

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 de Génie Minier

Mémoire de Master en Génie Minier

Thème

Essai de valorisation par milieu dense puis flottation de
minerais polymétallique de Chaabet El-Hamera

Présenté par :

Mr. TRAHY Abdelouhab

Devant le jury :

Dr M.OULD HAMOU Président

Dr A.AKKAL Examineur

Dr K.DERAMCHI Promotrice

Promotion juin 2014

Dédicaces

Avant de commencer mes dédicace, je suis certain que ce projet de fin d'études est la meilleure chose qui puisse m'arrive durant cette année, j'en suis sûr, même en mi-année, je ne sais pas c'est si une mauvaise année ou pas, étant donné que j'ai perdu mes chères grandes mères, bref je dédie mon projet pour mes deux grandes mères qui elles reposent en paix;

je dédie ainsi ma thèse pour:

- Mes parents, qui ont tout fait pour que j'atteigne ce niveau.
- À mes frères et mes sœurs.
- À mes oncles, à mes tantes.
- À mes cousins et cousines
- pour mes amis, désolé de ne pas pouvoir citer vos noms car vous êtes assez nombreux et que je crains d'oublier quelqu'un, et tous ceux avec qui je partage de gratitude, l'amitié, l'amour et le respect

Abdelouhab

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 je tiens à remercier chaleureusement ma promotrice docteur DERAMCHI Karima qui a assuré la direction scientifique pour la qualité de son encadrement, je suis 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 et d'avoir toujours fait confiance à moi que vous trouvez ici Madame toute mes reconnaissances et ma gratitude.

Un vif remerciement pour le docteur OULD HAMOU Malek pour le grand honneur qu'il nous fait en présidant le jury de notre soutenance ainsi que. Je veux exprimer également mes chaleureuses gratitude pour la présence de Monsieur OULD HAMOU durant quelques manipulations.

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

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

Je 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, Aussi dire Merci aux ingénieurs de la mine Chaabet El-Hamra pour leurs aides aussi pour leurs soutiens durant notre stage à la mine Chaabet El-Hamra.

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 j'ai oublié quelqu'un sans faire attention je lui dis merci.

RESUME

ملخص

يستخدم هذا المعدن الزنك في الصناعات مثل: سبيكة الفولاذ لحماية ضد التآكل، والطاقة والحد من التخزين؛ لأنه له خصائص الكهروكيميائية جيدة وانخفاض درجة حرارة انصهاره، لذلك لا يمكن أن تحل محل المعادن الزنك وبالتالي أهميتها لاستخراج الزنك والمعادن (سفاليراييت) في المصفاة، هدفنا هو إثراء الألغام سفاليراييت بالنسبة للبلدان ذات إيداع الزنك وذلك باستخدام طريقة التعويم لزيادة جودة المنتج النهائي أي المحتوى لتتماشى مع متطلبات السوق. احترام البروتوكول والتعويم لتحقيق هذا الهدف، فمن الضروري أن تختلف المعلومات من التعويم، من أجل تعظيم لهم.

الكلمات الرئيسية

الإثراء - شاكرا الجدول - الجاذبية فصل - التقييم - منجم شعبة الحمراء - خلفيات كثيفة - التعويم - الزنك

Résumé:

Le métal du zinc est très utilisé 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 gisement du zinc .

Notre but est d'enrichir la sphalérite de la mine de CHAABET EL-HAMRA, afin d'extraire le minerais du zinc (blende) dans la gangue, en utilisant la méthode de flottation afin d'augmenter la qualité du produit fini autrement dit la teneur pour qu'il soit conforme aux exigences de marché. En respectant le protocole de la flottation et pour réaliser cet objectif, il est donc nécessaire de faire varier les différents paramètres de la flottation, dans le but de les optimiser.

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

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-HAMRA to extract the minerals zinc (sphalerite) in the matrix, using the flotation method to increase the quality of the finished product, that is to say, the content to conform to market requirements. Respecting the protocol flotation and to achieve this objective, it is necessary to vary the parameters of flotation, in order to optimize them.

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

SOMMAIRE

• Introduction générale.....	1
Généralités sur les méthodes de séparation.....	3
I.1 Procédé de séparation gravimétrique.....	3
• Définitions	3
I.1.1 Méthodes en milieux denses	4
I.2 Méthode de flottation.....	5
I.2.1 Principe et protocole de la flottation :	6
I.2.2 Réactifs de flottation	7
I.2.3 Les exigences aux réactifs de flottation :	9
I.2.4 Paramètres influant sur l'opération de flottation.....	9
I.2.5 Appareils de flottation :.....	10
II. Partie expérimentale.....	14
II.1 Introduction	14
II.2 Préparation de minerai.....	14
II.3 Séparation par milieu dense.....	14
II.3.1 Rappel :	14
II.3.2 Préparation de la pseudo-solution (ferrosilicium) :.....	14
II.3.3 Essai par milieu dense	15
II.4 Flottation :.....	15
II.4.1 Rappel sur la théorie de flottation	15
II.4.2 Préparation des échantillons:.....	15
II.4.3 Mode opératoire	16
II.4.4 Paramètres étudiés :.....	17
Conclusion générale.....	21
Bibliographie.....	22

LISTE DE TABLEAU

Tableau II-1 : La récupération et rendement obtenu durant l'essai de milieu dense en fonction de la granulométrie.....	15
Tableau II-2 : Les réactifs utilisés dans les essais de flottation et pour le conditionnement de temps de raclage on le fixe à 3 minutes comme on abouti dans le mémoire d'ingénieur 17	17
Tableau II-3 : Le concentré obtenu après l'essai principale et de contrôle en fonction de la granulométrie de refus de 1,5 mm après le broyage à une dimension inférieur à 100 μm	18
Tableau II-4 : Le concentré obtenu après l'essai principale et de contrôle en fonction de la granulométrie de refus de 1 mm après le broyage à une dimension inférieur à 100 μm	18
Tableau II-5 : Le concentré obtenu après l'essai principale et de contrôle en fonction de la granulométrie de refus de 800 μm après le broyage à une dimension inférieur à 100 μm	18
Tableau II-6 : Le concentré obtenu après l'essai principale et de contrôle en fonction de la granulométrie de passant 800 μm après le broyage à une dimension inférieur à 100 μm	19
Tableau II-7 : Variation de la densité et de rendement pondéral total en fonction	19

LISTE DE FIGURE

Figure I:1 : Schéma de séparation	3
Figure I:2 : Schéma représentatif de l'action du collecteur.....	7
Figure I:3: Schéma de cellule de flottation	11
Figure I:4 : Schéma de colonne de flottation	12
Figure II:1: Cellule de flottation.....	16
Figure II:2 : La densité du concentré total en fonction en fonction de la granulométrie après le broyage	20

INTRODUCTION GENERALE

- Introduction générale

Le zinc est relativement abondant dans la nature ou on le trouve sous forme de sulfure appelée blende mais il existe sous forme d'autres minerais tels que la calamine. Les minerais sulfurés à base de ZnS dont la teneur en zinc est faible de 2 à 12% constituent la matière première de la métallurgie du zinc. Ils subissent un traitement d'enrichissement par flottation avant leur utilisation et constitue la première opération de préparation du minerai pour l'élaboration du zinc. Une des difficultés pour l'industrie d'extraction est la disposition du fer dans le concentré du zinc et qui constitue un facteur dans le bas rétablissement global de zinc. Les sulfures de zinc renferment des quantités de fer où même les concentrateurs dans les opérations d'enrichissement les plus efficaces produisent généralement un concentré de zinc avec une teneur significative de fer. Les concentrés conventionnels de zinc contiennent typiquement 5-10 % de fer. Les résidus de fer constitue une partie intégrale de la conception des raffineries de zinc Le rétablissement du zinc des concentrés de zinc exige le rejet du résidu de fer sous une forme qui réduit au minimum l'entraînement de zinc. Nous savons, que la plupart des minerais métallifères se composent le plus souvent de substances utiles, de gangue et souvent de substances nuisibles. Dans le marché, les produits répondent à un certain nombre de critères de qualité exigée par les utilisateurs. D'une manière générale, ces critères sont liés aux propriétés physiques et chimiques de la substance minérale considérée, tels que : le degré de pureté, la nature et la teneur des impuretés, la forme et les dimensions des grains, il faut que le produit fini ou semi-fini réponde à ces critères. Sa valeur marchande est fixée par le cours du marché et jugé selon le degré de réponse à ces critères.

Ce travail de mémoire a fait l'objet d'un stage pratique effectué au sein de mine Chaabet El-Hamra, la laverie Kharzet youcef et pour nos essais de flottation ont été effectués au sein de laboratoire de Minéralurgie de département génie minier, afin de traiter le minerai polymétallique de la mine Chabbet El-Hamra pour augmenter la teneur de la blende. Et pour être rentable il faut produire mieux et plus pour atteindre les objectifs avec le meilleur rendement. Notre travail est subdivisé en quatre chapitre dans:

Le premier chapitre décrira les méthodes de valorisation, en citant les procédés de séparation par gravimétrie (cas méthode de milieu dense) et méthode de flottation (enrichissement en premier lieu du minerai tout-venant par flottation).

En terminant avec le chapitre II, en commençant par la séparation par milieu dense puis la flottation, une présentation des résultats et des discussions de ces résultats. Enfin nous terminerons ce mémoire par une conclusion.

**CHAPITRE I : GENERALITE SUR LES
METHODES DE SEPARATION**

Généralités sur les méthodes de séparation

- **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 I.1 illustre les deux principaux flux résultant de la séparation minéralurgique d'un minerai brut.

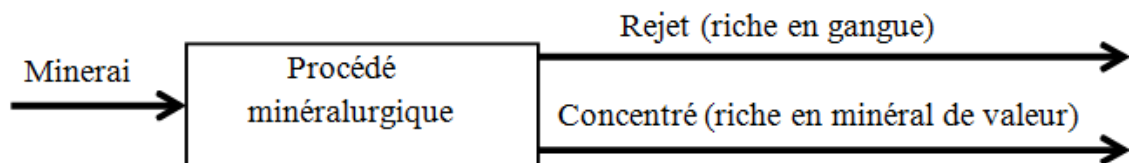


Figure I:1 : Schéma de séparation

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, 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.

I.1 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).

Toutefois, 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,

Généralités sur les méthodes de séparation

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.

I.1.1 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.

Parmi les milieux existant on cite :

- Liqueur dense: C'est une solution de densité définie et fixe, obtenue dans des conditions spécifiques de température et de pression. Le plus souvent, les liqueurs denses sont des composés organiques de faible viscosité. On pourra citer comme exemple de liqueurs le bromoforme (densité=2,89), le polytungstate de sodium (d=3,1), le liquide de Thoulet (d = 3,19), l'iode de méthylène (d=3,33) . Ce procédé est parfois employé en préconcentration des minerais avant le broyage final et intervient fréquemment dans le lavage du charbon. On fait appel pour certaines

Généralités sur les méthodes de séparation

applications à des liquides organiques lourds, comme le tétrabromoéthane, dont la densité relative est de 2,96; à l'échelle industrielle, on emploie en général des suspensions de solides fins, qui se comportent comme des fluides newtoniens.

- Pseudo-solution: est préparée à base d'eau et d'une substance minérale finement broyée à un diamètre tel que les particules en suspension dans l'eau auront une vitesse de chute négligeable. Le minéral choisi pour ce faire est généralement ferreux (pyrite, ferrosilicium) pour en faciliter le recyclage par le biais d'une séparation magnétique.
- Les solutions de sels qui sont des solutions aqueuses de chlorures de calcium, de baryum, de zinc..., parmi lesquels seul le chlorure de calcium est utilisé à l'échelle industrielle, pour la valorisation du charbon.

Dans le cas du ferrosilicium, qui est un eutectique de fer et de silicium, on devra maintenir le pourcentage de silicium aux environs de 15 à 15,5% ; au-dessous de ce pourcentage, le fer se corrode dans l'eau et au-dessus, ses propriétés magnétiques diminuent et rendent difficile sa récupération par séparation magnétique. On pourra utiliser d'autres matériaux que le ferrosilicium pour la confection d'une pseudo-solution, comme le sable de carrière, l'orthose ou la galène. Le solide choisi devra alors remplir certains critères, dans le but de ne pas entraver le bon déroulement de l'extraction :

Etre suffisamment dur de façon à ne pas se surbroyer et se transformer en schlamms en conditions opératoires :

- Etre chimiquement stable dans l'eau et ne pas réagir au contact du minerai à traiter ;
- Posséder une densité spécifique suffisamment importante pour fournir à la pseudo-solution la densité nécessaire en étant présent à moins de 35% en volume ;
- Etre facilement récupérable et nettoyable.

Les solutions de sels qui sont des solutions aqueuses de chlorures de calcium, de baryum, de zinc..., parmi lesquels seul le chlorure de calcium est utilisé à l'échelle industrielle, pour la valorisation du charbon.

Cette méthode de séparation se montre très efficace pour des différences de densité allant jusqu'à $\Delta\rho = 0.1$, voire 0.05 pour certains types de minerais et/ou d'appareillages. Concernant le médium utilisé, certaines conditions sont néanmoins exigées, notamment sur sa viscosité, qui ne doit pas être trop élevée sous peine de gêner l'évolution des particules qui s'y déplacent, ni trop faible car elle risquerait d'influer sur sa stabilité et transformerait la solution en un simple fluide newtonien.

I.2 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.

I.2.1 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 devenues 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 certains 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;

Généralités sur les méthodes de séparation

- 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.

I.2.2 Réactifs de flottation

I.2.2.1 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 I.2.

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.

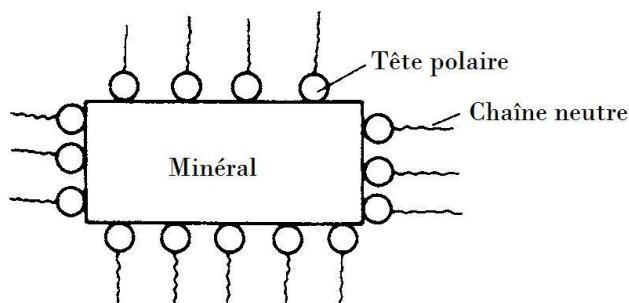


Figure I:2 : Schéma représentatif de l'action du collecteur

I.2.2.2 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.

I.2.2.3 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.

I.2.2.4 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 co-adsorption 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.

Généralités sur les méthodes de séparation

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.

I.2.2.5 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.

I.2.3 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.

I.2.4 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'adéquation, (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.

I.2.5 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.

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 I.2). 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.

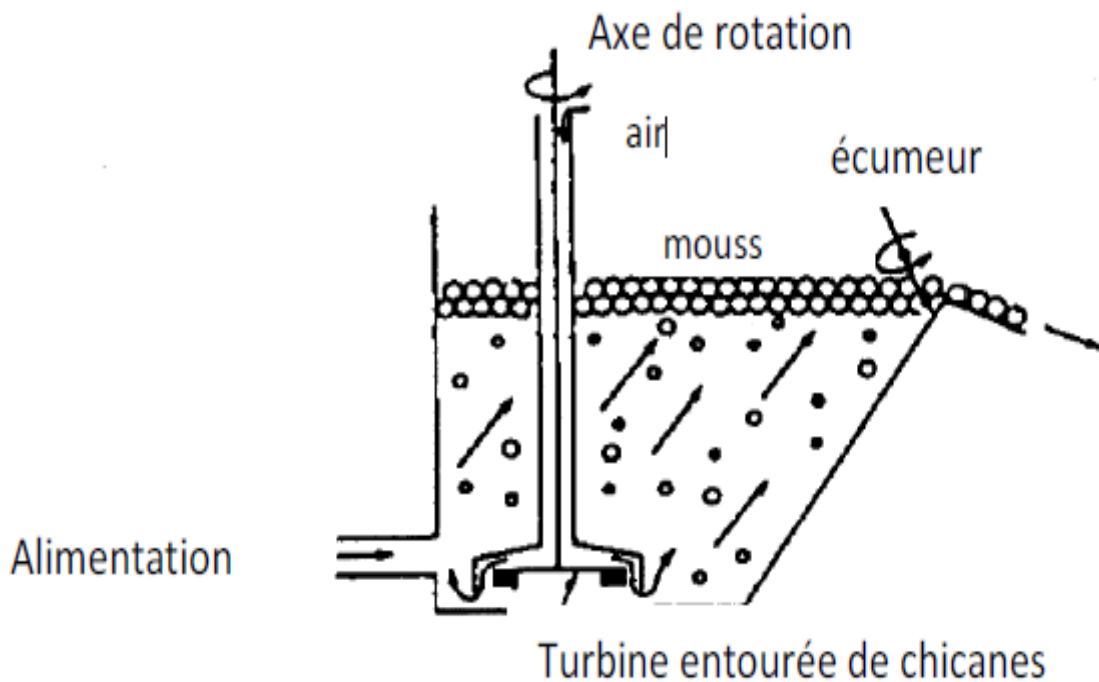


Figure I:3: Schéma de cellule de flottation

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. La figure I.4 représente une coupe transversale d'une colonne de flottation :

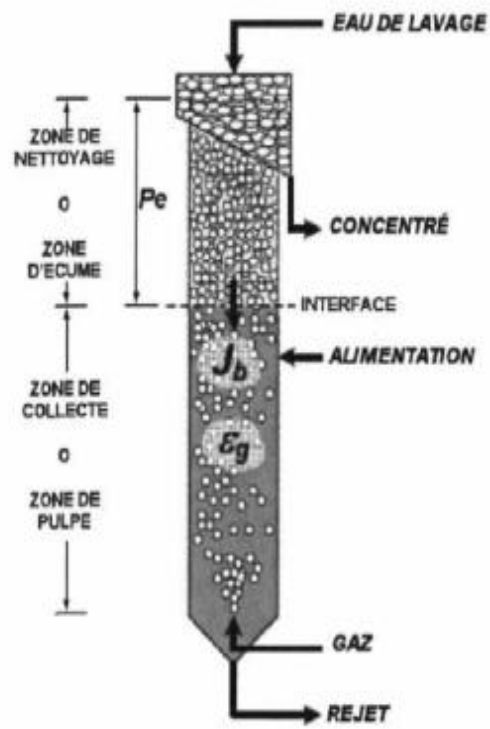


Figure I:4 : Schéma de colonne de flottation

CHAPITRE II : PARTIE EXPERIMENTALE

II. Partie expérimentale

II.1 Introduction

Cette partie consiste à traiter le tout-venant (la gangue) de zinc ramené des différents quartiers de la mine de Chabet El-Hamra, commençant par la préparation mécanique, analyse granulométrique, le broyage, et enfin la séparation de zinc par flottation afin d'avoir un produit fini qui répond aux exigences de marche.

II.2 Préparation de minerai

Cette étape est réalisée après concassage, broyage, tamisage et échantillonnage.

II.3 Séparation par milieu dense

II.3.1 Rappel :

C'est une méthode qui 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.3.2 Préparation de la pseudo-solution (ferrosilicium) :

Pour ce faire, on doit chercher le rapport de liquide/ solide (pulpe)

On a la densité de ferrosilicium = 7

Densité d'eau = 1

$$7.X + 1.Y = 3 \quad \text{Équation 1 où X est le}$$

rapport d'eau et Y la rapport en ferrosilicium

$$X + Y = 1$$

Donc : $X = 1 - Y$, on la remplaçant dans l'équation 1

On trouve : $7 - 7.Y + Y = 3$

Implique $Y = 0,66$ et $X = 0,34$

Donc pour préparer notre pulpe on doit avoir une quantité de 34% en Ferrosilicium et 66 % en eau, après avoir préparé la pulpe, on passe à l'agitation de la pulpe d'une durée de deux heures

II.3.3 Essai par milieu dense

L'issue de concassage, broyage, tamisage et échantillonnage, on pèse 100g du minerai, sachant que l'essai est pour 4 variantes de granulométrie : de refus de 1,5 mm, refus de 1mm, refus 800 μm et le passant de 800 μm . puis on verse 100g du minerai dans la pseudo-solution, on attend 5 minutes pour que la séparation s'effectue, sachant que la blende qui a une densité supérieure par rapport au rejet de la gangue (pyrite etc....) donc la blende va plonger et les refus seront flotter car leur densité est inférieure à celle de la pulpe (ferrosilicium) les résultats sont :

La dimension du minerai	Poids	Rendement pondérale
Refus de 1,5mm	22	22%
Refus de 1mm	19	19%
Refus de 800 μm	16	16%
Passant de 800 μm	12	12%

Tableau II-1 : La récupération et rendement obtenu durant l'essai de milieu dense en fonction de la granulométrie

Interprétation : on remarque que la récupération diminue en fonction de la diminution de la granulométrie, donc la relation est proportionnelle.

II.4 Flottation :

II.4.1 Rappel sur la théorie de 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 gravité, particulièrement elle permet des taux de récupération élevés pour de faibles teneurs.

II.4.2 Préparation des échantillons:

Comme vous avez remarqué pour réaliser 250 g du minerai à l'issue de l'étape de milieu dense est vraiment difficile car la récupération est vraiment faible, et vu la contrainte du temps on va refaire les essais de milieu dense uniquement 10 fois pour avoir au moins 100 g du minerai, puis on passe au broyage pour avoir une dimension inférieure à 100 μm , et étant donné que on a pas 250 g, donc on doit laisser le rapport de la pulpe stable pour respecter les résultats obtenus au paravent (laverie de Kharzet Youcef) comme on a fait dans l'étude précédente (mémoire d'ingénieur) donc on verse cette fois que 300ml en eau.

II.4.3 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 25%. A chaque essai on pèse 100 g de minerais pour 300ml 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.

La cellule de flottation est de type Denver D12, elle est composée de :

- Une cuve de forme parallélépipédique.
- Un agitateur.
- Un dispositif pour l'injection de l'air.
- Une raclette.
- Un bac pour la récupération des mousses chargés des particules.



Figure II:1: Cellule de flottation

- **Mode opératoire**

Après avoir pesé 100g du minerai, et de verser 300ml d'eau distillé, à ce stade nous avons préparé notre pulpe de contenant 25% en solide.

- Flottation principale :

On va respecter le mode opératoire 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 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 5 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'amyloxanthate, 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).

➤ 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) 250 g/t
Collecteur	Amyloxanthate 200g/t
Moussant	Huile de pain

Tableau II-2 : Les réactifs utilisés dans les essais de flottation et pour le conditionnement de temps de raclage on le fixe à 3 minutes comme on abouti dans le mémoire d'ingénieur

II.4.4 Paramètres étudiés :

Les essais de flottations comprennent plusieurs paramètres qui peuvent influencer sur la récupération du concentré ou bien du produit de la cellule et d'avoir une teneur plus élevée d'où l'objectif de cette méthode, le contexte de notre travail est d'enrichir notre minerais après l'étape de milieu dense flottation, comme nous avons fixe la majorité des paramètre dans le moire d'ingénieur donc ici on s'intéresse uniquement de trouver quels est la granulométrie la plus riche

Produits	Poids (g)	Rendement pondérale (%)
C ₁	15	15
C ₂	4,7	4,7
Total	19,7	19,7

Tableau II-3 : Le concentré obtenu après l'essai principal et de contrôle en fonction de la granulométrie de refus de 1,5 mm après le broyage à une dimension inférieur à 100 µm

Produits	Poids (g)	Rendement pondérale (%)
C ₁	16,3	16,3
C ₂	4,1	4,1
Total	20,4	20,4

Tableau II-4 : Le concentré obtenu après l'essai principal et de contrôle en fonction de la granulométrie de refus de 1 mm après le broyage à une dimension inférieur à 100 µm

Produits	Poids (g)	Rendement pondérale (%)
C ₁	17,9	17,9
C ₂	5,2	5,2
Total	23,1	23,1

Tableau II-5 : Le concentré obtenu après l'essai principal et de contrôle en fonction de la granulométrie de refus de 800 µm après le broyage à une dimension inférieur à 100 µm

Produits	Poids (g)	Rendement pondérale (%)
C ₁	19,2	19,2
C ₂	5,5	5,5
Total	24,7	24,7

Tableau II-6 : Le concentré obtenu après l'essai principal et de contrôle en fonction de la granulométrie de passant 800µm après le broyage à une dimension inférieure à 100 µm

• **Interprétation :**

on remarque que : a chaque fois que la dimension diminue on a une meilleur récupération, pour les deux essais c'est à dire pour l'essai principale et l'essai de contrôle, car a chaque fois la maille de délibération diminue cela implique que le minerais utile (blende) est libère

Produits	la dimension du minerai utilise dans le milieu dense avant le broyage à inférieure à 100 µm	Refus 1,5 mm	Refus 1 mm	Refus 800µm	Passant 800µm
C ₁ +C ₂	Densité (g/ml)	3,82	3,85	3,86	4,1
	Rendement pondérale (%)	19,7	20,4	23,1	24,7

Tableau II-7 : Variation de la densité et de rendement pondéral total en fonction

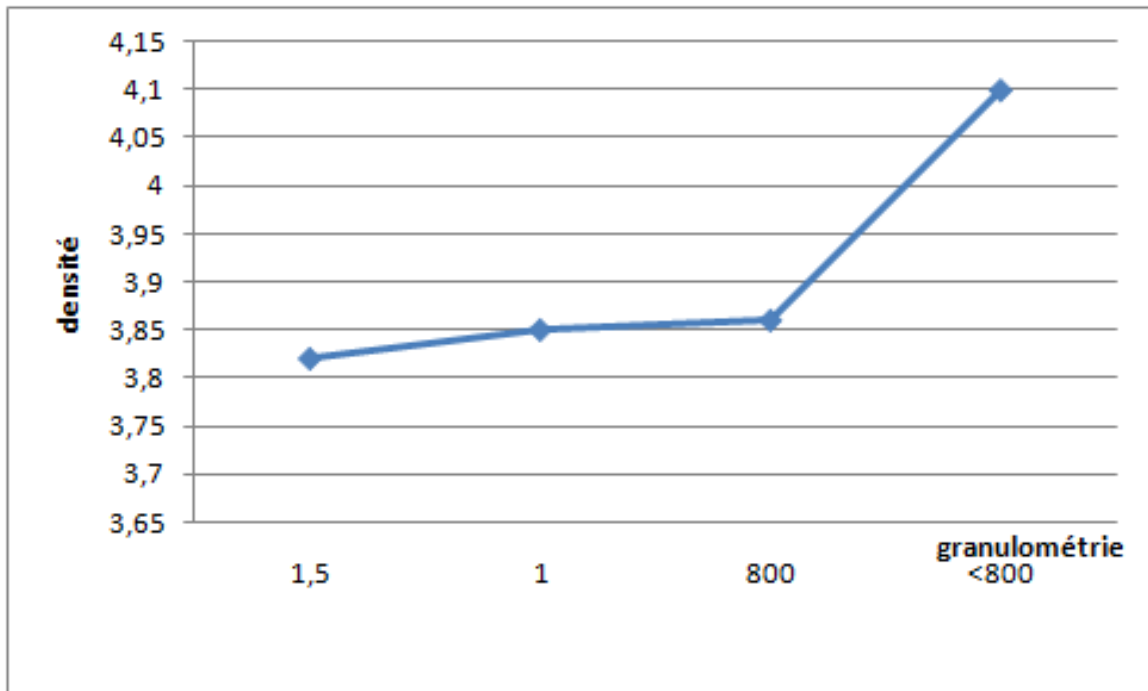


Figure II:2 : La densité du concentré total en fonction de la granulométrie après le broyage

- **Interprétation**

On remarque que la densité augmente avec la diminution de la granulométrie

Conclusion générale

L'issue de notre travail effectué au niveau du laboratoire Minéralurgie (au département génie minier), nous avons conclu des conclusions sur la séparation de milieu dense du zinc puis par le procédé de flottation:

- ✓ La préparation mécanique est une phase précoce, elle est très importante pour pouvoir enrichir le minerais de zinc ainsi pour les autres minerais. Dans notre cas c'est à dire que l'échantillon on été prélève dans des quartiers différentes , donc l'échantillonnage doit être faite, mais même si l'échantillon été prélève dans la même zone on doit passe encore par l'échantillonnage afin d'avoir un échantillon représentatif; il est bien a note que les échantillons possèdent que quelques caractéristiques semblables, ce dernier est aussi un petit soucis d'où la difficulté de trouver un seul et même type de concasseur qui sera approprié pour tous les gisements.
- ✓ La séparation par milieu dense donne des résultats très satisfaisants
- ✓ La flottation est le procédé le plus opérant et qui nous a permit d'avoir un meilleur taux récupération du zinc cela après la séparation par milieu dense.

Bibliographie

- 1] Pierre Blazy, El AidJdid, Flottation Mécanisme et réactif, Technique de l'ingénieur Page J 3350.
- [2]. Del Villar R., *Minéralurgie (GMN-18919)*, Québec : Université Laval, 2005.
- [3] Blazy P., Joussemet R., "Classification par gravité", *Techniques de l'Ingénieur*, 2005
- [4] Gosselin A., Blackburn D. et Bergeron M., *Protocole d'évaluation de la traitabilité des sédiments, des sols et des boues à l'aide des technologies minéralurgiques*. Sainte-Foy, 1999.
- [5] Wills N. A., Napier-Munn T.J., Wills "Mineral processing technology" ed. *Elsevier*, 2008
- [6] : Horace Havre « préparation mécanique et concentration des minerais par flottation et sur liqueurs denses » ,2éme édition, Paris et Liège 1952
- [7] M.OULDHAMOU « cours de Minéralurgie » école nationale polytechnique.
- [8] Del Villar R., *Compléments de minéralurgie (GMN-7008)*, Québec : Université Laval, 2010.