

2.1.1.2. Types de machines de flottation pneumatiques

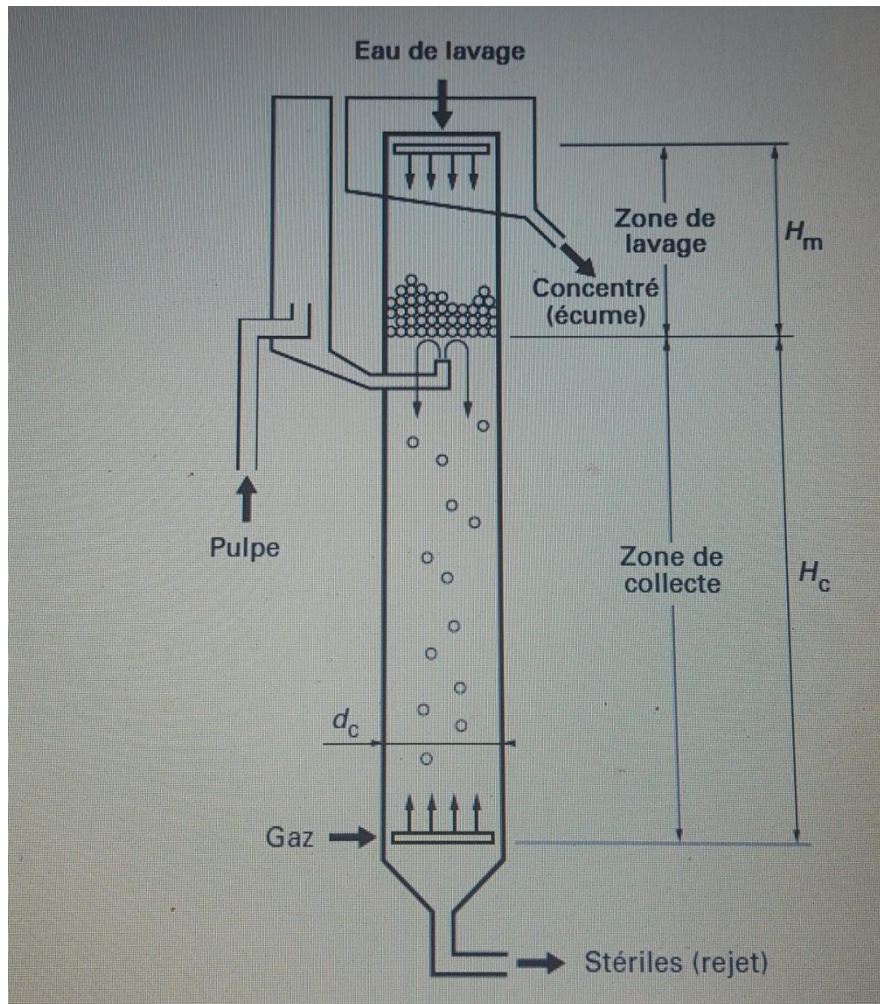
Ces machines utilisent de l'air comprimé à la fois pour l'aération et pour l'agitation. Elles ont l'avantage de présenter une agitation relativement modérée et de produire une mousse propre débarrassée suffisamment des particules de la gangue. Toutefois, le temps de contact est moindre dans telles cellules que dans des cellules mécaniques, aussi la pulpe doit-elle avoir subi un conditionnement complet avant la flottation.

a/ Colonnes de flottation

Les colonnes de flottation sont un type particulier des cellules pneumatiques, dont l'utilisation a commencé à la fin des années 1960 à la suite des travaux de Boutin et al. [8] [9] et [10]. Elles comprennent toujours les parties suivantes (figure **04**) : une partie cylindrique verticale, un système de génération des bulles, un système d'alimentation en pulpe et un système de récupération des mousses. L'appareil ainsi défini travaille à contre-courant : la pulpe, au préalable conditionnée, est introduite aux deux tiers environ de la hauteur de l'appareil. Au bas de la colonne est injecté l'air par le générateur des bulles, qui cheminent à contre-courant de la pulpe. Une aspersion d'eau assure le lavage des mousses recueillies à la partie supérieure. On définit ainsi une zone de

FLOTTATION DES MINERAIS

collecte et une zone de lavage [11]. Avec un tel dispositif, on peut compter, en général, sur une amélioration de la récupération des fines particules et de la teneur des concentrés, en évitant le salissage résultant d'un entraînement mécanique.



1.

Figure 04- Schéma d'une colonne de flottation

La colonne utilise une circulation à contre-courant des particules et des bulles, qui conditionne non seulement la fixation des particules sur les bulles, mais encore la vitesse de flottation et la consommation énergétique. Ce régime est avant tout tributaire des débits d'air, du taux de rétention de l'air dans la colonne (rapport volume d'air/volume d'air et de pulpe, ou Air hold up), de la distribution des bulles et de leur diamètre, et évidemment des débits de pulpe d'alimentation et d'eau de lavage. De nombreux travaux ont été réalisés sur les

FLOTTATION DES MINERAIS

générateurs des bulles. Il semble que les générateurs pneumatiques utilisant du caoutchouc perforé, des métaux, de la céramique ou du polyuréthane, soient en voie d'abandon pour des raisons diverses, (bouchage, bulles plus grosses, usure). On préfère des générateurs hydrauliques où l'introduction d'air est provoquée par l'écoulement d'un liquide ou d'air sous pression. Ces générateurs peuvent être placés à l'extérieur de la colonne comme le générateur Minovex où l'air, injecté dans une enceinte périphérique sous une pression de 300 à 320 kPa, confère une vitesse d'injection de 200 à 400 m/s [15]. Ils peuvent aussi être du type à jet turbulent, sous une pression de 400 à 550 kPa, placé dans un mélangeur statique séparé de la colonne (générateur USBM-Control International et générateur-mélangeur Microcel) [16, 12].

b/ La cellule Callow (figure 05)

C'est une des plus anciennes et des plus simples cellules de flottation. Elle est constituée par une auge pourvue, à sa partie inférieure, de couches de toile fixées sur des châssis. L'air comprimé arrive sous le fond poreux par des tuyaux. De petites bulles d'air se dégagent au-dessous de la couche de toile et produisent une agitation modérée. La pression doit être de l'ordre de 4 psi. Les inconvénients résident dans l'obturation des pores du tissu par les sables et dans la précipitation de sels de calcium dans les fibres de l'étoffe.

c/ La cellule Callow-Mac Intosh (figure 06)

Elle comporte un rotor creux en acier perforé de trous de 1,8 cm de diamètre. Ce rotor est entouré de toile ou de caoutchouc perforé. Elle présente l'avantage de se colmater difficilement, et, de ce fait, peut traiter des pulpes dont le pourcentage solide-liquide est de 1/1. La pression de l'air est de 2 à 2,5 psi. Le rotor fait 10 à 15 tr/mn.

FLOTTATION DES MINERAIS

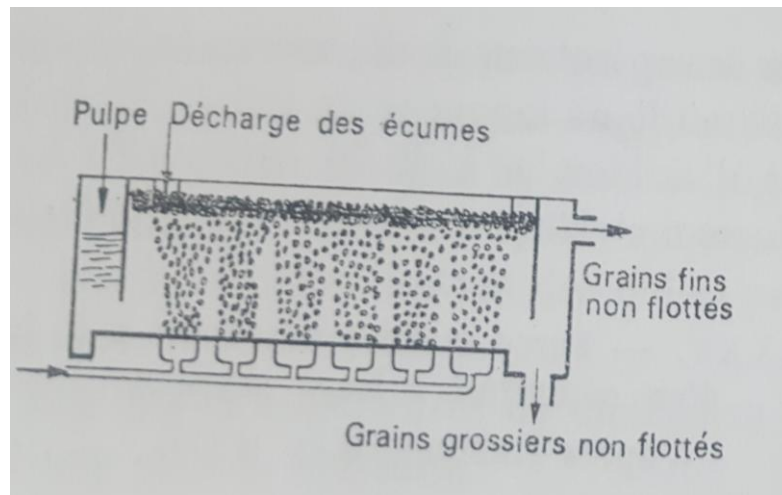


Figure 05- Machine de flottation Callow

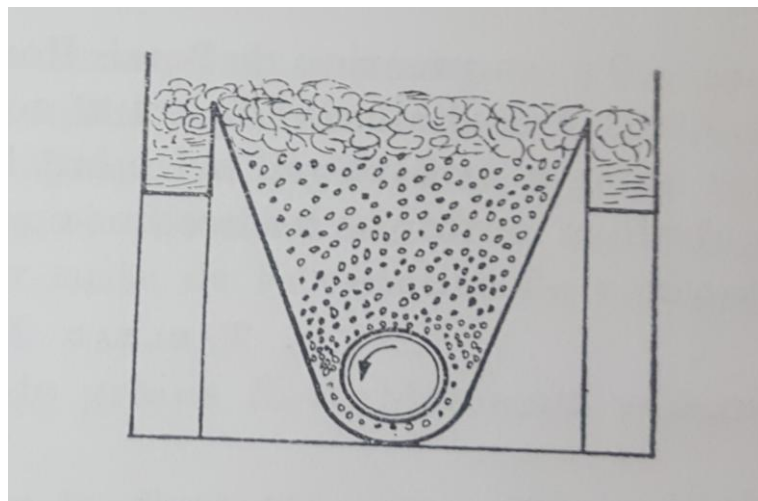


Figure 06- Machine de flottation Callow-Mac Intosh

d/ La cellule à air lift (figure 07) est une cellule pneumatique qui n'emploie pas de milieux poreux. Elle est constituée par une auge en forme de V divisée en section par des divisions verticales. L'air est injecté par un tuyau central de 15 cm de diamètre. Les bulles d'air transportent la pulpe vers le haut, à travers une robe d'acier perforé placée autour du tube central, puis à travers des chicanes obliques pourvues de trous. Les particules non flottables se décantent dans les parties calmes de la cellule. L'air arrive à une pression de 2 psi.

FLOTTATION DES MINERAIS

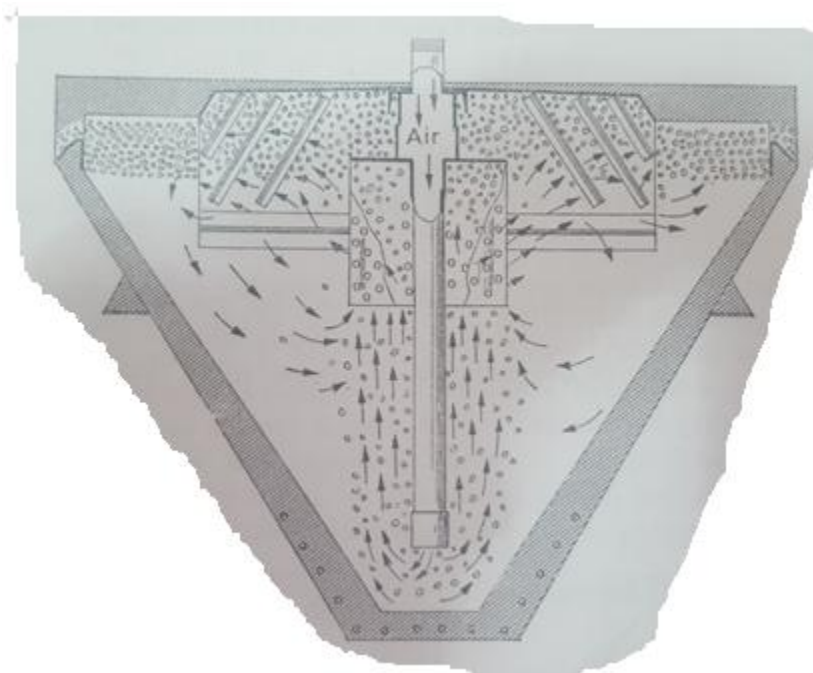
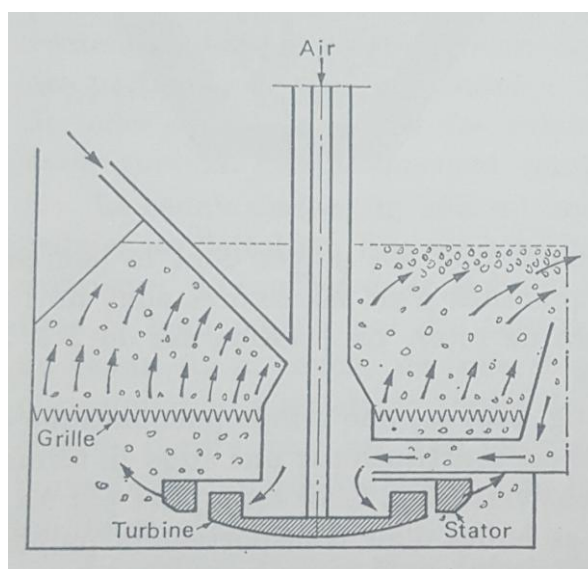


Figure 07- Cellule à air lift (*western Machinery Co.*)

L'emploi actuel des cellules pneumatiques semble devoir se développer dans le traitement des non-métalliques : la maille de libération généralement élevée des minerais de potasse et de soufre a conduit à rechercher un type de cellule permettant de flotter des grains de dimensions supérieures à 0,5 mm. La solution a été obtenue par l'emploi de cellules pneumatiques à turbines traitant les particules par lit fluidisé (figure 08).

Figure 08- Machine de flottation à lit fluidisé.



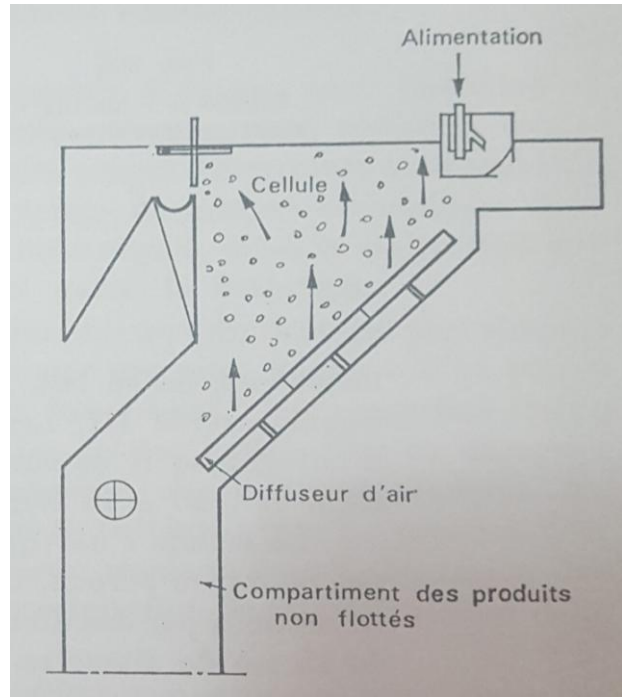
Le lit fluidisé a pour rôle d'augmenter les collisions bulles-minéraux et d'éviter la force centrifuge ainsi que la déminéralisation des bulles par suite de l'existence de courants ascendants laminaires.

FLOTTATION DES MINERAIS

Les limites supérieures de dimension de grains flottables sont voisines de 3 mm pour la sylvite.

On rencontre un souci identique dans la flottation des phosphates : l'emploi d'une machine pneumatique peu profonde (figure 09) a permis en laboratoire de traiter avec succès des grains de phosphate (1,65 mm), de potasse (06 mm) et le charbon (13 mm) selon P. R. Smith, 1968.

Figure 09- Machine pneumatique peu profonde.



2.1. Circuits de flottation

Le critère de sélection prioritaire pour le choix d'un type de circuit de flottation est avant tout un critère économique, qui prend en compte prioritairement le coût d'investissement et le coût de la maintenance. Le coût d'investissement I étant fonction croissante du volume V de la cellule ($I \pm kV^{0,66}$), on préfère pour un volume global donné, quelques grandes cellules à de nombreuses petites cellules dont, en outre, les coûts d'installation et les frais proportionnels sont moindres. Ainsi, pour un concentrateur de 30 000 t/j, on passe par exemple de quelques centaines de cellules à moins de 40, quand on choisit des cellules de 30 m³ au lieu de cellules de 2,5 m³. Les cellules de 30 m³ peuvent être assemblées en bancs de 4 à 10 cellules, voire de 16 à 20. Le nombre de cellules par banc est un compromis entre la distribution du temps de séjour et les exigences économiques pour chaque cas étudié.

2.2.1. Circuits simples

a/ cas d'un seul produit flotté

Pour la flottation d'un seul minéral, la figure 10 donne le schéma de principe, qui comprend généralement :

FLOTTATION DES MINERAIS

— le circuit principal, composé d'un banc de **dégrossissage** I (roughing) et d'un banc d'**épuisage** II (scavenging) ;

— le circuit de **relavage**, qui retraite le concentré de dégrossissage dont la teneur n'est pas à la valeur requise. Ce relavage (cleaning) peut être réalisé en une ou plusieurs étapes (deux dans l'exemple de la figure 10). Les rejets du circuit de relavage sont recyclés vers le circuit principal. Le nombre de cellules de relavage est généralement faible, car le but de cette étape est de produire un concentré riche. La tendance générale est d'effectuer le relavage avec des cellules de grandes dimensions. Dans le cas de minéraux industriels non ferreux, pour lesquels on recherche la pureté (barytine, fluorine), on regroupe dégrossissage et épuisage et on augmente le nombre d'étages de relavage.

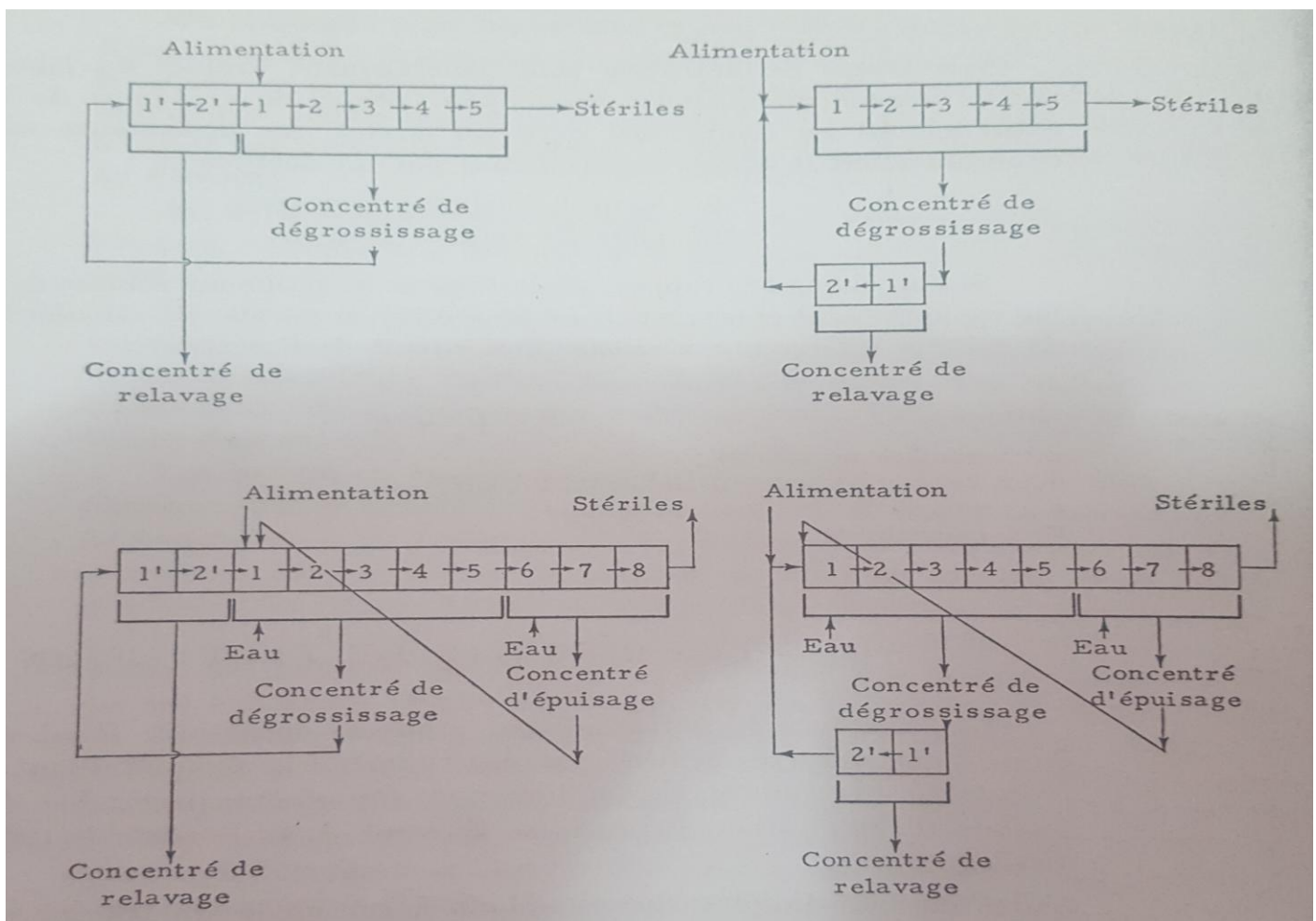


Figure 10- Circuit de flottation à un seul produit flotté avec cellules de dégrossissage (1,2,3,4,5), d'épuisage (6,7,8) et de relavage (1' , 2')

FLOTTATION DES MINERAIS

a/ cas de plusieurs produits flottés

La figure 11 présente le schéma de flottation pour un minerai de plomb, zinc et cuivre. Après dépression du Zn dans le broyeur, on flotte un concentré global de Pb/Cu, qui est retraité par dépression du Pb et flottation du Cu. Les non-flottés du circuit Pb/Cu subissent un conditionnement pour activer Zn, que l'on flotte ensuite comme s'il s'agissait d'un minerai à un seul produit.

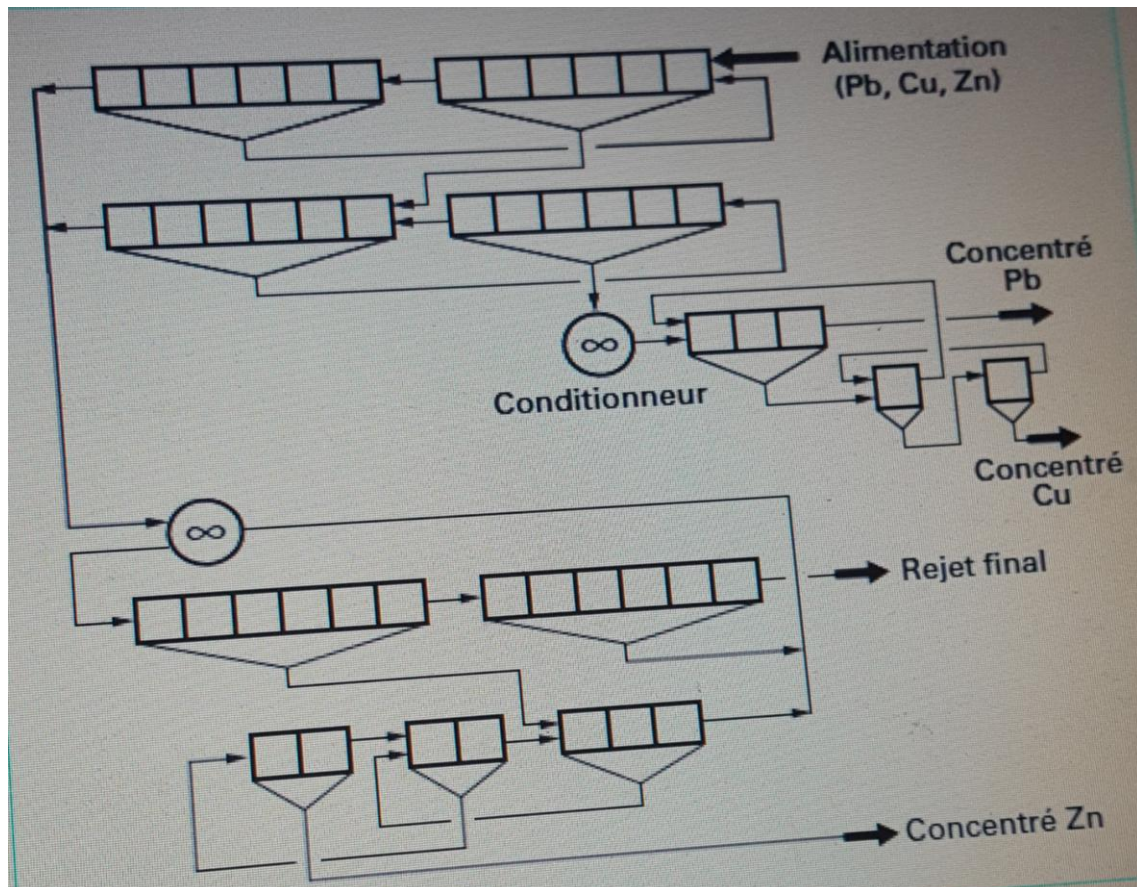


Figure 11- Exemple de circuit de flottation pour trois produits

2.2.2. Circuits complexes

Comportent, en plus des circuits de flottation proprement dits, diverses opérations qui visent à changer les caractéristiques physiques et chimiques des pulpes minérales :

- **Rebroyage** est effectué sur des concentrés ou des rejets. Dans le premier cas, il s'agit d'obtenir des concentrés plus riches, dans le deuxième, d'augmenter

FLOTTATION DES MINERAIS

la récupération du métal. Le rebroyage est réalisé en circuit fermé avec une classification par hydrocyclone, sur des concentrés de dégrossissage et/ou d'épuisage. La surverse du cyclone est ensuite reflottée dans un circuit de relavage pour donner un concentré définitif. Ce type de schéma devient vite compliqué lorsqu'il s'agit de récupérer plusieurs produits, mais le rebroyage d'une faible partie du minerai, constituée d'un préconcentré, permet des gains substantiels sur les consommations énergétiques comparées à celles entraînées par un broyage poussé de toute la matière avant flottation.

- **Déschlammage**, qui consiste à éliminer les fines particules gênantes, est réalisé dans la plupart des exploitations par hydrocyclones avant l'entrée du circuit de flottation. Il évite le phénomène d'adagulation et une consommation élevée de réactifs.

- **Epaississage**, réalisé dans des décanteurs-épaississeurs peut jouer le rôle de tampon et de régulation, en permettant de stocker une quantité importante de pulpe entre deux étapes de traitement. Il peut aussi avoir pour but de changer l'eau dans des procédés complexes, où l'on utilise des réactifs incompatibles entre eux.

- **Grillage** des produits est souvent utilisé pour détruire le revêtement de collecteur sur les concentrés de flottation globale. C'est le cas des concentrés mixtes de chalcopryrite et de molybdène.

- **Chauffage de la pulpe** a en générale pour but d'accroître la solubilité des minéraux et des réactifs. Il est souvent appliqué à la flottation de la fluorine. Le chauffage correspondant parfois à la dépression de la barytine associée. Dans d'autre cas, le collecteur, fixé sur le concentré mixte cuivre-molybdène, est détruit par ébullition. La pulpe est en suite traitée par flottation pour séparer molybdène et chalcopryrite.

- **Mise en solution différentielle de certaines espèces minérales et la précipitation du métal** peuvent permettre, dans le cas des minerais de cuivre, une flottation globale des espèces cuprifères naturelles et artificielles. Ce

FLOTTATION DES MINERAIS

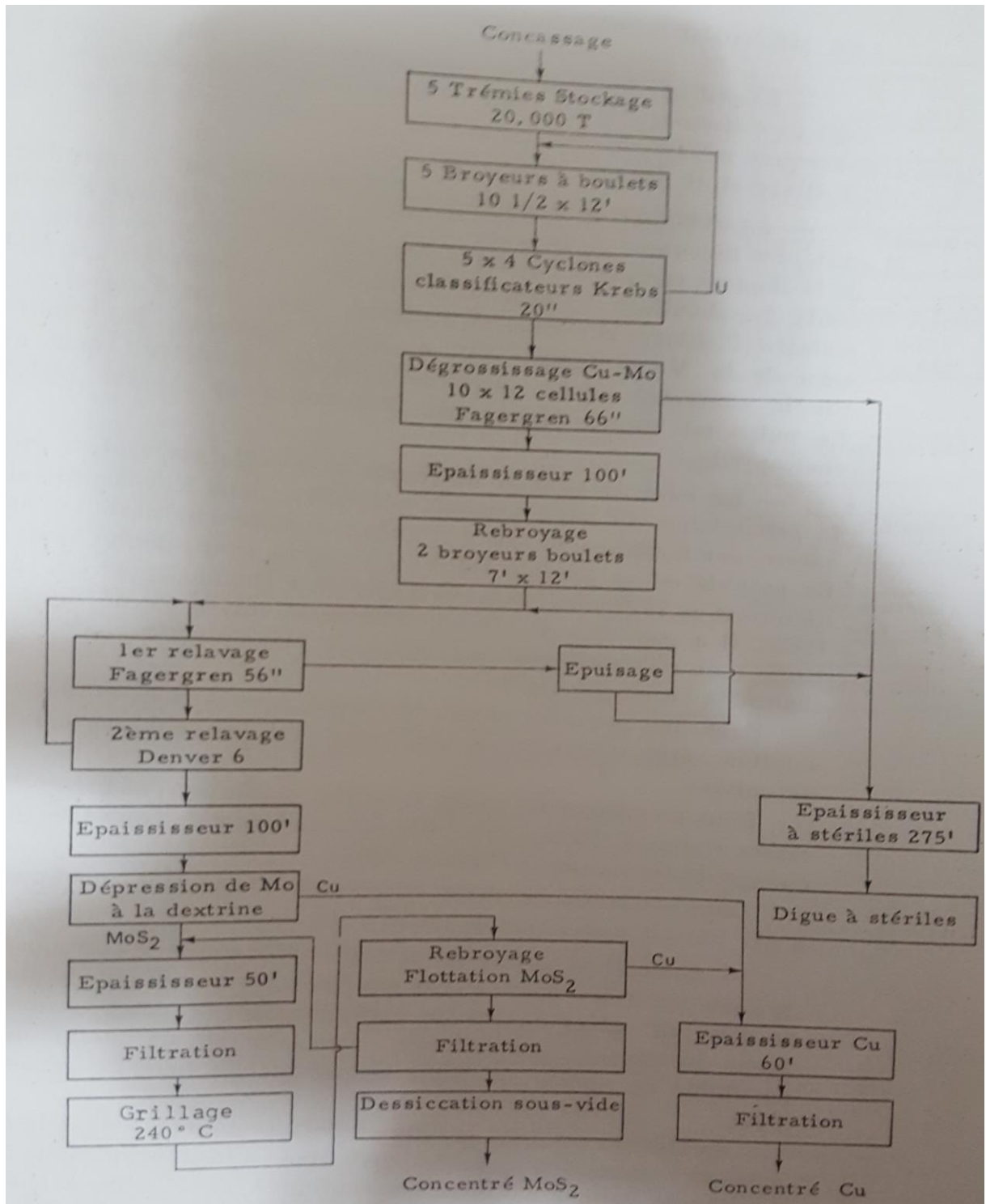


Figure 12- Schéma de traitement à Silver Bell (Asarco)

procédé est le procédé L.P.F. (Leaching Precipitation and Flotation). Il a pour but de rendre flottable le cuivre oxydé dont seulement 10% sont récupérés par une flottation classique de chalcoppyrite et de chalcosite en circuit alcalin.

FLOTTATION DES MINERAIS

Dans une première phase, le cuivre, sous forme oxydé, est mis en solution après attaque acide qui s'agit pratiquement sur les sulfures de cuivre ;

Dans une deuxième phase, le cuivre en solution est précipité par sulfuration, ou sous forme de cuivre cimenté sur une éponge de fer ;

Dans une troisième phase, le cuivre est flotté, soit sous forme de sulfure de cuivre à pH 10, soit sous forme de métal à pH 3,5.

- **Combinaison gravité et flottation** comme dans le cas du traitement de l'association scheelite-pyrrhotine : après flottation de la pyrrhotine, un tablage permet d'obtenir un concentré de scheelite à haute teneur, la flottation sur les rejets du tablage produisant un concentré de scheelite à base teneur. De même, la gravité permet de récupérer des minéraux lourds partiellement libérés à une taille grossière.