

Identification de l'unité d'enseignement

Spécialité: Valorisation des Ressources Minérales

Semestre :2

Titre : Flottation des minerais

Responsable de l'unité (cours+TD): Dr. TAHRI T.

Unité d'enseignement : Fondamentale

Crédits : 6

Coefficient : 3

Volume horaire hebdomadaire: 4.5 h

- **Deux cours 2x 1.5h**
- **Travaux dirigés 1.5h**

Description de l'unité d'enseignement

Connaissances préalables recommandées

Minéralogie, chimie physique, électrochimie et chimie organique.

Objectifs de l'enseignement

Comprendre les phénomènes physicochimiques qui permettent la flottation sélective de minerais complexe. Connaitre les réactifs utilisés et leur mode d'action. Comprendre les conditions d'applications pratique de la flottation comme procédé : machine de flottation et circuits.

Contenu de l'unité d'enseignement

- ✓ Principes et avantages du procédé de flottation
- ✓ théorie
- ✓ Réactifs de flottation
- ✓ Technologie de flottation

Références bibliographiques:

- HUANG Zhujun. Efficacité de Capture dans les Procédés de Flottation. L'institut national des sciences appliquées de Toulouse 10 décembre 2009.
- Pierre BLAZY. Flottation - Aspects pratiques. j3360 ; 7200092269 - cerist // 193.194.76.5 le 01/10/2012.
- Livre Pierre BLAZY. 2000. Valorisation des minerais. P176

Pour vos questions voici mon email

Contact: tahri2008@yahoo.fr

FLOTTATION DES MINERAIS

Introduction

La flottation est une technique de séparation des solides basée sur les différences existant entre leurs propriétés superficielles dans une solution aqueuse et dans l'air. Ce procédé fait appel à la différence de masse volumique entre les deux phases en présence.

La flottation est une opération unitaire utilisée pour séparer des particules solides ou liquides (phase dispersée) d'une phase liquide (phase continue). Le principe repose sur la capture de corps en suspension dans une pulpe à traiter, par des collecteurs flottants, le plus souvent des bulles d'air. Pour ce faire, on disperse des bulles d'air dans une suspension aqueuse de particules solides (**pulpe**) pour récupérer l'**espèce minérale** à séparer, rendue préalablement hydrophobe par un ajout de **collecteur (surfactant)**. Si les particules mises en contact avec les bulles sont captées par ces dernières, elles peuvent monter à la surface de la cellule, où ces agglomérats sont retenus dans une mousse qui est ensuite évacuée du procédé par déverse ou raclage. L'ensemble eau-bulles-particules hydrophobes est rassemblé sous forme d'une **écume** surnageante stabilisée par un **moussant**.

La flottation peut en outre s'appliquer aux ions en solution et aux précipités organométalliques hydrophobes.

La pratique de la flottation d'espèces minérales implique la compréhension :

- des phénomènes électriques à l'interface minéral-eau ;
- de la modification des propriétés superficielles par le broyage ;
- de l'adsorption des surfactants sur les surfaces minérales ;
- de la nature des surfactants (collecteurs et moussants) et de l'action des déprimants et

des activants dont le rôle est d'inhiber ou de faciliter l'action des collecteurs afin d'obtenir une séparation sélective.

Le mécanisme de la flottation est assez mal connu et ce fait est du avant tout à une connaissance médiocre de physicochimie interfaces. Ainsi, on connaît assez bien physicochimie de l'interface liquide-air (ou gaze) mais on ne connaît que très médiocrement celle de de l'interface solide-liquide. Lorsqu'on considère le système ternaire liquide-minéral-gaze, les progrès réalisés depuis les modèles de Young et de Dupré sont assez minces et les seuls interprétations quantitatives de la mouillabilité sont donnés par un arsenal expérimental qui ne satisfait que partiellement les physiciens.

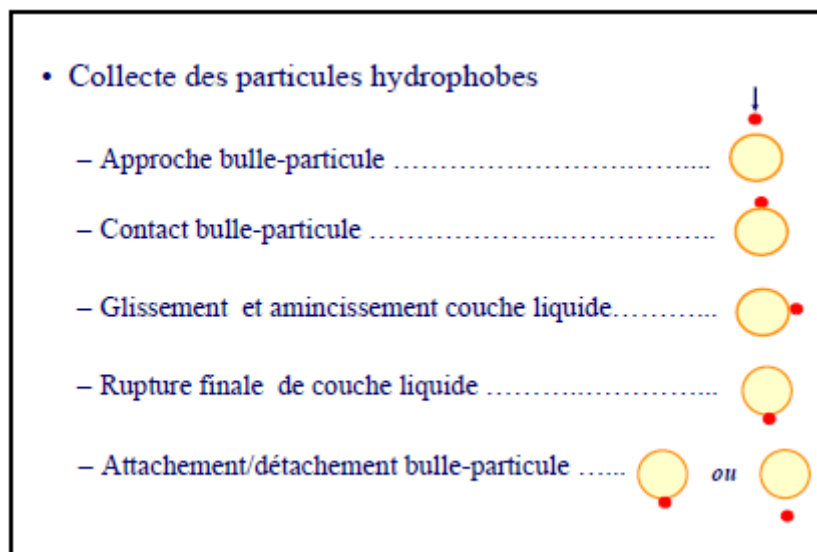
Le procédé de la séparation physico-chimique est approprié pour le traitement des particules dont la taille est comprise entre 5-212 μ m cependant pour les minéraux légers comme le charbon la limite supérieur et élevée à 1,70mm. Il est utilisé pour le traitement de plusieurs minerais complexe (Plomb-Zinc, Cuivre-Zinc,...), sulfure (cuivre, plomb, zinc,...) des minéraux oxydés (hématite, cassite,...) et même des minerais non-métalliques (fluorite, phosphate, charbon,...) grâce à la flottation, il est possible de concentrer de façon économique de minerais pauvres dont le traitement ne serait pas rentable on utilise seulement la technique de concentration gravimétrique.

Chapitre I : Théorie de flottation

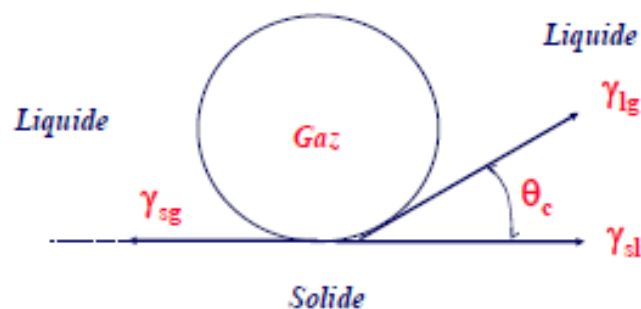
1. Thermodynamique du mouillage

Hydrophobicité de surface

- Le phénomène fondamental:
 - attachement entre une bulle d'air et une particule dans un milieu liquide
- L'attachement se fait après compléter les étapes :
 - approche bulle-particule
 - collision bulle-particule
 - amincissement de la couche de liquide interposée
 - rupture de la couche liquide
 - attachement particule-bulle



- Les étapes antérieures se vérifieront seulement si le solide est devenu hydrophobe
- De plus, une fois que la collision et l'attachement se sont produits, l'agrégat bulle-particule ne doit pas se désintégrer.
- On a donc besoin de certaines conditions d'interfaces
- En flottation on met en jeu trois interfaces:
 - *solide - gaz*
 - *solide - liquide*
 - *gaz - liquide*



- Les forces de tension développées aux trois interfaces (γ_{sg} , γ_{sl} , γ_{lg}) déterminent un angle de contact entre la surface de la particule et celle de la bulle
- À l'équilibre on aura:

$$\gamma_{sg} = \gamma_{sl} + \gamma_{lg} \cdot \cos \theta_c$$

où γ est l'énergie de l'interface

θ_c est l'angle de contact

La force nécessaire pour briser l'interface solide/ gaz (travail d'adhésion) W_{sg} , est égale à l'énergie au stade (S/L + L/G) moins l'énergie au stage S/G, alors

$$W_{sg} = \gamma_{sl} + \gamma_{lg} - \gamma_{sg}$$

$$W_{sg} = \gamma_{sl} + \gamma_{lg} - (\gamma_{sl} + \gamma_{lg} \cdot \cos \theta_c)$$

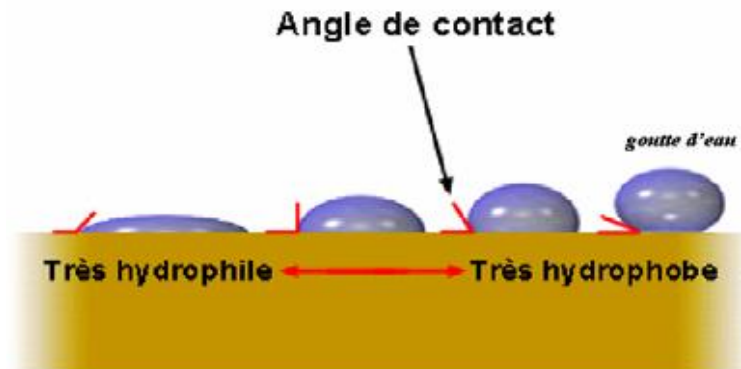
- On voit que plus θ_c est grand, plus W_{sg} est grand, donc plus la particule est attachée à la bulle (hydrophobe)
 - La majorité des minéraux ont cependant de faibles angles de contact ($< 30^\circ$), c'est-à-dire sont hydrophiles
- On a donc besoin d'une hydrophobisation forcée !

$$W_{sg} = \gamma_{lg} \cdot (1 - \cos \theta_c)$$

Hydrophobe = aérophile

Hydrophile = aérophobe

Angle de contact et degré d'hydrophobicité



2. Thermodynamique de la 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 pas en équilibre. Aussi cette démarche ne doit-elle être considérée que comme une approche simplificatrice pour des phénomènes très complexe.

2.1. 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 :

$$\blacksquare \quad dW_r = \gamma dA \quad (1)$$

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

$$\blacksquare \quad dG = -SdT + VdP + \sum \mu_i dN_i + \gamma dA \quad (2)$$

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

$$\blacksquare \quad dG = \gamma dA \quad (3)$$

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

$$\gamma = \left(\frac{\partial G}{\partial A} \right)_{P, T, N} \quad (4)$$

Où G étant l'énergie libre de surface.

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

$$\left(\frac{\partial G}{\partial A} \right)_{P, n} = -S_s \quad (5)$$

Ou encore

$$\frac{d\gamma}{dT} = -S_s \quad (6)$$

L'énergie superficielle totale E_s est donnée par la relation

$$E_s = G + TS_s \quad (7)$$

$$E_s = \gamma - T \frac{d\gamma}{dT} \quad (8)$$

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 (Γ_i , en mole/m²).

$$d\gamma = -S_s dT - \sum \Gamma_i d\mu_i \quad (9)$$

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

$$d\gamma = - \sum \Gamma_i d\mu_i \quad (10)$$

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

$$d\mu_i = RT d \ln(a_i) \quad (11)$$

il vient :

$$\Gamma_i = \frac{-1}{RT} \frac{\partial \gamma}{\partial \ln(ai)} \quad (12)$$

On détermine ainsi la densité d'adsorption qui peut être soit négative, soit positive selon le signe du terme $\frac{\partial \gamma}{\partial \ln(ai)}$

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 12 est divisée par deux, et pour un agent tensioactif ionique univalent simple, la concentration de surface devient :

$$\Gamma_i = \frac{-1}{2RT} \frac{\partial \gamma}{\partial \ln(ai)} \quad (13)$$

2.2. Modèle de la double couche pour une particule électronégative

Le mouvement relatif de la surface de la particule et de la solution aqueuse donne naissance à un plan de glissement situé entre les couches d'eau en contact avec le solide et celles qui en sont éloignées, le potentiel de ce plan est appelé potentiel de Freundlich ou potentiel ζ (Zêta) qui est voisin de Ψ_δ

Afin de rendre la surface de la particule hydrophobe, il est nécessaire d'ajouter les collecteurs qui peuvent annuler ou au moins diminuer la charge électrique qui se développe à sa surface.

Les charges électriques se disposent suivant le modèle de double-couche, dit modèle de Gouy-Chapman modifié par Stern-Graham. Il existerait une couche rigide d'ions déshydratés liée au solide et une couche de contre-ions hydratés créant une couche diffuse. Le plan de Stern situé à la distance d de la surface est le plan d'approche maximale des contre-ions. Son potentiel est Ψ_δ . Pour des distances d supérieurs à δ , la décroissance du potentiel est exponentielle :

$$\Psi = \Psi_\delta \exp(-kd)$$

k : étant une constante

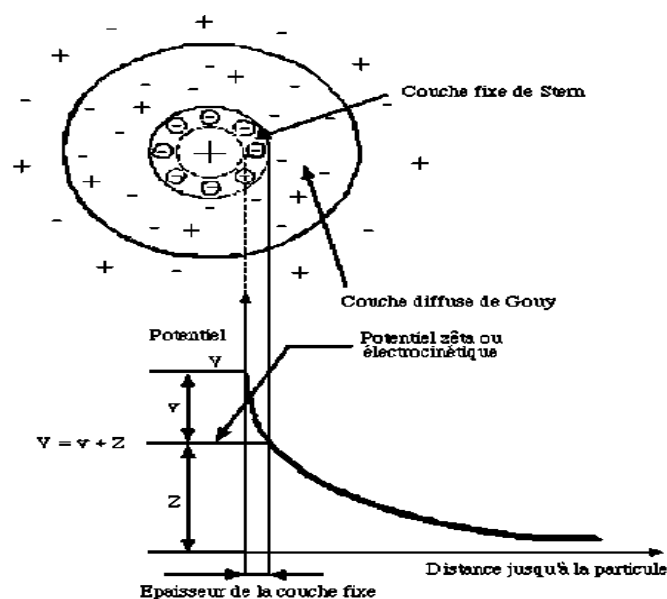


Fig. Structure de la double couche et de la distribution de la potentielle thermodynamique V et électrocinétique Z .