

1. Exemples industriels

Les quelques exemples donnés ci-après sont choisis parmi les innombrables monographies minières. On s'intéressera aux minerais sulfurés non ferreux, aux minerais de fer, aux minerais de phosphate et à la flottation ionique.

1.1 Flottation de minerais sulfurés non ferreux

Les minerais de cuivre typiques de l'industrie minière titrent de l'ordre de 1,5 à 2 % de Cu, généralement sous forme de chalcopryrite, de chalcocite et de covellite, associées à de la pyrite (4 à 5 %) dans une gangue siliceuse (granitoïde). Pour flotter sélectivement les espèces cuprifères, la pyrite est déprimée à la chaux, car à $\text{pH} > 10,5$ l'adsorption d'un collecteur de type thiol sur la surface de ce minéral est inhibée. Le conditionnement est réalisé sur des pulpes contenant 35 à 40 % de solides. Les consommations moyennes de réactifs sont de l'ordre de 1 500 à 1 800 g/t pour la chaux, 10 à 25 g/t pour l'amyloxanthate de potassium et 10 g/t pour le MIBC (méthyl isobutyl carbinol).

Dans le cas des minerais de plomb-zinc-pyrite, le problème est différent. Un minerai classique peut contenir 6 à 7 % de galène (PbS), 6 à 7 % de blende (ZnS) et 5 % de pyrite (FeS_2). On ne peut comme précédemment déprimer la pyrite à un pH de 10,5 car le recouvrement de type PbX_2 ($\text{X} = \text{xanthate}$) à la surface de la galène serait détruit. Mais, en présence d'ions cyanures nécessaires pour déprimer la blende, il est possible de déprimer la pyrite à un pH de 9 à 10 par formation vraisemblablement d'une phase $\text{Fe}_4(\text{FeCN}_6)_3$ sur sa surface. Le pH est fixé par addition de carbonate de sodium, si la gangue n'est pas carbonatée. De plus, le carbonate permet d'éviter que des ions Pb^{2+} provenant de l'oxydation de la galène activent la blende et la pyrite. Pour flotter la blende après la galène, on la réactive avec du sulfate de cuivre, à un pH de 10,5. Les consommations de réactifs sont les suivantes :

- flottation de la galène : carbonate de sodium, 100-200 g/t ; cyanure de sodium, 40 à 70 g/t ; ethylxantate, 50 g/t ; MIBC, 10 g/t ;
- flottation de la blende : sulfate de cuivre, 500 g/t ; chaux, 600 à 700 g/t ; Isobutylxanthate, 50 g/t ; MIBC, 15 g/t.

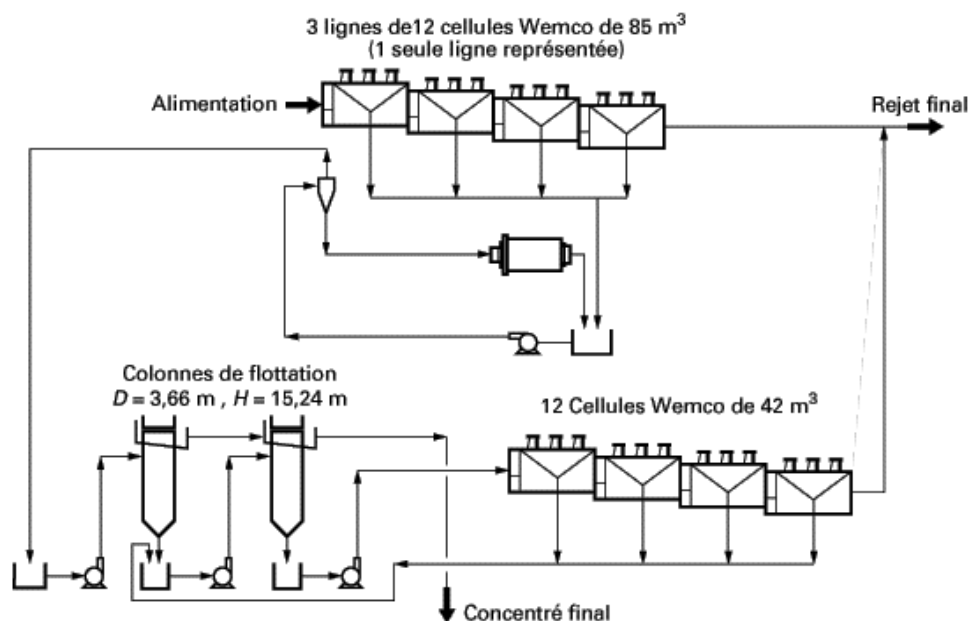


Figure - Circuit de flottation du minerai de cuivre de Grasberg-Erstberg (Nouvelle-Guinée)

Dans un but de simplification, un seul exemple limité au traitement du cuivre sulfuré est proposé ci-après. À Grasberg-Erstberg (Nouvelle-Guinée), le minerai de type porphyre cuprifère titre 1,32 % de cuivre (sous forme de sulfures principalement), 1,33 g/t d'or et 4,24 g/t d'argent. L'usine traite 115 000 t/j de minerai et est alimentée à partir d'un mélange préparé à l'avance de minerais grossiers et fins, afin d'alimenter un broyeur semi-autogène (à boulets) de 10,4 m de diamètre, constituant le broyage primaire. Le broyage secondaire humide est alimenté par des solides de dimension inférieure ou égale à 38 mm et est réalisé dans deux circuits parallèles de broyeurs de 6,1 m de diamètre en circuit fermé avec des cyclones, délivrant ainsi un produit dont le d_{80} est de 190 μm . Le circuit de flottation-dégrossissage (figure) est constitué par trois lignes parallèles de cellules de 85 m³ de capacité. Chaque ligne est composée de 4 bancs de 3 cellules par banc, soit un total de 36 cellules. Les concentrés de dégrossissage sont rebroyés en circuit fermé. La surverse des cyclones est relavée dans deux colonnes de flottation de 3,66 m de diamètre et de 15,24 m de haut. Le rejet des colonnes est retraité dans 12 cellules de 42 m³. Le concentré final est rebroyé dans un « broyeur-tour » (*tower mill*) pour être transporté hydrauliquement sur 119 km par pipe-line. L'usine récupère 88 % du cuivre, 77,3 % de l'or contenu dans 386200 t/an de concentré titrant à 31,3 % de cuivre et 28 g/t d'or.

1.2 Flottation d'un minerai oxydé de fer

À Tilden, une méthode de flottation combinée à une méthode de floculation sélective fut mise en œuvre au cours des années 1970. Elle consiste à effectuer une flottation inverse de la gangue et convient à des minerais de type taconite constitués, par exemple, de 30 % d'hématite (Fe_2O_3), de 15 % de goéthite ($\text{Fe}_2\text{O}_3, n\text{H}_2\text{O}$), de 5 % de magnétite (Fe_3O_4) et de 50 % de quartz (SiO_2). Pour déprimer l'hématite à un pH supérieur à 6, en pratique nettement basique (9-11), on utilise des amidons. On flotte le quartz au moyen d'amines en laissant dans le produit non flotté les oxydes de fer. Pour le minerai de fer considéré, il est nécessaire de broyer à 40 μm pour avoir une libération convenable du fer.

Le minerai est successivement broyé dans un broyeur autogène primaire, puis dans un broyeur à galets, dont les corps broyants sont fournis par les morceaux de dimensions supérieures à 75 mm sortant du broyeur primaire. Les particules de dimensions inférieures à 2 mm sont envoyées dans des cyclones dont la sousverse alimente le broyeur à galets. Au cours du broyage, la pulpe est conditionnée avec les réactifs suivants : soude (pour amener le pH à 11), 1 000 g/t ; silicate et tripolyphosphate de sodium (dispersants du quartz), 400 et 100 g/t, respectivement.

On évite d'utiliser de la chaux parce que Ca^{2+} se fixe sur la surface du quartz, qui se trouve déprimé lors de la flottation par les amines. On ajoute à la surverse des cyclones couplés avec les broyeurs à galets, de l'amidon de maïs caustifié (traité à la soude) à raison de 100 g/t. Ce réactif joue le rôle de floculant sélectif des particules d'oxyde de fer, qui sont récupérées à la pointe d'un épaisseur ; les ultrafines, constituées de 80 % de quartz, sont évacuées dans la surverse. Après dépression des oxydes de fer par de la dextrine, on flotte sélectivement le quartz dans les conditions données dans le tableau

Après quatre étapes d'épuisage, le flotté est floculé à la chaux et envoyé à la digue à stérile. Le non flotté (oxyde de fer) additionné d'un floculant polymérique, est épaissi et filtré. L'eau des concentrés et de la surverse de l'épaississeur des oxydes de fer est recyclée.

Tableau - Réactifs de flottations utilisées pour le quartz à Tilden

Réactif	Point d'addition	Quantité (g/t)
Dextrine	Conditionneur et 1 ^{er} épuisage	500
Mélange amine primaire- étheramine	Entrée du circuit de dégrossissage	200
Polypropylène glycol (moussant)	Circuits de dégrossissage et de relavage	2

Après quatre étapes d'épuisage, le flotté est floculé à la chaux et envoyé à la digue à stérile. Le non flotté (oxyde de fer) additionné d'un flocculant polymérique, est épaissi et filtré. L'eau des concentrés et de la surverse de l'épaississeur des oxydes de fer est recyclée.