

FLOTTATION DES MINERAIS

III. 2. Machines et circuit de flottation

2.1. Fonctions assurées par une cellule de flottation

a/ Traitement des produits

- Alimentation de la cellule : on utilise généralement une boîte d'alimentation en tête de la batterie de la cellule et la pulpe s'écoule d'une cellule à l'autre en passant par-dessus ou par-dessous les séparations entre chaque cellule.

- Décharge des produits non flottés : Ces derniers sont évacués au-dessous d'un seuil de hauteur réglable. Les sables pouvant être évacués par des orifices réglables placés à la base.

- Evacuation des mousses : Elle est assurée en réglant la hauteur du déversoir. Elle est directement liée à la qualité des moussants utilisée et au contrôle du niveau de la pulpe.

b/ Influence de la cellule sur la flottabilité

- Pour les minerais sulfurés flottés aux xanthates et aux dithiophosphates, le temps et l'intensité d'agitation semblent avoir une faible influence. Il est assez rare que le collecteur ne soit ajouté qu'aux cellules de flottation, généralement le collecteur est distribué dans le circuit de broyage ou dans le mélangeur appelé conditionneur.

L'agitation assure la diffusion des molécules et des ions à l'intérieur de la pulpe provoquant des interactions entre ces entités et les surfaces minérales, des phénomènes d'abrasion entre les particules solides entre elles et entre les particules solides et le métal de la turbine ou de la cellule.

L'agitation peut provoquer une oxydation plus au moins intense des surfaces sulfurées par l'oxygène dissous ce qui améliore la flottation de la blende.

- Pour les non-métalliques, l'influence de la cellule est plus complexe. En effet, les collecteurs sont souvent peu solubles, les ultrafines inférieures à 10µm, malgré un déschlammage préalable à la flottation, peuvent être provoquées

FLOTTATION DES MINERAIS

postérieurement au déschlammage par une attrition intense dans la cellule, provenant d'une agitation vigoureuse. La flottabilité et surtout la sélectivité de la flottation sont donc étroitement liées à l'intensité d'agitation.

c/ Formation des agrégats bulles-minéraux

Les agrégats bulles-minéraux sont largement fonction des courants intenses de la cellule et des dimensions des bulles et des particules. Ils sont à la fois provoqués par des conditions de rencontre bulle-minéral et par la germination gazeuse sur les surfaces minérales. Une intense centrifugation détruit ces agrégats.

2.2. Machines de flottation

Il existe deux principaux types de machines de flottation selon le mode de génération des bulles et de mise en suspension de la pulpe :

- les cellules à agitation mécanique, qui est assurée par un ensemble rotor-stator, sont constituées d'une cuve parallélépipédique ou cylindrique. L'air est introduit dans la cellule par l'axe creux du rotor ou par une tubulure extérieure à l'axe, ou par une tuyauterie située sous le rotor. La pulpe est généralement introduite latéralement dans la cellule, parfois directement au niveau de l'agitateur. Les mousses sortent par débordement et le produit non flotté par passage direct dans la cellule suivante;

- les cellules pneumatiques ne comportant généralement pas d'agitation mécanique, l'air est introduit par un diffuseur ou générateur de bulles en fond de cellule. Les particules cheminent de haut en bas, à contre-courant du flux ascensionnel des bulles. Les colonnes de flottation sont rattachées à cette classe de machines.

2.2.1. Machines à agitation mécanique

Les machines à agitation mécanique répondent à plusieurs nécessités :

- maintenir en suspension toutes les particules quels que soient leur diamètre, leur masse volumique, la concentration en solide de la pulpe, pour

FLOTTATION DES MINERAIS

éviter une sédimentation dans la cuve et assurer le transfert des particules vers les mousses ou vers la sortie ;

- disperser de façon aussi homogène que possible les bulles d'air dans la masse de la pulpe, afin de faciliter les contacts avec les particules en suspension ;

- se rapprocher autant que possible de l'action d'un mélangeur parfait ;

- pouvoir redémarrer après arrêt, malgré la sédimentation de la pulpe.

L'extraction de l'écume dans les machines mécaniques peut être réalisée de deux façons :

- par débordement, qui peut être rapide lorsque le volume d'écume est faible et que l'on veut rapidement évacuer les particules flottées, ou lent lorsque l'on cherche à obtenir une teneur élevée du concentré en favorisant l'évacuation des particules stériles par drainage. Dans le premier cas, on peut utiliser des déflecteurs pour accélérer l'évacuation de l'écume, dans le second, on peut agir sur la quantité ou la qualité de moussant et par suite, sur la hauteur des mousses. Dans les deux cas, on régule le niveau de la pulpe dans la cellule ;

- mécaniquement, par des pales tournantes afin d'évacuer des mousses riches, voire des mousses sèches, contenant très peu de liquide, qui tendent à stationner et à faire barrage aux écumes plus fluides.

L'évacuation des écumes peut être donc un facteur limitatif de la capacité des cellules, notamment dans le cas des minéraux industriels où la phase flottée constitue une fraction importante de la masse traitée ou dans le cas du retraitement de concentrés de dégrossissage.

2.2.1.1. Types de machines mécaniques

a/ Cellules Denver-Sala

Denver-Sala commercialise deux principaux types de machines à air pressurisé, dont la caractéristique principale est l'arrivée directe de la pulpe au niveau de la turbine.

FLOTTATION DES MINERAIS

❖ La **cellule Sub-A** (figure 01) est surtout répandue actuellement dans les installations de flottation des fines de charbon. La pulpe est transférée d'une cellule à l'autre à la fois par débordement pour les particules fines non flottées et par un orifice en fond de cuve pour les particules grossières non flottées. Le court-circuitage de la pulpe et l'ensablement de la cellule sont rendus impossibles par cette conception. L'air est admis par un chemisage externe de l'arbre de la turbine, qui est placée au centre d'une couronne de déflecteurs à lames jouant le rôle de diffuseurs. Le rotor et le diffuseur sont en polyuréthane moulé dont la rigidité est assurée par des armatures en acier ou en fonte. La cuve est conçue pour recevoir des revêtements antiabrasifs.

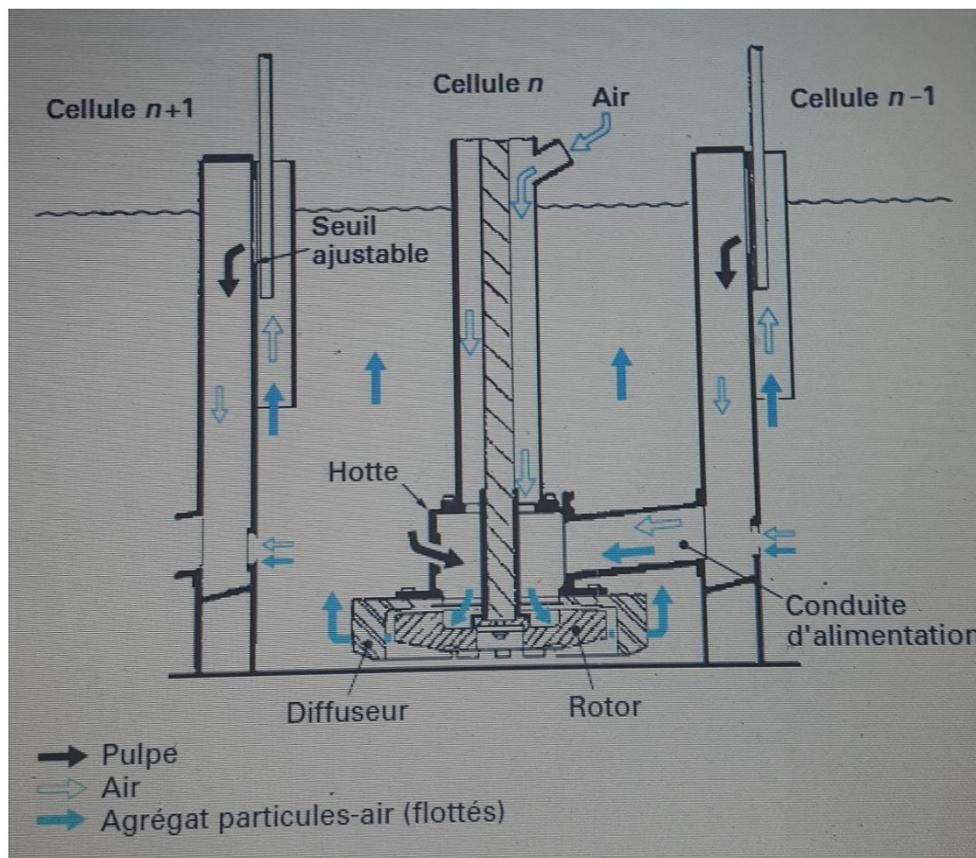


Figure 01- Cellule de flottation subaérée Denver Sala Sub-A

❖ La **cellule DR** est de conception très différente (figure 02). Elle fonctionne avec de l'air comprimé introduit par un chemisage placé autour de l'axe du rotor, mais elle est de type ouvert, et seules des chicanes mobiles

FLOTTATION DES MINERAIS

compartimentent dans la partie supérieure la colonne de mousses. De plus, un cône central évasé vers le haut assure la recirculation de la pulpe au niveau du rotor, créant ainsi un courant vertical. Enfin, il faut noter que le rotor est entouré par un diffuseur, dont la partie basse est prolongée au-dessous de l'extrémité inférieure de la turbine. La conception des cellules DR permet d'atteindre à présent des volumes de 42,5 m³. Les volumes courants sont 14,15 m³ pour le type 500 DR, 2,83 m³ pour le type 100 DR, 1,42 m³ pour le type 24 DR.

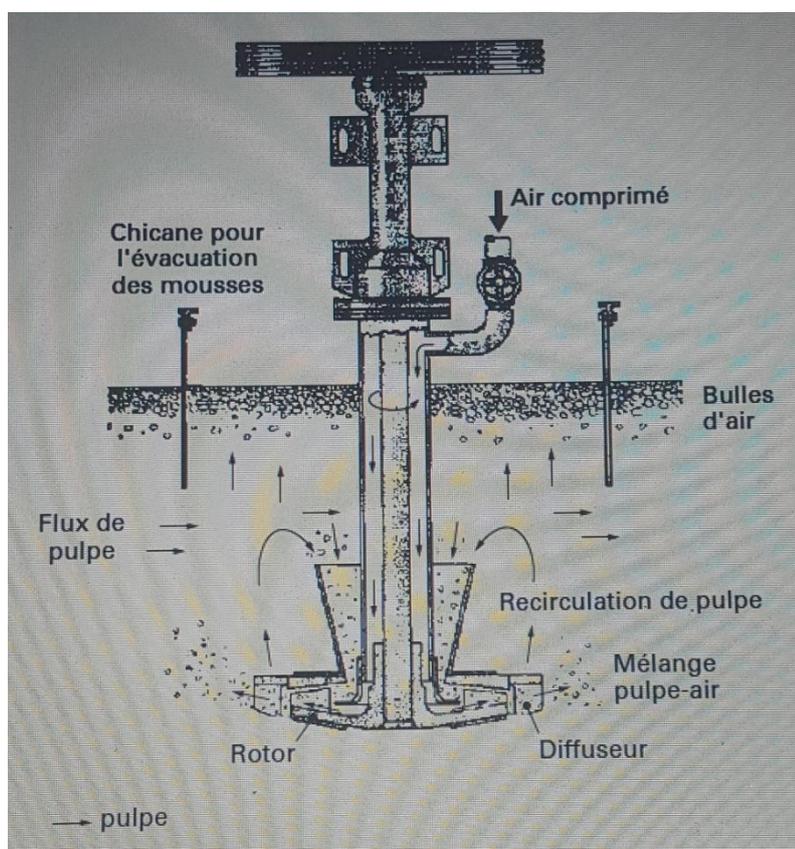


Figure 02- Cellule de flottation Denver Sala type DR ouvert

a/ Cellules Wemco

Wemco est le plus grand fournisseur mondial de cellules de flottation. Cette position est due à différentes causes : il offre une large gamme de cellules allant de 28 l à 100 m³ et plus de volume unitaire, munies de mécanismes très simples. Par exemple le mécanisme de la cellule « **Wemco 1+1** » consiste en un ensemble rotor-stator qui fournit un mélange et une aération intenses ; l'air est

FLOTTATION DES MINERAIS

aspiré dans la cellule et ensuite dispersé dans la pulpe, assurant ainsi le contact entre les bulles et les particules à flotter. C'est actuellement la seule cellule qui utilise encore l'autoaération, ce qui réduit les frais d'investissement et d'exploitation. Dans les cellules de grand volume (figure 3), un tube d'aspiration situé sur un double fond dirige le mouvement de la pulpe et évite l'ensablement de la cuve. Le tableau 1 donne les caractéristiques hydrodynamiques de quelques grandes cellules.

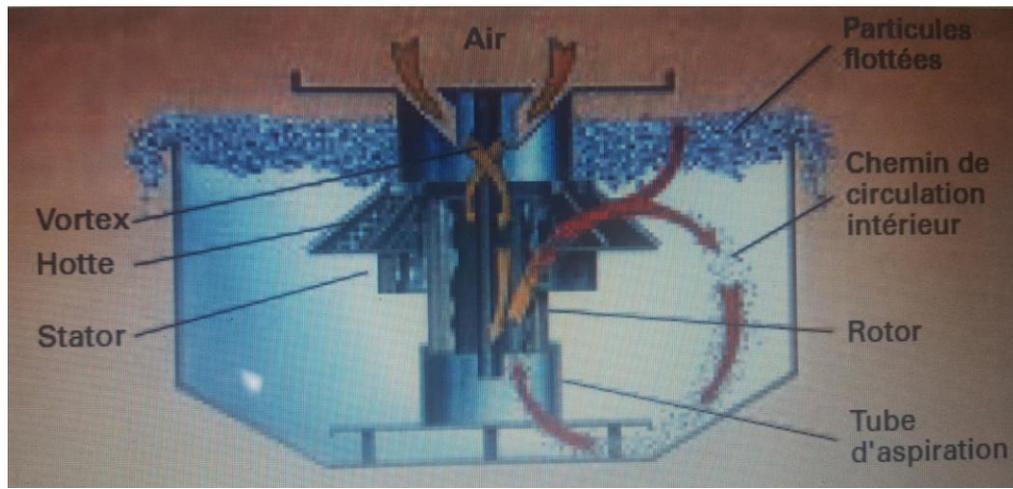


Figure 03- Cellule de flottation « wemco 1+1 »

L'innovation récente des « **SmartCell** » consiste à augmenter l'efficacité du mélange et de la distribution d'air, en remplaçant la cuve parallélépipédique par une cuve cylindrique. Si le mécanisme classique « Wemco 1 + 1 » reste inchangé, la configuration interne est modifiée par un système conique d'aspiration, dont la forme empêche les courts-circuitages de pulpe, et par l'adjonction en partie haute d'un accumulateur de mousses, dont le rôle consiste à accélérer le transport des solides vers la surface, réduisant ainsi le temps de séjour et la quantité d'air nécessaire. Un système expert permet d'ajuster en temps réel et instantanément l'aération, la vitesse du rotor, le niveau de pulpe et la hauteur de mousse (mesurés par un système à ultrasons), le débit de réactif et le débit d'eau de lavage des mousses (effectué par pulvérisation).

FLOTTATION DES MINERAIS

Tableau 1- Caractéristiques de quelques cellules de flottation Wemco

Caractéristique	Désignation des cellules volume (m ³)			
	14,15	28,30	42,45	84,90
Surface de flottation (m ²)	10,03	13,01	17,19	23,78
Volume de mélange air/pulpe (m ³)	0,411	0,868	1,447	2,986
Vitesse du rotor (tr/min)	192	185	164	140
Débit d'air..... (m ³ /min)	6,8	10,5	15,8	24,7
Débit liquide..... (m ³ /min)	27,5	45,7	52,9	95,4
Puissance adsorbée (kW)	19,7	35,5	60,9	117,8
Vitesse de sortie d'air (m/min)	0,736	0,923	1,014	1,182
Débit spécifique.... (min ⁻¹) (1)	1,940	1,620	1,247	1,123
Temps de mélange air/pulpe (s)	0,721	0,924	1,262	1,493
Nombre de puissance du mécanisme N_p	0,0195	0,0193	0,0220	0,0244
Nombre de capacité d'air N_Q	0,123	0,128	0,138	0,135
Nombre de Froude Fr	27,2	29,1	26,7	23,9

(1) Débit de pulpe par rapport au volume de la cellule.

2.1.1.2. Types de machines de flottation pneumatiques

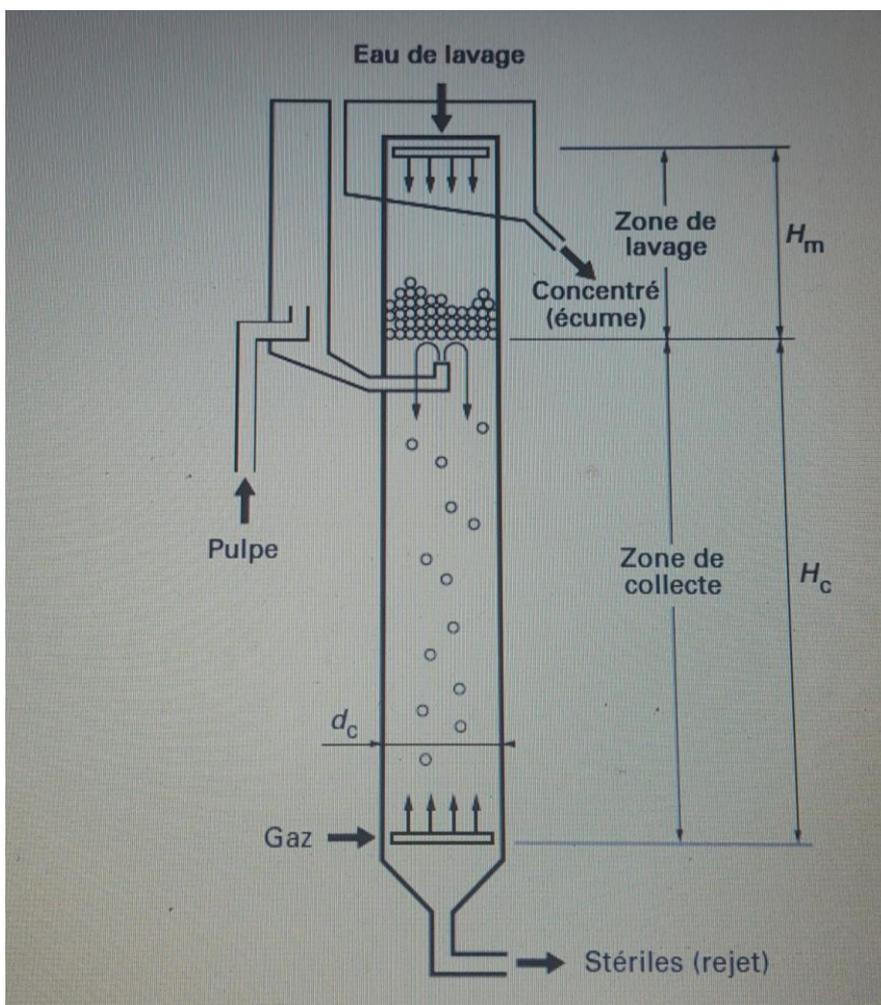
Ces machines utilisent de l'air comprimé à la fois pour l'aération et pour l'agitation. Elles ont l'avantage de présenter une agitation relativement modérée et de produire une mousse propre débarrassée suffisamment des particules de la gangue. Toutefois, le temps de contact est moindre dans telles cellules 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

FLOTTATION DES MINERAIS

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 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

FLOTTATION DES MINERAIS

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 **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].