

Etude critique du fonctionnement d'un séparateur magnétique tripolaire à bandes croisées

L. BRISON

et

P. MOISET

Professeur à la Faculté Polytechnique de Mons.

Chargé de Cours à la Faculté Polytechnique de Mons.

SAMENVATTING.

Huidige nota handelt over de proeven op de driepolige magnetische separator met gekruiste banden Humboldt K. 110 (breedte van de hoofdband: 100 m/m) uitgevoerd in het laboratorium voor mechanische zuivering der ertsen en steenkolen van de Polytechnische Faculteit te Bergen. Deze proeven beoogden de studie van de recuperatie van de edele mineralen uit de tailings van de kassiterietontginningen van de Maniema (Belgisch Kongo).

Om de selektiviteit van de separator te beoordelen, werd de intensiteit van het magnetisch veld in de voornaamste luchtspleten, bij verschillende regelingen, gemeten.

Vervolgens werd getracht een verband te leggen tussen de magnetische susceptibiliteit van het mineraal en de veldsterkte, voor granulometrisch nauw gesorteerde korrels.

Tenslotte werd, dank zij de proeven, een verbetering gebracht aan de oorspronkelijke opvatting van het apparaat, waardoor de selektiviteit aanzienlijk verhoogd wordt.

* * *

Door het vermelden van enkele resultaten dezer proeven, werd alleen de bedoeling nagestreefd, kwantitatief het voordeel aan te tonen van een berekenende regeling, aanpassing en benutting van de magnetische separator.

De meting van de magnetische velden, de nauwkeurige regeling van de luchtspleten, de nauwgezette controle van de snelheid der banden en de voorafgaande granulometrische klassering van het ruw erts verlenen aan de magnetische scheiding een selektiviteit en een economisch rendement dat merkkelijk hoger is dan de beste resultaten van de regelingen op zicht die nog al te vaak worden toegepast.

1. Introduction.

La présente note relate des essais effectués sur le séparateur magnétique tripolaire sec à bandes croisées (*) Humboldt K. 110 du Laboratoire de Préparation Mécanique des Minerais et des Charbons, à la Faculté Polytechnique de Mons, en vue d'étudier la récupération de minéraux nobles à partir de tailings d'exploitations de cassitérite du Maniema (Congo belge).

Pour juger de la sélectivité du séparateur, nous avons mesuré les intensités du champ magnétique dans les entrefers principaux, pour différents réglages. Nous avons alors tenté d'établir une relation entre la susceptibilité magnétique des minéraux et l'intensité du champ, pour des grains soumis au

préalable à un classement granulométrique serré.

Enfin, à la lumière de nos expériences, nous avons apporté à la conception originelle de l'appareil une modification qui en améliore sensiblement la sélectivité.

2. Description du séparateur.

Le séparateur (fig. 1) comporte deux bobines magnétiques dont les circuits électriques peuvent être groupés en série ou en parallèle. Le flux engendré par ces bobines est réparti entre trois circuits magnétiques dérivés, dont les lignes de force traversent trois espaces interpolaire, ou entrefers, dans lesquels s'effectue la séparation.

D'une trémie conique d'alimentation, munie d'une ouverture de sortie adaptable à la granulo-

(*) Largeur de la bande principale: 100 mm.

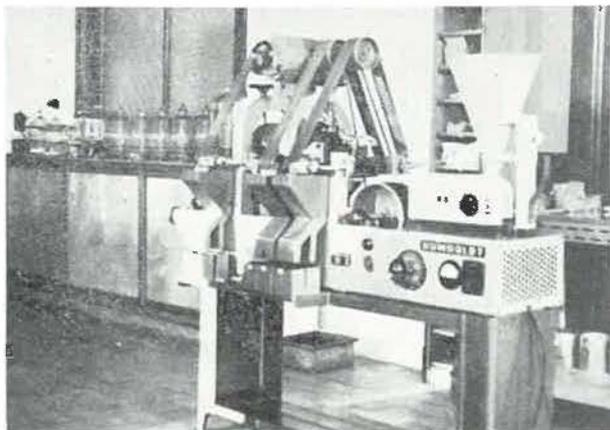


Fig. 1.

métrie du minerai, celui-ci s'écoule sur un distributeur animé de vibrations entretenues réglables, dont le rôle est d'étaler les grains en couche régulière sur la courroie principale. On peut faire varier continuellement la vitesse de celle-ci.

Grâce à l'ensemble de ce dispositif, il est possible de faire défiler à la vitesse requise, dans les entrefers, une couche de minerai aussi mince qu'on le désire. (1)

Dans chacun des entrefers, les minéraux magnétiques sont attirés vers la pièce polaire supérieure, d'où ils sont aussitôt éloignés latéralement par une courroie transversale dont la vitesse de translation est multiple de celle de la courroie principale. Les éléments insensibles à l'action du champ restent sur la bande principale, qui les rejette à son extrémité.

transversale. Le second est formé de deux pièces juxtaposées (pôle 1 et pôle 2), et le troisième d'une seule pièce, de même forme mais plus large que les précédentes.

Les entrefers des trois paires de pôles sont réglables indépendamment les uns des autres.

Grâce au profil des pièces polaires, la distribution du champ est asymétrique par rapport à la courroie principale et suffisamment convergente pour qu'un grain, quelle que soit sa position sur cette bande, ne soit jamais en équilibre magnétique.

3. Considérations relatives au réglage du séparateur.

Pour que la sélectivité de l'appareil soit assurée, il faut que les champs magnétiques aillent en croissant du premier au troisième pôle, suivant une gradation appropriée au minerai traité, de façon à provoquer dans les entrefers successifs la séparation de minéraux de susceptibilités magnétiques décroissantes.

L'intensité, la distribution, la régularité du champ sur la largeur de la bande principale, et la possibilité de son adaptation, sont des conditions fondamentales de la sélectivité. Ces propriétés magnétiques dépendent, pour un séparateur donné, de l'intensité du courant magnétisant et de la reluctance des circuits magnétiques.

Il est désirable que l'intensité du courant magnétisant soit réglée à la valeur la plus faible compatible avec une bonne séparation, de manière à ne pas échauffer les bobines et pièces polaires et à ne

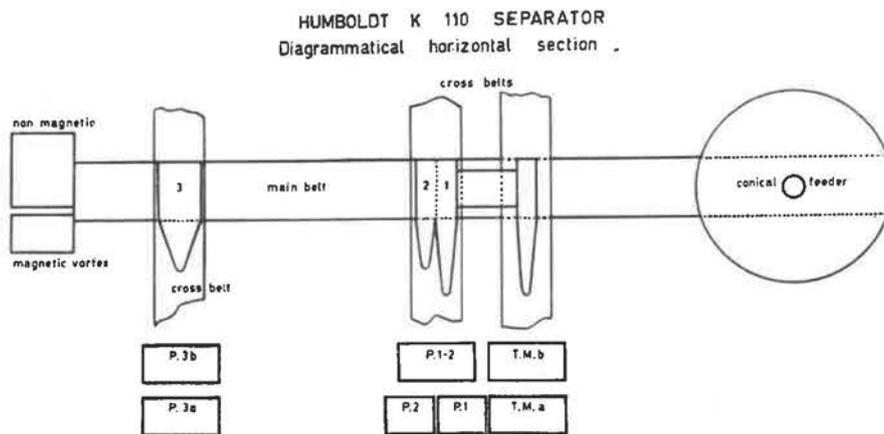


Fig. 2.

Comme le montre la fig. 2, le premier pôle supérieur ou avant-pôle est constitué d'une seule pièce, effilée dans le sens du déplacement de la courroie

(1) La bande principale et les trois bandes transversales sont entraînées par le même moteur, à l'aide de transmissions par engrenages. Bien que la vitesse du moteur soit réglable, il n'est pas possible, dans la construction originelle du séparateur, de faire varier le rapport de la vitesse des bandes transversales à la vitesse de la bande principale.

pas gaspiller d'énergie. L'intensité minimum est celle qui permet de réaliser le champ requis pour extraire au dernier pôle les grains de la plus faible susceptibilité, tous les entrefers ayant été réglés à leur valeur minimum (2).

(2) Les entrefers minima sont, en pratique, imposés par la granulométrie du minerai. Ils ne peuvent être inférieurs à 2 fois le diamètre du plus gros grain.

Ces conditions déterminent en fait les champs sous les autres pôles. Il peut dès lors se faire que ceux-ci soient trop intenses et provoquent une extraction de « mixtes », ne fût-ce que dans l'un des entrefers. Il n'est possible de remédier à cette situation qu'en augmentant les distances interpolaires jusqu'à obtenir dans chaque entrefer l'intensité de champ convenable.

Pour que cette manœuvre soit possible, il faut que :

a) L'intensité du champ sous un pôle déterminé varie de manière sensible en fonction du réglage de l'entrefer correspondant ;

b) L'intensité du champ sous un pôle déterminé ne varie pas sensiblement quand on modifie l'entrefer des autres pôles.

Ces caractéristiques impliquent un minimum de saturation des circuits magnétiques. Elles sont indispensables pour que le séparateur puisse être adapté au traitement d'un minerai complexe à constituants utiles faiblement magnétiques, dont les susceptibilités sont échelonnées de façon quelconque.

Il peut aussi arriver que le réglage du courant magnétisant à l'intensité minimum définie plus haut donne, sous les deux premiers pôles, des champs trop faibles, bien que les entrefers aient été réduits au minimum compatible avec la granulométrie du minerai. On ne peut corriger ce défaut qu'en augmentant le courant magnétisant et en adaptant à nouveau par tâtonnements les distances d'entrefer. Celles-ci, sur un appareil bien réglé, seront donc rarement identiques sous les trois pôles.

La distribution des éléments magnétiques dans le brut impose parfois des conditions de réglage irréalisables: il peut alors être avantageux d'effectuer la séparation en plusieurs étapes successives sur le même appareil, ou sur plusieurs séparateurs en série. Nous nous sommes attachés à rechercher des moyens propres à éviter, autant que possible, pareil « retraitement ».

4. Mesure des champs magnétiques.

Les considérations que nous venons d'émettre quant au réglage du séparateur sont déduites du raisonnement et quelque peu spéculatives. Afin d'en vérifier la pertinence, nous devons absolument mesurer l'intensité et vérifier la distribution du champ magnétique dans les espaces interpolaires, pour diverses valeurs du courant magnétisant et pour différents réglages des entrefers.

Il fallait procéder par sondages quasi ponctuels dans des espaces interpolaires très faibles, sans y perturber la répartition du flux magnétique.

Deux techniques de mesure nous ont paru, a priori, répondre à ces exigences:

1° Nous avons, en premier lieu, utilisé un gaussmètre dont le principe repose sur la mesure de

l'effet Hall provoqué par le champ sur une sonde garnie d'un élément semi-conducteur. Malheureusement, cet effet est très sensible aux variations de température: il en résulte que le zéro de l'appareil de mesure doit être réglé pour chaque température de régime des entrefers, et que cette température ne peut varier au cours d'un essai. Ces conditions rendent les mesures très longues et délicates. De plus, la sonde, par suite de son épaisseur très faible et de sa grande longueur, est d'une extrême fragilité.

Ces divers et graves inconvénients nous firent abandonner la méthode.

2° Nous avons construit ensuite, avec du fil isolé de 0,04 mm de diamètre, une bobine de 50 spires de 20 mm² de section, dont la hauteur ne dépassait pas 1 mm, collée sur une sonde plate en matière non magnétique. En plaçant la bobine dans un entrefer, de telle sorte que le plan des spires soit normal aux lignes de champ, et en faisant varier brusquement le courant magnétisant de + I à - I, nous avons mesuré à l'aide d'un fluxmètre de précision raccordé à ses bornes une variation de flux double du flux induit par le courant I à travers la bobine. Un étalonnage simple permet de déduire de cette mesure l'intensité locale du champ, sans correction notable de température.

Les tableaux I et II donnent des exemples des résultats obtenus.

Il résulte de leur examen que, pour un courant magnétisant donné, l'intensité maximum du champ dans un intervalle polaire déterminé est fonction de l'ouverture de cet intervalle et indépendant des entrefers des deux autres. Il est donc possible de faire correspondre à chaque intervalle polaire une fonction de deux variables donnant la valeur du champ maximum pour diverses intensités du courant magnétisant et diverses valeurs de l'entrefer de cet intervalle. Nous avons choisi comme paramètre l'intensité du courant magnétisant.

On peut donc reproduire sur un séparateur de même type les essais réalisés sur un séparateur en laboratoire, à condition de déterminer la fonction précitée, pour chaque intervalle polaire, et de pouvoir mesurer les champs. Il faut bien entendu que le minerai à épurer soit le même et que la vitesse de la bande principale soit également la même.

Il faut enfin que la distribution du flux magnétique dans les espaces interpolaires soit semblable sur l'un et l'autre appareil, afin que les intensités de champ et les gradients de champ soient identiques en des points homologues. Cette condition est vérifiée en pratique pour des séparateurs de même type construits avec le même soin.

TABLEAU I.

L'intensité du champ sous un pôle est pratiquement indépendante du réglage des entrefers sous les autres pôles.

Courant magnétisant : 2,5 ampères.

Pôle 3	Pôle 2	Pôle 1			
		Champ magnétique maximum (gauss)			
Entrefers (mm)		4 mm	5 mm	6 mm	7 mm
1	4	10 000 g	8 400 g	7 800	6 900 g
	5	10 000	8 400	7 800	7 000
	6	10 100	8 700	8 100	7 300
	7	10 200	8 800	8 300	7 500
2	4	10 000	8 400	7 800	6 900
	5	10 100	8 400	8 000	7 050
	6	10 200	8 800	8 000	7 200
	7	10 000	8 800	8 100	7 600
3	4	10 000	8 400	7 900	6 950
	5	10 100	8 500	8 000	7 100
	6	10 200	8 600	8 100	7 100
	7	10 200	8 700	8 300	7 500
4	4	10 000	8 350	7 880	7 000
	5	10 100	8 500	8 100	7 000
	6	10 200	8 600	8 150	7 100
	7	10 200	8 800	8 200	7 250
5	4	10 000	8 400	7 800	6 950
	5	10 100	8 400	8 150	6 850
	6	10 100	8 700	8 150	7 350
	7	10 200	8 700	8 300	7 500

TABLEAU II.

Champ magnétique maximum (en gauss) sous les différents pôles, en fonction des entrefers et de l'intensité du courant magnétisant.

Entrefers en mm	Courant magnétisant : 2,1 A			Courant magnétisant : 1 A		
	Pôle 1	Pôle 2	Pôle 3	Pôle 1	Pôle 2	Pôle 3
1	12 375	15 250	17 750	10 350	11 750	—
2	12 125	14 250	17 625	10 050	10 450	11 800
3	9 500	12 375	16 250	9 150	8 650	11 650
4	7 250	10 875	14 375	7 900	7 350	10 050
5	5 875	9 625	12 250	6 600	6 450	8 800
6	5 375	8 125	10 625	5 850	5 800	7 500
7	5 125	8 000	9 500	5 350	5 350	6 850

5. Influence du classement granulométrique.

La force d'attraction qui sollicite une particule minérale supposée sphérique et de diamètre D , soumise au champ magnétique d'intensité \bar{H} est

$$F = K \frac{\pi D^3}{6} \frac{\partial \bar{H}}{\partial x} \bar{H}$$

K étant la susceptibilité magnétique du minéral et $\frac{\partial \bar{H}}{\partial x}$ le gradient local du champ.

Si d'autre part γ est le poids spécifique du minéral, le rapport de la force d'attraction au poids est

$$\frac{K}{\gamma} \bar{H} \frac{\partial \bar{H}}{\partial x}$$

Pour que le grain se décolle de la bande principale et ait des chances d'être extrait, il faut que ce rapport soit supérieur à 1.

Dans un espace interpolaire donné, le produit $\bar{H} \frac{\partial \bar{H}}{\partial x}$ croît avec la distance au plan de la bande principale. Il est donc, toutes choses égales, plus grand pour un gros grain — dont les points sont en moyenne plus éloignés de la bande — que pour un petit.

Cela peut expliquer les faits d'expérience suivants :

1°) Il peut exister des grains de minéraux différents et de grosseurs différentes, caractérisés respectivement par $(K_1 - \gamma_1 - D_1)$ et par $(K_2 - \gamma_2 - D_2)$ qui sont attirés de la même façon dans un espace interpolaire déterminé. Pour empêcher ce phénomène d'équivalence magnétique, qui nuit à la sélectivité de la séparation, il convient de soumettre le minerai à traiter à un classement granulométrique d'autant plus serré que les rapports des susceptibilités et des poids spécifiques des minéraux à séparer sont plus voisins de l'unité.

2°) Deux grains de grosseur différente du même minéral subissent différemment l'attraction magnétique dans le même espace interpolaire. Nous avons vu pourquoi le gros grain sera attiré plus facilement que le petit.

En conséquence, un champ plus intense et un gradient de champ plus élevé, caractérisant sur notre séparateur un entrefer plus réduit, sont nécessaires pour extraire les fines particules, alors que les grosses seront extraites dans un entrefer plus grand où le champ et le gradient présentent un produit moins élevé, tout au moins dans le plan de la bande principale. On verra plus loin que les grains de columbo-tantalites refusés au tamis 14 de la série Tyler sortent au pôle 2, alors que les grains plus fins de la classe 20 - 28 Tyler ne sortent qu'au pôle 3, (soit respectivement pour des champs maxima au niveau de la bande de 8000 gauss au pôle 2 et de 16000 gauss au pôle 3).

Notre explication est, nous le savons, de nature hypothétique, sans prétention à la rigueur. Elle paraît cependant bien rendre compte des phénomènes observés.

Des essais multiples, dont quelques-uns sont rapportés plus loin, nous ont montré combien la séparation des minéraux magnétiques pourrait être améliorée par un classement granulométrique serré.

6. Intérêt de réglages de vitesses indépendants sur la bande principale et sur les bandes transversales.

On observe fréquemment, sur un séparateur à bandes croisées, que des grains minéraux peu magnétiques ne sont pas écartés au dernier pôle par la bande transversale, et tourbillonnent sous l'arête de sortie de la pièce polaire supérieure jusqu'à ce que, sous l'influence d'une minime variation du champ ou de la vitesse de la bande, ils soient enfin extraits ou encore retombent sur la courroie principale et sortent avec les rejets non magnétiques.

A cause de ce « tourbillon magnétique », les rejets et parfois les produits extraits au dernier pôle, doivent être retraités avec plus ou moins de succès.

Nous avons pu supprimer le tourbillon magnétique en augmentant la vitesse des bandes transversales ou, tout au moins, le rapport de cette vitesse à la vitesse de la bande principale.

Par ce perfectionnement implique une modification de la construction du séparateur : la courroie principale et les courroies transversales doivent être commandées par des moteurs à vitesse variable distincts. La fig. 3 montre, vu de derrière, le séparateur modifié : on y distingue à la partie supérieure et à droite l'un des moteurs, tandis que l'autre

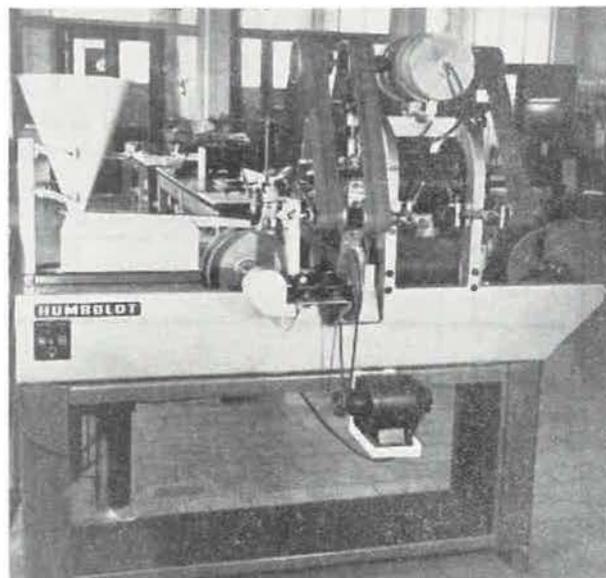


Fig. 3.

se trouve sur une console sous le bâti de l'appareil.

Grâce à la transformation ainsi réalisée, nous avons pu améliorer notablement les résultats de séparations particulièrement difficiles, en réduisant très fortement, sans retraitement des rejets, la production des mixtes.

Quelques résultats sont donnés ci'après.

a) *Traitement de tailings de Kailo (rejets d'une concentration gravimétrique de cassitérite).*

Produit soumis à la séparation magnétique composé de cassitérite, ilménite et monazite.

Granulométrie : passant au tamis de 35 mesh Tyler.

Courant magnétisant : 1,8 ampère.

près du bord précité et les grains déposés vers le milieu de la largeur de la courroie.

L'effet de l'augmentation de vitesse des bandes transversales est manifeste, dans le 2° essai :

Suppression du tourbillon magnétique ;

Récupération parfaite de la cassitérite sortant en totalité par la bande principale ;

Sortie au 3° pôle d'un concentré de monazite à 90 %, renfermant plus de 90 % de la monazite du brut, au lieu d'un mixte à 50 % ne renfermant que 84 % de la monazite totale.

b) *Traitement d'un sable glauconifère.*

A titre expérimental, nous avons tenté d'extraire la glauconie, minéral très peu magnétique, d'un sa-

TABLEAU III.

	Poids g	Composition
Avant pôle	106,1	Ilménite pure
Pôle 1	0,2	Ilménite 50 % — Monazite 50 %
Pôle 2	4,8	Ilménite 70 % — Monazite 30 %
Pôle 3	1,5	Ilménite 20 % — Monazite 80 %
Tourbillon	57,4	Cassitérite 50 % — Monazite 50 %
Rejets	30,0	Cassitérite quasi pure

2° essai : Même réglage, sauf que la vitesse des bandes transversales est portée à 1,20 m/s.

	Poids g	Composition
Avant pôle	107,0	Ilménite
Pôle 1	0,6	Ilménite 50 % — Monazite 50 %
Pôle 2	5,5	Ilménite 70 % — Monazite 30 %
Pôle 3	31,5	Ilménite 10 % — Monazite 90 %
Tourbillon	Néant	
Rejets	55,6	Cassitérite quasi pure

Champs : 9.000 — 11.000 et 15.200 gauss, respectivement aux pôles 1, 2 et 3.

1^{er} essai: Vitesse de la bande principale 0,07 m/s.

Vitesse des bandes transversales 0,20 m/s.

Débit 15 kg/h.

Le tableau III indique les poids relatifs et la composition des produits magnétiques et des rejets séparés. Sous la désignation « tourbillon » figure un produit déposé par le tourbillon magnétique sur le bord de la bande principale, côté sortie des bandes transversales. On le sépare des rejets non magnétiques proprement dits en recueillant séparément, à la sortie de la bande principale, les grains situés

ble dont nous disposons au laboratoire. Cette tentative a parfaitement réussi et elle a fourni une nouvelle preuve que, pour extraire un minéral à faible susceptibilité magnétique, il y a intérêt à faire défiler très lentement sous les pôles la bande principale, tout en imposant une vitesse relativement élevée aux bandes transversales.

Le rendement de récupération de la glauconie varie du simple au double environ lorsque la vitesse de la bande principale est réduite de moitié, pour une même vitesse des bandes transversales. Cette modification du rapport des vitesses entraîne également une amélioration nette de la teneur du concentré.

7. Exemple pratique des possibilités de récupération poussée de columbo-tantalites à partir de tailings d'une exploitation de cassitérite.

Le brut traité provient d'un dépôt de tailings d'une mine du Congo belge. Tel qu'il nous a été soumis, sa composition était la suivante :

Classe granulométrique (mesh Tyler)	Poids en %	Teneur en columbo-tantalites %
Refus 14 mesh	3,7	79,5
14 — 20	5,2	43,8
20 — 28	16,1	33,4
28 — 35	32,8	15,8
35 — 48	23,9	8,2
48 — 65	13,2	7,7
Passé 65	5,1	néant ou traces

Soit au total 18,5 %, en poids, de columbo-tantalites.

La séparation magnétique sur classes granulométriques distinctes, moyennant réglages conformes aux principes énoncés plus haut, a donné les produits repris au tableau IV.

récupérer sous forme de concentrés riches, sans repassage au séparateur, 76,8 % des columbo-tantalites présentes dans le brut, et sous forme de mixtes 19,4 % de celles-ci.

En pratique, il suffirait de traiter séparément 3 classes granulométriques : Refus 20 mesh, 20-35, et passé 35 mesh. On obtiendrait ainsi :

Classe « refus 20 » : Un concentré à 81 %, en groupant les produits des pôles 2 et 3 ; Un mixte à 11,5 % au pôle 1.

Classe 20 - 35 : Un concentré à 83 % au pôle 3 ; Un produit à 7 % environ au pôle 2 ; Des rejets au pôle 1.

TABLEAU IV.

Classe Tyler	Poids recueillis pour 100 g de brut				Teneurs en col.tan.			Rendements en % de la col.tan. totale		
	Pôle 1	Pôle 2	Pôle 3	Rejets	Pôle 1	Pôle 2	Pôle 3	Pôle 1	Pôle 2	Pôle 3
Refus 14	0,631	1,881	0,925	0,263	50 %	90 %	60 %	1,72 %	9,30 %	3,20 %
14 - 20	2,142	0,748	2,007	0,303	traces	90 %	80 %	—	3,68 %	8,81 %
20 - 28	7,583	2,109	6,048	0,360	traces	5 %	85 %	—	0,56 %	28,05 %
28 - 35	22,829	3,378	6,166	0,427	traces	7,5 %	80 %	—	1,38 %	27,05 %
35 - 48	16,754	2,939	3,872	0,335	traces	1,5 %	50 %	—	0,25 %	10,50 %
48 - 65	8,844	2,257	1,835	0,264	2,5 %	2,5 %	40 %	1,20 %	0,30 %	4,00 %
Passé 65	3,050	1,107	0,678	0,260	traces	traces	traces	—	—	—

Les teneurs en columbo-tantalites des rejets sont négligeables (toujours moins de 1 %). Les chiffres en « grasses », dans les deux colonnes de droite, indiquent les fractions en pourcent de la columbo-tantalite totale, recueillies dans les concentrés à teneur supérieure ou égale à 80 %.

Il apparaît clairement que la sortie des concentrés se déplace du pôle 1 vers le pôle 3 au fur et à mesure de la diminution du calibre des grains.

Il est possible d'extraire des concentrés à plus de 80 % de columbo-tantalites, représentant 16,86 % du poids du brut, et des mixtes à 50 % environ représentant 7,26 % de ce poids. On peut ainsi

Classe « passé 35 » : Un mixte à 40 % environ au pôle 3 et des rejets aux deux autres pôles.

Remarquons que, sans classement granulométrique préalable, on obtient en un seul passage un concentré titrant moins de 70 % au pôle 3, et des mixtes pauvres à retraiter aux autres pôles, résultats beaucoup moins avantageux.

8. Conclusions.

En faisant état de quelques résultats d'essais, nous n'avons eu d'autre prétention que de montrer quantitativement le bénéfice d'un réglage, d'une

adaptation et d'une utilisation raisonnés du séparateur magnétique, en fonction du minéral à traiter.

La mesure des champs magnétiques, le réglage précis des entrefers, le contrôle rigoureux des vitesses de bandes et le classement granulométrique préalable du brut permettent de conférer à la séparation magnétique une sélectivité et un rendement économique très nettement supérieurs aux meilleurs

résultats des réglages « à l'estime » encore trop souvent pratiqués.

* * *

Nous tenons à exprimer nos remerciements à MM. Vandenerweghe, des services techniques de la société Cobelmin, et Gevenois, Ingénieur AIMs, qui nous ont apporté un précieux concours pour la réalisation des mesures et essais.