#### MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE

## BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL B.P. 6009 - 45018 Orléans Cédex - Tél. (38) 63.80.01



# ÉTUDE DES POSSIBILITÉS D'EXTRACTION ET D'EXPANSION DES VERRES CONTENUS DANS LES MÂCHEFERS D'INCINÉRATION DES ORDURES MÉNAGÈRES DE LA VILLE DE LYON

par

C. KERLOVEOU, J.P. FABY, M. MORIO, C. VAUTRELLE, J.N. GONY



#### Département minéralurgie

B. P. 6009 - 45018 Orléans Cédex - Tél. : (38) 63.80.01

Convention nº 292 468 de Novembre 1976 RAPPORT DE FIN D'ÉTUDES

79 SGN 009 MIN

Janvier 1979

RESUME.

Du traitement mécanique des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères suivant le procédé B.R.G.M., résultent des scories aux caractéristiques physiques et compositions favorables à la production d'un concentré de verre à vocation utilisatrice dans l'industrie des granulats expansés .

Une première étude exploratoire effectuée en ce sens (BAUDET-GONY-VAUTRELLE - Rapport 76 SGN 387 MIN) avait permis de dégager les grandes lignes d'une méthode d'extraction des verres contenus dans ces scories .

Dans le cadre d'une convention liant le Ministère de l'Industrie et le B.R.G.M., une étude complémentaire visant à préciser les conditions technique et économique de cette valorisation a été entreprise .

Les résultats montrent que le produit obtenu se caractérise par des teneurs en éléments indésirables (oxyde de fer et alumine essentiellement) acceptable pour le processus d'expansion mais par des taux de cristallinité encore trop élevés (13 %). De plus, sur le plan économique, le prix de revient du traitement envisagé ne paraît pas rendre ce matériau suffisamment compétitif par rapport au calcin actuellement utilisé .

Cependant, vis-à-vis des granulats expansés de densité moyenne, son utilisation industrielle n'est pas à exclure, à terme, en fonction des contraintes d'approvisionnement et de transport de ces produits et de l'évolution du marché du calcin. Table des matières

## RESUME

Ι.	INTRODUCTION	1
II.	LE PROCEDE D'EXPANSION DE B.S.N. : PRESENTATION ET DEFINI- TION DES QUALITES REQUISES POUR LE MATERIAU UTILISE	2
III.	PREPARATION DU CONCENTRE UTILISABLE DANS LE PROCEDE D'EXPANSION	3
	31. Préparation mécanique des mâchefers	3
	32. Valorisation des scories issues de la préparation mé- canique – Obtention d'un concentré en verre	3
	321. Définition de la démarche opératoire	7 7
	221. La séparation magnétique 222. La flottation	7 12
IV.	LE PROCEDE BSN : ESSAI D'EXPANSION DES CONCENTRES EN VERRE	17
۷.	APERCU DU CONTEXTE ECONOMIQUE D'EXPLOITATION	19
	51. Cadre opératoire	19
	52. Présentation des estimations économiques	19
VI.	CONCLUSION	22

# 000

ANNEXE I :	OPTIMISATION DES PARAMETRES DE SEPARATION DANS UN CHAMP MAGNETIQUE DE HAUTE INTENSITE	24
ANNEXE II:	DONNEES ECONOMIQUES UTILISEES POUR L'ESTIMATION DES COUTS OPERATOIRES	27
	000	
REFERE	ENCES	29

#### I. INTRODUCTION.

Le procédé BSN permettant l'utilisation de verre de qualité en deça des normes requises pour les calcins de verreries, offre un débouché potentiel pour les verres contenus dans les mâchefers d'incinération.

Dans le cadre de la Convention 292 468 établie entre le Ministère de l'Industrie et du Commerce et le Bureau de recherches géologiques et minières, une étude de la valorisation des verres provenant des résidus d' incinération d'ordures ménagères a donc été entreprise sur ce thème. Son objet est de définir les conditions techniques de préparation de concentré de calcin convenant à la production de granulats expansés compatibles avec le procédé BSN .

Ces travaux bénéficient, sur le plan de la démarche opératoire et des modalités de traitement, des acquis techniques d'une première étude effectuée (rapport 76 SGN 387 MIN) conjointement par le B.R.G.M., la Société d'Exploitation de Recherches et d'Application des Matériaux d'Habitation, et financée par la Délégation générale à la Recherche scientifique et technique .

Aussi portent-ils successivement sur :

- la préparation mécanique des résidus d'incinération par le procédé mis au point au B.R.G.M.
- . le traitement en voie humide des préconcentrés obtenus,
- les essais d'aptitude à la fabrication de granulats expansés suivant le procédé BSN .

Une approche économique du coût des opérations de concentration est également proposée .

1

#### II. LE PROCEDE D'EXPANSION DE B.S.N. : PRESENTATION ET DEFINITION DES QUALITES REQUISES POUR LE MATERIAU UTILISE .

L'utilisation de granulats d'origine naturelle tels que les ponces, les pouzzolanes, dans des matériaux de construction (bétons et thermoplastiques) à des fins d'allègement, risque de se heurter à la fois à un épuisement des ressources immédiatement accessibles et à une hausse des coûts de transport et d'exploitation.

C'est ainsi que tend actuellement à se développer la production de matériaux de substitution artificiels à partir d'argile, de vermiculite, de perlite et des schistes.

Récemment, la société BSN a mis en serviceen France une unité pilote de fabrication de granules de verres expansés par cuisson de calcin finement broyé et mélangé à un agent d'expansion et un liant de granulation. Les caractéristiques les plus importantes du produit sont sa très faible densité et l'absence de reprise d'eau.

Des essais d'expansion sur mélange de 50 % de verre de récupération de mâchefers et de 50 % de calcin ont de plus montré la possibilité d'obtenir des granulats de verre de densité en vrac 0,2 et de capacité d'absorption d'eau de 22 %, caractéristiques dépassant celles des granulats d'argile expansés (densité en vrac 0,3 à 0,45, absorption d'eau de 5 à 20 % ) et voisines de celles des granulats de verre pur expansé (densité en vrac 0,13 à 0,20, absorption d'eau 15 à 20 %).

Outre les caractéristiques d'ordre physique (granulométrie), les concentrés en verres susceptibles de convenir à la fabrication d'agrégats légers doivent répondre aux spécifications concernant :

- les teneurs en éléments fondants (CaO, Na2O, K2O), la silice et l'alumine ,
- . le pourcentage en phases cristallines réfractaires (lié à la céramique, à des liants hydrauliques, à des matériaux de constructions qui jouent le rôle de "ballast" inerte lors de l'expansion et augmentant la densité finale du granulat.

Ces contraintes ne touchent, par contre, que dans une faible mesure les impuretés dites colorantes (oxydes ou métaux), les tolérances étant beaucoup plus larges que pour l'utilisation verrière (verre blanc ou flaconnage).

La stabilité des compositions chimiques des concentrés de flottation, et la nécessité d'obtenir des produits à faible taux de cristallinité conduisent ainsi à corréler les résultats des mesures par diffractométrie de rayons X (intensité et largeur de certaines raies caractéristiques du quartz «) et l'aptitude du concentré à la fabrication de granulats expansés.

#### 3

#### III. PREPARATION DU CONCENTRE UTILISABLE DANS LE PROCEDE D'EXPANSION .

#### 31. Préparation mécanique des mâchefers.

L'échantillon d'une tonne, prélevé en continue à la jetée du système d'évacuation des mâchefers de l'incinération de la Communauté urbaine de Lyon a été traité en station pilote, suivant le procédé mis au point au B.R.G.M. qui permet :

- l'élimination des constituants les plus volumineux en refus de grille fixe à 200 mm ,
- le criblage à 30 mm par trommel de la fraction inférieure à 200 mm ,
- le traitement des passés de criblage par broyage .

Il en résulte :

- des ferrailles magnétiques, réparties entre 2 et 200 mm,
- des métaux non ferreux, de dimensions comprises entre 2 et 200 mm ,
- des scories, de granulométrie inférieure à 2 mm, dont :
  - . des magnétiques, enrichies en limailles et oxydes ou silicates de fer ,
  - des non-magnétiques supérieures à 0,1 mm, enrichies en poudre de verre,
  - . des non-magnétiques fines.

Le bilan poids est présenté dans le tableau 1 ci-après .

#### 32. Valorisation des scories issues de la préparation mécanique - Obtention d'un concentré en verre .

La préparation mécanique des mâchefers fournit des scories non magnétiques représentant 88,1 % des quantités tout venantes. Seule, la classe granulométrique comprise entre 2 mm et 100  $\mu$ , enrichie en verre, fait l'objet des essais de concentration (69,5 % du poids entrant).

L'analyse des principaux constituants de cette fraction est présentée dans le tableau 2. Elle met en relief, dans la perspective d'une utilisation comme verre expansé :

- . l'importance des teneurs en éléments ferreux (6,35 %), alumine (8,00 %)
  carbonés (9,00 %)
- . l'abaissement des teneurs en silice (53,8 %) et en soude (6,80 %).

Les examens effectués au moyen de la loupe binoculaire et du microspe ainsi que les données réunies lors des analyses antérieures (BAUDET-GONY-VAUTRELLE 1976) semblent indiquer que cette répartition chimique correspond essentiellement à trois types d'impuretés, soit :

- les silico alumineux, associés à des impuretés à base de titane, manganèse, fer présentant un caractère paramagnétique voir ferromagnétique faible,
- les éléments imbrûlés résultant d'une combustion incomplète ,
- les éléments cristallisés à base de silice de chaux, diamagnétiques ou faiblement paramagnétiques.

	% en poids sec
Ferrailles	
Refus de 200 mm Refus déchiquetage	0,7 0,4
+ 30 mm (+ 2 mm - 30 mm)	4,9 2,0
Total des ferrailles	8,0
Métaux non ferreux	
+ 30 mm Légers (+ 20 - 30 mm) Lourds	0,02 0,34 0,24
Total des non ferreux	0,60
Scories non magnétiques	
- 2 + 100 μm - 100 μm	69,5 18,6
Total des non magnétiques	88,1 %
Scories magnétiques	3,3 %
Total général	100,0 %

## <u>Tableau 1</u>

Traitement mécanique, par le procédé BRGM, des mâchefers de Lyon. Bilan en poids sec. (humidité du tout-venant 18,3 %).

	Scories non magnétiques	Verre in	adustrie1*
		yerre blanc	verre brun
Si02	53,80	71,60	68,80
A1203	8,00	1,71	1,98
Fe <sub>2</sub> 0 <sub>3</sub>	6,35	0,06	0,39
Ti0 <sub>2</sub>	0,36	0,04	0,12
MnO	0,25	traces	0,09
CaO	10,50	11,66	11,35
MgO	1,95	2,01	1,50
Na 2 <sup>0</sup>	6,80	12,92	13,34
К <sub>2</sub> 0	1,30	0,29	0,37
P <sub>2</sub> 0 <sub>5</sub>	1,30		
H <sub>2</sub> 0-	0,10		
H <sub>2</sub> 0+	0,25		
Perte au feu (y compris H <sub>2</sub> 0 <sup>-</sup> , H <sub>2</sub> 0 <sup>+</sup> )	9,00		
C organique			

\* Donnée recueillies dans l'étude effectuée par le laboratoire de valorisation des minerais de Nancy (cf. référence 2).

### Tableau 2

Analyse des principaux éléments contenus dans les scories non magnétiques issues de la préparation mécanique des mâchefers. Comparaison ayec le verre industriel. 321. Définition de la démarche opératoire .

Compte tenu des caractéristiques physico-chimique des éléments indésirables présents dans les scories de traitement, deux voies intéressantes de séparation et de valorisation ont été explorées (BAUDET-GONY-VAUTRELLE). Elles s'appuient d'une part, sur les propriétés magnétiques d'autre part, sur les caractéristiques de surfaces des particules .

Le schéma étudié comprend donc une séparation magnétique de haute intensité en voie humide et une flottation en deux étapes des produits non magnétiques après tamisage (tableau 3).

322. Conditions opératoires .

221. La séparation magnétique .

Elle a pour objet l'élimination des particules paramagnétiques, pour permettre une réduction des teneurs en éléments ferreux, titanifères et parallèlement une préconcentration en silice et en éléments fondants .

Des essais de concentration dans un champ magnétique de haute intensité en voie humide effectués aux Laboratoires de Valorisation des Minerais de Nancy dans un appareil de type Jones Humboldt, avaient déjà précédemment souligné, à de faibles capacités de traitement (150 kg/h) :

- l'importance de l'intensité du champ magnétique développé,
- . l'influence de la concentration en solides de la pulpe dans le cas d'un traitement en voie humide ,
- l'effet cumulatif néfaste des relavages entraînant une diminution des teneurs en silice par effet d' entraînement.

L'appréciation plus complète du procédé de valorisation nécessitait donc de repréciser les conditions de séparation magnétique (plus d'une tonne/heure).

Grâce à l'appui financier de la Délégation aux Economies de Matières Premières,une séparatrice magnétique humide de haute intensité de type BOXMAG Rapid SHW 1 a ainsi pu être acquise et expérimentée .

Cette machine présente les avantages techniques :

- . d'un important débit en continu de solides
   (1,5 t/h),
- . de pouvoir opérer en épuration comme en concentration,
- . d'accepter une gamme variée de granulométries.

Une campagne d'optimisation présentée en annexe I a permis de définir les conditions magnétiques optimales de séparation .

Les essais ont porté sur 966 kg de scories sèches, de granulométrie comprise entre 1,25 et 0,08 mm. Les paramètres de fonctionnement sont ceux définis lors de la campagne de règlage, soit :

. intensité du champ 20 A, correspond à 15 000 Gauss

- . débit solides 1 800 kg/h
- . concentration 450 g/1
- . consommation d'eau  $4,5 \text{ m}^3/t$  de lavage .

Les bilans d'analyses des produits obtenus (magnétiques et non magnétiques) sont regroupés dans les tableaux (4,5 et 6). Ils montrent dans les produits non magnétiques :

- . la diminution appréciable des teneurs en éléments ferreux (6,35 % à 2,90 %) et alumineux (8,00 à 6,35 %)
- . l'accroissement des teneurs en silice (53,8 % à 56,1 %) et en carbone .

Ces résultats confirmant les valeurs enregistrées lors de la campagne de mise au point , indiquent de plus que le préconcentré représente 39,5 % des poids traités, soit 37,7 % après tamisage à 80  $\mu$  .



9

#### Tableau 3

Schéma opératoire suivi pour l'extraction des verres contenus dans les mâchefers d'incinération (% énnoncés par rapport au tout venant en poids sec





Schéma de traitement des scories par séparation magnétique humide à haute intensité

Produits obtenus	% (*)	Kg					
Non magnétique inféri <b>e</b> ur à 80 µm	1,8	17,3					
Non magnétique supérieur à 80 µm	37,7	361,9					
Magnétique	60,5	580,8					
Totaux	100,0	960,0					
Perte au traitement		6					
(*) Pourcentage ramené au poids total après traitement.							

### TABLEAU 5

Bilan pondéral des produits obtenus par séparation magnétique

	Non magn	nétiques	Magnétiques
	(+ 80 µm)	(- 80 µm)	magnetiques
SiO <sub>2</sub>	56,10	46,00	51,50
A1203	6,35		
Fe <sub>2</sub> 0	2,90	8,16	10,85
Ti0 <sub>2</sub>	0,33		
Mn0	0,18		
CaO	10,3		
MgO	1,65		
Na <sub>2</sub> 0	7,25		
К <sub>2</sub> 0	1,15		
P <sub>2</sub> 0 <sub>5</sub>	1,10		
Н <sub>2</sub> 0	0,15		
H <sub>2</sub> 0+	0,45		
Perte au feu	12,10		
C organique			
H <sub>2</sub> 0 <sup>+</sup> , H <sub>2</sub> 0 <sup>-</sup>			

# <u>Tableau 6</u>

Résultats d'analyse portant sur les éléments contenus dans la fraction non magnétique.

222. La flottation .

La première étape de valorisation des scories permet d'obtenir un préconcentré où deux types d'impuretés restent à éliminer :

- . les éléments carbonés ,
- . les éléments cristallisés.

Deux traitements d'épuration peuvent alors intervenir, ce sont :

- . la flottation directe du verre,
- . la flottation sélective, en deux étages
- des fractions carbonées, puis du verre .

Cette dernière alternative a été retenue sur la base des résultats obtenus lors d'études précédentes (BAUDET-GONY-VAUTRELLE 1976).

a) Principe de la concentration du verre par flottation en deux étages .

Elle consiste en premier lieu, en une séparation des éléments carbonés à l'aide d'un collecteur sélectif faiblement cationique ou anionique. Ce collecteur fourni par la Société CECA (EXP 2704) est constitué de 60 % d'amine diméthyl sur chaîne suif et de 40 % de monoamine oxyethylée (7 molécules d'oxyde d'ethylène sur amine primaire)Suit alors une phase de flottation du verre associée à la dépression des éléments cristallisés. Des relavages complémentaires permettent d'améliorer la qualité du concentré obtenu. Le schéma global de flottation, accompagné des dosages respectifs en collecteurs et déprimants étant indiqué aux tableaux 7 et 8

Les meilleurs résultats sont obtenus par le couple déprimantcollecteur, ligno-sulfonate de calcium et Noramac S (acétate d'amine primaire).

b) Conditions opératoires .

Le circuit de flottation en continu comprend :

- deux cellules de type MINEMET H 300 pour la flottation des matières carbonées (30 litres) ainsi que pour la flottation de dégrossissage du verre;
- une cellule double WEMCO pour les différents relavages. L'importance des cellules utilisées permet ainsi un débit horaire voisin de 90 kg en solide, l'échantillon traité représentant environ 350 kg.

Les principaux paramètres des conditions de flottation sont détaillés dans le tableau 9 . c) Analyses des résultats obtenus .

Etabli en régime d'équilibre sur une quantité de matériaux traités voisin de 80 kg, le bilan pondéral de l'essai de concentration du verre figure dans le tableau 10. Le rendement poids du concentré s'établit à 26,8 %.

Trois lots sont alors constitués :

- . le lot A correspondant à la production pendant la montée en équilibre du circuit (environ 14 kg)
- le lot B recueilli pendant la marche en régime d'équilibre des cellules (près de 25 kg)
- . le lot C produit lors de la vidange du circuit (environ 7,5 kg).

Ils ont fait l'objet de différents essais d'expansion dans les laboratoires de BSN .

. ajustement pH flottation des matières . collecteurs (300 g/t) sélectif + émulsion carbonées (100) fuel oil + eau . moussant (100 g/t)matières carbonées non flottant (88,3 %) (11,7 %) déprimants + collecteurs flottation de dégrossissage (350 g/t) (450 g/t) du verre phases cristallines flottant (57,1 %) (31,2 %) flottation de relavage eau n° 1 phases cristallines flottant (43,9 %) (13,2 %) flottation de relavage eau n° 2 phases cristallines flottant (35,4 %) (8,5 %) flottation de relavage eau n° 3 phases cristallines flottant (8,6 %) concentré de verre (26,8 %)

#### Tableau 7

Schéma représentatif des étapes de flottation du préconcentré de verre.

A)	Flottation de matières carbonées.		
	- Collecteur des matières carbonées EXP 2704 Fuel Oil	300 600	g/t g/t
	Dow Froth 1012 Conditionnement : 3 minutes en cellule de 7,5 litres	100	g/t
B)	<u>Flottation du verre.</u>		
	<ul> <li>Collecteur du verre</li> <li>Noramac S</li> <li>Déprimant des matières cristallisées</li> </ul>	450	g/t
	Lignosulfonate de calcium Conditionnement : 3 minutes en cellule de 30 litres pour le déprimant	350	g/t
C)	<u>Relavage.</u> A l'eau après mise en pulpe		

#### TABLEAU 8

Réactifs utilisés et consommation

```
A) <u>Flottation des matières carbonées et dégrossissage du verre.</u>

Cellule Minemet de 40 litres
Pulpe à 150 g/l (alimentation)
Temps moyen de flottation des matières carbonées :
5 minutes

Temps moyen de flottation du verre :

5 minutes

B) <u>Flottation des concentrés de verre.</u>

Cellule double Wemco
Temps moyen de relavage : 3 fois 8 minutes
```



Principaux paramètres des essais de flottation

Produits obtenus	Poids en Kg	Poids en %
Matières carbonées	9,5	11,7
Matières cristallisées	25,3	31,2
Mixte 1er relavage	10,7	13,2
Mixte 2ème relavage	6,8	8,5
Mixte 3ème relavage	7,0	8,6
Concentré en verre	21,7	26,8
Totaux	81,0	100,0

## TABLEAU 10

Bilan pondéral de la flottation des préconcentrés établi en situation d'équilibre

#### IV. LE PROCEDE BSN : ESSAI D'EXPANSION DES CONCENTRES EN VERRE .

Ces essais comprennent :

- une première mesure par diffractométrie en rayons X des impuretés cristallisées,
- un traitement thermique discontinu dans un four à moufle électrique (en remplacement d'un four à tapis alors indisponible), le verre étant préalablement pulvérisé à une finesse de 3200 cm<sup>2</sup>/g Blaine, puis pelletisé en présence de carbonate de calcium broyé (près de 2 %),
- enfin des tests d'aptitude à l'expansion effectués en four rotatif, plus représentatifs des conditions de traitement thermique à l'échelle industrielle.

Les résultats des essais sont présentés dans les tableaux 11 et 12 :

- les tests d'aptitude effectués en four rotatif avec le lot A correspondent à des granulats de densité en vrac de 0,48 pour des granulométries comprises entre 0 et 8 mm ,
- les mêmes essais entrepris sur le lot B mais en mélange avec 50 % de calcin conduisent à des granulats de densité 0,33 et 0,28 pour des granulométries respectives de (+ 3-8 mm) et (+8-16 mm) ,
- ces valeurs ne marquent pas d'amélioration sensible par rapport aux résultats précédemment acquis (BAUDET-GONY-VAUTRELLE).

Cristallinité %
13
14
12

### TABLEAU 11

Taux de cristallinité des échantillons envoyés le 29.12.77 sous la référence : SGN/MIN - 77/1212 - DF

Température	800°	<b>8</b> 50°	900°C						
Temps	3,5 mn	3,5 mn	3,5 mn	2 mn	4 mn				
Témoin	0,50	0,42	0,36	0,38	0,35				
B + 1,8 % CaCO <sub>3</sub>	1,06	0,85	0,81	0,72	0,87				
B + 2,2 % CaCO <sub>3</sub>	1,01	0,87	0,82	0,69	0,89				
B + 2,7 % CaCO <sub>3</sub>	1,01	0,87	0,82	0,75	0,89				
B + 3,2 % CaCO <sub>3</sub>	1,11	0,93	0,84	0,86	0,97				
* La valeur indiquée s sur 5 granulés.	* La valeur indiquée sur le tableau, et la moyenne des mesures effectuées sur 5 granulés.								

### TABLEAU 12

Essai d'expansion en four électrique avec lot B broyé à 3600 cm²/g Densité apparente des granulés (\*)

#### V. APERCU DU CONTEXTE ECONOMIQUE D'EXPLOITATION .

#### 51. Cadre opératoire .

Un tel schéma de valorisation du verre s'inscrit dans le cadre plus général de l'implantation d'un centre de traitement de résidus d'incinération d'ordures ménagères (selon le procédé BRGM).

Plusieurs hypothèses quantitatives sont donc à envisager, fonction de l'importance du système de traitement concerné : les capacités d'incinération des déchets variant en effet entre 20 000 T et 400 000 t/an, les quantités de mâchefers résiduels correspondantes entre 5700 et 130 000 tonnes.

Il vient, sur la base d'une production de 70 % de scories non magnétiques, pendant traitement des mâchefers (selon procédé BRGM), de 4000 à 91000 tonnes de produits valorisables à prendre en compte annuellement : les estimations économiques suivantes seront donc établies sur ces bases, ainsi que sur un tonnage moyen, correspondant à l'incinération de 200 000 tonnes/an d'ordures ménagères .

#### 52. Présentation des estimations économiques.

Les calculs du coût minimal de mise en oeuvre de ce procédé de valorisation sont présentés dans les tableaux 13 et 14, d'après des hypothèses techniques et financières qui sont indiquées en détail en annexe II.

Il apparaît ainsi que le prix de revient de la tonne de concentré s'élève à 1000 F pour une production de 400 t/an (4000 t/an de scories non magnétiques) et à environ 250 F/tonne pour des productions plus importantes (17 000 t/an et 34 000 t/an de scories non magnétiques traitées).

Compte tenu des coûts supplémentaires de transport, voisin de 10 à 15 F/tonne pour une distance moyenne de 40 km aller-retour par gros porteurs, ces coûts de production ne semblent donc pas suffisamment compétitif par rapport au cours du calcin (190 F/tonne rendu usine).

Quantité	Quantité	Quantité de	Quantité		Frais de fonctionnement			de fonctionnement		e fonctionnement			Coût d'exp	loitation													
d'ordures	de mâchefers	scories issues du	ae scories	Charges	variables		Main	Entre-	des frais de	Charges d'amorti	par tonne issu de la	par tonne															
incinérées	ā traiter	traite- ment mécanique	non pa- rama- gnétiques	Eau	Electri- cité	Total d'oeuvre	Total	d'oeuvre	d'oeuvre	d'oeuvre	d'oeuvre	d'oeuvre	d'oeuvre	d'oeuvre	d'oeuvre	d'oeuvre	d'oeuvre	d'oeuvre	d'oeuvre	d'oeuvre	d'oeuvre	d'oeuvre	tien	fonction- nement	ssement	séparation magnétique	de pré- concentré
t/an	t/an	t/an	t/an	F/t	F/t		F/t			F/t	F/T	F/t															
20 000	5 700	4 000	1 500	5,0	1	6,0	34,6	17,3	55,4	66,6	124,5	464															
215 000	64 400	45 000	17 000	5,0	1	6,0	9,2	2,0	14,7	7,9	25,1	93,6															
430 000	130 000	91 000	34 300	5,0	1	6,0	4,5	1,7	9,7	6,7	18,9	70,5															

.

## Tableau 13

# Estimation minimale des frais d'exploitation et des charges d'amortissement par tonne de préconcentré issu de la séparation magnétique.

Quantité de	Quantité			Frais d	e fonctio	nnement			Charges	Coût d'expi	loitation
scories para-	de		Charges N	/ariables		Main	Entrotion	Total	d'amorti-	ti- de la ts flottation Tota	Total
magnétiques	contentre	Réactifs	Eau	Energie	Tota1	d'oeuvre	LINGTECTER	IUCAI	SSEMETICS		TUCAT
		F/t	F/t	F/t	F/t	F/t	F/t	F/t	F/t	F/t	F/t
1 500	402	37	15,5	40	92,5	390	21,1	503 <b>,6</b>	80,8	584,4	1 048
17 000	4 546	37	15,5	30	82,5	82,5	6,6	171,6	25,3	196,9	290
34 300	9 194	37	15,5	20	72,5	57,6	5,4	135,5	20,9	156,4	227

# <u>Tableau 14</u>

# Estimation minimale du frais d'exploitation et du coût opératoire par tonne de concentré issu de la flottation.

.

#### VI. CONCLUSION.

Cette étude avait un double but :

- préciser et déterminer, à l'échelle pilote, les conditions techniques de valorisation des scories non magnétiques, riches en verre, issues du traitement des résidus urbains incinérés par le procédé BRGM, dans l'éventualité d'un recyclage dans l'industrie des granulats expansés,
- . évaluer les principales données économiques de développement d'un tel procédé en regard des installations d'incinération existantes .

Techniquement, la valorisation est effectuée en deux temps, permettant successivement l'élimination :

- . de la plupart des éléments possèdant un caractère ferromagnétique faible et paramagnétique par passage dans un champ magnétique de haute intensité en voie humide ,
- . des éléments carbonés et des phases de types cristallisés par flottation sélective, puis relavage des concentrés en verre.

Pratiquement, l'utilisation d'une séparatrice magnétique humide de haute intensité de type Rapid BOXMAG et la mise en oeuvre d'un circuit de flottation en continu, ont permis d'étudier les conditions de cette valorisation à une échelle intéressante sur le plan industriel.

Les résultats obtenus lors de la séparation magnétique sont satisfaisants et confirment les valeurs enregistrées pendant les essais d'orientation effectués précédemment (BAUDET-GONY-VAUTRELLE 1976). Le préconcentré résultant présente une teneur en éléments ferreux et alumineux nettement inférieure aus scories tout venantes ( 6,35 contre 2,90 et 8,00 contre 6,35 respectivement).

D'autre part, la flottation des produits issus de la séparation magnétique, quoique décisive pour ce qui concerne l'élimination des éléments carbonés ne semble pas pouvoir fournir un concentré répondant aux contraintes du procédé d'expansion pour les éléments cristallisés : les mesures de taux de cristallinité indiquent des pourcentages voisins de 13 %, et malgré une baisse de rendement significative du verre flotté vis-à-vis des essais précédents (BAUDET-GONY-VAUTRELLE), la qualité du produit n'apparaît pas améliorée (26,8 % contre 40 % en 1976).

Les tests d'aptitude à l'expansion effectués par les laboratoires de BSN, confirment la présence d'éléments réfractaires indésirables; les densités vrac obtenues se situant aux environs de 0,33 pour des granulats de dimensions comprises entre 3 et 8 mm. Quant au prix de revient d'un tel traitement, il semble se situer dans le même ordre de grandeur que le prix actuel du calcin pour des exploitations de capacité importante.

Dans ces conditions, l'utilisation des verres extraits à partir de mâchefers d'incinération paraît difficile en tant que matière première pour granulats expansés de densité très faible. Mais elle reste possible vis-àvis de granulats expansés de densité moyenne et, en fonction des contraintes d'approvisionnement et de transport de ces produits (argiles, schistes), en fonction aussi de l'évolution offre-demande en calcin des verreries, une application industrielle à terme dans ce domaine ne paraît pas cependant être exclue.

#### A N N E X E I

OPTIMISATION DES PARAMETRES DE SEPARATION DANS UN CHAMP MAGNETIQUE DE HAUTE INTENSITE.

L'objet de cette séparation est l'élimination des particules présentant un caractère ferromagnétique et paramagnétique, correspondant vraisemblablement aux fractions de silico-aluminates ferreux, par réduction des teneurs en Fe total, Al203 et, par voie de conséquence, accroissement des pourcentages en Si02 et Na20 (fondant).

1) Caractéristiques de la séparatrice magnétique employée :

- . type d'appareil : BOXMAG Rapid SHW1
- . 1 pôle
- . intensité 20 ampères correspondant à 15000 gauss .
- . vitesse du rotor 0 6 t/minute
- . alimentation en eau : rampe basse pression 0,5 m3:h
- rampe haute pression 3,5 m3:h
- . puissance installée : 4 Kw
- . poids total : 3 tonnes
- . encombrement volumique : 5,1 m3 .
- 2) Optimisation des paramètres de séparation :

Les études déjà entreprises (Laboratoire VDM de Nancy 1974) ont montré que deux paramètres sont déterminant pour la valorisation des scories de traitement. Ce sont :

- . les caractéristiques du champ magnétique,
- . la liberté de déplacement des particules
- (dilution de la pulpe).

L'optimisation de la séparation magnétique a donc été obtenue par étude des évolutions qualitatives du concentré en regard de la variation de ces paramètres .

Les figures 1 et 2 résument les fluctuations des teneurs en fer total et en SiO<sub>2</sub> pour des dilutions de 200, 450 et 600 g/l et pour des vitesses de rotor de 1,8 - 4 et 6 tours/minute. Les rendements en non magnétiques et en mixtes y sont également indiqués.

Seules, les fractions non magnétiques correspondent à un produit suffisamment épuré en fer après traitement (moins de 2,0 %), les teneurs associées aux fractions mixtes restant comprises entre 2 et 4 % en fer total . Par ailleurs, la dilution de 450 g/l semble favoriser le meilleur traitement avec une teneur en fer total voisine de 2,0 % et un rendement poids de non magnétiques supérieur à 30 %





26

g/1

## A N N E X E II

# DONNEES ECONOMIQUES UTILISEES POUR L'ESTIMATION DES COUTS OPERATOIRES .

	Con	sommation en eau	ı	5 m3/t		
eau recyclée eau renouvelée				90 % à 0,2 F/m3 10 % à 1,7 F/m3		
	Cons	sommation énergé	tique			
		électricité		2 Kwh/t à 0,2	2 F/Kwh	
Charges	salariales	:				
	Capacité horaire		2 t/h	8 t/h	16 t/h	
	Tonnage traité (t/an)			45 000	91 000	
	Personnel agent technique		1	1	1	
	Frais (charges sa prises) (B	alariales com /an) .	52 000	156 000	156 000	
Charges	d'investis	sement minimum :				
Capacité Investissement (1		.0 <sup>3</sup> F(ht)	Charges d'amortissement			
t/h	Base	Annexes	Totaux	Totaux (10 (TTC)	) annuités à 10 %)	
	(I1)	(I2)				
	(-1)					
2	260	260	520	611	100	
2 8	260 350	260 350	520 700	611 823	100 134	
2 8 16	260 350 600	260 350 600	520 700 1200	611 823 1411	100 134 230	
2 8 16	260 350 600 Entretien a	260 350 600 annuel 5 % de I1	520 700 1200 + I2	611 823 1411	100 134 230	
2 8 16	260 350 600 Entretien a soit p	260 350 600 annuel 5 % de I <u>1</u> pour 2 t/h	520 700 1200 + 12 26 000	611 823 1411 F/an	100 134 230	
2 8 16	260 350 600 Entretien a soit p	260 350 600 annuel 5 % de I <u>1</u> pour 2 t/h pour 8 t/h pour 16 t/h	520 700 1200 + 12 26 000 35 000 60 000	611 823 1411 F/an F/an F/an .	100 134 230	

<u>Charges variables</u> :									
Consommation en e	Consommation en eau . eau recyclée . eau renouvelée			11,8 m3/tonne entrante					
<ul> <li>eau recyclée</li> <li>eau renouvel</li> </ul>				10,6 m3/tonne à 0,2 F/m3 1,2 m3/tonne à 1,7 F/m3 .					
Consommation éner	gétique mini	imale							
. capacité hor en solide	. capacité horaire en solide			760 kg,	/h 1530	kg/h			
. Consommation	200 Kwl	n/t 1	.50 Kwh,	/t 100	Kwh/t				
Consommation en réactifs : 37 F/tonne de concentré .									
Charges salariales :									
	Capacité ho	oraire	70 kg	g∕h ∶	760 kg/h	1530 kg/h			
Personnel	Agent techr Technicien	nique	1 -		1 1	1 1			
	Frais (char salariales prises) pou 6000 h/an (F/an)	rges com- Ir	156 (	000 :	375 000	530 000			
Charges d'investissement	minimum :								
Capacité horaire	Capacité horaire		7	760 kg/	h 15	30 kg/h			
Investissements	I1 85	000 F (1	HT) 300	000 F	(HT) 500	000 F			
Investissements annexe I2 (100 % de I <u>1</u> )	85	000 F (	HT) 300	000 F	(HT) 500	000			
	170	000 F (1	HT) 600	000 F	(HT) 1000	000			
soit	200	000 F (	TTC) 705	000 F(	TTC) 1180	000 (TTC)			
Charges d'amorti <b>sement /10</b> annui tés à 10 %)	s- (x 0,163) 3	32 500 F,	/an 115	000 F/a	an 192	000 F/an			
Entretien annuel (5 % de I <sub>1</sub> +I <sub>2</sub> )	8 5	500 F/an	30	000 F/i	an 50	000 F/an			
TABLEAU 16 : Récapitulatif des paramètres introduits dans l'évaluation du prix de revient de la tonne de concentré issue de la flottation .									

<u>REFERENCES</u>:

G. BAUDET J.N. GONY C. VAUTRELLE	1976	Etudes des possibilités d'extraction et d'expansion des verres contenus dans les mâchefers d'incinération des ordures mé- nagères de la Ville de Lyon . (Rapport 76 SGN 387 MIN)
Groupement d'Etudes	des Rejets	Extraction des verres de scories : résul-
Urbains Incinérés	1975	tat de l'étude confiée au Centre de re-

.

.

cherches sur la valorisation des minerais (Note SGN/MIN/N° 34).

.