

FACULTÉ SCIENCES DE LA TERRE.

DEPARTEMENT DES MINES.

1^{ème} ANNEE MASTER VALORISATION DES RESSOURCES MINERALES.

MODULE : TP FLOTTATION

INTRODUCTION

La croissance industrielle durant le XX^e siècle a nécessité des quantités considérables de métaux et, de ce fait, la mise en œuvre de procédés compatibles avec le traitement de masses rocheuses énormes s'est rapidement fait sentir. En effet, les gisements découverts, présentant des minéralisations fines et dispersées, ont rendu les méthodes d'enrichissement basées sur l'exploitation des propriétés massiques des minéraux difficilement applicables. Dans ce cadre, la flottation est l'une des méthodes de séparation qui ont le plus apporté leurs preuves. En effet, ce procédé permet de séparer les solides entre eux, en mettant à profit les différences existant entre leurs propriétés superficielles dans une solution aqueuse et en présence d'air. Plus tard, la flottation a été appliquée à la séparation solide-liquide (flottation de précipité) et à l'extraction d'ions en solution (flottation ionique)

Qu'est-ce que la flottation ?

La flottation est une technique de séparation basée sur des différences d'affinité pour l'eau des matériaux à séparer. Elle est utilisée en minéralurgie pour séparer des minéraux entre eux et dans le traitement des eaux usées pour éliminer les graisses.

PRINCIPE

Le principe de la flottation des minerais est le suivant : les particules solides sont mises en suspension par agitation dans de l'eau après qu'un broyage en milieu humide, plus ou moins poussé, ait libéré de la gangue l'espèce minérale valorisable. Ce mélange solide-eau (ou pulpe) est conditionné avec un réactif chimique (ou collecteur), dont le rôle est de rendre hydrophobe la surface du minéral à flotter, afin de lui conférer une affinité plus grande pour la phase gazeuse que pour la phase liquide.

On obtient une action sélective du collecteur en faisant appel à des modificateurs (les déprimants – ou dépresseurs – et les activants), qui modifient son affinité pour certaines surfaces minérales.

Il s'agit alors du procédé de flottation différentielle, permettant par exemple la séparation des sulfures, des oxydes, des silicates, des sels, etc...

La pulpe ainsi conditionnée est introduite dans des réacteurs munis d'agitateurs aérés (cellules de flottation) ou d'injecteurs d'air (colonne de flottation) ou encore d'électrodes (électroflottation) générant des bulles d'air et les dispersant. Les particules rendues hydrophobes se fixent à la surface des bulles qui constituent un vecteur de transport grâce à leur mouvement ascensionnel vers la surface libre de la pulpe. On obtient ainsi une mousse surnageante

chargée en solides, appelée écume. La taille des bulles (et en cela l'interface liquide-air) et la durée de vie de la mousse sont modulées par l'addition d'un moussant. Le liquide entraîné est drainé par gravité à l'intérieur même de la mousse, laquelle est recueillie par débordement. On peut ainsi définir le processus de flottation par la succession des opérations élémentaires suivantes :

- Conditionnement de la surface des solides par des modificateurs de l'adsorption du collecteur.
- Adsorption du collecteur sur la surface d'un solide bien déterminé.
- Contact entre les particules solides et les bulles d'air.
- Transport de l'ensemble bulles-particules vers la surface de la pulpe.
- Formation et récupération de l'écume.

COLLECTEUR : Est un agent tensioactif. C'est une molécule organique constituée par au moins une chaîne hydrocarbonée et une tête polaire, qui peut comporter un ou plusieurs groupes salifiant facilement ionisables. Selon que la charge de la tête polaire, après dissociation dans l'eau, est négative ou positive, le collecteur est anionique ou cationique. Le caractère tensioactif est conféré par l'affinité de la chaîne pour la phase gazeuse, et de la tête polaire pour la phase liquide. La molécule tensioactive est donc orientée à l'interface air-eau. Pour les sulfures, les agents tensioactifs les plus utilisés appartiennent à la famille des thiols, ce sont principalement les alkyl-dithio-carbonates et les alkyl-dithio-phosphates. Pour les oxydes, les silicates et les sels, les surfactants les plus employés sont les acides gras, les amines et leurs sels, les alkyl-sulfates et alkyl-sulfonâtes. Les moussants sont aussi des tensioactifs dont la constitution rappelle celle des collecteurs, puisque ce sont aussi des molécules organiques hétéro-polaires appartenant principalement aux familles des alcools et des polyéthers, mais qui ne s'adsorbent pas ou s'adsorbent peu sur les surfaces minérales. D'ailleurs, tous les collecteurs présentent plus ou moins des propriétés moussantes.

MOUSSANT : Le moussant est caractérisé par son triple rôle :

- Création d'interfaces importantes
- Faciliter la fixation des particules
- Donner une écume stable

On choisit le moussant selon cinq principaux critères. Ainsi, il doit absolument (autant que faire se peut) :

- Présenter une bonne action à faible concentration
- Etre facilement abattu à la sortie des cellules
- Avoir de faibles propriétés en tant que collecteur
- Etre peu sensible aux variations de pH
- Etre bon marché

Comment ça marche ?

PREPARATION DE LA PULPE

Avant de commencer l'opération de flottation, il est nécessaire d'avoir une pulpe préalablement préparée, dans le but d'avoir le meilleur rendement possible. Ainsi, la pulpe doit répondre à quatre conditions principales :

•**Atteindre une bonne libération des particules, par broyage:** Le degré de broyage est régi par des considérations minéralurgiques et économiques. Il faudra également éviter un sur-broyage, ou procéder dans certains cas à un deschlammage des ultrafines responsables du phénomène d'adagulation, qui est le recouvrement des particules minérales par ces ultrafines.

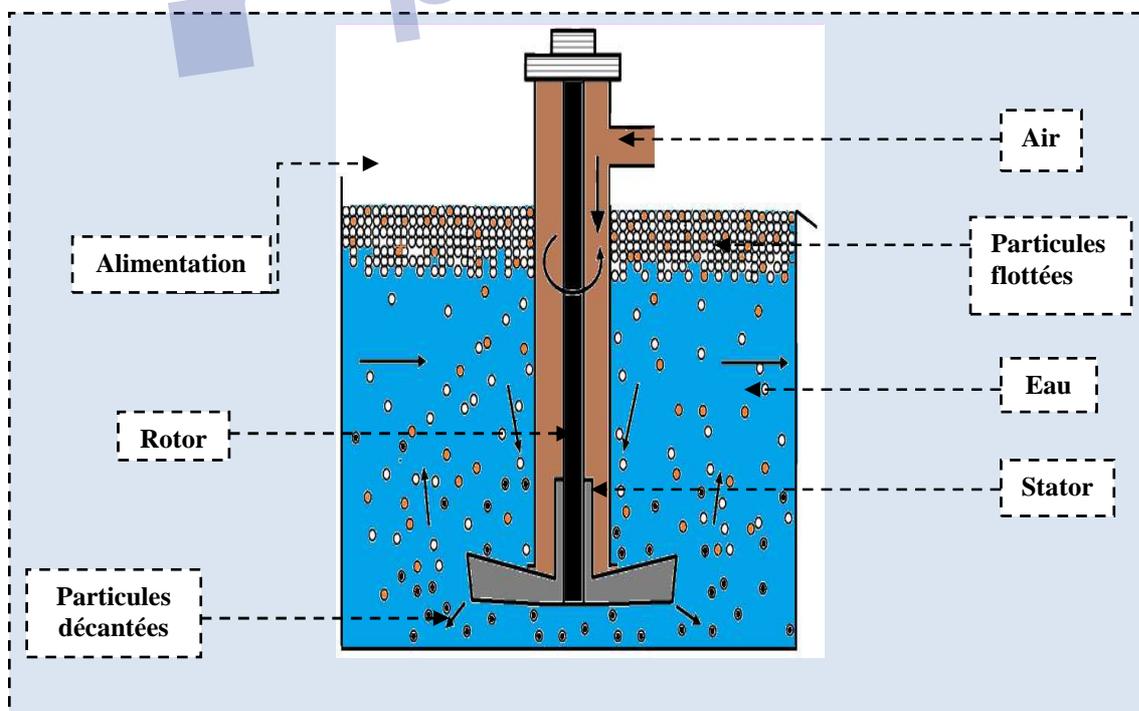
•**Travailler avec des particules de granulométrie adéquate:** Les particules solides sont entraînées par des bulles de diamètre compris entre 0.1 et 1 mm, il faut donc qu'elles soient assez fines, sans l'être trop pour éviter les schlamms (le diamètre des particules est donc généralement inférieur à 300 μm)

•**Assurer le bon conditionnement de la pulpe avec les réactifs:** On utilisera ainsi des réacteurs à agitateur mécanique (conditionneurs).

•**Avoir de l'eau de bonne qualité, en quantité suffisante, et une température adéquate de la pulpe:** La quantité d'eau varie généralement de 2 à 6 tonnes pour 1 tonne de minerai et parfois, il est même nécessaire d'ajouter 1 à 2 tonnes supplémentaires. Quant à la température de la pulpe, elle est ambiante, dans la plupart des cas, mais parfois, un chauffage s'avère utile.

APPAREILLAGE DE FLOTTATION (CELLULES DE FLOTTATION)

Ce sont des machines à agitation mécanique, assurée par un ensemble rotor-stator. Elles sont constituées de cuves parallélépipédiques ou cylindriques, dans la plupart des cas. L'air est introduit dans la cellule par l'axe creux du rotor, par un tube extérieur à l'axe ou par un système de tuyauterie sous le rotor. La pulpe est introduite latéralement dans la cellule, les mousses sont récupérées soit par débordement, soit mécaniquement par des pales tournantes.



Cellule mécanique de flottation « Denver ».

CRITERES D'EVALUATION DES RESULTATS DE FLOTTATION

Les principaux critères d'évaluation de la performance d'une opération de flottation que nous avons retenus sont : le rendement de récupération du métal utile, le rendement pondéral du concentré, le taux de concentration de métal utile.

Rendement pondéral du concentré

C'est le rapport exprimé en pourcentage du poids du concentré au poids de l'alimentation. Pour une bonne opération de flottation, le rendement pondéral du concentré doit être le plus bas possible. Ce rendement est donné par la relation suivante :

$$\gamma = Q_c/Q_a * 100 = (\alpha - \theta) / (\beta - \theta) * 100 \dots \dots \dots (1)$$

Avec γ : rendement pondéral du concentré.

Rendement de récupération du métal

C'est le rapport en pourcentage du poids de métal contenu dans le concentré au poids de métal contenu dans l'alimentation. Le rendement de récupération doit être le plus élevé possible pour minimiser les pertes de métal dans les rejets.

Le rendement de récupération ζ du métal est donné par :

$$\zeta = (Q_c * \beta / Q_a * \alpha) * 100 = \beta (\alpha - \theta) / \alpha (\beta - \theta) * 100 \dots \dots \dots (2)$$

Avec ; α : Teneur du métal dans l'alimentation;
 Q_a : Masse du minerai à flotter ;
 β : Teneur du métal dans le concentré ;
 Q_c : Masse du concentré ;
 θ : Teneur du métal dans le rejet.

Taux de concentration

C'est le rapport de la teneur du métal dans le concentré sur la teneur du métal dans l'alimentation. La flottation est d'autant meilleure lorsqu'au bout du compte, on obtient un concentré dont le taux de concentration de l'élément utile est plus élevé. Le taux de concentration est donné par l'expression :

$$T_c = \beta / \alpha \dots \dots \dots (3)$$

Avec : T_c : taux de concentration

PROCEDURE EXPERIMENTALE STANDARD

1. Préparer des solutions des différents réactifs de flottation selon les besoins.
2. Placer une quantité (1,3 kg) de minerai dans le broyeur à barres du laboratoire.
 - Ajouter de l'eau pour obtenir une pulpe à 80% solides.
 - Ajouter les réactifs de flottation appropriés (collecteur, activant) à cette étape-ci.

3. Broyer le minerai pendant 25 min selon la granulométrie désirée.
4. Pendant cette période, préparer et peser les plats servant à recevoir les échantillons de concentré.
5. Nettoyer le broyeur et les barres ou les boulets en faisant attention de bien récupérer tout le minerai. Il est important de minimiser l'ajout d'eau lors du lavage.
6. Verser la pulpe résultant du broyage dans la cellule de flottation; descendre l'agitateur à la position de fonctionnement et ajouter de l'eau jusqu'au niveau désiré.
7. Ajuster le pH de la pulpe dans la cuve selon le cas (à 10,2-10,5) avec la solution nécessaire (régulateurs du milieu).
8. Mettre en marche l'agitateur avec *l'entrée d'air fermée* et agiter pendant 5 minutes (selon le cas).
9. Ajouter le volume de collecteur (solution mère) correspondant au dosage désiré ;
 - ajouter le volume ou la masse de déprimant (si pertinent) correspondant au dosage désiré ;
 - ajouter le volume ou la masse de moussant (si pertinent) correspondant au dosage désiré.
10. Agiter (conditionner) pendant selon le cas (5 minutes).
11. Ouvrir le robinet d'entrée d'air en contrôlant le débit (valeur suggérée: 50% de l'échelle).
 - Contrôler le pH si nécessaire tout au long de la flottation.
 - Récupérer la mousse avec solides en la poussant au moyen d'une spatule (raclette) hors de la cellule et dans les plats préparés pendant environ 1 min.
 - Retirer rapidement le plat et remplacer-le par un autre.
 - Continuer la cueillette de concentré pour une autre période de 2 min Répéter la procédure pour des périodes supplémentaires de 4-4-8 min.
 - Arrêter l'entrée d'air à la fin de la dernière cueillette.
12. Filtrer la pulpe restante dans la cuve (rejets de la flottation) tout en gardant le liquide.
 - Peser le solide humide.
 - Prélever un échantillon. Péser-le.
13. Filtrer les concentrés recueillis et l'échantillon des rejets.
 - Sécher les solides au four à 120°C.
14. Remettre dans la cellule les solides restantes de l'étape 12 ainsi que le liquide mis de côté.

- Compléter avec de l'eau au niveau requis et ajuster le pH à 11 selon le cas avec les solutions nécessaires afin de procéder à la deuxième étape de flottation (flottation de zinc).

15. Ajouter la masse requise d'activant et/ou de déprimant pour le zinc.

- Agiter (sans entrée d'air) pendant x min (temps de conditionnement) selon le cas.

- Remarquer qu'il peut être nécessaire d'ajouter plus de moussant si l'écume n'est pas adéquate.

16. Procéder ensuite comme indiqué au point 11 en flottant cette fois-ci jusqu'à ce que la mousse ne porte plus de minéral ou qu'elle change de teinte (pas de cueillettes chronométrés). Noter le temps total de flottation

17. Filtrer le concentré flotté et le contenu de la cellule (rejets).

- Sécher les solides au four (120°C).

18. Préparer des échantillons des produits recueillis ainsi qu'un échantillon d'alimentation pour l'analyse chimique.

(*) Il est plus facile de retirer la mousse lorsque le niveau de pulpe est plutôt élevé. Ajouter de l'eau dans la cuve au besoin. Éviter cependant d'en mettre trop et que la mousse déborde seule.

Interprétation des résultats et discussion

1. Compiler les données dans des tableaux adéquats, en prenant soin de noter dans chaque tableau les quantités de réactifs ajoutés, le temps de flottation, l'évolution éventuelle du pH ainsi que les observations visuelles faites en cours d'essai.

2. Pour chaque étape de flottation, on calculera le rendement massique (solides) et le rendement minéral. Remarque 1 : toute teneur du sulfure peut être transformée en teneur du métal contenu en tenant compte de la formule du composé chimique.

Remarque 2 : avant calculer les rendements, on fera une réconciliation des données d'analyses chimiques par bilan de matière.

3. Avec les données de la cueillette chronométrée de concentrés (dûment réconciliées), vous devrez calculer la **courbe du rendement cumulé vs temps de flottation**, et la **courbe du rendement cumulé vs teneur cumulée**.

Quelle serait le temps optimal de flottation de minerai (chalcopryrite)

4. Calculer la constante cinétique de flottation de la chalcopryrite à partir d'un graphique ayant en abscisses le temps de flottation et en ordonnées $\ln(100-R)/100$ où R est la récupération cumulée de minerai (chalcopryrite).

Discuter sur la linéarité du graphique $\ln(100-R)/100$ vs temps t .

TP 01. ENRICHISSEMENT DU MINERAL DE PHOSPHATE CARBONATÉ DE BLED EL HADBA PAR FLOTTATION

Les méthodes de traitement par flottation sont basées soit sur la flottation directe du phosphate avec dépression de la gangue carbonatée, soit sur la flottation inverse qui consiste à flotter les carbonates par un collecteur conventionnel, et à déprimer les particules phosphatées.

L'objectif principal de cette étude est de déterminer l'influence des principales variables opératoires sur l'efficacité de séparer les carbonates des éléments phosphatés. On s'est particulièrement intéressé à l'influence de certains réactifs (acide oléique, silicate de sodium et carbonate de sodium) sur les rendements de séparation du système phosphate –carbonate, fondée sur la dépression des carbonates et la flottation des minéraux phosphatés.

L'étude a été menée pour une série d'échantillons provenant des trois couches (sommitale, principale et basale) constituant le faisceau phosphaté de Bled El Hadba. Elle permettra, d'une part, de tester les rendements de la flottation directe des minerais de phosphate carbonatés, de manière à optimiser les quantités des réactifs et identifier les collecteurs les plus appropriés et d'autre part, valoriser les réserves considérables (800 Mt) de ces minerais qui devraient être nécessairement exploités dans l'avenir par l'entreprise

➤ Préparation mécanique des échantillons

Les échantillons étudiés ont été prélevés par tranchées, répartis en trois couches principales en fonction de la structure du gisement (sommitale, principale et basale).

Le tout-venant est soumis à un concassage jusqu'à 2 mm, une homogénéisation et une série de quartage jusqu'à l'obtention d'un échantillon représentatif. Le produit ainsi obtenu est tamisé sur une série tamis vibrants de dimensions de maille 1, 0,315 et 0,1 mm. Les fractions grossières (> 1 mm) et fines (< 0,1 mm) étaient riches en matières siliceuses et dolomitiques. Elles sont alors considérées des rejets stériles.

La fraction -0.315+0.100 millimètres a été employée comme alimentation pour le processus de flottaison

➤ Les réactifs de flottation du minerai de phosphate

- L'acide oléique a été employé comme collecteur et silicate de sodium comme déprimeur de silice.
- Le collecteur a été utilisé comme mélange d'acide oléique et fioul (rapport de 1:1) tandis que du silicate de sodium était employé en tant que déprimeur de silice à 10 % de solution.
- La catégorie analytique HCl, NaOH et Na₂CO₃ ont été employées comme modificateurs de pH.
- Les essais de flottaison ont été réalisés dans une machine conventionnelle de flottaison d'secondaire-aération de Denver avec la cellule de capacité de 1.0 litre.

- Les réactifs utilisés étaient déprimants (silicate de sodium, des doses de 0.5 -2 kg/ton); collecteur (acide oléique, doses de 1-3 kg/ton) et modificateur de pH (carbonate de sodium).
- Le traitement de la pulpe avec des réactifs a été exécuté pour 2 minutes pour le déprimeur et 3 minutes pour le collecteur à 2000 t/mn à environ des solides de 50% en poids.
- Les produits de flottaison (mousse et évier) ont été rassemblés, séchés, pesés et analysés.

TP 02 ET 03 : FLOTTATION SELECTIVE DE SULFURES

Introduction

La flottation est un procédé de séparation minérale qui consiste à 'capturer' des particules minérales de valeur avec des bulles de gaz (normalement de l'air); l'ensemble bulle-particules ainsi formé monte en surface en raison de sa masse volumique inférieure à celle de l'eau, où le tout est maintenu en suspension. Cette 'capture' doit être sélective, c'est à dire seulement le minéral de valeur doit être capturé, les particules indésirables et la gangue doivent rester dans la suspension, d'où elles seront finalement évacuées sous forme de rejet. Cette sélectivité est obtenue par un processus de conditionnement qui consiste à traiter le minerai (minéral et gangue) avec des réactifs chimiques appropriés et en contrôlant le pH de la suspension. Ces réactifs sont le collecteur, qui sert à rendre hydrophobes les particules qu'on veut flotter, les modulateurs (activants ou déprimants) servant à renforcer l'action du collecteur, et les moussants, qui agissent sur l'interface liquide-gaz pour diminuer la dimension des bulles d'air et stabiliser l'écume qui se forme en surface.

La flottation est un procédé assez complexe en raison du nombre de variables impliquées et des interactions entre elles. Parmi ces variables on peut mentionner: le type et la quantité de réactifs (collecteur, modulateur et moussant), le temps de flottation, la quantité d'air utilisé, la granulométrie du minerai et son degré de libération, la concentration en solides de la pulpe alimentée, le pH de la pulpe, le niveau de la pulpe dans la cuve, la présence de certains ions dans l'eau utilisée, etc. Afin d'augmenter le rendement de l'usine de flottation, l'ingénieur responsable est habituellement appelé à manipuler certaines de ces variables en fonction du type de minerai traité et du type de circuit utilisé, visant normalement à augmenter la récupération au concentré et la teneur de celui-ci ou à minimiser la teneur des rejets, toutes ces variables référant au minéral à flotter.

Lors de la flottation de minerais sulfurés complexes (mélange de minéraux sulfurés, tels la chalcopirite, la sphalérite, la galène, la pyrite, avec de la gangue non-sulfureuse) deux stratégies d'opération sont normalement utilisées. Dans la première on vise à séparer l'ensemble des sulfures de la gangue non sulfureuse pour ensuite traiter ce concentré et séparer les différents minéraux contenus dans celui-ci. Ce mode d'opération est appelé flottation en vrac.

Dans une deuxième approche, on vise à séparer de façon séquentielle les différents sulfures métalliques, en ajoutant des modulateurs adéquats et en jouant sur le pH de la pulpe. Ce mode d'opération est appelé flottation sélective et il est utilisé communément dans les usines minéralurgiques de l'Abitibi (chalcopryrite-blende), au Nouveau Brunswick (galènechalcopryrite-sphalérite-pyrite), dans la région Sudbury-Timmins (Falconbridge et Inco, chalcopryritepentlandite, Kidd Creek, chalcopryrite-sphalérite), etc.

Dans cette expérience, il s'agit d'évaluer l'effet de certaines de ces variables, plus particulièrement l'utilisation et le dosage de collecteur et de modulateurs lors de la flottation d'un minerai sulfuré complexe. Dans une deuxième étape, il s'agira d'évaluer la cinétique de la flottation, c'est-à-dire l'influence du temps de flottation sur les caractéristiques des produits et le rendement de l'opération.

TP 02 ET 03 : FLOTTATION MINERAIS DE PLOMB-ZINC

La séparation et la récupération par la flottation de concentrés de plomb et de zinc à partir de minerais contenant de la galène (PbS) et de la sphalérite (ZnS) sont bien établies et généralement accomplies assez efficacement. L'argent génère souvent une valeur économique considérable, sinon la plus grande valeur, l'argent étant souvent associé à la minéralisation de la galène, ce qui est fortuit, car les fonderies paient davantage pour l'argent dans le plomb que pour les concentrés de zinc. Les éléments sans valeur incluent les sulfures de fer comme la pyrite et la pyrrhotite, qui peuvent être contrôlés même s'ils sont souvent flottables. La sidérose, un minéral de carbonate de fer, est aussi souvent associée, même si ce n'est qu'en faible quantité.

La marmatite ((Zn,Fe)S) est une sphalérite riche en fer, dont les concentrés ont une teneur en zinc réduite en raison de la dilution par les minéraux de fer.

Les séparations sont rendues possibles par l'hydrophobie naturelle inhérente de la galène et en raison du fait que la sphalérite, en tant que minéral, n'est pas facilement collectée par les réactifs de flottation. Le procédé de flottation séquentiel en deux étapes bien établi est employé.

Une première étape importante consiste à faire en sorte que la surface de la sphalérite n'est pas activée par des ions métalliques dissous, ce qui l'empêcherait de flotter. Le procédé de flottation établi pour les minerais de plomb-zinc est d'ajouter du sulfate de zinc ($ZnSO_4$) à la pulpe de minerai broyée pour contrôler l'activation par les ions métalliques (la dépression de la sphalérite). Souvent, du métabisulfure ou d'autres produits chimiques de sulfuration sont ajoutés avec le sulfate de zinc en vue de la dépression des minéraux de sulfure de fer.

Des collecteurs de flottation du plomb et des moussants sont conditionnés avant la flottation du plomb, qui s'effectue habituellement à un pH quasiment neutre ou légèrement élevé ; le pH peut être augmenté dans le circuit de nettoyage pour assurer le rejet des sulfures de fer. Il est parfois possible d'ajouter du cyanure pour aider à déprimer les sulfures de fer. Puisque

l'argent est généralement associé, du point de vue de la minéralogie, à la galène, la plupart des valeurs d'argent sont jointes et attachées au concentré de galène.

La sphalérite rejetée dans les résidus de flottation du plomb est ensuite flottée au moyen d'une deuxième étape de flottation après une activation au sulfate de cuivre. Les ions de cuivre remplacent les atomes de zinc à la surface de la sphalérite ; ce revêtement imitant le cuivre permet ensuite de collecter la sphalérite en faisant appel à des collecteurs de flottation destinés au cuivre. Étant donné que la plupart des sulfures de fer s'attachent également aux résidus de flottation du plomb et alimentent donc le circuit de flottation du zinc, de la chaux est habituellement utilisée pour élever le pH en vue de la dépression des sulfures de fer. Les collecteurs de flottation utilisés dans la flottation de la sphalérite ont tendance à être moins puissants, car la sphalérite flotte généralement d'emblée à cette étape, et l'utilisation d'un collecteur puissant risque de flotter une plus grande part de minéraux en plus de la sphalérite.

On optimise habituellement la métallurgie et les récupérations de concentré de plomb en faisant appel à une combinaison de **xanthate et de dithiophosphates**. Si les surfaces de la galène sont légèrement oxydées (« ternies »), on inclut souvent le **mercaptobenzothiazole (MBT)** parmi les collecteurs pour optimiser les récupérations de galène. Les moussants utilisés dans la flottation de la galène ont tendance à être d'un type faible, comme le **MIBC**, car la galène flotte d'emblée et possède une forte cinétique de flottation. Cependant, étant donné la cinétique de flottation élevée et la haute densité du minerai de la galène, la capacité de transport des minéraux par l'écume peut requérir l'emploi d'un moussant un peu plus fort ou d'une combinaison comprenant un agent moussant plus fort afin d'obtenir des résultats métallurgiques optimaux.

La pratique normale de flottation de la sphalérite est de faire monter le pH de flottation à 10-12 pour accroître le rejet des minéraux de sulfure de fer avec les résidus de flottation. De nombreux exploitants préfèrent utiliser un moussant de type alcool dans la flottation de la sphalérite afin d'optimiser la sélectivité de flottation. Un xanthate de faible masse moléculaire, tel que l'isopropyl xanthate de sodium (SIPX), est utilisé en combinaison avec un collecteur de flottation de type dithiophosphate moins puissant, et dans certains cas rares, un réactif de flottation de type thionocarbamate.

Dans des circonstances exceptionnelles, la minéralogie et le comportement métallurgique exigent la flottation collective initiale d'un concentré plomb-zinc ; les minéraux de plomb et de zinc sont ensuite séparés à une étape de flottation sélective. Selon ce modèle, un concentré de flottation collective de la galène et de la sphalérite est produit à un pH de 6,5 (modifié au H_2SO_4) ; un peu de sulfate de cuivre est ajouté pour assurer une pleine activation de la sphalérite. Le concentré collectif est ensuite conditionné à l'hydroxyde de sodium pour atteindre un pH approximatif de 11,5, et un collecteur est ajouté pour flotter un concentré de plomb. Le concentré de zinc est en fait le résidu de cette étape de séparation de la flottation collective. Si l'argent est associé à la galène, l'argent s'attache au concentré de plomb.

La pyrite est relativement facile à déprimer avec de la chaux. La pyrrhotite, quant à elle, est plus difficile à déprimer. Au lieu de recourir à un dépresseur de type métabisulfure, il est possible d'aérer la pulpe ; si la pyrrhotite est réactive, ce sulfure de fer devient alors moins

flottable. Dans les cas où la dépression des sulfures de fer pose de grands défis, le concentré de zinc peut être nettoyé par une flottation inverse du concentré en faisant appel à un traitement initial au SO₂ pour ramener le pH à 5-5,5 et en chauffant ensuite la pulpe à 60-70 degrés Celsius. La gangue est flottée avec la sphalérite attachée aux résidus.

Les collecteurs Danafloat™ suivants sont les plus pertinents pour la flottation du plomb-zinc.

a- Flottation sélective du Pb

Collecteur de flottation des minerais Danafloat™ 067

Danafloat 067 est un sel hydrosoluble de l'acide aryldithiophosphorique.

Danafloat 067 possède de légères caractéristiques moussantes et est particulièrement utile lorsqu'un collecteur rapide, sélectif et actif est nécessaire et qu'aucun conditionnement du collecteur avec la pulpe n'est possible.

Le dosage de Danafloat 067 varie selon le type de minerai et s'inscrit dans une large plage allant habituellement de 10 à 100 grammes par tonne métrique de minerai.

Danafloat 067 peut être ajouté non dilué ou, préférablement, dilué avec de l'eau claire dans des solutions de 5-20 %. Il est bon de remuer le produit avant l'emploi.

L'expérience a montré que Danafloat 067 est efficace dans la gamme de pH de 4 à 12.

Composition

Nom chimique : Crésyl-dtp-NH₄

Nom CAS : Acide dithiophosphorique, O,O-bis(méthyl-phényl)ester, sel d'ammonium

Substance active : 49-51 % en masse

Propriétés physiques

Aspect : brun rouge à noir

Phase : liquide (solution aqueuse)

Point d'ébullition : au-delà de 100 °C

Point de fusion/congélation : moins 1 à moins 5 degrés

Densité relative : °C 1,14 g/ml

Point d'éclair : aucun

Sécurité et manipulation

Les collecteurs de flottation Danafloat sont fabriqués dans des conditions strictement contrôlées. Cependant, ils peuvent être considérés nocifs ou toxiques à différents degrés. Avant de manipuler le produit, il est donc impératif de lire attentivement et de comprendre la FDS du produit. Danafloat 067 contient 4-8 % de crésols, et les crésols :

- peuvent être fatals en cas d'inhalation, d'ingestion ou d'absorption cutanée ;
- infligent des brûlures ;

- ont des effets très destructifs sur les tissus des muqueuses et des voies respiratoires supérieures, des yeux et de la peau. La manipulation sécuritaire inclut le port de lunettes de sécurité, de gants de caoutchouc naturel et de vêtements protecteurs. Évitez en outre d'inhaler les vapeurs.

Stockage

- Rangez dans un endroit sec et bien ventilé à l'écart de la chaleur et de la lumière du soleil en suivant le principe du « premier entré-premier sorti »
- Évitez le gel.
- Rangez dans des fûts en plastique ou des fûts en acier revêtu.

Impact environnemental

Danafloat 067 est biodégradable. Les crésols que contient le produit sont facilement biodégradables. Les crésols présentent une toxicité aiguë élevée pour les poissons (CL50, 96 h, 1-10 mg de crésols par litre) et les invertébrés aquatiques. La plus grande partie du collecteur est cependant associée au concentré et détruite au cours des opérations de traitement subséquentes. Le reste est transféré aux résidus. Le rejet dans les réseaux hydrographiques est à éviter.

b- Flottation sélective du Zn Collecteur de flottation des minerais Danafloat™ 123

Danafloat 123 est le collecteur le plus sélectif de la gamme de dithiophosphates Danafloat. Il ne possède pas de caractéristiques moussantes. La sélectivité du réactif Danafloat 123 le rend utile comme collecteur de dégrossissage, qui produit un pré-concentré à teneur élevée. Pour optimiser la récupération, un collecteur d'épuisement, p. ex. un dithiophosphate plus fort ou un xanthate, est utilisé conjointement avec Danafloat 123.

Danafloat 123 est très sélectif envers la pyrite et d'autres sulfures de fer et sert donc à flotter le minerai de sulfure de cuivre et la sphalérite activée au Cu, en particulier en présence de pyrite. Il ne flotte pas le sulfure de plomb.

Le collecteur étant un réactif sélectif, il est applicable au sulfure de cuivre libéré flottant facilement, par exemple dans une cellule de flottation SkimAir dans le circuit de broyage.

Danafloat 123 peut être ajouté non dilué ou, préférablement, dilué avec de l'eau claire dans des solutions de 5-20 % afin de mieux contrôler le dosage. Il est bon de remuer le produit avant l'emploi.

Le dosage de Danafloat 123 varie selon le type de minerai et s'inscrit dans une plage allant habituellement de 20 à 100 grammes par tonne métrique de minerai.

Danafloat 123 est efficace dans la gamme de pH de 4 à 12. En raison de sa sélectivité contre les sulfures de fer, Danafloat 123 peut être utilisé à une alcalinité plus basse que les xanthates.

Composition

Nom chimique : crésyl-dtp

Nom CAS : acide dithiophosphorique, ester 0,0-diéthylique, sel de sodium

Substance active : 49-51 % en masse

Propriétés physiques

Aspect : brun clair

Phase : liquide (solution aqueuse)

Point d'ébullition : 104 °C

Point de congélation : 2 °C

Densité relative : 1,187 g/ml

Point d'éclair : aucun

Sécurité et manipulation

Les collecteurs de flottation Danafloat sont fabriqués dans des conditions strictement contrôlées. Cependant, ils peuvent être considérés nocifs à différents degrés. Avant de manipuler le produit, il est donc impératif de lire attentivement et de comprendre la FDS du produit.

Stockage

- Rangez dans un endroit sec et bien ventilé à l'écart de la chaleur et de la lumière du soleil en suivant le principe du « premier entré-premier sorti ».
- Évitez le gel.
- Rangez dans des fûts en plastique ou des fûts en acier revêtu.

Impact environnemental

Danafloat 123 est biodégradable. La plus grande partie du collecteur est associée au concentré et détruite au cours des opérations de traitement subséquentes. Le reste est transféré aux résidus. Le rejet dans les réseaux hydrographiques est à éviter.