

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie Minier

Mémoire de Master en Génie Minier

Thème

Essai de Valorisation par Table à Secousse et par
Flottation de Minerai Polymétallique de Chaabet
El-Hamra

Présenté par :

Mr. BANKA Aissa

Devant le jury :

Dr. OULD HAMOU. M	Président
Dr. AKKAL. A	Examineur
Dr. DERAMCHI. K	Promotrice

Promotion juin 2014

DÉDICACES

Plus que jamais je dédie ce modeste travail à mes parents et j'aimerai qu'ils en le témoignage de ma consécration et leur foi en moi.

A

Toute la famille BANKA.

A

Mon Neveu Rassim

A

Mes frères Mohamed, Ahmed, Rachid et Hakim

A

Mes sœurs A, S, R, F.

A

Tous mes amis surtout Tayeb

A

Tout le personnel du département de Génie Minier, Surtout le groupe de 5ième année G. Minier

A

Tous ceux qui me connaissent et je connais.

Aissa

Remerciements

Avant tout, le premier mot qui nous vient à l'esprit est " Dieu merci" le tout puissant de nous avoir donné la force et la foi et d'arriver à ce stade-là,

Au terme de ce travail nous tenions à remercier chaleureusement notre promotrice docteur

***DERAMCHI Karima** qui a assuré la direction scientifique pour la qualité de son encadrement, nous sommes très satisfait et heureux d'avoir travaillé sous votre direction, un grand merci pour les nombreux conseils et disponibilité et son soutien et ces qualités humaines, ainsi sans faille au long de ce travail pour nous avoir toujours fait confiance que vous trouvez ici Madame toute notre reconnaissance et notre gratitude.*

*Nous adressons nos vifs remerciements pour le docteur **OULD HAMOU Malek** pour le grand honneur qu'il nous fait en présidant le jury de notre soutenance ainsi que .on veut exprimer également nos chaleureuses gratitude pour la présence de Monsieur **OULD HAMOU** durant quelques manipulations.*

*Un vif remerciement au docteur **AKKEL Arezki** pour l'honneur qu'il a fait d'avoir accepté de faire partie du jury.*

Nous tenons à remercier tous les enseignants de département de génie minier et de l'école nationale polytechnique.

*On souhaite également témoigner toute notre reconnaissance pour Monsieur **SAADA Abdelhafid** le fondateur de département génie minier et qu'il se repose en paix.*

Un second témoignage et reconnaissance pour la Direction de complexe Kharzet Youcef, nous voulons aussi dire Merci aux ingénieurs de la mine Chaabet El-Hamer pour leurs aides aussi pour leurs soutiens durant notre stage à la mine Chaabet El-Hamera.

Un remerciement pour Ammi SALAH, le père spirituel de tous les polytechniciens qui a toujours appliqué sa tâche avec abnégation.

Un remerciement pour Amine, Amira et Mustapha (ingénieurs et technicien de laboratoire de minéralurgie)

Un grand merci pour les camarades de classe ainsi tous les étudiants de polytechnique pour leurs encouragements.

Et si on a oublié quelqu'un sans faire attention on lui dit merci.

ملخص

يعد معدن الزنك من بين المعادن لاكثر استعمالا في مجال الصناعة على سبيل المثال سبائك تحمي الفولاذ من التآكل, تخزين الطاقة والمخفضات لا نه يتميز بخصائص كهروكيميائية جيدة ودرجة انصهار منخفضة, ولهذا لا يمكن تعويضه باي معدن اخر, وهو ثروة كبيرة بالنسبة للبلدان التي تحتوي على مناجم الزنك .

هدفنا هو رفع جودة سفاليريت منجم شعبة الحمراء, بعد استخراج الزنك الموجود في القشرة, باستعمال طريقة الطفو من اجل رفع جودة المنتج ومن اجل ان يتوافق مع متطلبات السوق.

كلمات مفتاحية :

الزنك – الطفو – منجم الشعبة الحمراء – التقويم – الفصل – الطاولة المتحركة – وسط مكثف

Résumé:

Le métal du zinc est très utilise en industrie comme : un alliage pour la protection de l'acier contre corrosion, stockage d'énergie et réducteur; étant donné qu'il a des bonnes propriétés électrochimiques et température de fusion basse, donc aucun métal ne peut substituer le zinc d'où son importance pour les pays qui possèdent des gisements du zinc.

Notre but est d'enrichir la sphalérite de la mine de CHAABET EL-HAMERA, afin d'extraire le minerais du zinc (blende) dans la gangue, en utilisant la méthode de table à secousse et la méthode de de flottation afin d'augmenter la qualité du produit fini autrement dit la teneur pour qu'il soit conforme aux exigences de marché.

Mots clés : Zinc – Flottation – Mine Chaabet El-Hamra – Valorisation – Séparation Gravimétrique – Table à secousses – Enrichissement – Milieux denses.

Summary:

Zinc metal is used in many industries as: an alloy for steel protection against corrosion, energy storage and it's a reducer, since it has good electrochemical properties, low melting point and no metal can replace zinc whence its importance for countries owning deposit of zinc .

Our goal is to enrich the sphalerite mine Chaabet EL-HAMERA to extract the minerals zinc (sphalerite) in the matrix, using the shaker table and flotation method to increase the quality of the finished product, that is to say, the content to conform to market requirements.

Keywords: Zinc - Flotation - Mine Chaabet El-Hamra - Valuation - Gravimetric Separation - shaker table - Enrichment - Heavy media separation.

Sommaire

Introduction Générale :	1
I: GENERALITES	2
I.1 : Zinc :	2
I.1.1. Utilisation de Zinc et ses alliages :	2
I.1.2. Minéralogie :	2
I.2 : Plomb :	3
I.2.1 : Utilisation du plomb et de ses alliages :	3
I.2.3: Minéralogie :	4
I.3 : Propriétés comparées du plomb et du zinc :	4
II: Généralités sur les méthodes de séparation	5
II.1 : Introduction:	5
II.2 : Procédé de séparation gravimétrique	5
Définitions	5
II.2.1 : Méthodes en milieux denses	6
II.2.2 : Séparation par nappe pelliculaire fluente :	7
II.2.3 : Méthodes par accélération différentielle (jig) :	10
II.3 : Méthode de flottation	11
II.3.1 : Principe et protocole de la flottation :	11
II.3.2 : Les interfaces de la flottation	12
II.3.3 : Paramètres influençant le système solide-liquide-gaz	13
II.3.4 : Réactifs de flottation	13
Les exigences aux réactifs de flottation :	15
II.3.5 : Paramètres influant sur l'opération de flottation	16
II.3.6 : Types de Flottation	16
II.3.7: Appareils de flottation :	17
III. Mine de Chaadet El-Hamra	20
III.1 : Situation géographique :	20
III.2 : Géologie du gisement :	21
III.2.1 : Géologie générale :	22
III.3 : Minéralogie:	22

I.3.1 : Caractéristiques du minerai de sphalérite (blende) :	23
III.4. Description de la laverie de Kherzet Youcef :	25
III.4.1. Section de concassage et criblage :	25
III.4.2. Section broyage :	26
III.4.3. Section flottation :	26
IV : Partie expérimentale	29
IV.1 : Introduction :	29
IV.2 : Préparation mécanique.	30
IV.2.1 : Concassage	30
IV.2.2 : Tamisage	31
IV.3 : Séparation par table à secousse :	31
IV.3.1 : Mode opératoire	31
IV.3.2 : Résultats	32
IV.3.3: Interprétation :	33
IV.4 : Calcul la densité	33
IV.4.1 : Résultats	34
IV.4.2 : Interprétation	35
IV.5 : Flottation :	35
IV.5.1 : Préparation des échantillons:	35
IV.5.2 : Mode opératoire	35
IV.5.3 : Résultats :	39
IV.5.6 : Interprétation :	39
IV.6 : Calcul la densité après flottation :	40
IV.6.1 : Résultats	40
IV.6.2 : Interprétation	40
Conclusion Générale :	41
Annexes	
Bibliographie	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau (I.1) : les principaux minéraux de zinc et leurs caractéristiques.....	3
Tableau (I.2) : Principaux minéraux de plomb et leurs caractéristiques	4
Tableau II-1 : Récapitulatif des appareillages de séparation par nappe pelliculaire fluente...7	
Tableau (II.2) : La description de différentes zones	9
Tableau (IV.1) : Analyse gravimétrique par table à secousse de la tranche granulométrique [-2, 0] mm	32
Tableau (IV.2) : la densité après la séparation par table à secousse.....	34
Tableau (IV.4) : rendement pondérale du concentré récupéré par la flottation	39

LISTE DES FIGURES

Figure (II.1) : schéma de séparation.....	5
Figure (II.2) : Schéma représentatif d'une table à secousses.....	8
Figure (II.3) : Schématisation du principe de classification par NPF.....	9
Figure (II.4): Schématisation de la classification d'un minerai selon sa taille et sa densité...	9
Figure (II.5) : Schéma représentatif de l'action du collecteur.....	14
Figure (II.6) : schéma de cellule de flottation.....	18
Figure (II.7) : schéma de colonne de flottation.....	19
Figure III.1. : Situation géographique de la mine de Chaabet El-Hamra.....	20
Figure III.2 : Coupe hydrogéologique Profil 0 – Profil 15 (D'après ENOF 2003)	21
Figure III.3 Coupe stratigraphique de la région de Chaabet El Hamra.....	22
Figure III.4 : Plan de répartition des réserves pour les deux corps (D'après Evaluation ENOF 1996).	24
Figure III.5 section: Concassage-criblage-broyage.....	27
Figure III.6 Section de la flottation	28
Figure (IV.1) : Schéma global résumant notre travail	29
Figure (IV.2) : Concasseur à mâchoire	30
Figure (IV.3) : Concasseur giratoire	31
Figure (IV.4) : Table à secousses KHD Humboldt Wedag.	32
Figure (IV.5) : Le rendement pondéral de concentré par table à secousse.....	33
Figure (IV.6) : la densité du concentré récupéré par table à secousse	34
Figure (IV.7) : cellule de flottation	36
Figure (IV.8) : les réactifs utilisés dans les essais de flottation	36
Figure (IV.9) : Schéma de flottation	38
Figure (IV.10) : La densité de concentré après flottation.....	40

Introduction Générale :

La table à secousses est un appareil utilisée pour les méthodes basées sur le principe de la nappe pelliculaire fluente. Cette méthode est basée sur la longueur du parcours effectué par une particule sur un plan incliné à la surface duquel s'écoule, par gravité. Les tables comprennent une alimentation et un système de récupération des particules classifiées (compartiments séparés).

La table à secousses est une table autour de l'axe longitudinal, à laquelle on communique un mouvement de secousses périodiques selon le même axe. Cette table est garnie d'obstructions ou de riffles parallèles à sa longueur ; alimentée par un tout venant à un de ses coins, elle fournit un concentré à l'extrémité étroite, opposée à celle de l'alimentation, au bout des riffles, et un rejet à l'extrémité large, également opposée à celle de l'alimentation. Généralement aussi, on alimente de l'eau de lavage perpendiculairement aux riffles.

La formule chimique des minéraux a peu d'importance lors d'une concentration par les méthodes physiques. Les propriétés d'intérêts sont plutôt macroscopiques, telle la masse volumique. En revanche, quand on concentre les minéraux par flottation, la formule chimique revêt une importance majeure, surtout si l'on désire comprendre ce qui se produit réellement.

Le principe de la flottation est basé sur le pouvoir d'un collecteur de rendre hydrophobe une particule de minérale utile en suspension dans une solution aqueuse pour adhérer à une bulle d'air provenant de l'injection d'air dans la pulpe.

L'objectif de notre travail est la récupération d'un concentré par flottation, à partir des résultats des essais effectués sur la table à secousse. Les conditions de travail pour la table à secousse en termes de pente d'écoulement de minerai, et le débit de l'eau correspondant semblent être choisies de manière à avoir les meilleurs concentrés en termes de densité (teneur) pour les essais de flottation.

CHAPITRE I :
GENERALITES SUR Le Pb/Zn

I : GENERALITES

I.1. Zinc :

Il est connu dès le 16^{ème} siècle. Son exploitation industrielle a commencée en 1740 en Angleterre.

Le zinc constitue 0.02 % de la lithosphère. Le minerai principal reste la blende (ZnS) bien qu'il existe des traces de zinc natif en Australie.

Les pays producteurs de premier plan de ce minerai sont le Canada avec 25 % de la production mondiale. Les USA et le Mexique. Hors de l'Amérique du Nord, les deux autres grands producteurs sont l'URSS et l'Australie, avec un dixième de la production mondiale chacun.

I.1.2. Utilisation de Zinc et ses alliages :

Le zinc est un métal assez mou. Ses propriétés mécaniques sont fortement influencées par des impuretés. Les applications du métal de Zinc se divisent en quatre groupes principaux :

- Protection des aciers
- Fonderie
- Obtention d'alliages cuivreux
- Usage du zinc laminé

La protection anticorrosion des aciers est la principale utilisation du zinc, avec 40 % de la production mondiale. Le zinc laminé est utilisé pour la couverture des bâtiments et ses accessoires. Cet emploi est fondé sur deux propriétés : la facilité du travail du zinc laminé et sa très bonne résistance à la corrosion.

Les alliages de zinc sont surtout employés en fonderie, les plus connus sont du type « zamak » qui contient 4 % d'aluminium, 1 % de cuivre et 0.04 % de magnésium. Ces alliages sont caractérisés par un point de fusion relativement bas 380° C et une agressivité faible vis à vis de l'acier, ce qui permet d'obtenir de 200 000 à 400 000 pièces avec le même moule.

Le zinc est également employé dans l'industrie de plastique, du caoutchouc, de la peinture. Même en agriculture il est inclus dans certaines compositions d'engrais.

I.1.3. Minéralogie :

Le minerai principal est la blende (ZnS). On connaît aussi à l'état naturel la calamine (ZnCO₃), des silicates, l'oxygène mais rarement. Les principaux minéraux du zinc et leurs caractéristiques sont portés dans le tableau (I) :

Minéral	Formule	Teneur en Zn %	Densité en Kg/m ³
Blende (sphalérite)	ZnS	67.1	3900- 4200
Smithsonite	ZnCO ₃	59.5	3580-3800
Calamine	Zn ₄ Si ₂ O ₇ (OH)H ₂ O	54.2	3400-3500
hydrozyncate	Zn ₅ CO ₃ OH ₆	59.5	3580-3800

Tableau (I.1) : les principaux minéraux de zinc et leurs caractéristiques

I.2. Plomb :

L'emploi du plomb est nettement plus ancien que celui du zinc. Il remonte à plusieurs millénaires, comme en témoignent les objets qui sont parvenus jusqu'à nous, en raison de l'insensibilité à la corrosion.

Le plomb constitué 0.014 % de la lithosphère, il existe surtout à l'état des sulfures, la galène (PbS).

Le plomb est assez répandu dans le monde et son extraction est géographiquement très dispersée. Elle compte un groupe de quatre grands producteurs, que sont le Canada, les Etats Unis, la Russie et l'Australie et une quinzaine de producteurs moyens dont le Mexique, la Chine et le Maroc.

I.2.1. Utilisation du plomb et de ses alliages :

C'est un métal dense et mou. Il se laisse facilement façonner en feuille, en tube et en fil. Le plomb pur ou faiblement allié est utilisé principalement pour ses propriétés qui sont :

- La tenue à la corrosion
- La résistance à l'attaque de certains produits chimiques.
- La grande plasticité
- L'absorption des rayons X ou γ .

Son emploi le plus commun est la construction des plaques d'accumulateurs. On le trouve aussi sous forme de revêtements de tôles, de tubes ou de fils pour les protéger contre la corrosion. Il sert comme élément de couverture, pour les appareils chaudronnés de l'industrie chimique. Il est aussi utilisé pour la radiographie. Les propriétés du plomb sont modifiées par divers éléments dans les alliages, dans le but soit d'augmenter sa dureté, soit d'abaisser sa température de fusion.

- Un ajout d'arsénique, d'étain ou d'antimoine durcit le métal et permet son utilisation comme plomb de chasse ou dans l'imprimerie.
- Un ajout d'étain sert à abaisser sa température de fusion et son utilisation comme baguettes de soudure.

Son emploi très vaste touche la fabrication des peintures, des carburants et celle des cristaux.

I.2.2. Minéralogie :

Dans la majorité des cas, les gisements plombifères sont complexes, et les minerais sont associés à des minéraux tels que la blende (sulfure de zinc ZnS), la pyrite (sulfure de fer FeS), etc. Les gisements plombifères contiennent souvent des métaux précieux, comme l'argent.

La galène, sulfure de plomb (PbS), et la cérusite, carbonate de plomb (PbCO₃), sont les deux minerais exploités.

Les caractéristiques des principaux minerais de plomb sont portées dans le tableau (II) :

Minéral	Formule	Teneur en Pb %	Densité en Kg / m ³
Galène	PbS	86.6	7400-7600
Cérusite	PbCO ₃	77.5	6400-6600
Anglesite	PbSO ₄	68.3	6100-6400
Voulphérite	PbMgO ₄	55.8	6300-7000

Tableau (I.2) : Principaux minéraux de plomb et leurs caractéristiques

I.3. Propriétés comparées du plomb et du zinc :

Propriétés	Plomb	Zinc
Aspect	Gris bleuté	Blanc
Structure cristalline	Cubique à faces centrées	Hexagonal compact
Masse atomique	207.2	65.38
Nombre atomique	82	30
Température de fusion (°C)	327.42	419.5
Température d'ébullition (°C)	1740 ±10	907
Masse volumique à 20 °C (Kg/m ³)	11350	7330

CHAPITRE II :
GENERALITES SUR LES METHOTES
DE SEPARATION

II : Généralités sur les méthodes de séparation

II.1 : Introduction:

Le minerai brut (ou tout-venant) extrait de la mine subit plusieurs processus de préparation mécanique (concassage, broyage, etc.) et de concentration (ou enrichissement) pour produire un concentré de valeur économique. L'enrichissement du tout-venant, réalisé dans une usine de traitement (concentrateur), a pour but d'augmenter la teneur en minéral de valeur et d'éliminer la gangue (minéraux sans valeur économique pour l'exploitation). La figure 2.1 illustre les deux principaux flux résultant de la séparation minéralurgique d'un minerai brut.

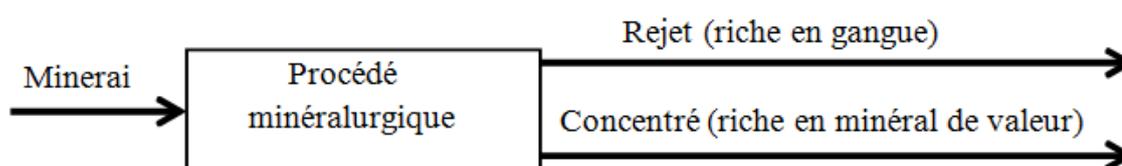


Figure (II.1) : schéma de séparation

Il existe plusieurs procédés minéralurgiques permettant de séparer le minéral de valeur de la gangue. Ces procédés utilisent les propriétés mécaniques, électromagnétiques, physico-chimiques ou chimiques de ces minéraux. Il s'agit des procédés de séparation magnétique, électrostatique (voir l'annexe), gravimétrique, classification et flottation. Seules les méthodes de séparation basées sur la masse volumique et la taille des grains de minéraux (séparation gravimétrique) et flottation seront décrits dans les sections qui suivent.

Les phénomènes qui gouvernent la séparation par concentration gravimétrique sont les mêmes que ceux qui gouvernent la classification (sédimentation) de telle sorte que, sous certaines conditions, des équipements de classification peuvent être utilisés comme concentrateurs basés sur la masse volumique des minéraux ou basés sur la taille des particules. Le séparateur hydraulique appartient à la classe des séparateurs par milieu dense et peut également être utilisé comme classificateur hydraulique.

II.2 : Procédé de séparation gravimétrique

- **Définitions:**

Les méthodes de séparation gravimétrique sont parmi les plus anciennes et les plus utilisées encore de nos jours car leurs fonctionnements est simple ainsi que la capacité élevée pour des particules assez grosses et les coûts de fonctionnement moindres par rapport aux autres méthodes. Les méthodes de concentration par séparation gravimétrique exploitent le gradient de densité entre les matériaux pour les séparer grâce à l'action combinée des forces en présence dans les équipements (la force de gravité, la force centrifuge, la force centripète, la poussée d'Archimède et la force de traînée).

pour les avantages de cette méthode est que les facteurs d'application de ces méthodes que les minerais soient de teneur élevée, que la libération se fasse par détachement ou pour le moins à

une maille grossière, que les concentrateurs soient éloignés des grands centres, que les technologies plus poussées soient inexistantes sur le site, ou enfin que les méthodes servent à la pré concentration ou au triage.

Cependant, les conditions suivantes font en sorte qu'on ne peut appliquer la concentration gravimétrique : lorsque on a une faible teneur ou des grains de minéraux trop petits, une libération du minerai par fractionnement, lorsqu'un rendement métal élevé est nécessaire, lorsque les minerais sont polymétalliques avec des minéraux de masse volumiques semblables comme le cas de la chromite et la pyrite.

Diverses formations naturelles sont le résultat de processus de séparation, notamment les placers, où l'action des cours d'eau de surface est intervenue pour concentrer les particules minérales lourdes en les séparant des particules plus légères. Les procédés gravimétriques agissent suivant le même principe. La séparation s'opère par le mouvement des particules soumises à la fois à l'action de la pesanteur et à la résistance du liquide dans lequel elles sont en suspension. Au fil des ans, toutes sortes de séparateurs gravimétriques ont vu le jour; le fait qu'on y recourt encore aujourd'hui tient au faible prix de revient de la méthode.

Les méthodes de séparation gravimétriques peuvent être classées en quatre grandes catégories selon le principe de séparation qui est mis en jeu : séparation par milieu dense, séparation par nappe pelliculaire fluente, séparation par accélération différentielle (jig) et séparation par centrifugation.

Les méthodes de séparation gravimétrique représentent la procédure de concentration de minerais la plus ancienne. Ces méthodes de séparation sont utilisées pour une grande variété de matériaux, allant des sulfures lourds (galène) jusqu'au charbon. Suite au développement de la flottation, ces méthodes ont perdu en popularité. Elles demeurent cependant les méthodes par excellence dans la concentration des minéraux de fer ou d'étain et, des oxydes de titane et certains sables de zircon.

II.2.1 : Méthodes en milieux denses

La séparation par milieu dense est basée uniquement sur la différence de densité des minéraux. Elle consiste à placer le minerai dans un milieu liquide de densité intermédiaire (pulpe) entre celles des deux parties à séparer, c'est la force gravitationnelle qui fait la séparation des particules en deux produits (le flottant et le plongeant) si sa masse volumique est inférieure à celle du milieu, la particule monte à la surface de celui-ci, c'est-à-dire qu'elle flotte et fait partie du produit appelé flottant. Si contraire sa masse volumique est supérieure à celle du milieu, la particule descend jusqu'au fond de celui-ci, c'est-à-dire qu'elle plonge et fait partie du produit appelé plongeant. Ce procédé est parfois employé en pré-concentration des minerais avant le broyage final et intervient fréquemment dans le lavage du charbon.

II.2.2 : Séparation par nappe pelliculaire fluente :

- **Généralités et principe**

La séparation par nappe pelliculaire fluente est une technique de concentration gravimétrique basée sur le comportement des particules sur un plan, sous l'effet d'un film fluide, et leur classification selon leur taille et densité.

D'après les caractéristiques du plan (fixe ou mobile, incliné ou horizontal) et le mode de soutirage (continu, périodique), on distingue plusieurs procédés, que l'on a regroupés dans le tableau ci-dessous :

Plan incliné	Soutirage
Fixe	Périodique : sluice
	Continu : pinchedsluice, cône Reichert et spirales
Mobile	Périodique : séparateur Bartles-Mozley, tables GEC
	Continu : table à secousses, concentrateur Crossbelt et séparateur multi gravité

Tableau 0-1 : Récapitulatif des appareillages de séparation par nappe pelliculaire fluente

Table à secousses

Les tables de secousses (**Figure (II.2)**) sont parmi des principaux appareillages utilisés pour la séparation gravimétrique, et plus précisément pour la séparation par nappe pelliculaire fluente, avec soutirage continu, sont utilisés pour traiter des matériaux plus fins que les bacs à pistonage ne réussissent pas à séparer. Cette méthode est basée sur la longueur du parcours effectué par une particule sur un plan incliné à la surface duquel s'écoule, par gravité,

Les tables comprennent une alimentation et un système de récupération des particules classifiées (compartiments séparés). Elles sont constituées d'une surface plane légèrement inclinée dans les sens longitudinal et transversal. Des raffles parallèles en bois sont fixés en travers de la table. Le matériau à séparer est introduit au sommet de l'appareil, et les particules sont entraînées par un courant d'eau. La table est animée d'un mouvement cyclique asymétrique dans le plan horizontal. Les particules plus denses sont retenues par les redans des raffles, où elles cheminent sous l'impulsion des secousses de la table.

La table à secousses est une table autour de l'axe longitudinal, à laquelle on communique un mouvement de secousses périodiques selon le même axe. Cette table est équipée de riffles parallèles à sa longueur et alimentée de l'eau de lavage perpendiculairement aux riffles alimentée par une pulpe à un de ses coins, elle fournit un concentré à l'extrémité étroite, opposée à celle de l'alimentation, au bout des riffles, et un rejet à l'extrémité large, également opposée à celle de l'alimentation.

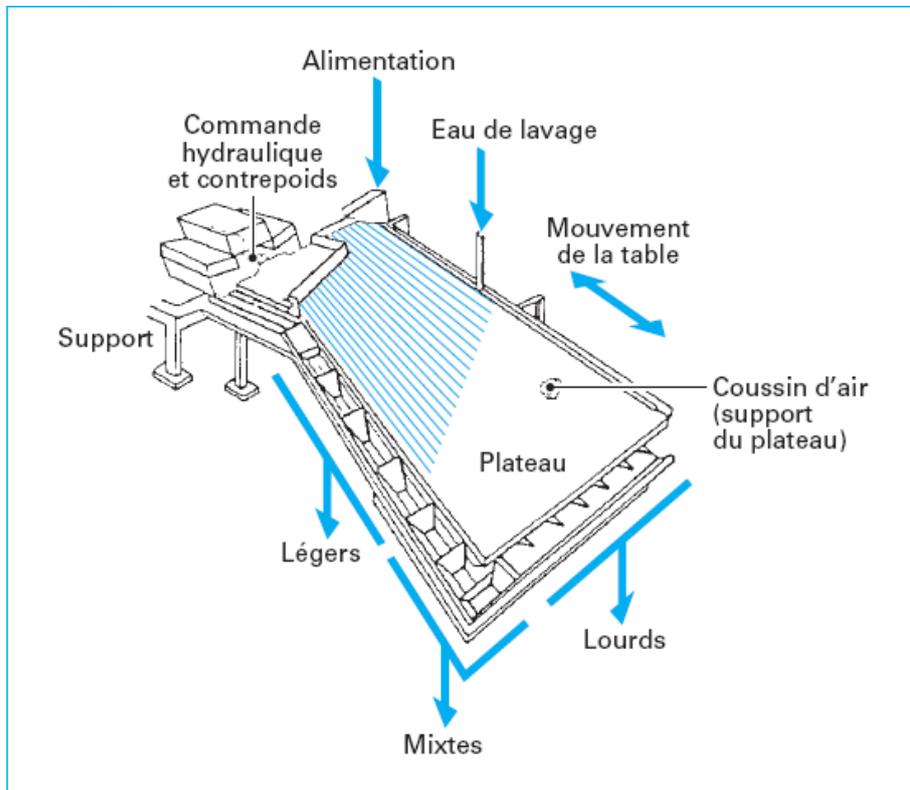


Figure (II.2) :Schéma représentatif d'une table à secousses.

- **Fonctionnement**

La trajectoire d'une particule évoluant sur un plan incliné sur lequel s'écoule un film liquide est liée à:

- L'alluvionnement, qui est la sédimentation des grains lourds et gros piégés dans les riffles, et l'entraînement des légers et fins par le courant.
- La saltation, qui est le mouvement des grains piégés contre le support, dépendant moins de la vitesse d'entraînement que de la masse volumique des grains ; les grains ayant une masse volumique plus importante se déposent en premier.

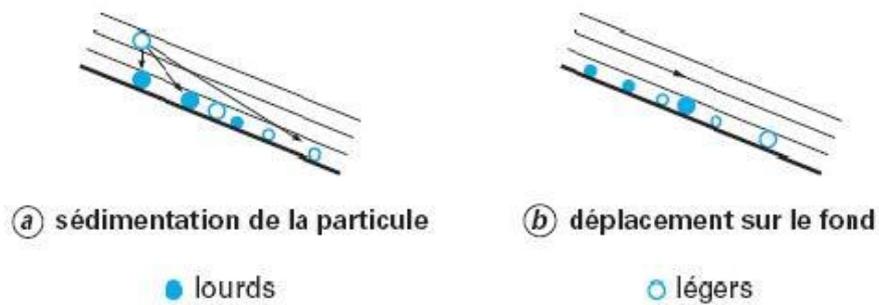


Figure (II.3) : Schématisation du principe de classification par NPF

De plus, le plan incliné est sujet à des secousses asymétriques et longitudinales : l’amplitude de l’aller est moins importante que celle du retour. Ce type de secousses améliore la classification, et permet aux grains similaires de se placer au même niveau et d’être récupérés par la même évacuation vers différentes zones de récupérations, ces zones décrites dans le tableau ci-dessous

Nom de la zone	Description
Zone lourds	c’est la zone des concentrés où se trouvent les particules fines et denses.
Zone mixtes	c’est la zone qui appartient encore à la zone des concentrés ; on y trouve des particules denses et grossières avec quelques particules mixtes.
Zone légers	c’est la zone des particules mixtes mélangées à quelques particules légères.

Tableau (0.2) : La description de différentes zones

Le minerai est ainsi classé selon sa taille et sa densité, ainsi que la montre la Figure (III.4):

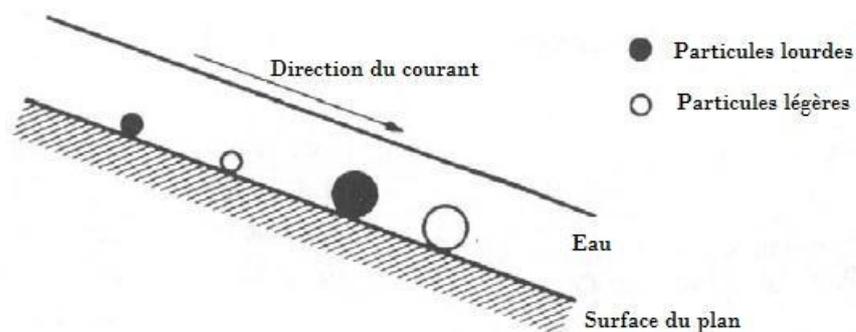


Figure (III.4): Schématisation de la classification d’un minerai selon sa taille et sa densité

Le rifflage joue un rôle primordiale, dont le rôle est de stratifier les grains grâce à l'action de secousse qui va engendrer la descente des grains denses jusqu'à la surface de la table. L'eau de lavage a pour rôle d'évacuer les minerais stratifiés vers les différentes zones. Cependant les secousses ont un double rôle, dont elles permettent d'une part, la stratification et l'évacuation des particules stratifiées entre les riffles.

Dès que celles-ci sortent des riffles, elles sont soumises à l'effet de la nappe pelliculaire fluente et à l'effet des secousses dont la résultante provoque du triage par taille et par densité.

- **Applications**

Les tables de secousses servent souvent pour la séparation des minerais de: charbon, oxydes de fer, chrome, manganèse, et d'étain ainsi que pour d'autres minerais comportant les minéraux lourds de valeur comme : le zircon, le wolframite, la monazite ainsi que pour les micas. Par ailleurs, on les utilise pour récupérer des alliages ou des métaux, tels le laiton, l'acier, l'or et l'argent.

II.2.3 : Méthodes par accélération différentielle (jig) :

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 soumet les particules à des courants ascendants et descendants, assurés par la pulsation du fluide à l'aide d'un mécanisme de piston (jig à piston) ou) ou par le mouvement alternatif d'un crible dans un fluide (jig à crible mobile). La séparation des grains lourds et légers s'obtient en trois phases par l'action combinée des courants ascendants et descendants :

- l'accélération différentielle : dans cette phase, les grains acquièrent une accélération ne dépendant que de leurs densités, à condition que le temps de chute soit très bref. En conséquence, un mélange binaire de particules lourdes et légères se comporte de telle sorte que les distances parcourues par les particules sont fonction de leurs accélérations initiales, et partant de leur densité et donc possible d'obtenir théoriquement une stratification des particules lourdes et des particules légères.
- Les jigs sont des appareils très anciens, spécialement utiles pour effectuer du triage, donc idéal pour les particules assez grosses. Ils servent aussi pour effectuer l'écumage comme dans le cas des minerais d'or.
- sédimentation gênée : le courant ascendant de liquide permet de réaliser un rapport de sédimentation élevé et d'augmenter le critère de TAGGART (voir l'annexe). Le rôle

principal du courant ascendant est d'écarter au maximum les particules, les unes des autres.

- tassement : lorsque les particules sont soumises à un courant descendant, les particules subissent un phénomène de succion et elles se resserrent.

➤ **Classification des équipements de séparation gravimétrique**

Les équipements de séparation gravimétrique sont classés selon le mécanisme de séparation employé par ces équipements :

- a) par milieu dense (appareils statiques : séparateur conique Wemco, Bac Static PIC-FCB ; appareils dynamiques : cyclone DSM, DYNA-Whirpool, Tri-flo, cyclones à eau),
- b) par accélération différentielle (ex : séparateur Jig)
- c) par nappe pelliculaire fluente (à plan incliné fixe : spirales, sluice, pinchedsluice, cône Reichert ; à plan incliné mobile : table à secousses, table GEC, séparateur multigravité, séparateur Bartles-Mozzley)
- d) par centrifugation (ex : ConcentrateursKnelson) [6].

II.3 : Méthode de flottation

• **Définition de la flottation :**

La flottation est un procédé de traitement physico-chimique basé sur les propriétés superficielles des particules minérales, selon qu'elles soient en contact avec de l'air ou de l'eau. Dans cette optique, on met en suspension dans de l'eau les particules de minerai finement broyées, puis on conditionne le mélange minerai/eau (ou pulpe) avec un réactif chimique appelé collecteur, dont le rôle est de rendre hydrophobe la surface de la substance à flotter, afin que celle-ci soit plus encline à adhérer aux bulles d'air qu'aux particules d'eau. La pulpe est alors introduite dans un appareil muni d'un agitateur et d'une arrivée d'air. Les bulles d'air injectées vont se fixer sur les particules devenues hydrophobes, et ainsi les faire remonter à la surface la pulpe. Il suffira par la suite de recueillir la mousse résultante ; le concentré minéral est obtenu par simple lavage suivi d'un séchage. La qualité de la mousse (stabilité, solidité, taille des bulles) est assurée par l'ajout d'un réactif appelé moussant.

II.3.1 : Principe et protocole de la flottation :

Le principe de la flottation peut être décrit de la manière suivante :

Les particules solides que l'on désire séparer, et qui doivent être idéalement constituées d'une seule phase, sont mises en suspension dans l'eau, et le système est appelé pulpe. On traite tout d'abord cette pulpe avec certains réactifs chimiques, dont le rôle est de rendre hydrophobe la surface de certains solides, de manière à ce qu'elle ait une plus grande affinité pour l'air que

pour l'eau. Parmi les réactifs qui sont utilisés, un ou plusieurs sont appelés collecteurs, plus généralement, surfactants et ont pour fonction de modifier l'hydrophobicité à la surface des particules. A la fin de la phase de conditionnement, la surface des particules constituées de la phase solides que l'on désire séparer est seule devenue hydrophobe, ce qui permet de réaliser une flottation différentielle. La pulpe ainsi conditionnée est alors introduite dans des cellules de flottation, c'est-à-dire des réacteurs munis d'agitateurs, de diaphragme, ou d'électrodes qui dispersent ou engendrent des bulles d'air dans la suspension. Les bulles d'air vont se fixer sur les particules dont la surface est hydrophobe. Sous l'action de la poussée d'Archimède résultante, l'ensemble particule + bulle flotte à la surface de la cellule dans une écume (mousse) dynamiquement stable, formée un agent moussant.

La flottation peut être décomposée en un certain nombre d'opération élémentaires :

- La mise en suspension des particules solides, idéalement constituées d'une seule phase (libérées), qui doivent être séparées;
- Le traitement de la pulpe avec certains réactifs (conditionnement) pour rendre hydrophobe la surface de certaines particules;
- L'introduction de la pulpe dans les cellules de flottation, appareils munis d'un système d'injection de bulles d'air et fournissant l'agitation nécessaire à la suspension du solide;
- L'attachement des bulles d'air (dont la dimension est contrôlée par leur mode d'introduction, l'agitation et la présence d'agents surfactants à l'interface liquide) aux surfaces hydrophobes;
- La montée en surface due à la poussée d'Archimède des ensembles (agrégats) particule-bulle;
- L'établissement (dépendant de la quantité et du type de moussant utilisé) dans la partie supérieure de la cellule d'une phase écume stable dans laquelle vont se rassembler les particules qui flottent;
- L'enlèvement (raclage) de l'écume enrichie en phase solide à séparer pour former le concentré;
- L'enlèvement de la pulpe restant dans la cellule (résidu ou rejet).

Comme norme générale, c'est le minéral de valeur qui est flotté, laissant la gangue dans la pulpe à rejeter. Cette procédure s'appelle flottation directe, par opposition à la flottation inverse où la gangue est éliminée dans la fraction flottée.

II.3.2 : Les interfaces de la flottation

- **L'interface solide-liquide**

L'interface solide-liquide est l'interface la plus importante en flottation. Elle est caractérisée à la fois par des phénomènes électriques et par des phénomènes d'adsorption. Le phénomène probablement le plus important qui se produit à l'interface solide-liquide est celui de l'adsorption. Ce phénomène est à l'origine des mécanismes par lesquels tous les réactifs chimiques sélectifs se produisent sur les surfaces en flottation, lorsque agissent les collecteurs, les activant et les déprimants.

- **L'interface liquide-gaz**

En flottation, l'interface liquide-gaz met en relation la solution aqueuse avec les bulles d'air utilisées pour entrainer les particules hydrophobes au concentré. Les propriétés de cette interface sont influencées majoritairement par un composé appelé moussant. L'ajout de ce dernier à l'eau fait baisser sa tension inter faciale liquide-gaz et donc abaisser l'énergie potentielle d'une bulle d'air dans l'eau. En conclusion, la bulle d'air se sent nettement plus à l'aise dans la phase aqueuse.

- **Système solide-liquide-gaz**

Les interfaces telles qu'elles ont été décrites n'existent pas en soi, mais plutôt en relation étroite l'une avec l'autre. Les propriétés du système délimité par les trois phases de l'eau, la particule minérale et la bulle d'air, soit l'angle de contact et l'adhésion, sont très importantes en flottation ; en fait, le comportement de ce système permet de déterminer la flottabilité d'une espèce minérale.

II.3.3: Paramètres influençant le système solide-liquide-gaz

- ✓ **Angle de contact**

L'angle de contact est l'angle mesuré dans la phase aqueuse entre l'interface solide-liquide et l'interface liquide-gaz.

On comprend que l'expression angle de contact est bien choisie puisqu'elle désigne à quel point un contact donné est réussi entre une bulle d'air et un minéral. Ainsi, un angle de contact nul ou très petit caractérise un minéral non hydrophobe mais hydrophile. On dit alors que la solution mouille le solide. Un angle de contact élevé, par contre, signifie qu'une particule est hydrophobe, donc qu'elle est apte à être attachée solidement à la bulle d'air, donc flottable.

- ✓ **Adhésion**

L'adhésion est un état stable d'attachement découlant d'un contact, d'une collision entre une bulle d'air et une particule. Cet état stable est caractérisé par un angle de contact favorable ($>80^\circ$ généralement).

Enfaite, il faut noter que le comportement de l'interface solide-liquide est conditionné, en flottation, par l'action des collecteurs, des activants et des déprimants. Quant aux caractéristiques de l'interface liquide-gaz, elles dépendent principalement de l'action du moussant. Par ailleurs, ce sont presque tous les réactifs qui caractérisent l'interface solide-gaz.

II.3.4 : Réactifs de flottation

Collecteur

C'est un réactif qui agit sur la surface des minéraux à valoriser afin d'augmenter son hydrophobicité, et ainsi faciliter la fixation des bulles d'airs dessus. Le collecteur est un composé chimique organique hétéropolaire, possédant un pôle chargé et une chaîne

carbonée neutre. Le mécanisme d'action du collecteur est le suivant : la tête polaire va se fixer sur la surface de la particule dont la charge a été acquise lors du broyage, et la chaîne organique va, par adsorption, rendre la surface de la particule hydrophobe. Ce mécanisme est schématisé sur la figure 2.8.

Les collecteurs sont divisés en deux groupes :

- **Ioniques** : Se partageant eux-mêmes en collecteurs anioniques (comme les Xanthates, Aerofloats...), cationiques (Amines, Aeropromoters...) et amphotères (Amines acides...)
- **Non-ioniques** : Ils sont utilisés pour les minéraux possédant une flottabilité naturelle, dans le but d'optimiser leur récupération ; ce sont généralement des hydrocarbures.

Le collecteur est donc l'un des principaux réactifs entrant en jeu lors de la flottation. Son interaction avec les particules minérales fera que les bulles d'air auront plus de facilité à se fixer sur le minéral à flotter, et le faire ainsi remonter à la surface plus aisément.

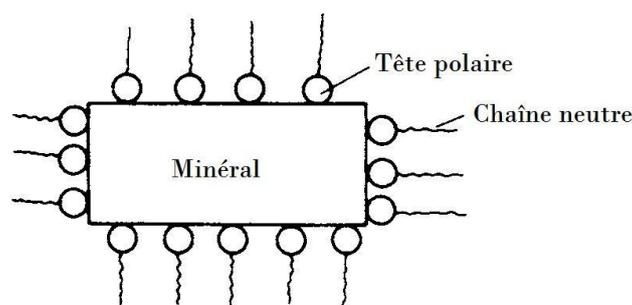


Figure (II.5) : Schéma représentatif de l'action du collecteur

Activant

Un activant est un réactif qui altère la nature chimique de la surface des particules minérales pour la rendre hydrophobe suite à l'action du collecteur. Il contribue donc à une meilleure fixation du collecteur sur les surfaces minérales.

Généralement, les activateurs sont des sels solubles qui s'ionisent en solution. Les ions réagissent alors avec les surfaces minérales pour former de nouveaux composés, peu solubles, qui se déposent de nouveau sur ces surfaces et forment avec le collecteur un film hydrophobe qui permettra la récupération des minéraux voulus.

Déprimant

Dans certains cas, il arrive qu'un collecteur agisse sur toute une famille de minéraux en présence dans un même minerai. Lorsqu'on veut procéder à une flottation sélective sur un tel type de minerai, on utilise alors un déprimant.

Le rôle du déprimant est d'annuler l'effet du collecteur sur certaines surfaces minérales précises, et ainsi de faire plonger les minéraux que l'on ne veut pas flotter, en évitant par-là leur piégeage dans le produit de mousse. Le mécanisme d'action est donc de développer la charge superficielle d'une espèce minérale en particulier, et ainsi d'augmenter ses propriétés hydrophiles, ce qui conduit inmanquablement à la faire plonger au fond de la cellule.

Les déprimants peuvent être inorganiques ou polymères, quoique la plupart de ceux actuellement utilisés soient inorganiques.

Moussant

Le moussant est un surfactant permettant l'obtention d'une mousse stable, solide, mais aussi facilement abattable à son extraction. Il favorise la fixation et la minéralisation des bulles d'air sur la surface de la cellule, évitant ainsi qu'elles n'éclatent et que les particules minérales qui y sont collées ne retombent en fond de cellule.

Le moussant possède trois fonctions principales :

- Créer des interfaces liquide-gaz importantes en réduisant la taille des bulles et régularisant leur forme ; plus sphériques et plus petites, les bulles remontent plus facilement et plus lentement à la surface, et leur finesse augmente la surface de l'interface liquide-gaz.
- Faciliter la fixation des particules sur les bulles d'air par coadsorption avec le collecteur.
- Stabiliser la mousse à la surface de la cellule, ce qui permet une meilleure récupération du minerai à flotter, tout en évitant de le mélanger avec les autres minéraux en présence dans la pulpe.

Même si quelques substances inorganiques peuvent donner de bonnes mousses, les moussants les plus efficaces restent organiques. Quoiqu'il en soit, l'une des principales exigences sur ces réactifs est qu'ils doivent avoir une très faible capacité collectrice, pour conserver toute la sélectivité de la flottation et éviter de perturber son rendement.

Régulateur de milieu

Un régulateur est un réactif déterminant le degré d'acidité ou d'alcalinité de la pulpe. Il s'agit d'acides ou de bases, utilisés pour régler le pH du milieu qui, comme indiqué précédemment, possède une grande influence sur le rendement d'une opération de flottation.

Pour certains types de minerais, on constatera ainsi qu'un même collecteur peut agir différemment sur une famille de minéraux à pH acide, et sur une autre à pH basique.

Les exigences aux réactifs de flottation :

Les réactifs de flottation doivent être :

- Bon marché c'est à dire pas chers ;
- Etre stable lors du stockage ;
- Etre solubles dans l'eau ;
- Ne pas être toxiques ;
- L'action des réactifs de flottation doit être sélective ;
- La qualité des réactifs de flottation doit être standardisée .

II.3.5: Paramètres influant sur l'opération de flottation

1. Influence du broyage

La préparation mécanique d'un minerai avant sa flottation revêt une importance considérable, car le degré ainsi que le mode de broyage ont une influence directe sur le rendement de l'opération. En effet, il faut en premier lieu que la maille de libération du minéral à extraire soit atteinte, de façon à obtenir une récupération optimale du minéral avec un minimum de gangue. Par ailleurs, il est absolument nécessaire d'éviter le surbroyage du minerai qui aurait pour effet de créer un phénomène d'adagulation, ou slimecoating (littéralement : recouvrement par les ultrafines) ; les ultrafines, ou schlamms, recouvrent les particules minérales, gênant ainsi la fixation du collecteur et diminuant le rendement de l'opération.

2. Influence du pH

De même que pour le broyage, le pH possède une influence certaine et non-négligeable sur le rendement d'une opération de flottation. De fait, le pH du milieu agit directement sur le potentiel surfacique des particules. Ainsi, on définit le Point de Charge Nulle (PCN ou PZC, Point of Zero Charge), pour lequel le potentiel zêta d'une particule minérale est nul, et qui est atteint à un pH déterminé. On comprendra aisément l'intérêt présenté par le PCN lors de la flottation, car il facilite l'action du collecteur, ce qui conduit à une réduction de sa consommation ; dans certains cas, on peut même se passer de l'utilisation du collecteur.

3. Influence de la température

Il est difficile de déterminer l'influence de la température sur un procédé de flottation. D'après Jdid et Blazy, elle peut affecter les interactions ion à flotter-collecteur, ou alors la stabilité du collecteur utilisé. Dans les deux cas, son action peut être bénéfique ou non, mais elle reste peu aisée à prévoir.

II.3.6: Types de Flottation

Selon les besoins de l'industrie concernée et l'intérêt économique pour telle ou telle substance minérale, on définira deux types de flottation : directe et inverse. Celles-ci se distinguent l'une de l'autre par le procédé selon lequel on cherche à récupérer les minéraux à concentrer. Ces derniers doivent donc être préalablement définis. Par souci de clarté, on appellera par la suite substance utile le produit à concentrer, et gangue le reste.

Flottation Directe

Lors de ce procédé, on cherche à extraire prioritairement la substance utile comme produit de mousse et on laisse la gangue plonger en produit de cellule. On effectuera donc une flottation directe du minéral utile. Cette flottation est généralement utilisée pour récupérer des petites quantités valorisables présentes dans une gangue importante, ou purifier le produit de cellule des impuretés qui y sont présentes.

Flottation Inverse

En revanche, ce procédé consiste à faire flotter la gangue, en laissant la substance utile en produit de cellule. Dépendamment des quantités à récupérer et des réactifs nécessaires, il peut parfois être plus intéressant d'effectuer une flottation inverse de la substance utile, notamment lorsque la flottation sélective de certains minéraux s'avère difficile à effectuer car demandant des conditions particulières qu'il est ardu d'obtenir et de conserver.

II.3.7: Appareils de flottation :

Cette section se veut comme une brève introduction aux appareils de flottation, et ce, afin de faciliter la compréhension des points subséquents.

1 : La cellule de flottation :

Les cellules sont essentiellement constituées d'un réservoir, dans lequel une turbine est entourée de chicanes, dont l'un des rôles est d'assurer l'homogénéité de la pulpe (Figure III.5). L'air provient de l'axe de la turbine et l'aération peut se faire de deux façons. Elle peut se faire de façon indépendante par la pression négative générée par la rotation très rapide de la turbine qui aspire l'air ou par l'injection d'air à l'aide d'une soufflante à faible pression. L'air est ainsi introduit dans le système, puis dispersé sous forme de fines bulles grâce à l'action combinée de la turbine et des chicanes. Le diamètre des bulles est une caractéristique très importante, car il définit la surface disponible pour l'adhésion des particules solides. Le concentré, constitué de mousse chargée de particules hydrophobes, est recueilli à la surface de la cellule, généralement à l'aide d'un dispositif appelé écumeur.

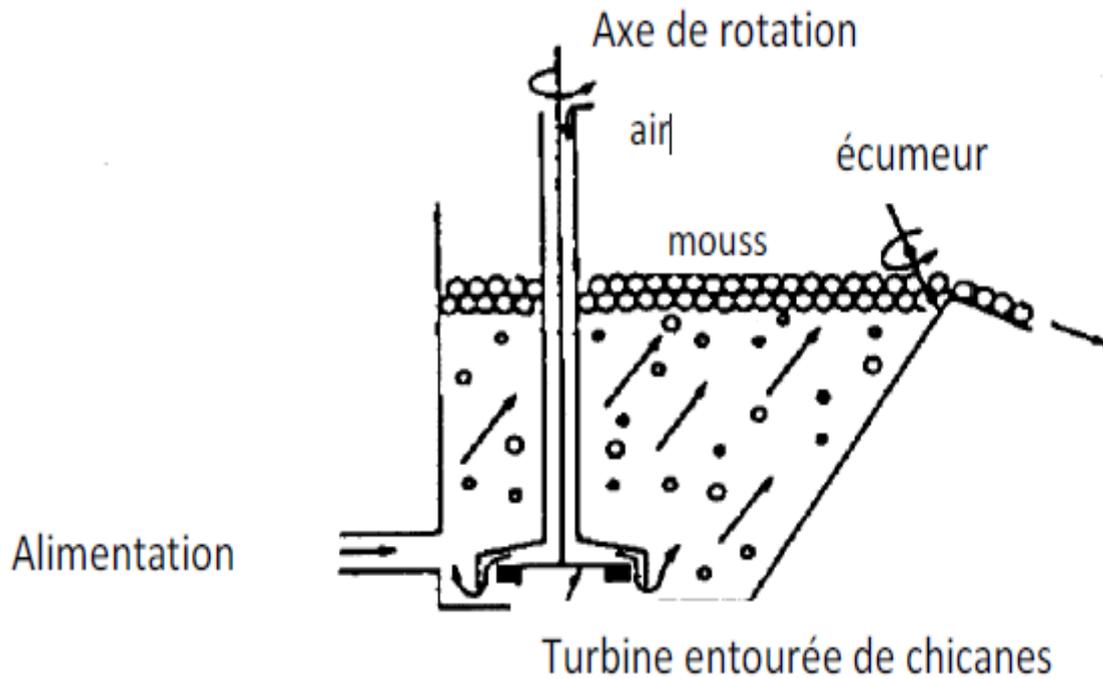


Figure (II.6) :schéma de cellule de flottation

2 : La colonne de flottation:

Ce sont des cellules ne comportant généralement pas d'agitation mécanique. L'air y est introduit par un générateur de bulles, en fond de cellule. Quant à la pulpe, elle est injectée à environ les deux tiers de la hauteur de la colonne. Les particules solides cheminent à contre-courant du flux des bulles. Les mousses recueillies à la partie supérieure sont lavées par aspersion d'eau.

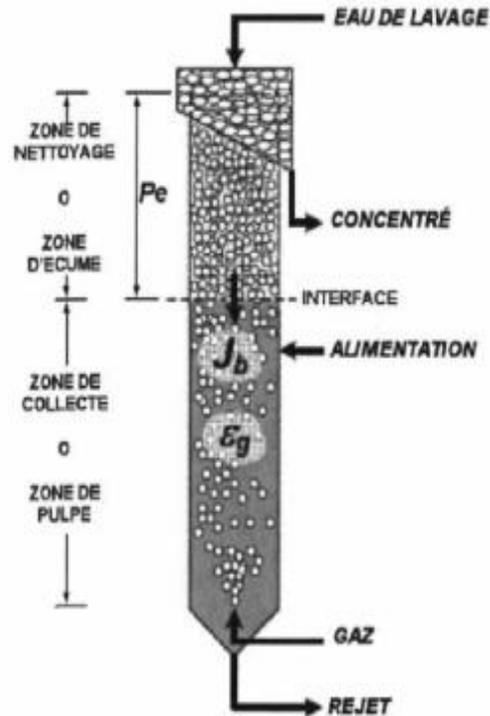


Figure (II.7) : schéma de colonne de flottation

3: Comparaison entre cellule et colonne de flottation :

Les principales différences entre la cellule et la colonne de flottation se retrouvent, d'une part, au niveau de la récupération et, d'autre part, au niveau de la qualité du concentré. En effet, un meilleur enlèvement et une plus grande pureté sont notés au niveau de la colonne, et ce, en raison des trois points suivants :

- L'ajout de l'eau de lavage minimise l'entraînement des particules parasites dans le concentré;
- L'absence, dans la colonne, d'agitation mécanique de la pulpe restreint la force de contact bulle-solide et, par le fait même, limite le décrochage des particules à la surface des bulles;
- La hauteur plus importante de la colonne qui favorise un plus grand nombre de collisions.

Il est à noter que les travaux entrepris pour cette recherche sont basés sur des essais en colonne. Ce document traite donc des expériences en colonne plutôt que de celles en cellule,

CHAPITRE III :
PRESENTATION DE LA MINE
CHAABET EL-HAMERA

III : Mine de Chaadet El-Hamra

III.1: Situation géographique :

Il se situe près de la ville de *Ain Azel* à 50 km au sud de *Sétif*. A la base de l'activité minière de cette région, il y a la mine de *Kharzet Youcef* dont l'exploitation a commencé en 1906. Son développement entrepris entre 1975 et 1979 aboutit à l'émergence d'un des plus grands complexes miniers du pays pour la production de concentré sulfurés de plomb et zinc.

Malheureusement la mine fut anéantie par ennoyage en juin 1990. L'usine de traitement minéralurgique implantée sur le site même de la mine dû son salut - au plan de l'approvisionnement à la présence, à une distance de 10 km, d'un gisement au stade de préparation du nom *Chaabet El Hamra*.

Le gisement de *Kharzet Youcef* est de nature plombo-zincifère, celui de *Chaabet El Hamra* est zinco-pyriteux. Il s'en suit la désaffectation actuelle du compartiment plomb de l'usine.

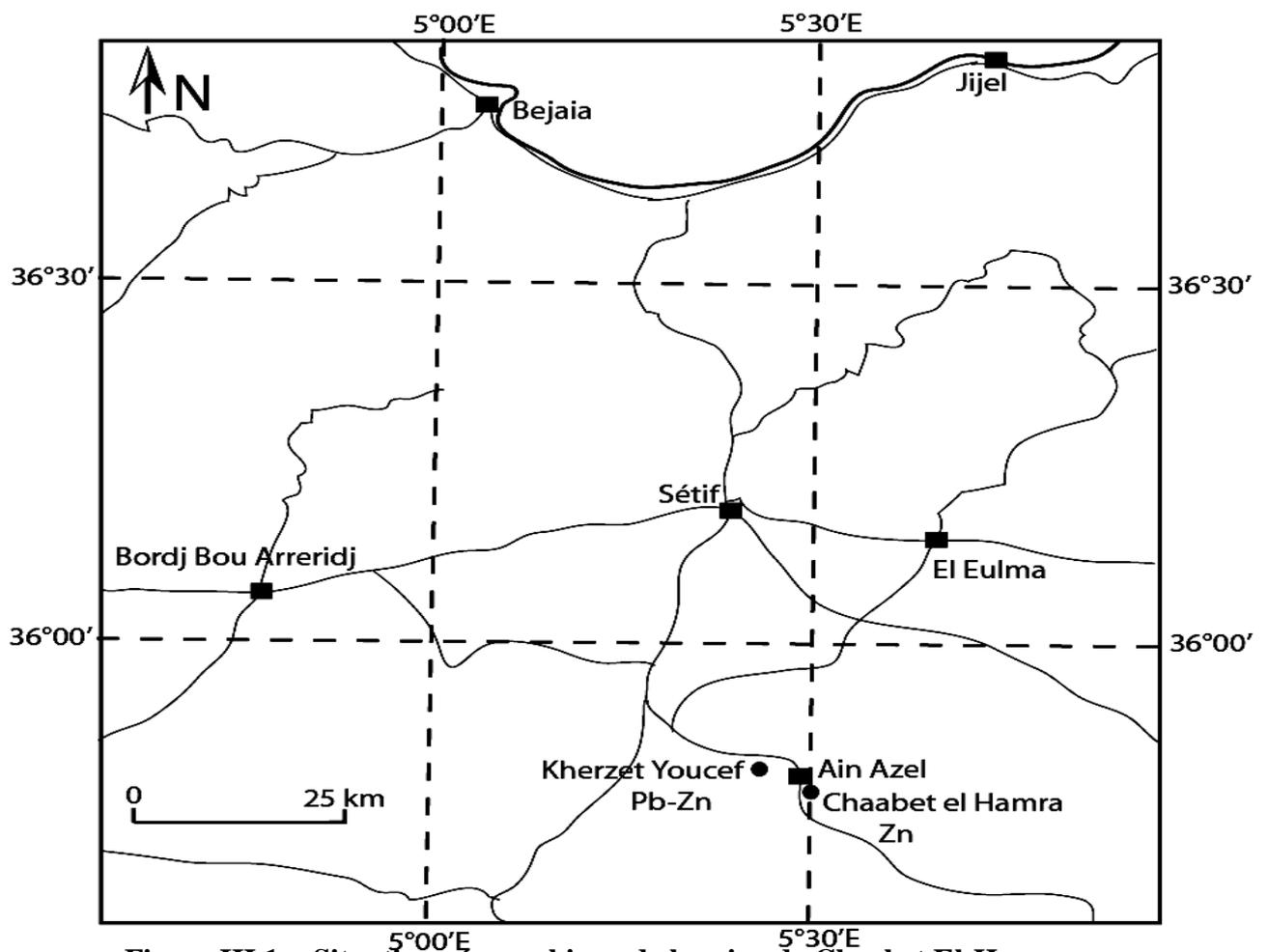


Figure III.1. : Situation géographique de la mine de Chaabet El-Hamra

III.2 : Géologie du gisement :

Grâce à l'affleurement de ses couches minéralisées, le gîte de *Kharzet Youcef* est connu depuis le début du siècle. La mise en évidence du gîte de *Chaabet El Hamra* date des années 1960.

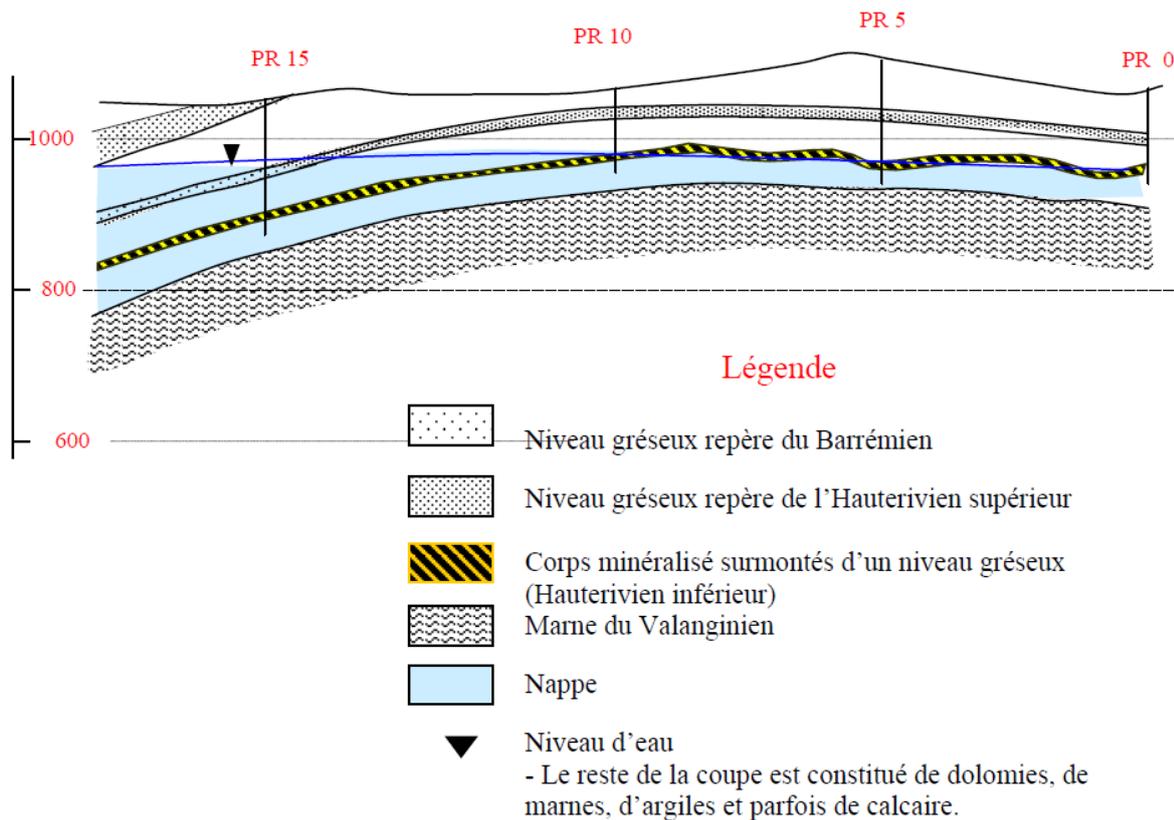


Figure III.2 : Coupe hydrogéologique Profil 0 – Profil 15
(D'après ENOF 2003)

III.2.1 : Géologie générale :

Le gisement de *Chaabet El Hamra* fait partie de la zone métallogénique du *Hodna*. Il correspond au raccordement tectonique des trois structures distinctes qui sont :

- le secteur Est de l'Atlas Tellien
- le secteur Nord de l'Atlas Saharien
- un massif médian ou molle de Ain M'lila.

La structure géologique du gisement montre la réunification des dépôts des séries du Valanginien, du Hautérivien, du Barrémien inférieur et moyen, de l'Aptien supérieur du Miocène et du Quaternaire.

Le gisement est caractérisé par ses cinq corps minéralisés, à allure stratoïde dont deux seulement renferment les réserves de zinc à 95 %, et 99 % de pyrite. Le gisement de *Chaabet El Hamra* est de type stratiforme de faible pendage (15° à 20°).

III.3 : Minéralogie:

Les roches constituant le sol du gisement de *Chaabet El Hamra* sont :

- les grès organogènes ;
- les argiles ;
- les dolomies à sphalérite (couche à minéralisation zincifère) ;
- les dolomies stériles.

La couche porteuse est constituée de Pyrite ; Marcassite ; Blende ; Galène rare. Les dolomies sont sombres, d'âge Hautérivien à Barrémien (la minéralisation se situe au Hautérivien).

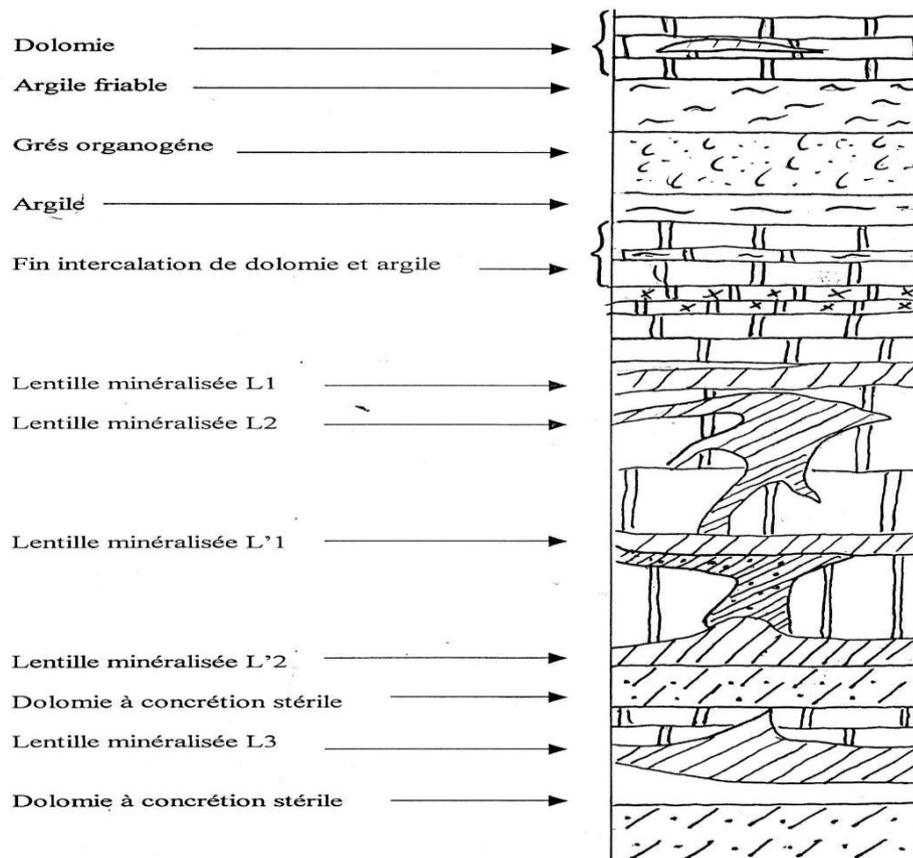


Figure III.3 Coupe stratigraphique de la région de Chaabet El Hamra

III.3.1 : Caractéristiques du minerai de sphalérite (blende) :

Le minéral de zinc dans le gisement de *Chaabet El Hamra*, est la sphalérite. C'est un sulfure de zinc (ZnS) avec dans le réseau de fer jusqu'à 25 %, du Mn jusqu'à 5% et des traces de Cd, Ga... ; du système cubique, en cristaux souvent maclés en minces lames, à clivages parfaits, à cassure lamelleuse ou conchoïdale ; à éclats résineux souvent translucide avec reflets rouges verts, jaunâtre à brun - noir. On la trouve associée à des pegmatites, mais surtout dans des filons hydrothermaux, ou encore en imprégnation des roches sédimentaires. Fréquemment associée à la pyrite, la galène et la chalcoppyrite.

- la teneur de Zn dans la sphalérite est de 67,1% ;
- la densité est de 3500 - 3800 kg/m³ ;
- la dureté est de 5 à 6 Echelle de Mohs.

➤ Calcul des réserves :

Deux méthodes ont été utilisées pour le calcul des réserves :

	O.R.G.M	SI DAM
Méthodes	Blocs géologiques	Polygones
Réserve (millions de tonne)	5.02	4.808
Teneur en zinc (%)	5.57	6.41

Suivant les deux méthodes :
Les réserves en métal sont égales à 308 208 tonnes en moyenne

Cependant les réserves sont présentées séparément : tableau éventuel

-la partie supérieure, au-dessus du niveau hydrostatique entre les profils 0 et 10. Elle présente deux faisceaux représentant des réserves récupérables de 1239368 tonnes à 6.44 % de Zn dont 551584 tonnes à 6.27 % pour le faisceau supérieur et 687784 tonnes de réserves à 6.58 % pour le faisceau inférieur.

-la partie inférieure, au-dessous du niveau hydrostatique, entre les profils 10 et 15. Les paramètres considérés pour le calcul des réserves minières sont :

- Le taux de salissage : 15-20%
- Le taux de perte : 10%

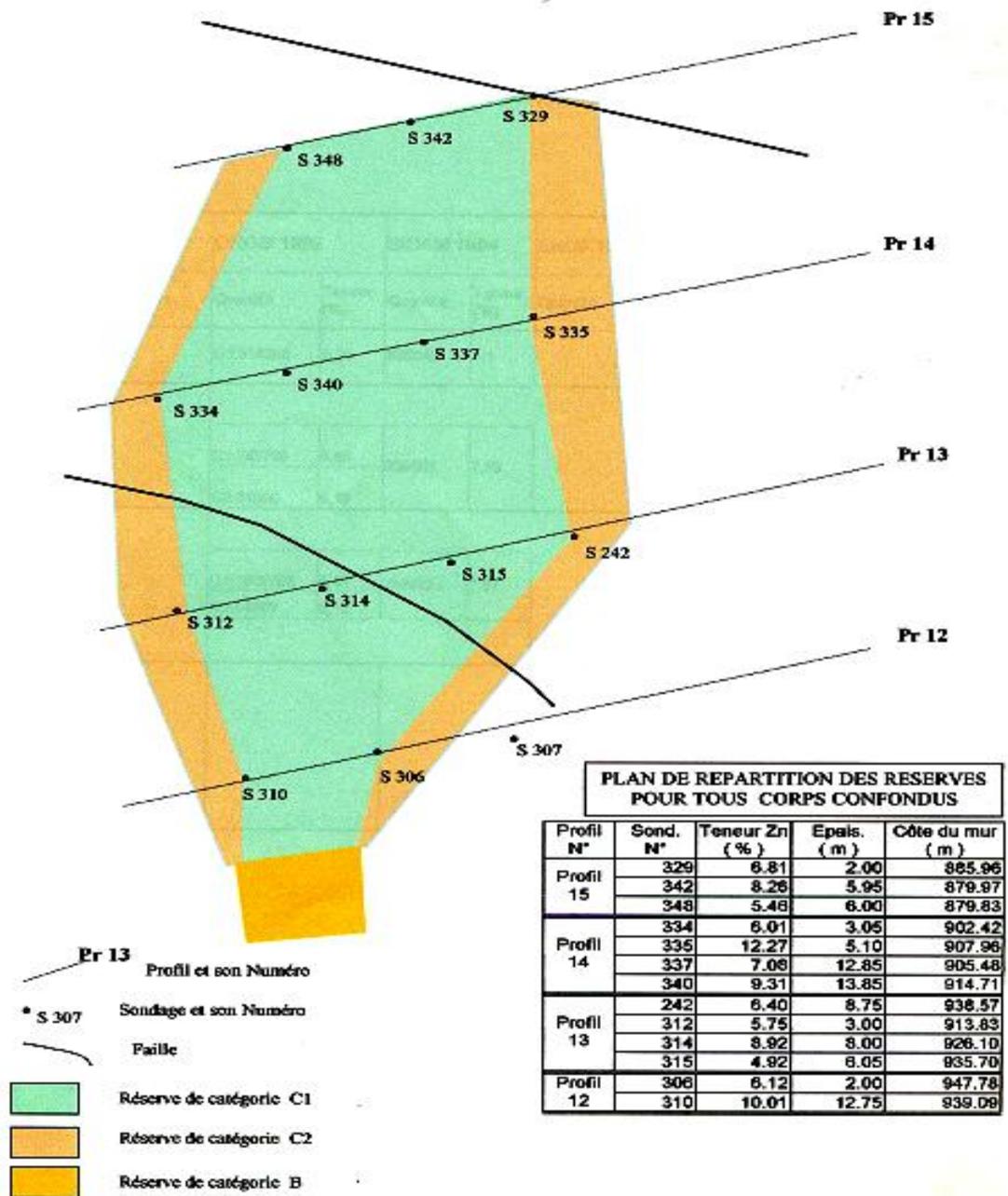


Figure III.4 : Plan de répartition des réserves pour les deux corps (D'après Evaluation ENOF 1996).

III.4. Description de la laverie de Kherzet Youcef :

L'usine d'enrichissement du complexe de *Kherzet Youcef*, fait partie des plus importantes réalisations industrielles de l'Algérie dans le domaine minier. Elle est conçue pour le traitement du minerai Plomb/Zinc de la mine de *Kherzet Youcef*, mais après le coup de l'eau de 2 juin 1990, qui a causé l'inondation de la mine, l'usine exposée au risque de fermeture, a repris du service grâce à l'ouverture de la mine de *Chaabet El Hamra* distante d'une dizaine de kilomètres. L'usine présentait initialement presque toutes les méthodes d'enrichissement. De nos jours la laverie ne produit que le concentré blende. Ce qui a entraîné les suspensions suivantes :

- de la section de séparation gravimétrique ;
- du deuxième étage de broyage ;
- de pré criblage de tout-venant au niveau du concasseur à mâchoires ;
- des hydrocyclones ;
- de la séparation magnétique ;
- de la section de flottation pour le plomb.

Ces modifications tiennent compte de la faible teneur de Zn dans le tout-venant de *Chaabet El Hamra*, et répond au souci d'économie de l'énergie et de dépenses. Le schéma technologique inclut le broyage humide, après le concassage en deux étapes, suivies de la flottation en trois étapes. La capacité de travail de la laverie maximale est de 100 000 tonnes, pour l'année 2000, pour un niveau de production de 75 000 tonnes de minerai humide.

III.4.1. Section de concassage et criblage :

L'installation de préparation du minerai est conçue pour fonctionner à une cadence de l'ordre de 400 t/j. La réduction de tout-venant de 0 - 300 mm jusqu'à 0-15 mm s'effectue en deux étapes.

Première étape :

Le produit abattu est transporté dans les camions et déversé dans la trémie de récupération d'un volume de 30m³. Le minerai est introduit dans un concasseur à mâchoires, et sort avec une dimension de 0-40 mm.

Deuxième étape :

Les produits issus du concasseur à mâchoires sont acheminés à l'aide d'un convoyeur à bande N°1, vers le crible vibrant de type « SIMONS » à maille (20 - 160 mm).

La classe granulométrique supérieure à 15 mm est introduite dans le concasseur à cône, qui fonctionne en cycle fermé avec le crible vibrant.

Le produit issu de concasseur est déversé dans la bande N°3, pour y être repris par la bande N°1, qui le déverse à son tour dans le crible une seconde fois.

La fraction qui passe par le crible (0-15mm) est déversée dans deux trémies métalliques d'une capacité de 25 tonnes chacune. Le minerai, est acheminé par la suite vers la section broyage à l'aide de la bande N°5.

III.4.2. Section broyage :

Le broyage et la classification visent à révéler les particules minérales, et optimiser les conditions de traitement. Le broyage se fait par voie humide, et se réalise en une seule étape avec deux broyeurs à boulets de capacité de 11 et 17 tonne/h. Les deux broyeurs travaillent en circuit fermé avec un classificateur mono spiral qui ne laisse passer que les fines vers les cellules de flottation. A noter qu' avant la bande N° 8, qui transfère le produit concassé vers les broyeurs,

Il existe deux trémies en béton de 100 tonnes de capacité chacune.

III.4.3. Section flottation :

Le cycle de flottation de ZnS, est procédé par une agitation à effet de permettre au sulfate de cuivre de libérer les grains minéraux de ZnS. Le cycle comprend une opération principale ; une de contrôle et trois opérations de d'épuration. Le schéma principal de flottation, permet des modifications temporaires au moyen de connexions par tubes.

Le drainage des concentrés vers les épaisseurs se fait par l'intermédiaire de pompes. Après épaisissement, les concentrés sont aspirés par des pompes à membranes et dans les filtres à tambour s'effectue la filtration.

Le concentré de ZnS est expédié par voie ferrée à l'unité S.N.S d'électrolyse de Ghazaouet.

La figure 1 représente le schéma de la laverie.

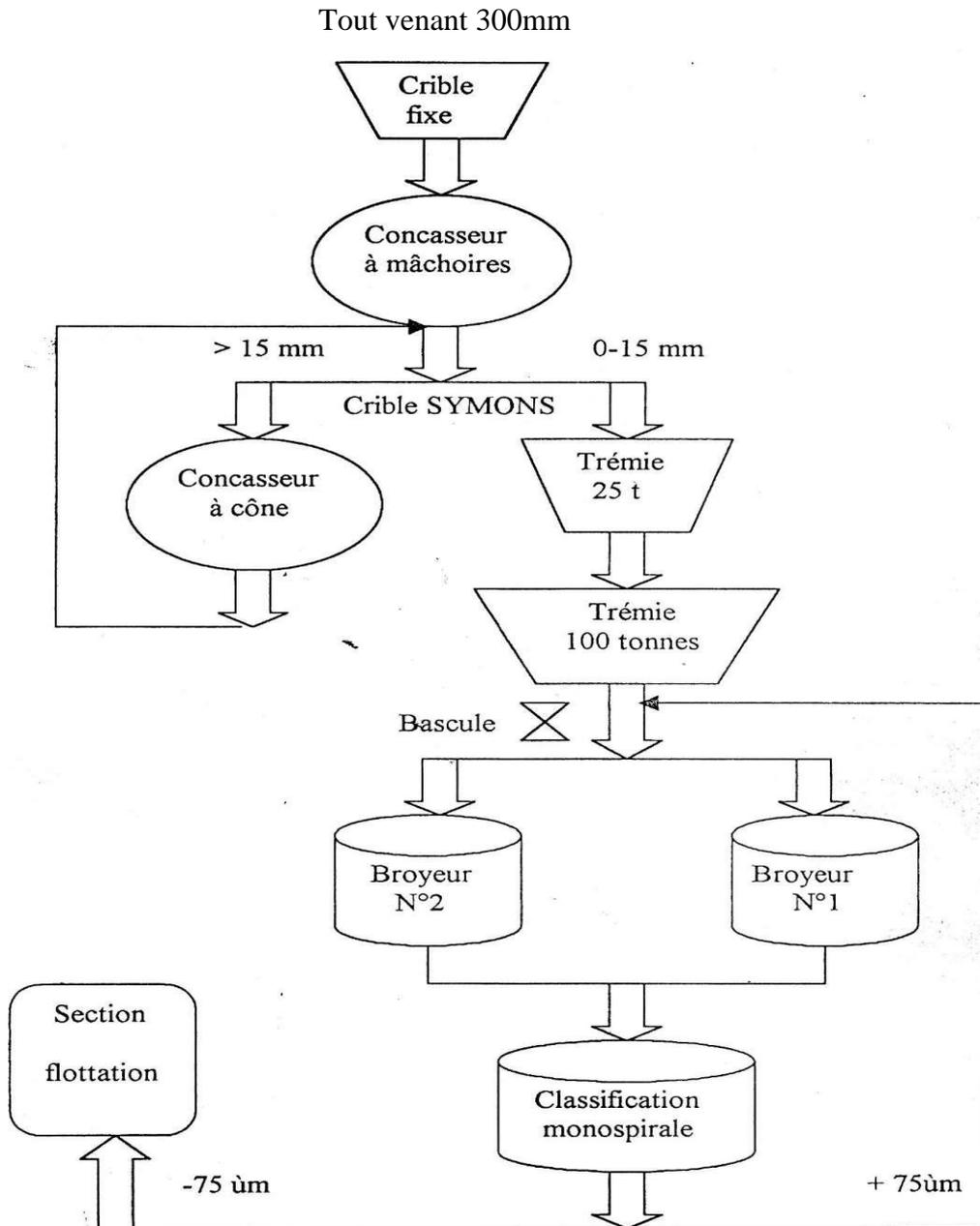


Figure III.5 section: Concassage-criblage-broyage

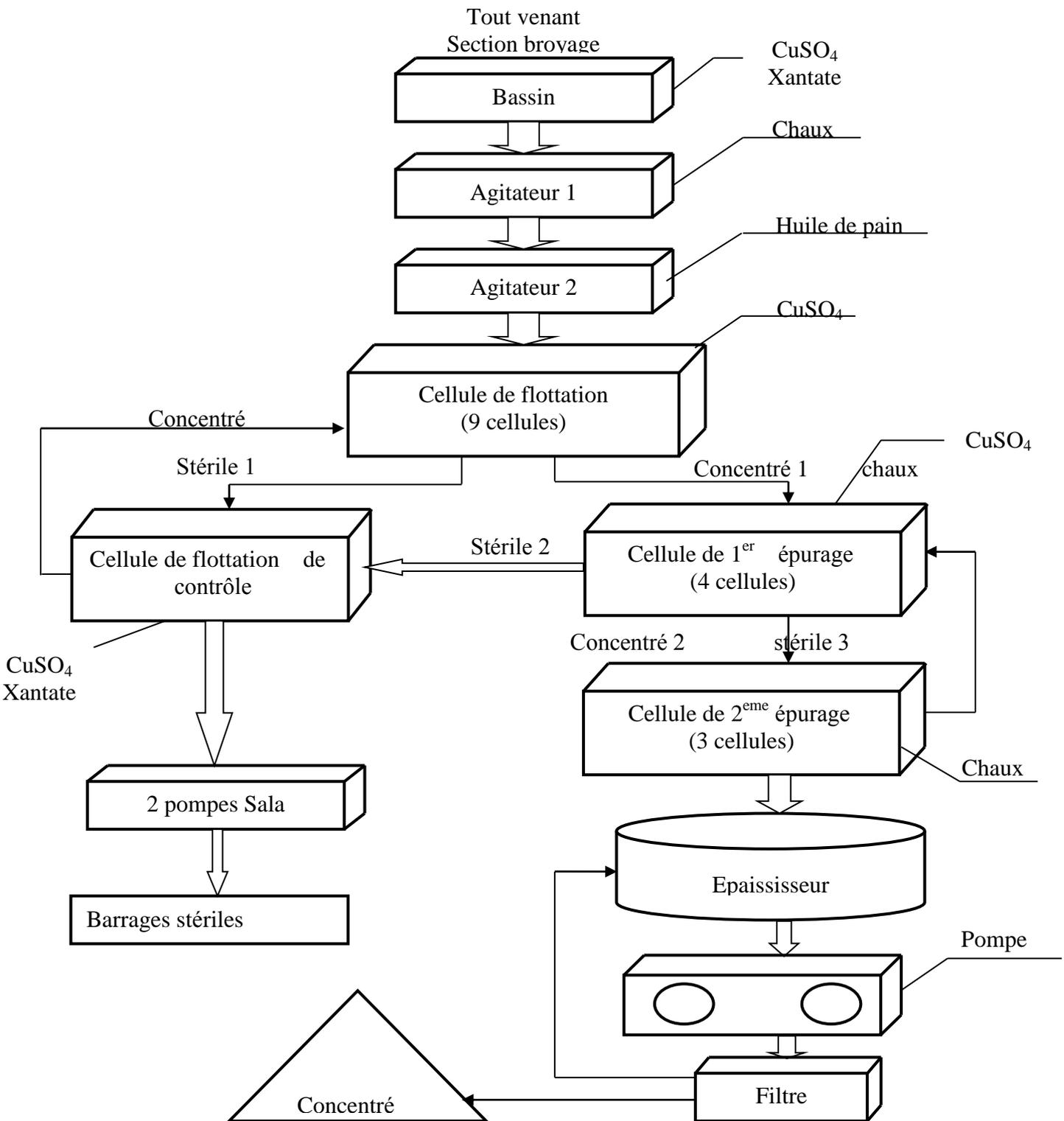


Figure III.6 Section de la flottation

CHAPITRE IV :
PARTIE EXPERIMENTALE

IV : Partie expérimentale

IV.1 : Introduction :

Cette partie consiste à traiter le tout-venant (la gangue) de zinc ramené des différents quartiers de la mine de Chaabet El-Hamra, commençant par la préparation mécanique, et après le tamisage on prend certains granulométrie pour la séparation par table à secousse, le résultat qui nous allons obtenu (après la séparation par table à secousse) on fait le broyage pour chaque granulométrie jusqu'à $100\mu\text{m}$. puis on passe à la deuxième séparation qui est la séparation par flottation afin d'avoir un produit fini qui répond aux exigences de marche.

Et voila le schémat ci-dessous qui résume les étapes à suivre dans ce travail.

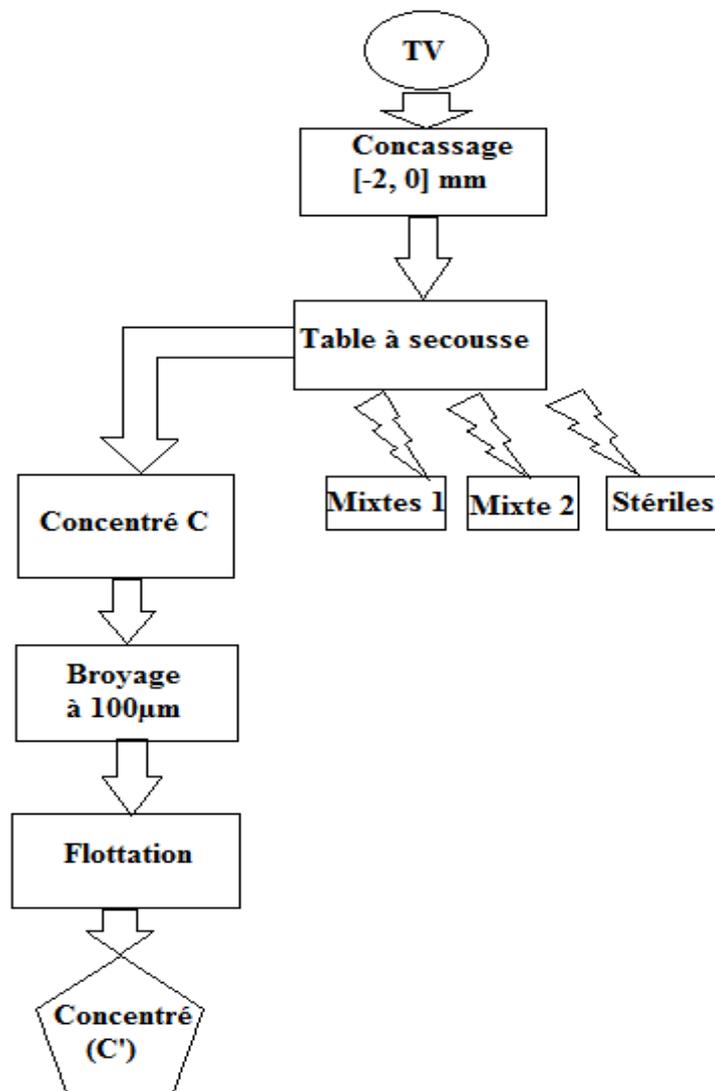


Figure (IV.1) : Schéma global résumant notre travail

IV.2 : Préparation mécanique.

la préparation mécanique de minerai est un procédé d'enrichissement physique, permettant d'extraire, au vu d'analyses diverses (minéralogique, pétrographique, chimiques et autres), et libérer le ou les minéraux utiles du minerai, en les concentrant dans des tranches granulométriques, favorables à des traitements ultérieurs, en vue d'obtenir soit un concentré, soit un métal ou autre. Cet atelier fait appel à des opérations de concassage, de broyage et de classification directe ou indirecte.

IV.2.1 : Concassage

➤ Concassage primaire

Le concassage est une opération de réduction du tout-venant extrait de la mine ou de la carrière jusqu'à une dimension de l'ordre de quelques centimètres.

Le concassage a été effectué à l'aide d'un concasseur à mâchoire au niveau de notre laboratoire de département de génie Minier à l'Ecole Nationale Polytechnique. Ce concasseur permet de réduire un échantillon de 0-50 mm jusqu'à 0-25mm



Figure (IV.2) : Concasseeur à mâchoire

➤ Concassage secondaire

Après avoir terminé avec le concasseur à mâchoire on utilisé le concasseur giratoire pour réduire la dimension de l'échantillon de 0-25 mm jusqu'à 0-12.5 mm, avec un degré de réduction :

$$i = \frac{D_{max}}{d_{max}}$$



Figure (IV.3) : Concasseur giratoire

IV.2.2 : Tamisage

Après concassage, nous avons procédé à un tamisage préalable avec un tamis à maille carrée de 3,15 mm d'ouverture. Les passants feront l'objet de l'essai de valorisation par table à secousse tel qu'on a choisis une série des tamis 1,5 mm, 1mm, 800mm pour cette essai.

IV.3 : Séparation par table à secousse :

La séparation des minéraux par nappe pelliculaire fluente est une méthode qui repose sur la gravité, cette méthode est fortement utilisée en industrie, car elle ne demande aucune préparation sauf un concassage et un éventuel broyage. Par contre, le seul inconvénient est la forte consommation en eau et comme notre pays est un pays en striasse hydrique, par conséquent les table à secousses au niveau des usines de traitement doivent avoir un circuit de recyclage afin de récupérer l'eau pour le recycler sur la table à secousse afin d'économiser l'eau.

IV.3.1 : Mode opératoire

La séparation par nappe pelliculaire fluente est un procédé qui consiste à alimenter notre table à secousses par une masse du tout-venant avec les différentes granulométries qui on a choisis, sachant qu'on a fixé la pente à 10 %, et on a fixé aussi le débit d'eau à la position 2 (au milieu) environ 25 L/min.



Figure (IV.4) : Table à secousses KHD Humboldt Wedag.

Et les résultats qui on a obtenu sont mentionner sur le tableau ci-dessous.

IV.3.2 : Résultats

Granulométrie (mm)	Récupération (g)	Rendement pondéral (%)
-2 à +1,5	280	28,1
-1,5 à + 1	257	25,7
-1 à + 800	236	23,6
-800	202	20,2

Tableau (IV.1) : Analyse gravimétrique par table à secousse de la tranche granulométrique

[-2, 0] mm

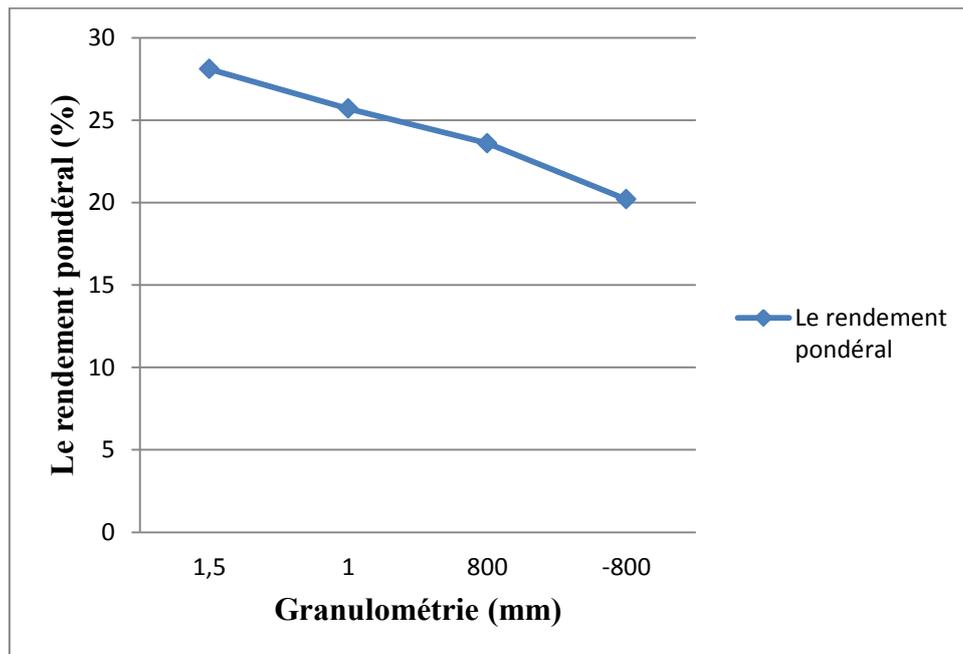


Figure (IV.5) : Le rendement pondéral de concentré par table à secousse

IV.3.4 : Interprétation :

Après les résultats qui ont été obtenus, on constate que la granulométrie du minerai a une influence sur la méthode de séparation par table à secousse, car d'après le graphique de rendement pondéral en fonction de la dimension du minerai, on voit qu'il y a une relation entre eux telle que l'augmentation des dimensions de TV résulte d'une diminution du rendement pondéral de concentré.

IV.4 : Calcul la densité

Après la séparation par la table à secousse, on va calculer la densité de chaque concentré récupéré pour les différentes granulométries au but de connaître la teneur de concentré.

➤ Mode opératoire :

- Peser le pycnomètre vide : masse m_1 .
- Prendre environ 25 grammes d'un échantillon.
- Verser environ 25 g d'échantillon préalablement séché dans le pycnomètre.
- Peser de nouveau le pycnomètre : masse m_2 .
- Remplir le pycnomètre à moitié avec de l'eau distillée et placer le tout sur la plaque chauffante et laisser chauffer (pour dégager les bulles d'air).
- Arrêter le chauffage quand l'eau est portée à ébullition.
- Laisser refroidir.
- Compléter avec de l'eau distillée jusqu'à la graduation 250 cm^3 et peser de nouveau le pycnomètre: masse m_3 .

- Vider le pycnomètre, le nettoyer et le sécher.
- Remplir le pycnomètre avec de l'eau distillée jusqu'à la graduation 250 cm³ et peser de nouveau le pycnomètre : masse m₄.

La densité des grains solides du sol est donnée directement par la formule

$$d = \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_1 - m_3 + m_2}$$

Et le tableau ci-dessous porte les résultats obtenus.

IV.4.1 : Résultats

Granulométrie (mm)	La densité
1,5	3,73
1	3,81
800	3,85
-800	3,89

Tableau (IV.2) : la densité après la séparation par table à secousse.

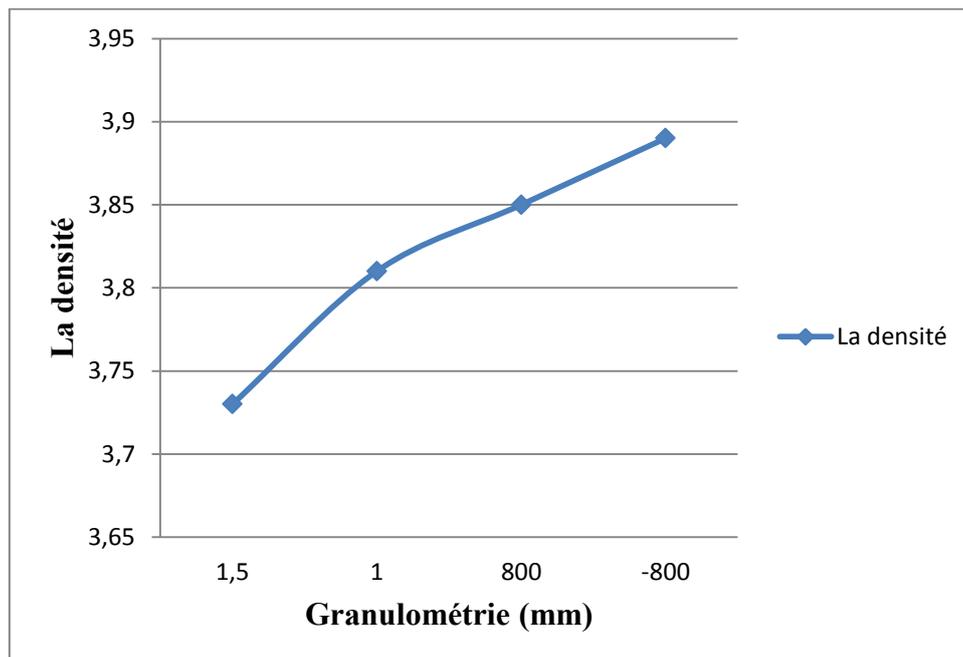


Figure (IV.6) : la densité du concentré récupéré par table à secousse

IV.4.2 : Interprétation

D'après le graphe de la densité en fonction de la granulométrie, nous constatons que les dimensions des grains de TV joués un rôle important dans les variations de la densité (teneur) de concentré récupéré, car la densité augmente avec la diminution des grains.

Ce s'explique que le concassage se fait pour but de libérer le ou les minéraux utiles du minerai, en les concentrant dans des tranches granulométriques

IV.5 : Flottation :

La flottation est un procédé de traitement physico-chimique pour les particules fines, basé sur les propriétés superficielles de minérales, ayant un avantage pour la séparation des minéraux qui ayant la même densité chose qui n'est pas possible avec la méthode de gravite, particulièrement elle permet des taux de récupération élevés pour de faibles teneurs.

IV.5.1 : Préparation des échantillons:

On a effectué le broyage pour chaque granulométrie du concentré qui on a récupéré par la table a secousse, car la méthode de flottation du zinc exige une granulométrie inférieur à 100 μ m, puis l'étape de tamisage enfin l'échantillonnage afin d'avoir un échantillon représentatif.

On va faire 4 essais de flottations, sachant qu'on aura besoin de 250 g pour chaque essai, et pour atteint à cette quantité par table a secousse nous a prend boucaux du temps pour ce là on a diminué le rapport solide/liquide de la pulpe tel que on a utilisé 150g du minerai broyé à 100 μ m, donc pour réaliser nos essais on doit avoir au minimum 600g de minerais ayant une granulométrie inférieur à 100 μ m.

IV.5.2 : Mode opératoire

La cellule de flottation (type Denver D12) doit être remplie d'eau distillée pour éliminer tous les minéraux existant dans l'eau, puis on ajoute le minerai de façon à obtenir une pulpe de 1L avec un rapport solide-liquide d'environ 15%. A chaque essai on pèse 150 g de minerais pour 800ml d'eau distillée, et pour chaque essai nous allons réaliser deux essais de flottation, flottation principale et contrôle, ce dernier est dans le but d'augmenter la quantité de concentrée totale.



Figure (IV.7) : cellule de flottation

➤ **Les réactifs utilisés pour l'essai de flottation**

Les réactifs utilisés dans les essais de flottation sont décrits dans le tableau ci-dessous :

Réactifs	Nom du réactif
Régulateur de milieu	La chaux (CaO)
Déprimant	La chaux (CaO)
Activant	Sulfate de cuivre (CuSO ₄)
Collecteur	Amylaxanthate
Moussant	Huile de pain

Figure (IV.3) : les réactifs utilisés dans les essais de flottation

Après avoir pesé 150g du minerais, et de verser 800ml d'eau distillé, à ce stade nous avons préparé notre pulpe de 1L contenant 25% en solide.

➤ **Flottation principale :**

On va respecter la norme d'usage de flottation de la blende

On ajoute dans la cellule :

- La chaux (CaO) pour fixer le PH entre 10 à 11.
- L'activant de la blende, le sulfate de cuivre (CuSO₄) : 250 g/tonne, le temps de conditionnement est de 5 min.
- Le collecteur, l'amyloxanthate 200 g/tonne, le temps de conditionnement est de 5 min.

- Le moussant : 12.5 g / tonne de l'huile de pins, le temps de conditionnement est de 1 min.

- On introduit de l'air ;
- Le temps de raclage est de 3 min.

On récupère la mousse formée à la surface pendant 3 min et après filtration et séchage, nous allons avoir le concentré 1.

➤ **Flottation de contrôle :**

Suite à l'essai principal, on va entamer l'essai de contrôle, selon le protocole suivant

- On ajoute 50 g / tonne d'amylxanthate, le temps de conditionnement est de 3 min.
- 12.5 g / tonne de l'huile de pins, le conditionnement est de 1 min.
- On introduit de l'air ;
- Le temps de raclage est de 3 min.

On récupère la mousse pendant 3 min, on passe à la filtration et au séchage afin d'avoir le concentré 2 (C2).

Le schéma global de flottation est représenté dans la figure (V-1) suivante :

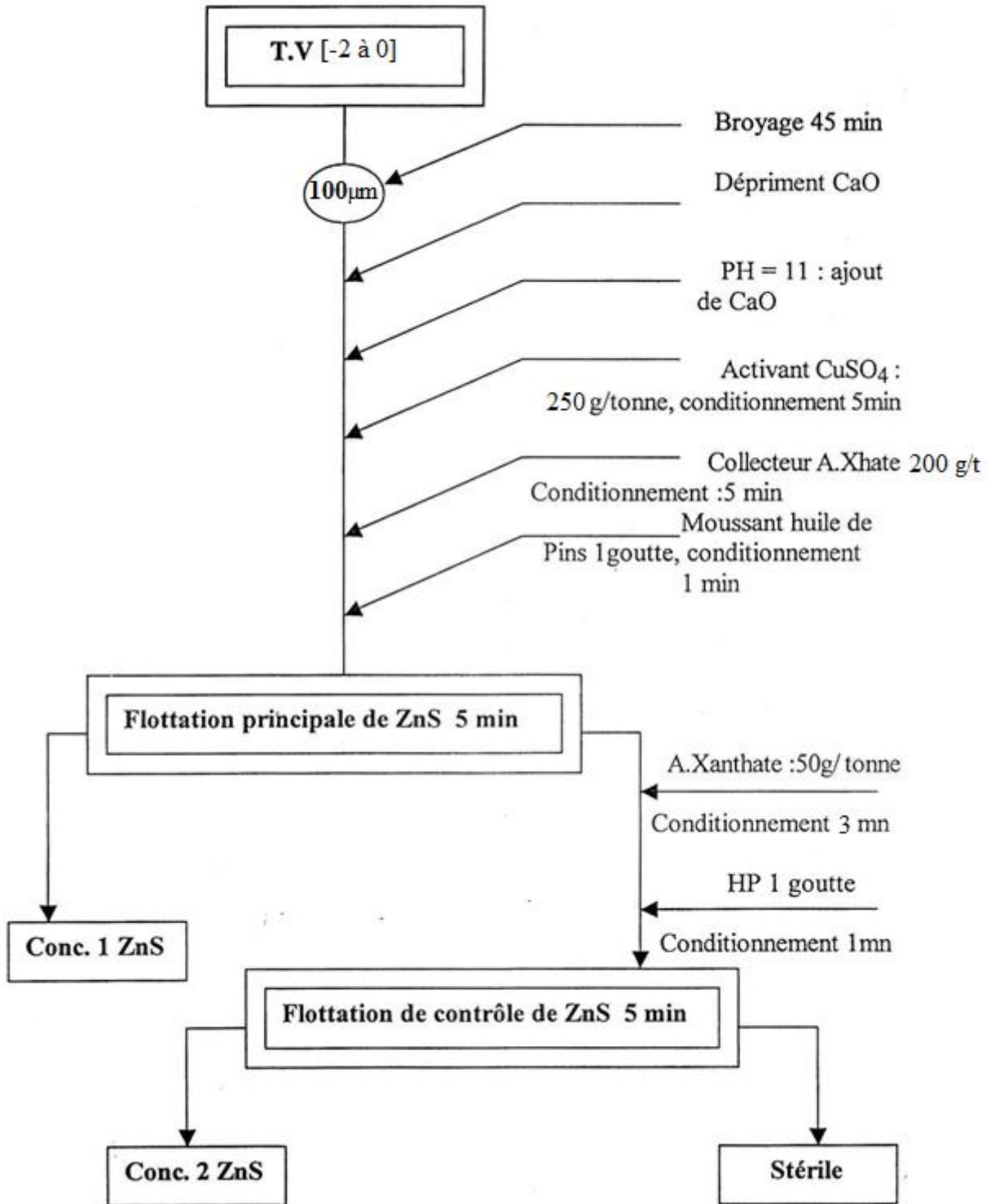


Figure (IV.8) : Schéma de flottation

Après la réalisation de schéma de flottation qui on a proposé on a obtenu les résultats suivants :

IV.5.3 : Résultats :

Granulométrie		-2 à 1,5	-1,5 à 1	-1 à 800	-800
Rendement pondéral (%)	C ₁	20,40	19,13	22,28	24,58
	C ₂	8,01	10,35	13 ,03	19,02
	C ₁ +C ₂	28,41	29,48	35,31	43,60

Tableau (IV.4) : rendement pondérale du concentré récupéré par la flottation

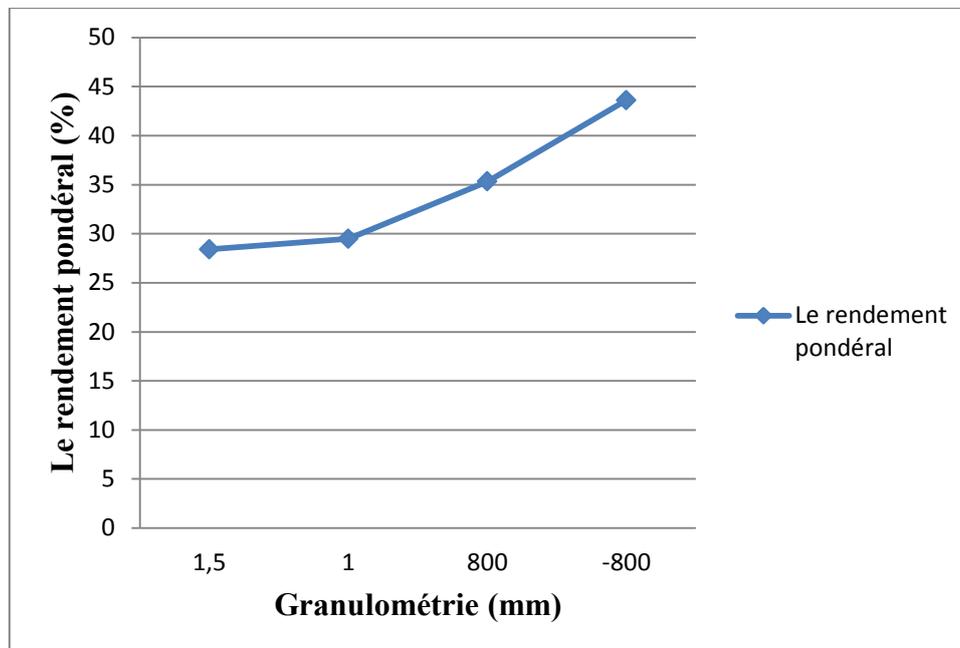


Figure (IV.9) : le rendement pondéral du concentré récupéré par flottation

IV.5.6 : Interprétation :

D'après les résultats de flottation on remarque que l'augmentation du rendement pondéral est reliée par la diminution de la granulométrie des grains. Sachant que les essais de flottation des différentes granulométries sont faits en même conditions et la récupération maximale correspond à la granulométrie le plus faible.

IV.6 : Calcul la densité après flottation :

Avec la même manière de calcul la densité après la séparation par table à secousse. On va calculer la densité après l'essai de flottation.

Et les résultats sont cités sur le tableau ci-dessous :

IV.6.1 : Résultats

Granulométrie (mm)	La densité
1,5	3,82
1	3,89
800	3,93
-800	4,01

Tableau (IV.5) : la densité de concentré récupéré après flottation

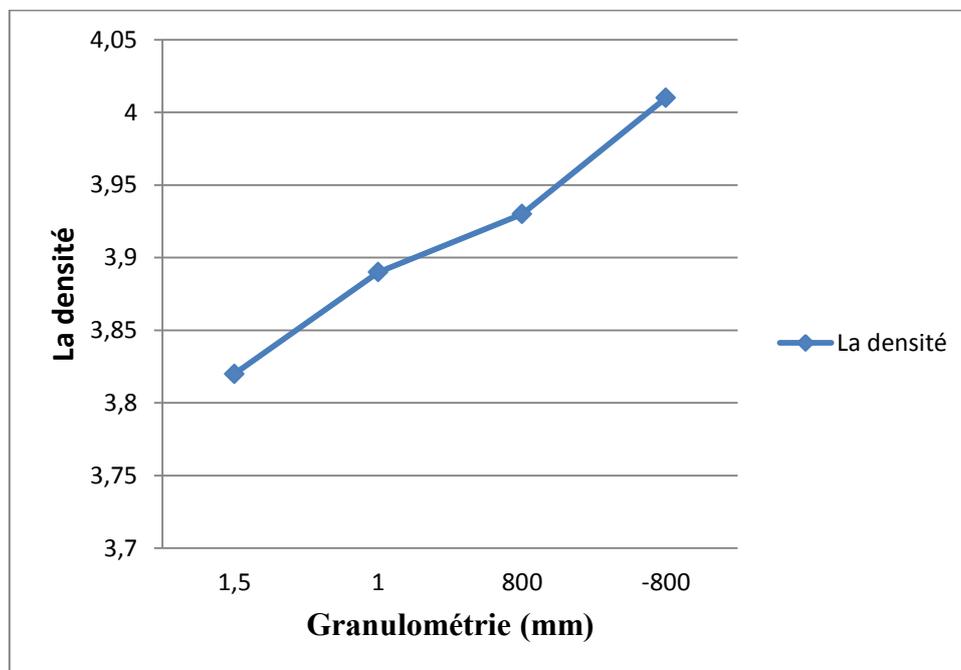


Figure (IV.10) : La densité de concentré après flottation

IV.6.2 : Interprétation

Tous ce qu'on peut conclure après le calcul de la densité des produits récupérés après l'essai de flottation pour chaque granulométrie qu'il une relation inversement proportionnelle entre les dimensions des grains et la densité (teneur). Car les petits grains qu'on a récupérés après la séparation par table à secousse sont plus denses par rapports qui ont des grandes dimensions.

Conclusion Générale :

La préparation mécanique est une phase très importante pour chaque opération d'enrichissement avant de passer aux cellules de flottation. Une étude granulo-chimique pourrait être très bénéfique afin de repérer la meilleure maille de libération, chose qui peut mener à l'optimisation du nombre d'essais de flottation et donc la consommation en réactifs chimiques.

La séparation par nappe pelliculaire fluente par l'utilisation de la table à secousse en optimisant les paramètres qui influent sur l'efficacité de cette méthode de séparation, et en fixant le débit d'eau à 25 l/min, et la pente sur 10 %. Dans la mesure où les résultats pourraient s'avérer plus concluants si toutes les conditions étaient réunies. Cependant, la surconsommation d'eau qu'elle occasionne fait qu'elle peut poser quelques difficultés d'application, à moins d'envisager un système de recyclage de l'eau utilisée.

Le concentré récupéré pour les différentes granulométries de l'essai précédente est soumis à un essai de flottation afin d'améliorer la teneur de ce dernier.

La maille de libération qui a donné les meilleurs résultats en fonction de la densité des produits de mousse est la classe des minerais dont la granulométrie de [0 à 800] μm , broyés jusqu'à 100 μm .

La flottation dépend de plusieurs paramètres dont chacun peut être objet d'une recherche plus approfondie dans l'avenir

Annexes :

IDENTIFICATION DU MINERAI

A. Calcul de la masse volumique :

La masse volumique d'un matériau correspond à la masse contenue dans un volume égal à l'unité. La connaissance de ce paramètre, permet de relier le volume d'un matériau à sa masse, ce qui est important, car souvent des matériaux sont vendus à la tonne, mais doivent être mis en place pour occuper un certain volume (gestion des stocks). La masse volumique d'un matériau dépend de facteurs, tels que son degré de compaction et sa teneur en eau.

1. Généralement et lorsque la masse volumique doit être utilisée pour le calcul des mélanges de béton ; par exemple, on doit d'abord sécher l'échantillon jusqu'à masse constante, dans une étuve maintenue à $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$;
2. Mais si on ne vise que l'évaluation de la masse d'un volume d'une réserve de minerai (comme notre cas), on procède à partir de l'état naturel.

Appareils utilisés :

- Balance ;
- Pelle ;
- Deux récipients A et B, le premier est muni de trop plein, le deuxième peut être un bécher ;
- Une éprouvette graduée.

Mode opératoire :

1. Mettre dans une éprouvette graduée un volume V_1 d'eau ;
2. Peser une masse M du minerai, et l'introduire dans l'éprouvette. Bien éliminer les bulles d'air ;
3. Lire le nouveau volume V_2 ;

Le volume absolu est : $V = V_2 - V_1$

Et la masse volumique absolue est :

$$\rho = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

B. Calcul de la porosité :

Toutes les roches présentent, une proportion plus au moins grande, des fissures et des vides , qui renferment le plus souvent de l'eau ; donc, la porosité d'un matériau représente le pourcentage des vides dans l'unité du volume de ce même matériau.

Pour le calcul de la porosité, on utilise l'équation suivante :

$$P \% = \frac{\text{volume des vides}}{\text{volume du materiaux}} \times 100$$

$$P = \frac{(M1 - M0) * \rho}{M0}$$

Avec :

M0 : Masse sèche ;

M1 : Masse après trempage dans l'eau ;

ρ : Masse volumique du matériau (mineral).

1. Appareils utilisés :

- Balance ;
- Récipients métalliques pour séchage,
- Etuve ;
- Bécher ;
- Plaque chauffante ;
- Un chiffon ;
- Agitateur.

2. Mode opératoire :

1. Peser l'échantillon à étudier et ne pas avoir plus de 10 g de grains trop petits ;
2. Sécher l'échantillon dans son récipient, à l'étuve jusqu'à masse constante, en remuant de temps en temps ;
3. Peser la masse sèche (M0) ;
4. Placer l'échantillon sec dans un bécher rempli d'eau froide et porter à ébullition pendant deux heures ;
5. Laisser refroidir, et peser la nouvelle masse (M1) après avoir extrait la part d'eau et essuyer chaque grain avec un chiffon.

D. Calcul du taux d'humidité :

Les matériaux naturels contiennent presque de l'eau. Connaître la quantité d'eau ainsi emprisonnée est très important. C'est la teneur en eau d'un matériau, exprimée par le rapport de la perte de masse lors de son séchage à l'étuve, par la valeur par la masse sèche de ce matériau.

$$T \% = \frac{\Delta M}{M1} * 100$$

ΔM : variation de la masse ;

$M1$: masse sèche de l'échantillon.

1. Appareils utilisés :

- Balance ;
- Etuve ;
- Récipients métalliques ;
- Agitateurs pour remuer la prise d'essai durant la période de séchage.

2. Mode opératoire :

1. Peser l'échantillon;
2. Sécher à fond l'échantillon dans son récipient dans l'étuve en remuant jusqu'à masse constante, en prenant bien soin d'éviter la perte de la moindre particule ;
3. Peser la prise d'essai séchée, aussi tôt qu'elle est suffisamment refroidie afin de ne pas endommager la balance.

❖ LE CRIBLAGE :

Les cribles sont utilisés surtout pour la séparation de matériaux de calibre relativement important. Ils permettent également de livrer aux traitements ultérieurs un produit à peu près constant en dimensions. Le scalpeur est une grille constituée d'un ensemble de forts barreaux parallèles montés sur un cadre et servant à séparer les très gros blocs. Le trommel est un crible cylindrique incliné tournant autour de son axe. En aboutant un certain nombre de sections à ouvertures différentes, on peut produire simultanément plusieurs fractions granulométriques. Divers autres types de cribles ou combinaisons de cribles que ceux mentionnés peuvent être utilisés.

❖ LE TRIAGE :

La plus simple et la plus ancienne des méthodes d'enrichissement des minerais est le triage manuel. Les progrès technologiques ont engendré diverses versions électroniques du triage manuel. Dans les méthodes photométriques, le fractionnement est fondé sur la différence de réflectivité des minéraux. Les morceaux à trier sont étalés sur un transporteur mécanique et un jet d'air comprimé sépare ceux qui sont identifiés comme étant à récupérer. De la même manière, la séparation des minéraux peut être fondée sur leur différence de conductivité.

❖ **Collecteurs principaux utilisés dans l'industrie:**

Minerais (Minéraux)	Collecteurs
1/ Minéraux à haute flottabilité Naturelle. <ul style="list-style-type: none"> • Minerai de soufre • Minerai de graphite • Minerai de charbon • Talc • Minerai de Molybdène (Molybdénite MoS₂) 	Hydrocarbures Kérosène, produits de pétrole Kérosène, produits de pétrole Kérosène, huiles d'hydrocarbures Kérosène Hydrocarbures liquides
2/ Métaux purs Or (Au), Argent (Ag) cuivre (Cu)	Xanthates
3/ Minerais sulfurés a/ Minerai de cuivre sulfuré <ul style="list-style-type: none"> • Chalcopyrite CuFeS₂ • Chalcosine Cu₂S • Bornite Cu₅FeS₄ • Covelline CuS b/ Minerai de Zinc <ul style="list-style-type: none"> • Galène PbS c/ Minerai de Zinc <ul style="list-style-type: none"> • Blende ZnS d/ Minerai de mercure <ul style="list-style-type: none"> • Cinabre HgS 	Xanthates Xanthates Xanthates Xanthates Xanthates ou aeroflottes Xanthates ou aeroflottes Xanthates ou aeroflottes
4/ Minerais sulfurés oxydés (minerais secondaires) <ul style="list-style-type: none"> • Minerai oxydé de plomb 	Collecteur anionique Acide oléique et ses sels
5/ Minerai de phosphate et Minerai d'apatite Matières chimiques (quartz, kaolin)	Acide oléique et ses sels Collecteurs cationiques (amines)
6/ Minerai de Baryte	Alcylsulfates
7/ Minerai de fer : Hématite (Fe ₂ O ₃), Sidérite entite	Alcylsulfates ou alcylsulfanates
8/ Minerai de Manganèse,	Acide oléique et ses sels

REFERENCES

• **BIBLIOGRAPHIE :**

[1] : P.BLAZIER (1970) la valorisation des minerais, France. Cote : 622.1.BLA.

[2] : GAUDIN (1957) flottation, 2em édition, New York.

[3] : LYNCH et MANLAPIZ minéral and coat flottation circuits. Cote : 622.765.MIN.

[4] : A.SAADA (1993) préconcentration physique du minerai complexe de Pb-Zn de Chaabet El-Hamra Mémoire de magister ENP.

[5] :M.DARCY (1993) Métallurgie du zinc technique d'ingénieur.

[6] :Y.BOULLEKROUCHE (1994) Enrichissement d'un minerai polymétallique cas de gisement de Chaabet El-Hamra

[7] :G.ALTHABE (1993) Métallurgie du plomb technique d'ingénieur

[8] M.OULDHAMOU « cours de Minéralurgie » école nationale polytechnique.

.