e augmente encore ($Re > 500$), l'écoulement présente des tourbillons libres.

Les lois de la sédimentation permettent de juger l'aptitude à la séparation de particules, mais de densités différentes.

1.1.1- La sédimentation libre:

En se référant à la chute des particules dans un grand volume de fluide, et en considérant le volume total des particules, l'encombrement des particules peut être négligeable.

La sédimentation libre prédomine lorsque le solide contenu dans la pulpe constitue moins de 15% du volume de celle-ci. Pour une particule "a", de diamètre " d_a " et de densité spécifique v_a , se sédimentant dans l'eau, la loi de Stokes peut-être simplifiée à:

$$V = K_1 \cdot d_a^2 (v_a - 1) \quad (6)$$

Similairement la loi de Newton se simplifie à :

$$V = K_2 (d_a (v_a - 1))^{0.5} \quad (7)$$

comme V est la vitesse limite pour la particule "a" et K_2, K_1 sont des constantes.

Quel est le régime visqueux ?

Le régime laminaire (loi de Stokes), ou turbulent (loi de Newton). Quelque part entre les deux régimes, on peut entrevoir faits:

- Si deux particules ont la même densité, la particule avec le plus grand diamètre, aura donc: une vitesse limite plus grande.
- Si deux particules ont le même diamètre, la particule la plus lourde aura alors une vitesse limite plus grande.

L'expression générale de la sédimentation libre de deux minéraux dans l'eau peut se traduire par la relation suivante:

Si : ρ_a, ρ_b sont les densités des deux minéraux. d_a, d_b , sont les dimensions des deux minéraux.

$$R_f = \frac{d_a}{d_b} = \left[\frac{\rho_b - 1}{\rho_a - 1} \right]^n \quad (8)$$

tel que: R_f est le rapport de sédimentation libre. Où le rapport diamètre des particules du minéral b (diamètre d_b) au minéral a (diamètre d_a), et $n= 0.5$ pour les petites particules répondant à la loi de Stokes et $n=1$ pour les grosses particules obéissent à la loi de Newton.

Le rapport de sédimentation libre doit être plus grand pour les grosses particules, avec deux minéraux répondant à la loi de Newton, que dans le cas de deux minéraux obéissant à la loi de Stokes.

I.1.2- La sédimentation gênée:

Lorsque la fraction de solides dans la pulpe augmente, l'effet d'intervention des particules devient plus significatif, et le taux de chute diminue.

Le système se conduit comme un liquide dense, sa densité est celle de la pulpe. Il s'agit d'une sédimentation gênée, due à la haute densité et viscosité de la sédimentation gênée (chronique); la résistance est surtout turbulente; la loi de Newton est applicable; la densité apparente de la pulpe (ρ_p) remplace la densité de l'eau (équation (7))

$$V = K[d_a (\rho_a - \rho_p)]^{0.5} \quad (9)$$

Le rapport de sédimentation gênée (R_h) se définit comme étant le rapport des dimensions des particules dans lequel, deux minéraux, de densités spécifiques différentes, doivent avoir un même rapport de sédimentation dans le régime de sédimentation gênée et:

$$R_h = \frac{d_a}{d_b} = \left[\frac{v_b - v_p}{v_a - v_p} \right]^n \quad (10)$$

Comme la densité de la pulpe est supérieure à celle du fluide, par définition le rapport de sédimentation gênée est toujours supérieur à celui de sédimentation libre.

La sédimentation gênée réduit donc l'effet des dimensions des particules, tandis que grossit l'effet de la différence de densité durant la classification.

I.2- SEPARATION PAR MILIEU DENSE: [1; 4; 5; 9; 10; 14; 15]

I.2.1- Principe de la méthode:

Le procédé de séparation gravimétrique par milieu dense a été utilisé pour la première fois en 1921 pour le traitement du charbon.

A l'heure actuelle, cette méthode de séparation est devenue un procédé classique d'enrichissement des minéraux.

Utilisant un milieu de densité déterminée, ce procédé sépare le produit en fractions plongeantes et flottantes; l'une et l'autre ayant respectivement une densité plus et moins élevée que celle du milieu de séparation (Il faut que le bain soit calme, c'est-à-dire non soumis à des courants, qui provoqueraient, un lavage par équivalence).

Soit deux éléments quelconques dans un bain de densité Δ donnée. (les deux éléments ont pour densités δ_L et δ_1). (Figure I.1)

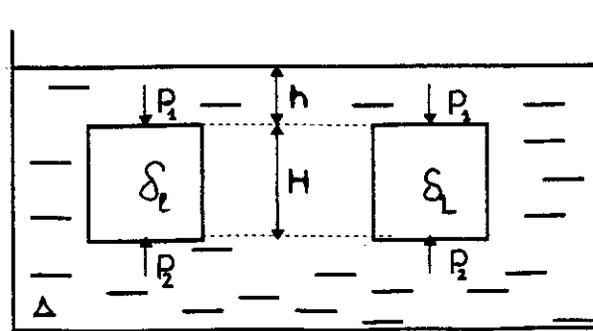


Figure I.1: Principe de la séparation par milieu dense.

la loi fondamentale de la séparation par milieu dense est:

$$\delta_1 < \Delta < \delta_L$$

Tel que:

δ_L : la densité de l'élément le plus lourd.

δ_1 : la densité de l'élément le plus léger.

Sur ces deux particules agissent les forces mécaniques suivantes:

- Les forces horizontales: force égales.

- Les forces verticales : force supérieure $\Delta g h$

force inférieure $\Delta g (h+H)$

La résultante des contraintes

$$p = \Delta g (h+H) \cdot S - \Delta g h \cdot S$$

$$p = \Delta g \cdot H \cdot S \quad .$$

$$P = \Delta g \cdot V \quad (11)$$

tel que:

S: surface de l'élément, sur laquelle agissent les forces verticales.

V: le volume de l'élément.

En fonction de la valeur de P

- $p > G$ le cube va émerger jusqu'à ce que les forces soient égales.

- $p < G$ le cube chute au fond du bac telle que G: poids du cube.

I.2.2- Objectifs de la méthode:

Le procédé de séparation gravimétrique par milieu dense vise les objectifs suivants, selon cet ordre:

- 1- La production d'un concentré fini et stérile définitif.
- 2- La production d'un concentré fini et stérile pauvre, qui sera par la suite traité par d'autres méthodes de récupération.
- 3- L'élimination du stérile avant d'orienter le minerai vers d'autres méthodes de séparation (préconcentration).

I.2.3- Les milieux denses utilisés:

La précision de la séparation gravimétrique par milieu dense dépend de la qualité de la liqueur.

Actuellement, on utilise comme milieu dense des suspensions de poudre dans l'eau.

Les deux qualités requises pour ces liqueurs sont:

- Une bonne stabilité:

La stabilité apparaît pour une concentration en solide de 40% en volume, au-delà la liqueur est de plus en plus stable.

- Une faible viscosité:

Si la liqueur est trop visqueuse, la séparation est gênée (surtout pour les faibles granulométries).

Les principaux médiums utilisés sont:

- 1- Les stables: ils permettent d'obtenir des suspensions de densité (1.5), pour une granulométrie variant de 0.1 à 0.8 mm

- 2- Les argiles: suspension de densité 1.3; à viscosité élevée, lorsque sa densité est supérieure à 1.3.
- 3- La barytine: suspension de densité 1.8, pour une maille de broyage comprise entre 40 et 150 μm .
- 4- La magnétite: le médium le plus utilisé dans l'industrie, car il est facilement régénéré et présente une faible viscosité.
- 5- La galène: elle permet d'obtenir une densité élevée de l'ordre de (4); elle présente l'avantage d'une suspension stable, mais il est difficile de la régénérer pour une deuxième utilisation; par ailleurs la viscosité du milieu est élevée.

On peut également utiliser comme milieux denses:

- Des solutions de sels minéraux non organiques.
- Des liquides organiques (quelque exemples sont cités dans le tableau I.2)

A l'échelle industrielle, les liqueurs utilisables sur les appareils de lavage sont des médiums récupérables magnétiquement telles que: la magnétite et le ferrosilicium car le prix des ferrosilicium est de vingt fois celui de la magnétite.

I.2.4- Déroulement de l'opération:

* Préparation du minerai:

Le minerai doit avant tout être lavé à l'eau sous pression, pour pouvoir le débarrasser des particules fines et colloïdales, puis l'égoutter afin de ne pas diluer le médium, puis le sécher.

* Présentation du médium.

Dans la pratique, on utilise les médiums suivants:

- 1- La magnétite, de masse volumique $> 4.6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, contenant au moins 90% de produits magnétiques et de granulométrie (proportion en masse):

30 à 40% < 20 μ m

60 à 70% < 40 μ m

1 à 5% > 150 μ m

Les densités possibles des liqueurs sont alors comprises entre 1.25 à 2.2.

2. Ferrosilicium: de masse volumique supérieure à 6.5 10³ Kg/m³ (contenant au moins 95% de produits magnétiques) et de granulométrie:

20 à 30% < 20 μ m

40 à 50% < 40 μ m

2 à 10% < 150 μ m

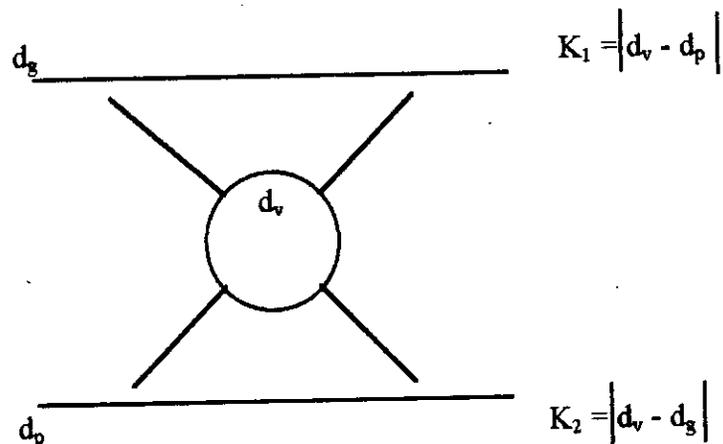
Les densités possibles des liqueurs sont comprises entre 2.5 et 3.2, pouvant atteindre 3.6 avec des ferrosiliciums à grains arrondis.

La densité du milieu dense peut être déterminée par la relation (pour les pseudosolutions).

$$d_m = c (d_s - 1) + 1 \quad (12)$$

c: Concentration du solide en volume, % ; d_m, d_s : respectivement densité du milieu dense et de la phase solide.

Pour les solutions de sels minéraux non organiques et les liquide organiques, on utilise la règle de la croix pour obtenir une solution avec une certaine densité voulue:



d_v : densité voulue

d_g : densité supérieure à d_v

d_p : densité inférieure à d_v

K_1 et K_2 : des coefficients positifs

V_1 : Volume pris de la solution ayant une densité d_g

V_2 : Volume pris de la solution ayant une densité d_p

$$V_1 = V_2$$

$$V_3 = K_1 V_1 + K_2 V_2$$

V_3 : Volume d'une solution qui aura la densité (d_v) voulue

* L'analyse densimétrique proprement dite

L'échantillon est plongé dans une série de liqueurs de densités décroissantes.

La fraction légère (flottante) est évacuée par débordement au-dessus d'un seuil et introduite dans la liqueur suivante; quant à la fraction lourde (plongeante), elle est recueillie au fond du récipient de séparation, et ainsi de suite (figure I.2).

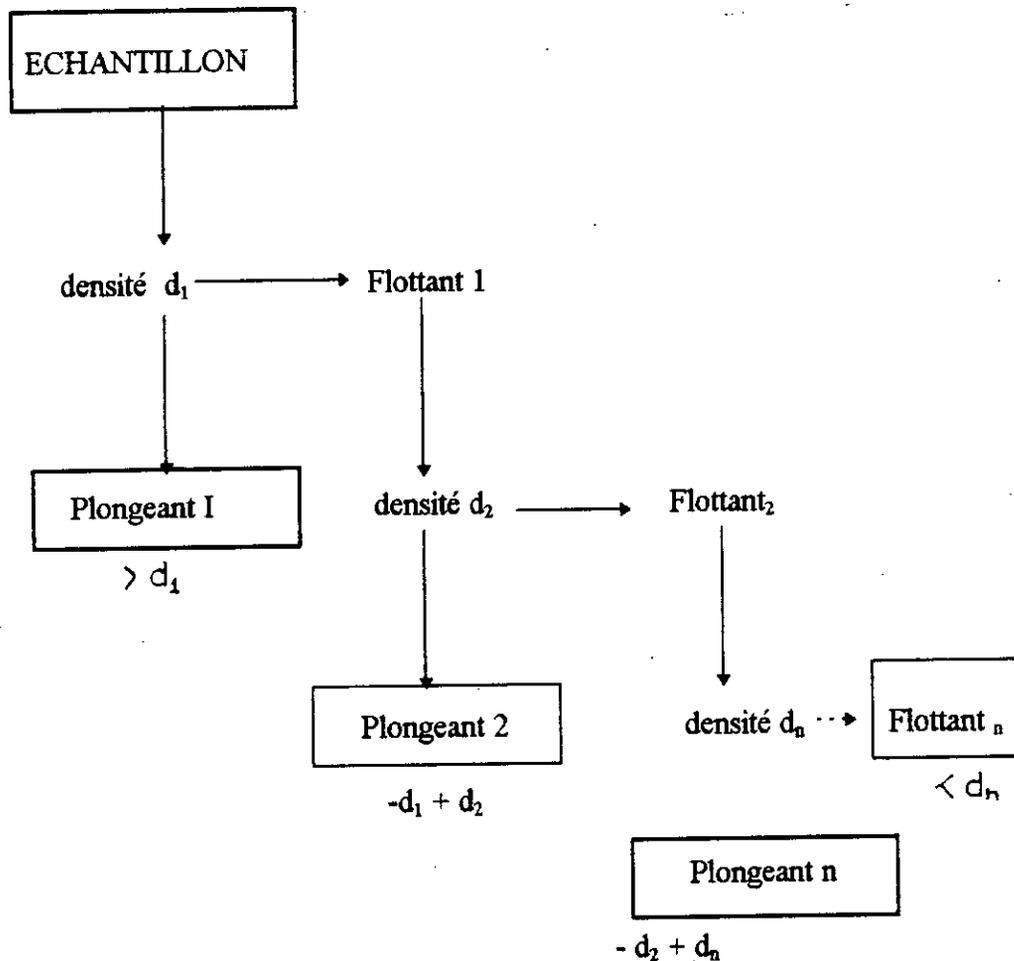


Figure I.2: Protocole de séparation par milieu dense

* La régénération du médium

La régénération du médium se fait en deux étapes principales:

- L'égouttage du médium, dont la densité est voisine ou égale à celle du bain.
- Le lavage du minerai sur crible permet de récupérer

Un médium dilué, qu'il s'agit d'épurer et de concentrer par procédé magnétique (magnétique-ferrosilicium) ou par flottation (sulfures), jusqu'à ce qu'il ait la densité du bain.

	Désignation	Formule chimique	Densité Kg/M ³	Couleur	solubilité dans l'eau
1/Liquides organiques lourds	* Trichloréthane	C ₂ H ₃ Cl ₃	1460		
	* Tétrachlorure de carbone	CCl ₄	1680	Incolore	
	* Dibromo-éthane	C ₂ H ₄ Br ₂	2170		
	* Bromoforme	CHBr ₃	2890	Incolore	Soluble
	* Dibromo-éthylène	C ₂ H ₂ Br ₂	2930		
	* Tétrabrométhane (T.E.B)	C ₂ H ₂ Br ₄	2960	Incolore	Insoluble
	* Liqueur de Toulet (Iodomercurate de Potassium)	HgI ₂ +KI	3170	Jaune	Soluble
	* Iodure de Méthylène	CH ₂ I ₂	3320	Incolore	Soluble
	* Liqueur de Rhorbach (Mercurinitrate de Baryum)	BaI ₂ +HgI ₂	3590	Jaune	
* Liqueur de clerici (ou formiate et Malonate de Thallium)	Ch ₂ (COO ⁺) 2HCOO ⁻	4250	Jaune		
2/Liquides lourds non organiques (solutions vraies)	* Solution de sel de Chlorure de Calcium	CaCl ₂	2500	Incolore	Soluble
	* Solution de sel de Chlorure de Zinc	ZnCl ₂	2500	Incolore	Soluble
3/Pseudo-solutions (alourdissant+ eau alourdissant= mélange de solides.	* Minéraux:				
	. Pyrite				
	. Pyrrotine				
	. Barytine				
	. Magnétite				
	. Arsénopyrite				
	. Galène				
* Allige: Ferrocilicium					
* Métal: Plomb					

Tableau I. 1: Caractéristiques des liqueurs denses

I.2.5- Conclusion:

La séparation gravimétrique par milieu dense présente les avantages et les inconvénients suivants:

1- avantages:

- Cette technique permet d'effectuer la séparation même si la différence de densité entre les particules est très faible, soit 0.1 à 0.05.
- Il n'existe aucune méthode capable de telles performances.
- Les variations d'alimentation en minerai n'entraînant pas de fluctuation dans le processus technologique.
- Le processus est très stable.
- Les appareils de concentration par milieu dense ont une grande capacité de production.

2- Inconvénients:

- Il est toujours nécessaire de récupérer et de régénérer le médium.
- La présence de fines particules gêne considérablement le processus de séparation, car elles gênent et diminuent le mouvement des particules minérales dans le bain.
- La concentration de minerai tendre est très délicate, en raison de la formation de quantité excessive de Schlamms, qui modifient la densité et la viscosité du milieu.
- Les médiums utilisés sont de deux types:
 - * Solutions vraies: solutions coûteuses; leur récupération est difficile, on ne peut donc les employer que pour des produits de grandes valeurs et de faible quantité. Ce sont en général des solutions de composés de minéraux dans l'eau, ou un mélange de corps organiques lourds et légers.

Ces solutions ont une faible viscosité et peuvent-être utilisées pour des particules de faibles dimensions(séparation $< 0.2\text{mm}$).le prix de revient du traitement est très élevé, ce qui limite l'utilisation de solutions vraies.

*** Pseudo-solution: (suspensions)**

Leur utilisation pose un certain nombre de problèmes.

Le médium utilisé doit-être suffisamment dur pour ne pas modifier la densité, et la viscosité du milieu par suite de son effritement.

- la stabilité: elle est fonction de la granulométrie; et elle d'autant plus élevée que la proportion de fines est importante; une vitesse de décantation inférieure à 1mn/mm caractérise généralement une bonne suspension.

- La viscosité: la proportion de solide en suspension dans le médium ne doit pas dépasser 40% en volume.

I-3- METHODE DE LA NAPPE FLUANTE: [1; 4; 5; 10; 14]

La séparation des solides, s'écoulant sur un support (plan) plus ou moins incliné, fixe ou mobile dans la même direction qu'une nappe ou un courant d'eau suivant l'horizontale ou presque, est basée sur la longueur du parcours effectué par les grains; à savoir que la vitesse n'est pas la même à toutes les profondeurs de la nappe pelliculaire: elle est nulle au fond et maximum à la surface.

D'une manière générale, la séparation est provoquée sous l'action de deux facteurs principaux:

1. La durée de contact du matériau avec la surface inclinée, qui dépendent de:

- La nature de l'écoulement du film d'eau.
- La densité, la taille, et la forme des grains minéraux.

2. La résistance au déplacement des grains minéraux, déposés sur le plan incliné.

D'une manière générale, les grains auront l'arrangement suivant vers le bas.

* petites particules lourdes qui résistent au courant d'eau transversal.

* particules grossières lourdes qui sont facilement roulées par l'eau avec des particules fines légères.

* de légères particules, grossières.

I.3.1- Les tables à secousses:

I.3.1.1- Principe et objectifs:

Les tables à secousses sont des appareils constitués d'un plateau ayant une certaine inclinaison par rapport à l'horizontale, et animé d'un mouvement dissymétrique suivant le sens longitudinal.

La table est alimentée par la pulpe brute (minerais en suspension dans l'eau.) dans une boîte à son angle le plus élevé.

Une clarinette, le long du bord supérieur, recouvre la table d'une mince film d'eau, qui descend jusqu'au bord inférieur. (Figure I.5) .

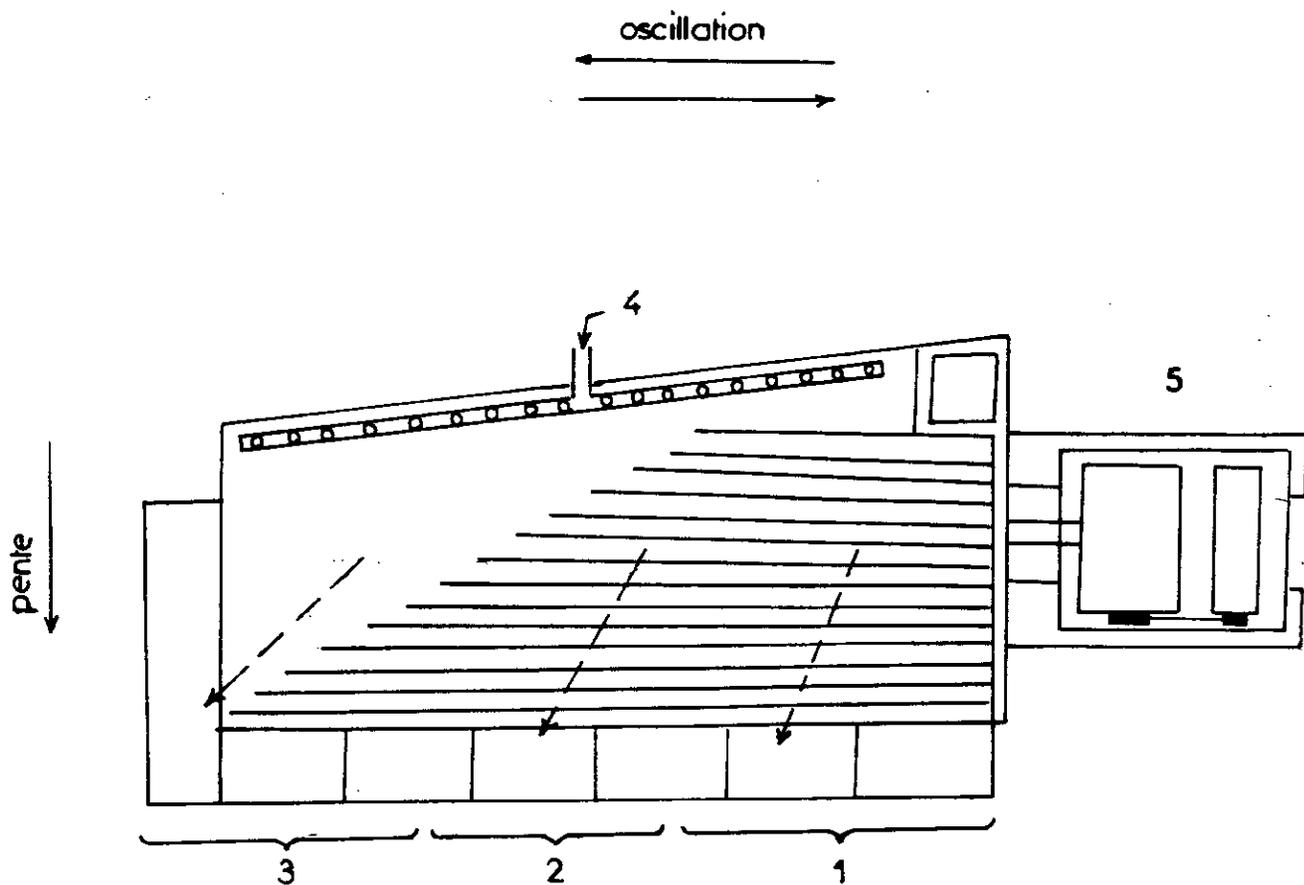
Des réglettes " riffles" longitudinales permettent de séparer les produits lourds.

En revanche les produits légers ont tendance à sauter ces Nervures "riffles".

Les grains lourds disposés entre les riffles avancent en Adhérent à la surface de la table longeant ceux-ci jusqu'à l'extrémité où ils seront finalement évacués dans l'angle de la table opposé à l'arrivée de la pulpe; ce ci grâce au mouvement asymétrique longitudinal imprimé au plateau.

Ces appareils de concentration ne se prêtent bien qu'au traitement des minerais présentant des grandes différences de densités entre leurs éléments. Les facteurs influant durant la séparation par tablage sont:

- La pulpe doit comporter 20 à 30% de solide.
- La consommation en eau de lavage est comprise entre 1 et 2 m³ par tonne de minerai traité.
- L'amplitude de la secousse doit être déterminée selon la grosseur du grain par formule:



- 1- légers
- 2- mixtes
- 3- lourds
- 4- eau
- 5- moteur et excentrique

Figure I. : Schéma de principe d'une table à secousses.

$$l = \sqrt[3]{d_{\max}} \quad (19)$$

- Le nombre de secousses N est déterminé par la vitesse du moteur.

$$N = \frac{250}{\sqrt[3]{d_{\max}}} \quad (20)$$

- L'angle d'inclinaison: la vitesse de déplacement des grains selon le plan incliné dépend de la vitesse de l'eau; les grandes vitesses sont obtenues avec de grands angles.
- L'angle et l'eau de lavage sont étroitement liés et sont les paramètres essentiels lors du réglage du procédé.

I-3-1-2 Conclusion

Une séparation peut être effectuée sur une table à secousses entre deux minéraux quelconques, ayant entre-eux une différence de poids spécifiques appréciable. Mais, la séparation, suivant le poids spécifique seul, sera relativement grossière si le critère de concentration est inférieur à 1.25. Un critère de concentration de 2.5 et de plus est suffisant pour un traitement rapide et une récupération complète.

Le rendement des tables dépend étroitement de la granulométrie des grains de matériau. Si la charge du matériau à traiter est plus restreinte, on obtiendra alors des concentrés fins et des stériles définitifs, avec la récupération de mixtes pour une finition ultérieure.

Actuellement, il existe des tables à quelques étages, c'est très important, parcequ'en diminuant l'encombrement de la table, on peut augmenter le débit par unité de surface du sol. Le débit d'une table dépend du caractère et de la grosseur des grains à traiter, de la hauteur et de la forme des riffles, de la course, de l'angle d'inclinaison du plateau, et de la densité de la pulpe. Lors du traitement de minerai rare, le débit des tables industrielles, ayant un plateau 1.8 x 4.5m varie de 0.7 à 1 t/h.

Lors du traitement de Schlamm_s, il est égal à 0.3 à 0.6 t/h. La densité de la pulpe arrivant sur la table est caractérisée par la teneur en solides de 15 à 30%.

La consommation en eau de lavage est de l'ordre de 1.5 à 4 m³/h.

Application industrielle:

Exemple:

Nature du minerai	Plomb
Dimension de l'alimentation	0 à 20mm
Revêtement du plateau	linoléum
Tasseaux des riffles	chêne
Vitesse en coups par minute	275
Longueur de la course en mm	20 à 22
Tonnage traité en 24h	30
% eau dans l'alimentation	50
Eau de lavage en litres par minute	70
puissance du moteur en ch	0.75

1.4- SEPARATION PAR ACCELERATION DIFFERENTIELLE [1; 4; 5; 10; 14]

L'accélération différentielle pour une particule, est l'accélération initiale du mouvement de la particule; celle-ci dépend seulement de la densité relative du solide et du liquide.

En revanche, la dimension de la particule n'intervient pas. Le procédé d'accélération différentielle se réalise si la répartition de chute des particules minérales est assez fréquente; la durée de chute est assez brève dans la mesure où on soumette les particules à des courants ascendants et descendants, assurés par la pulsation du fluide à l'aide d'un mécanisme.

Sous ces conditions, la stratification des particules sera seulement sur la base de la gravité, et la séparation des grains lourds et légers s'obtient en trois phases:

1- Accélération différentielle.

l'équation générale du mouvement:

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = (m - m')g - R. \quad (13)$$

tel que:

m : masse du solide.

m' : masse du liquide déplacé.

R: résistance du fluide à ce déplacement.

Initialement, on a: $R=0$. En conséquence, pour des chutes très brèves, l'équation du mouvement s'écrit.

$$\frac{dv}{dt} = \frac{m - m'}{m} \cdot g \quad (14)$$

Si ρ_s et ρ_L sont respectivement la densité du solide et celle du liquide, l'équation du mouvement prendra alors la forme:

$$\frac{dv}{dt} = \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho_s}\right) \cdot g \quad (15)$$

Pour un mélange de particules lourdes et légères, les distances parcourues par les particules sont fonction de leurs accélération initiales.

Il est par conséquent possible d'obtenir une stratification en fonction de la densité des particules.

2- Sédimentation gênée:

Soit:

$$K = \frac{\rho_1 - \rho_L}{\rho_2 - \rho_L} \quad (16) \text{ (le critère de Taggart)}$$

Tel que: ρ_1 : densité des particules lourdes

ρ_2 : densité des particules légères

ρ_L : densité du liquide

Ce critère sera plus grand avec le courant ascendant du liquide, qui a comme rôle principale celui d'écartier au maximum les particules les unes des autres.

3- Tassement:

Lorsque les particules sont soumises à un courant descendant, celles-ci subissent un phénomène de succion; par conséquent elles se resserrent, et seules, les particules de taille suffisamment réduites peuvent continuer à sédimenter.

1.4.1- Principe du Jig:

Le Jigage est un procédé de concentration gravimétrique basé sur la différence entre la vitesse de chute, des grains minéraux dans des courants d'eau ascendants et descendants, assurés par des pulsations données à l'eau par un piston ou un diaphragme (Jig à piston) ou par le mouvement alternatif d'une grille dans un fluide (Jig à grille mobile).

La stratification, et la séparation des grains dans un Jig se passent dans des conditions de sédimentation gênée sous l'action d'un courant d'eau vertical.

L'étude du déplacement des particules, de densités et de dimensions distinctes dans un régime d'écoulement turbulent d'un courant liquide, tout ceci explique le principe de fonctionnement des Jigs.

Un Jig à piston (diaphragme) (figure I.) est composé de plusieurs compartiments. La partie supérieure est divisée en deux (cloison longitudinale).

D'un côté de la cloison, on place un piston plongeur entraîné par un mécanisme excentrique, et, animé d'un mouvement alternatif.

De l'autre côté de la cloison se trouve une grille perforée, sur laquelle arrive le minerai. Le minerai arrive sur la grille, le mouvement du piston crée un courant d'eau à travers la grille, permettant aux particules de se séparer de la manière suivante:

Les plus grosses particules lourdes sont collectées sur la grille où elles forment un lit, et la couche la plus élevée est évacuée par une colonne. La plus haute couche du lit doit normalement être pénétrée par toutes les particules à l'exception des particules assez petites, restées en suspension dans l'eau; celles-ci seront guidées par le courant d'eau, animé par la simple action du lit.

La surface du lit exclut toutes les particules de densités inférieure à celle spécifique à la couche, avec des dimensions proches de celles de cette couche.

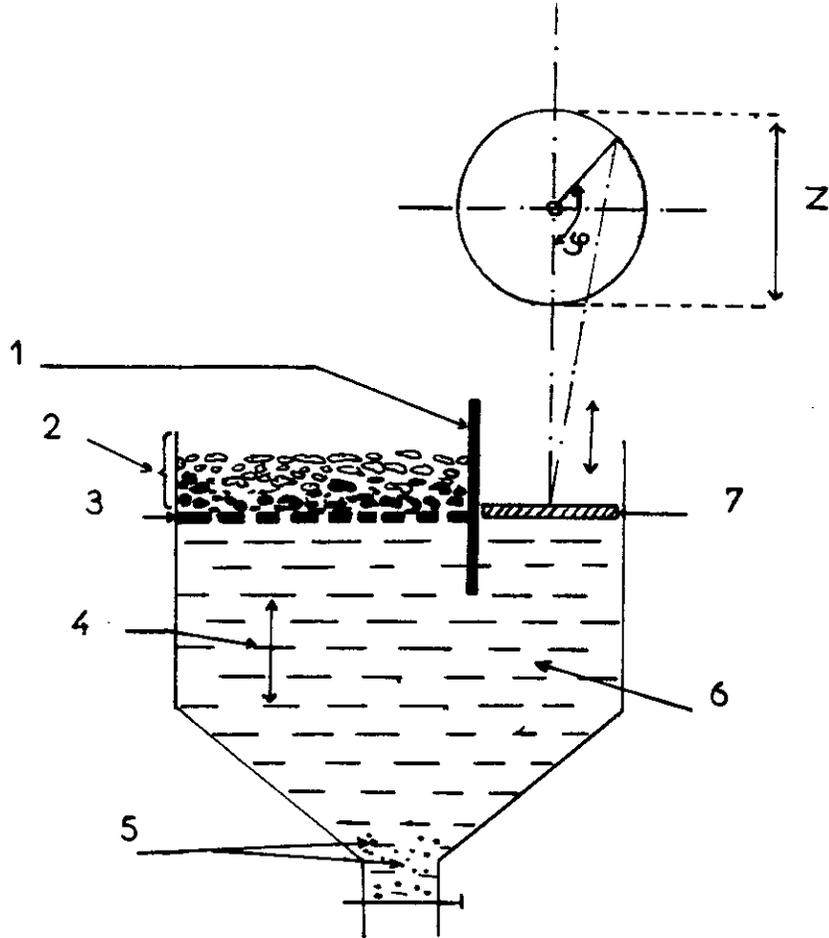
Par conséquent, elle stoppe tous les grains grossiers de la gangue, venue d'une pénétration supplémentaire.

Théorie du Jigage. (processus de Jigage).

Examinons le processus de Jigage, en considérant l'exemple de fonctionnement d'un Jig à grille fixe, dont le schéma de principe est indiqué sur la figure (I.3).

$$V = \frac{W \cdot Z}{2} \sin \varphi \quad (17)$$

$$W = \frac{2\pi \cdot n}{60} \quad (18)$$



- 1- cloison
- 2- minerai à séparer
- 3- une grille fixe
- 4- mouvement de l'eau
- 5- le concentré (grains lourds)
- 6- eau
- 7- piston

Figure I. : Principe de fonctionnement d'un Jig à grille fixe.

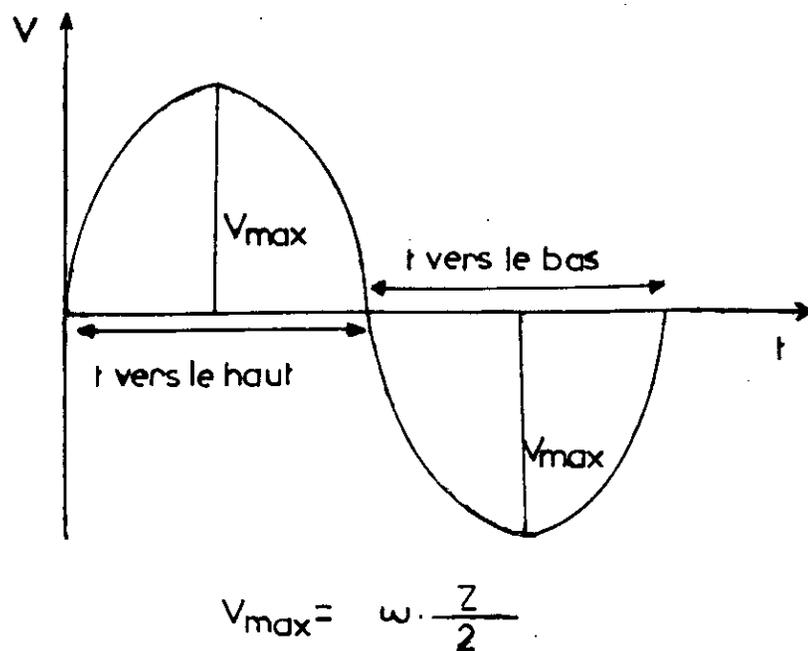


Figure II. : Diagramme des vitesses.

W : vitesse angulaire de l'excentrique.

φ : angle de rotation de la bielle.

N : nombre d'oscillations par minute.

Pour un tour complet, $\sin(\varphi)$ varie deux fois de 0 à 1 et de 1 à 0 (figure I.4).

Durant la première phase, les grains du minerai sur la grille (lit), Si on suppose que la vitesse maximale du courant correspond à la vitesse de chute des gros morceaux de l'élément lourd.

L'ordre d'ascension des particules sera le suivant; successivement nous aurons avec l'augmentation de la vitesse du courant:

La mise en mouvement de particules fines, moyennes, et grosses de l'élément léger, lorsque la vitesse du courant est importante, nous obtenons la mise en mouvement des particules fines, moyennes et grosses de l'élément lourd.

La vitesse va s'accroître jusqu'à ce qu'elle soit égale à la vitesse des grosses particules de l'élément lourd; cette phase est: la phase de l'accélération différentielle.

Pendant le deuxième quart du cycle, la vitesse de courant diminue pour devenir nulle à $t/2$ au fur et à mesure de cette diminution; on commence à constater une sédimentation des particules; l'ordre de cette sédimentation se fait inversement à l'ordre d'ascension pendant le troisième quart du cycle, les fines particules de l'élément lourd sont aspirées à travers de gros grains. Sous l'influence du courant descendant, les fines lourdes passent à travers la grille, si les mailles le permettent.

De la même manière, les fines de l'élément léger vont s'arranger sous les gros grains de l'élément léger, vers la fin du cycle: c'est le tassement.

I.4.2- Les principaux paramètres d'un Jig

1- Le lit artificiel formé de grenailles "RAGGING" lorsque le produit à traiter se présente avec une proportion importante de particules denses demi-fines ou fines relativement bien libérées, et si la fraction granulométrique est pauvre en espèces lourdes, on utilise alors un lit filtrant directement sur la grille.

Le rôle imparti à ce lit consiste à laisser passer de manière sélective les particules de minéral lourd, et, retenir les grains de minéral léger. L'épaisseur du lit joue un rôle primordial dans cette séparation. Lors de l'emploi d'un lit artificiel dans le jigage à travers la grille (Jigage à grille fixe), le choix de grenailles (RAGGING) convenables est très important.

Généralement, les grenailles doivent avoir une densité spécifique entre celle du minéral qui doit-être séparé et le reste des minéraux.

Evidemment, la dimension des grenailles doit être plus grande que celle des ouvertures de la grille du Jig et pas trop petite par rapport aux particules. Le matériau qui peut être utilisé en tant que grenailles fait appel à des alliages artificiels ou au métal (toujours sphérique) d'un minéral lourd et ne doit pas être abrasif. Avec ces grenailles artificielles se forme le fond opérationnel du lit.

2- La grille du Jig:

Le type de grille du Jig dépend de la méthode propre à l'opération de Jigage.

Pour le Jigage au-dessus de la grille, les ouvertures de la grille doivent être plus petites que la dimension de la particule la plus fine dans le tout-venant.

Pour le Jigage au travers de la grille, les ouverture de celle-ci doivent être plus grandes que la dimension de la particule la plus grosse dans l'alimentation; bien que plus petite que la dimension de la grenaille.

3- La capacité du Jig:

Le terme de capacité du Jig peut tromper; un Jig peut traiter une énorme quantité de matériau, fournie mécaniquement, qui doit traverser le lit du Jig. La vraie capacité pour un Jig doit être respectée comme une quantité optimum de matériau traité (Through pat), pour pouvoir obtenir une récupération acceptable.

La capacité du Jig, comme condition, est déterminée par la superficie de la grille du Jig

4- L'amplitude de pulsation de l'eau:

Le Jigage le plus favorable est obtenu grâce à une fréquence peu élevée et une forte amplitude des pulsations d'eau favorisant rapidement la démixation des matériaux.

5- Le débit d'eau:

Le contrôle du débit d'eau est une des importantes professions, dont dispose l'opérateur.

Dans les Jigs modernes, l'eau est additionnée comme coups vers le haut pour créer un amollissement optimal au niveau du lit.

Dans ces derniers Jigs, le contrôle du courant d'eau et de la fréquence d'additionnement sont équivalents à l'amplitude et à la fréquence du diaphragme du Jig.

6- Le nombre de lits du Jig:

Le Jig peut compter plusieurs grilles. Pour éviter la formation d'un lit épais de mixtes, qui par la suite, et après un certain temps de marche ne pouvant pas s'échapper par le déversoir des stériles, aura pour effet d'occasionner une perte de minerai.

I.4.3- Conclusion

La séparation gravimétrique, par accélération différentielle, permet la séparation des minéraux, dont la différence de densités est supérieure à 0.5, et, créant ainsi en premier lieu une stratification des grains en couches d'après leurs poids spécifiques, suivie de l'évacuation des couches stratifiées.

Généralement, le procédé de Jigage n'est appliqué que pour des granulométries comprises entre 200 et 0.1 mm. Pratiquement, lorsqu'il y a insuffisamment de particules lourdes dans l'alimentation, le lit sur la grille doit contenir une couche de grenailles ou de particules grossières avec une densité spécifique entre celle des minéraux présents dans l'alimentation.

L'épaisseur de cette couche est variable avec les minerais et les résultats qu'on veut obtenir. Par exemple, pour l'enrichissement des fines de charbon, de 0 à 10mm, l'épaisseur de la couche supportée par la grille à perforation carrée de 18mm, varie entre 30 et 40cm environ. Les grains du lit filtrant jouent le rôle de soupape, empêchant les légers de passer au travers de la grille durant la période de la succion. L'opération de Jigage peut être utilisée dans la pratique industrielle comme:

- Principale opération d'enrichissement, en obtenant des produit finis.
- Opération complémentaire, en combinaison avec d'autre méthodes de concentration (tablage, séparation magnétique, séparation électrique, flottation...etc.).

CHAPITRE II

Identification du gisement

d'Oued Amizour

et

de son minerai

polymétallique

II-1- Gisement d'Oued Amizour [3 ; 12 ; 17]

II-1-1-Situation géographique

Le gisement polymétallique de Plomb-Zinc, proche de l'Oued Amizour, se situe non loin de la côte méditerranéenne, et plus précisément à 10 Kilomètres de la ville de Béjaia, dont il relève administrativement.

son voisinage regroupe quelques localités importantes, entre autres:

El-Kseur, Amizour, Tala-Hamza.

Si nous considérons les voies de communication de cette région, elles s'avèrent être perspectives et complémentaires, car nous y rencontrons toutes les formes de transport et plus particulièrement:

- / une route nationale, située à 1.50 Kilomètre du gisement , reliant les villes d'Alger, Bouira, Béjaia, Jijel et Setif;
- / une voie ferrée reliant Béjaia à Alger ou constantine;
- / un port maritime de frêt, de passagers et de transport pétrolier et gazier;
- / un aéroport situé à Béjaia desservant la capitale;
- / un pipe pétrolier et gazier;
- / une ligne de haute tension.

L'aire de ce gisement, partie prenante du massif montagneux de Oued Amizour, constitué de roches volcaniques, sédimentaires et intrusives, couvre une superficie de 70 Kilomètres carrés environ.

II-1-2Géologie du gisement

Le gisement se trouve dans la partie centrale du flanc Ouest du massif. Ce massif représente une partie de la zone Amizour-El Aouana, est un synclinal dont la direction est Nord-Est, constitué des dépôts d'âge: triasique, jurassique, crétacé, éocène, oligocène et pliocène.

1- Stratigraphie

La stratigraphie du gisement se caractérise par le développement de deux assises: celle inférieure andésitique et celle supérieure dacitique. En surface les roches de l'assise dacitique constituent la partie Sud de l'aire du gisement; quant à celles de l'assise andésitique, elles représentent la partie Nord. Les contacts entre-elles en surface sont presque par tout tectoniques.

Le trait caractéristique de l'assise inférieure est représenté par la diminution de son épaisseur vers le Nord, et la variabilité des faciès selon cette direction.

Dans sa composition les tufs hétéroclastiques, et les roches Tufogéno-sédimentaires prédominent sur les laves andésitiques .

Se différenciant de la partie centrale du massif, l'assise supérieure n'est représentée que par les tufs dacitiques, dont l'épaisseur augmente; en s'orientant d'Est en Ouest et vers le Sud d'Amizour, de 25 à 3 à 250 mètres.

Les laves dacitiques ne s'étendent pas au Nord .

2- Tectonique

Les résultats de l'activité tectonique se manifestent largement et diversement sur l'aire du gisement; cependant ils sont mal représentés à cause de l'identité de la composition des tufs andésitiques et des brèches des zones tectoniques de broyage; il est très difficile, sinon, pratiquement impossible de reconnaître et de différencier ensuite les processus postérieurs de métamorphisme hydrothermal et de formation de minerai surimposé les uns sur les autres.

Sur l'aire du gisement, on a établi des accidents plicatifs et disjonctifs, qui nous semblent syngénétiques ou chronologiquement proche de l'activité intrusive.

Les accidents plicatifs sont représentés par deux horst-anticlinaux étirés et linéaires:

celui de BouZenan orienté Nord-Ouest Sud-Est, ainsi que par un bombement brachyforme marqué par l'hypsométrie du gisement au plan inférieur du sill de granosyenites-porphyriques.

3- Métamorphisme

Les roches endogènes se manifestent tant au sein du gisement, que dans l'ensemble du massif; elles ont une importance de premier ordre, car c'est à elles que la minéralisation polymétallique semble devoir sa formation.

Le métamorphisme hydrothermal et celui de contact sont liés sur l'aire du gisement et, les altérations des roches peuvent-être considérées en principe, comme des altérations dites de « contact-hydrothermales ».

4- Conclusion

Le plus important corps du minerai est constitué par une zone principale, remplissant l'espace (dans les roches de l'assise andésitique) , depuis le mur du sill de granosyenite porphyres dans la partie supérieur jusqu'à l'endocontact de l'intrusion de grano-diorites porphyriques inclus dans celle inférieure .

L'encaissant, de composition andésitique (coulées et pyroclastiques) , est fortement kaolinisé; dans d'autres indices il apparaît intensément silicifié.

<i>nature des roches</i>		<i>âge radiométrique en Ma</i>	<i>âge géologique</i>	<i>minéralisation</i>	<i>principales morphologies</i>	<i>principaux indices ou gîtes</i>
<i>éffusives</i>	<i>intrusives</i>					
<i>série calcoalc</i>	<i>série calcoalc</i>	<i>R plutonique: 22-16</i>	<i>repose sur</i>	<i>pyrite</i>	<i>stratiformes</i>	<i>Bou zenan</i>
<i>tufs andésitiques</i>	<i>diorites granodiorites</i>	<i>laves and: 18-16</i>	<i>miocène</i>	<i>Pb</i>	<i>stockwerks</i>	<i>Ait Dali</i>
<i>pyroclastiques</i>	<i>quartz-monzonites</i>	<i>rhyolitoïdes: 12</i>	<i>post-nappe</i>	<i>Zn</i>	<i>griffens</i>	<i>Ihdadène</i>
<i>coulés andésitiques</i>	<i>microgranites</i>		<i>Burdigalien</i>	<i>Cu</i>		
<i>rhyolitoïdes</i>				<i>Ba</i>		

Tableau récapitulatif "gisement d'Oued Amizour" [12].

II.2. Identification d'un échantillon du minerai polymétallique.

II.2.1. Etude pétrographique

L'analyse pétrographique des lames minces et des sections polies (réfère annexe II) révèle la présence de la pyrite (prédominante), de la galène et de la blende (rare).

* la pyrite

On distingue probablement deux générations .

-/ la pyrite I:

Elle se présente en plages cristallines, présentant parfois des sections carrées de blende; certains de ses cristaux sont striés.

-/ la pyrite II:

Elle apparaît sous forme de cristaux hexaédriques dans les géodes et en masses xénomorphes, entourant la pyrite I .

* la blende

Apparaissant en petits cristaux, en inclusion dans la pyrite I et également associée à la pyrite II; la blende s'est cristallisée en premier lieu .

* la galène

En cristaux subautomorphes enchevêtrés avec la pyrite II, et probablement; il semble que ce soit le dernier minéral qui ait pu se cristalliser.

L'ensemble pyrite I et II et blende, ainsi que la galène, est contenu dans une gangue de calcite.

Il est à noter la prédominance de la pyrite par rapport à la blende et à la galène.

Nous constatons la prédominance de cristaux de quartz, associés à la pyrite II et à la blende dans les géodes.

II.2.2. Préparation des échantillons

Cette préparation est indispensable:

-/ Pour l'étude précise de la classification granulométrique (massique, chimique), se traduisant par une évaluation métallifère au niveau des différentes classes.

-/ Pour une répartition aussi représentative que possible de différents échantillons appelés à faire l'objet: d'analyses chimiques, granulométriques et densimétriques (séparation par liqueur dense).

Un schéma, représentant toutes ces orientations, apparaît dans la figure II.1.

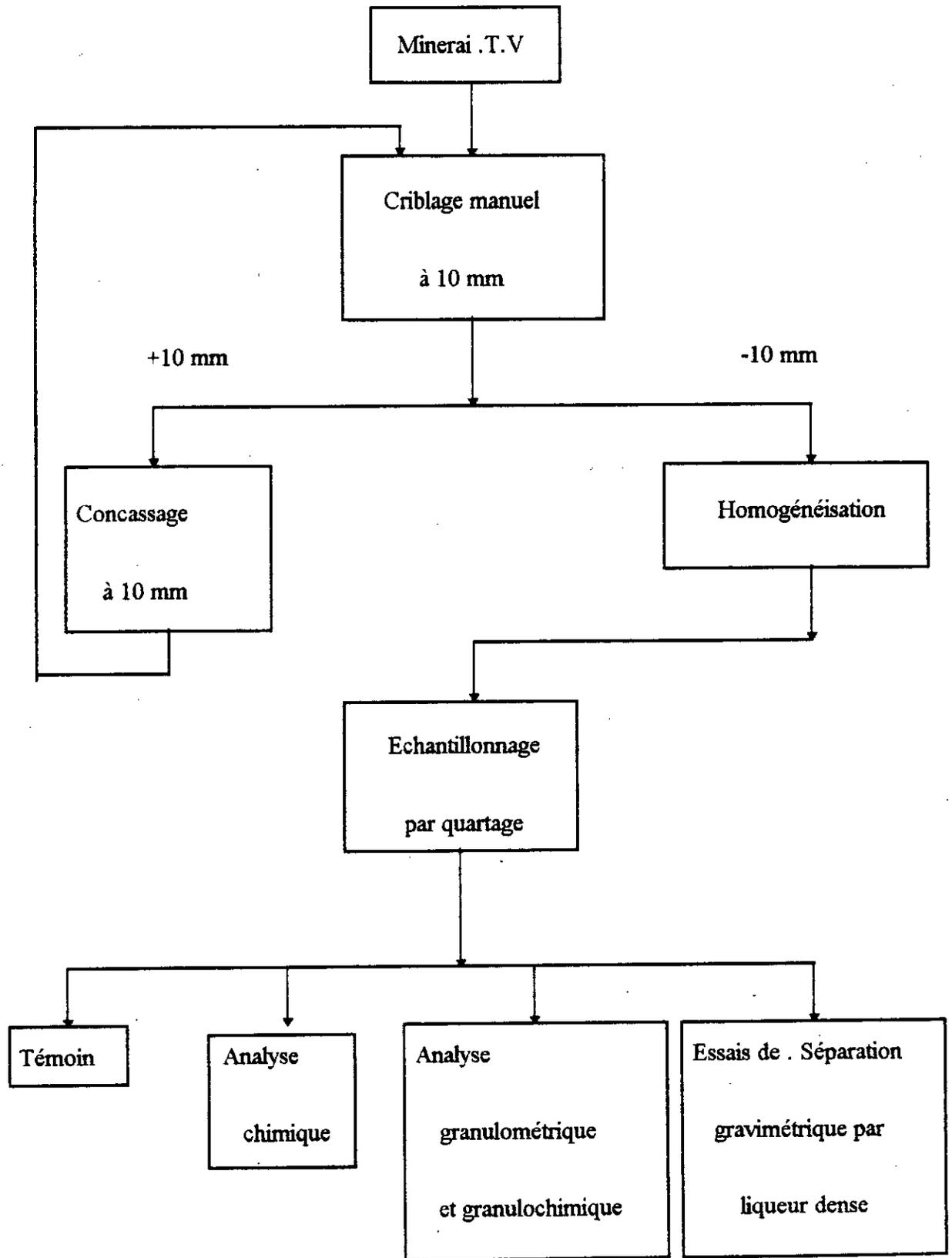


Figure II.1: Schéma de préparation du minerai pour essais et analyses

II.2.3. Analyse granulométrique [3;6;8;].

L'objet de cette analyse consiste à déterminer les proportions massiques de minerai fragmenté, tout en respectant les standards en matière de classification directe (tamisage). Cette classification répond à des normes internationales; en utilisant différentes unités de mesure.

Dans le cas présent, nous nous sommes fixés sur le choix de la norme A.F.N.O.R. (système métrique) en utilisant une série de tamis, d'ouverture variant entre 10 mm et 0.5 mm.

L'opération de tamisage à sec en laboratoire été réalisée manuellement.

Dans un premier stade, un dégrossissage du minerai a été réalisé manuellement sur un tamis de 10 mm.

Le refus obtenu est en principe recyclé vers un concassage (à 10 mm).

Nous avons effectué, après chaque tamisage successif, une pesée du refus de chaque tamis. Chaque pesée correspond à la masse d'une tranche granulométrique (réfère tableau II.2).

L'interprétation d'une analyse granulométrique apparaît au niveau de tableau, de courbe, d'histogramme, représentant la répartition granulométrique et massique de chaque tranche granulométrique.

Mailles (mm)	Poids		Refus cumulés %	Passants cumulés %
	Gramme	%		
- 10 + 8	137.30	6.23	6.23	99.99
-8 + 6.3	206.80	9.39	15.62	93.76
- 6.3 + 5	157.80	7.16	22.78	84.37
-5 + 4	156.80	7.08	29.86	77.21
- 4 + 3.15	143.50	6.51	36.37	70.13
- 3.15 + 2.5	132.00	5.99	42.36	63.62
- 2.5 + 2	145.60	6.61	48.97	57.63
- 2 + 1.6	073.50	3.34	52.31	51.02
- 1.6 + 1	217.20	9.86	62.17	47.68
- 1 + 0.8	095.20	4.32	66.49	37.82
- 0.8 + 0.63	081.20	3.69	70.18	33.50
- 0.63 + 0.5	057.70	2.62	72.80	29.81
- 0.5	598.90	27.19		27.19
Total...	2202.7	99.99		

Tableau II-2: Résultats de l'analyse granulométrique

Figure II.2 : Répartition granulométrique du minerai.

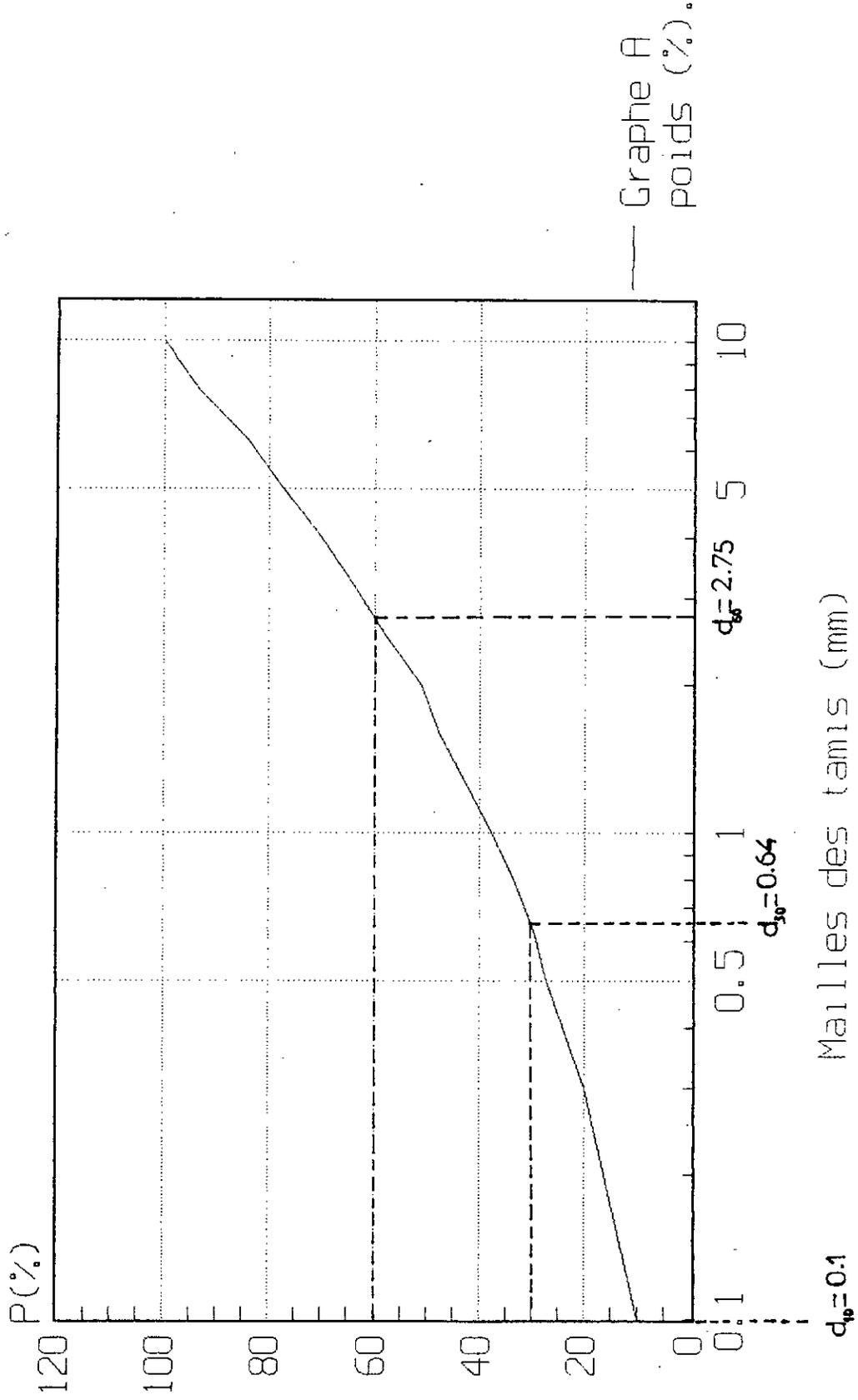
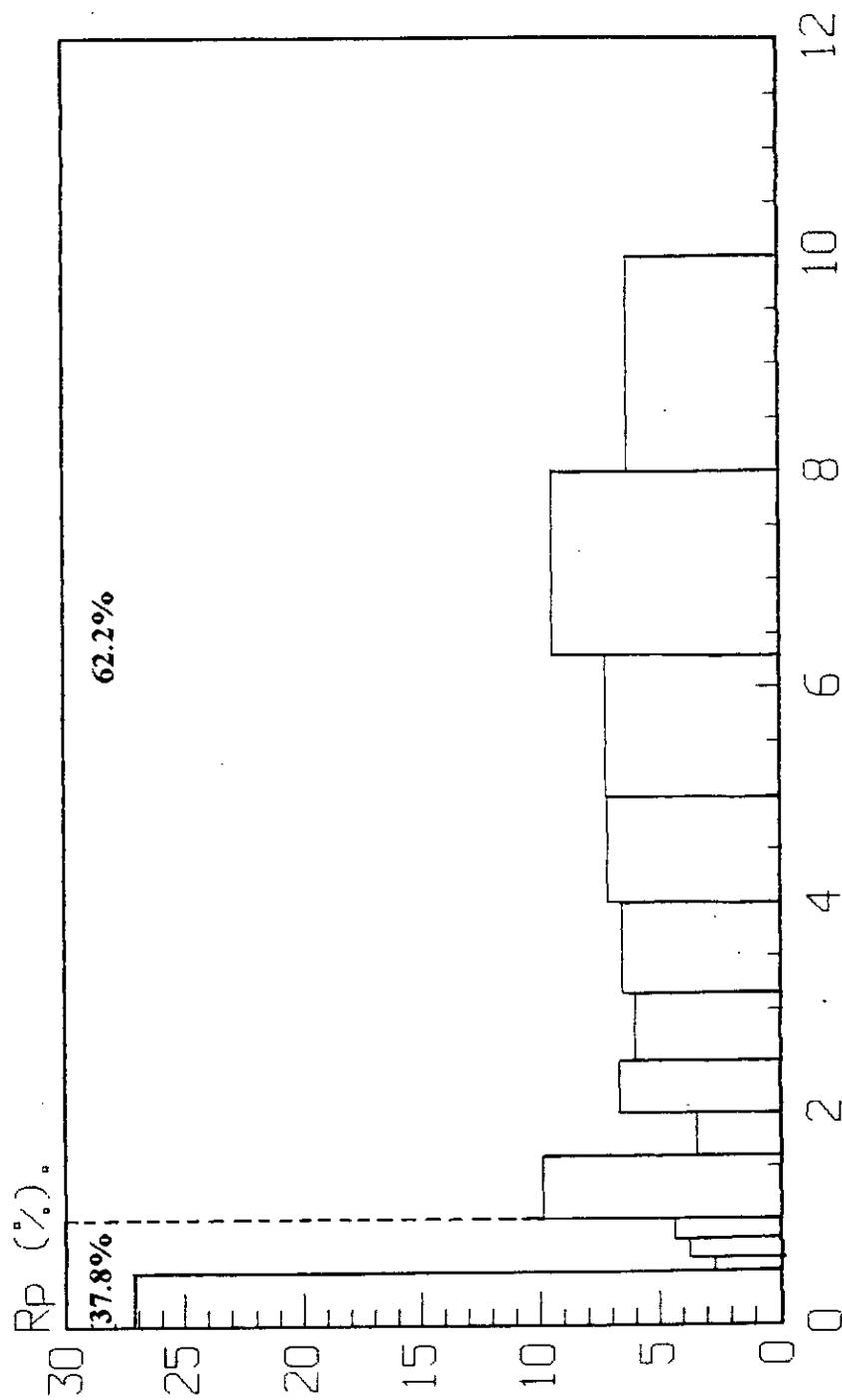


Figure II.3 : Histogramme de la répartition granulométrique du T.V.



Mailles des tamis (mm).

II.2.4. Analyse granulochimique [3;8;10;15].

L'analyse granulochimique a pour objet de préciser après une opération de classification l'aspect qualitatif et quantitatif en éléments métallifères ou autre au niveau de chaque tranche granulométrique. Cette analyse permet en quelque sorte de préciser l'enrichissement ou bien l'appauvrissement des différentes classes granulaires en éléments valorisables avant et après fragmentation.

L'analyse chimique des différentes classes granulométriques a porté sur la détermination des teneurs en Zn et en Pb.

Cette analyse chimique s'est faite par absorption atomique (réfère Annexe I).

Le tableau II.3 traduit les résultats d'analyses granulochimiques, tout en précisant la répartition métallifère au niveau de chaque classe par rapport à l'échantillon global.

La répartition du Zn et du Pb, au niveau des différentes classes, apparaît dans les histogrammes (figures: II- 4 ; II- 5).

Mailles (mm)	Poids %	Teneur %		Répartition %	
		Pb	Zn	Pb	Zn
- 10 + 8	6.23	1.75	5.10	8.14	4.93
- 8 + 6.3	9.39	1.85	7.50	12.99	10.92
- 6.3 + 5	7.16	1.50	6.00	8.04	6.67
- 5 + 4	7.07	1.85	8.00	9.84	8.83
- 4 + 3.15	6.51	1.70	7.00	8.28	7.08
-3.15 + 2.5	5.99	1.65	6.50	7.39	6.04
- 2.5 + 2	6.61	1.55	6.00	7.67	6.15
- 2 + 1.6	3.34	1.50	6.00	3.73	3.11
- 1.6 + 1	9.86	1.50	6.00	11.06	9.18
- 1 + 0.8	4.32	1.35	6.00	4.37	4.02
-0.8 + 0.63	3.69	1.40	6.00	3.87	3.43
-0.63 + 0.5	2.62	1.25	5.50	2.44	2.23
- 0.5	27.19	0.60	6.50	12.18	27.41
Total	99.99		-	100.00	100.00

Tableau II-3: Résultats de l'analyse granulochimique

Figure II.4 : Répartition de la teneur en Zinc dans les classes granulométriques.

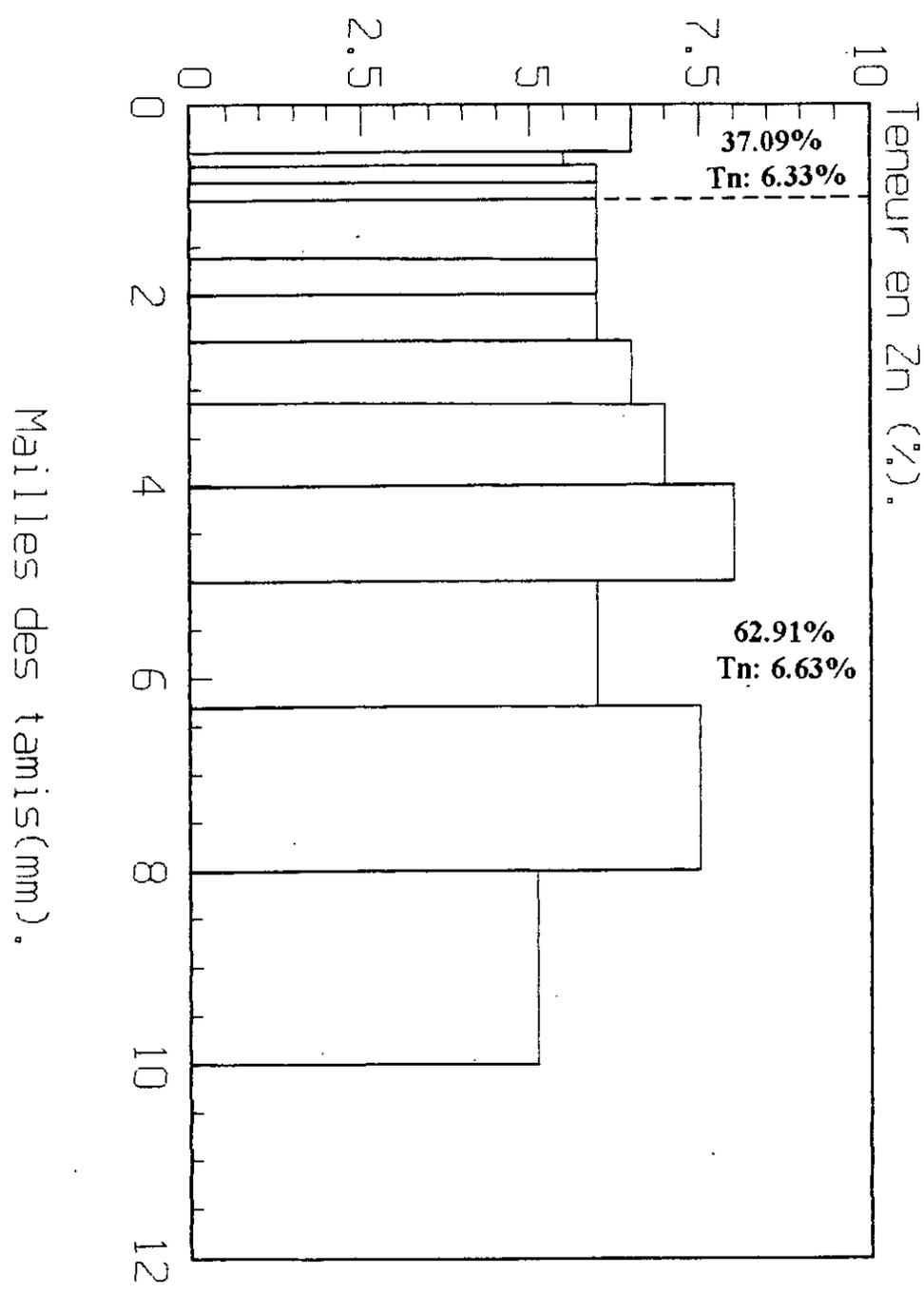
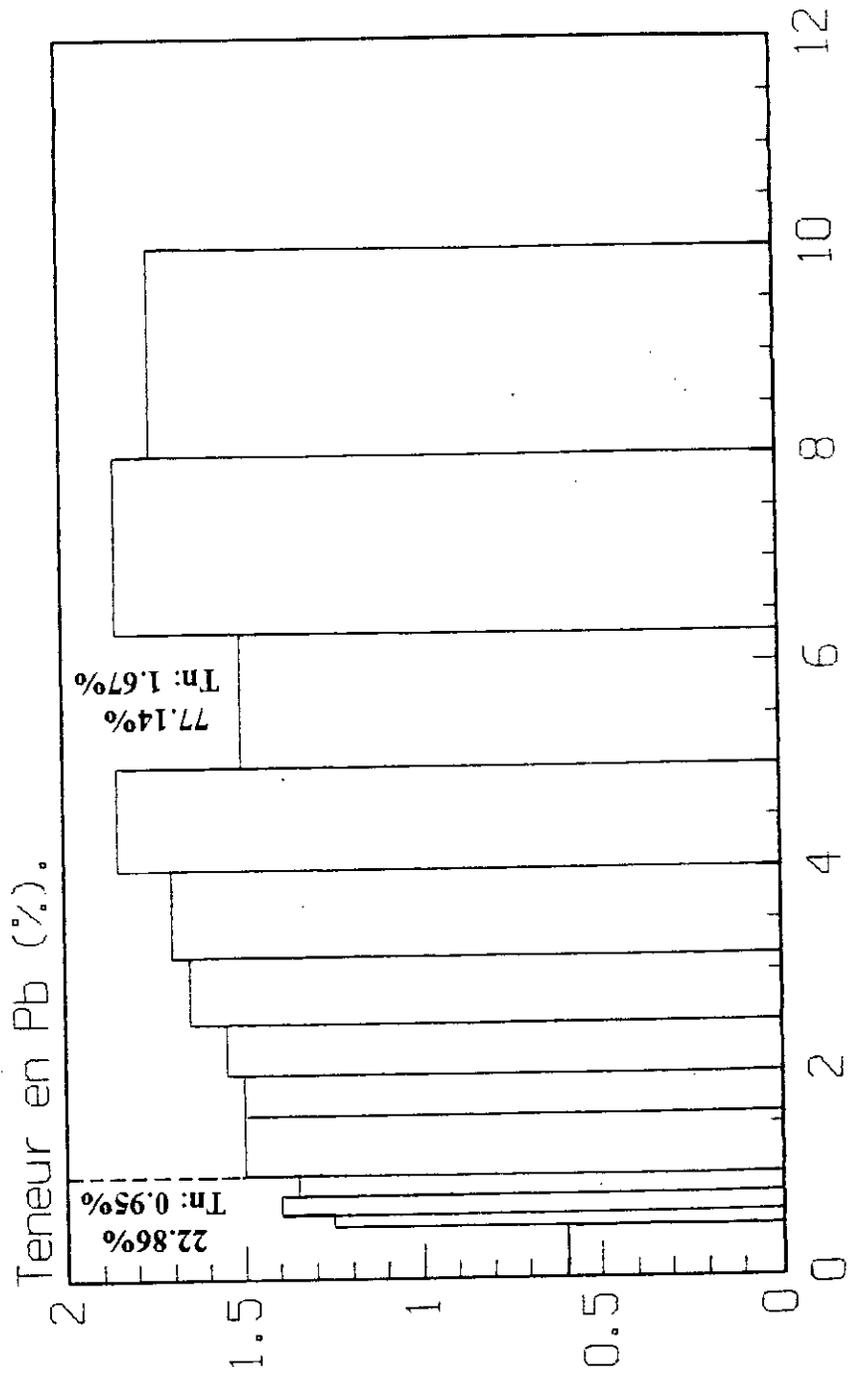


Figure II.5 : Répartition de la teneur en Plomb dans les classes granulométriques.



Mailles des tamis(mm).

II.2.5. Expression des résultats

A-/ La courbe des passants cumulés présente une concavité tournée vers le haut, cela s'explique par le fait que:

le coefficient d'uniformité d'Hazen (C_u) soit très grand [$C_u = d_{60}/d_{10} = 27.5 > 2$].

Il ressort que:

La granulométrie est étalée; le minerai présente donc une granulométrie hétérogène, ce qui nous laisse dire que la résistance mécanique des différents composants minéralogiques de l'échantillon soit très variable.

Le coefficient de courbure (C_c), étant supérieur à 1 [$C_c = (d_{30})^2 / (d_{60} \cdot d_{10}) = 1.49 > 1$], cela s'explique par le fait que la minéralisation est relativement tendre, provoquant par la suite des difficultés de séparation gravimétrique (Analyse densimétrique), dues à la présence excessive de fines ou de mixtes.

B-/ Les résultats de l'analyse granulochimique portés sur le tableau (II-2), représentés par les histogrammes (Figures: II-3, II-4) montrent que:

* La teneur en Plomb est plus conséquente dans les classes granulométriques supérieures.

Cette teneur diminue selon la finesse de la granulométrie.

* La teneur en Zinc varie d'une classe granulométrique à une autre.

La plus forte teneur en Zinc (8%) se situe dans la classe granulométrique (-5+4)mm et la plus basse teneur (5.10%) au niveau de la classe granulométrique (-10+8)mm.

Les résultats d'analyse granulométrique ont montré une concentration maximale en éléments valorisables (Pb et Zn) dans la classe granulométrique (-5+4)mm,

il ressort qu'après fragmentation il y ait enrichissement au niveau de la classe granulométrique $(-5 + 4) \text{ mm}$.

CHAPITRE III

Enrichissement par liqueur dense

III-1 Déroulement d'une expérience [1;9;10;15].

La réalisation de notre expérience s'est basée sur les différentes étapes ci-après décrites, à savoir:

1-Préparation de l'échantillon

Nous avons tamisé le minerai selon trois tranches granulométriques:

[- 10 + 5] mm, [-5 + 2.5] mm, [- 2.5 + 1] mm.

Nous avons lavé séparément ces trois tranches granulométriques, afin d'éliminer toutes les particules fines, susceptibles de gêner par la suite la séparation par liqueur dense.

Après le lavage, l'échantillon a été séché.

2- préparation du milieu dense:

Nous avons utilisé deux milieux denses différents de par leur nature, à savoir:

* Une solution organique préparée, en utilisant le Bromoforme [CHBr_3] de densité (2.90) et le Xylène de densité [$(\text{CH}_3)_2 \text{C}_6 \text{H}_4$] (0.863), en pratiquant la méthode de la croix.

* Une solution de sel minéral " liqueur de Rhorbach ". [$\text{Ba I}_2 + \text{Hg I}_2$] de densité (3.590).

Les deux solutions organiques de Bromoforme et de Xylène, mélangées selon des proportions différentes, nous ont permis de fixer les densités croissantes suivantes: 2.70; 2.80; 2.84 et 2.88.

Une densité de 3.12 a pu être fixée par utilisation de la liqueur de " Rhorbach ".

Après avoir procédé à la préparation du minerai et des milieux denses, nous avons réalisé de la manière suivante une analyse densimétrique:

Pour chaque classe granulométrique préparée, nous avons suivi le cheminement densimétrique suivant le schéma ci après décrit dans la (figure III-1).

Après avoir déversé l'échantillon dans la première liqueur dense, de densité d_1 , nous obtenons deux produits, se différenciant de par leur masse spécifique, représentant deux ensembles de particules légères (ou flottantes) et lourdes (plongeantes) (figure III-2).

Une fois que les deux produits sont évacués (égouttés) de la liqueur dense, ils sont lavés et séchés séparément.

Par la suite, la fraction plongeante sera pesée puis analysée chimiquement; par contre la fraction flottante (légère) sera introduite dans la seconde liqueur dense, de densité d_2 , telle que $d_2 < d_1$.

On poursuit la même procédure jusqu'à la dernière liqueur dense, où la fraction flottante, sera à son tour pesée puis analysée chimiquement.

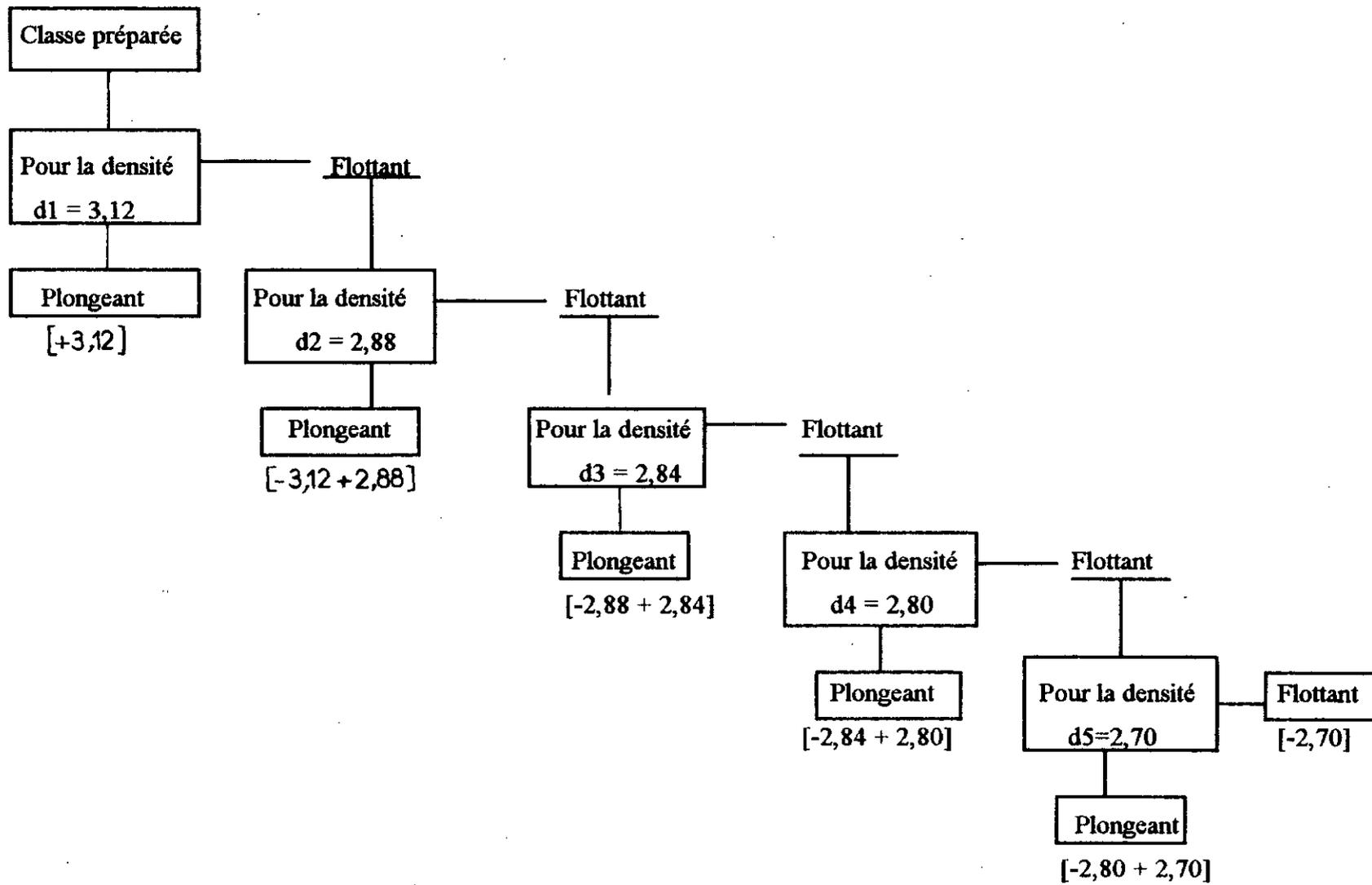


Figure III.1 Cheminement de séparation par liqueur dense

Alimentation
en minerai préparé

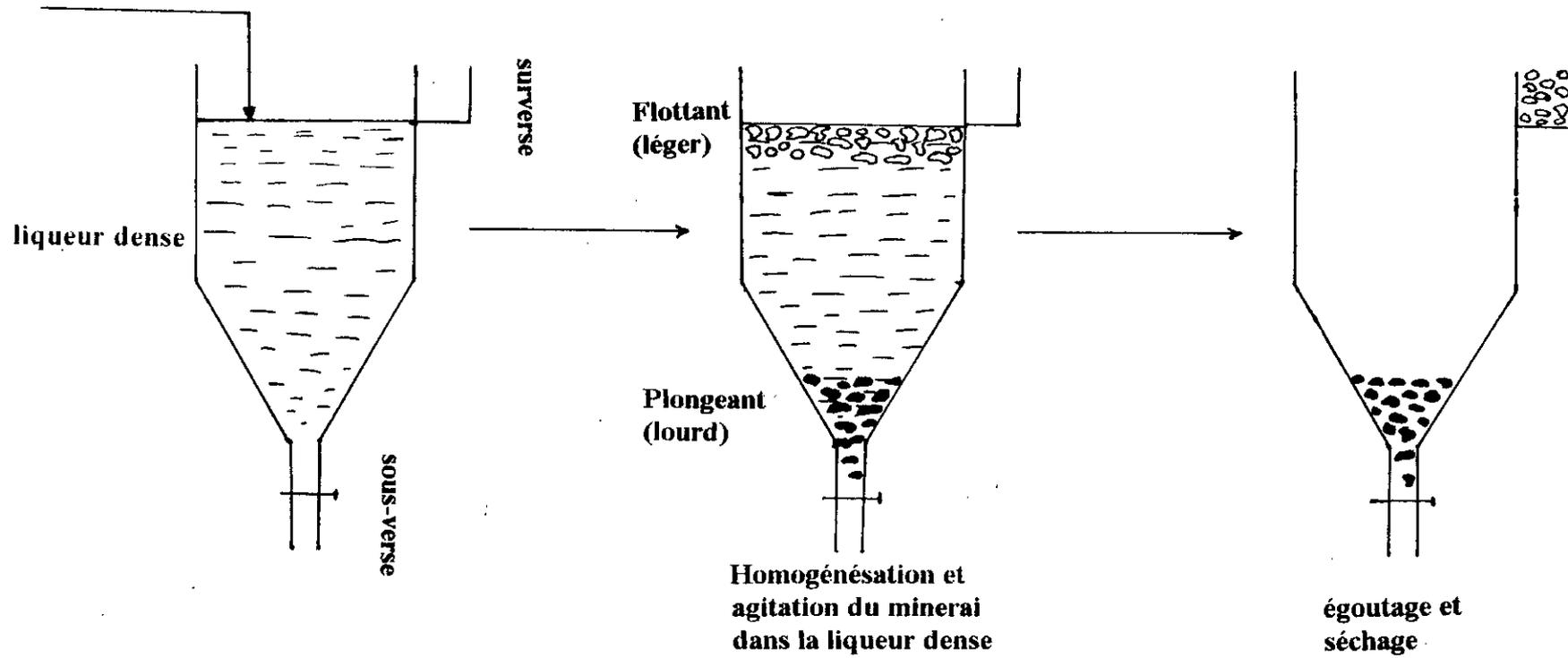


Figure II-2: La séparation plongant/flottant

III-2 Expression des résultats [1;9;10;15].

Le tracé de deux courbes a permis de représenter ou de traduire les résultats obtenus lors de la séparation densimétrique du minerai polymétallique du gisement d'Oued Amizour.

Il s'agit:

1- D'une courbe densimétrique (courbe de lavabilité), permettant de déterminer les rendements en poids des plongeurs en fonction de la densité de la liqueur dense.

2- D'une courbe densité-teneur métal, exprimant la relation existant entre les teneurs des éléments valorisables et la densité moyenne de la liqueur dense, $(\frac{d_1+d_2}{2})$.

La densité de la fraction récupérable à 50% dans la concentré, et à 50% dans les rejets, est appelée densité de coupure (ou densité de partage) " dp ".

Les résultats obtenus, lors des tests de laboratoire, apparaît au niveaux des différents tableaux (III-1; III-2; III-3), et des courbes (figure: III-3; III-4; III-5).

Nous avons déterminé, au vu de tous ces tracés, la courbe de lavabilité du brut reconstitué. Les résultats obtenus sont reportés sur le tableau (III-4) et sur la figure (III-7).

La représentation des rendements pondéraux de chaque tranche densimétrique, puis la répartition des éléments valorisables (Pb, Zn) apparaissent sur les histogrammes (figures III-6; III-8; III-9).

Pour chaque tranche granulométrique, nous avons représenté sur la même figure les courbes teneur-densité pour les éléments valorisables, ainsi que la courbe de lavabilité.

Pour le brut reconstitué apparaissent sur la même figure les courbes densité-teneur des éléments valorisables, la courbe de lavabilité, *les courbes de densité-récupération métal* , le tout en fonction de la densité de la liqueur dense.

densité	densité moy- enne	poids		teneur		récupération		produits flottants				produits plongeants					
		de la classe %	sur T.V %	Pb %	Zn %	Pb %	Zn %	poids cumulé%	teneur		récupération		poids cumulé%	teneur		récupération	
			Pb %	Zn %	Pb %	Zn %	Pb %	Zn %	Pb %	Zn %	Pb %	Zn %	Pb %	Zn %	Pb %	Zn %	
(-2.70)	2.70	45.24	10,28	0.17	1.60	4.54	11.44	45.24	0.17	1.60	4.54	11.44	-	-	-	-	-
(-2.70+2.80)	2.75	11.01	2.50	0.70	3.70	4.54	6.43	56.25	0.27	2.01	9.08	17.87	54.76	2.99	10.21	95.46	88.55
(-2.80+2.84)	2.82	2.86	0,65	1.40	5.00	2.34	2.28	59.11	0.34	2.15	11.42	20.15	43.75	3.56	11.85	90.92	82.12
(-2.84+2.88)	2.86	3.14	0,74	1.95	5.10	3.57	2.54	62.25	0.41	2.30	14.99	22.69	40.89	3.72	12.49	88.58	79.84
(-2.88+3.12)	3.00	13.61	3.09	2.20	7.50	17.47	16.16	75.86	0.73	3.24	32.46	38.85	37.75	3.86	12.94	85.01	77.30
(+3.12)	3.12	24.14	5.49	4.80	16.00	67.54	61.14	-	-	-	-	-	24.14	4.80	16.00	67.54	61.14
reconstitué	-	100.00	22.72	-	-	100.00	99.99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tableau III.1 : Analyse densimétrique de la classe granulométrique
(-10+5)mm**

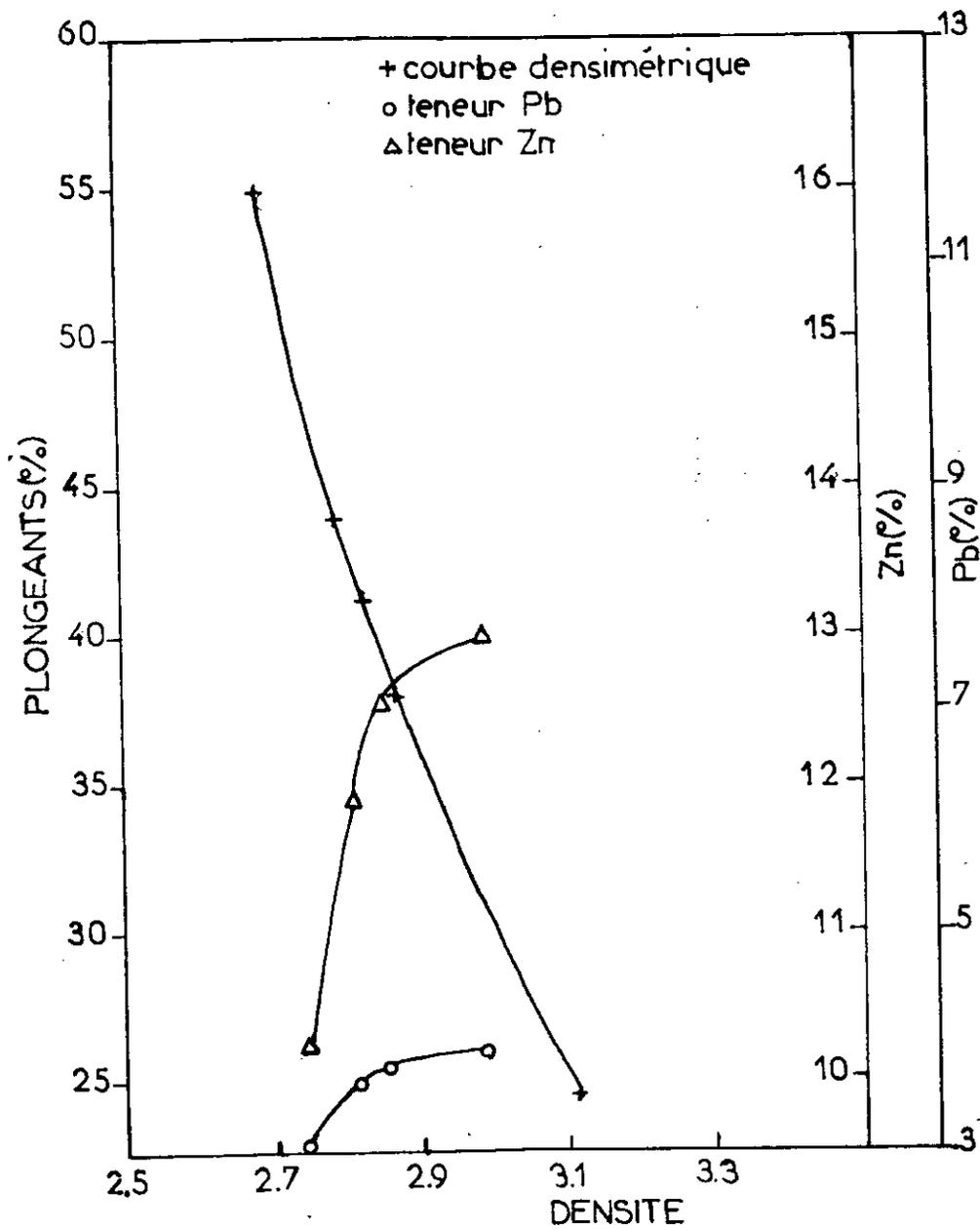


Figure III. 3 : Courbes densimétrique et teneur_densité
de la classe granulométrique (- 10 + 5) mm.

54

densité	densité moy- enne	poids		teneur		récupération		produits flottants					produits plongeants				
		de la classe %	sur T.V %	Pb %	Zn %	Pb %	Zn %	poids cumulé%	teneur		récupération		poids cumulé%	teneur		récupération	
									Pb %	Zn %	Pb %	Zn %		Pb %	Zn %	Pb %	Zn %
(-2.70)	2.70	45.92	8.97	0.11	1.25	2.28	8.63	45.92	0.11	1.25	2.28	8.63	-	-	-	-	-
(-2.70+2.80)	2.75	10.19	2.00	0.48	2.80	2.12	4.29	56.11	0.18	1.53	4.40	12.92	54.08	4.10	11.26	97.71	91.37
(-2.80+2.84)	2.82	2.65	0.54	0.60	4.60	0.76	1.81	58.76	0.20	1.67	5.16	14.73	43.89	4.94	13.22	95.59	87.08
(-2.84+2.88)	2.86	2.41	0.47	1.20	5.00	1.21	1.81	61.17	0.24	1.80	6.37	16.54	41.24	5.22	13.77	94.83	85.27
(-2.88+3.12)	3.00	8.71	1.70	1.90	8.50	7.28	11.11	69.88	0.43	2.64	13.65	27.65	38.83	5.47	14.32	93.62	83.46
(+3.12)	3.12	30.12	5.88	6.50	16.00	86.34	72.35	-	-	-	-	-	30.12	6.50	16.00	86.34	72.35
reconstitué	-	100.00	19.53	-	-	99.99	100.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tableau III. 2 :Analyse densimétrique de la classe granulométrique
(-5+2.5)mm**

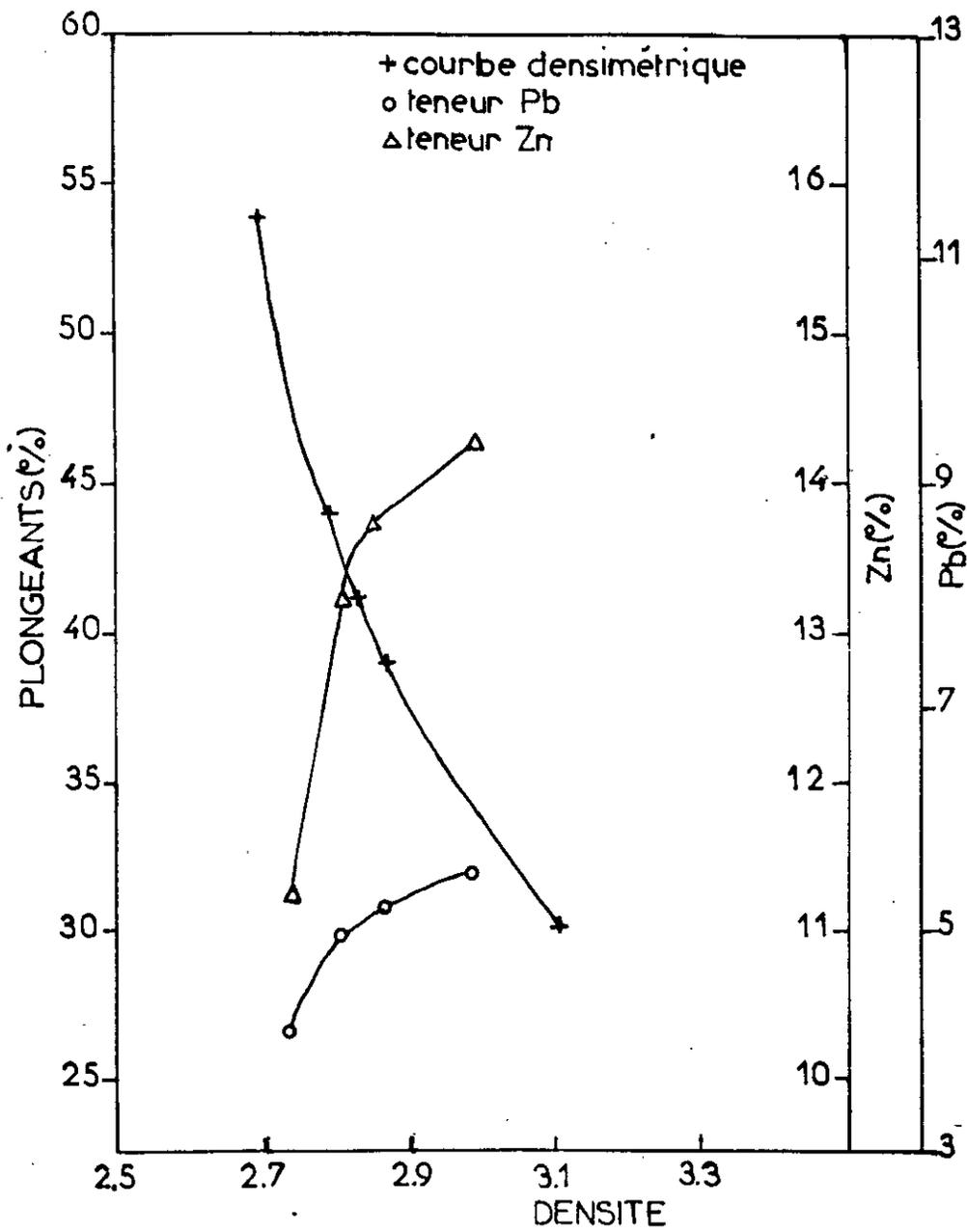


Figure III . 4 : Courbes densimétrique et teneur-densité
de la classe granulométrique (- 5 + 2.5) mm .

densité	densité moy- enne	poids		teneur		récupération		produits flottants				produits plongeants					
		de la classe %	sur T.V %	Pb %	Zn %	Pb %	Zn %	poids cumulé%	teneur		récupération		poids cumulé%	teneur		récupération	
									Pb %	Zn %	Pb %	Zn %		Pb %	Zn %	Pb %	Zn %
(-2.70)	2.70	44.74	8.85	0.07	1.35	0.63	1.35	44.74	0.07	1.35	0.63	9.47	-	-	-	-	-
(-2.70+2.80)	2.75	11.73	2.32	0.28	2.70	0.70	1.63	56.47	0.11	1.63	1.33	14.44	55.26	8.59	10.45	99.37	90.53
(-2.80+2.84)	2.82	1.87	0.37	0.50	4.20	0.21	1.71	58.34	0.13	1.71	1.54	15.70	43.53	10.83	12.54	98.67	85.56
(-2.84+2.88)	2.86	4.31	0.85	0.85	6.00	0.77	2.01	62.65	0.18	2.01	2.31	19.73	41.66	11.29	12.92	98.46	84.30
(-2.88+3.12)	3.00	6.85	1.36	1.35	8.00	1.95	2.60	69.50	0.29	2.60	4.26	28.31	37.35	12.50	13.72	97.69	80.27
(+3.12)	3.12	30.50	6.04	15.00	15.00	95.94	-	-	-	-	-	-	30.50	15.00	15.00	95.74	71.69
reconstitué	-	100.00	19.79	-	-	100.00	100.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tableau III. 3 :Analyse densimétrique de la classe granulométrique
(-2.5+1)mm**

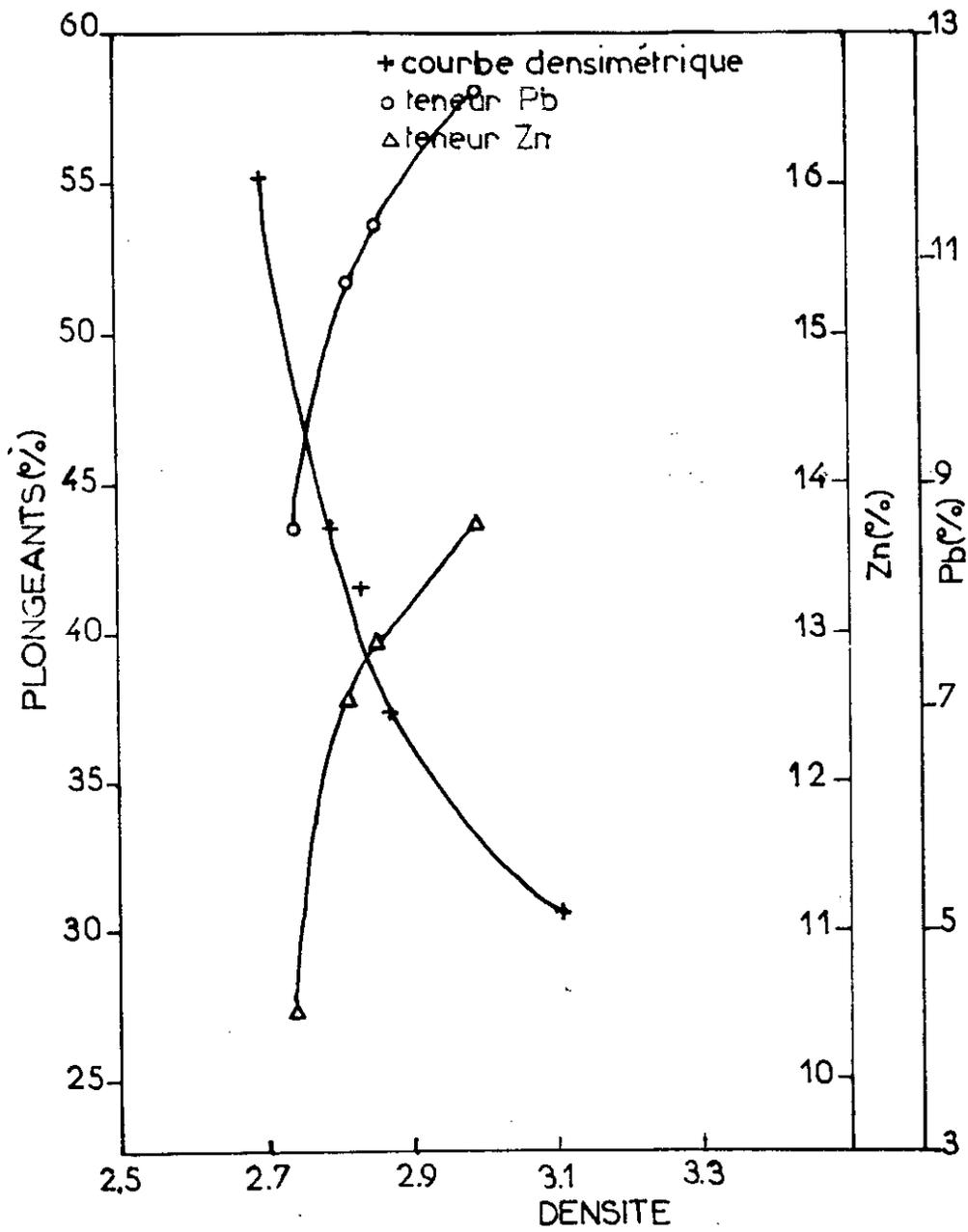
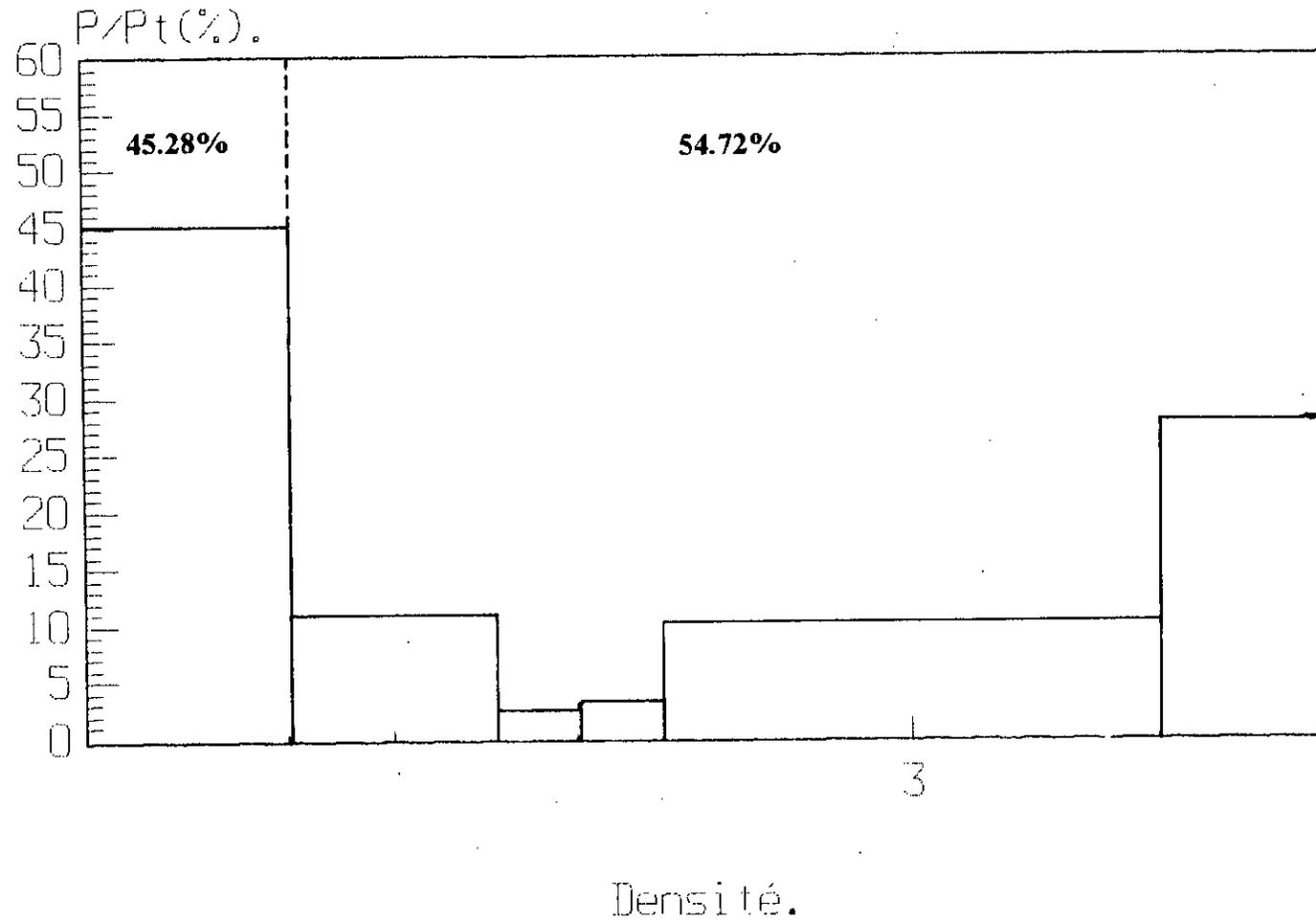


Figure III. 5 : Courbes densimétrique et teneur densité
de la classe granulométrique (- 2.5 + 1) mm.

densité	densité moy- enne	poids		teneur		récupération		produits flottants					produits plongeants				
		de la classe %	sur T.V %	Pb %	Zn %	Pb %	Zn %	poids cumulé%	teneur		récupération		poids cumulé%	teneur		récupération	
									Pb %	Zn %	Pb %	Zn %		Pb %	Zn %	Pb %	Zn %
(-2.70)	2.70	45.28	28.70	0.12	1.43	1.96	10.06	45.28	0.12	1.43	1.96	10.06	-	-	-	-	-
(-2.70+2.80)	2.75	10.98	6.82	0.51	3.15	2.03	5.38	56.26	0.20	1.77	3.99	15.44	54.72	4.97	10.58	98.04	89.94
(-2.80+2.84)	2.82	2.51	1.53	0.96	4.70	0.85	1.82	58.77	0.23	1.89	4.84	17.26	43.74	6.09	12.45	96.01	84.56
(-2.84+2.88)	2.86	3.28	2.05	1.36	5.43	1.60	2.76	62.05	0.29	2.08	6.44	20.02	41.23	6.41	12.92	95.16	82.74
(-2.88+3.12)	3.00	10.21	6.15	1.96	7.84	7.22	12.43	72.26	0.52	2.89	13.66	32.45	37.95	6.84	13.57	93.56	79.98
(+3.12)	3.12	27.74	17.41	8.64	15.68	86.34	67.55	-	-	-	-	-	27.74	8.64	15.68	86.34	67.55
reconstitué	-	100.00	62.04	-	-	100.00	100.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau III. 4 : Analyse densimétrique de la classe granulométrique (-10+1)mm du minerai brut reconstitué.

Figure III.6 :Analyse densimétrique du
minerai brut reconstitué
redéments pondéraux.



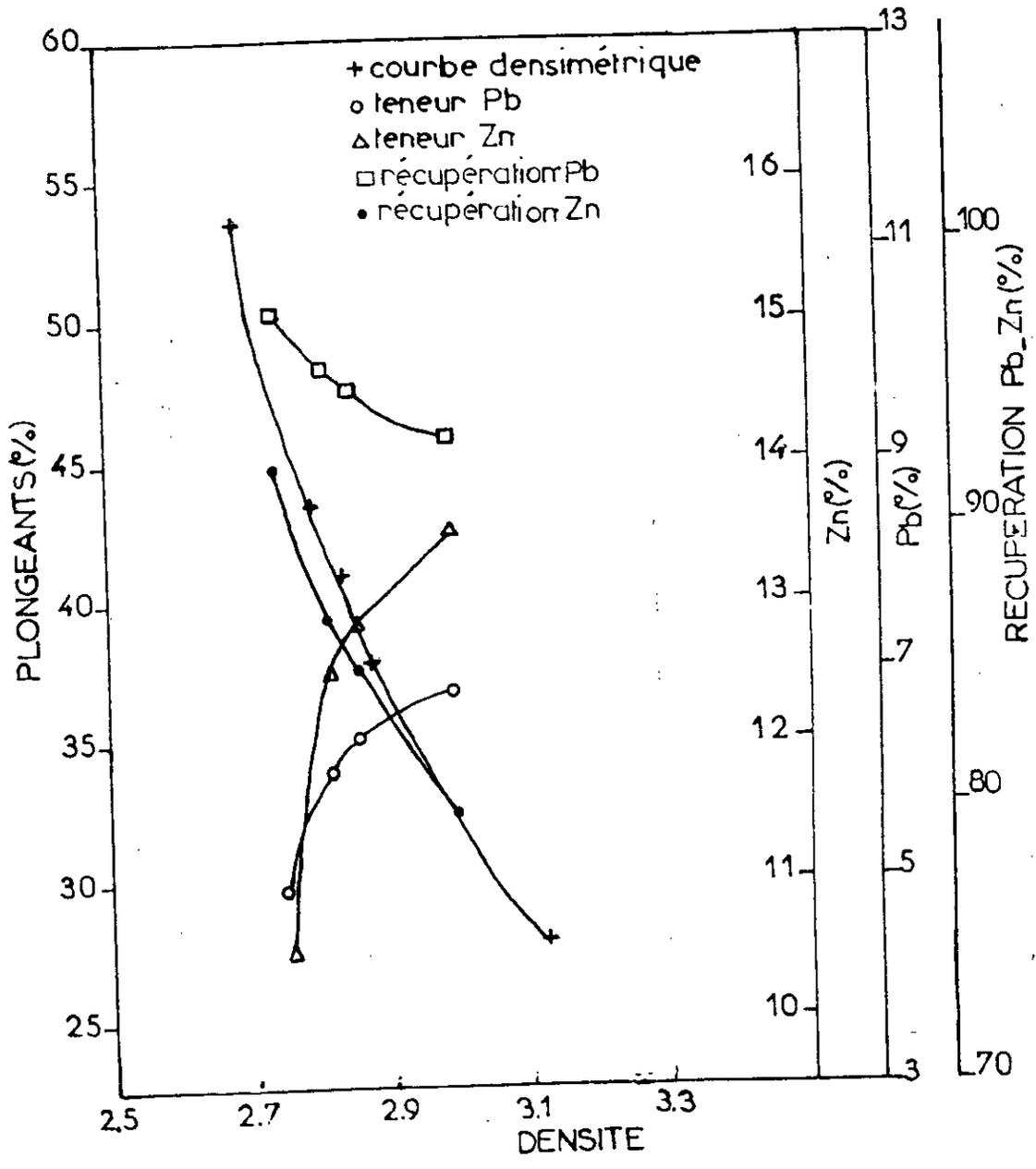


Figure III - 7 : Courbes densimétrique et teneur-densité
récupération-densité du minerai brut
reconstitué.

Figure III.8 : Analyse densimétrique : répartition du Plomb.

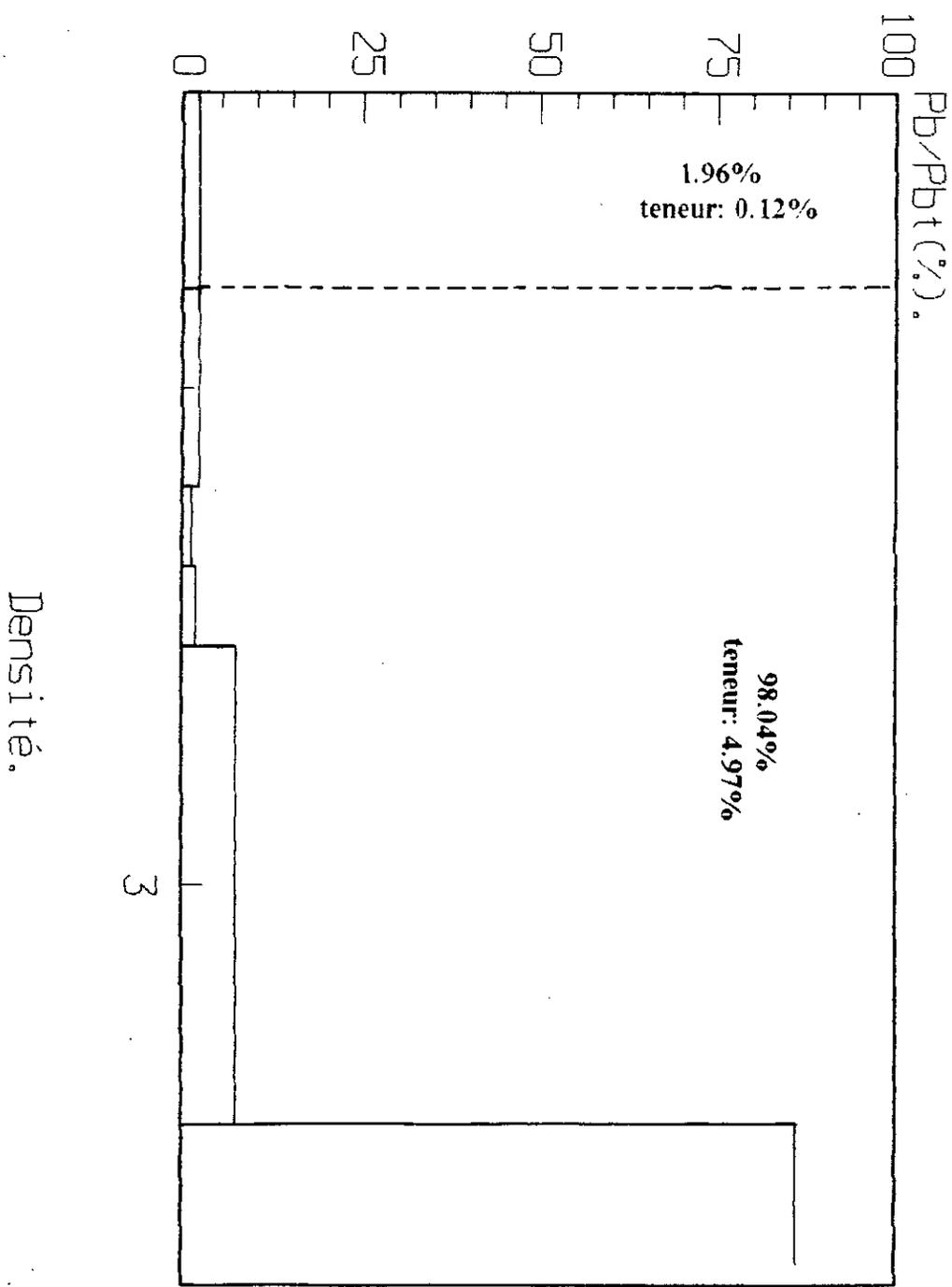
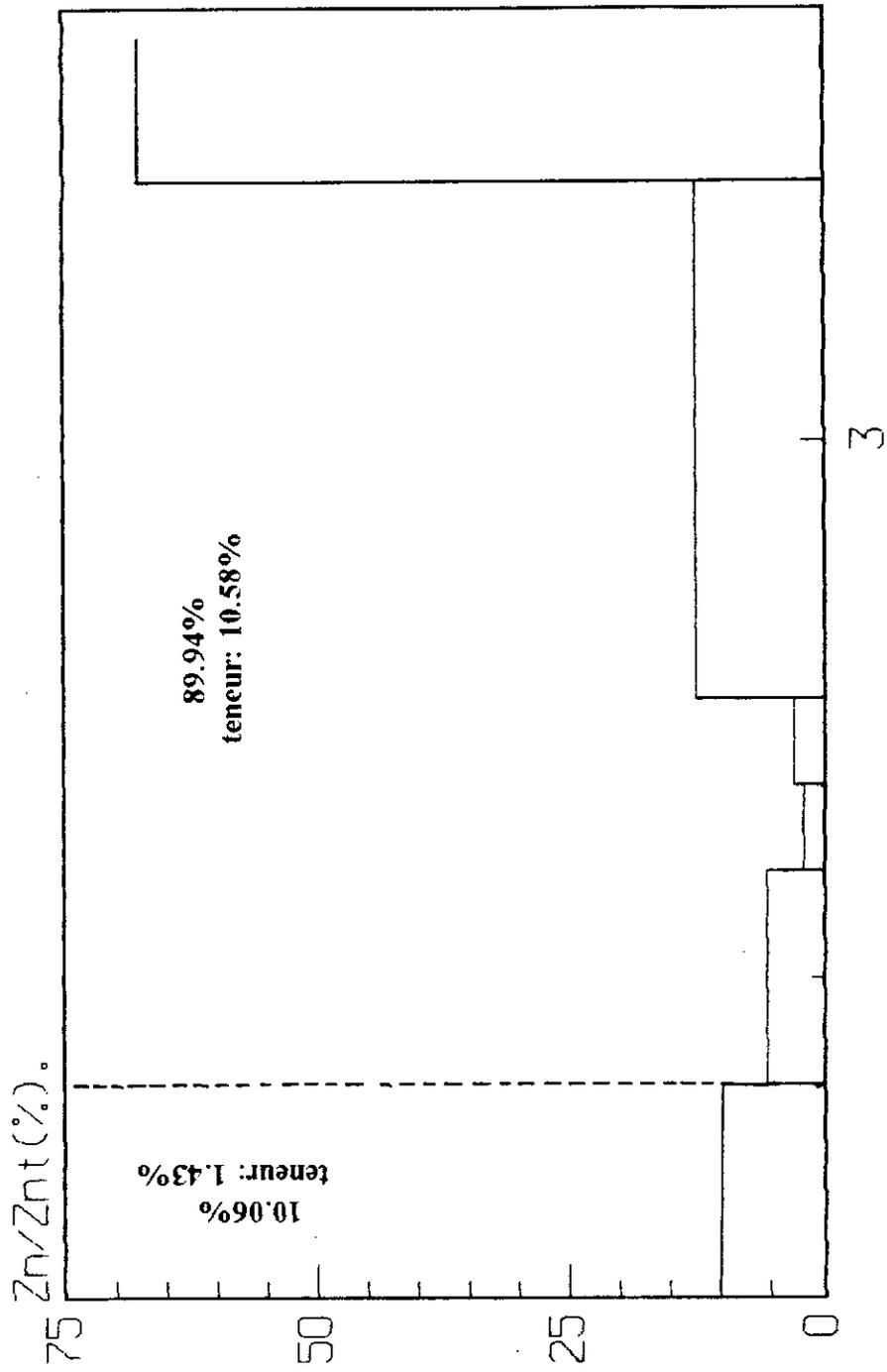


Figure III. 9 :Analyse densimétrique:
répartition du Zinc.



III-3 Interprétation finale [1;9;10;15].

Au vu des résultats et expressions graphiques obtenus, nous sommes arrivés aux conclusions suivantes:

- L'allure des courbes de lavabilité des différentes tranches granulométriques (réfère figures:

III-3; III-4; III-5) et du brut reconstitué (réfère figure: III-7) se rapproche de la partie inférieure d'une courbe de partage théorique parfaite, traduisant la présence d'une faible quantité de mixtes; cependant, si nos tests avaient porté sur le domaine densimétrique inférieur à la densité 2.70, nous aurions pu de la sorte compléter l'allure de notre courbe de partage, de manière similaire à celle de " GAUSS ".

- La densité de coupure (ou de partage) est proche de 2.70.

- Ainsi 89,94% de Zinc. Métal et 98,04% de Plomb sont contenus dans les 54,72% du minerai initial; il apparaît donc que ce taux de concentration semble appréciable.

Ce qui nous conduit à dire que le minerai polymétallique du gisement d'Oued Amizour se prête donc à une séparation densimétrique dans l'intervalle granulométrique, que nous avons répertorié et choisi.

CONCLUSION GENERALE
ET
RECOMMANDATIONS

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Au cours de cette étude, portant sur un échantillon du gisement polymétallique d'Oued

Amizour, Nous avons procédé à:

-/ des analyses d'identification du minerai polymétallique (analyse pétrographique, granulométrique et granulochimique).

Ces derniers ont permis d'obtenir les résultats suivants:

- * Le minerai est relativement friable;
- * Il présente une granulométrie étalée;
- * Sa concentration maximale en éléments valorisables apparaît au niveau de la classe granulométrique (-5+4)mm;
- * 77.14% du Plomb se trouve dans 62.2% du minerai initial, avec une teneur de 1.67%;
- * 62.91% du Zinc se trouve dans 62.2% du minerai initial, avec une teneur de 6.63%;

-/ Une analyse densimétrique, résultat d'une série de tests de séparation gravimétrique par liqueur dense, permettant d'optimiser les principaux paramètres technologiques, à savoir:

- * la densité de coupure (ou de partage) est sensiblement égale à 2.70;
- * il ressort que 89.94% de Zinc métallifère et 98% de Plomb sont contenus dans les 54.72% de la quantité globale de minerai initial.

En conclusion, cette étude d'orientation nous a permis d'émettre: d'une part, un avis sur la traitabilité du minerai polymétallique du gisement Oued Amizour: Ce minerai se prête à une séparation gravimétrique par liqueur dense dans l'intervalle de granulométrie choisi permettant ainsi d'obtenir des préconcentrés assez riches en Plomb et en Zinc. Ce qui nous permet de rejeter une quantité importante de gangue, et ainsi de diminuer la proportion de tout-venant pour l'étape de la concentration (flottation).

-/ D'autre part des recommandations quant au choix d'autres techniques de séparation gravimétrique, à savoir:

- par application possible du traitement de ce minerai par la méthode par accélération différentielle (Jigage).

Cette méthode peut-être améliorée par utilisation:

* d'un appareillage spécifique, ou "Hancock Jig": Cet appareillage tient cas des résultats obtenus lors de la séparation par liqueur dense. Cette séparation densimétrique se manifeste durant la moitié des processus, se produisant dans ce Jig. Ce qui explique, que dans certaines industries minérales, la gamme granulométrique, pouvant être traitée, varie de [0 à 20-25mm]. Ce qui nous conduit à une limitation intéressante, sur les plans technologiques et économiques, de la classification et éventuellement au niveau de la fragmentation.

Il semblerait, au vu de certaines applications industrielles, et, compte-tenu du coût excessif actualisé des réactifs (utilisés comme liqueurs denses), que cette technique soit en voie de développement. A cet effet, nous suggérons qu'il faille entreprendre des tests d'orientation et d'application de cette méthode

* d'un autre type d'agrégat, ou "Jig à piston":

il serait intéressant de pouvoir tester cette méthode avec notre minerai, tout en portant de légères modifications en matière de conception appareillage.

Il serait judicieux de fixer une membrane de polyuréthane expansé, percée selon les dimensions des ouvertures de la grille, et de la fixer sur celle-ci.

L'avantage de cette technique fait qu'il y a moins de pertes au niveau des fines. De plus le coût excessif des réactifs de séparation par liqueur dense milite pour cette méthode.

ANNEXE I
Analyse chimique

Analyse chimique

Pour le dosage du Plomb et du Zn , on a utilisé la méthode par Absorption atomique.

Principe de la méthode

Elle consiste à déterminer l'absorption se produisant lors du passage d'une radiation, de longueur d'onde donnée , à travers un ensemble d'atomes libres pris dans leur état fondamental, c'est-à-dire de plus faible énergie.

Ainsi une source lumineuse (lampe à cathode creuse...) émet un spectre, qui doit contenir la raie de l'élément à analyser .

Dans l'atomiseur (flamme ou four) , l'échantillon se transforme en vapeur atomique, absorbe la radiation de la longueur d'onde correspondante à l'élément analysé.

Le monochromateur isole une bande ou une raie, dans laquelle se trouve la raie de l'élément à analyser.

Le détecteur transforme l'énergie lumineuse en un signal électrique ,qui est transmis à un amplificateur . Seul le signal, dû à la radiation provenant de la source , est amplifié.

Les radiations parasites émises dans la flamme (fond continu) sont éliminées et ne donnent aucun signal à la sortie de l'amplificateur.

Dosage du Plomb et du Zinc

a- Dosage du Zinc

Le Zinc est directement déterminé dans la solution d'attaque lorsque les teneurs ne

dépassent pas 5%, si non il faut diluer convenablement la solution avec l'acide chlorhydrique à 5%.

Conditions de mesure générateur de radiations.

- cathode creuse « haute brillance »
- Radiation: 213.8 nm ou 307.5 nm (raie peu sensible)
- Bande passante = 2 nm (manomètre)
- Flamme = air acétylène oxydante, brûleur, laminaire perpendiculaire à l'axe optique
- propriétés de la méthode: répétabilité = 0.05 % au voisinage de 5 % de Zinc.
- / Limite de détection; 0.005 % de Zinc.
- / Domaine optimal d'utilisation = 0.5 à 5% de Zinc.
- / Pour les teneurs inférieures à 0.5 %, on utilise le brûleur en position normale.

b- dosage du Plomb

- / Le Plomb est déterminé directement dans la solution .
- / Pour des teneurs supérieures à 1 %, l'effet des alcalins et des alcalino-terreux est négligeable.

Condition de mesures-générateur de radiation.

- cathode creuse « haute brillance »
 - Radiation = 283.3 nm et 217 nm
 - Bande passante: 0.7 nm
 - flamme = air acétylène oxydante
 - propriété de la méthode = répétition 0.1 % au voisinage de 10 %
 - Limite de détection = 0.002 % de Plomb
 - Domaine optimal d'utilisation = de 1 à 12.5 % de Pb.
- Pour des teneurs supérieures à 12.5 % , il faut procéder à des dilutions ou tourner le brûleur de 90°.

Pour des teneurs supérieures à 12.5 % , il faut procéder à des dilutions ou tourner le brûleur à 90°.

On peut également utiliser la méthode complexométrique pour le dosage du plomb et du zinc .

Le principe de cette méthode est le suivant:

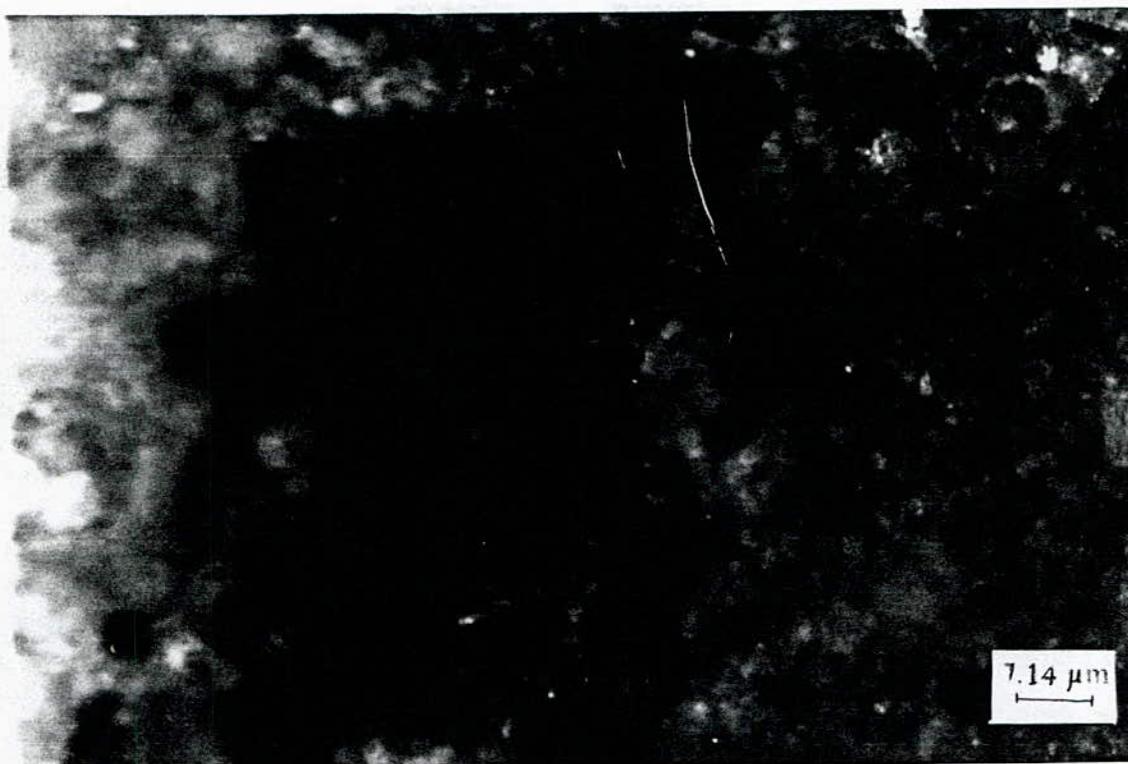
/ Les complexes du Plomb et du Zinc en présence d'orangé de Xylinol ont une couleur violette .

/ Ces complexes sont plus faibles que les complexes du Pb et du Zn avec EDTA

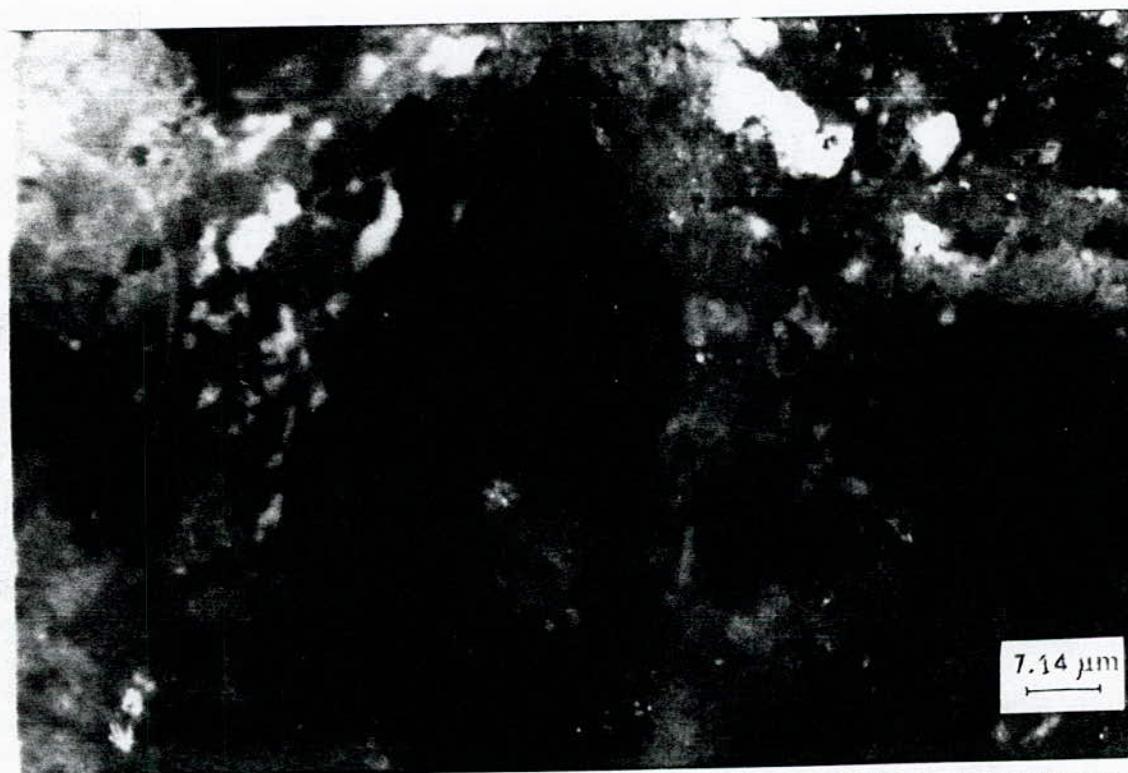
/ En ajoutant l'orangé de Xylinol dans la solution, contenant du Pb ou du Zn , on provoque la formation d'un complexe violet.

/ Au cours de la titration avec la solution d'EDTA , l'orangé de Xylinol est libéré de son complexe et reprend la couleur jaune.

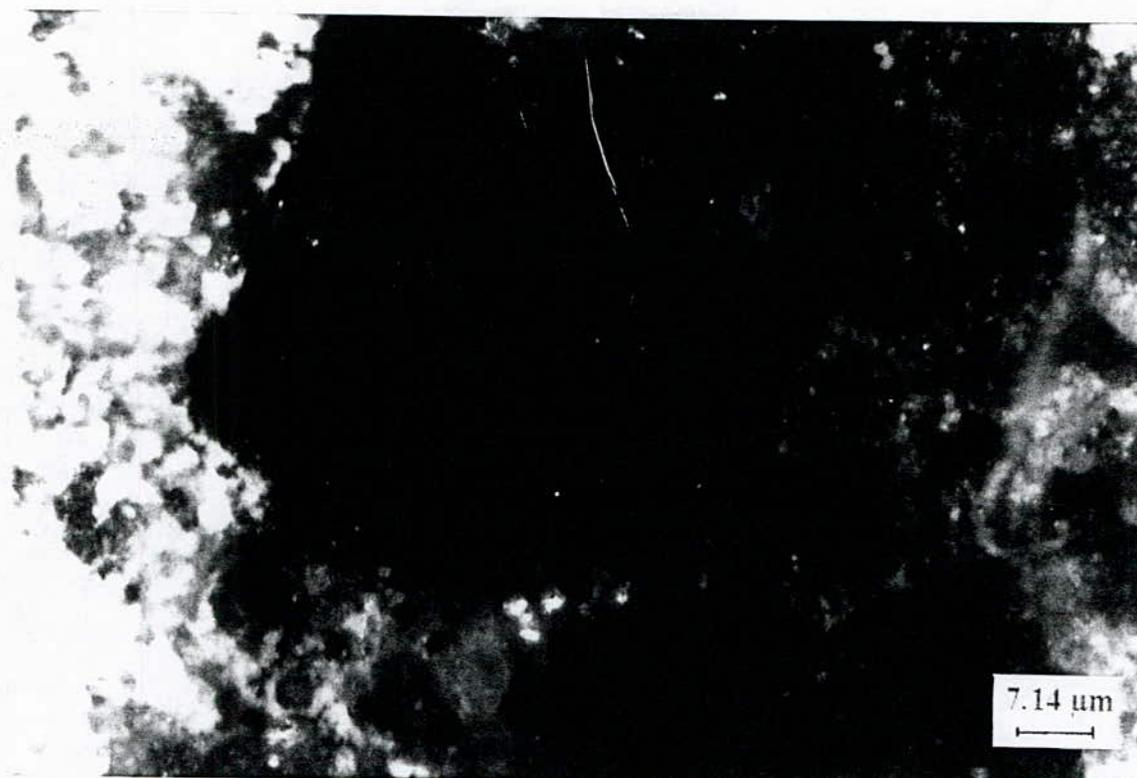
ANNEXE II
Minéralogie-Pétrographie



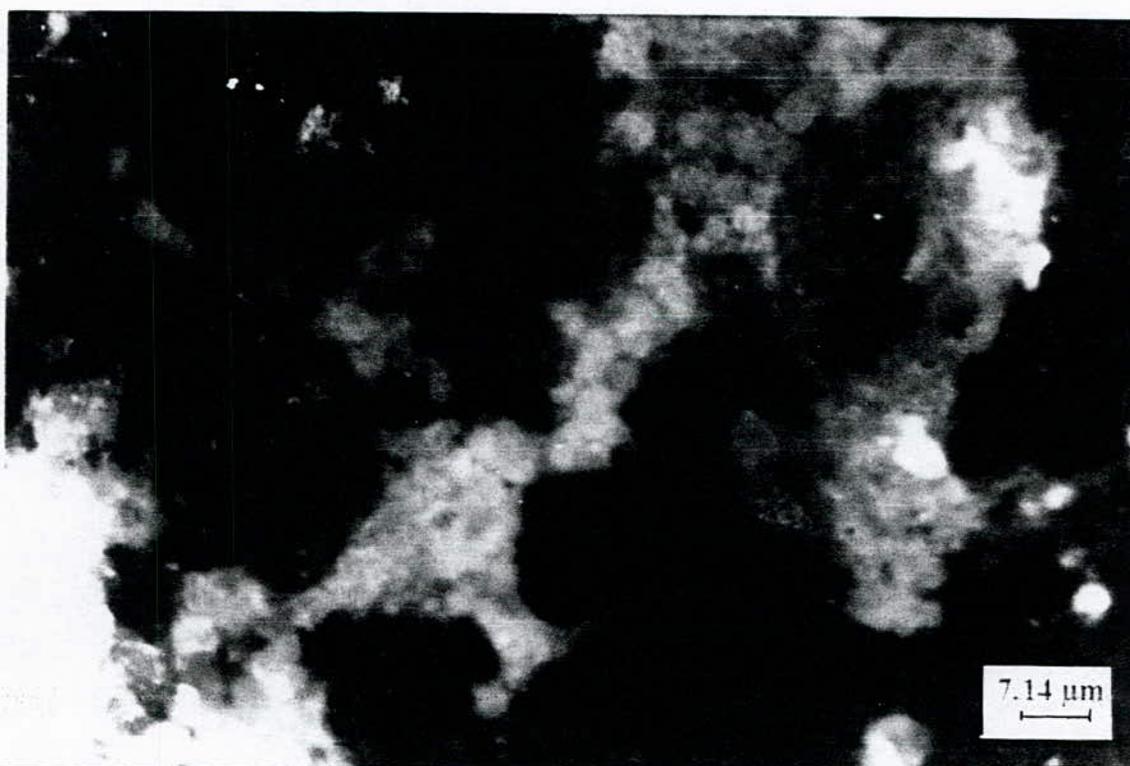
1/ [section polie] - Galène associée à la pyrite
- des cristaux carrés de pyrite et de blende



2 [section polie] Cristaux de blende avec des cristaux striés de pyrite dans une gangue de quartz, kaolin et de carbonates.



3/ [section polie] La pyrite entourée de blende associée à la galène.



4/ [section polie] Blende associée à la galène dans une gangue de: quartz, de kaolin et de carbonates

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Absi. F (1990)- Valorisation des minerais d'or « Hoggar »
« thèse de magister » (ENP). Alger.
- [2] Ainouche. M. A (1990)- Rapport sur la valorisation du minerai Plomb-Zinc de Oued Amizour (ORGM). Boumerdes.
- [3] Amarouche. S (1994)- Flottation de minerais complexes: cas d'un échantillon de Oued Amizour « projet de fin d'étude » (ENP). Alger.
- [4] Blazy. P (1970)- La valorisation des minerais (publi de la PRESSE UNIVERSITAIRE). France.
- [5] Burt. R. O (1984)- Gravité concentration technology (Elsevier) Amsterdam; Oxford; New York; Tokyo.
- [6] Costet. J (1981-1983)-Cours pratique de mécanique des sols (3^{ème} édi Dunod). Paris.
- [7] Delorme. E; l'Huillier. R. T (Octobre 1979)-Enrichissement des minéraux par gravité (rev de l'industrie minérales)
- [8] Felloous. F (1988)- Flottation de minerais complexe: cas d'un échantillon de Cvallo « projet de fin d'étude » (ENP). Alger.
- [9] Hamdadou. E (1987)-Caractérisation rénovée du minerai de Fer Lorrain. Application à une étude comparative des méthodes de valorisation « thèse de Dr. Ing » (INLP). France.
- [10] Saada. A (1993)-Préconcentration physique du minerai complexe de Plomb-Zinc de Chaabet El-Hamra « mémoire de magister » (ENP). Alger.
- [11] Sandier. J (1962)- Mise en valeur des gisements métallifères (edi Masson et C^{ie})
- [12] Touahri. B (1990)-Géologie et métallogénie des minéralisations à Plomb et Zinc du Nord de l'Algérie « thèse d'état » (publi de l'OFFICE NATIONAL DE LA GEOLOGIE)
- [13] Velicov. S; Ainouche. M. A (1988)-Essais de valorisation du minerai: Ain-Kahla (Zn) (ORGM). Boumerdes.
- [14] Zakhvatkine. V; Lapchine. A; Khoutachvili. A (1985)-Minéralogie * concentration par gravité * (Université de Annaba). Annaba.
- [15] Zibouche. M (1985)-contribution à la valorisation du minerai oxydé de Pb-Zn par grillage chlorurant et lixiviation acide « thèse de magister » (USTHB). Alger.
- [16] Zouaoui. A (1990)-Rapport sur la valorisation du minerai Pb-Zn de Oued Amizour (ORGM). Boumerdes.
- [17] Rapport géologique sur Oued Amizour