

Bénéficiation des bauxites riches en fer⁽¹⁾

K. SOLYMÀR*, M. ČEH** et Z. CSILLAG*

La détermination des possibilités pour l'enrichissement des bauxites à base de composition chimique et minéralogique ainsi que de la texture. L'analyse de la distribution des éléments par la microsonde électronique. La détermination des conditions de la préparation selon le poids spécifique avec l'aide des suspensions lourdes. La préparation de la bauxite par la diminution en fer. L'enrichissement des bauxites yougoslaves riches en fer. Le rôle de la qualité de la bauxite au cours de la beneficiation. Le degré avantageux de la préparation tenant compte de la possibilité du mélange avec une bauxite de bonne qualité. L'économie de l'enrichissement des bauxites riches en fer et son influence sur le procédé Bayer et sur les réserves de bauxite.

1. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

Quoique le monde dispose encore des réserves suffisantes de bauxite de bonne qualité [1] la distribution inégale des gisements, les frais de transport, encore considérables, ainsi que les circonstances naturelles favorables ou défavorables du point de vue de l'industrie minière et les efforts faits pour réaliser une production en masse ont pour conséquence qu'à l'enrichissement physique des bauxites une importance de plus en plus grande va être attachée. En particulier l'enrichissement des minerais abattus à ciel ouvert à bon compte, peut être avantageux.

L'importance de l'enrichissement des bauxites peut être évaluée, vu l'augmentation en valeur, du point de vue de la fabrication de l'alumine, respectivement de celui du marché [2], [3].

En ce qui concerne la détermination de la valeur, le facteur décisif est la quantité de la bauxite utilisée pour la production d'une tonne métrique d'alumine ainsi que les frais de soude caustique [3]. Cette circonstance se reflète aussi dans le fait que les contrats de livraison sont rédigés même de nos jours à partir de l'indice de basicité.

Du point de vue de la technologie ainsi que des frais de fabrication, en dehors des facteurs mentionnés d'autres facteurs peuvent être aussi de grande importance, comme la quantité des carbonates et sulfates produisant des pertes en organiques, la quantité de goethite conduisant à une sédimentation mauvaise et par conséquent la prise en considération de ces conditions lors de la détermination des prix est motivée [3]. Nous ferons nos

(1) L'article expose quelques résultats dus à la collaboration de recherche de l'Institut de Recherche des Métaux non-ferreux, Budapest, FKİ et de Rudarski Institut Beograd RI.

études en partant des prix calculés à la base de l'indice de basicité. Le prix mentionné, calculé à la base de l'indice de basicité sera :

$$\text{Prix} = (B - \text{Constante}) \cdot x \text{ (\$/t bauxite)}$$

La valeur de x (et en même temps celle de la constante) peut varier selon les conditions du marché. Entre 1955 et 1970 la valeur de la constante était en général 29 et celle de 0,40 \$ US/t bauxite.

Evidemment, l'augmentation de la valeur des bauxites et par conséquent celle des prix peut être réalisée par celle de l'indice de basicité, c'est-à-dire :

- a) par la diminution de la teneur en SiO_2 ;
- b) par l'augmentation de la teneur en Al_2O_3 .

A une diminution de 1 % de SiO_2 correspond une croissance de 2 % en Al_2O_3 dans les conditions, où la qualité atteint une certaine valeur, par exemple dans le cas que nous venons de citer : $B = 29$.

Il est évident que le résultat le plus important qu'on peut espérer atteindre est lié à la diminution de la teneur en SiO_2 , qui, de sa part — en cas général — va ensemble avec une certaine croissance de la teneur en Al_2O_3 . La valeur des bauxites peut être majorée encore en augmentant la teneur en Al_2O_3 par la diminution de la teneur en autres minerais ne contenant pas de SiO_2 en particulier par la diminution de la teneur des bauxites en Fe_2O_3 , laquelle, de son côté, peut être pour certaines bauxites 25-30 %. Cette solution augmente même la valeur des bauxites de très bonnes qualités et en même temps diminue les frais de transport.

Nous devons signaler que l'enrichissement des bauxites a des perspectives en particulier pour les bauxites de qualité médiocre étant à peu près ou justement appropriées à être traitées par le procédé Bayer.

La mise en pratique de ces considérations nous les illustrerons par les résultats obtenus avec des bauxites riches en fer de provenance yougoslave. Nous laissons de côté l'exposition des résultats obtenus concernant la diminution de dégradation de la qualité des bauxites par la modification de la technologie [2] ainsi que les résultats concernant l'enrichissement de certaines sortes de bauxite par l'extraction des impuretés.

2. LA DÉTERMINATION DES CONDITIONS D'ENRICHISSEMENT

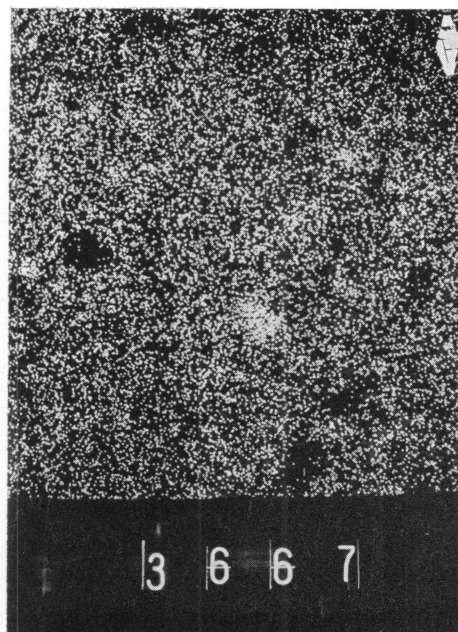
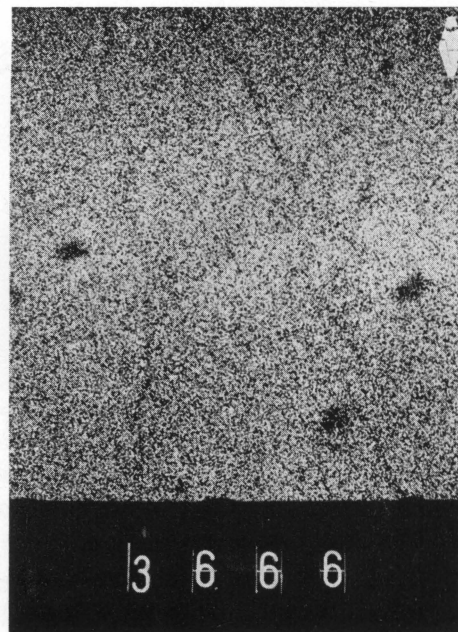
Les possibilités d'enrichissement des bauxites sont déterminées à l'aide de la composition chimique et minéralogique, de la répartition des éléments déterminée par microsonde électronique, de la sédimentation-centrifugeage exécutée en liquide dense. En ce qui suit nous présenterons les résultats relatifs à deux types de bauxite riches en fer dont l'une est de qualité excellente, en revanche l'autre a des caractéristiques moyennes mais, à cause de la proportion des stocks, il est avantageux de les mélanger. Les données pour la composition minéralogique des bauxites mentionnées sont reproduites dans le tableau I. Selon les données l'échantillon n° 1 est inacceptable pour le marché à cause de son indice mauvais de basicité quoique 78 % de sa teneur en Al_2O_3 est récupérable par le procédé Bayer. En ce qui concerne le tableau nous y avons introduit comme une notion nouvelle le rapport des minéraux d'aluminium et de silicium, lequel représente l'effet possible théorique de l'enrichissement ainsi que le rendement en poids. En particulier le minerai de bonne qualité (n° 2) possède une haute teneur en fer, la diminution de la teneur en silice de cet échantillon ne pouvant pas entrer en ligne de compte.

La texture des bauxites est un facteur déterminant en ce qui concerne l'appréciation des possibilités des méthodes d'enrichissement. A l'Institut des Métaux Non-Ferreux l'équipe de recherche conduite par M. Vilmos Stefániai et M^{mes} A. Imre et A. Csanády

TABLEAU I

La composition minéralogique des échantillons originaux de bauxite

Minéral	Echantillon		Composant	Echantillon	
	1	2		1	2
Gibbsite	0,3	traces	Al ₂ O ₃ % Gibbsite	0,2	traces
Boehmite	45,6	55,2	Boehmite	38,7	47,0
Diaspore	1,8	1,5	Diaspore	1,5	1,3
Caolinite	19,2	4,6	Caolinite +	8,3	1,9
Sudoite	1,7	traces	Sudoite	0,3	traces
Illite	1,0	traces	Illite	0,6	1
Quartz	0,2	0,3	Hématite	49,6	51,2
Hématite	24,8	29,5	Fe ₂ O ₃ % Goethite	0,5	1,5
Maghémite	—	2,0	Maghémite	—	2,0
Goethite	0,6	1,7	Hématite	24,2	28,3
Anatase	1,7	1,5		24,7	31,8
Rutile	0,7	1,3	SiO ₂ % Caolinite +	9,7	2,2
Calcite	0,1	0,2	Sudoite	0,5	traces
Dolomite	0,1	traces	Illicite	0,2	0,3
Eau adsorbée	1,9	1,8	Quartz	10,4	2,5
Autres comp.	0,4	0,4			
Minéraux Al	47,7	56,7	TiO ₂ Anatase	1,8	1,5
Minéraux Si	22,1	4,9	Rutile	0,7	1,3
Rapport minéraux Al/Si	2,16	11,6		2,5	2,8
<i>Rendement Al en %:</i>					
Calculé				78,2	91,8
Déterminé				77,1	91,7
Indice basicité:				28,8	46,2

Fig. 1/1 — Echantillon 1.
Répartition du Si. Gross. 450 ×Fig. 1/2 — Echantillon 1.
Répartition de l'Al. Gross. 450 ×

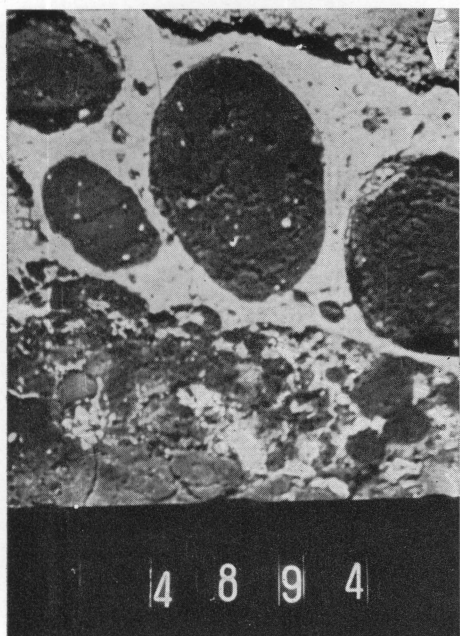


Fig. 2/1

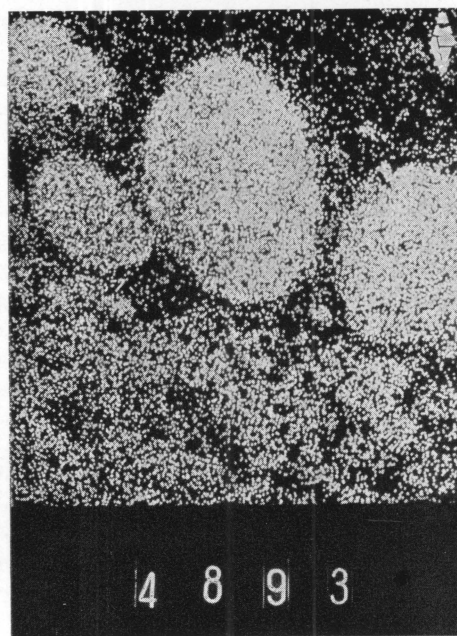


Fig. 2/2

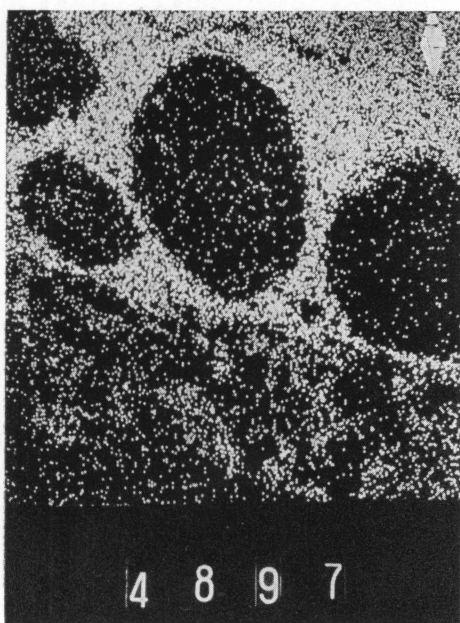


Fig. 2/3

Fig. 2/1. Echantillon 2.
Représentation à radiation électronique
reflecté à caractère composé. Gross. 450 ×

Fig. 2/2. Echantillon 2.
Répartition de l'Al. Gross. 450 ×

Fig. 2/3. Echantillon 2.
Répartition du Fe. Gross. 450 ×

a élaboré dans le passé tout récent l'utilisation de la méthode à microsonde électronique à cette fin. Avec la méthode mentionnée la répartition des éléments est déterminable non seulement sur des surfaces polies, mais encore dans les fractions broyées. A titre d'exemple nous présentons quelques photos concernant les deux échantillons de bauxite mentionnés, faites par microsonde électronique.

La figure 1 présente la répartition de Si (n° de photo 3667) et de Al (n° de photo 3666) de l'échantillon n° 1, tandis que la figure 2 représente la distribution de Fe (n° de photo 4893) et de Al (n° de photo 4897), avec agrandissement de 200 ×, ayant comme base les photos prises sur les éprouvettes polies. La figure 3 nous fait voir les variations des constituants

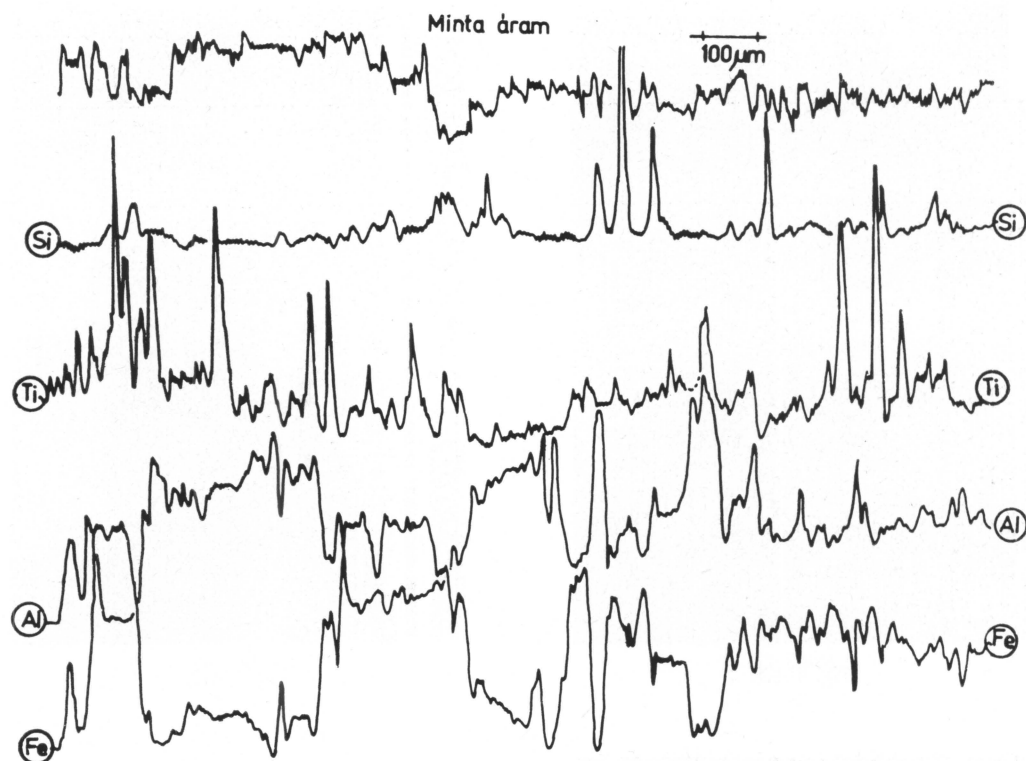


Fig. 3. — Echantillon 2. Répartition linéaire du Si, Ti, Al et Fe.

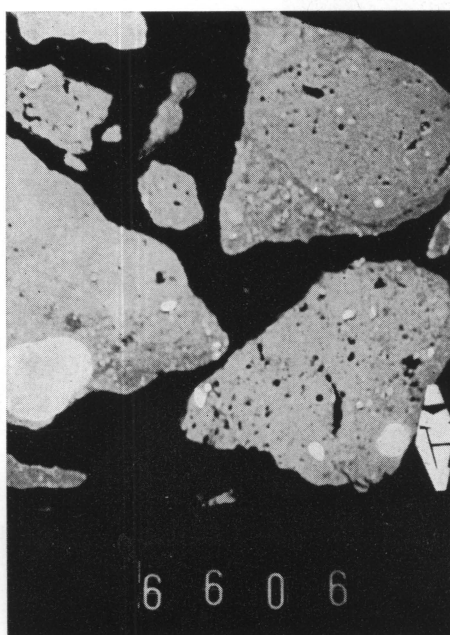


Fig. 4/1. Echantillon 2. Les granules du produit moulé; figure exécutée à radiation réflécté à caractère composé. Gross. 225×

principaux pendant le balayage d'une section de 3 mm. On peut constater que la teneur en Si de l'échantillon 1 n'est pas séparable par une méthode simple physique de la teneur en Al, tandis que pour l'échantillon n° 2 la variation des teneurs en Fe et en Al (fig. 3) est en majeure partie de sens contraire et environ 40-50 % de la teneur en Fe_2O_3 de l'échantillon est éliminable sous forme des granules riches en fer (concentré).

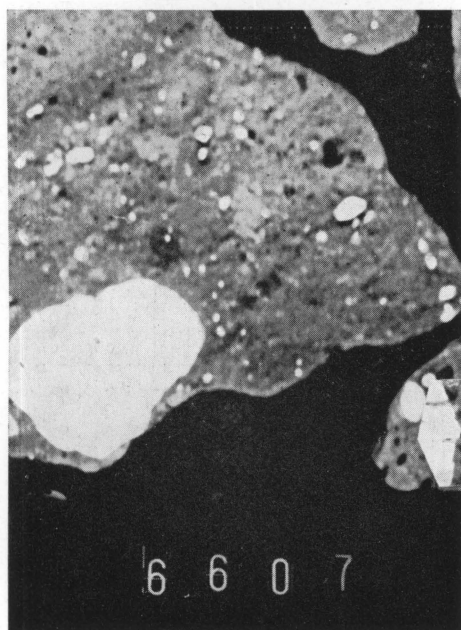


Fig. 4/A.1.



Fig. 4/A.2.

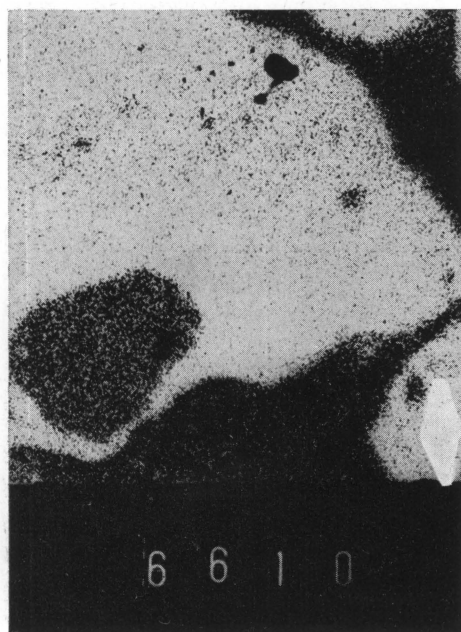


Fig. 4/A.3.

Fig. 4/A.1.
Détail A de la fig. 4/1
Gross. 450 ×

Fig. 4/A.2.
Répartition du Fe sur le détail A
de la fig. 4/1.
Gross. 450 ×

Fig. 4/A.3.
Répartition de l'Al sur le détail A
de la fig. 4/1.
Gross. 450 ×

La figure 4 présente des photos sur la répartition des éléments aux granules broyées a 50 micromètres (nombres de photo: 6606-6619). Sur les photos on peut bien déceler les granules riches en fer, respectivement en aluminium séparés.

La méthode nous indique donc le degré de concassage, du broyage, nécessaire pour l'opération d'enrichissement.

En ce qui concerne la détermination du degré d'enrichissement nous ne pouvons pas nous passer de la caractéristique de densité déterminée en liquide dense. Les diagrammes concernant l'échantillon n° 1, sont présentés sur la figure 5, cette figure met en évidence,

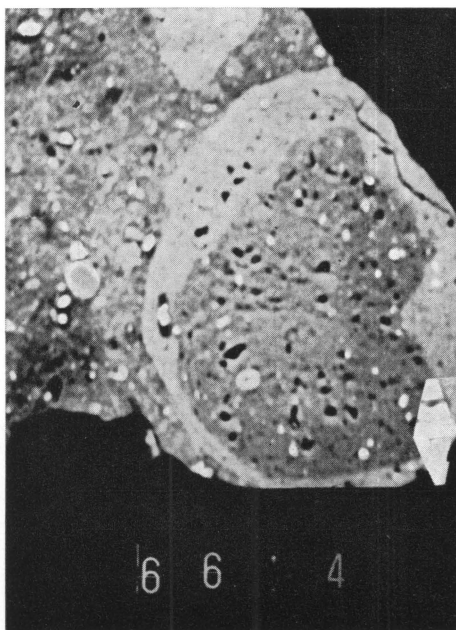


Fig. 4/B.1.

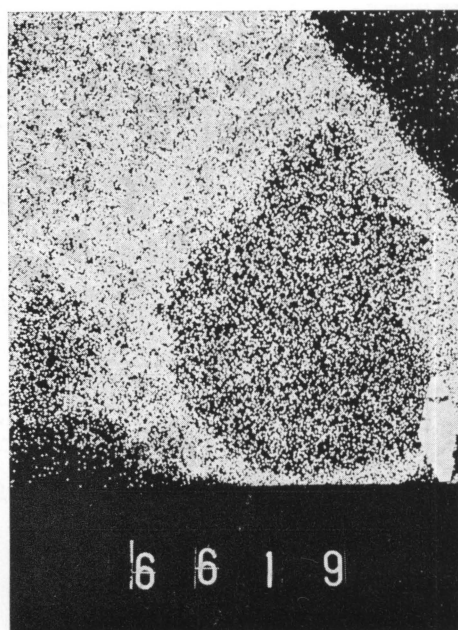


Fig. 4/B.2.

Fig. 4/B.1.
Détail B de la fig. 4/1. Gross. 450 ×

Fig. 4/B.2.
Répartition du Fe sur le détail B
de la fig. 4/1. Gross. 450 ×

Fig. 4/B.3.
Répartition de l'Al sur le détail B
de la fig. 4/1. Gross. 450 ×

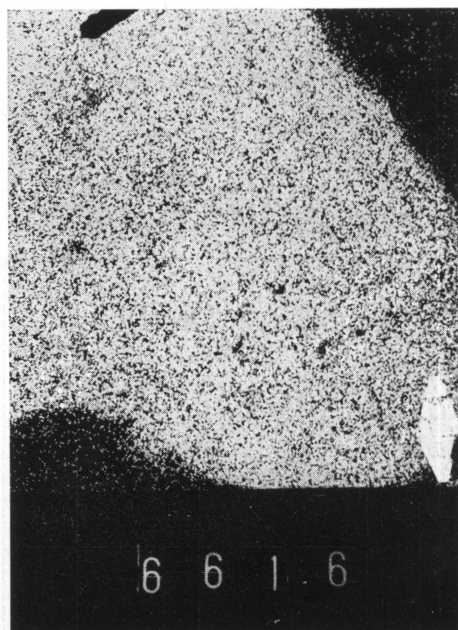


Fig. 4/B.3.

que la teneur sur en SiO_2 de l'échantillon n'est pas réductible, cependant une partie notable de la teneur en Fe_2O_3 est séparable sous forme de concentrés (fig. 5/1, 5/2).

Pour la séparation de la teneur en Fe_2O_3 il est important de gagner un produit utilisable autant que possible directement comme minéral de fer.

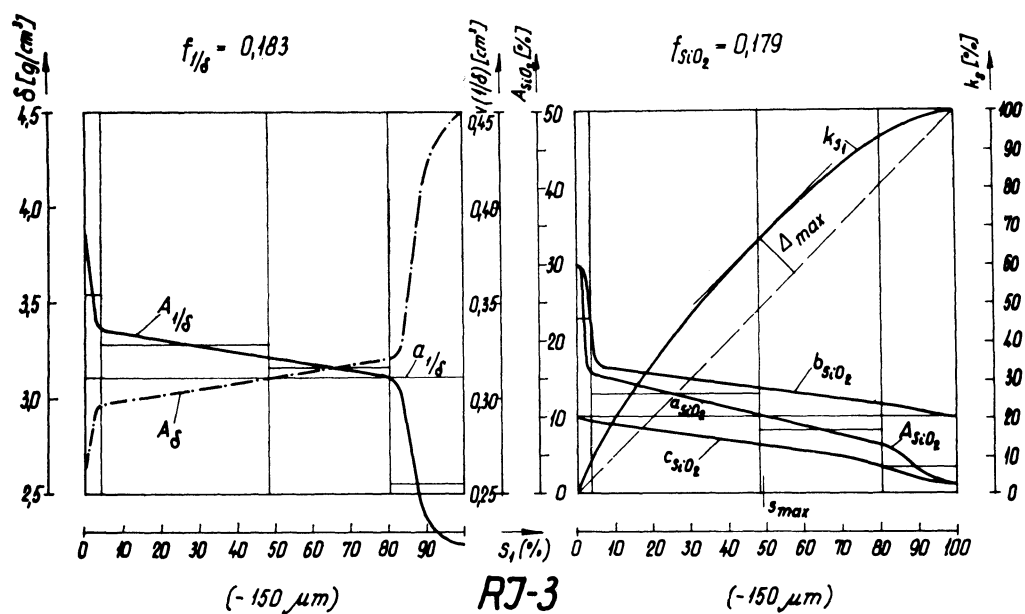


Fig. 5/1

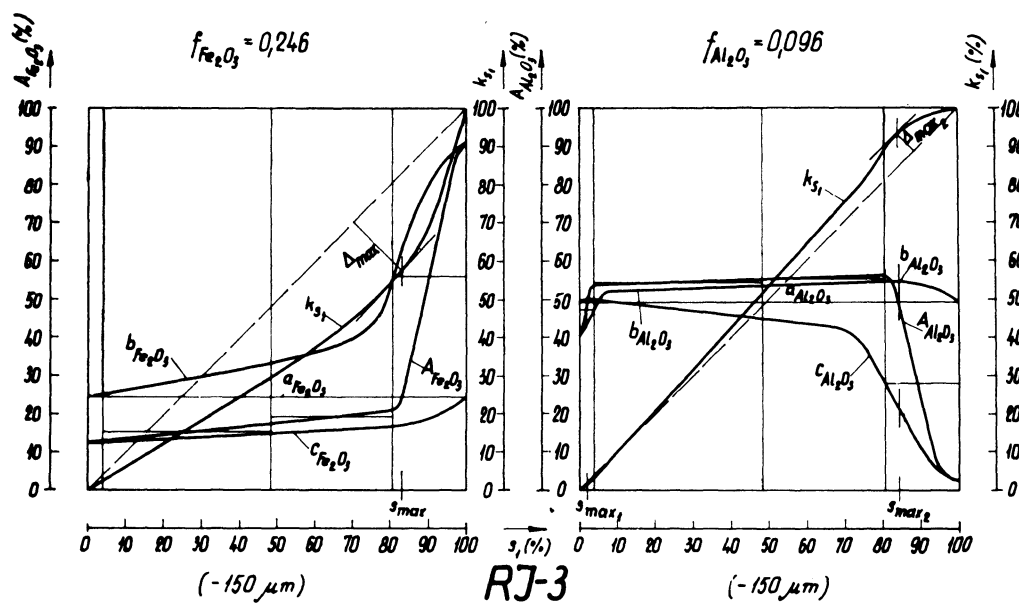


Fig. 5/2

Fig. 5. — Courbes caractéristiques des poids spécifiques de l'échantillon 1.

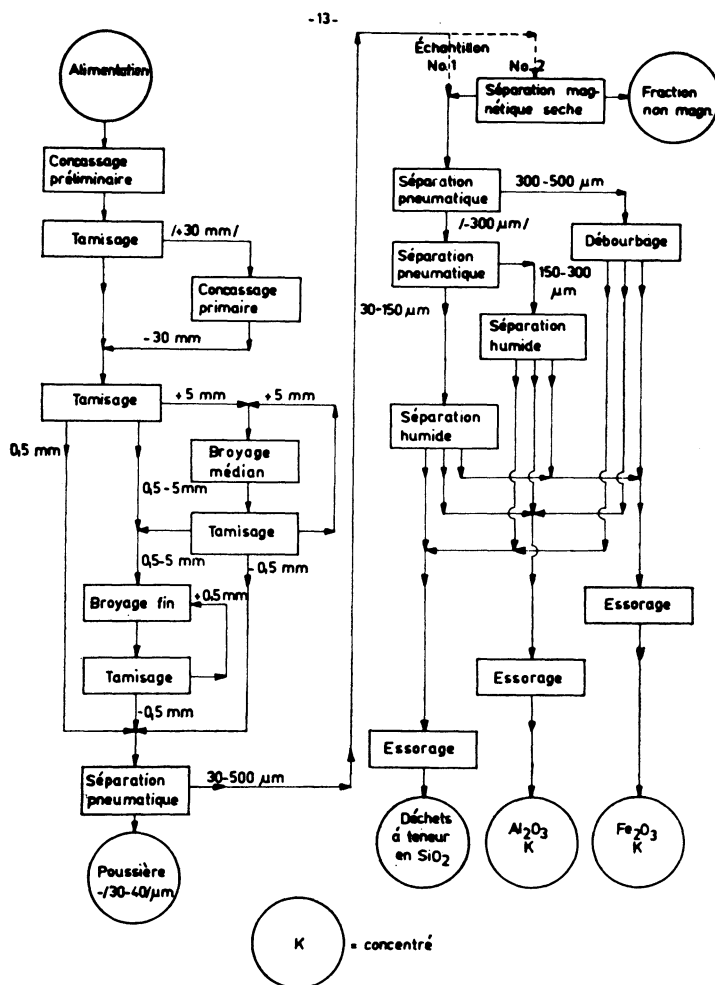


Figure 2.32

Fig. 6. — Schéma d'enrichissement des bauxites riches en fer. Sans flottation.

3. L'ÉLABORATION DE LA TECHNOLOGIE D'ENRICHISSEMENT

En nous basant sur les investigations relatives à l'enrichissement nous avons élaboré le schéma des opérations présenté sur la figure 6. En ce qui concerne son amélioration, nous étudions à présent la solution présentée sur la figure 7. Comme ces figures le montrent nous utilisons pour la séparation de la fraction ferrière les méthodes magnétiques humide et sèche, ainsi que le lavage sur tables pour la séparation granulométrique du tamisage ou/et la séparation pneumatique, respectivement du cyclonage hydraulique, par contre pour le traitement des boues fines la méthode par flottation.

Nos résultats obtenus au cours des investigations en laboratoire sont réunis dans le tableau II. La teneur en fer nous l'avons récupérée sous forme de concentré ayant une teneur de 70 % en Fe_2O_3 , en présumant un traitement sans perte. Les données du tableau montrent, que par la récupération partielle de la teneur en fer tant la qualité, que la valeur des deux types de bauxite peuvent être améliorées, pendant que par le mélange des deux types, on peut élargir remarquablement les bases de matière première de la production d'alumine au prix d'une dégradation faible de la qualité. En cas de valorisation du concentré de fer en plus de la qualité donnée nous pouvons compter au moins sur le prix de la bauxite de bonne qualité, de sorte que la rentabilité de l'enrichissement est assurée.

TABLEAU II

Résultats des investigations d'enrichissement

<i>Echantillon n° 1</i>							
<i>Désignation</i>	<i>Rendement pondéral (%)</i>	<i>Fe₂O₃</i>	<i>Composition (%)</i>		<i>TiO₂</i>	<i>p. au feu</i>	<i>Indice de basicité Al₂O₃ - 2 SiO₂</i>
			<i>SiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>			
Alimentation, minéral brut	100,0	24,7	10,4	49,6	2,5	11,9	28,8
Poussière (— 40 µm)	15,0	23,5	11,3	49,4	2,5	12,1	26,8
Fraction légère de sép. pneu (concentr. Al)	73,0	16,1	11,5	54,7	2,3	13,1	31,7
Fraction lourde de sép. pneu (concentr. Fe)	12,0	70,0	2,5	18,7	3,5	4,0	19,0
Poussière + fraction légère	88,0	17,6	11,5	53,8	2,4	12,8	30,8
<i>Echantillon n° 2</i>							
Alimentation minéral brut	100,0	31,8	2,5	51,2	2,8	9,9	46,2
Poussière (— 40 µm)	20,0	31,0	3,3	52,5	2,7	10,2	45,9
Fraction légère de sép. pneu (concentr. Al)	65,0	23,6	2,5	58,0	2,6	11,2	43,0
Fraction lourde de sép. pneu (concentr. Fe)	15,0	70,0	1,5	20,0	3,5	3,8	17,0
Poussière + fraction légère	85,0	25,3	2,7	56,7	2,7	11,0	51,3
<i>Echantillons 1 + 2; 50-50%</i>							
Bauxite mixte (minerais brutes)	100,0	27,8	6,5	50,4	2,7	10,9	37,4
<i>Echantillons déferrés, 1 + 2, mélange 50-50%</i>							
Bauxite mixte, minerais déferrés	100,0	21,5	7,1	55,3	2,6	11,9	41,1

4. ÉVALUATION TECHNOLOGIQUE

Nous avons effectué aussi des investigations technologiques sur la production de l'alumine en mélangeant en proportion 1 pour 1 des échantillons de bauxite originaux et déferrés. Les essais de lavage furent faits à une température de 240 °C pour une durée de 1 heure en lessive contenant 220 g/l de Na₂O caustique, avec un rapport molaire de 1,45. Les données caractéristiques sont récapitulées dans le tableau III. Ces données montrent qu'avec une déferrisation partielle la consommation spécifique en bauxite ainsi que la quantité des boues rouges diminuent environ de 15 %, tandis que le rendement en Al₂O₃ et la consommation en soude caustique, sont favorables, particulièrement en présence de 3 % de CaO.

5. CONSIDÉRATIONS ÉCONOMIQUES

En ce qui concerne les calculs de rentabilité — exécutés à l'ALUTERV (Institut de Construction d'Aluminium) — notre point de départ était qu'à cause des réserves limitées on peut approvisionner seulement une usine d'alumine ayant une capacité de

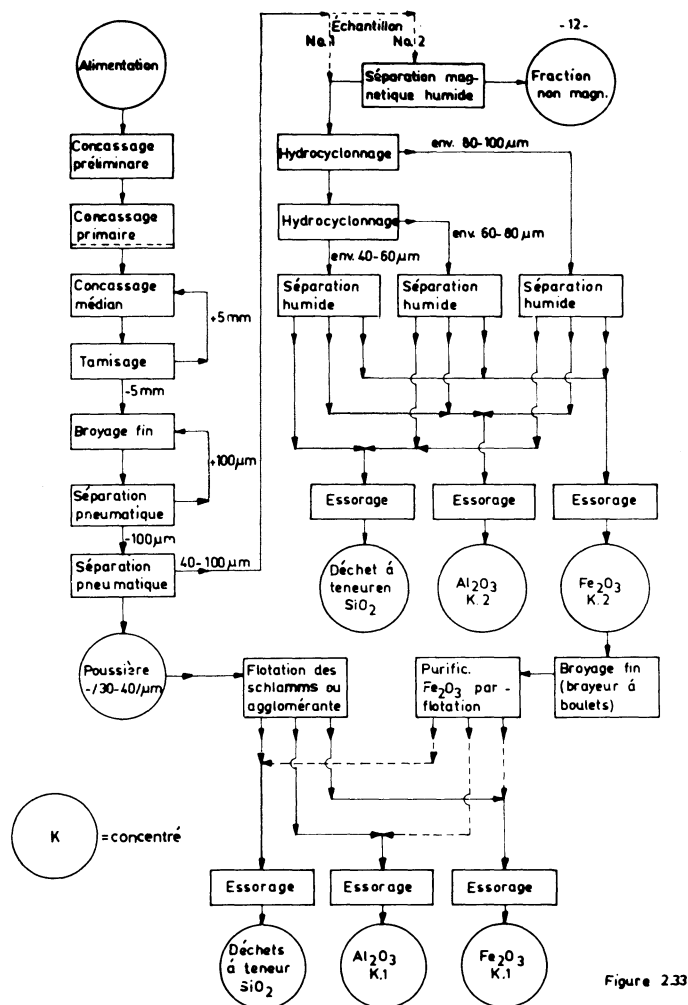


Figure 2.33

Fig. 7. — Schéma d'enrichissement des bauxites riches en fer, prenant en considération les possibilités de la flottation agglomérante.

TABLEAU III

Les résultats des investigations de technologie d'alumine

Paramètre caractéristique	Dénomination de l'échantillon		
	Echantillon n° 1 + 2 Minerai brut 50-50% sans CaO	Echantillon n° 1 + 2 Minerai déferrés 50-50% sans CaO + 3% CaO	
Consommation de bauxite t/t alumine	2,30	2,06	2,03
Boues rouges t/t alumine	1,16	0,96	1,00
Molarité Na ₂ O/SiO ₂ aux boues rouges	0,80	0,75	0,62
Consommation de soude caustique kg/t alumine, y compris les boues rouges	139	138	114
Rendement Al ₂ O ₃ , %	86,3	86,7	87,4

200 000 t/année. Nous avons étudié l'effet de l'accroissement de capacité par mélange de la bauxite de qualité inférieure en quantités croissantes au minerai de bonne qualité. Concernant la valorisation du concentré de fer en état granulé (après pelletisation) nous avons compté avec un prix de 7,05 \$US/t, et avons constaté que par le traitement des mélanges de minerais préparés par déferrisation on peut réaliser une augmentation des bénéfices de 4 à 5 %, même sans addition de CaO, en comparaison avec le traitement des mélanges de bauxites brutes. L'excédent de bénéfice provenant de l'accroissement de capacité en comparant des usines de 200 000 t et 600 000 t/an et en supposant un prix d'alumine de 70 \$/t, puis le même prix pour NaOH, est d'environ 7 % tant pour le traitement du mélange de minerais brut, que pour celui du mélange de minerais partiellement déferré.

Pour un prix de NaOH considérablement plus grand (p. ex.: 120 \$/t) et pour une capacité environ de 400 000 t/an le profit présente un minimum à cause de l'augmentation de la consommation de soude caustique, puis augmente, mais la récupération des concentrés de fer améliore en tout cas la rentabilité.

La diminution des pertes de soude caustique par l'addition de CaO, son remplacement par des sels de sodium (p. ex.: ClNa , SO_4Na_2) ou bien la caustification des boues rouges favorisent nettement l'établissement des usines d'alumine aux capacités plus grandes traitant des bauxites partiellement déferrées.

6. CONCLUSIONS

L'amélioration de la qualité et en même temps l'accroissement de la valeur des bauxites sont rendus possibles par l'augmentation de la teneur en Al_2O_3 par l'élimination partielle de la teneur en Fe_2O_3 .

L'article expose une méthode pour la détermination des possibilités d'enrichissement des bauxites basées sur les compositions chimique et minéralogique, l'étude structurale par microsondage électronique et sédimentation en liquide dense.

Dans le cadre de la collaboration entre l'Institut des Métaux Non-Ferreux (F.K.I.) de Budapest, et l'Institut de Recherches Minières (Rudarski Institut, R.I.) de Beograd, les auteurs ont élaboré l'élimination partielle de la teneur en Fe_2O_3 des bauxites yougoslaves, riches en fer, sous forme de concentrés de fer. Selon la technologie élaborée au laboratoire (récupération du concentré de fer), le profit de la production d'alumine — à cause des paramètres technologiques améliorés — peut être élevé de 4 à 5 % en élargissant considérablement la base de matières premières.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] WEISSE (G. de), 1972. — L'évolution de l'approvisionnement en bauxite de l'Europe. *Erzmetall*, t. 25, 11, p. 535-539 (all.).
- [2] BALKAY (B.), SOLYMAR (K.) et ALLIQUANDER (E.). — Possibilités de l'amélioration des bauxites de qualité inférieure par des méthodes physiques d'enrichissement. *Coll. Intern. I.C.S.O.B.A., Banska Bystrica*, 6-8 juin 1972 (angl.).

- [3] ZAMBO (J.) et SOLYMAR (K.). — Les aspects de l'évaluation industrielle des bauxites hongroises. Enquête sur la fabrication d'alumine. *Almásfűzitő* 19-21 nov. 1970, p. 213-227.
- [4] KUZNYETSOW (Sz. I.) et DEREVIANKIN (V. A.), 1972. — Utilisation complexe des bauxites à qualité inférieure. Moscou, *Metallurgia*, p. 132-175.

* *Institut de Recherche pour les Métaux non-ferreux,
Fehervari ut 144, 1116 Budapest (Hongrie)*

** *Mining Institute Batajniki put 2,
Zemun (Yougoslavie)*