

Les procédés de préparation mécanique
DES
Minerais et du Charbon par le flottage

PAR

LÉON DEMARET

Ingénieur en chef, Directeur des Mines, à Mons.
Docteur en Sciences, Ingénieur électricien.

—
Suite (1).
—

Description des appareils

A) *Procédés par film*, ou de l'aiguille graissée. La seule tension superficielle utilisée est celle de la surface d'une eau courante.

Les quantités de minerai traitée par 24 heures ne peuvent donc être que faibles, ainsi que le fait voir aussi le simple examen des appareils. Mais l'avantage des procédés par film est qu'ils n'exigent pas un broyage aussi fin que ceux qui font usage d'une écume.

Le problème à résoudre est de trouver un dispositif qui dépose avec légèreté à la surface de l'eau, le minerai huilé, et un autre dispositif qui enlève le film de concentrés.

(1). — **Procédé De Bavay (1904).**

Appareil d'essai dans le laboratoire (2). — Prenez 100 C³ d'eau, contenant environ 0,1 % de H² So⁴; ajoutez 30 grammes de minerai (sulfure), broyé et passé au tamis de 50 mesh, puis quelques gouttes de pétrole et remuez au moyen d'un bâton de verre pendant une demi-minute.

(1) Voir tome XXIII, 1^{re} liv. page 83.

(2) Nous donnons autant que possible chaque fois l'appareil de laboratoire, pour mieux faire comprendre l'appareil industriel.

Versez la pulpe sur une plaque de vannage, et secouez doucement la plaque de façon que le liquide couvre et découvre le minerai. Ces petites vagues cueillent les sulfures et les font flotter à la surface. Avec de la patience, un tailing propre peut être obtenu (Hoover).

Appareils industriels :

a) Mélangeur de tailings et d'acide.

L'agitateur tourne à grande vitesse ; le mélangeur est pourvu au centre d'un tube extensible, décanteur, qui abaissé, après repos de l'agitateur, enlève la plus grande partie du film de concentrés (galène). Ces concentrés se traitent ensuite aux Frue Vanners.

b) Les tailings restants sont lavés par deux fois à l'eau pure.

c) Mélangeur d'huile et de gaz chloruré, où sont traités les tailings lavés ; l'acide chlorhydrique décompose les carbonates des gangues, et l'acide carbonique fait flotter les sulfures ; du carbonate calcaire peut être ajouté, si la gangue n'en contient pas.

d) Monte-jus à air comprimé ; ils servent à envoyer, en les aérant, les tailings huilés aux appareils suivants.

e) Cônes de flottage (fig. 7). — Ils servent à l'aération et à la séparation des sulfures des tailings.

La pulpe descend de petites cascades et est déposée doucement à la surface de l'eau.

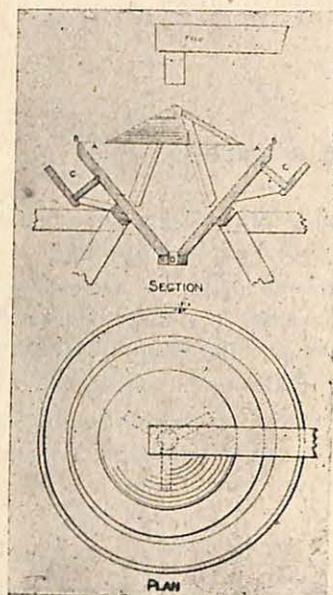


FIG. 7.

Quatre appareils sont mis en tension.

Le procédé est appliqué à la mine de Broken Hill (Australie) (plomb et zinc).

(II.) — Procédé Macquisten (1908) (tambour).

Le pulpe passe dans un tube-tambour (fig. 8.) en fonte dont la paroi intérieure est pourvue d'une hélice.

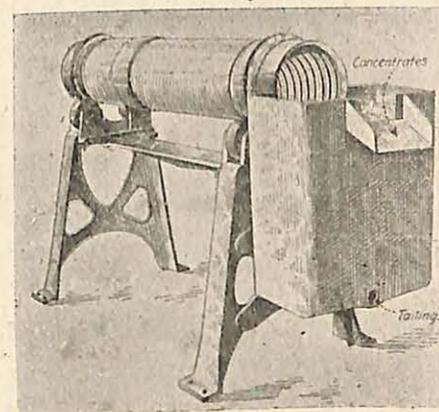


FIG. 8.

Cette hélice relève à chaque tour du tube-tambour les particules au-dessus de la surface de l'eau et les remet, ainsi aérées, doucement, et presque tangentiellement, sur la surface de l'eau sur laquelle les sulfures flottent pour sortir du tambour sous forme d'une mince pellicule de couleur bronze (chalcopryrite) ou gris d'acier (galène) ou jaune moutarde (blende).

Les stériles tombent au fond d'un bac décanteur dont un déversoir permet l'évacuation du film des sulfures.

Plusieurs tubes fonctionnent en cascades, et les tailings de gangue sont repassés jusque 4 fois.

Dimensions du tambour : diamètre 0^m,30, longueur 1^m,80.

Vitesse de rotation : 30 tours par minute.

Rendement par 24 heures : 5 tonnes.

INCONVÉNIENT. — Difficulté de traitement des boues (slimes) lesquelles restent en suspension, sans laisser tomber la gangue.

APPLICATION. — Minerai de cuivre. — (Mine Adelaïde. — Nevada, Etats-Unis d'Amérique).

Teneur du minerai	2.5 % Cu.
» des concentrés	22.0 % Cu.
» des tailings	0.2 % Cu.
Rendement en métal	90.0 %.

(III). — Procédé de Wood (1912) (plaque oscillante).

Appareil d'essai au laboratoire (fig. 9).

Le minerai broyé et séché est déposé doucement sur la surface d'un courant d'eau par une tôle à secousses ou plaque oscillante; les sulfures flottent et sont relevés par une courroie de tissu; les tailings tombent au fond d'une caisse pointue.

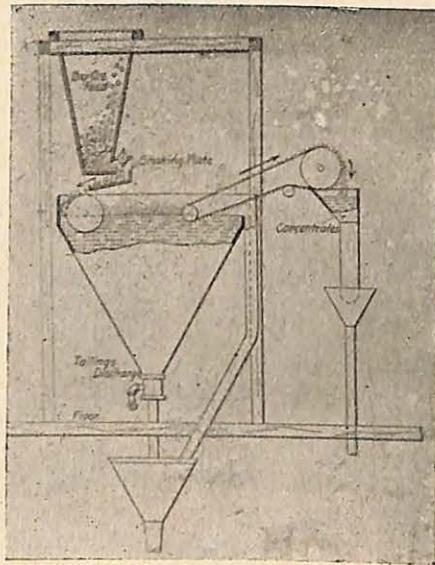


FIG. 9.

Appareil industriel (fig. 10 et 11).

Des jets d'eau sous pression, lancés sous la surface de l'eau, maintiennent le courant vers la courroie en créant un espace d'eau propre au point où se fait la réception des concentrés.

APPLICATION. — Molybdène du Canada.

Minerai brut :	0,5 à 1 %; Mo S ² .
Largeur de la courroie	1 ^m ,30.
Traitement par 24 heures	10-20 T de minerai brut.
Concentrés :	40 à 80 %; Mo S ² .

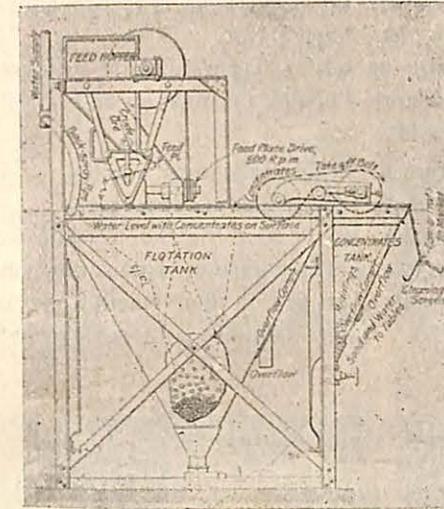


FIG. 10.

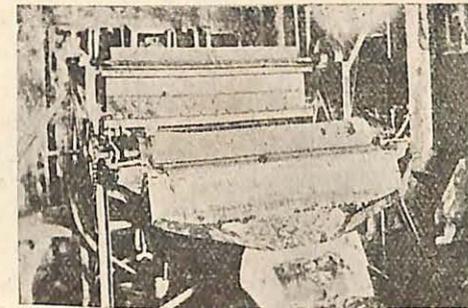


FIG. 11.

B) Procédés par mousse ou par écume. — Ici la tension superficielle mise en action est celle de toutes les bulles gazeuses de la

mousse ou de l'écume, et les quantités traitées par 24 heures peuvent donc être considérables.

B₁ Procédé où une mousse est formée.

(IV). — Procédé Elmore par le vide (1904), (procédé anglais).

Appareil d'essai au laboratoire. — Prenez une bouteille à large goulot de 300 C³ et pourvue d'un bouchon, traversé par un tube à relier à une pompe à vide.

Mettez dans la bouteille 30 grammes de sulfures, 100 grammes d'eau, 1/5 C³ d'huile à brûler du Texas ou de la Californie, et 1/5 C³ d'acide sulfurique.

Agitez avec un bâton de verre jusqu'à obtention d'une pulpe uniforme; mais ne battez pas d'air dans la pulpe.

Placez le bouchon sur la bouteille et reliez à la pompe.

Mettez en mouvement la pompe et remuez doucement la bouteille, pour tenir le minerai un peu en mouvement à mesure de la production du vide; les sulfures montent à la surface et y forment une mousse.

(HOOVER.)

Appareil industriel. — (Fig. 12).

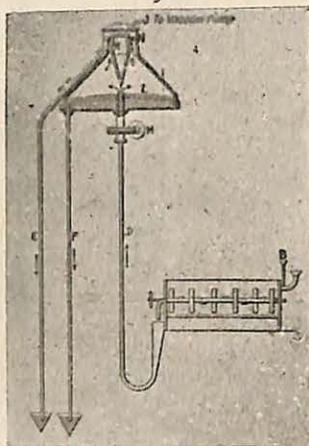


FIG. 12.

sous dans l'eau, et les bulles du gaz acide carbonique dégagé par l'action dans le mélangeur de l'acide sur le calcaire (ajouté si c'est

Il comprend 3 parties : 1° un mélangeur ; 2° une bouteille d'écumage et 3° un siphon.

1. Dans le mélangeur d'huile et d'acide dans le minerai, il se produit une écume ; c'est l'appareil de battage.

2. Une bouteille d'écumage est alimentée au centre de son fond par le tube D venant du mélangeur ; sur le fond tourne un agitateur à rateau L.

CONCENTRÉS : La bouteille est bouchée et son goulot communique avec une pompe à air ; sous l'action du vide, les bulles de l'air dissous dans l'eau, et les bulles du gaz acide carbonique dégagé par l'action dans le mélangeur de l'acide sur le calcaire (ajouté si c'est

nécessaire), soulèvent les particules de sulfures et les font flotter dans une mousse qui passe au dessus d'une lèvre et est évacuée par le tube E, fermé hydrauliquement à sa base.

TAILINGS : Le rateau reporté les tailings à la périphérie, d'où ils s'écoulent par le tube F, fermé aussi hydrauliquement.

3. SIPHON. — Les tubes D, F et E forment un siphon, qui assure la continuité de la circulation de la pulpe.

DONNÉES PRATIQUES.

Longueur de tuyau D	9 ^m ,00
Diamètre de la bouteille	1 ^m ,50.
Force absorbée par l'agitateur	2,5 chevaux.
Capacité de traitement en 24 h.	25-45 tonnes de minerai.
Mélangeur : vitesse de rotation.	30-40 tours par minute.
Agitateur L.	1-2 tours par minute.
Huile et acide.	1,5-5 kg. par tonne de tailings.

APPLICATION. — Mines de cuivre de Sulitelma (Norvège) fig. 13.
— Plancher des appareils de séparation.

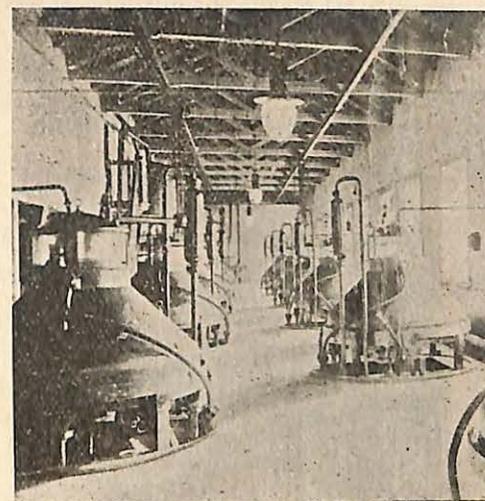


FIG. 13.

B₂ Procédés dans lesquels une écume épaisse est formée. (froth flotation.)

1° Par battage mécanique.

(V). — Appareils de la Minerals Separation Ld.

Appareil d'essai au laboratoire. — Appareil de Hoover.

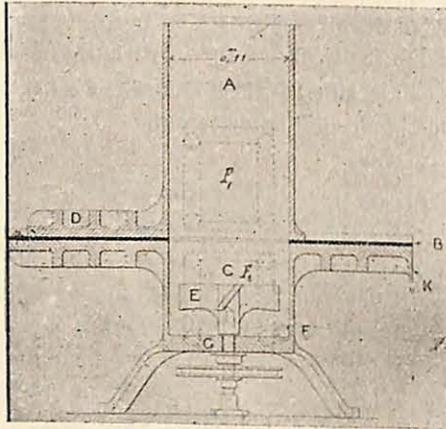


FIG. 14.

La partie supérieure est mobile sur glissières et sert à écumer la pulpe après battage.

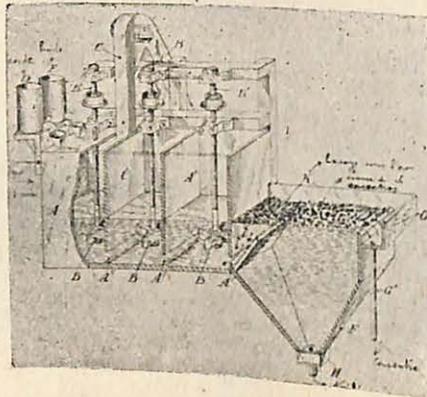
Appareil industriela) *Appareil original d'Hoover* (fig. 15) (1909).

FIG. 15.

A. Trois boîtes de battage.
D. Introduction de l'acide.

- E. Introduction de l'huile.
- C. Id. de la pulpe et de la vapeur dans la 1^{re} boîte A.
- B. agitateurs mus par engrenages ou par courroies.
- A¹. cloisons séparatives.
- A² A³ ouvertures de passage pour la pulpe.
- K. barrage sous l'eau.
- F. Boîte d'écumage.
- J. Barrage ou trop plein (lèvre).
- G. Nochère d'évacuation de l'écume de concentrés.
- H. Evacuation des tailings.

Sous l'action de trois battages successifs, la pulpe (3 aq : 1 mine-
rai) chauffée à 70° C. et additionnée d'huile et d'acide est fortement
aérée ; elle devient d'un blanc laiteux et s'élève dans chaque boîte
par l'effet de la force centrifuge, le long des cloisons en se déprimant
au centre ; c'est ainsi que la circulation de la pulpe est assurée ;
l'appareil est à marche continue.

Une écume épaisse de concentrés est évacuée par le chenal G et le
tuyau G'.

La gangue qui passe au-dessus du barrage K tombe dans le fond
de la boîte d'écumage et est évacuée par l'ouverture H.

Le traitement est répété dans trois appareils successifs disposés
en étage.

Types récentsb) *Appareil à circulation horizontale* (fig. 16).

Une boîte d'écumage est intercalée entre deux boîtes de battage
successives.

- A. Boîte de battage.
- B. Boîte d'écumage.
- D. Nochère de l'écume des boîtes d'écumage.
- C. Orifice d'évacuation des tailings.

c) *Appareil à circulation verticale* (fig. 17).

Une boîte d'écumage est disposée devant chaque boîte de battage.
Le fond de la 1^{re} boîte d'écumage est réuni par un tuyau au fond
de la 2^e boîte de battage et la paroi de cette 1^{re} boîte d'écumage est
percée d'une fente la mettant en communication avec la 1^{re} boîte de
battage.

d) Parfois des *pompes centrifuges* assurent la circulation, en produisant une aération supplémentaire ; à cet effet le tuyau d'aspiration porte une soupape d'aspiration d'air.

e) Souvent deux unités sont *disposées dos à dos* pour occuper moins de place, et les deux agitateurs voisins dans une même unité, tournent en sens contraire de façon à compenser les efforts de torsion des engrenages sur l'arbre moteur.

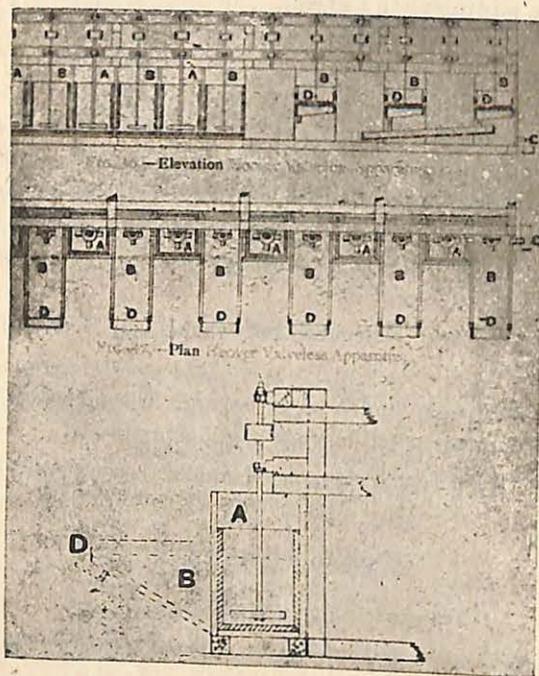


FIG. 16.

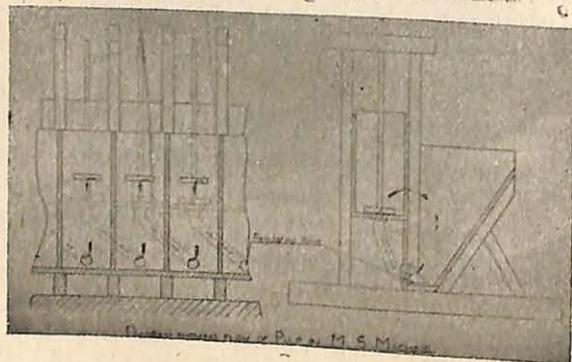


FIG. 17.

REPASSAGES. — Dans cet appareil, ils peuvent se faire dans la même unité (une unité comprend 10 boîtes de battage et 10 boîtes d'écumage numérotées 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10).

EXEMPLE. — Alimentation par n° 4 ; les concentrés des n°s 4, 5, 6, 7 et 8 retournent au n° 1 ; les concentrés des n°s 9 et 10 retournent au n° 4 ; les concentrés des n°s 1, 2 et 3 sont des concentrés finis.

DONNÉES PRATIQUES :

Surface occupée par une unité : 12^m,00 × 6^m,00.

Capacité d'une unité : 500 tonnes par 24 heures.

Personnel occupé pour 8 unités ou 4.000 tonnes par 24 heures : 1 opérateur et 3 aides, par poste de 8 heures.

APPLICATION. — Broken Hill (Australie) :

	Zn	Pb	Ag
Teneur des tailings des tas . . .	17 %	6 %	7.5 onces par t.
Broyage fin à moins de 40 mesh dans des tube-mills.			
Rendement en métal	85 %	70 %	78 %.

(VI). — Appareil de Rork (modification K. K.).

Le battage de la pulpe est effectué par un tambour (fig. 18) qui la relève dans une boîte d'écumage.

Des trous dans la paroi séparative permettent la rentrée sous l'action de la pression hydrostatique, de la pulpe de la boîte d'écumage dans la boîte de battage.

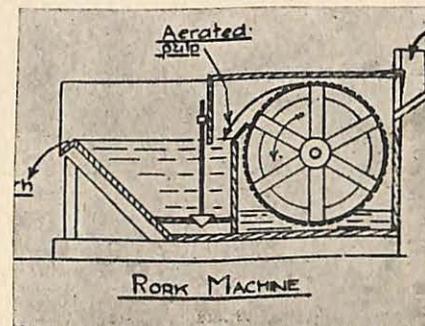


FIG. 18.

PRINCIPES. — Injection d'air comprimé par un fond constitué de plaques de fonte perforées, supportant une étoffe de laine, en quadruple épaisseur, à larges mailles et plissée.

L'air comprimé fait l'aération et l'agitation.

Le fond d'une unité comprend 8 cellules amovibles ; dans chacune d'elles, arrive un jet d'air comprimé, dont la pression est réglable suivant la hauteur hydrostatique par le moyen d'une valve.

PULPE. — La pulpe venant du mélangeur d'huile et d'air (Pachuca tank) est introduite par le petit côté, par trois trous rectangulaires, visibles dans la coupe de gauche de la figure ; la profondeur de cette pulpe varie de 0^m,60 à 1^m,10.

La densité : aq. : minerai = 2.5 : 1 ou 5.5 : 1.

ECUME DE CONCENTRÉS. — Elle est constituée par de petites bulles dues à ce que l'air doit traverser l'étoffe de laine ; elle atteint 0^m,35 d'épaisseur. (Fig. 22.)

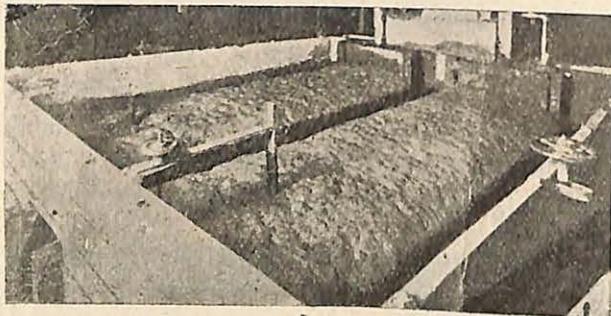


FIG. 22.

Elle s'écoule par les longs côtés de la boîte, dans des chénaux collecteurs.

L'introduction de l'air par le dessous, laisse l'écume intacte, et permet l'écumage dans le récipient même ou l'écume est formée, c'est-à-dire que la boîte de battage est ici en même temps la boîte d'écumage, tandis que dans les procédés par agitation mécanique, l'air s'introduit à travers l'écume et la brise, de sorte que l'écumage doit se faire dans une boîte voisine, ou elle a eu le temps de se reformer.

TAILINGS. — Ils cheminent sur un plan incliné à 14° et gagnent le bas de l'appareil où ils sont évacués par une valve commandée par un flotteur.

AVANTAGES DE L'APPAREIL. — Pas de mécanisme, construction entière en bois.

DONNÉES PRATIQUES : Dimensions en plan : 2^m.65 × 0^m.65.

Capacité de traitement de 4 unités : 1000 tonnes par 24 heures.

Exemple d'application. — (Fig. 23.)

A. Mélangeur d'huile et d'air dans la pulpe, par l'air comprimé. (Pachuca tank.)

B et C. Deux unités en série.

B. Unité de dégrossissage.

C. Unité de repassage.

E. Compresseur.

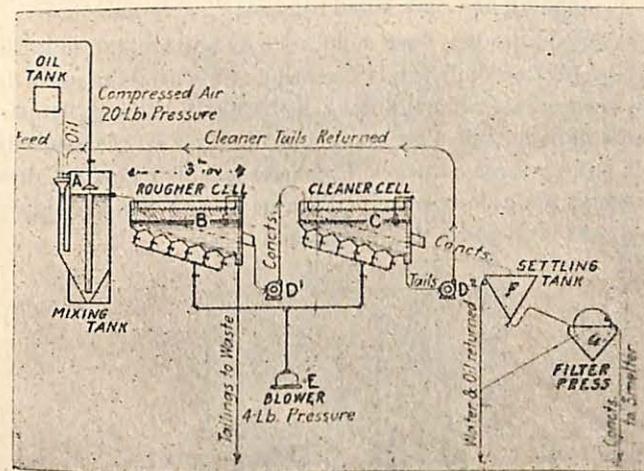


FIG. 23.

ECUMES DE CONCENTRÉS. — Celles de l'unité de dégrossissage, sont refoulées dans l'unité de repassage par la pompe D₁ ; celles de l'unité de repassage sont traitées comme nous l'indiquerons plus loin, dans des épaisseurs Dorr et des filtres à vide Oliver.

TAILINGS. — Ceux de l'appareil de dégrossissage sont rejetés au tas de stériles ; ceux de l'appareil de repassage sont renvoyés par la pompe D₂ dans le mélangeur.

Développement du procédé. — Au 1^{er} janvier 1921, la capacité des installations s'élevait à 87.860 tonnes de minerai par jour.

3° Procédés par agitation mécanique et par injection d'air comprimé.

(IX). — Appareil de N. M. Wood and S. J. Harry (Mount Lyell, Australie).

Les tuyaux d'air comprimé à haute pression de l'appareil Callow sont remplacés par de petites roues hydrauliques mues par des jets d'eau sous pression et dans lesquelles arrivent de l'air à basse pression et de l'huile; la décharge de ces roues, lancée sur des tabliers courbes, est une émulsion d'huile dans l'eau dont les bulles d'air en remontant rencontrent la pulpe et en soulèvent les sulfures.

Un détail de construction intéressant est l'emploi de l'eau sous pression pour lubrifier les axes de ces roues.

(X). — Appareil de Louis Wood (fig. 24).

La pulpe introduite à la base de la boîte de battage est soumise à l'action d'un agitateur mû par le dessous de l'appareil, et passe dans une boîte intermédiaire, adjointe à la boîte de battage; la partie dense rentre dans le tube d'air comprimé d'où elle est rechassée dans la boîte de battage avec aération. La partie la plus légère est déversée par un trop plein dans la boîte d'écumage d'où elle s'écoule par le fond; ce sont les *écumes de concentrés*.

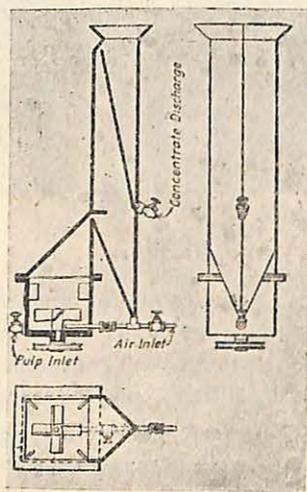


FIG. 24.

La sortie des *tailings* se fait par un orifice situé près du fond de la boîte de battage, et non figuré.

Cet appareil marche sans huile; il est extrêmement ingénieux; le repassage effectué par l'intervention de la boîte intermédiaire est automatique et se fait dans le même appareil.

Cependant rien ne garantit qu'une partie des *tailings* introduits pour la première fois dans la boîte de battage, n'en sorte pas immédiatement sans passer dans la boîte intermédiaire.

(XI). — Appareil de Janney.

L'appareil comprend une boîte de battage (fig. 25) et deux boîtes d'écumage.

Dans la boîte de battage, sur laquelle se trouve un moteur électrique, tournent à grande vitesse deux agitateurs; le supérieur fait passer la pulpe dans les boîtes d'écumage, l'inférieur entretient la circulation.

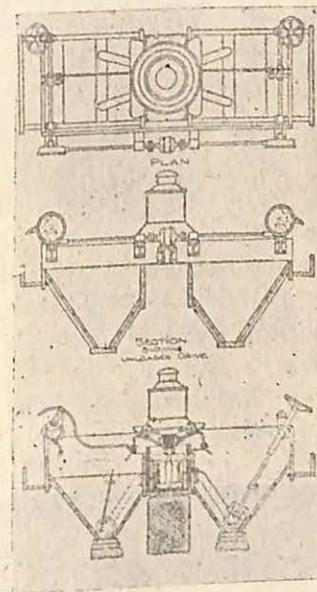


FIG. 25.

Une conduite réunit le fond de chacune des boîtes d'écumage au fond de la boîte de battage, assurant ainsi le repassage dans le même appareil.

Sur les fonds inclinés des boîtes d'écumage il y a des tôles sous lesquelles arrivent des jets d'air comprimé.

L'écumage est automatique, ou parfois se fait par un appareil mécanique.

Plusieurs unités sont disposées en cascade (fig. 26) et présentent une chute de 0^m.15 ; la pulpe de la boîte d'écumage de l'étage supérieur passe dans la boîte d'écumage de l'étage inférieur.

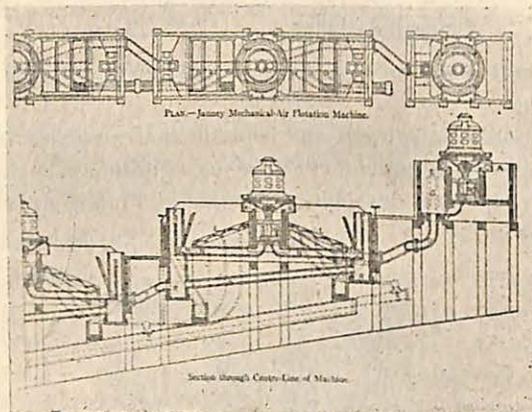


FIG. 26.

Avant la première unité, il y a un émulsificateur où les huiles sont introduites et un alcali, quand il s'agit du traitement des tailings, et un acide quand il s'agit du traitement des slimes.

DONNÉES PRATIQUES — Dimensions : boîte de battage : diamètre, 0^m.55, hauteur 0^m.65.

Agitateur électrique : 570 tours par minute.

EXEMPLE. — Utah Copper Cy (fig. 27). (Etats-Unis d'Amérique.)

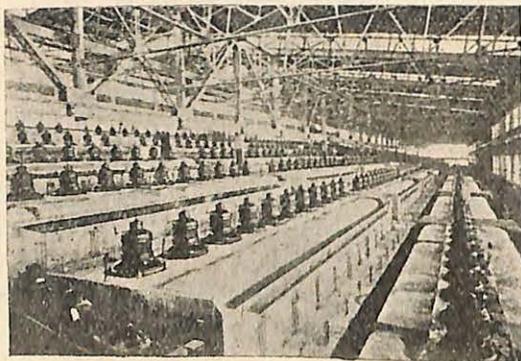


FIG. 27.

Traitement par 24 heures : concentrés des vanniers, 466 tonnes ; slimes, 12,000 tonnes.

(XII). — Appareil de Lyster. (Fig. 28).

L'appareil comprend une série d'unités bouteilles reliées à des pompes centrifuges, qui élèvent la pulpe, en produisant son agitation intense et une aération ; les écumes de concentrés sont recueillies aux différents goulots.

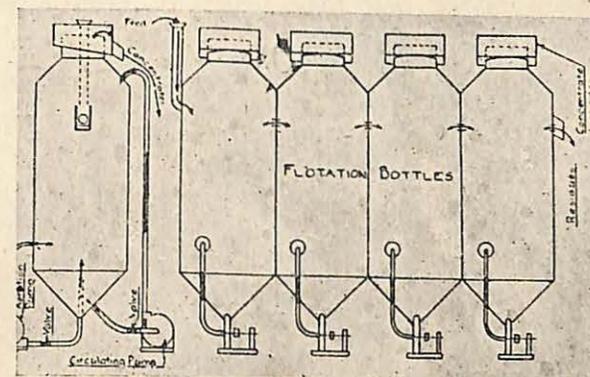


FIG. 28.

4^o) Procédé par entraînement d'un jet d'air par un courant d'eau ou procédé de la cascade.

Il est basé sur le principe de l'injecteur ; c'est la pression hydrostatique de la pulpe qui entraîne un courant d'air lequel produit l'aération.

(XIII). — Appareil de Seale et Shellsheare's (fig. 29).

Le jet de la pulpe, aéré par l'entraînement d'air qu'il produit, tombe *en cascade* sur un tablier courbe, et subit une nouvelle aération.

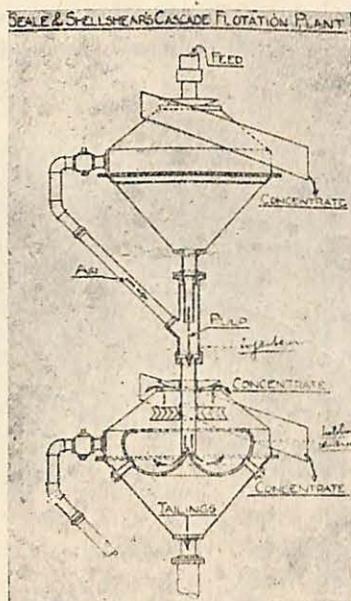


FIG. 29.

Manutention de l'écume de concentrés.

La circulation des écumes ne se réalise que dans des chénaux fortement inclinés, où elles sont détruites par des jets d'eau ; la destruction est achevée, au moyen de pompes centrifuges et de chaînes à godets.

La pulpe passe ensuite dans trois appareils :

1. — *Epaississeurs Dorr* (fig. 30).

Ces appareils sont des décanteurs continus ; ils consistent en tanks ou citernes à étages ou plateaux multiples.

L'alimentation est centrale (1) ; il est nécessaire parfois de retenir à la surface un peu d'écume ayant résisté à la destruction ; ces écu-

mes sont des concentrés qui doivent rejoindre ceux qui seront déposés sur les plateaux par décantation.

Sur les plateaux se meuvent des râteaux rotatifs disposés de façon à ramener les concentrés vers l'ouverture de décharge centrale ; le mouvement des râteaux est si lent qu'il n'empêche pas le dépôt.

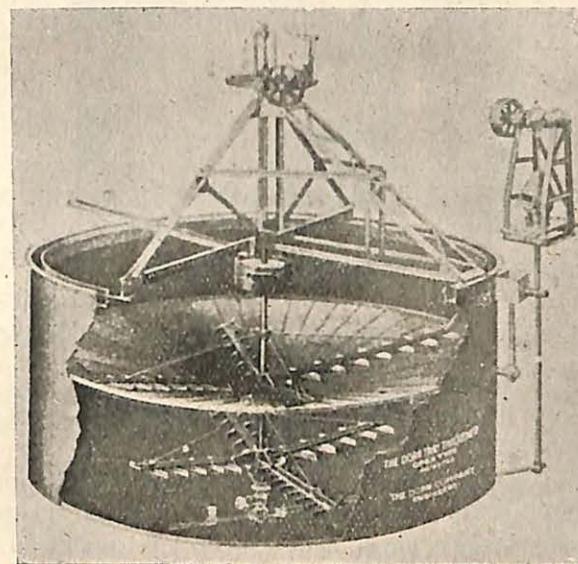


FIG. 30.

Ces râteaux sont relevables, comme les baleines d'un parapluie, pour permettre la remise en marche après un arrêt qui a amené un dépôt ; ils sont à relever avant l'arrêt.

Les eaux clarifiées du compartiment supérieur s'écoulent par le tuyau (3).

Les concentrés épaissis de ce compartiment passent dans le second par l'orifice central (6).

Les eaux clarifiées du compartiment inférieur s'écoulent par le tuyau (4) et remontant le tuyau d'équilibre, gagnent le collecteur (5) qui évacue les eaux clarifiées des deux compartiments.

Les concentrés épaissis du compartiment inférieur évacués par le tuyau (2) sont repris par la pompe.

(Fig. 30). Diamètre : 12.00 mètres.

Distance des plateaux : 0^m.60 à 1^m.20.

(Fig. 31). Inspiration Copper Cy. (Miami, Arizona, Etats-Unis d'Amérique).

Diamètre : 60^m.00.

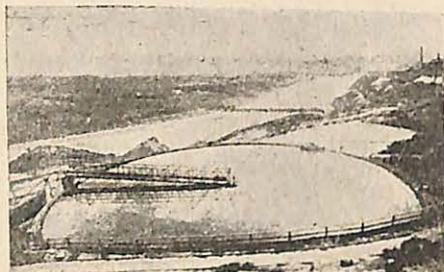


FIG. 31.

Degrés d'humidité. — Ecumes de concentrés : 80-85 % d'eau.
Concentrés épaissis : 40 % d'eau.

1^{bis}. — Au lieu de ces appareils, il est fait parfois usage de *citer-nes avec fonds filtrants*.

2. Filtre continu par le vide Oliver. — Le filtre continu d'Oliver (fig. 32) consiste en un tambour tournant lentement autour d'un axe horizontal dans la pulpe, dont le niveau est maintenu un peu au-dessous de l'axe.

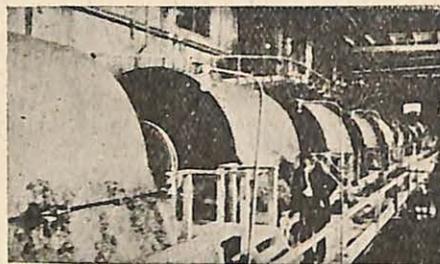


Fig. 32.

Ce tambour comprend des compartiments divisés par des cloisons étanches disposées suivant des plans axiaux ; les compartiments sont étanches du côté intérieur, et sont constitués à l'extérieur par une étoffe filtrante, renforcée par un treillis métallique. Chacun des

compartiments communique par des tuyauteries radiales à deux tourillons ; dans l'un est fait le vide, dans l'autre existe une pression d'air ou de vapeur.

Pendant son immersion, un compartiment communique avec le vide, et les concentrés se déposent en un gâteau sur l'étoffe filtrante.

Pendant la seconde moitié du demi-tour d'émersion, le compartiment reçoit la pression d'air ou de vapeur, laquelle détache le gâteau ; celui-ci, dont l'enlèvement est achevé par un racloir, tombe sur un transporteur.

La distribution du vide ou de l'air comprimé est automatique.

Chaque compartiment forme une unité indépendante, malgré que la surface filtrante soit continue sur toute la surface du tambour.

Degré d'humidité des gâteaux de concentrés, 16 % d'eau.

Ces filtres sont employés dans les ateliers de cyanuration des minerais d'or, et dans les sucreries de betterave.

DONNÉES PRATIQUES. — Dimensions : Diamètre, 3^m,45 ; largeur, 3^m,60.

Vitesse de rotation. — 1 tour en 10 minutes.

Capacité de traitement. — 150 tonnes par 24 h.

Épaisseur du gâteau. — 12 millimètres.

La fig. 33 est un schéma illustrant la liaison des épaisseurs Dorr et des filtres Oliver.

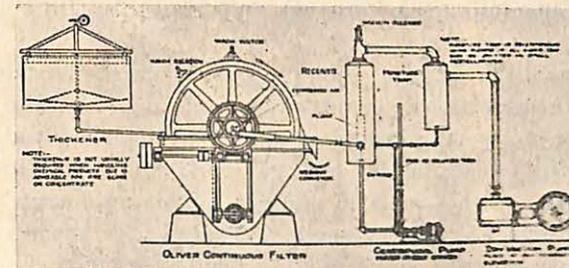


FIG. 33.

La fig. 32 représente une batterie de 14 filtres à la mine Washoe (Anaconda Copper Cy, Etats-Unis d'Amérique).

2^{bis}. — Il est fait aussi usage de *filtres presse Kelly* et de *filtres presse Shriver (Dehne)*.

Au sortir des filtres, les concentrés sont repris sur des transporteurs mécaniques.

3° **Sécheurs (Lowden drier).**

Ils sont constitués par une tôle chauffée par dessous par des gaz d'un foyer, circulant en zig-zag, et sur laquelle des rateaux mécaniques font cheminer les concentrés qui prennent la forme de petites boules.

Degré d'humidité des concentrés séchés : 5% d'eau.

Généralités sur l'application des procédés

A) *Conditions les plus favorables à l'application des procédés de flottage :*

1. Propreté des particules, sans trace d'oxydation ; car le sulfure oxydé se comporte comme une gangue et coule à fond ;
2. Gangue peu argileuse, ne formant pas de slime flottant avec les sulfures et n'allant pas constituer une grande partie de l'écume.
3. Teneur suffisante de sulfures dans le minerai (au moins 10 % du poids du minerai).
4. Dureté et constitution chimique de l'eau convenables. Il y a intérêt à recueillir les eaux de traitement afin de faire des économies sur les huiles et les réactifs ; il faut arriver à récupérer 75 % de l'eau ;
5. Broyage approprié.

Il semble préférable de faire un premier broyage au broyeur gyrateur, alimenté à moins de 50 millimètres et de n'appliquer le broyage de fins qu'aux tailings. Le broyeur de fins au tube-mill à un triple but.

α) Permettre le flottage. — La pulpe doit consister en slimes avec une certaine proportion de grains qui empêchent les bulles de devenir trop grosses et par suite instables ; les gros grains brisent les bulles. A Broken Hill (Australie) les tailings repris au tas subissaient un broyage à 40 mesh ; mais le minerai soumis au flottage pouvait contenir jusque 95 % de slimes à 100 mesh ; les appareils de la Minerals separation L^d conviennent particulièrement pour le traitement des slimes ; la présence des slimes dans les tailings est plutôt utile que nuisible.

La considération du traitement métallurgique subséquent intervient aussi dans la fixation de degré de broyage.

β) Libérer les gangues : on broye à 1/4 ou 1/20 millimètre.

Il faut cependant éviter de former des slimes de gangue.

γ) Mettre à nu des surfaces fraîches de grains de sulfures : le broyage doit être récent.

En conclusion : après avoir fixé le degré de broyage il reste à choisir le type de l'appareil de flottage.

6. Densité de la pulpe : aq : minerai = 3 : 1.

B) *Huiles.*

α) Huiles collectives déterminant le floconnement des sulfures : huile de goudron de bois, ou de houille, dérivés du goudron, créosote, paraffine.

β) Huiles émulsives, formant la mousse, huile de pin, huile d'eucalyptus, etc.

γ) Distributeurs d'huile. — Type rotatif à godets, employé pour le graissage des machines.

δ) Quantité employée, 0,1 % du poids de minerai soit 1 kilog par tonne de minerai.

Un excès d'huile (déjà 0,2 %) entraîne des flocons de sulfures dans les tailings ; et avec 0,4 % d'huile, il ne se forme plus d'écume.

ε) L'huile n'est pas indispensable ; elle a pu être remplacée dans certains cas par des hydrates colloïdaux : ou d'autres substances solubles alpha-naphthylamine, xyldine, thio-carbanilide, ortho-toluidine, aldol dont l'emploi est breveté.

ζ) Il est préférable d'ajouter l'huile dans le tube-mill où se produit un mélange intime ; ce qui permet de supprimer le mélangeur.

C) *Acides.* — L'acide sulfurique en agissant sur les gangues calcaires, ajoutées ou non, détermine la formation des bulles de CO² sur lesquelles se posent les sulfures huilés et qui montent avec eux à la surface, formant une mousse.

D'autre part, l'acide sulfurique est un agent de floconnement des sulfures, tout comme l'huile.

D) *Réactifs.* — Modificateurs des gangues, les empêchant de flotter, en les défloconnant : ce sont : soude caustique, carbonate de soude, sulfure de sodium, silicate de soude.

Quantité : 1-2 % du poids du minerai.

E) *Rendement en métal des opérations de flottage.* — Les rendements qui ne dépassaient guère 70 %, se sont élevés, grâce aux procédés de flottage à 90 à 98 % ; de sorte qu'ainsi que nous l'avons déjà dit, à propos du traitement des anciens tas de minerais pulvérisés ou déchets des laveries, les procédés de flottage, en élevant les rendements ont encore de cette manière grandement augmenté les réserves mondiales en métaux.

Il est facile de concevoir quelle majoration de bénéfice produit

dans une mine de cuivre du Lac supérieur, par exemple, une augmentation du rendement passant de 70 à 98 %.

F) *Prix de revient.* — En Amérique actuellement :

		Dollar
Pour une usine de	50 tonnes par 24 heures . .	0,50 par tonne.
»	» 100 » »	0,35 »
»	» 250 » »	0,28 »
»	» 500 » »	0,23 »
»	» 1000 » »	0,17 »
»	» 5000 » »	0,15 »

Il est visible que le traitement ne peut guère s'opérer qu'en grand; et comme la généralité des usines métallurgiques n'a qu'une faible extraction journalière, les procédés par flottage concernent surtout les tas de tailings anciens ou les tailings fournis par un groupe de mines voisines d'un atelier central.

G) *Rôle des appareils de flottage dans la préparation mécanique générale.* — Les appareils de flottage n'ont pas supprimé les appareils par différences de densité; ils se sont intercalés entre eux.

Exemple : Miami-mine, Globe District, Arizona, Etats-Unis d'Amérique (porphyres mines).

Minerai : Chalcosite ou sulfure gris (Cu_2S).

(Fig. 34). Schéma de la préparation.

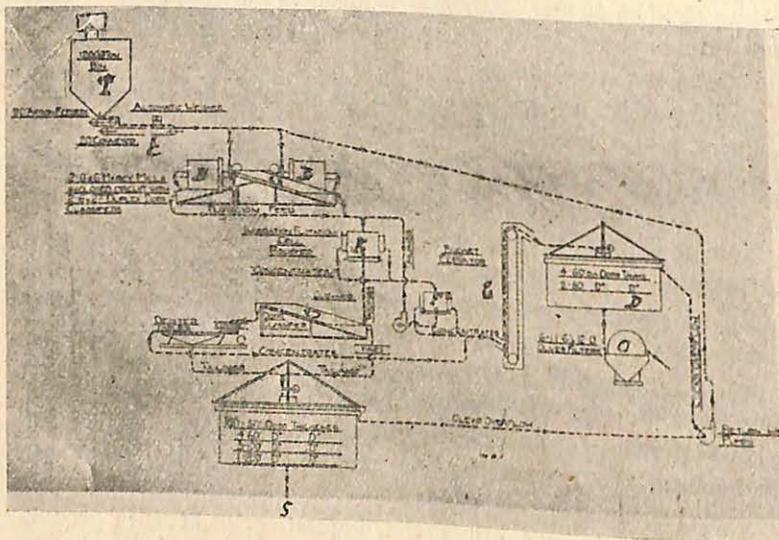


FIG. 34.

Divers points sont à noter.

1° Suppression de toute main-d'œuvre de transport du minerai à partir de la trémie-magasin qui contient 12.000 tonnes : emploi de de transporteurs par courroies, chaînes à godets, etc.

2° Faible surface occupée par l'atelier :

(0^{m2},09 par tonne traitée en 24 heures).

3° Broyage du minerai brut à 48 mesh par des broyeurs gyrotaires — pas de tamisage.

4° Cycle fermé de la consommation d'eau.

H) *Redevances.* — Elle est généralement de 1 sh. par tonne, ce qui est assez élevé.

I) *Modifications apportées par le flottage dans les traitements métallurgiques.*

a) **Minerais de cuivre.**

Procédé métallurgique par fusion. — Miami (Arizona). Pour éviter les pertes en métal qu'amène le minerai pulvérulent, sujet à volatilisation, il faut faire des briquettes ou des nodules de minerai. La nodulation s'opère dans des fours rotatifs analogues à ceux utilisés dans la fabrication du ciment. Le traitement des nodules se pratique le mieux dans des fours à réverbère pourvus d'un cône de chargement dans la voûte et auxquels font suite des récupérateurs de poussières du système Cottrell.

Ces récupérateurs sont constitués par des tubes dans lesquels passe le courant de poussières et dans lesquels sont faites des décharges électriques à 100.000 volts, pendant que les tubes sont frappés par des marteaux mécaniques dont l'action vibratoire détermine la chute des poussières; celles-ci sont recueillies dans des trémies.

Procédé métallurgique par voie humide. — Les concentrés peuvent être sulfatisés par grillage, et le cuivre peut être extrait par lixiviation et électrolyse.

Les résidus, s'ils sont aurifères ou argentifères, peuvent être cyanurés ou chlorurés pour l'extraction de l'or et de l'argent (Mount Lyell, Australie).

b) **Minerais de plomb.**

Le briquetage s'impose également.

c) **Minerais de zinc.**

A cause de leur finesse, les concentrés flottés subissent plus de pertes à la distillation.

d) **Minerais d'or.**

La cyanuration appliquée au minerai en extrait l'or et laisse perdus, dans des résidus considérables, les sulfures de cuivre, plomb et zinc, qui sont parfois de valeur notable, mais l'avantage du procédé est de sauver immédiatement l'or, ce qui est énorme.

Au contraire, l'application de la cyanuration aux concentrés flottés, contenant les sulfures aurifères de cuivre, plomb et zinc, laisse après l'extraction de l'or, des déchets riches en sulfures de cuivre, plomb et zinc utilisables en métallurgie; seulement la cyanuration des concentrés flottés présente quelques difficultés, résultant de ce que les cyanicides, les goudrons et les huiles se sont accumulés dans la matière à cyanurer; on parvient à éliminer les goudrons et les huiles par un grillage ou par une saponification au moyen d'alcali caustique.

Il est facile de concevoir quelle réduction dans les installations de cyanuration apporte le traitement des concentrés flottés, au lieu de celui du minerai. Mais les applications, dans cette voie sont jusqu'à présent timides, à cause, comme nous l'avons dit, de la crainte des pertes d'or dans le flottage du minerai.

Derniers progrès

1. *Traitement du minerai de cuivre natif.* — Les résultats obtenus sur des slimes dans le bassin du Lac Supérieur aux Etats-Unis (Amérique), ont été les suivants :

Slimes	0,6 % Cu
Concentrés flottés	43,5 % Cu
Résidus	0,18 % Cu
Rendement en métal	69 %

2. *Traitement des minerais oxydés (oxydes et carbonates de plomb et de cuivre.* — Ces minerais sont mouillés par l'eau comme les gangues.

Deux méthodes :

a) Par enrobement de sulfure au moyen de l'acide sulhydrique, les polysulfures alcalins ou le sulfure de chaux, qui les recouvre d'une pellicule de sulfure de plomb ou de cuivre, les faisant flotter.

Il est fait usage en même temps d'*huiles sulfurées*, c'est-à-dire d'huiles qui ont été distillées avec du soufre et contiennent le soufre

à l'état colloïdal. Il a aussi été proposé de former le soufre colloïdal par la réaction, en présence des minerais, de H^2S et SO^2 ?

Des résultats satisfaisants ont été obtenus par sulfuration dans les mines porphyriques de cuivre de l'Arizona; les concentrés tiennent 27 % Cu et le rendement en métal, du flottage est 79 % (1).

b) Par dissolution au moyen d'acide sulfurique dilué, précipitation par du fer pulvérulent à l'état de cuivre métallique et application du flottage qui extrait le cuivre métallique en même temps que le sulfure de cuivre, si le minerai est un mélange d'oxyde et de sulfure procédé.

Il semble que ces procédés de flottage pourrait être appliqué aux minerais oxydés de cuivre du Katanga; il va l'être prochainement à une mine en Rhodésie.

— Le traitement du carbonate et du sulfate de plomb accompagnés de chlorure et de bromure d'argent a donné également des résultats satisfaisants.

3. *Traitement de la cassiterite (Sn O²).*

La chalcopyrite ($Cu Fe S$) qui accompagne la cassitérite flotte, et est aisément extraite.

La cassitérite se comporte comme une gangue et coule au fond, avec le tungstène et les gangues. Les tailings de flottage sont traités dans les appareils ordinaires de la préparation agissant par différences de densités dans l'eau.

Les concentrés obtenus passent à la préparation électro-magnétique qui en extrait le wolfram.

Il reste le concentré d'étain (black tin) à 65-70 % Sn.

La préparation de ce minerai est un exemple de la combinaison des procédés de flottage, des procédés agissant par différences de densités dans l'eau, et des procédés électro-magnétiques.

Le rendement général en métal, a, par suite de l'introduction du flottage, passé de 70 à 90 %, à la mine de Dolcoath (Cornouailles).

4. *Flottage préférentiel et flottage différentiel.* — On appelle ainsi les procédés du flottage appliqués à séparer différents minerais.

a) *Flottage préférentiel.* — Procédés dans lesquels un sulfure est modifié chimiquement au préalable.

(1) Inversement dans les opérations du raffinage des pétroles de l'Ohio, du Texas et du Canada, qui sont chargés de composés sulfurés (1 à 4 % de S) l'oxyde de cuivre est employé pour purifier de leur soufre les vapeurs des pétroles.

(XIV). — **Procédé Horwood.** — Le minerai, qui est un complexe de pyrite, chalcopryrite galène et blende est soumis à un grillage à basse température.

Cette opération est conduite de façon à oxyder la surface des particules de pyrite, chalcopryrite et galène et à laisser intacte la blende.

Le minerai ainsi grillé est soumis à l'action de H^2SO_4 chaud qui sulfatise, à la surface, les produits oxydés, leur donne un enrobage de sulfate.

Au flottage, les produits sulfatés, se comportent comme des gangues, sont mouillés et tombent au fond, tandis que la blende flotte.

Pour l'application du procédé il faut d'abord extraire par flottage un concentré de galène et de blende, etc., pour le soumettre au grillage et à la sulfatation afin d'en extraire la blende ; de la sorte le résidu de galène a de la valeur. Si le grillage était appliqué directement au minerai brut, le résidu du flottage, la galène, serait trop pauvre et sans valeur.

b) *Flottage différentiel.* — *Procédés dans lesquels les minerais complexes sont traités tels quels.* — Le choix des agents d'émulsion, le degré d'agitation, la température, la pression de l'air, appliqués dans une série d'appareils continus, permettent d'obtenir des séparations industriellement satisfaisantes.

La théorie peut être exposée comme suit :

Si nous nous reportons aux considérations qui ont accompagné la figure 6, nous comprendrons que par l'addition d'un contaminant, par exemple, nous pouvons donner à la cohésion et à l'adhérence A_2 , des valeurs telles que pour la galène, la résultante tombe à l'intérieur de liquide, c'est-à-dire telles que la galène ne sera pas mouillée et flottera donc.

Après l'écumage de la galène, nous pouvons par une nouvelle modification convenable des mêmes facteurs, faire flotter la blende.

α) **Procédé Lyster.** (Voir fig. 28).

La galène apparaît dans l'écume des premières unités ; la blende dans les unités suivantes où des additions convenables d'huile d'eucalyptus sont faites et où des injections de vapeur élèvent la température.

β) **Procédé de Seale et Shellsheare's.** (Voir fig. 29).

Ici encore le choix des températures et des huiles dans les différentes unités en série permet d'obtenir la séparation de la galène et de la blende.

γ) Séparation de la pyrite et de la blende.

Des essais sont en cours.

δ) Séparation de la pyrite, de la blende et de la chalcopryrite. Id.

5. **Flottage du charbon.** — Les appareils de flottage commencent à être appliqués à l'enrichissement des charbons.

APPAREILS. — Ce sont ceux de Hoover de la Minerals Separation Ld que nous avons décrits.

Nous en donnons une photographie (fig. 35) du dernier type : M. S. Standard type machine.

La pulpe et les réactifs sont introduits dans la boîte située à droite de la photographie où s'effectue une première agitation.

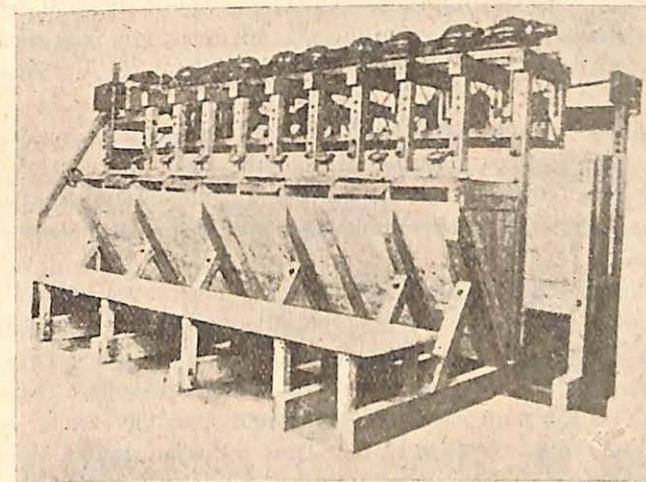


FIG. 35.

Devant chaque boîte de battage, il y a une boîte d'écumage et le fond d'une boîte d'écumage est réuni au fond de la boîte de battage suivante par un tuyau. (Revoir la figure 17).

Une fente existe dans la paroi séparative d'une boîte de battage et de la boîte d'écumage située en face.

TRAITEMENT. — Le charbon est de 0 à 2,5 millimètres, additionné d'eau et d'huile lourde de pétrole ou de crésol et paraffine (0 k. 250 à 0 k. 750 par tonne), forme une pulpe dont la densité est : aq : charbon = 4 : 1.

Par le battage, il se forme une écume qui supporte le charbon et est ramenée par des peignes et des palettes mis en mouvement par des arbres horizontaux dans un chenal d'évacuation. La boue schisteuse tombe au fond de la dernière boîte d'écumage.

DONNÉES PRATIQUES. -- Capacité : 100 à 1000 tonnes de brut par 24 heures. Longueur, 11^m.25 ; largeur, 4^m.80 ; hauteur, 4^m.60.

Deux appareils peuvent être placés dos à dos.

TRAITEMENT DES ÉCUMES DE CHARBON. — Il se fait dans des épaisseurs Dorr (revoir fig. 30) et des filtres Oliver (revoir fig. 32) ou seulement dans des filtres Oliver ; ces filtres ont les dimensions suivantes : diamètre, 2^m.40 ; largeur, 2^m.40.

Enfin on peut faire usage de sècheurs ; nous citerons le sècheur rotatif Ruggles-Colles.

L'appareil consiste en un four cylindrique rotatif à double paroi ; dans le cylindre central passent les gaz du foyer, qui repassent en sens inverse dans l'espace annulaire et sont aspirés par un ventilateur.

La matière à sécher est introduite dans l'espace annulaire du côté du foyer et, relevée par des palettes, retombe sur le tube central ; elle chemine dans l'espace annulaire grâce à la pente des cylindres et en suivant le sens inverse de celui des gaz avec lesquels elle est donc en contact.

Donc la matière la plus humide est en contact avec la partie la plus chaude du cylindre intérieur, point auquel les gaz de foyer sont refroidis à une température convenable par une admission d'air.

En somme le sècheur consiste en un cylindre chauffé intérieurement par les gaz d'un foyer qui font retour par un espace annulaire en sens contraire de la marche dans cet espace annulaire de la matière à sécher.

Capacité de traitement : 20 tonnes par heure.

Cas d'application du flottage (1).

I. Charbons destinés à la fabrication du coke.

Exemple. — Résultats obtenus.

	% en poids	Teneur en cendres	EMPLOI	
Charbon	100	10,14	pour coke à 5,8 %. Pour chaudières et char- bon pulvérisé. Stérile ou pour brique- teries.	
Produits du flottage	a) Charbon	87,2		3,25
	b) Charbon	2,4		19,2
	c) Schiste	9,5	72,1	

(1) Résultats publiés par la Minerals Separation Co.

(II). — Charbon de dépoussiérage. — Tout-venant. Cendres : 31,25 %.						
	1 ^{er} concen- tré	2 ^e concen- tré	1 ^{er} résidu	2 ^e résidu	Concen- trés cumulés 1+2	Résidus cumulés 1+2
Poids rapportés à la T. de pro- duit sec Kgrs	355,—	250,—	137,—	258,—	605,—	395,—
Cendres %/o	3,75	14,30	47,85	76,60	8,13	66,70
Récupérat. en %/o de charbon pur	49,80	31,—	—	—	80,80	19,20
(III). — Schlamms. — Cendres : 31,2 %/o.						
	1 ^{er} concen- tré	2 ^e concen- tré	3 ^e concen- tré	Résidus	Concen- trés cumulés 1+2	Concen- trés cumulés 1+2+3
Poids rapportés à la T. de pro- duit sec Kgrs	177,—	170,—	288,—	365,—	347,—	635,—
Cendres %/o	6,30	6,20	10,60	76,—	6,28	8,20
Récupérat. en %/o de charbon pur	24,—	23,40	37,50	—	48,30	84,80
(IV). — Poussiers 0/2,5. — Cendres : 23,87 %/o.						
	1 ^{er} concen- tré	2 ^e concen- tré	3 ^e concen- tré	Résidus	Concen- trés cumulés 1+2	Concen- trés cumulés 1+2+3
Poids rapportés à la T. de pro- duit sec Kgrs	266,66	343,58	155,90	233,80	610,24	766,14
Cendres %/o	1,85	5,55	23,—	76,40	3,91	7,81
Récupérat. en %/o de charbon pur	34,30	42,70	15,80	7,20	77,—	92,80
(V). — Schistes de lavoir. — Terres charbonneuses (terrils). — Cendres : 62 %/o.						
	1 ^{er} concen- tré	2 ^e concen- tré	3 ^e concen- tré	Résidus	Concen- trés cumulés 1+2	Concen- trés cumulés 1+2+3
Poids rapportés à la T. de pro- duit sec Kgrs	241,—	83,—	44,—	732,—	324,—	—
Cendres %/o	5,10	27,—	62,30	90,—	10,70	—
Récupérat. en %/o de charbon pur	60,—	15,90	—	—	75,90	—
(VI). — Cendres de chaudières. — Cendres : 70,1 %/o.						
	1 ^{er} concen- tré	2 ^e concen- tré	3 ^e concen- tré	Résidus	Concen- trés cumulés 1+2	Concen- trés cumulés 1+2+3
Poids rapportés à la T. de pro- duit sec Kgrs	84,—	158,—	76,—	682,—	242,—	318,—
Cendres %/o	5,90	12,20	15,70	97,50	11,60	12,60
Récupérat. en %/o de charbon pur	26,40	45,—	21,40	—	71,40	92,80
(VII). — Charbons menus laissés à présent dans les remblais dans certains pays.						
(VIII). — Charbons de couches particulièrement sales non exploitées à présent.						

Emploi des charbons flottés (concentrés flottés).

1° à la fabrication du coke.

Avantages du coke flotté, d'après les inventeurs :

1°) Economie sur les frais de transport des fines, de la préparation jusqu'aux fours à coke.

2°) Gaz. plus riche à la distillation, majoration de la qualité des sous-produits.

3°) Qualité supérieure du coke ; plus grande résistance à l'écrasement dans le haut-fourneau ; augmentation de 38 % de la dureté ; réduction des cendres à 3,4 %.

4°) Economie de l'espace dans le haut-fourneau ; entraînant une majoration de la production de fonte de 17 %.

5°) Diminution de laitier par suite de la diminution de la teneur du coke en silice, ce qui permet de diminuer la charge des fondants.

6°) Economie de calories dans le haut-fourneaux,

7°) Diminution du poussier de coke, à cause de la plus grande dureté ; la proportion de poussier tombe à 1 1/2-2 %, au lieu de 7-8 % avec le charbon lavé.

8°) A cause de sa dureté, le coke flotté arrive à brûler aux tuyères mêmes, laboratoire de la fusion.

9°) Economie sur les frais de transports du coke et réduction de la quantité de poussier formée dans le transport.

10°) Economie de 7,6 % de coke, par la substitution du coke flotté au coke lavé, dans la fabrication de la fonte Cleveland.

Les inventeurs affirment que le procédé peut séparer de certains charbons certains produits (le fusain) qui les rendent non cokéfiables, et que les charbons ainsi nettoyés peuvent devenir cokéfiables.

2° à la fabrication des agglomérés. — Il existe à cet effet un procédé nouveau qui exempte de sécher les concentrés lesquels sont à 50 à 60 % d'eau. Ceux-ci sont additionnés d'agglutinant (goudron et brai) et chauffés à 100° C., il se forme des flocons de pulpe qui sont comprimés dans la presse à briquettes laquelle en expulse l'excès d'eau.

3° à la préparation du charbon pulvérisé employé pour les chaudières à vapeur, dans les fours métallurgiques du fer, de l'acier et du cuivre, et dans les fours à ciment.

4° à la préparation d'un combustible liquide colloïdal, mélange d'huile et de poussière de charbon restant indéfiniment en suspension par l'intervention d'un fixateur ; le charbon maigre convient également pour cette préparation.

Installations. — Il y en a en activité en Angleterre, en France et en Espagne ; des essais sont en projet en Belgique.

Les exploitants et les métallurgistes belges ne peuvent manquer de porter toute leur attention sur un procédé fournissant un coke plus riche à même de diminuer le prix de revient de la fonte.

L'enrichissement des poussières maigres attirera l'attention des fabricants d'agglomérés.

RÉCAPITULATION

Le champ d'action des procédés de flottage grandit sans cesse grâce aux efforts combinés des ingénieurs dans toutes les parties du monde ; il peut être décrit succinctement comme suit :

Les substances flottables sont :

1° Les sulfures métalliques : blende, galène, chalcopirite, pyrite aurifère, molybdène, cinabre, stibnite, qui sont séparés d'avec leurs gangues et même séparés entre eux ;

2° Les métaux natifs, tel le cuivre ;

3° Les oxydes et le carbonate de cuivre, les oxydes et les carbonates de plomb argentifères, la cassitérite ;

4° Le soufre, le graphite, le charbon.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les appareils sont simples ; plusieurs sont réalisables sur place en matériaux du pays ; les résultats économiques sont notables.

Il est donc permis de prédire à ces procédés une extension considérable.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Rappel des principes de la préparation mécanique des minerais	83
Importance économique des procédés par flottage	85
Théorie physique : cohésion, tension superficielle	86
Intervention de la tension superficielle dans le flottage	90
Rôle de l'huile	92
Ecume, viscosité	93
Etat colloïdal	93
Description des appareils	447
A. Procédés par film	447
(I). Procédé De Bavay	447
(II). Procédé Macquisten	449
(III). Procédé de Wood	450
B. Procédés par mousse ou écume	451
B ₁ . Procédés par mousse	452
(IV). Procédé Elmore par le vide	452
B ₂ . Procédés par écume	453
1° Procédés par battage mécanique	453
(V). Appareils de la Minérals Séparation L ^d (Hoover)	454
(VI). Appareil de Rork	457
(VII). Appareils de Akins	458
2° Procédés par injection d'air	458
(VIII). Appareil de Callow	458
(IX). Appareil Wood (N.-M.)	462
3° Procédés par agitation mécanique et injection d'air comprimé	462
(X). Appareil de Wood (Louis)	462
(XI). Appareil de Janney	463
(XII). Appareil de Lyster	465
4° Procédé de la cascade	465
(XIII). Appareil de Seale et Shellsheare's	466
Manutention de l'écume de concentrés	466
1. Epaisseur Dorr	466

1 ^{bis} . Citernes à fonds filtrants	468
2. Filtre continu par le vide Oliver	468
2 ^{bis} . Filtre presse Kelly ou Shriver (Dehne)	469
3. Sécheurs (Lowden drier)	470
Généralités sur l'application de procédé	470
A) Conditions les plus favorables à l'application du procédé	470
B) Huiles	471
C) Acides	471
D) Réactifs	471
E) Rendement en métal des opérations	471
F) Prix de revient	472
G) Rôle des appareils de flottage dans la préparation mécanique générale	472
H) Redevances	473
I) Modifications aux traitements métallurgiques	473
Derniers progrès	474
1. Cuivre natif	474
2. Minerais oxydés de plomb et cuivre	474
3. Cassitérite	475
4a. Flottage préférentiel	475
4b. Flottage différentiel	476
5. Charbon	477
Récapitulation générale des corps flottables	481
Conclusion générale	481