

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABBES LAGHROUR
KHENCHELA

FACULTE DES SCIENCES & DE LA
TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE
INDUSTRIEL



جامعة عباس لغرور خنشلة

كلية العلوم و التكنولوجيا

قسم: الهندسة الصناعية

Mémoire

Pour obtenir le diplôme de MASTER (LMD)

OPTION : Génie des Procédés et Environnement

Thème

*Etude de l'adsorption de xanthate de type (KEX)
sur les sulfures*

Présenter par :

ABROUK Tadj Eddine

BOUSSETTA Khaled

Devant le jury :

Pr : BEICHA Abdallah

Dr : NEDJAR Zohir

Dr : REDJIL Souhila

Président

Encadreur

Examineur

Année universitaire : 2018 – 2019

Remerciements

*Avant tous, il ne saurait question d'entreprendre les remerciements sans
Avoir remercie le **BON DIEU** de nous avoir permis de réaliser ce travail.*

*Ainsi que **NOS PARENTS** pour leur aide,*

Leur patience, leur tendresse.

*Nous tenons à remercier tout d'abord notre encadreur Mr. Dr. « **Nedjar Zohir**
pour sa patience, et surtout pour ça confiance, ses remarques et ses
Conseils, sa disponibilité et sa bienveillance. Qu'il trouve ici le témoignage*

Tous les enseignants du

*Les jury : Pr : **BEICHA Abdallah** Dr : **REDJIL Souhila***

*Faculté génie industriel option : **Génie des procédés de l'environnement, Université Abbes***

Laghrour-Khenchela

Qui contrebuté à notre formation professionnelle.

Enfin, à toutes les personnes ayant participé de près ou de loin à la

Réalisation de ce projet, un grand merci.

*Sans oublier **PROMOTION GENIER DES PROCEDES DE***

L'ENVIRONNEMENT 2018/2019.

Dédicace

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude,, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que : je dédie ce travail à : Ma précieuse mère, qui m'a encouragé et qui m'a donné tout son amour, patience et sacrifies. A la mémoire de mon père qui nous a quitté Que Dieu, le miséricordieux, l'accueil dans son éternel paradis. A mes freres et mes sœur mon exemple de persévérance, et de courage. A mes chères amis qui m'ont énormément aidé et qeu je n'ai pas mentionné Que ce travail puisse être l'expression de mes sentiments d'amitié les plus sincères Vous méritez A tous ce que j'aime je dédié ce travail Que,

dieu vous garde et protège

ABROUK Tedjeddine

Dédicace

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que : je dédie ce travail à : Ma précieuse mère, qui m'a encouragé et qui m'a donné tout son amour, patience et sacrifices. A la mémoire de mon père qui nous a quitté Que Dieu, le miséricordieux, l'accueille dans son éternel paradis. A mes sœur mon exemple de persévérance, et de courage. A mes chères amis qui m'ont énormément aidé et que je n'ai pas mentionné Que ce travail puisse être l'expression de mes sentiments d'amitié les plus sincères Vous méritez A tous ce que j'aime je dédie ce travail Que, dieu vous garde et

protège

BOUSSETTA Khaled

Résumé

ملخص

في التقدير النوعي الامتزاز إيثيل زانتات البوتاسيوم (KEX) بتركيز مختلف ($10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}M$) على السطح المعدني لحالينا (PbS) الذي تم تنشيطه بواسطة $CuSO_4 10^{-4}M$ ، الذي عولج من طرف KEX في حالة الطفو ($pH=9,5$) بواسطة التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء مما سمح بإعطاء معلومات مباشرة على شكل و نوعية الامتصاص مع تركيز الأمثل لزيئات (Pb-x : $1022,58-1108,57$ سم⁻¹)

Résumé

la détermination qualitative de l'adsorption de potassium éthyle xanthate (KEX) à différentes concentration ($10^{-1}, 10^{-2}$ et $10^{-3}M$) sur la surface minérale de la galène (PbS) activé par $CuSO_4 10^{-4}M$, traité par KEX dans la condition de flottation ($PH=9,5$) par spectroscopie IR a permis de donner une information direct du la forme d'adsorption avec une concentration optimale de xanthate $10^{-1}M$ (Pb-X : $1022.58-1108.57$ cm⁻¹).

SOMMAIRE:

Remerciement.....	I
Dédicace	II
Dédicace	III
Résumé.....	IV
Sommaire.....	V
Listes des figures.....	VIII
Listes des tableaux.....	IX
Introduction générale.....	X

PARTIE THEORIQUE

Chapitre 1 : Génialité bibliographique sur la flottation des sulfures

I.1 Introduction.....	2
I.2 Théorie de flottation.....	3
I.2.1 Rappels Historiques du procédé de la flottation.....	4
I.2.2 Principe général du procédé de flottation.....	5
I.3 Les différents types de flottation.....	6
I.3.1 Flottation en colonne.....	7
I.3.2 Flottation naturelle.....	8
I.3.3 Flottation assistée.....	8
I.3.4 Flottation provoquée.....	9
I.3.4.1 La flottation mécanique.....	10
I.3.4.2 La flottation à l'air dissous (FAD).....	10
I.4 Les différents types d'adjuvants chimiques.....	10
I.4.1 Réactifs collecteurs.....	11
I.4.2 Réactifs activant et déprimants.....	11
I.5 Mécanismes fondamentaux de la flottation.....	11
I.6 Modèle à trois zones.....	12
I.6.1 Modèle à trois étapes.....	12
I.7 Cinétique de flottation et modélisation.....	13
I.7.1 Modele temporel.....	13

I.7.2	Modèle spatial.....	14
I.8	Thermodynamique de flottation.....	16
I.8.1	Thermodynamique à l'interface liquide-air.....	16
I.8.2	Thermodynamique du mouillage et eau liée.....	18
I.9	Collision.....	18
I.10	flottation des sulfures.....	19
I.10.1	Minéralurgie ou concentration.....	19
I.11	Les collecteurs.....	21
I.11.1	Agents modifiant le Ph.....	23
I.11.2	Les activant et les déprimants.....	23
I.11.3	Domaines d'application.....	23
I.11.4	Les moussants.....	23
I.11.5	Caractéristiques physico-chimiques des moussants.....	23
I.12	Les conditions exigées aux réactifs de flottation.....	24
I.13	Principaux collecteurs.....	25
I.14	Adsorption des collecteurs sur les sulfures.....	27
I.15	Potassiuméthyle xanthate (KEX).....	29
I.15.1	Historique de l'utilisation de xanthate	29
I.15.2	Applications du xanthate.....	30
I.15.3	Type de xanthate.....	30
I.15.4	Méthodes d'analyses et détection.....	31

PARTIE EXPERIMENTALE

Chapitre02 : Etude de l'adsorption de xanthate (KEX) sur la galène (PbS)

II.1.	Introduction.....	32
II.2.	Spectroscopie infrarouge FTIR.....	32
II.3.	Propriétés physico-chimiques.....	32
II.3.1	Potassium Ethyl Xanthenes (KEX).....	32
II.3.2.	Propriétés physique de la galène.....	32
II.4.	Partie expérimentale.....	33
II.4.1.	Protocole de traitement de la roche	33
II.4.1.1.	Première étape : élimination de l'argile.....	33
II.4.1.2.	Deuxième étape : le broyage à sec et le criblage de la sphalérite et la galène...	33
II.4.2.	Protocole de l'adsorption de KEX sur la galène.....	33

II.4.3.Mécanisme général d'adsorption de xanthate sur les sulfures.....	34
II.5. Discussion des résultats	34
II.5.1.Caractérisation du xanthate par spectroscopie infrarouge.....	34
II.5.2.Caractérisation de la galène par spectroscopie infrarouge.....	35
II.5.3 Détermination qualitative de l'adsorption de potassium éthyle xanthate (KEX) sur la galène.....	35

Listes Figures

Figure. I.1 : Principe du procédé de flottation.....	6
Figure I.2 : Schéma d'une colonne de flottation.....	7
Figure I.3: Flottation assistée.....	9
Figure I.4 : Principe de base de la flottation à l'air dissous.....	10
Figure I.5 : Représentation schématique des trois étapes de capture.....	19
Figure I.6: Mode d'action d'un collecteur.....	22
Figure I.7: Classification des collecteurs.....	22
Figur I.8 Structure de potassium éthyl-xanthate (KEX).....	29
Figure II.1:spectre FTIR de xanthate.....	34
Figure II.2: spectre FTIR de la galène.....	35
Figure II.3: spectre FTIR de la galène non activée traitée par KEX 10^{-1}M a Ph 9,5.....	36
Figure II.4: spectre FTIR de la galène activée traitée par KEX 10^{-1}M à pH 9,5.....	36
Figure II.5: spectre FTIR de la galène non activée traitée par KEX 10^{-2}M a Ph 9,5.....	37
Figure II.6: spectre FTIR de la galène activée traitée par KEX 10^{-2}M a pH 9,5.....	37
Figure II.7: spectre FTIR de la galène non activée traitée par KEX 10^{-3}M a pH 9,5.....	38
Figure II.8: spectre FTIR de la galène activée traitée par KEX 10^{-3}M a pH 9,5.....	38

Les tableaux

Tableau I.1: Flottation naturelle, aidée et induite.....	8
Tableau I.2: Données de quelques valeurs physiques de la cellule de flottation type (flottation assistée).....	9
Tableau I.3: Données de quelques valeurs physiques de la cellule de flottation type (flottation mécanique).....	10
Tableau I.4: Principaux minéraux (Sulfurés) pouvant être séparés par flottation[18].....	21
Tableau I.5: Principaux collecteurs des minéraux sulfures (R = radical aliphatique)[23].....	25

Introduction générale

Introduction générale

Parmi les procédés qui ont fait la grande attention des chercheurs durant la croissance industrielle qui a nécessité des quantités considérables de métaux est le procédé de traitement des minerais par flottation, qui est considérée comme la principale technique de séparation physico-chimique utilisée actuellement dans l'industrie minière. Elle permet de séparer les éléments valorisables d'un minerai.

Actuellement son usage a été étendu à plusieurs domaines de séparations industrielles. La flottation est utilisée pour la récupération, la concentration et la valorisation des composés solides en suspension de nature diverses (flocs, particules, colloïdes,... etc.), de dispersions liquides (huiles, solvant) ou de substances solubles. La flottation est en concurrence avec d'autres procédés de séparation tels que la décantation, la filtration, la centrifugation...etc. Elle mérite une grande attention, ce qui explique qu'elle constitue le thème d'un grand nombre de travaux de recherches toujours en cours.

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 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 appelé 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.[1]

Notre travail est structuré en deux parties :

La première: partie théorique constat la théorie de flottation et l'utilisation des xanthates dans la flottation des sulfures tels que la galène.

La deuxième: partie expérimentale sur l'étude de l'adsorption de xanthate (KEX) sur la surface des sulfures (la galène (PbS)).

Et enfin en termine par une conclusion générale.

PARTIE THEORIQUE

Génialité bibliographique sur la flottation des sulfures

I.1 Introduction

La flottation est un procédé qui fait appel à des réactifs chimiques pour séparer les matières solides en pulpe. La flottation à la mousse est la plus utilisée dans les applications industrielles et elle est basée sur la formation d'un agrégat entre une bulle d'air et un ou plusieurs solides rendus hydrophobes et aérophiles par l'action de réactifs chimiques spécifiques appelés collecteurs. Les bulles d'air captent les particules hydrophobes, puis les entraînent à la surface de la pulpe. Elles sont stabilisées par des réactifs qui s'adsorbent à l'interface liquide-gaz appelés moussants.

La flottation est un procédé de séparation d'espèces minérales qui met à profit les différences d'hydrophobie de leurs surfaces. Le mécanisme fondamental de séparation dépend de l'adsorption. Elle peut être utilisée pour la récupération, la concentration et la valorisation de composés solides en suspension de nature diverse (flocs, particules, colloïdes, et) de dispersion liquides (huiles, solvant) ou de substances solubles. Comparativement l'application du procédé au traitement des eaux est relativement récente, et elle est devenue même une alternative pour la décantation et le traitement des eaux à potabilité. Son usage a même été étendu au traitement primaire des eaux résiduaires urbaines. Donc on peut dire que la flottation est en concurrence avec d'autres procédés de séparations tels que la décantation, la filtration, la centrifugation et .., elle mérite une grande attention car elle constitue le thème d'un grand nombre de travaux de recherche toujours en cours.

Enfin on définit la flottation est une méthode utilisée en minéralurgie, pour séparer des minéraux entre eux, cette séparation est basée sur des propriétés d'hydrophobie des phases minérales et a lieu dans une cellule de flottation. Différents réactifs chimiques sont utilisés pour ce procédé, et la flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique est inférieure à celle du liquide qui les contient.[1]

I.2 Théorie de flottation :

La flottation est un procédé de traitement de minerai, mise au point vers 1920, c'est la principale technique de séparation physico-chimique utilisée actuellement dans l'industrie minière. Elle permet de séparer les éléments valorisables d'un minerai de leur gangue, lorsque les méthodes plus simples et moins onéreuses ne sont pas applicables.

Dans l'industrie (chimique, minières, ...) ont développé de nombreux processus basés sur l'utilisation de la flottation, ce qui sous-tend en grande partie une bonne maîtrise de la réactivité superficielle des solides, la résolution des problèmes pratiques passe nécessairement par la compréhension des concepts fondamentaux régissant les phénomènes d'interactions à l'interface solide-liquide ou solide-gaz, la connaissance de la thermodynamique l'équilibre des phases est indispensable pour diminuer la part de l'empirisme dans la conduite des processus industriels notamment aux niveaux des impacts environnementaux (protection des eaux, gestion intégrée des rejets solides et liquides, ...) à savoir dans un premier temps une amélioration du processus c.à.d. une augmentation de la réactivité.

Les recherches entreprises visent à mieux comprendre les phénomènes d'interaction de molécules inorganiques, de molécules organiques abiotiques sur des solides naturels et anthropiques (sulfures, charbons actifs, oxydes, ...).

En outre, lorsque l'on a à faire à des solides divisés particulièrement réactifs vis-à-vis du milieu extérieur (sulfure par exemple), il est important de pouvoir disposer de modèles rendant compte de la nature et de la distribution chimique des superficielles initialement présentes, c'est toute la problématique de l'état initial.

La flottation est, sans aucun doute, le procédé le plus important parmi les différentes techniques employées pour le traitement de minerai. Cette technique polyvalente permet le traitement de plusieurs minerais complexes de sulfures (cuivre, plomb, zinc, ...) et même de minerai non métalliques (fluorite, phosphate, charbon, ...) grâce à la flottation, il est possible de concentrer les techniques de concentration gravimétrique.

Les applications environnementales de la flottation sont très vastes, La plupart des contaminants inorganiques de nature métallique (cuivre, zinc, ...) peuvent être concentrés par flottation). [1]

I.2.1 Rappels Historiques du procédé de la flottation:

L'utilisation de la flottation naturelle est très ancienne. Elle a été appliquée depuis déjà 2000 ans en minéralurgie pour séparer le minerai de sa gangue.

A la fin du *XIXe* siècle, la découverte de gisements métalliques à minéralisations fines et dispersées a rendu les méthodes d'enrichissement basées sur l'exploitation des propriétés massiques des minéraux difficilement applicables. C'est ainsi que le procédé de flottation, qui fait appel aux propriétés superficielles des phases minérales en milieu aqueux, est apparu comme un procédé miracle, capable de fournir des concentrés marchands à la métallurgie à partir de tonnages de plus en plus importants de minerais. Trois grandes périodes ont marqué le développement de ce procédé, liées à la mise sur le marché industriel de grandes quantités de réactifs, appelés collecteurs, qui confèrent l'hydrophobicité nécessaire aux surfaces minérales.

Dans un premier temps, pour flotter les sulfures on fit appel aux acides gras naturels, dont les consommations étaient élevées. Dans un deuxième temps, vers les années 1920 – 1930, on synthétisa des collecteurs de type dithiocarbonates et dithiophosphates, ayant une grande affinité pour les sulfures conduisant à de faibles consommations. Enfin, arrivèrent sur le marché, dans un troisième temps, d'autres collecteurs de synthèse tels que les amines, les alkylsulfonates et les alkylsulfates, permettant de flotter des oxydes et des sels. Dès le début, la sélectivité a été un des principaux moteurs de flottation, qui a nécessité bon nombre de travaux scientifiques et techniques, depuis la compréhension des phénomènes de surface jusqu'à la recherche de réactifs modulant l'action des collecteurs, ou la découverte de réactifs nouveaux. C'est ainsi que, plus récemment, sont apparus les collecteurs chélatants, qui font l'objet d'études pour le traitement des gisements à minéralisations complexes.

La flottation, jusqu'alors réservée au seul domaine de minéralurgie, a rapidement été appliquée à bien d'autres domaines de séparations industrielles. Ceci est lié à la diversification des procédés de génération des bulles et à l'apparition sur le marché de toute une gamme d'agents chimiques. Ces deux tendances ont en effet considérablement élargi les possibilités du procédé.

Actuellement, un grand nombre d'industries utilisent les possibilités de la flottation comme moyen de séparation à grande échelle. La flottation peut ainsi être utilisée pour la récupération, la concentration et la valorisation de composés solides en

suspension de nature diverses (particules, floques colloïdes), de dispersion liquides (huiles, solvants,...) ou de substances solubles.

En dehors de l'industrie minérale, le procédé de flottation, c'est développé dans d'autres applications dont les principales sont l'industrie papetière pour le désencrage des vieux papiers, et le traitement des eaux pour la séparation des huiles insolubles et des matières en suspension. [1.2]

I.2.2 Principe du procédé de 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. [3]

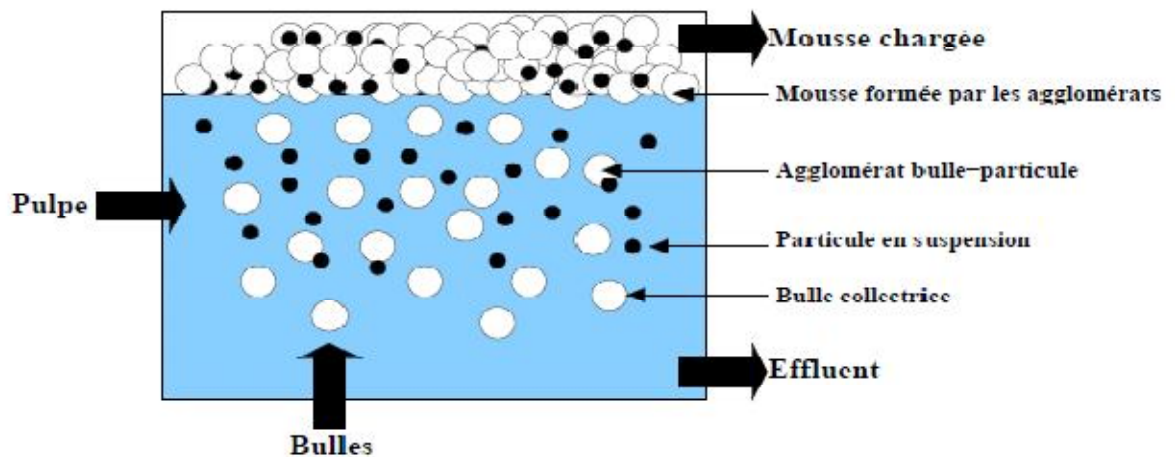


Figure.I.1 : Principe du procédé de flottation [2]

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

- adsorption de surfactants à l'interface solide/solide aqueuse, afin de conférer une hydrophobicité suffisante à l'interface;
- modulation de l'adsorption de ces surfactants;
- contact entre les particules solides et les bulles d'air;
- transfert de l'agglomérat élémentaire particule – bulle dans l'écume.

I.3 Les différents types de flottation :

Pour distinguer les différents types de flottation, il est utile de se remémorer le principe d'Archimède. Tout corps plongé dans un fluide subit de la part de celui-ci une force verticale ascendante égale au poids du volume de fluide déplacé par ce corps. Ainsi, un corps plus lourd que le liquide porteur dans lequel il est en suspension se sédimente, alors qu'un corps plus léger est entraîné vers la surface. Cette alternative renvoie à deux procédés jumeaux : la décantation et la flottation.

Dans le cas de la décantation, les différents corps sont amenés à se déposer pour être évacués en fond de cuve. Au contraire, dans le procédé de flottation, les corps sont amenés à remonter à la surface où ils sont éliminés.

C'est le rapport entre les masses volumiques qui est le moteur de la force d'Archimède et qui permet de distinguer les différents types de flottation. [4]

I.3.1 Flottation en colonne :

La colonne de flottation, telle que nous la connaissons, a été inventée par Pierre Boutin[3(naziha)] et Rémi Tremblay[4(naziha)] au début des années 60 au Canada. Cependant, il a fallu attendre le début des années 80 pour que son utilisation soit plus répandue. Depuis la dernière décennie, la flottation en colonne est devenue une des plus importantes technologies de séparation dans l'industrie du traitement de minerais. Certains s'en servent pour effectuer la séparation de divers métaux métalliques (cuivre, molybdène, fer, plomb, zinc, nickel, et l'argent). D'autres s'en servent pour la séparation de certains minéraux d'application industriel (charbon, kadinite, phosphate, astrakanite, carbonate, etc.).

Cet appareil est en principe un simple tuyau avec une hauteur plus grande que l'aire de sa surface transversale. Il n'y a pas de partie mobile à l'intérieur de la colonne. Celle-ci se présente en deux zones différentes : la zone de collection et la zone d'écume. Ces deux zones se trouvent séparées par l'interface pulpe-écume, laquelle détermine la longueur de chacune d'elles. Elles se différencient de plus par leur contenu d'air (10 à 25% pour la zone de collection et supérieur à 60% pour la zone d'écume). Les colonnes industrielles ont généralement une hauteur de 9 à 15m et un diamètre de 0.5 à 3m. La zone de collection est approximativement de 75 à 90% de la longueur totale. Un système de génération de bulles d'air est inclus à la base de la colonne et un débit d'eau de lavage est additionné au sommet pour pouvoir effectuer un nettoyage de la mousse (concentré). [4.5]

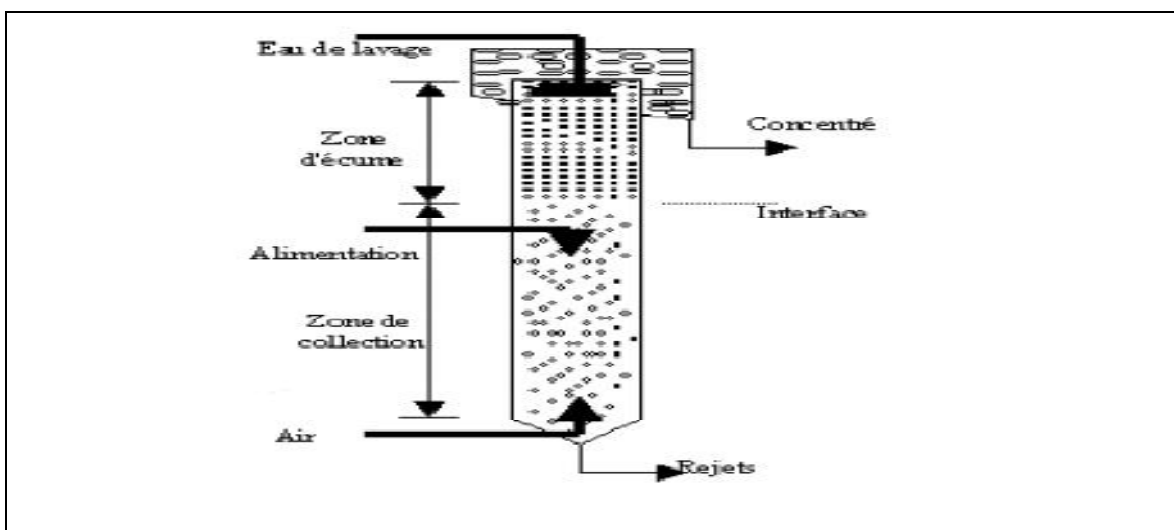


Figure I.2 : Schéma d'une colonne de flottation. [1]

I.3.2 Flottation naturelle :

Généralement utilisée pour les processus primaires de séparation. Cette flottation peut être précédée par une phase où les gouttelettes vont adhérer les unes avec les autres.

La flottation naturelle peut être le résultat d'un dégagement gazeux lors d'une fermentation par exemple. C'est le cas avec l'écume dans les digesteurs qui peuvent contenir jusqu'à 20 à 40 % de solide en suspension (SS) même si leur densité est seulement de 0.7 ou 0.8. kg. 1⁻¹

La flottation naturelle est améliorée si l'on injecte des bulles d'air dans la masse liquide. La flottation aidée est particulièrement utilisée pour enlever les graisses qui sont contenues dans les liquides ayant une turbidité importante.

Pour une élimination plus poussée d'huiles, on utilise des aérateurs mécaniques pour diffuser de fines bulles d'air. L'effet de transport de l'air dû aux bulles permet de pousser les particules à la surface du liquide dans le but de favoriser leur accumulation.. Il y a trois types de flottation : flottation naturelle, aidée et induite.[1]

Tableau 01 : flottation naturelle, aidée et induite :

Flottation naturelle	Flottation aidée	Flottation induite
Applicable si la différence de densité est naturellement suffisante pour la séparation.	On utilise ce terme lorsque des moyens extérieurs sont utilisés pour faciliter la séparation de particules qui flottent naturellement.	Lors d'une flottation induite on diminue artificiellement la densité des particules pour leur permettre de flotter. Cette opération est basée sur la capacité qu'ont certains liquides ou solides à se lier avec des bulles de gaz pour former des particules gazeuses ayant une densité inférieure au liquide.

I.3.3 Flottation assistée :

La flottation assistée s'utilise pour des matériaux légèrement moins denses que le milieu liquide. La flottation pourrait être naturelle, mais la lenteur du processus, due à la faiblesse de la force d'Archimède, est incompatible avec les attentes d'un procédé industriel. Pour accélérer le processus, il est fait recours à des collecteurs, dont la

flottation est rapide. Ce type de flottation est utilisé pour le dégraissage des eaux résiduaires. (0.5 à 1 mm de diamètre) produite par un aérateur immergé. [6]

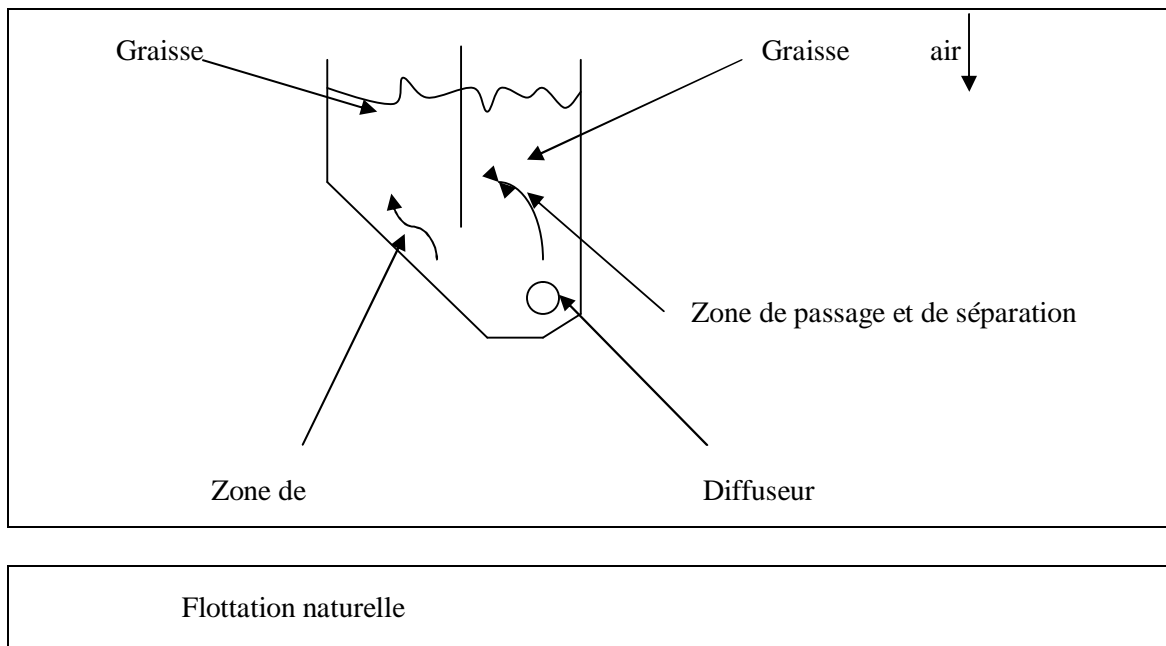


Figure I.3: Flottation assistée. [6]

Tableau 02 : Données de quelques valeurs physiques de la cellule de flottation type (flottation assistée). [6]

Débit d'air ($l \cdot m^{-3}$)	Taille des bulles (mm)	Puissance adsorbée traitée (Wh. m^{-3})	Temps théorique de séjour nm
100 à 400	2 à 5	5 à 10	5 à 15

I.3.4 Flottation provoquée :

La flottation provoquée est utilisée pour des matériaux suspension plus lourds que le milieu liquide. La présence de collecteurs est alors nécessaire pour provoquer la flottation du matériau en suspension.

Toute la réussite du procédé réside alors dans la formation d'agglomérats entre les collecteurs et les matériaux en suspension. La masse volumique apparente de l'agglomérat ainsi composé est alors nettement inférieure à celle de l'eau porteuse, et le composé est alors entraîné à la surface libre. Les propriétés physico-chimiques des deux éléments revêtent alors une importance capitale. Il y a deux types de cette flottation. [6]

I.3.4.1 Flottation mécanique :

Elle utilise de l'air dispersée avec production de bulles de 0.2 à 2 mm de diamètre (vitesse ascensionnelle : environ 2 cm. s^{-1}).

Ce procédé s'applique pour la séparation et la concentration des pulpes de minerais. Il s'agit de minerai broyé, de taille souvent inférieure à 0.2 mm, qui est mis en suspension avec des bulles d'air de 0.2 à 2 mm de diamètre. Ce procédé utilise un grand nombre de cellules en série et demande beaucoup d'énergie. [6]

Données numériques :

Tableau 03 : Données de quelques valeurs physiques de la cellule de flottation type (flottation mécanique). [6]

Débit d'air ($1. \text{m}^{-3}$)	Taille des bulles (mm)	Puissance adsorbée traitée (Wh. m^{-3})	Temps théorique de séjour nm
10000	0.2 à 120	60 à 120	4 à 16

I.3.4.2 La flottation à l'air dissous (FAD) :

Elle utilise des bulles d'air très fines (microbulles) de 40 à 70 microns de diamètre (vitesse ascensionnelle 100 fois inférieure à celle de la flottation mécanique). [1]

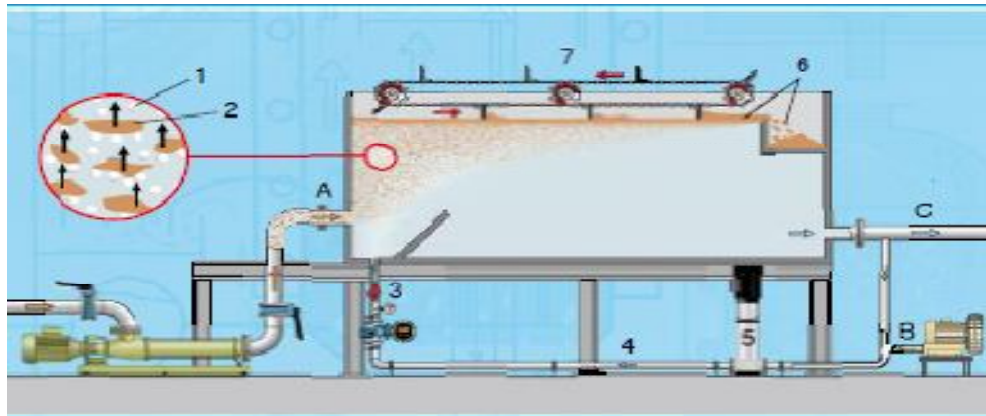


Figure I.4 : Principe de base de la flottation à l'air dissous: [1]

I.4 Les différents types d'adjuvants chimiques :

Les adjuvants chimiques ont pour but de favoriser l'agglomération des matériaux en suspension qui doivent être flottés, avec les collecteurs (bulles d'air), et d'augmenter

la solidité des agglomérats qui ont été formés. Les actions de ces adjuvants sont de différentes sortes, d'où leur classement en trois catégories.

I.4.1 Réactifs collecteurs

Les réactifs collecteurs ont pour objectif de rendre hydrophobes les matériaux en suspension, pour faciliter l'adhésion aux bulles d'air collectrices. Les xanthate, les dithiophosphates, les dithiophosphinates, la famille des thiois, les acides gras et leurs savons, les esters sulfuriques d'alcool et les sulfonâtes en sont des exemples. Les xanthate et les dithiophosphates sont par exemple utilisés pour la flottation des sulfures. Les acides gras et leurs savons sont eux utilisés pour les minéraux non métalliques.

I.4.2 Réactifs activant et déprimants

Les réactifs activants et déprimants servent à moduler l'action des réactifs collecteurs. En effet, dans le cas d'une flottation sélective, essentiellement en minéralurgie, seule une partie des matériaux en suspension doit être flottée : les minéraux des différents métaux doivent être séparés les uns des autres. Les activant ont alors pour objectif de favoriser la capture d'un type de métal. Au contraire, les déprimants ont pour objectif de défavoriser la capture des autres types de métaux. Ces réactifs sont des sels.[7]

I.5 Mécanismes fondamentaux de la flottation :

Les mécanismes de l'interaction bulle-particule contrôlent la sélectivité et l'efficacité des procédés de flottation. En fait, les mécanismes d'interaction sont à la rencontre de domaines scientifiques multiples comme l'hydrodynamique des inclusions et leurs interactions, le drainage de film visqueux, les forces interraciales, les milieux colloïdaux, l'adsorption aux interfaces gaz-liquide.

On pourrait certainement trouver encore d'autres domaines qui, d'une façon ou d'une autre, pourraient intervenir dans la capture de particules par des bulles.

Cette interaction entre des bulles et des particules est discutée depuis le début du X^e siècle, c'est à dire depuis que la flottation a été introduite comme technique de séparation. En 1932, Gaudin (1932) a proposé la théorie de la collision : la bulle et la particule doivent se rencontrer avant l'attachement. Elle n'est pas acceptée jusqu'à la publication de "Kinésiques of the flottation procès" dans laquelle Sutherland (1948) a

développé un modèle de collision et a dérivé l'expression d'efficacité de collision à partir de la fonction de courant.

Cette théorie de collision a été ensuite confirmée par des expériences cinématographiques : les particules ayant une surface hydrophobe tombent sur une bulle captée, et puis les agglomérats bulle(s)/particule(s) se forment. Le processus de capture d'une particule solide par une bulle étant à la base du procédé de flottation, de nombreux chercheurs ont orienté leurs travaux vers la compréhension et la modélisation de ce processus.

I.6 Modèle à trois zones :

Derjaguin & Dukhin (1961) ont décrit le processus d'interaction bulle-particule en introduisant le modèle des trois zones :

1- La zone 1 :

Est la région loin de la surface de la bulle dominée par les forces hydrodynamiques. Dans cette zone, l'interaction bulle-particule est purement hydrodynamique, on parlera de collision.

2- Dans la zone 2 :

Proche de l'interface de la bulle, le liquide s'écoule autour de la bulle en ascension et crée un courant tangentiel qui balaye les ions ou les surfactants adsorbés du front à l'arrière de la bulle. Par conséquent, la non-uniformité de la concentration de particules entraîne une couche limite diffuse autour de la bulle. L'interaction est contrôlée dans cette zone par la force électro-phorétique.

3- Dans la zone 3 :

La distance de séparation est de 10^{-7} à 10^{-6} m dépendant de la taille de. Les forces de surface deviennent importantes, y compris la force de Van der Waals, la force électrostatique et la force structurelle.

Cette dernière a été déterminée et baptisée plus tard par Laskowski & Kitchener (1969) comme la force hydrophobe. Le drainage du film entre la particule et la bulle est contrôlé par la somme des trois forces. Si elle est négative, l'attachement de la particule à la surface de la bulle est impossible. Si elle est positive, l'interaction va se transformer en attachement. [8]

I.6.1 Modèle à trois étapes :

Dans un article consacré au détachement des particules après leur capture, Ralston et al. ont réécrit ce découpage du processus de capture en trois étapes. Dans un premier temps, une bulle et une particule s'approchent l'une de l'autre jusqu'à former un film liquide entre elles. Ce film liquide est ensuite drainé pendant que la particule glisse à la surface de la bulle. Il atteint son épaisseur critique et se rompt, permettant à la bulle et à la particule de créer une liaison stable que l'inertie de la particule ou l'agitation dans le liquide ne peuvent pas casser avant que l'attelage bulle-particule n'arrive à la surface libre.

Ces trois étapes successives sont appelées généralement : la collision, l'attachement et la stabilité de l'attelage. Ces trois étapes de capture sont contrôlées par les différents types d'interactions entre la bulle et la particule : l'interaction hydrodynamique, l'interaction gravitaire, l'interaction capillaire et l'interaction due aux forces de surface. Le découpage temporel (et non plus spatial comme dans le modèle à trois zones). En quelque sorte, on peut dire qu'il décrit de façon lagrangienne l'histoire vécue par la particule qui traverse les trois zones du modèle précédent. Cette évolution est importante, car elle introduit une notion de temporalité qui sera primordiale dans l'analyse de l'étape d'attachement. Les paragraphes suivants détaillent les principaux éléments de ces trois étapes. [9]

I.7 Cinétique de flottation et modélisation :

La cinétique de flottation dépend de la dimension des particules et de la taille des bulles, mais elle est aussi affectée par une multitude d'autres facteurs tels que les interactions entre les fractions granulométriques du minéral, l'action de la turbulence, la saturation des bulles, etc. Il existe deux types de modèle, l'un considérant la variation temporelle de la concentration C de particules, l'autre tenant compte de sa variation spatiale et du type de modèle de filtration.

I.7.1 Modèle temporel :

Ce type de modèle considère que la variation temporelle de la concentration moyenne en particule C dans la pulpe est de la forme :

$$dC/dt = -kC^n \quad (01)$$

avec k la constante cinétique de la flottation et n l'ordre de la réaction. La plupart des auteurs considèrent que la flottation a une cinétique du premier ordre et que $n = 1$, bien que certains suggèrent que l'ordre est plus élevé (Jameson et al., 1977; Yoon & Mao, 1996; Bloom & Heindel 2002, Le bilan sur toute la colonne de flottation donne :

$$V dC = (QC_0 - QC - kV C^n)/dt \quad (02)$$

où C_0 est la concentration initiale à $t = 0$. En supposant que $n = 1$, nous avons

– Dans le cas d'un réacteur discontinu, $Q = 0$:

$$dC/dt = -kC^n \quad (03)$$

soit :

$$C = C_0 \exp(-kt) \quad (04)$$

et : le rendement de la colonne R est alors :

$$R = 1 - (C/C_0) = 1 - \exp(-kt) \quad (05)$$

– Dans le cas d'une opération en continue (régime stationnaire) $dC/dt = 0$:

$$QC_0 - QC - kC^n = 0 \quad (06)$$

$$C = \frac{C_0}{1 + k_n} \quad (07)$$

Et : $R = 1 - (C/C_0) = k\eta/(1 + k\eta) \quad (08)$

où η est temps de séjour, pour une bulle de $n_b = 1$ mm.

k est le produit du nombre de bulles n_b , qui servent à la flottation et de l'efficacité de capture. E_{capt} des particules par les bulles :

$K = n_b E_{capt} C_e$ ce modèle s'adapte bien aux cellules de flottation sous forme de cuve agitée que l'on peut considérer comme un réacteur parfaitement agité. Mais il ne peut pas décrire la variation spatiale de la concentration dans toute la géométrie d'un appareil de flottation.

I.7.2 Modèle spatial:

Développé par Yao (1968); Jameson et al. (1977); Aurelle (1980), ce modèle prend en compte la variation de la concentration en particules en fonction de la hauteur de la colonne. Le modèle repose sur un bilan de matière sur une tranche d'épaisseur infinitésimale dz , de volume V dans laquelle la concentration moyenne de particule en suspension est $C(z)$. Soient n_b le nombre de bulles de diamètre d_b et Φ la fraction volumique d'air dans la tranche :

$$N_b = 3V\Phi/4\pi r_b^3 \quad (09)$$

Le volume V_b balayé par les n_b bulles sur la hauteur dz est

$$dV_b = \pi r_b^2 \times n_b \times dz \quad (10)$$

Le nombre de particules capturées s'écrit alors :

$$dn_p = E_{cap} \times C(z) \times dV_b \quad (11)$$

La variation de concentration est $dC = -dn_p/V$ et le bilan de matière s'écrit alors :

$$V dC(z) = -E_{cap} \times C(z) \times \pi r_b^2 \times (3V\Phi/4\pi r_b^3) \times dz \quad (12)$$

$$\frac{dC}{C} = -\frac{3}{4} \times \frac{E_{capt} \Phi}{r_b} dz \quad (13)$$

En supposant que l'efficacité de capture ne varie pas le long de la colonne, l'intégration sur la hauteur L , de cette équation donne :

$$C = C_0 \exp(-3LE_{cap}\Phi/4r_b) \quad (14)$$

En remplaçant C par l'équation 1.32, Jameson et al. (1977) ont dérivé la constante cinétique k pour une colonne de flottation fonctionnant en discontinu :

$$K = \frac{-3LE_{capt}\Phi}{2d_b t} = \frac{3}{2} \times \frac{Qg L E_{capt}}{d_b V} \quad (15)$$

où Qg est le débit de gaz introduit dans la colonne $Qg = V/t$.

Cette équation a été largement utilisée. Puisqu'elle permet de comparer les constantes cinétiques de flottation entre des cellules dont les conditions microscopiques sont similaires mais les dimensions sont différentes. On note aussi l'importance de la taille de bulle, qui est présentée dans l'équation elle-même et intervient de plus dans la fraction volumique des bulles. Cependant, la modélisation unidimensionnelle spatiale s'adapte seulement à la géométrie d'une colonne de flottation. Si on utilise d'autres géométries [10,11].

I.8 Thermodynamique de flottation:

L'application des principes de la thermodynamique aux systèmes de flottation permet de comprendre les mécanismes réactionnels et de prévoir si une transformation peut avoir lieu ou non, sans toutefois connaître la cinétique de cette transformation et sans pouvoir indiquer la récupération d'un minerai dans des conditions particulières. La principale critique de l'application de la thermodynamique vient du fait que, pendant le temps où se déroule l'opération de flottation, le système auquel on applique les lois thermodynamiques n'est en équilibre. Aussi cette démarche ne doit elle être considérée que comme une approche simplificatrice pour des phénomènes très complexe. [3,12]

I.8.1 Thermodynamique à l'interface liquide-air:

La tension superficielle γ est encore définie comme le travail nécessaire pour accroître l'interface entre deux fluides d'une unité de surface A . Si l'on considère l'accroissement infinitésimal dA , le travail nécessaire dW_r s'écrit, pour une transformation réversible :

$$dW_r = \gamma dA \quad (16)$$

L'expression générale de la variation de l'énergie libre G du système s'écrivant :

$$dG = -SdT + VdP + \sum \mu_i dN_i + \gamma dA \quad (17)$$

Avec T la température, S l'entropie, et N_i le nombre de moles du constituant i .

On a, à pression, température et composition constantes :

$$dG = \gamma dA \quad (18)$$

On a pour un accroissement infinitésimal, l'expression générale :

$$\gamma = (dG/dA)_{P,T,N} \quad (19)$$

Où G étant l'énergie libre de surface.

Comme à pression et composition constantes, on a par unité d'aire :

$$(dG/dT)_{P,n} = -S_s \quad (20)$$

Ou encore

$$(d\gamma/dT)_{P,n} = -S_s \quad (21)$$

L'énergie superficielle totale E_s est donnée par la relation :

$$E_s = G + TS_s \quad (22)$$

$$E_s = \gamma - T(d\gamma/dT) \quad (23)$$

Dans un système à composants multiples, l'accumulation d'un ou plusieurs composants à l'interface constitue le phénomène d'adsorption. Dans le cas de substances dissoutes dans un solvant l'équilibre de *Gibbs* donne la relation entre la tension superficielle.

Dans un système à composants multiples, l'accumulation d'un ou plusieurs composants à l'interface constitue le phénomène d'adsorption. Dans le cas de substances dissoutes dans un solvant l'équilibre de *Gibbs* donne la relation entre la tension superficielle γ entre deux phase et l'entropie superficielle S_s , la température T , le potentiel chimique μ_i de l'espèce i en solution et sa concentration molaire par unité d'aire à l'interface liquide – air (i , en mole/m²) :

$$d\gamma = -S_s dT - \sum \Gamma_i d\mu_i \quad (24)$$

Comme le procédé de flottation se déroule à température constante, il vient l'équation de Young :

$$d\gamma = -\sum \Gamma_i d\mu_i \quad (25)$$

En approximant $d\mu_i$ en fonction de l'activité a_i soit :

$$d\mu_i = RT d \ln(a_i) \quad (26)$$

Il vient :

$$\Gamma_i = \frac{1}{RT} \times \frac{\partial \gamma}{\partial \ln(a_i)} \quad (27)$$

On détermine ainsi la densité d'adsorption qui peut être soit négative, soit positive selon le signe du terme.

$$\frac{\partial \gamma}{\partial \ln(a_i)} \quad (28)$$

Pour un agent tensioactif ionique univalent, l'électro neutralité exigée et à peu près égale au nombre des ions ioniques d'agent tensioactif et les cations présents à l'interface. En conséquence, l'équation 1.12 est divisée par deux, et pour un agent tensioactif ionique univalent simple, la concentration de surface devient :

$$\Gamma_i = \frac{1}{2RT} \times \frac{\partial \gamma}{\partial \ln(a_i)} \quad (29)$$

I.8.2 Thermodynamique du mouillage et eau liée:

Le contact bulle particule est le facteur clé contrôlant le procédé de flottation parécume. L'équation de Young, décrit le système solide liquide air à partir des tensions superficielles γ_{SG} , γ_{SL} , γ_{LG} et de l'angle de contact θ entre la bulle et le solide elle s'écrit:[10.11].

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \cos \theta \quad (30)$$

I.9 Collision :

La collision entre une particule et une bulle est la condition préalable pour que la capture soit possible. La définition de la collision est l'approche d'une particule vers une bulle jusqu'à une certaine distance, à partir de laquelle, les forces de surface commencent à jouer (Schulze, 1989). Comme la taille de la particule est petite par rapport à celle de la bulle, l'interface est souvent considérée comme plane. De plus,

l'interface est déformable. Si l'inertie est assez grande, elle conduit à une dépression de la surface de bulle, ou même à un rebond de la particule (Sutherland & Wark, 1955). Si la surface de la bulle est complètement contaminée par les tensions-actifs, la collision peut être considérée comme celle d'une sphère solide approchant un plan solide.

Pour une particule de rayon, la collision avec une bulle intervient à chaque fois que la trajectoire de la particule approche la surface de la bulle à une distance inférieure à R_p . Notons r_{crit} la trajectoire critique dont la distance minimale à la surface de la bulle est R_p . La surface r_{crit} est définie par rotation autour de l'axe de symétrie de la ligne décrite par r_{crit} . Toutes les particules de diamètre R_p à l'intérieur de cette surface limite entrent donc en collision avec la bulle. L'ensemble de ces lignes compose un tube dont le rayon à une distance infinie de la bulle s'appelle le rayon de collision R_c . L'angle θ pour lequel la trajectoire critique est à la distance minimale R_c est noté θ_c . La surface de la bulle servant à capturer les particules est alors définie par $0 \leq \theta \leq \theta_c$. [13]

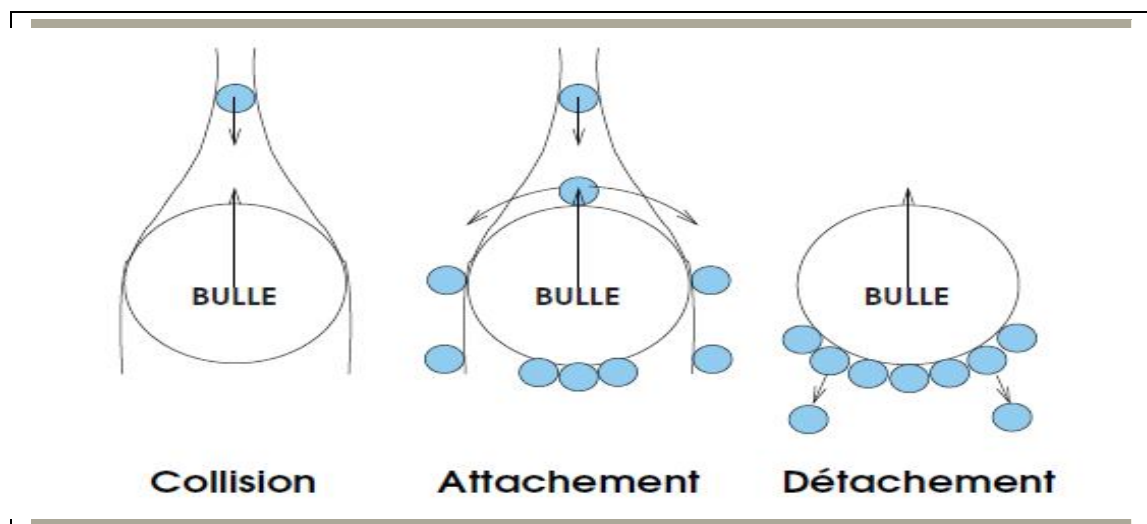


Figure I.5 : Représentation schématique des trois étapes de capture [13].

I.10 flottation des sulfures

I.10.1 Minéralurgie ou concentration:

Après extraction du minerai, celui-ci subit un traitement physique consistant une grande partie de la gangue. Dans le cas des minerais sulfurés, une flottation est généralement effectuée. La flottation consiste à séparer d'une part les parties valorisables d'un minerai et d'autre part la gangue. En oint sur leurs propriétés de surface et plus particulièrement sur le caractère. [14]

Avant de pouvoir séparer les constituants du minerai, il faut * libérer* les particules valorisables par broyage qui sera d'autant plus poussé que, par exemple les sulfures métalliques à récupérer, seront disséminés dans le minerai sous forme de fines particules. Ainsi, les blocs de quelques m³ extraits de la mine seront broyés jusqu'à atteindre de quelques dizaines à quelques centaines de micromètres.

Après extraction du minerai, celui-ci subit un traitement physique consistant à éliminer une grande partie de la gangue. Dans le cas des minerais sulfurés, une flottation est généralement effectuée. La flottation consiste à séparer d'une part les parties valorisables d'un minerai et d'autre part la gangue, en jouant sur leurs propriétés de surface et plus particulièrement sur le caractère hydrophobe ou hydrophile (mouillant) de celles-ci. Effectuée.

La flottation consiste à séparer d'une part les parties valorisables d'un minerai et d'autre part la gangue, en jouant sur leurs propriétés de surface et plus particulièrement sur le caractère hydrophobe ou hydrophile (mouillant) de celles-ci.

Avant de pouvoir séparer les constituants du minerai, il faut "libérer" les particules valorisables par broyage qui sera d'autant plus poussé que, par exemple les sulfures métalliques à récupérer, seront disséminés dans le minerai sous forme de fines particules. Ainsi, les blocs de quelques m³ extraits de la mine seront broyés jusqu'à atteindre de quelques dizaines à quelques centaines de micromètres.

La flottation est réalisée dans des bacs dans les quels le minerai broyé est mis en suspension aqueuse. Des ajouts éventuels sont effectués pour ajuster le pH, modifier les propriétés de surface des particules à l'aide de collecteurs, former des mousses stables.

D'autres ajouts permettent de moduler l'action des agents collecteurs : des déprimants augmentent le mouillage, des activateurs annihilent les effets des déprimants. Par ailleurs, une arrivée d'air permet de former des bulles qui entraînent en surface les éléments valorisables qui se retrouvent dans les "mousses". Ces dernières, après séchage, donnent des concentrés.

Il est également possible de séparer sélectivement divers sulfures métalliques d'une part de la gangue et d'autre part entre eux. [15-16]

Les principaux minéraux pouvant être séparés par flottation sont donnés dans le Tableau 04.

Tableau 04 : Principaux minéraux (Sulfurés) pouvant être séparés par flottation. [17]

<i>Galène</i>	PbS
<i>Blende</i>	ZnS
<i>Marmatite</i>	$Zn_{i-x}Fe_xS$
<i>Molybdénite</i>	MoS_2
<i>Pentlandite</i>	$Ni_{i-x}Fe_xS$
<i>Chalcocite</i>	Cu ₂ S
<i>Covellite</i>	CuS
<i>Chalcopyrite</i>	CuFeS ₂
<i>Bornite</i>	Cu ₅ FeS ₄
<i>Enargite</i>	Cu ₃ AsS ₄
<i>Tennantite</i>	(Cu, Fe) ₁₂ As ₄ S ₁₃
<i>Tétrahédrite</i>	(Cu, Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃
<i>Pyrite</i>	FeS ₂
<i>Pyrhotite</i>	Fe _{1-x} S
<i>Mispickel</i>	$FeAsS$

Les réactifs de flottation Permis les réactifs de flottation on peut citer les collecteurs, les déprimants, les régulateurs de milieu, les activant et les moussants.

I.11 Les collecteurs:

Le collecteur est un agent tensioactif (surfactant), molécule organique hétéro-polaire constituée par au moins une chaîne hydrocarbonée et une tête polaire, qui peut comporter un ou plusieurs groupes salifiant facilement inusables. Selon la charge de la tête polaire, après dissociation dans l'eau, 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).

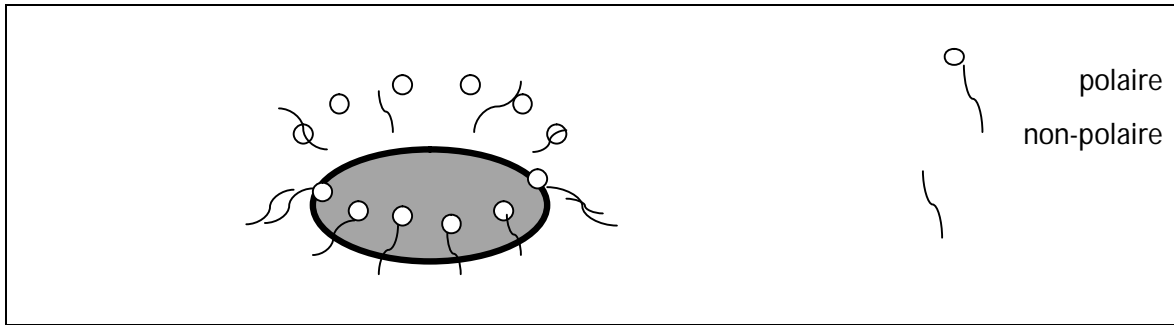


Figure I.6: Mode d'action d'un collecteur.

La classification des collecteurs est donc basée sur la capacité de s'ioniser dans l'eau et sur la nature chimique de la partie polaire ;il se divisent en deux groupes :

1- Ionogènes se dissociant en ions.

2- Non ionogènes se fixant sous forme moléculaire.[18.19]

La classification des collecteurs peut être résumée sur la figure suivant :

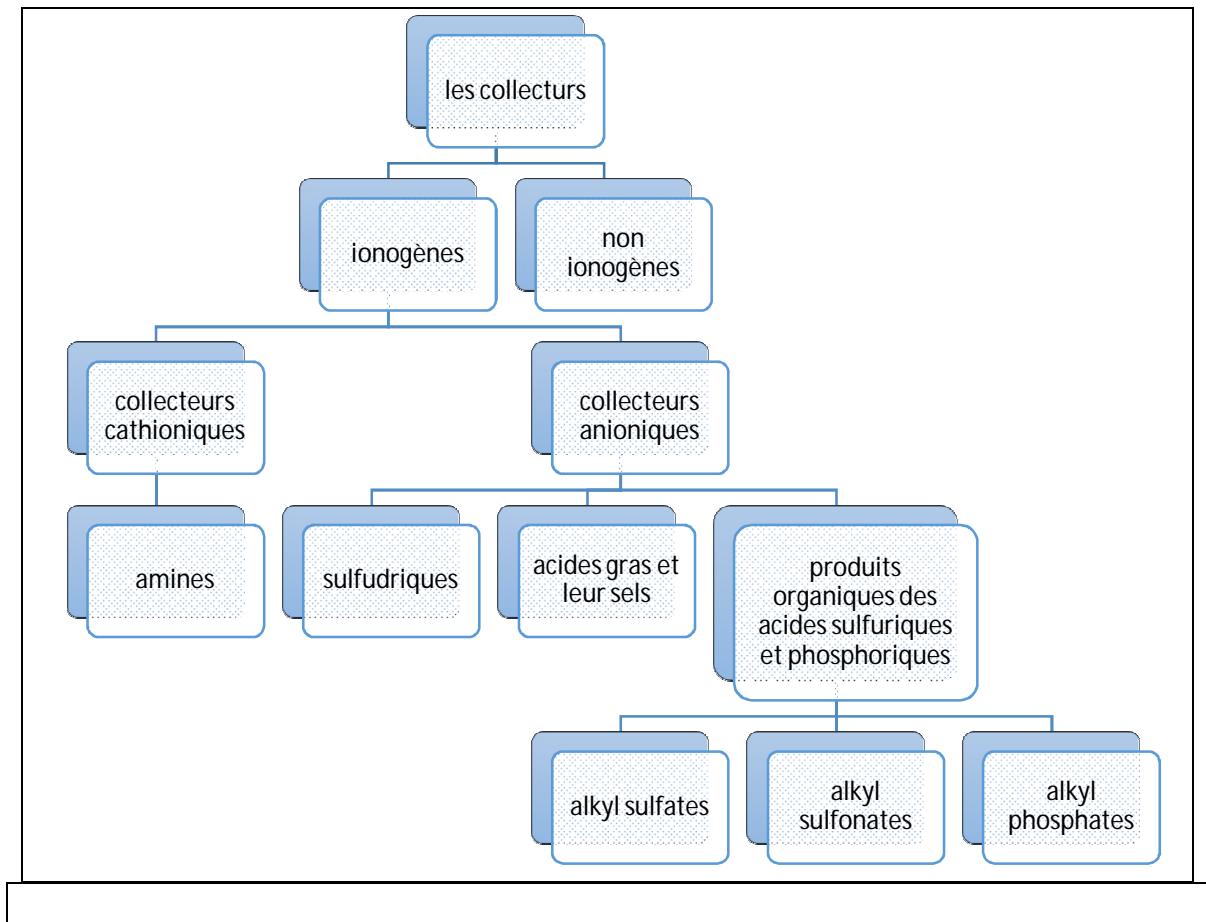


Figure I.7: Classification des collecteurs.[18]

I.11.1 Agents modifiant le Ph

Les phénomènes de surface étant très souvent sensibles au pH de la solution, des agents modifiant celui-ci (acide sulfurique, chaux...) sont couramment ajoutés dans la cellule. [20]

I.11.2 Les activant et les déprimants

Ce sont des réactifs chimiques favorisant la sélectivité de l'hydrophobicité entre les différentes phases minérales du minerai. Ils sont extrêmement variés, en fonction notamment des minéraux présents et leurs interactions.

On utilise aussi bien des sels métalliques (sulfate de cuivre, de zinc, de fer, bichromate,...), des oxydants et des réducteurs (sulfites, permanganate de potassium,...) ou des produits organiques (amidon). [21]

I.11.3 Domaines d'application

Comme tout procédé industriel, la flottation met en jeu des processus naturels. En les domestiquant et en les optimisant au profit des besoins humains.

En ce qui concerne la flottation, il s'agit de mettre en valeur, d'une part l'agglomération des collecteurs avec les matériaux en suspension, et, d'autre part, la flottabilité des agglomérats, qui ont été formés. L'objectif étant de séparer ces matériaux de leur milieu liquide.

Ces matériaux peuvent aussi bien être de la matière solide en suspension que des gouttes ou gouttelettes de liquides immiscibles avec le fluide porteur, leur taille étant comprise entre 10 et 300 μ m. Historiquement, il s'agit tout [22].

I.11.4 Les moussants

Réactifs pour rôle de favoriser la stabilité dynamique des bulles; Ce sont des tensioactifs organiques (huile de pin) utilisés à très faible dose (5 à 100 g par tonne de minerai) [21].

I.11.5 Caractéristiques physico-chimiques des moussants:

Les moussants doivent idéalement répondre aux exigences suivantes:

- De faibles concentrations doivent produire une mousse de volume suffisant et de résistance mécanique suffisante pour servir de milieu de séparation pour les solides.
- L'écume doit se priser facilement après avoir quitté les conditions de pseudo-stabilité qui permettaient son maintien à la partie supérieure de la cellule de flottation; cette condition est importante pour faciliter le transport par pompage du concentré.
- La texture de l'écume doit permettre l'élimination des particules de solide non

flottées.

- La diminution des bulles d'air et leur cinétique de coalescence doivent être aussi faibles possible.
- Ils doivent posséder une grande stabilité chimique par rapport à des changements brusques de pH, de concentration en sels dissous ;
- Leur coût relatif doit être bas.

I.12 Les conditions exigées aux réactifs de flottation :

Sélectivité d'action (le réactif doit être sélectif) :

- La quantité des réactifs doit être standardisée.
- Le prix doit être économique.
- Ils doivent être stables pendant le stockage.
- Ils doivent être solubles dans l'eau et non toxique.
- Ils doivent être respectés à la protection de l'environnement.[21]

Sont toutes possibles et conduisent à envisager (suivant le pH, le type de sulfure et la solubilité des espèces MeS_2O_3 ou $MeSO_4$ une composition de surface des sulfures, après oxydation par l'oxygène dissous, comportant des espèces telles que soufre, thiosulfate, sulfate, hydroxyde.

En raison de la présence de gaz carbonique dissous et en fonction de la solubilité relative des carbonates par rapport aux sulfates, thiosulfates, hydroxydes, etc., le composé de surface peut se transformer, par un mécanisme d'échange d'ions, en un carbonate de surface.

Les temps de contact entre les phases (air, solution aqueuse, minéral) sont relativement courts (de l'ordre de quelques dizaines de minutes lors des opérations de broyage, par exemple) et les cinétiques relativement lentes, ce qui conduit à n'envisager que la formation de quantités faibles de composés oxydés (en règle générale, inférieures à la quantité nécessaire pour couvrir la surface des particules du sulfure). [23]

I.13 Principaux collecteurs :

Les collecteurs actuels appartiennent à la famille des **thiols** RS ci les plus répandus sont les «dithiocarbonates et les dithiophosphate» plus connus respectivement sous leur dénomination de **xanthates** et **d'Aerofloats**. Les groupements alkyls sont généralement

courts [C₂ (éthyl) à Cs(hexyl)]. Les produits commerciaux sont généralement des sels de sodium ou de potassium (Tableau 04).

Tableau 05 : Principaux collecteurs des minéraux sulfures(R = radical aliphatique)[23]

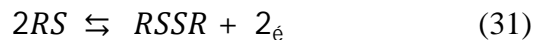
Colleteurs	Formule	pH de mise en œuvre
Allkyldithiocarbonates(xanthate)	$R - O - CSS^-, K^+$	8-13
Dialkyldisulfures(dixanthogène)	$R - O - CSS - SSC - O - R$	1-11
Dialkyldithiophosphates	$(R - O)_2PS, k *$	4-12
Dialkyldithiocarbamate	$(R)_2N - CSSX$	5-12
Isopropylthionocarbamate	$(CH_3)_2 - CH - O - CS - NH - C_2$	4-9
Mercaptobenzothiazole	$C_6H_4 - N = CSS, Na$	4-9

Il existe aussi des collecteurs chélatants, qui présentent peut-être un intérêt dans le futur, bien qu'actuellement ils n'aient guère dépassé le stade du laboratoire et que leurs coûts soient prohibitifs pour un usage industriel.

Ce sont des macromolécules qui forment sélectivement un composé superficiel avec un métal donné, grâce à Les propriétés les plus importantes des réactifs thiols sont les suivantes:

a) Leur solubilité relative est assez élevée pour les concentrations rencontrées en flottation (sauf pour les deux dernières familles citées tableau (04). Cette solubilité dépend de la longueur des chaînes alkyles.

b) Les thiols sont des réducteurs pouvant tous donner lieu à des réactions du type :

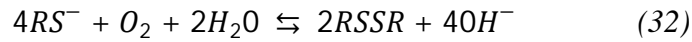


un ou plusieurs groupes fonctionnels

Les composés du type *RSSR* sont des huiles hydrophobes insolubles dans l'eau.

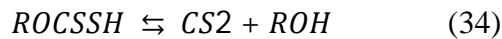
Les potentiels standards de ces réactions dépendent du thiol et, apparemment, de la longueur de sa chaîne. Pour les xanthates et les dithiophosphates, les valeurs sont, respectivement, de l'ordre de -0,08V et +0.2V par rapport à l'électrode normale à

hydrogène (ENH), pour des chaînes en (C_2 à C_5), habituellement utilisées. La réaction globale s'écrit :



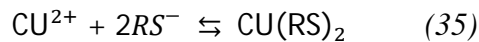
c) Les thiols sont des acides relativement faibles, avec des valeurs de pKa de l'ordre 3.

d) Les thiols se décomposent relativement facilement en solution aqueuse. En fait, le produit non ionisé se dégrade en redonnant les produits utilisés dans la synthèse. Dans le cas des xanthates :



La vitesse de décomposition dépend donc très fortement du pH. Pour l'éthylxanthate, le temps nécessaire pour observer la disparition de la moitié de la concentration en collecteur est de 5 minutes à pH 3, de 4 heures à pH 5 et de 20 jours aux pH supérieurs à 7 (à 25°).

e) Les thiols donnent des sels peu solubles avec la majeure partie des métaux de transition. Les produits de solubilité pour les éthyl-xanthates et diéthylthiophosphates sont donnés dans le tableau (05) pour les différents métaux d'importance économique. Les réactions ne sont pas toujours simples puisque, dans le cas du cuivre par exemple, on peut observer des réactions d'oxydoréduction :

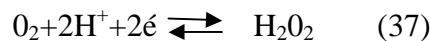


f) En raison de la faible longueur des chaînes hydrocarbonées des thiols utilisés couramment en industrie (C_2 à C_5), ces réactifs n'ont pas de propriétés de surfactants à l'interface liquide/gaz et ne sont pas des moussants. Pour la même raison, ils ne forment que peu d'agrégats ioniques ou moléculaires en solution (Micelles). [23]

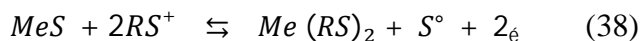
I.14 Adsorption des collecteurs sur les sulfures

Indépendamment des théories plus ou moins complémentaires sur les mécanismes de l'adsorption des thiols, l'action de ces derniers répond aux règles pratiques suivantes:

- La plupart des sulfures d'importance industrielle sont naturellement hydrophiles en l'absence d'oxygène (milieu réducteur). Cependant, pour certains d'entre eux, on constate une flottabilité naturelle. C'est le cas, par exemple, de la molybdénite (MoS_2) et de la stibine (Sb_2S_3).
- Les sulfures n'adsorbent pas les thiols en milieu réducteur et la flottation est impossible.
- Tous les sulfures (sauf la blende) adsorbent fortement les thiols à courte chaîne en présence d'oxygène de l'air ; la flottation est possible et même facile. L'hydrophobicité de surface conférée ainsi aux sulfures par un film adsorbé, correspondant en général à moins d'une couche moléculaire, est relativement importante et tient aussi bien à l'hydrophobicité des composés adsorbés qu'à la très faible affinité de la surface des sulfures pour l'eau ;
- Pour la galène et la plupart des sulfures, à l'exception de la pyrite et de la blende, l'adsorption peut résulter:
 - Soit d'une réaction du thiol avec les composés oxydés du sulfure de type échange d'ions, par exemple entre RS^- et carbonate ou thiosulfate de Pb dans le cas de PbS ;
 - Soit d'une réaction du thiol sur le sulfure en présence d'oxygène dissous, conformément à la théorie électrochimique qui donnerait :
 - A. Une réaction cathodique (réduction de l'oxygène).



B. Une réaction anodique (oxydation de sulfure),



Mais la présence de soufre élémentaire n'est pas mise en évidence expérimentalement, celui-ci étant logiquement oxydé. Pour la pyrite, l'arsénopyrite, la

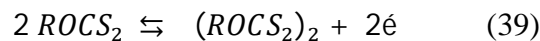
molybdénite et la pyrrhotine, il s'agirait de l'adsorption physique (réversible) du dixanthogène RSSR [25].

La flottation des sulfures fait appel à des collecteurs de la famille de thiols (xanthates, thiophosphates...) dont la chaîne hydrocarbonée est courte et dont les concentrations utilisées industriellement sont très faibles. Les quantités consommées montrent que l'on est situé bien au-dessous des quantités nécessaires pour créer une monocouche adsorbée.

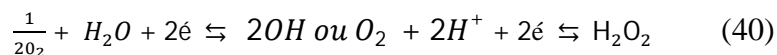
La théorie la plus ancienne est basée sur la stabilité des sels métal-thiol. Plus la chaîne hydrocarbonée est longue, plus le complexe formé sur la surface est stable et plus la récupération des espèces minérales sont facilitée. Autrement dit, le phénomène de flottation résulterait d'une adsorption chimique du surfactant ionique, le revêtement collecteur le moins soluble, donc le plus stable, donnant les meilleurs résultats en flottation.

- La théorie de l'oxydation préalable du sulfure tient compte du fait que la présence d'oxygène est nécessaire pour assurer l'adsorption des réactifs de type thiol. Le mécanisme nécessiterait que la surface soit préalablement oxydée en oxysulfure, qui s'échangerait avec l'ion du collecteur pour donner un composé superficiel métal collecteur.
- La théorie électrochimique est une application de la théorie de la corrosion selon laquelle pour qu'un système soit électriquement neutre, la somme des vitesses des réactions d'oxydation doit être égale à la somme des vitesses des réactions de réduction.

L'application de cette théorie au système de flottation des sulfures exige que la réaction d'oxydation anodique du xanthate (ou du dithiophosphate) en dixanthogène :



Soit compensés par la réduction cathodique de l'oxygène selon :



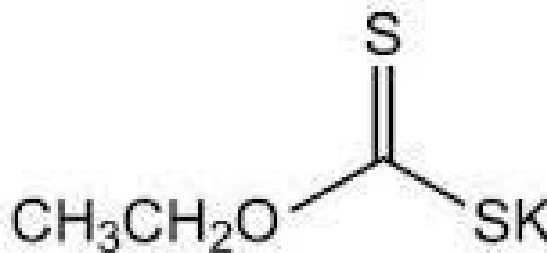
Cette dernière relation étant favorisée cinétiquement, car elle ne nécessite pas la dissociation des liaisons oxygène.[24]

I.15 Potassiuméthyle xanthate (KEX)

I.15.1 Historique de l'utilisation d'exanthate

Des xanthates habituellement, le sodium ou les sels de potassium sont principalement employées dans l'industrie minière comme un agent de flottation. Cette utilisation a été présentée la première fois par KELLER en 1927; L'efficacité des xanthates comme collecteurs de flottation augmente avec la longueur de la chaîne de carbone, mais comme conséquence une diminution de la sélectivité.

Les xanthates à une structure moléculaire hétéro polaire, un groupe non polaire d'hydrocarbure (R) et un groupe polaire de sulfure (S) ; une réaction chimique ce produit entre les minerais de sulfure et le groupe polaire ; cette réaction forme un film répulsif de l'eau sur la surface minérale et ceci permet aux particules minérales d'être portées par des bulles d'air sur la surface.



Figur I.8 Structure de potassium éthyl-xanthate (KEX)

D'autres noms pour des xanthates incluent des xanthogenates, des carbone-dithioates, des dithiocarbonates et des sels de sodium ou de potassium des acides xanthanic (ou dithiocarbonic). D'autres types de xanthates comme (propylique, butyle et amylique) xanthate peuvent être produits dans diverses combinaisons avec le sodium et le potassium, qui sont des stabilisateurs dans la formule chimique.

Des xanthates peuvent être produits à partir du bisulfure de carbone (CS_2), et sont employés comme agents de flottation dans le traitement des minerais. Ils sont des produits chimiques hydrosolubles qui sont employés principalement dans l'industrie minière.

Les xanthates sont les réactifs chimiques utilisés généralement pendant le traitement des minerais métalliques dans les cellules de flottation. Ils sont ajoutés au minerai qui a été écrasé et rectifié dans un particulaire fin et mélangé avec de l'eau. Ils enduisent les particules minérales valables, rendant ils produisent hydrofuge et

promotion de ce fait leurs Adhérence aux bulles d'air qui sont soufflés dedans du base des cellules de flottation. [26]

La précipitation de xanthate est une technologie relativement nouvelle comparée à d'autres méthodes de précipitation. Les xanthates sont les composés organiques sulfonâtes.

Le xanthate agit en tant que matériel d'échange ionique, où des ions de métaux lourds sont remplacés par le sodium et le magnésium.

Les xanthates sont utilisés généralement pour fabriquer le film de cellulose (cellophane) et la rayonne, mais en Australie ils sont exclusivement employés comme collecteur pour l'extraction des minerais de sulfure.

Les xanthates de butyle (isobutylique, normal, le butyle secondaire), propylique (isopropyle, propylique normal) et amyliques le butyle (amylique amylique et secondaire isoamylique et normal), sous les formes sèches, telles que la poudre, les granules, les granules, les comprimés ou les flocons. Le xanthate est le nom commun pour les réactifs chimiques utilisés dans la flottation et les métaux précieux, tels que l'or, cuivent, mènent des minerais, des minerais non-valables, tels que la pierre à chaux ou le quartz (gangue)(Murugappan St, Ullagaram, India.2001). [26]

I.15.2 Applications du xanthate

Les xanthates sont utilisés pour la flottation des minerais d'oxyde de sulfure et sulfuré. Sulfure de sodium (Na_2S) ou hydrogénosulfure (NaHS) L'activité de la hausse des xanthates avec la longueur de la chaîne du groupe alkyle R, la sélectivité diminue en conformité avec la chaîne a augmenté longueur. Xanthates sont souvent utilisé Sulfure en combinaison avec d'autres réactifs tels que les dithiophosphates ou thionocarbamates, souvent ajouté au circuit de trésor pour améliorer le recouvrement total. Ils sont normalement utilisés dans des solutions aqueuses [20].

I.15.3 Type de xanthate

- Potassium ethyl xanthate (KEX)
- Potassium amyl xanthate (KAX)
- Potassium butyl xanthate (KBX)
- Potassium isobutyl xanthate (KIBX)
- Potassium propyl xanthate (KPX)
- Potassium isopropyl xanthate (KIPX)

- Potassium isoamyl xanthate (KIAX)

I.15.4 Méthodes d'analyses et détection

L'analyse structurale de xanthate peut d'être caractérisée par :

- Spectroscopie infrarouge.
- Spectroscopie ultraviolet.
- DRX cristallographie.

PARTIE EXPERIMENTALE

Etude de l'adsorption de xanthate
(KEX) sur la galène (PbS)

II.1 Introduction

Cette partie est consacrée à l'étude de l'adsorption de xanthate (KEX) sur le galène (PbS) à différentes concentrations de xanthate avec et sans activateur.

Le produit obtenu est caractérisé par des méthodes d'analyses spectroscopiques (IR) dans des conditions bien déterminées telles que la concentration de collecteur, le temps de réaction et le pH.

II.2 Spectroscopie infrarouge FTIR

Cette technique est basée sur le fait que l'énergie de vibration de la majorité des molécules organiques coïncide avec l'énergie des photons de la région centrale de l'infrarouge en $4000-400\text{ cm}^{-1}$, ce qui permet à ces molécules d'absorber ces photons et donner lieu à des phénomènes de résonance qui peuvent être exploités pour l'identification de leurs structures.

Le spectrophotomètre utilisé dans notre cas, de marque japonaise JASCO 460 plus FTIR avec une résolution 4 cm^{-1} et une accumulation automatique des spectres.

Notre produit est examiné sous forme de pastille. Ce dernier est broyé finement dans un mortier d'agate et est ensuite conservé dans une étuve à une température de $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant 17 heures pour l'élimination de l'humidité.

Un mélange de 5 mg de substance à analyser avec 150 mg KBr anhydre. La poudre est ensuite placée dans une matrice d'acier inoxydable et soumise à une très forte pression à l'aide d'une presse hydraulique spéciale.

Avant et pendant l'application de la pression, on évacue l'air en reliant la matrice à une pompe à vide, ceci pour éviter l'apparition de fissures dans la pastille obtenue qui doit être soit transparente soit translucide. [29]

II.3 Propriétés physico-chimiques

II.1 Potassium Ethyl Xanthènes (KEX)

C'est un collecteur le plus puissant avec une sélectivité forte, employé couramment dans le traitement de flottation des minerais de sulfure, des minerais de zinc et des minerais de nickel, particulièrement pour le traitement de flottation du minerai composé du sulfure Cu-Ni aussi bien que la mine d'or liée à la pyrite. Il peut également obtenir des résultats satisfaisants une fois utilisé en minerais de cuivre d'oxyde de plomb.

- Couleur : jaune ;
- Odeur : désagréable d'odeur due à la présence du sulfure de carbone ;

- Point d'ébullition : 182-256°C ;
- Densité : 1.263 ;
- Solubilité dans l'eau : 450g/l à 10°C ;
- Hydrolyse en fonction de pH : xanthate hydrolysé très rapidement dans les conditions acide ; Adsorption : potassium éthyle xanthate adsorbe fortement aux minerais de sulfures
- Constante de dissociation : l'acide de potassium éthyle xanthate de $pK_a=1.6$ et $pK_b=12.4$;
- Inflammabilité : inflammable (solide) ;
- Produit de combustion : Na_2S ; SO_2 ; CO_2 ; H_2O ;
- Température de décomposition : supérieure à 25°C.

Propriétés physique de la galène

- Système : cubique ;
- Densité : $d=7,5-7,6$;
- Propriétés : tendre, très lourde ;
- Clivage : très parfait ;
- Couleurs : gris de plomb ;
- Eclat: métallique vif ;
- Transparence : opaque ;
- Utilisation : principale minerai de plomb ;

II.4 Partie expérimentale

II.4.1 Protocole de traitement de la roche :

II.4.1.1 Première étape : élimination de l'argile

Pour obtenir une bonne adsorption, on doit séparer la sphalérite et la galène de l'argile de la roche.

II.4.1.2 Deuxième étape : le broyage à sec et le criblage de la sphalérite et la galène

Les particules utilisées pour l'adsorption doivent être très fin, généralement de dimension de 0,3705 mm pour la galène, dans ce cas la galène doit être bien broyée et criblée.

L'adsorption nécessite l'utilisation de certains réactifs, il s'agit de :

1. Régulateur de pH : HCl, NaOH $10^{-1}M$
2. Activant : $CuSO_4, Cu(NO_3)_2$ $10^{-4}M$
3. Collecteur : KEX (potassium éthyle xanthate) ($10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}M$)

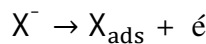
II.4.2 Protocole de l'adsorption de KEX sur la galène :

- Pour avoir une pulpe, on doit mélanger 3g de la poudre des particules fine de la galène avec 50ml de l'eau distillé.
- Addition des gouttes de NaOH 10⁻¹M, pour ajuster le pH a 9,5.
- On ajoute 50 ml de sulfate de cuivre 10⁻⁴M, pour activée la surface minérale de la galène.
- On ajout 50 ml de KEX au mélange.
- Agitation pendant 10 mim.
- Filtration et séchage a l'air libre.
- L'étude qualitative de l'adsorption de potassium éthyle xanthate sur la surface minérale de la galène a nécessité la préparation des solutions de collecteur KEX a des concentrations différentes (10⁻¹, 10⁻², 10⁻³M).[30]

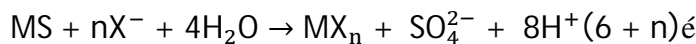
Mécanisme général d'adsorption de xanthate sur les sulfures

L'interaction entre le minerai de sulfure avec le xanthate se fait par le mécanisme d'adsorption proposé par K.Neerakj:

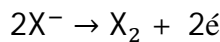
1-Adsorption chimique de l'ion xanthate X⁻



2-Réaction de xanthate avec le minerai de sulfure (MS) pour produire le métal xanthate (MX_n)



3- Oxydation de xanthate au dioxantogène (X₂) sur la surface minéral



II.5 Discussion des résultats

II.5.1Caractérisation du xanthate par spectroscopie infrarouge

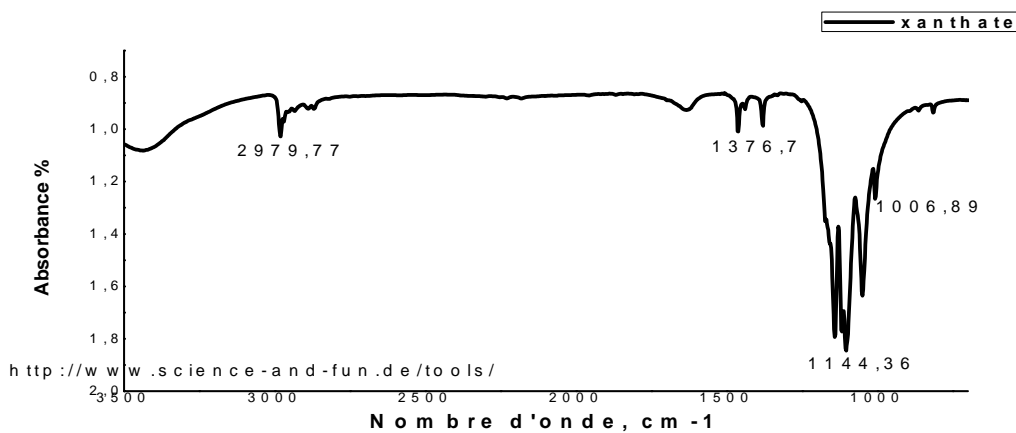


Figure II.1: Spectre FTIR de xanthate

Le spectre infrarouge de potassium éthyle xanthate est représenté par la (figure II.1) indique l'apparition des bandes d'absorption a $1006,89\text{cm}^{-1}$ et d'autres bandes a $1144.36\text{-}1376.7\text{cm}^{-1}$ attribuées respectivement aux vibrations des liaisons (C=S) et (O-CS). Une autre bande d'absorption a 2979.77cm^{-1} est attribuée aux vibrations des liaisons de la chaîne de carbone de l'éthyle ($\text{CH}_3\text{-CH}_2$)

II.5.2. Caractérisation de la galène par spectroscopie infrarouge

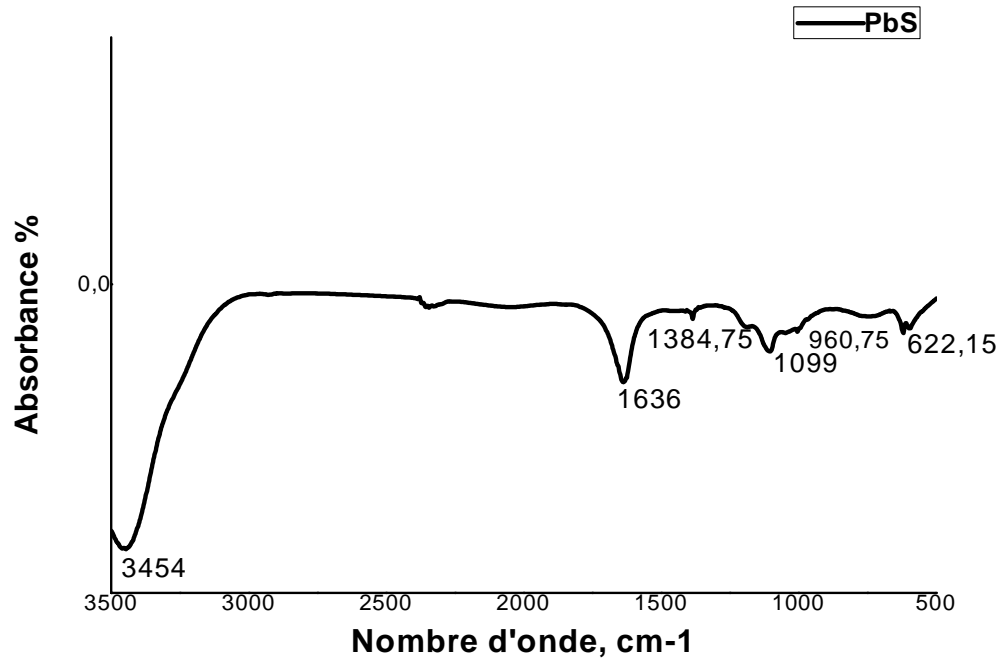


Figure II.2: Spectre FTIR de la galène

Le spectre infrarouge de la galène (figure II.2) indique l'application d'une bande d'absorption 960.75cm^{-1} attribuée à la vibration de la liaison Pb avec l'oxygène (PbO_4), une autre bande d'absorption à 1384cm^{-1} attribuée à la vibration de la liaison Pb avec les carbonates CO_3^{2-} . D'autres bandes d'absorption à 16376cm^{-1} est attribuée aus vibrations des liaisons Pb-OH, dit eau de structure. Une autre bande d'absorption à 3454cm^{-1} qui caractérise les groupements OH de l'eau d'hydratation.

II.5.3 Détermination qualitative de l'adsorption de potassium éthyle xanthate (KEX) sur la galène

L'étude de l'adsorption du xanthate à différentes concertations KEX sure le surface minérale de la galène (PbS) a été réalisée par le spectroscopie infrarouge.

a- Cas de [KEX]=10⁻¹M

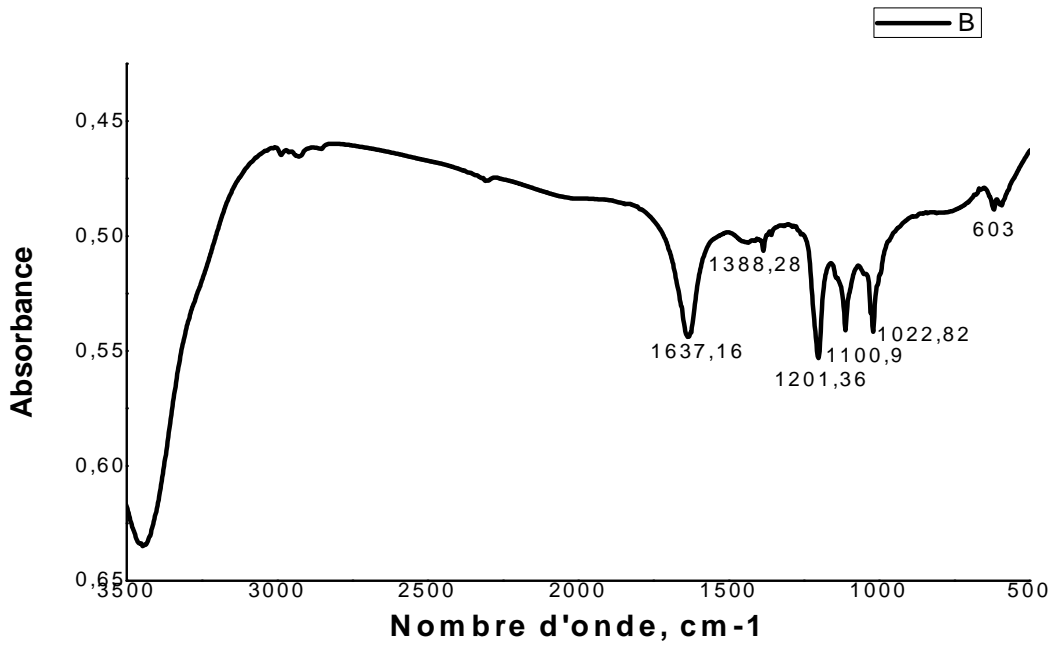


Figure II.3: Spectre FTIR de la galène non activée traitée par KEX 10⁻¹M a pH 9,5.

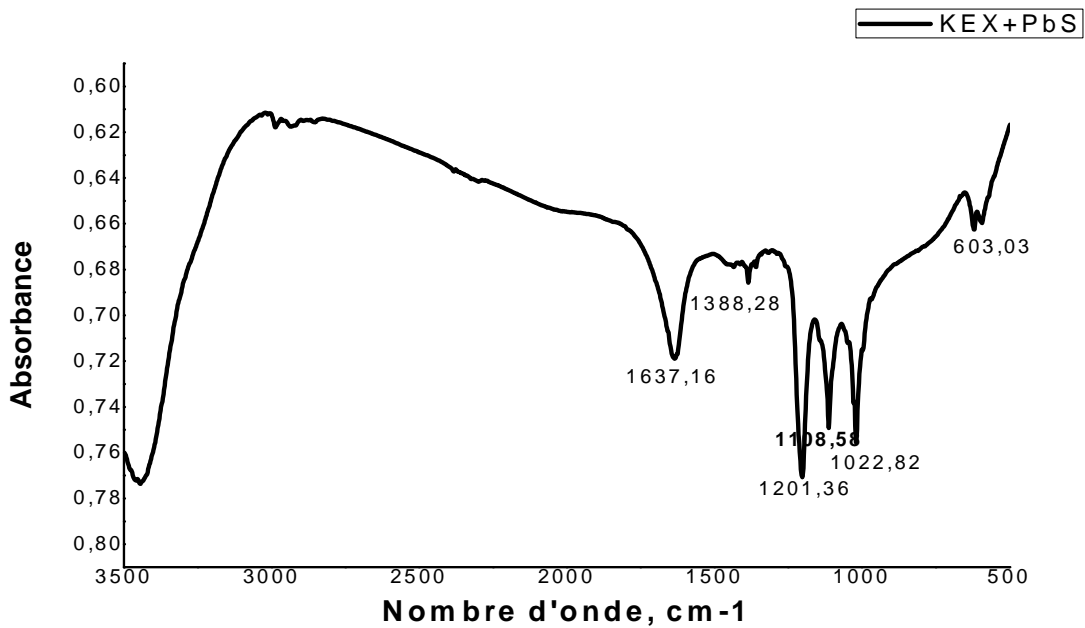


Figure II.4: Spectre FTIR de la galène activée traitée par KEX 10⁻¹M a pH=9,5.

On représente sur la figure (II.3 et II.4) les spectres infrarouges de la galène après traitement par le xanthate d'éthyle de potassium (KEX) à concentrations 10⁻¹M en milieu basique pH=9,5. Après 10 minutes d'agitation, l'apparition d'une bande d'absorption à 1100,9cm⁻¹ et d'une autre bande à

$1108,52\text{cm}^{-1}$ respectivement (figure II.3,4) attribuée à la vibration de la liaison (Pb-EX). et d'autre bande $1203,36\text{cm}^{-1}$ attribuée à la vibration de la liaison (C=S).

b- Cas de $[\text{KEX}]=10^{-2}\text{M}$

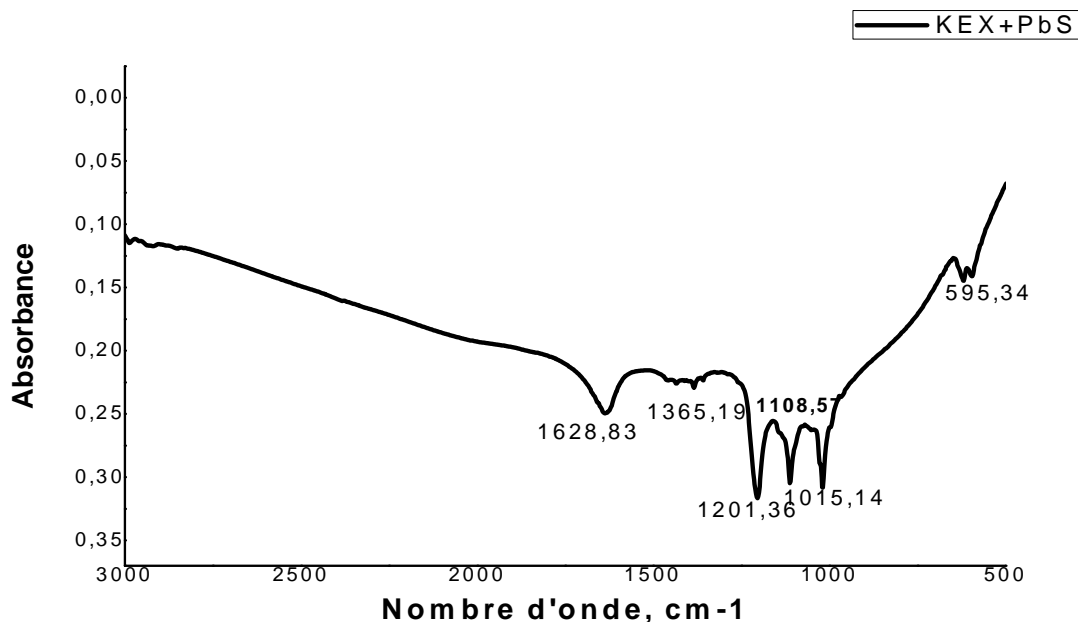


Figure II.5: Spectre FTIR de la galène non activée traitée par KEX 10^{-2}M à pH 9,5.

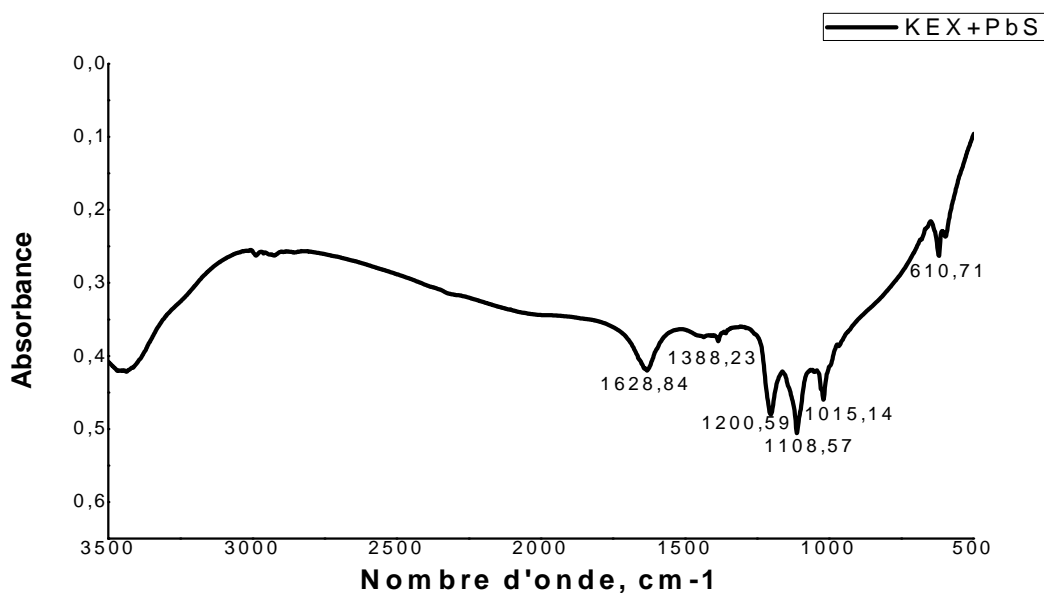


Figure II.6: Spectre FTIR de la galène activée traitée par KEX 10^{-2}M à pH 9,5.

On représente sur la figure (II.5 et II.6) les spectres infrarouges de la galène après traitement par le xanthate d'éthyle de potassium (KEX) à concentrations 10^{-2}M en milieu basique pH=9,5

.Après 10 minutes d'agitation, l'apparition d'une bande d'absorption à 1108.57cm^{-1} attribuée à la vibration de la liaison (Pb-EX).et d'autre bande 1203.36cm^{-1} attribuée a la vibration de la liason (C=S).

c- Cas de $[\text{KEX}]=10^{-3}\text{M}$

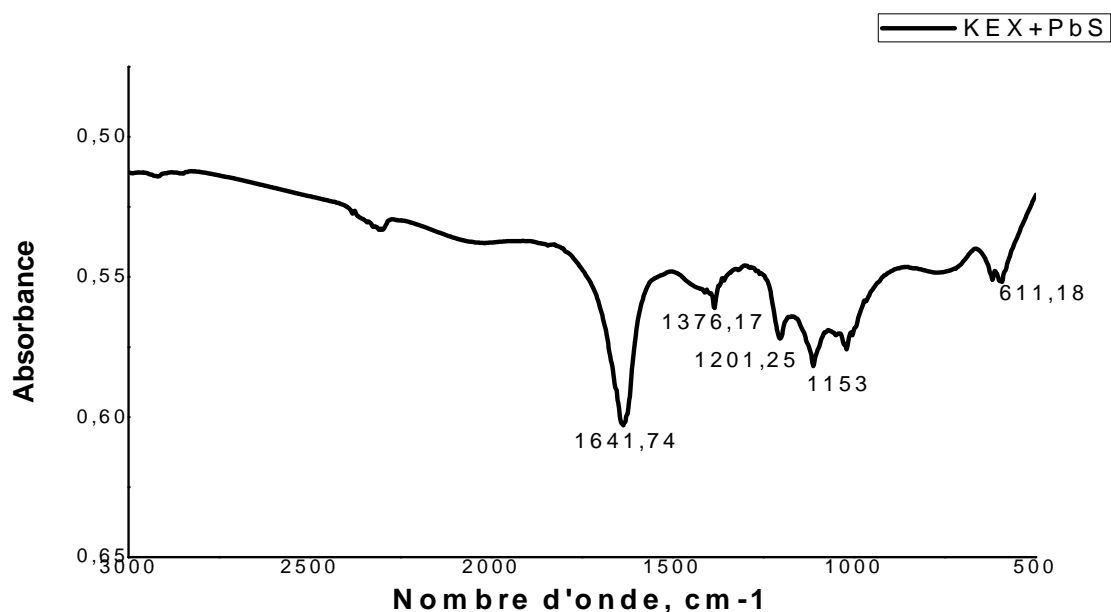


Figure II.7 spectre FTIR de la galène non activée traitée par KEX 10^{-3}M a pH 9,5.



Figure II.8: spectre FTIR de la galène activée traitée par KEX 10^{-3}M a pH 9,5.

On représente sur la figure (II.7 et II.8) les spectres infrarouges de la galène après traitement par le xanthate de éthyle de potassium (KEX) à concentrations 10^{-3}M en milieu basique $\text{pH}=9,5$. Après 10 minutes d'agitation, l'apparition d'une faible bande d'absorption à 1153cm^{-1} et d'une autre bande à $1123,4\text{cm}^{-1}$ respectivement (figure II.1,16) attribuée à la vibration de la liaison (Pb-EX). Explique clairement l'adsorption de xanthate KEX sur la surface minérale de la galène.

Un très faible bande $1201,25\text{cm}^{-1}$ attribuée à la vibration de la liaison (C=S).

Conclusion générale

Ce travail nous a permis de réaliser la détermination qualitative de l'adsorption de Potassium éthyle xanthate sur la surface minérale de la galène les conditions de flottation de collecteur anionique type potassium éthyle xanthate(KEX) dans des conditions bien déterminées et l'importance de l'utilisation des xanthates dans la flottation des sulfures.

L'étude comparative des spectres FTIR, adonné les résultats suivants :

- ❖ L'activation de la surface minérale de galène par le sulfate de cuivre (10^{-4} M) est un facteur essentiel de l'adsorption de xanthate KEX sur les sulfures.
- ❖ Le xanthate KEX s'adsorbe sur la surface minérale de la galène de concentration meilleure de 10^{-2} M.
- ❖ . Ces résultats sont justifiés par l'apparition de la bande qui caractérise le métal xanthate à 10^{-1} M (Pb-X : $1022.58-1108.57\text{ cm}^{-1}$).

ملخص

في التقدير النوعي لامتزاز إيثيل زانتات البوتاسيوم (KEX) بتركيز مختلف ($10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}M$) على السطح المعدني لحالينا (PbS) الذي تم تنشيطه بواسطة $CuSO_4 10^{-4}M$ ، الذي عولج من طرف KEX في حالة الطفو ($pH=9,5$) بواسطة التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء مما سمح بإعطاء معلومات مباشرة على شكل و نوعية الامتصاص مع تركيز الأمثل لزنتات (Pb-x : 1108,57-1022,58 سم⁻¹)

Résumé

la détermination qualitative de l'adsorption de potassium éthyle xanthate (KEX) à différentes concentration ($10^{-1}, 10^{-2}$ et $10^{-3}M$) sur la surface minérale de la galène (PbS) activé par $CuSO_4 10^{-4}M$, traité par KEX dans la condition de flottation ($PH=9,5$) par spectroscopie IR a permis de donner une information direct du la forme d'adsorption avec une concentration optimale de xanthate $10^{-1}M$ (Pb-X : 1022.58-1108.57 cm^{-1}).