

PUBLICATIONS DE
L'INSTITUT DE RECHERCHES DE LA SIDÉRURGIE
(IRSID)

185, Rue Président-Roosevelt, SAINT-GERMAIN-EN-LAYE (S.-&-O.)

L. COCHE

**ESSAIS INDUSTRIELS D'ENRICHISSEMENT
PAR SÉPARATION MAGNÉTIQUE
A HAUTE INTENSITÉ
D'UN MINÉRAI LORRAIN A KAHLENBERG
(ALLEMAGNE)**

Extrait du " Bulletin Technique des Mines de Fer "
n° 31, du 2^e Trimestre 1953



SÉRIE A — N° **58** — JUILLET 1953

Essais industriels d'enrichissement par séparation magnétique à haute intensité d'un minerai lorrain à Kahlenberg (Allemagne)

INTRODUCTION

Les études effectuées jusqu'ici par les soins de l'IRSID ont montré que l'enrichissement des minerais lorrains à la dimension de l'oolithe semble donner, dans les cas les plus favorables, des résultats suffisants pour assurer la rentabilité de l'opération.

Parmi les procédés applicables, la séparation magnétique à haute intensité (sans grillage préalable) paraît donner les meilleurs résultats, compte tenu du prix de revient. Si, en effet, la séparation magnétique après grillage magnétisant donne des résultats techniques meilleurs, l'écart ne justifie probablement pas la différence entre les prix de revient. Des procédés gravimétriques au contraire, moins coûteux, donnent des séparations trop médiocres pour que l'économie se justifie.

La société allemande Studiengesellschaft für Doggererze Amberg étudie la séparation magnétique à haute intensité depuis plus de vingt ans ; elle a mis au point des appareils que nous considérons, jusqu'à plus ample informé, comme les meilleurs. Plusieurs installations industrielles fonctionnent depuis longtemps, dans les mines allemandes, avec des résultats techniques excellents. Cette société a bien voulu faire pour nous quelques essais dans sa station d'Amberg : le minerai de Mont-Saint-Martin a été choisi pour ces études, comme l'un des plus aptes à l'enrichissement parmi les minerais de Lorraine. Effectués sur un appareil industriel mais sur une petite quantité de produit, ces essais d'Amberg ont donné d'excellents résultats.

La transposition à l'échelle industrielle laisse subsister une incertitude. Aussi a-t-il paru intéressant de confirmer, par un essai industriel, les résultats obtenus, et la Société Barbara Erzbergbau A. G.* a bien voulu mettre à la disposition de la Studiengesellschaft für Doggererze Amberg

et des sociétés françaises intéressées, l'atelier de concentration de la Mine de Kahlenberg (Bade), pendant un arrêt du dimanche. Cela a permis de traiter, en huit heures, 80 t. de fines de Mont-Saint-Martin.

Dans la première partie du présent compte rendu, nous décrivons les installations de Kahlenberg. La seconde partie constitue le compte rendu des essais proprement dits.

I. — LA MINE ET L'ATELIER DE PREPARATION DES MINERAIS DE KAHLENBERG

Le gisement.

La couche exploitée à Kahlenberg correspond à l'ensemble de la formation aalénienne ; la mine de Kahlenberg est la seule actuellement en activité, les deux autres exploitations, ouvertes en période de pénurie dans la même couche et dans la même région, étant maintenant arrêtées.

Puissante de 10 m environ avec un pendage sud de 6° en moyenne (maximum 12°), cette couche est exploitée en deux quartiers. Le minerai vient pour moitié de travaux souterrains (quartiers nord et sud), où l'on utilise des chargeuses Salzgitter, avec une perte à l'exploitation de 35 % malgré un toit considéré comme mauvais ; l'autre moitié est prise à ciel ouvert dans le quartier nord, avec des recouvrements allant jusqu'à 1,5 pour 1.

L'ensemble produit environ 2.200 t. de minerai tout venant par journée de travail, avec 500 ouvriers au total.

Concassage et criblage primaire.

Amené par téléphérique du quartier nord ou par voie étroite au quartier sud (distance 1 km envi-

*Naguère Rohstoffbetriebe der Vereinigten Stahlwerke

ron), le minerai tout venant* passe d'abord dans une installation de concassage primaire, où deux concasseurs à mâchoires en parallèle, avec crible de décharge, le réduisent à 100 mm. Un convoyeur incliné l'emmène ensuite à l'installation de criblage, située au-dessus des trémies d'expédition, en bordure de la voie ferrée Bâle-Fribourg-Cologne. On crible là à 10 et à 25 mm. Les fractions 10/25 et 25/100 mm sont expédiées, le 0/10 étant soumis à un traitement ultérieur.

Nous n'avons pas vu le criblage ; de même que le concassage primaire, il ne présente pas de caractères particulièrement intéressants.

Caractères du minerai expliquant le schéma de traitement.

De même que beaucoup de minerais lorrains, le minerai de Kahlenberg donne, à tous les stades du concassage, des éléments grossiers, durs, calcaires et appauvris en fer, et des fractions plus fines, enrichies en silice et en fer.

En Allemagne, où les minerais sont, dans l'ensemble, extrêmement siliceux, on attache à la chaux une valeur presque aussi grande qu'au fer : il n'est pas intéressant d'augmenter la teneur en fer en éliminant de la chaux ; par contre, l'enrichissement par élimination de la silice apporte un avantage considérable. Les transports sont chers, et cela conduit à augmenter les économies que procure l'enrichissement.

L'effet sélectif du broyage apparaît clairement dans les teneurs des fractions obtenues au criblage, qui figurent au tableau I*. Il apparaît aussi dans les opérations ultérieures, nous le verrons plus loin.

TABLEAU I

RÉSULTATS DU CRIBLAGE PRIMAIRE DU MINERAI DE KAHLENBERG

DIMENSION (m/m)	POIDS %	TENEURS % EN		
		Fer	Chaux	Silice
0/10	17	22,6	20,1	17,4
10/25	10	20,3	24,8	14,9
25/100	73	18,5	29,8	12,3
Ensemble	100	19,4	27,6	13,4

La silice est, en majeure partie, sous forme de quartz, en grains assez gros pour être libérés par un broyage à la dimension des oolithes (0,5 mm environ). Le fer est en partie dans les oolithes, et en partie sous forme d'imprégnation dans le ciment calcaire. Les principes directeurs, pour un enrichissement, apparaissent donc clairement :
— concasser et broyer, en plusieurs stades, les

fractions dures, appauvries en silice, étant chaque fois considérées comme minerai marchand :

— arriver ainsi à la dimension de l'oolithe, le minerai fin et siliceux étant alors enrichi par élimination de silice.

Traitement des fines 0/10 mm.

Les fines 0/10 mm sont séchées, broyées à 8 mm, criblées à 3 mm. Le 0/3 subit ensuite un broyage ménagé en plusieurs stades (avec criblages intermédiaires) qui amène la majorité du produit à moins de 0,6 mm. Les fractions dures et calcaires, 25/100, 10/25, 3/8 et 0,6/3 mm, sont expédiées. Les fines 0/0,6 mm passent sur des séparateurs magnétiques à haute intensité, qui donnent un concentré (mêlé au 0,6/3 mm et expédié) et un stérile. L'atelier peut traiter 12 à 15 t. de fines 0/10 mm humides par heure.

Les figures 1 et 2 donnent un schéma du traitement ; les trémies de stockage et les moyens de manutention n'y sont pas représentés.

Il peut être utile de savoir qu'on nomme « Stückerz » les gros 25/100 mm, « Grobsplitt » le 10/25, « Feinerz » le 0/10, « Feinsplitt » le refus du criblage à 3 mm (3/8 mm environ), et « Restüberkorn » le refus 0,6/3 mm du dernier crible.

Remarques sur les appareils utilisés.

Le four sécheur est d'un modèle classique, son rendement (1.200 thermies par tonne d'eau enlevée) n'est pas excellent, puisque les meilleurs appareils modernes descendent aux environs de 1.000 th/t.

L'installation de broyage et de criblage (après séchage) est relativement compliquée. Cela tient surtout à la nature du minerai : on veut obtenir un broyage sélectif, il faut donc broyer en plusieurs stades et éviter tout broyage en circuit fermé. De plus, certains des appareils de broyage sont d'un modèle déjà ancien : les techniciens compétents considèrent que les ensembles de broyeurs à cylindres et de désintégrateurs devraient être remplacés par des broyeurs à impact (Prallmühle).

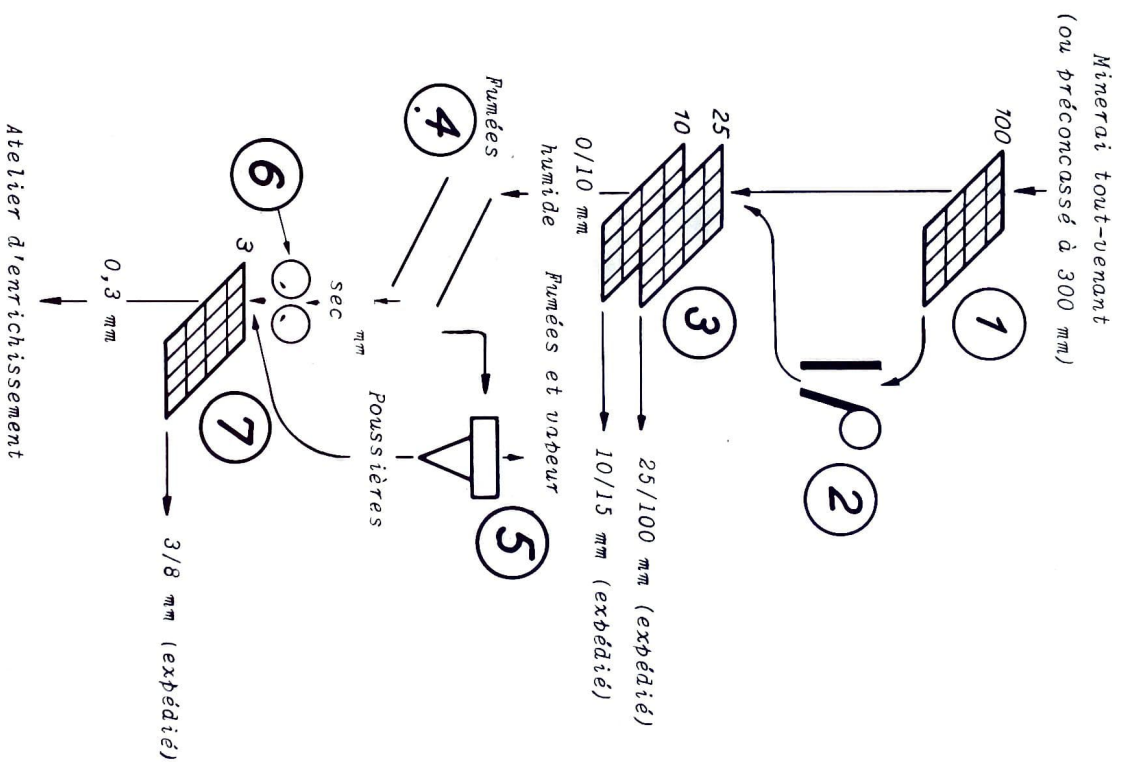
Les cribles à vibration rapide paraissent excellents ; le crible n° 14 du schéma reçoit tout le débit de l'installation, soit 12 t/h de produit dont

*Avant transport, les minerais subissent en réalité un criblage sur grille de 300 mm à barreaux fixes, les morceaux restant sur la grille étant cassés à la masse.

*Ces renseignements, ainsi que plusieurs autres que nous donnons ci-après, ont été publiés dans un article décrivant la préparation des minerais à Kahlenberg : « Die Aufbereitung der Feinerze aus dem Doggererz vorkommen Kahlenberg », par Georg SENGFELDER, Erzmetall 1951, p. 374 à 377.

MINE DE KAHLENBERG

SCHEMA DES ATELIERS DE CONCASSAGE, CRIBLAGE ET SECHAGE

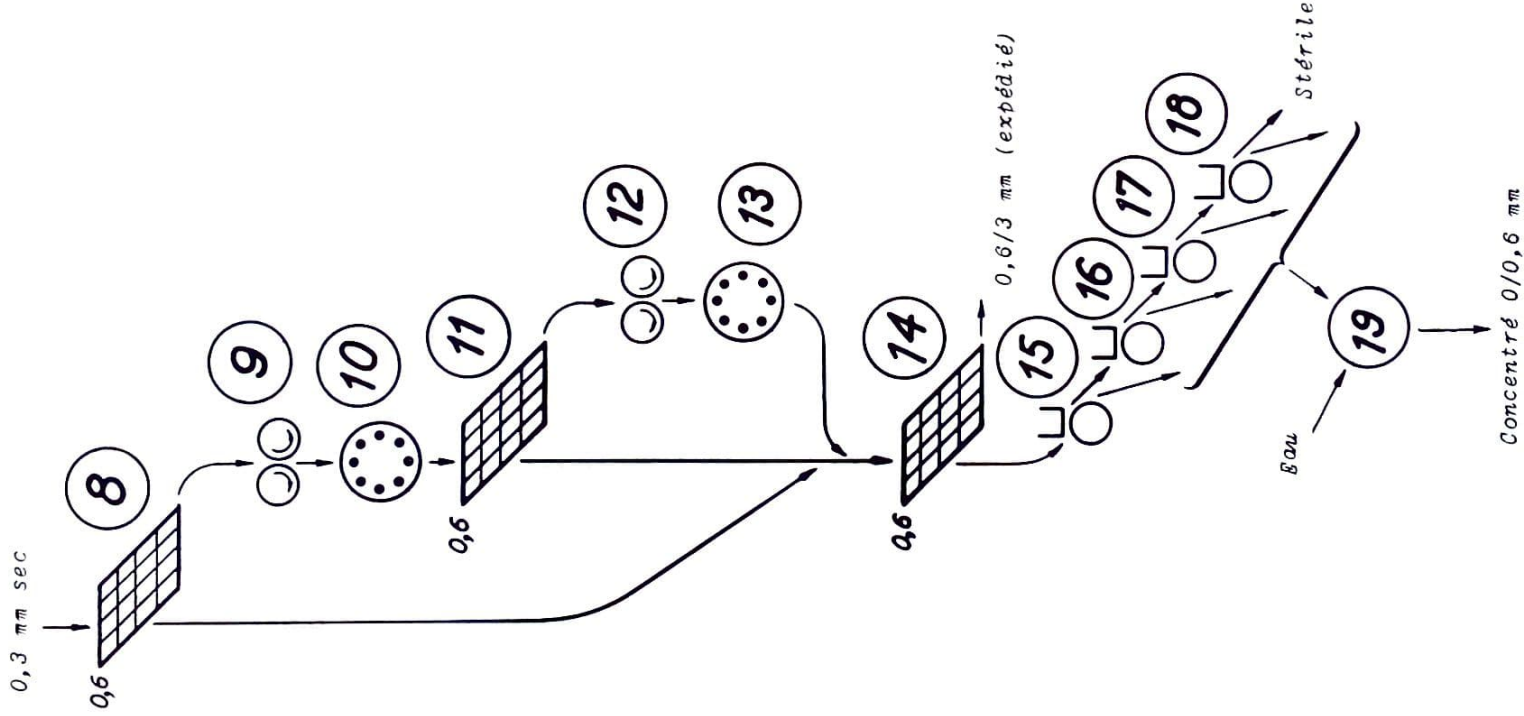


1. Deux cribles vibrants à maille de 100 mm en parallèle.
2. Deux concasseurs à mâchoires en parallèle.
4. Four sécheur comprenant un foyer où l'on brûle des briquettes de lignite et un corps cylindrique de 1,5 m de diamètre et 7,5 m de long, qui tourne à 3 tours/min (moteur de 10 ou 12 kW). Un système de tôles, à l'intérieur du corps cylindrique, assure le brassage du minerai avec les fumées qui circulent dans le même sens que lui. Les fumées sortent à 110°C, et passent ensuite en 5. Le four ramène 12 à 15 t/h de minerai de Kahlenberg de 9,5 à 1 % d'humidité, et consomme alors 25 kg de briquettes à 4200 kcal/kg (6 % de cendres) par t de minerai sec, soit environ 1200 th par t d'eau enlevée.
5. Deux cyclones en parallèles; les fumées y sont à 80 ou 85°C, au-dessus de leur point de rosée (70°C). Les poussières recueillies représentent 1,5 à 2,0 % du poids total de minerai séché.
6. Broyeur à cylindres de modèle ancien, diamètre des cylindres 800 mm, longueur 500 mm, réglé à un écartement de 3 mm (dimension maximum des grains broyés voisine de 8 mm), moteur unique de 16 kW).

Fig. 1

MINE DE KAHLENBERG

SCHEMA DE L'ATELIER D'ENRICHISSEMENT



8. 11 et 14.

Cribles à vibration rapide (1450 tours/min) et faible amplitude, année de fabrication 1937, surface 2 x 1 m, toile à mailles carrées de 0,6 mm en acier ordinaire, remplacées tous les ans. Chaque crible est commandé par un moteur de 3,5 kW (puissance consommée 1,8 kW).

9 et 12.

Broyeurs à cylindres de 1000 mm de diamètre et 500 mm de longueur.

10 et 13.

Désintégrateurs genre Carr (2 cages d'éclureuil, diamètre de l'ordre de 600 à 800 mm, tournant en sens inverse à 400 tours/min). Un moteur unique pour chaque groupe (9 et 10, ou 12 et 13) actionne, par transmission à courroies, les cylindres du broyeur, les cages du désintégrateur, et un petit redler, il consomme 12 kW (puissance installée 26 kW).

Les désintégrateurs servent à briser les "galettes" qui peuvent se former dans le broyeur à cylindres.

15.

3 séparateurs magnétiques primaires (à 2 rotors).

16.

4 séparateurs magnétiques secondaires.

17.

3 séparateurs magnétiques tertiaires.

18.

3 séparateurs magnétiques quaternaires.

Les séparateurs magnétiques sont équipés d'un captage de poussières. Recueillies dans un filtre à manches, les poussières (très peu abondantes - moins de 0,5 %) peuvent être jointes au concentré ou au stérile, à volonté.

19.

Après être passé dans une trémie de stockage, le concentré est mouillé (et ramené à 10 % d'humidité, pour son transport en Ruhr) dans des appareils d'arrosage par projection centrifuge.

Fig. 2

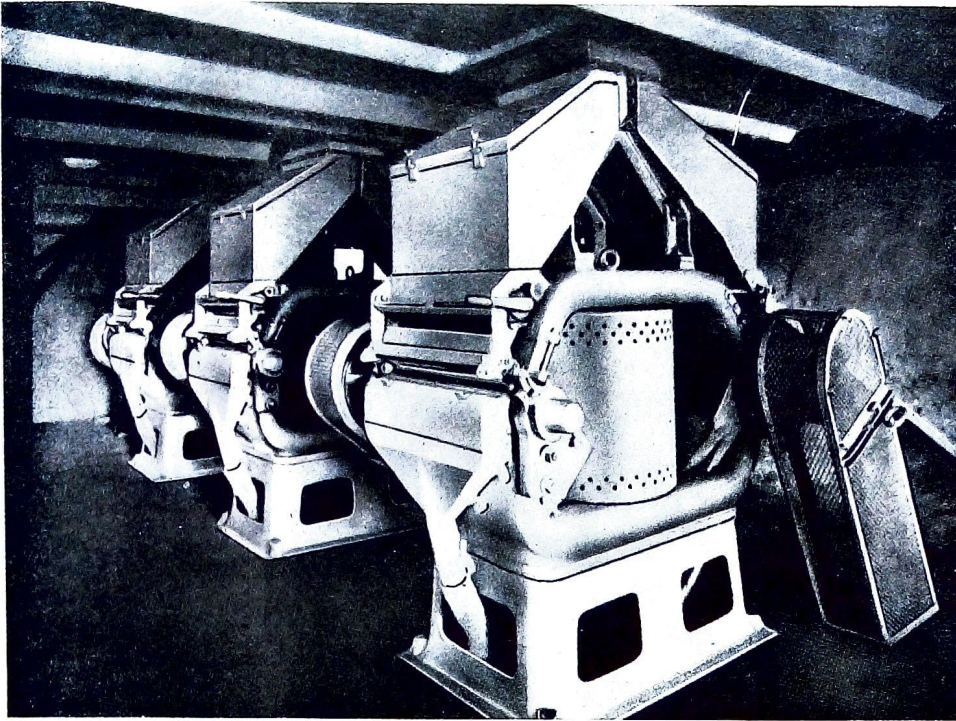


Fig. 3. — Séparateurs magnétiques

94 % passe à travers la toile, sur une surface de 2 m².

Les séparateurs magnétiques ne sont pas de construction très récente (1937), mais ils sont du modèle classique en Allemagne. Une bobine (à axe vertical) excite un circuit magnétique qui se ferme symétriquement des deux côtés sur deux rotors induits dentés. Le produit à trier circule dans l'entrefer supérieur, de l'extérieur vers la bobine. Un volet réglable sépare le concentré du stérile (voir figures 3 et 4).

La distribution se fait par un système comprenant une trémie à huit ouvertures réglables, une plaque à renflements coniques, une plasse lisse, et un vibreur électromagnétique qui assure une

distribution uniforme sur toute la longueur utile du rotor (750 mm).

Un moteur unique entraîne à la fois les deux rotors d'une même machine, par engrenage et courroies Texrope. La vitesse de rotation est un des éléments du réglage ; pour le minerai de Kahlenberg, elle est de 435, 435, 435 et 385 tours/mn pour les quatre stades du traitement.

En augmentant la vitesse de rotation, on effectue une séparation plus sévère (le coefficient d'aimantation de coupure augmente). Le débit que peut supporter l'appareil, tout en faisant une bonne séparation, augmente aussi. Cela explique le choix d'une vitesse moindre pour le dernier traitement.

Disposition des appareils et manutentions.

Le minerai arrive à un premier bâtiment (voir figure 5) où se trouvent les trémies et les concasseurs primaires avec leurs cribles de décharge ; les bennes du téléphérique sont déversées dans les trémies ; le minerai, amené par voie ferrée, est monté par skip.

Une bande transporteuse inclinée emmène le minerai, concassé à 100 mm, au sommet d'un second bâtiment où se trouvent le criblage primaire, les trémies d'expédition du 10/25 et du 25/100, une trémie à fines 0/10 humides, le four sécheur et le broyeur à cylindres qui le suit, le crible à 3 mm et les trémies à produit sec 3/8 mm (expédié) et 0/3 mm. Les produits séchés et broyés sont amenés au niveau du crible par deux

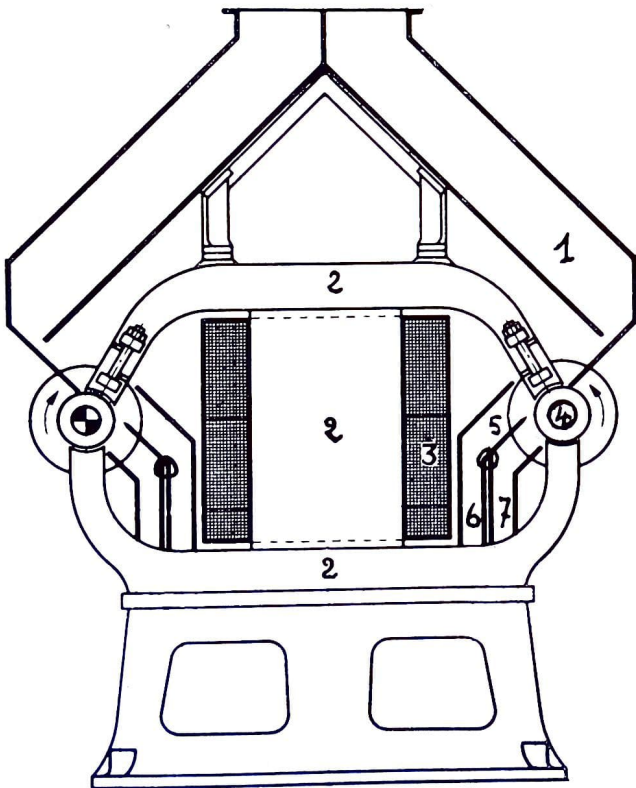
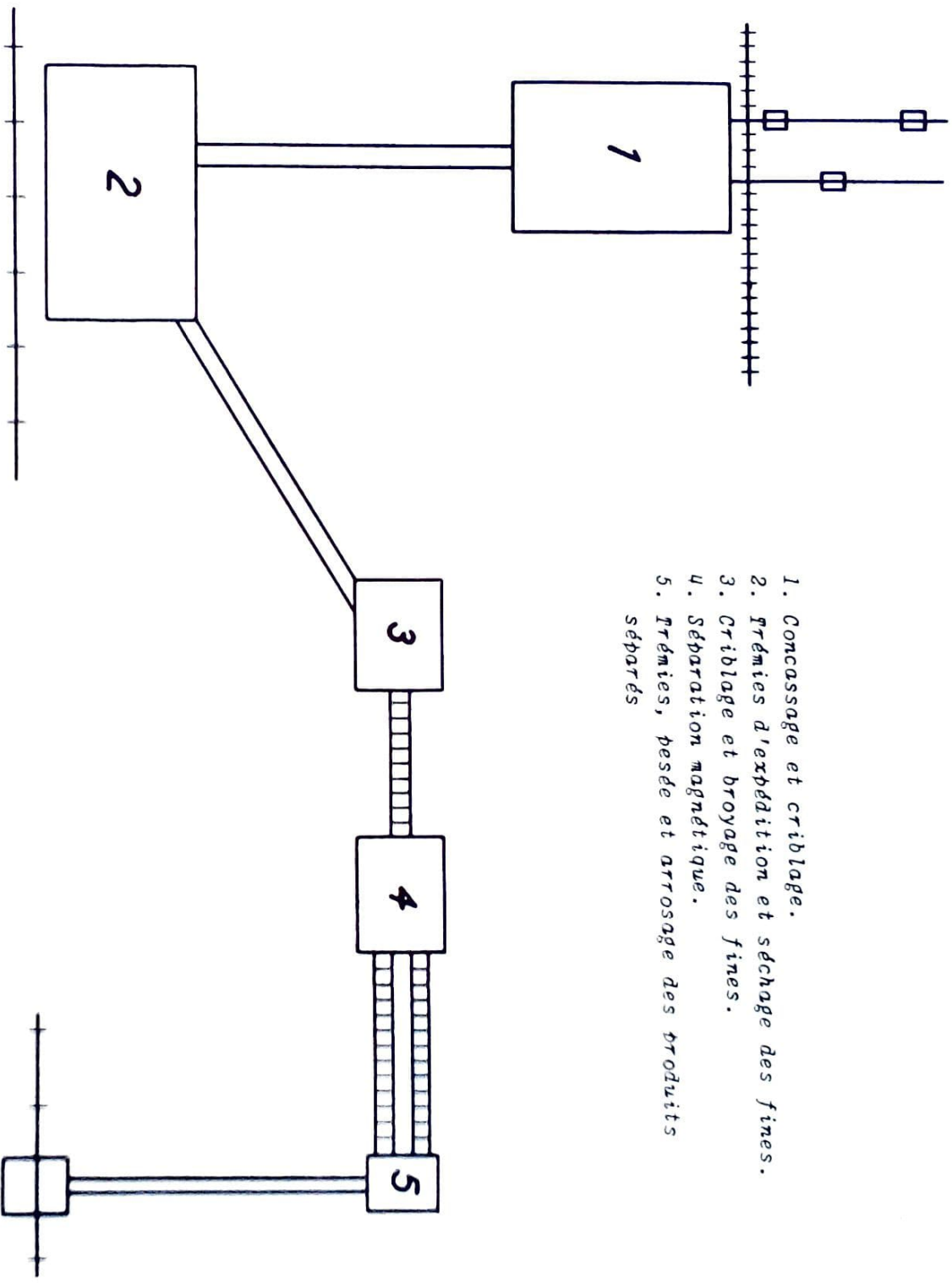


Fig. 4. — Coupe schématique d'un séparateur magnétique

1. Trémie d'alimentation ; 2. Circuit magnétique ; 3. Bobine d'excitation ; 4. Rotor induit ; 5. Volet réglable ; 6. Goulotte de sortie du stérile ; 7. Goulotte de sortie du concentré.

Ces figures ont été faites d'après le catalogue de Wedag, Bochum, qui construit ces appareils.



1. Concassage et criblage.
2. Prémies d'expédition et séchage des fines.
3. Criblage et broyage des fines.
4. Séparation magnétique.
5. Prémies, pesée et arrosage des produits séparés



Echelle approximative 100m

Voie ferrée Cologne - Bâle

Fig. 5. - Disposition des appareils à Kuhlberg.

chaînes à raclettes horizontales et un élévateur à godets.

Les fines 0/3 mm séchées sont envoyées par deux bandes à un troisième bâtiment, qui abrite les deux premiers cribles à 0,6 mm, les broyeurs à cylindres et les désintégrateurs qui les suivent. Les refus du premier crible, broyés et désintégrés, sont repris par chaîne à raclettes inclinée. Quatre chaînes à raclettes horizontales en sous-sol ramènent tous les produits à une chaîne à raclette inclinée, qui les emmène au bâtiment suivant*.

Au sommet de ce quatrième bâtiment, se trouve le dernier crible, qui sépare le refus 0,6/3 mm. Les produits descendent par gravité, traversent les deux premiers étages de séparation magnétique. Les stériles sont alors relevés par chaîne à godets, et traversent les deux derniers étages de séparateurs. Trois chaînes à raclettes horizontales font circuler les divers produits au sous-sol. Chaque étage de séparateurs est en outre alimenté par une vis d'Archimède. Dans le même bâtiment, il y a aussi les conduites, le ventilateur et le filtre du système de captage des poussières. Le concentré et le stérile sont ensuite emmenés (par deux chaînes à raclettes inclinées) à un cinquième bâtiment, qui abrite une trémie pour chacun d'eux et les dispositifs de réhumidification du concentré. Une bande transporteuse unique assure le chargement en wagons du concentré et du stérile alternativement.

Trois bascules automatiques assurent la pesée du refus 0/3 mm, du concentré total et du stérile.

Toutes ces manutentions sont assez compli-

quées ; on pourrait imaginer une installation plus rassemblée où elles seraient moins nombreuses et où la surveillance serait simplifiée. Mais rappe- lons qu'il s'agit d'un atelier-pilote et que la dispo- sition adoptée à Kahlenberg permet d'accéder facilement à n'importe quelle machine.

Les exploitants sont très satisfaits du transport, par chaîne à raclettes, d'un minerai oolithique sec. L'usure n'est pas rapide ; les chaînes utilisées à Kahlenberg, qui ne sont pas considérées comme les meilleures sur le marché, durent en moyenne environ deux ans. Les chaînes à raclettes présen- tent l'avantage de faire circuler le minerai dans une gaine entièrement fermée et, par conséquent, de ne pas dégager de poussières.

Pour les transports verticaux, on préfère la chaîne à godets.

Dans l'ensemble, l'installation est propre. La protection des bandes transporteuses, cribles, broyeurs par de simples tôles ou gaines fermées, sans aspiration de poussières, paraît très suffisante. Le captage des poussières aux appareils sépara- teurs magnétiques a été installé à la demande du Service des Mines, mais on ne le considère pas comme indispensable.

Résultats techniques.

On peut les résumer par le tableau ci-dessous :

*C'est à cause de cette répartition en bâtiments distincts que l'on ramène, sur le dernier crible à 0,6 mm, la teta- lité du premier. Dans une installation disposée autré- ment, on pourrait éviter de cribler à nouveau ce qui est déjà passé à travers les cribles précédents.

TABLEAU II
RÉSULTATS
DE L'ENRICHISSEMENT DES FINES 0/10 MM
DE KAHLBERG

FRACTION	POIDS %	TENEURS % EN			RÉPARTITION %		
		Fe	CaO	SiO ₂	Fe	CaO	SiO ₂
Ensemble des fines 0/10 mm.	100	22,5	20	18	100	100	100
Refus 3/8 mm	35	21	24,5	14,5	32,6	43	29,2
Refus 0,6/3 mm	4	16	32	10	2,8	6,5	2,3
Concentré 0/0,6 mm	26	37	9,5	10	42,8	12,5	14,7
Stérile 0/0,6 mm	35	14	21,7	27,3	21,8	38	53,8
Ensemble du concentré et des refus 0,6/3 mm	30	34,5	12,5	10	45,6	19	17
Ensemble des produits mar- chands	65	27	19	12,5	78,2	62	46,2

Pour ce faire, l'installation débite 12 à 15 t/h de fines humides ; on y consomme 25 kg. de briquettes de lignite, soit 0,105 th, et 8,5 à 8,8 kWh par t. de fines brutes humides.

Cette consommation d'énergie se décompose approximativement comme suit :

des cribles n.°s 8, 11 et 14 (*figure 2*) ont été remplacées par des toiles de 0,5 mm. L'expérience a montré que l'on a obtenu ainsi, en fait, un produit 0/0,4 mm (*figure 6*). Si l'essai devait être renouvelé, on laisserait donc les toiles de 0,6 mm, qui donneraient un calibrage réel à 0,5 mm environ.

TABLEAU III

CONSOMMATION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE
POUR L'ENRICHISSEMENT DES FINES
DE KAHLBERG

	PUISSANCE (kW)		Energie consommée kWh/t de fines humides
	installée	consommée	
Entraînement du four sécheur	12	9	0,6
Ventilateur du four sécheur	7,5	4,5	0,3
Broyeur à cylindres (n° 6)	16	10,5	0,7
Cribles à 0,6 mm (n°s 8, 11, 14)	10,5	6	0,4
Ensembles de broyage (9 et 10. 12 et 13) ..	32	18	1,2
Séparateurs magnétiques (15 à 18) Excitation	38	35	2,3
Entraînement des rotors	33	32	2,1
Appareils de manutention et divers	30	16,5	1,1
	179	131,5	8,7

La disposition des appareils exige cinq hommes en permanence : deux au séchage, un au broyage, un à la séparation magnétique, un au chargement en wagons.

En ce qui concerne l'entretien, on nous a indiqué que cela représentait deux à trois hommes-postes par jour, soit environ 0,06 à 0,10 heure d'ouvrier par tonne brute humide.

II. — ESSAIS D'ENRICHISSEMENT DES FINES DE MONT-SAINT-MARTIN

Un lot de 87 t. de fines 0/7 mm de Mont-Saint-Martin a été séché dans la nuit du 14 au 15 mars et traité, le dimanche 15 mars, dans l'installation de Kahlenberg.

Les résultats détaillés de cet essai figurent sur un document réonotypé que le Service Minerais de l'IRSID peut adresser aux personnes que cela intéresse particulièrement ; il suffira d'en donner ici les résultats et les conclusions essentielles.

Organisation de l'essai.

L'effet de broyage sélectif n'étant pas désiré, le crible à 3 mm (n° 7 de la *figure 1*) a été enlevé, la totalité du produit séché étant envoyée à l'atelier d'enrichissement (*figure 2*).

Comme la libération des oolithes paraissait exiger un criblage 0/0,5 mm, les toiles de 0,6 mm

Le temps disponible pour le réglage des appareils n'a pas permis d'attendre des résultats d'analyses. Les techniciens de la Studiengesellschaft für Doggererze Amberg ont seulement pu passer quelques tonnes de minerai, entre 7 h. 30 et 9 heures, et regarder à la loupe binoculaire les concentrés et les stériles obtenus. L'essai proprement dit a duré de 9 heures à 16 h. 30, avec une interruption de 30 mn pour le déjeuner — soit une durée de sept heures. Il a porté sur 66 t. de minerai sec.

Pendant toute cette période, des échantillons ont été prélevés (environ 5 kg. chaque demi-heure) en dix-huit points du circuit. A la fin de l'essai, les tas de 50 à 100 kg. ainsi formés ont été soigneusement divisés pour donner deux échantillons de 2 kg. environ ; l'un a été conservé par la Studiengesellschaft für Doggererze Amberg, l'autre ramené en France.

Aucun dispositif spécial n'existant à Kahlenberg pour prélever un échantillon représentant exactement la totalité du produit, les prises furent faites par balayage à la main sur les bandes transportées en marche ou par divers autres procédés. Il est possible que les minerais ainsi recueillis soient, par suite d'effets de ségrégation, légèrement différents des ensembles qu'ils doivent représenter.

La pesée du concentré, du stérile, et du refus ont été, par contre, très faciles, des bascules automatiques enregistrant étant montées sur ces trois circuits.

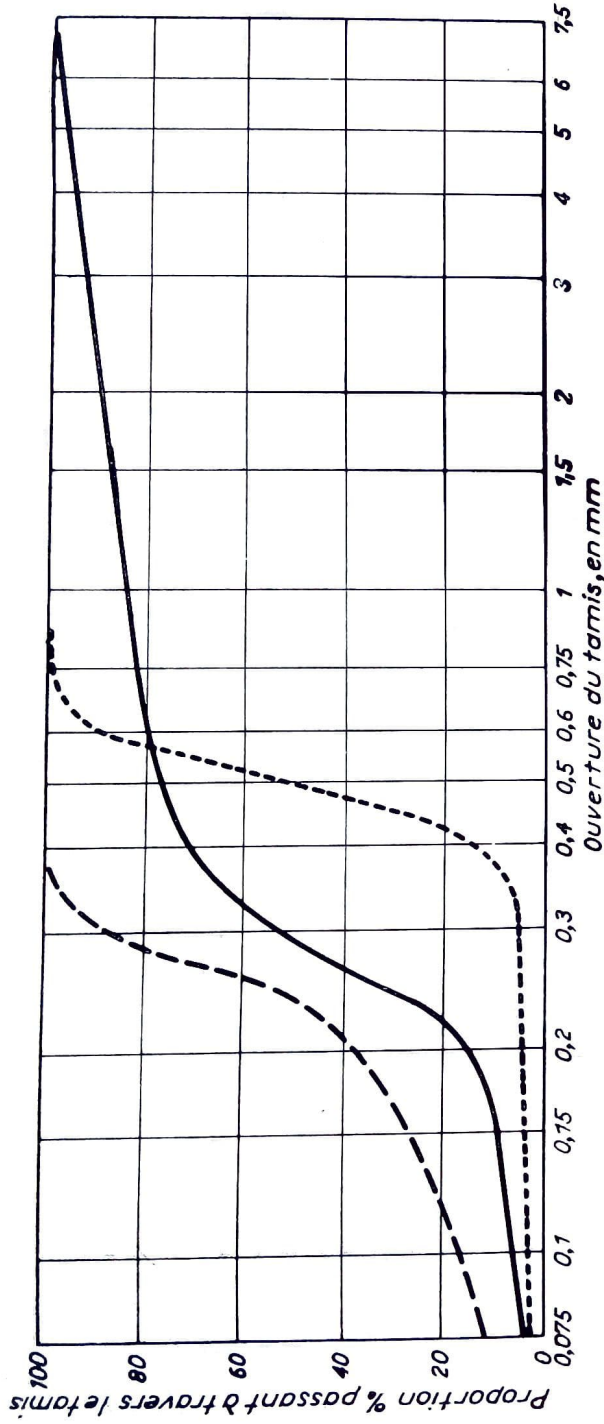


Fig. 6. - Analyse granulométrique des échantillons
 — Fines 0/7 mm brutes.
 - - - Alimentation de la séparation magnétique.
 - · - · - Refus du dernier crible (n° 14 de la figure 1).

Résultats de l'essai.

a) Séchage.

Aucune indication valable ne peut être tirée de ces essais en ce qui concerne le coût du séchage, pour plusieurs raisons. Tout d'abord, la consommation mesurée (168 thermies par tonnes de fines à 11,7 % d'humidité) comprend l'allumage et la mise en température du four, pour une marche de huit heures seulement, ce qui augmente beaucoup la consommation. De plus, par une sage mesure de précaution à l'égard d'un minerai qu'ils ne connaissent pas, les techniciens de Kahlenberg ont poussé le séchage au delà de la normale : les fines de Mont-Saint-Martin ont été ramenées au-dessous de 0,5 % d'humidité, alors que le minerai de Kahlenberg n'est séché qu'à 1 %. Enfin, rappe-

lons que le four sécheur de Kahlenberg est nettement surclassé par des appareils plus modernes.

b) Manutentions et broyage.

Un examen détaillé des courbes d'analyse granulométrique des divers échantillons montre que les manutentions ont sensiblement accru la portion de particules très fines (moins de 0,1 mm), sur lesquelles la séparation est peu efficace.

Pour cette raison, et aussi à cause de l'adoption d'une dimension trop petite comme maille des tamis, le produit envoyé à la séparation magnétique contenait 17,5 % de particules trop fines 0/0,1 mm. Dans une installation plus simple et plus ramassée, avec criblage à la maille de 0,6 ou 0,7 mm, cette proportion serait très sensiblement diminuée.

TABEAU IV

BILAN D'ENSEMBLE DE L'OPÉRATION,
 COMPTE TENU DU REFUS DE CRIBLAGE

	POIDS %	TENEURS % EN			RÉPARTITION %		
		Fer	Chaux	Silice	Fer	Chaux	Silice
Minerai brut (sec)	100	38,8	4,1	21,8	100	100	100
Refus à 0,5 mm	6,1	30,2	9,6	25,4	4,8	11,9	7,1
Concentré 0/0,5 mm	71,8	45,1	3,7	11,4	85,2	53,9	37,2
Sterile 0/0,5 mm	22,1	17,1	7,6	55,5	10	34,2	55,7
Ensemble	100,0	38,0	4,9	22,0	100	100	100

La disposition des appareils ne permettant pas de broyer en circuit fermé, le refus du dernier crible (n° 14 de la figure 2) a été éliminé. Les analyses reproduites au tableau IV montrent que l'effet sélectif du broyage a joué dans le même sens que pour le minerai de Kahlenberg, les fractions dures étant appauvries en fer et enrichies en chaux.

Les bilans ne ferment pas parfaitement, comme on le voit en comparant les analyses du produit brut et de l'ensemble reconstitué. Cela provient à la fois du prélèvement des échantillons et des analyses. Les écarts ne sont d'ailleurs pas anormaux — compte tenu du mode de prélèvement des échantillons et des fortes différences de teneur, pour ce minerai, entre grains de diverses dimensions — et ils ne sont pas très gênants pour une étude de ce genre.

c) Séparation magnétique.

Si l'on devait monter en France un atelier traitant les fines de Mont-Saint-Martin, le refus de criblage serait rebroyé et soumis à la séparation. Il est donc intéressant de considérer le bilan de la séparation magnétique seule.

Bien que donnant un enrichissement déjà appréciable (on a éliminé 60 % de la silice et gagné six points sur la teneur en fer en ne perdant que 10,5 % du fer), ces résultats nous paraissent nettement inférieurs à ceux que l'on peut espérer obtenir dans une marche industrielle bien réglée. Les essais effectués à Amberg et à Saulnes, dont il sera rendu compte dans la III^e partie, permettent de préciser dans quelle proportion ces résultats pourraient être améliorés.

L'étude des échantillons ramenés de l'essai de Kahlenberg a mis en évidence l'intérêt qu'il y aurait à diminuer la proportion de particules surbroyées. A coefficient d'aimantation égal, les grains ont d'autant plus tendance à passer dans le concentré qu'ils sont plus fins : cet inconvénient, bien connu des séparateurs à rotor induit, est mis en évidence, dans le cas présent, par la figure 7, ainsi

que par une étude de laboratoire qui a été faite sur les fines particules contenues dans le concentré primaire. Il se manifeste aussi par la teneur trop basse du premier concentré*, qui, pour un minerai pratiquement sans chlorites, devrait être au moins aussi riche que le concentré secondaire.

III. — ESSAIS COMPLEMENTAIRES EFFECTUÉS A SAULNES POUR L'INTERPRETATION DES RESULTATS DE KAHLENBERG

Etude de la séparation magnétique proprement dite.

Les opérateurs ont dû régler les appareils en moins de une heure et demie, et sans autre contrôle que l'examen optique, et ils n'ont certainement pas tiré de l'installation le meilleur parti.

Pour préciser ce point, le produit prélevé à l'alimentation des séparateurs primaires, au cours des essais de Kahlenberg, a été traité à Saulnes :

a) sur un séparateur à rotor induit travaillant à petite échelle (100 kg/h), en quatre passages, avec des réglages imitant ceux de Kahlenberg (et qui, par conséquent, ne correspondent pas à un optimum atteint après tâtonnements multiples) ;

b) sur un séparateur de laboratoire* (environ 100 g/h) qui donne du premier coup des résultats voisins de l'optimum réalisable par séparation magnétique à haute intensité, avec les appareils à rotor par exemple ;

c) par gravité, dans des liquides de densité échelonnée entre 2,88 et 3,60.

Les résultats obtenus sont reportés sur la figure 8, ainsi que ceux de la séparation obtenue aux essais industriels de Kahlenberg, et ceux obtenus aux essais préliminaires de la station d'Amberg,

*Les quatre concentrés successifs contenaient respectivement 46,7 - 48,6 - 45,9 et 38,0 % de fer.

*Ci-après désigné « séparateur Allevard ».

TABLEAU V
BILAN DE LA SÉPARATION MAGNÉTIQUE SEULE

	POIDS %	TENEURS % EN			RÉPARTITION %		
		Fer	Chaux	Silice	Fer	Chaux	Silice
Alimentation	100	39,3	3,6	20,8	100	100	100
Concentré	76,5	45,1	3,7	11,4	89,6	61,7	40,2
Stérile	23,5	17,1	7,6	55,5	10,4	38,3	59,8
Ensemble	100	38,5	4,6	21,4	100	100	100

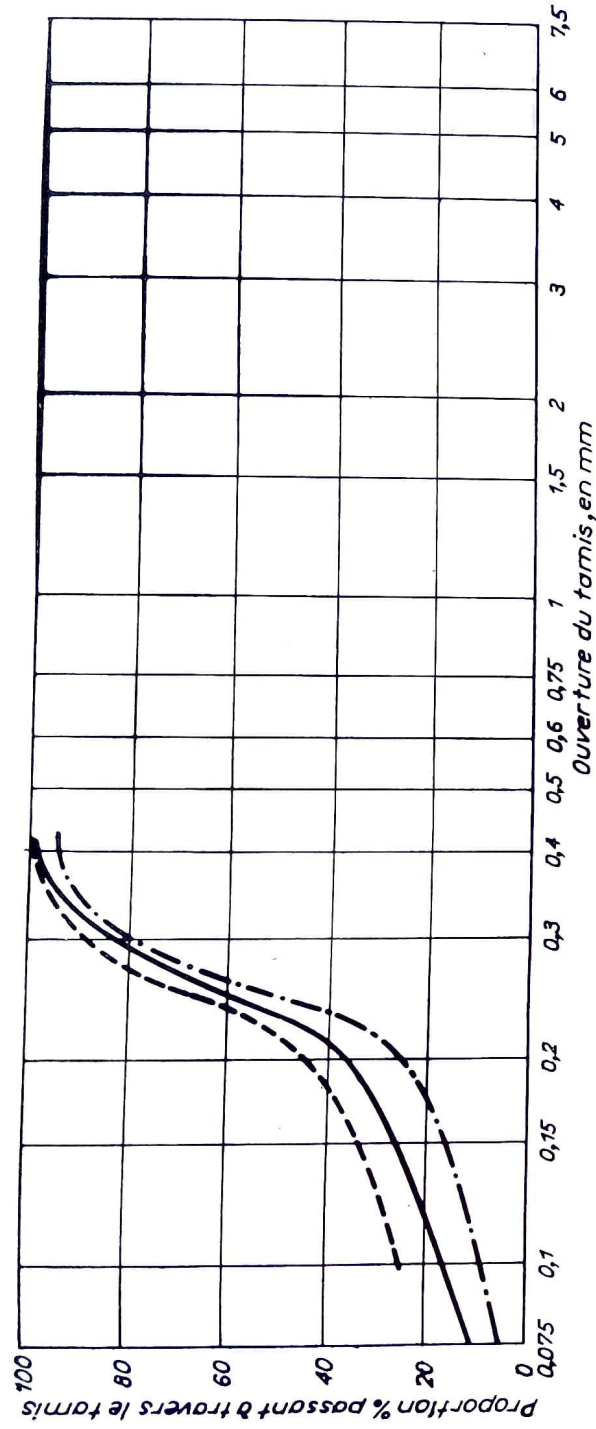


Fig. 7. - Analyse granulométrique, lère séparation magnétique.
 — Alimentation des séparateurs primaires (34 % en poids).
 - - - Concentré primaire (34 % en poids).
 - · - · Stérile primaire (66 % en poids).

sur un autre échantillon de fines de Mont-Saint-Martin.

On voit que le séparateur Allevard et les essais d'Amberg ont permis d'atteindre pratiquement la limite que la constitution minéralogique du minerai interdit de dépasser pour ce produit et ce mode de broyage, limite indiquée par l'essai aux liquides denses. En récupérant 90 % du fer contenu, on peut éliminer 72 à 75 % de la silice. Les essais effectués à Kahlenberg et au séparateur à rotor à Saulnes n'éliminaient, pour le même rendement en fer, que 60 et 65 % (respectivement) de la silice ; on doit pouvoir faire mieux en prenant le temps de bien régler les appareils.

Peut-on espérer atteindre les mêmes résultats, après mise au point complète, dans une marche industrielle qu'au séparateur Allevard ? La figure 9 permet de répondre par l'affirmative. Elle donne la comparaison entre trois résultats obtenus en traitant par séparation magnétique à haute intensité la matière alimentant les séparateurs magnétiques primaires dans la marche en minerai de Kahlenberg :

- a) essai fait à Saulnes, au séparateur « Allevard » ;
- b) essai fait à Saulnes, au petit séparateur à rotor induit ;
- c) résultats industriels de Kahlenberg.

On voit sur la figure que les résultats de la marche industrielle sont très voisins de ceux obtenus au laboratoire, l'écart ne dépassant pas celui que la dispersion des échantillonnages et des analyses

peut expliquer. La Studiengesellschaft für Doggererze Amberg a souvent constaté, de son côté, la parfaite concordance entre les résultats industriels et ceux des essais faits à petite échelle, à Amberg.

Comportement des grains durs.

Dans l'essai de Kahlenberg, les grains les plus durs (6,1 % en poids) n'ont pas été traités. Des essais ont été effectués à Saulnes, au séparateur Allevard, pour voir ce que donne ce produit à la séparation magnétique après broyage à la maille 0,6 mm.

On a obtenu, pour 90 % de rendement en fer, une élimination de 68 % de la silice.

Élimination de la chaux.

Les résultats sont moins précis, en ce qui concerne l'élimination de la chaux, parce que le minerai brut en contient peu (4 à 5 %), de sorte que l'imprécision des analyses entraîne une dispersion plus grande.

L'ensemble des essais montre que la chaux s'élimine un peu mieux que la silice quand on traite les grains durs, et un peu moins bien dans le traitement des grains fins. Dans l'ensemble, pour 90 % de rendement en fer, on peut sans doute en éliminer 65 %.

Influence du mode de broyage.

Le mode de broyage exerce une influence sensible sur les résultats. Il faut éviter le surbroyage, ce que l'emploi de broyeurs à impact (Prallmühle

ou engins similaires) permet mieux que les broyeurs à cylindres. Il faut aussi choisir judicieusement la maille des cribles, pour libérer les oolithes sans trop les briser.

Il n'a pas été possible de faire d'autres essais dans cette voie que celui effectué à Amberg (dont le résultat est indiqué sur la figure 8), de sorte que l'avantage à tirer d'un meilleur broyage ne peut être estimé de façon précise.

Résultats techniques prévisibles pour une marche industrielle.

L'ensemble des essais effectués conduit à estimer que, sur les fines de Mont-Saint-Martin, on doit éliminer industriellement (après des tâtonnements qui peuvent durer quelques mois) au moins

70 % de la silice et 60 % de la chaux. Le tableau VI donne le bilan d'ensemble correspondant.

Possibilité d'améliorer les résultats par un débourage préalable.

Quelques essais récemment effectués à la Station d'Essais de Saulnes ont montré qu'en débourbant le minerai avant séchage et séparation magnétique, et en joignant les boues au concentré, on améliorerait sensiblement les résultats. Plus précisément, on gagne quelques points sur le rendement en fer, pour une même teneur du concentré (compte tenu des boues qu'on y ajoute).

Il n'est pas encore possible de préciser si ces avantages suffisent à justifier l'emploi de ce procédé, un peu plus compliqué.

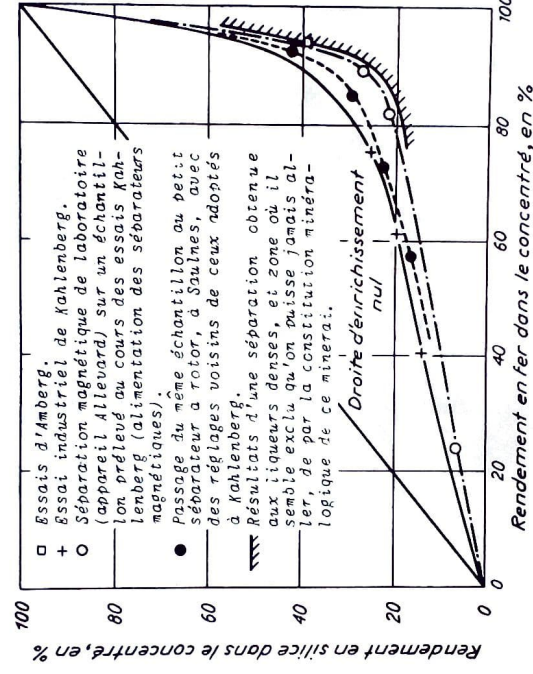


Fig. 8. - Comparaison de divers essais d'enrichissement des fines de Mont-Saint-Martin.

Il faut noter que les échantillons soumis à ces essais ne sont pas exactement les mêmes. Dans certains cas, une petite proportion du minerai a été éliminée, avant traitement, comme refus de criblage. Les teneurs au départ sont comprises entre 38,3 et 40,7 %.

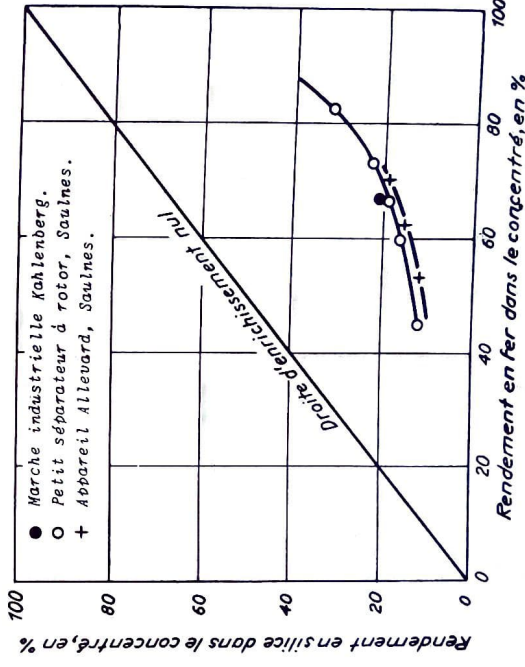


Fig. 9. - Comparaison de divers essais portant sur les fines 0/0,6 mm de la mine de Kahlenberg.

TABLEAU VI
RÉSULTATS PRÉVISIBLES
POUR UNE MARCHE INDUSTRIELLE

	POIDS %	TENEURS % EN			RÉPARTITION %		
		Fe	CaO	SiO ₂	Fe	CaO	SiO ₂
Fines de Mont-St-Martin brutes.	100	38	4,5	22	100	100	100
Concentré	72	47,5	2,5	9,2	90	40	30
Stérile	28	13,6	9,7	55	10	60	70

IV. — ENSEIGNEMENTS DE L'ESSAI RELATIFS AU PRIX DE REVIENT

Si l'essai de Kahlenberg n'a pas donné d'indication nette sur les possibilités techniques du procédé, il a eu l'avantage de montrer clairement que la séparation magnétique à haute intensité n'exigeait pas un appareillage compliqué et qu'elle s'appliquait sans difficulté aux minerais de Lorraine.

Pendant les neuf heures de durée de l'essai, aucun incident ne s'est produit. L'installation a été alimentée à 9 t/h (poids sec) seulement, au lieu de 12 t/h pour le minerai de Kahlenberg, à cause des moyens de manutention du concentré : les fines de Mont-Saint-Martin donnaient, en effet, 72 % de concentré, soit 6,5 t/h pour 9 t/h. de brut, tandis que le minerai de Kahlenberg en donne 26 %, soit 3 t/h pour 12 t/h. Corrélativement, moins des trois quarts des séparateurs magnétiques étaient utilisés.

Calories pour le séchage.

Pour enlever 10 % d'humidité, il faut 60 th par t*, si le rendement du four atteint 100 %. Les constructeurs de fours sécheurs modernes garantissent des rendements thermiques de 70 à 75 %. L'estimation à 100 th/t (soit un rendement de 60 %) est donc plutôt pessimiste ou prudente.

Energie électrique.

On consomme, à Kahlenberg, 8,7 kWh/t. Dans une installation moderne adaptée au cas des minerais français, les trois broyeurs à cylindres et les trois cribles seraient vraisemblablement remplacés par un broyeur à impact, un crible, et un broyeur auxiliaire traitant un débit de l'ordre de 10 % du débit total. L'énergie de broyage et de criblage serait donc plus faible qu'à Kahlenberg, et l'éner-

gie dépensée par les manutentions serait plus faible également. Là encore, l'estimation à 8 kWh/t est prudente.

Main-d'œuvre d'exploitation.

Au lieu des cinq hommes qui, à Kahlenberg, surveillent l'installation, trois hommes suffiraient dans un atelier où le broyage et le criblage seraient simplifiés, et dont la construction serait plus ramassée :

- Un homme au four sécheur ;
- Un homme pour le broyage et la séparation magnétique ;
- Un chef d'équipe.

Cet effectif est pratiquement indépendant du débit de l'installation tant qu'on ne dépasse pas 30 à 50 t/h, débit pour lequel il faudrait prévoir un homme de plus.

Entretien.

A Kahlenberg, l'entretien occupe deux hommes et demi à un poste pour une installation qui traite 12 t/h et pour la marche actuelle à deux postes, soit 0,1 heure d'ouvrier d'entretien par tonne.

L'installation traitant un minerai français serait plus simple ; par mesure de précaution, la main-d'œuvre prévue pour l'entretien a cependant été majorée de 50 %, et les frais d'entretien ont été comptés à 400 fr. par heure d'ouvrier, pour tenir compte des fournitures, de l'énergie et des frais généraux de l'atelier.

*Sauf indication contraire, tous les chiffres sont donnés par tonne de fines humides brutes soumises au traitement.
Les estimations rassemblées au tableau VIII concernent le cas d'une installation traitant 20 t/h.

TABLEAU VII

ESTIMATION DU PRIX DE REVIENT DE LA SÉPARATION MAGNÉTIQUE A HAUTE INTENSITÉ DANS LE CAS D'UN MINÉRAI LORRAIN PAR TONNE DE FINES HUMIDES BRUTES SOUMISES AU TRAITEMENT, POUR UNE INSTALLATION TRAITANT 20 T/H.

DÉPENSES D'EXPLOITATION	QUANTITÉ PAR T.	PRIX UNITAIRE	DÉPENSE PAR T.
Gaz pour séchage	100 th	1 F	100 F
Energie électrique	8 kWh	7,5 F	60 F
Main-d'œuvre d'exploitation (heure d'ouvrier).	0,15 h. o	230 F	35 F
Entretien (dépense totale, rapportée à l'heure d'ouvrier d'entretien)	0,15 h. e	400 F	60 F
Evacuation des stériles	—	—	p. m.*
TOTAL.....	—	—	255 F

Investissements.

Une estimation précise des investissements ne peut être faite que pour un projet précis, tenant compte des conditions locales.

De toute façon, on peut prévoir que l'installation comprendrait les appareils suivants :

	PRIX (millions de francs)
1 four sécheur à haut rendement pour traiter 20 t/h avec appareils annexes..	10
Ensemble de broyage et criblage	5
16 séparateurs à double rotor	60

Compte tenu des appareils de manutention, du bâtiment, des frais de montage, etc..., les investissements seraient de l'ordre de 120 millions pour 20 t/h, soit 120.000 t/an*.

Autres facteurs intervenant pour la rentabilité de l'opération.

Pour juger de la rentabilité d'une telle opération, il faudrait tenir compte de beaucoup d'autres facteurs, notamment des frais d'évacuation des stériles, des pertes en fer dans les stériles, et compenser tous ces inconvénients aux économies sur les frais d'agglomération, la consommation de coke, les frais d'exploitation du haut-fourneau, etc...

Une telle comparaison ne peut être faite que

pour un cas précis, et n'entre pas dans le cadre de ce compte rendu.

CONCLUSIONS

Les essais de Kahlenberg n'ont pas permis de résoudre, en une journée, tous les problèmes que

pose l'application aux minerais lorrains des procédés de séparation magnétique à haute intensité. De nombreux renseignements ont pu cependant en être tirés.

En ce qui concerne les résultats techniques, les essais ont mis en évidence l'intérêt d'un broyage judicieusement conduit de façon à diminuer la proportion de particules très fines, et la nécessité de bien mettre au point les réglages des appareils pour en tirer le meilleur parti. Ils ont aussi montré

*Une telle installation marche normalement à trois postes.

*Les frais d'évacuation des stériles varient beaucoup selon la disposition des installations, aussi les signalons-nous pour mémoire.

— et ce n'est pas leur moindre mérite — qu'on est arrivé du premier coup à éliminer, sur les fines de Mont-Saint-Martin, plus de la moitié de la gangue en ne perdant que 10 % du fer.

Par ailleurs, les essais ont permis de se rendre compte du débit des appareils, des consommations, et, plus généralement, des éléments permettant d'estimer le prix de revient d'une telle opération.

Les ingénieurs français qui ont pu suivre ces essais tiennent à exprimer toute leur reconnaissance envers les Sociétés Barbara Erzbergbau A.G. et Studiengesellschaft für Doggererze Amberg et leurs animateurs, et particulièrement envers l'Oberingenieur Sengfelder, dont la compétence et le dévouement ont particulièrement contribué à en assurer le succès.
