

10/90

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère Délégué aux Universités

Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie Minier

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de fin d'études

Sujet

Possibilités d'obtention d'un sable de
haute qualité à partir du sable siliceux du
gisement de Sidi-Bouali (Wilaya de Chlef)

Proposé par
Dr BOURAHLA

Etudié par
Maître OUBRAHIM Leila

Dirigé par
Dr BOURAHLA

Promotion 1990

NB. Sable Siliceux et non silicieux.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère Délégué aux Universités

Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie Minier

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de fin d'études

Sujet

Possibilités d'obtention d'un sable de
haute qualité à partir du sable siliceux du
gisement de Sidi-Bouali (Wilaya de Chlef)

Proposé par :
Dr BOURAHLA

Etudié par :
Melle OUBRAHIM Leïla

Dirigé par :
Dr BOURAHLA

Promotion 1990

Plan de travail

Introduction	1
Généralités	2
Quelques exigences de qualité de sable siliceux ou quartzeux dans l'industrie du verre	6
Valorisations des sables et grès quartzeux	11
Présentation du sable de Sidi-Bouali	19
Caractéristiques du sable de Sidi-Bouali	21
Techniques d'épuration utilisées	26
Résultats expérimentaux	38
Remarques et discussions des résultats	58
Conclusion	61
Annexes	
Bibliographie	

Remerciements

Au terme de cette étude, je tiens à remercier mon promoteur, Docteur M. Bourahla, pour ses conseils, ses directives, critiques, ainsi que les efforts qu'il a usé à mon égard.

Je remercie les membres du Jury qui ont bien voulu assister, Mr Ait-Yahiaten, Mr Saâda, Mr Djeghlal et Mr Zibouche.

Ma reconnaissance, mes remerciements vont également à Mr Zibouche, professeur à l'E.N.P. et chef de traitement du laboratoire pilote de l'E.R.M. (Boumerdes)

Que l'ensemble du personnel du laboratoire de chimie de l'E.R.M. qui ont ménagé leur efforts à assurer mes analyses, plus particulièrement Mr Ouail, Cherif Abdelouahab, Helal; qu'ils trouvent ici mes vifs remerciements.

et à toute personne qui a contribué de près ou de loin pour m'aider à mener à bien ce travail.

Dédicaces



Je dédie ce modeste travail à :

Mes parents

Mes frères et soeurs

Mes amis

A Soumia

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Chapitre I:

Généralités

Introduction

L'Algérie possède des gisements importants de sable siliceux et grès quartzeux, seuls ceux de Sidi Bouali (Chlef), d'El Aouana (Jijel) ont fait objet ces dernières d'une étude de valorisation suivie d'une exploitation.

Les grès quartzeux d'El Aouana est exploité par l'E.N.A.V.A. et consommé dans l'unité pare-brise de Taher (Jijel).

Le sable siliceux de Sidi Bouali est exploité pour les besoins des céramistes et des fonderies de Tiaret et Berrouaghia principalement et de quelques verreries privées. Ce sable subit jusqu'à ce jour un simple débourbage. L'étude de valorisation conduite par ENOF "Entreprise nationale des métaux non ferreux et des substances utiles" a défini les installations nécessaires pour obtenir une gamme de produits dont la meilleure qualité correspond au sable dont la teneur en Fe_2O_3 peut atteindre 0,05%. En vue de pousser le plus loin possible le degré de pureté du sable pour des besoins plus nobles, notamment dans le domaine du verre, nous avons engagé dans le cadre de ce travail la séparation du sable clair en sable gris foncé et sable blanc.

Les besoins à court terme en sable de verrerie basés sur les différents projets des EPE et entreprises privées sont estimées à 250.000 t/an.

Généralités

L'écorce terrestre est constituée d'un assemblage de différents minéraux dont le minéral le plus répandu est la silice sous forme de quartz ou sable siliceux de formule chimique SiO_2 [1].

Deux hypothèses sont émises pour la détermination de l'origine de la silice [2] :

- La première hypothèse explique la formation de la silice par lessivage des continents, suivi d'une décomposition des silicates, libérant ainsi de la silice en solution.

Les conditions tropicales humides sont particulièrement favorables à ce processus.

- La deuxième hypothèse avance l'idée des venues d'énormes masses de la silice par l'activité volcanique.

Les conditions de l'activité mécanique des sols notamment, celles de la température, de la pression et de la nature du milieu ont donné naissance à travers les âges, à une gamme de formes minérales de la silice, nous distinguons principalement une forme massique (les grès quartzeux ou quartz) et les sables siliceux.

Le sable est une roche sédimentaire, meuble, non cimentée, composée de minéraux de formes et de tailles différentes [3].

Les grès ne sont que des sables enrobés dans un ciment [4]. Les sables et les grès quartzeux sont exploités à grande échelle dans le monde; ils sont utilisés dans plusieurs domaines de l'activité industrielle en particulier dans les ~~réactions~~ suivantes :

applications

- le bâtiment consommateur de bétons, mortiers et de briques silico-calcaire où le sable joue un rôle important.
- l'industrie du verre (composant principal, la silice représente 68 à 70 % des bains fondus servant à la fabrication du verre [5]).
- les industries céramiques, le sable entre dans la composition de la pâte et de l'émail.
- l'industrie des abrasifs
- la sidérurgie, le sable est adjuvant pour la formation des scories)
- le traitement des eaux,
- l'industrie électronique.

Le silicium, Si, extrait de la silice SiO_2 trouve des applications dans l'industrie de l'électronique, piles voltaïque et métallurgique (alliages) etc...

Chaque domaine d'utilisation exige une qualité de quartz ou de sable bien déterminée, cette qualité est liée aux propriétés physiques et à la composition chimique et minérale ainsi qu'à la nature des minéraux présents.

Les caractéristiques auxquelles on fait appel le plus souvent sont [3] :

- a) teneur de la silice
- b) composition minérale
- c) tranches granulométriques

a/ teneur de la silice

Généralement, les sables utilisés doivent contenir au moins 98,5 % de silice, cependant elle peut-être réduite dans certains cas [3].

b/ teneur des impuretés minérales

Les minéraux chromophores particulièrement l'oxyde de fer, titane et de chrome sont responsables de la coloration du verre et des céramiques et donc de la qualité.

Les teneurs de ces impuretés sont limitées par les utilisateurs. Les minéraux lourds réfractaires Zircon, iléménite etc...ne sont pas admis à cause de leur température de fusion élevée.

Leur teneurs doivent être très faibles pour la fabrication du verre. Les carbonates à cause des dégagements gazeux ne sont acceptés que par les fonderies qu'à une très faible teneur, il en est de même pour les corps organiques [5,6].

c/ Tranches granulométriques

Dans les industries verrières, les tranches granulométriques généralement admises selon le processus de fabrication se situe entre :

- + 0,1 - 0,8 mm
- + 0,1 - 0,6 mm
- + 0,1 - 0,5 mm
- + 0,2 - 0,6 mm

On rebute les tranches granulométriques trop grenues (0,8 mm) parce qu'elles s'incorporent trop lentement à la phase fondue, pouvant également rester non fondue en masse vitreuse; les inférieurs à 0,1 mm fondent en premier lieu et par conséquent consomment une grande quantité de fondant (feldspaths, dolomies,...) et étant des particules trop fines, elles provoquent de la poussière lors de leur manipulation et leur introduction dans le four, dont les

Chapitre II.

Quelques exigences de qualité de
sable siliceux et grès quartzeux
dans l'industrie du verre

briques réfractaires subissent alors des altérations physiques en présence de produits fins tels que la dolomie et feldspaths, adjuvants du mélange et jouant le rôle de fondant.

Les fonderies exigent une gamme de tranches granulométriques selon la matière coulée (acier ou fonte) et la technique pratiquée (noyautage).

Les tranches 0,16 - 0,24 mm, 0,18 - 0,24 mm sont les plus utilisées [5,7,6].

Quelques exigences de qualité de sable siliceux ou quartzeux dans l'industrie du verre

Les exigences dépendent en premier lieu des qualités du verre à élaborer et de son utilisation.

La pureté et la nature de l'ensemble des composantes du verre et le processus de fabrication jouent un grand rôle dans la qualité du verre fabriqué.

Plusieurs pays se sont fixés des normes relatives aux caractéristiques physiques et chimiques des composants du verre selon la qualité et l'utilisation de ce dernier.

A titre indicatif, nous présentons dans les tableaux 1 [8] et 2 [19] quelques exigences de quelques pays et dans le tableau 3 la norme pour le sable de verrerie d'après P. Blazy pour le verre de qualité.

Nous donnons ci dessous deux exemples de composition chimique du verre.

1^{er} exemple :

Composition chimique moyenne du verre usuel [10] indiqué dans le tableau 4.

2^{ème} exemple :

Composition chimique des verres blancs, mi-blancs, laine de verre [10] indiqué dans le tableau 5.

Exigences techniques

Groupe	Article en verre	Composition chimique en % matière sèche			
		SiO ₂ Min	Fe ₂ O ₃ max	TiO ₂ max	Cr ₂ O ₃ max
Verre de construction architecture	Verre plat vitren blocs en verre laminés	98,5-99	0,05	0,03	0,002
Verre technique	verre plat laminé poli, à miroir pour vitrines hublots	99-99,3	0,03	0,02	0,001
Verre optique	lentilles prismes, verre quartzeux à lunettes	99,5-99,8	01-0,01 - 0,015	0,01 - 0,015	0,001 -
Verre pour accessoires électriques	phares verre à horloge	99 - 99,5	0,02		
Verre radio technique électronique	ustensiles verre labo				
Verre médecine	ustensiles pharmaceutique	99	0,06		
verre emballage	emballage de conserve de qualité élevée			0,01	0,001
verre parfumerie	ustensile de qualité élevée flacon parfum		0,05		
verre ménage	ustensiles en cristal, de qualité, ordinaires	99,8 99-99,5	0,01		

Tableau N° 1

Tableau n° 3

Norme pour sable de verreries d'après P. Blazy

Composants	Teneur %
SiO ₂ Min	99,7
Fe ₂ O ₃ Max	0,025
Al ₂ O ₃ Max	0,2
Ca + MgO Max	0,09
Na ₂ + K ₂ O Max	0,01

Tableau n°2

Norme d'Angleterre
BS 2975

	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	TiO ₂
Verre clair	-	0,008	0,0002	-
Catégorie A optique	99,6	-	-	0,03
Catégorie B décoratif	99,5	0,013		
Catégorie C verre creux	98,5	0,03		

Tableau n°4

Composants	teneur %
SiO ₂	70 - 13
CaO	8 - 13
Na ₂ O ou K ₂ O ou *	13 - 16
MgO	0 - 4
Al ₂ O ₃	0,2 - 2
Fe ₂ O ₃	0 - 2

* : Feldspaths bialcalin

Tableau n°5

T E N E U R E N %			
Composant	Verre blanc	Verre mi-blancs	laine de verre
SiO ₂	99	> 98,5	> 98 %
Fe ₂ O ₃	< 0,03	< 0,2	< 0,3 %
Cr ₂ O ₃	3.10 ⁻⁴	< 0,005	-
Al ₂ O ₃	< 1	-	-

Remarque

Les normes varient d'un pays à l'autre en fonction de la disponibilité ou non sur leur sol des matières de leur qualités et du processus de fabrication.

D'une manière générale, ces variations comportent des écarts faibles selon la nature de l'impureté considérée.

Valorisations des sables et
grès quartzeux

Valorisation des sables et grès quartzeux

1 - Etude préliminaire

Avant d'effectuer le traitement proprement dit, il est nécessaire de bien connaître la qualité minérale à valoriser par les analyses suivantes [6] :

- a) Analyse chimique
- b) Analyse granulométrique
- c) Analyse minéralogique et pétrographique
- d) Analyse gravimétrique (fraction lourde et légère)
- e) Analyse thermogravimétrique

a/ Analyse chimique

L'analyse chimique détermine la composition du produit brut. Elle nous permet de situer son degré de pureté et nous renseigne sur la nature de ses impuretés.

Cette analyse va nous guider dans la voie à suivre pour le traitement de valorisation.

b/ Analyse granulométrique

Elle permet de connaître la répartition de l'élément SiO_2 et celle des impuretés dans les classes granulométriques exigées par les utilisateurs.

Cette analyse nous renseigne sur l'éventualité d'obtenir une amélioration de la qualité par un simple criblage suivi ou non d'un lavage.

c/ Analyse minéralogique et pétrographique

L'analyse minéralogique et pétrographique détermine la nature des minéraux présents, leur répartition spatiale sur les grains de silice, leur taille et leur teneur ainsi que leur degré de dissémination. Les résultats de cette analyse permettent d'entrevoir les différents procédés susceptibles d'être retenus pour l'élimination des impuretés [5].

d/ Analyse gravimétrique

Elle permet de quantifier pour une densité d'un milieu donné la fraction des minéraux lourds.

e/ Analyse thermogravimétrique

La présence de carbonates et des corps organiques est mise en évidence par analyse thermogravimétrique et analyse chimique.

2 - Technique utilisées pour l'épuration

Il existe différents procédés d'épuration, le choix du procédé dépend de la nature des impuretés, de leur teneur et de la forme sous laquelle elles se présentent (grains libres, inclusions dans la maille cristalline du quartz ou pellicules collées à la surface) [5].

Nous citons ci-dessous les procédés les plus répandus et économiquement fiables et viables :

2.1 - Lavage

2.1.1 - Débourbage

Le débourbage comme son nom l'indique permet le délitage des mottes de terres.

Les appareils utilisés sont :

Le débourbeur, tambour rotatif muni à l'intérieur de chicanes.

2.1.2 - Deschlammage

L'hydrocyclone, le classificateur à vis ou la roue à aubes sont des machines utilisées pour l'élimination des boues contenues dans la pulpe sableuse.

Le principe repose soit sur un simple criblage où la maille varie de 20 à 100 μ , soit sur la différence de densité ou le poids spécifique des solides et des liquides.

Cette opération correspond à un lavage simple.

2.1.3 - Lavage avec malaxage (attrition)

Le lavage avec malaxage est un lavage énergique qui permet l'élimination des impuretés par décapage mécanique des grains de quartz, suivi d'un deschlammage (élimination des boues produites en solution) [5].

L'appareil utilisé est une cellule d'attrition.

2.1.4 - Lavage lixiviant

Il permet de dissoudre les impuretés de surface de cavités et fissures des grains de quartz. une cellule d'attrition peut être utilisée à cet fin.

2.2 - Principe de gravité

Principe de gravité est utilisé pour séparer des constituants ayant des densités différentes.

On utilise comme appareils des tables à secousses, des hydrocyclones, des spirales humphreys etc...

2.3 - Procédé électrostatique

Le principe d'enrichissement par procédé électrostatique est basé sur l'exploitation des propriétés électriques des constituants d'un mélange, ainsi on sépare des minéraux conducteurs des non conducteurs [6].

2.4 - Procédé électromagnétique [11,12]

La séparation électromagnétique peut s'effectuer par :

- voie sèche ou
- voie humide

L'emploi de l'une ou de l'autre dépend entre autre de la granulométrie du minerai, des facteurs économiques et des contraintes particulières comme celles de la disponibilité en eau.

- L'utilisation de la voie sèche nécessite un séchage du minerai, le dépoussiérage etc...
- L'utilisation de la voie humide nécessite l'égouttage des produits obtenus, le pompage de la pulpe, le séchage à l'air ou dans un four sécheur pour l'ensachage final.

Principes de séparation

Le sable brut peut contenir des impuretés fortement magnétiques (susceptibilité magnétique élevée) ou faiblement magnétique (susceptibilité magnétique basse).

Les premières impuretés sont séparables dans un champ à faible intensité et les secondes sont séparables dans un champ magnétique haute intensité. Ces impuretés, placées dans un champ magnétique B se trouvent soumises à des forces résultantes qui sont responsables de leur séparation du sable non magnétique.

2.5 - Procédé par flottation

Principe [13]

Le procédé consiste à insuffler des bulles d'air à travers une pulpe, les particules hydrophobes adhèrent aux bulles d'air qui les portent à la surface de la pulpe en présence de mousse et se concentrent dans cette surface d'où elles sont récupérées par un procédé mécanique, par contre les particules hydrophiles entourées d'un film d'eau fortement adsorbées demeurent dans la pulpe.

En général, dans la nature, les particules ne sont pas hydrophobes, pour qu'elles le soient et qu'il y ait facilité

de flottation, l'apport des substances chimiques (agents de flottation) est indispensable. Ces agents se divisent généralement en 5 groupes :

- collecteurs
- déprimants
- activants
- les moussants
- régulateurs du milieu

Collecteurs

Les agents collecteurs permettent de rendre hydrophobes les surfaces minérales à séparer et faciliter leur fixation aux bulles d'air. On distingue deux groupes de collecteurs :

- collecteurs anioniques
- collecteurs cationiques

Déprimants

Il constitue le moyen le plus approprié pour obtenir une flottation maximale et sélective dans la séparation des minerais aux caractéristiques physico-chimiques très proches. L'action déprimante est due à la formation d'une monocouche hydrophile autour du minéral.

Activants

Ce sont des produits chimiques non organiques, on les utilise dans deux cas distincts :

- par suite d'une flottation sélective, les minéraux préalablement déprimés, doivent retrouver leurs propriétés initiales,
- il existe des minéraux dont les propriétés physico-chimiques sont insuffisamment prononcées pour permettre la réaction avec les collecteurs. Les activants ont pour rôle de conférer à ces minéraux les propriétés qui permettent la réaction d'absorption avec les ions collecteurs. Ils forment avec les minéraux des composés susceptibles de réagir avec les collecteurs.

Moussants

Ce sont également des agents chimiques qui agissent entre les phases liquides et gazeuses. Et ont pour rôle de stabiliser les bulles d'air en diminuant la tension superficielle à l'interphase eau/gaz.

Régulateurs de milieu [13,14], sont de deux sortes :

- Il est presque toujours nécessaire d'ajuster le pH de la phase pour assurer une action optimale de ces collecteurs. La valeur du pH du milieu détermine l'action de chaque réactif utilisé pour la flottation d'un minerai donné. Certains agents de flottation sont actifs sous leurs forme ionique, alors que d'autres sous leur forme moléculaire.

La dissociation de ces réactifs sous leur forme ionique ou moléculaire est déterminée par la valeur du pH. Dans le but d'obtenir la valeur recherchée, on utilise : des acides, des bases ou des sels.

- La présence de fines particules (schlamms) peut également gêner considérablement le processus. L'action nocive des schlamms sur la flottation peut s'expliquer par l'absorption de quantités élevées de collecteurs spécifiques. Il est établi également que les schlamms se déposent sur les minéraux et les recouvrent d'une couche hydrophile. Pour lutter contre les schlamms on utilise des réactifs régulateurs peptisants dont le rôle consiste à éviter la formation d'agrégats de ces particules fines.

2.6 - Procédés combinés

La combinaison des différents procédés cités précédemment peut améliorer dans certains cas l'efficacité de l'épuration.

Chapitre I :

Présentation du sable de
Sidi-Bouali

II - Présentation du sable de Sidi Bouali

1 - Situation géographique du gisement [16]

Le gisement de Sidi Bouali est situé à 13 Km au Nord de Chlef, la station des chemins de fer la plus proche est à 15 Km et le port le plus proche est à 35 Km (Port de Ténés). Le gisement est relié avec le port et la station par une route goudronnée.

A 10 Km, au sud du gisement passe l'oued Chelif.

2 - Quelques aspects descriptifs du gisement [15]

Le gisement est localisé dans les limites d'une cellule exprimée en relief et bornée au NO et NE par deux oueds bien profonds à sec.

La dénivellation relative de la surface y atteint 80 m, cette surface suit la pente générale qui descend du NO à SO. Il se situe dans une région agricole appelée domaine Haouch El Ghaba de formation sédimentaire.

3 - Structure géologique du gisement [15]

a/ Mur de l'assise sablonneuse

Le mur de l'assise sablonneuse est formée par des grès, affluant en surface affleurant au NW du gisement) : grès, gris jaunâtre et brun jaunâtre à grains très durs et compacts datés du pliocène, leur datation a été faite par la présence de débris de coquilles

b/ Toît de l'assise sablonneuse

Les sables sont recouverts par :

- des dépôts du niveau inférieur du villafranchien (Vb) présenté par une assise d'argile calcaire-compacte de différentes teintes grises comportant une partie inférieure formée par des argiles lignitisées gris foncées et noires et d'une partie supérieure, où on note des intercalations de sable gris et gris jaunâtre.

- et des dépôts du quaternaire, présenté par des argiles gréseuses à petits débris de calcaires argileux qui sont développés dans la quasi totalité du territoire.

c/ Assise sablonneuse [15]

Formée par des sables d'origine marines, datés du pliocène, ces sables ont été classé en 3 variétés (clair, jaunes et bruns), séparés par des intercallations argileuses.

La coloration est due principalement à la quantité d'hydroxyde de fer et de la matière argileuse qu'ils contiennent.

4 - Réserves [16]

Les réserves exploitables sont estimées à 9898 000 T qui se répartissent comme suit :

- sables blancs ^{et} ~~ou~~ gris : 3 554 000 T soit 36 %
- sables jaunes : 3 907 000 T soit 39,5 %
- sables bruns : 2 429 000 T soit 24,5 %

Caractéristiques du sable de
Sidi-Bouali

- Caractéristiques du sable de Sidi Bouali

1 - Caractéristiques des sables jaune, clair et brun [16]

Parmi les trois qualités classées de (sable jaune, clair et blanc), les deux premières représentent les plus grandes réserves du gisement. Du point de vue qualité du sable brut, celle du sable clair étant la meilleure, après traitement il donne une qualité utilisée dans la fabrication du verre de bonne qualité.

1.1 - Caractéristiques géologique : [16]

a) Sable jaune :

La couche du sable jaune puissante de 5 à 8 m, présente quelques espaces de couleur verte, constitués de bande d'argiles très plastiques colorées partiellement en noir par des substances organiques.

La puissance de bande d'argile peut atteindre 1 m. La photo N° 1 de l'annexe I présente le front d'exploitation de ce sable avec des plages plus foncées.

b) Sable clair :

La couche du sable clair avec puissance de 5 à 7 m est plus homogène que la couche jaune, et présente aussi des intercalations de sable jaune de faible puissance.

La photo N° 2 de l'annexe I, présente le front d'exploitation de ce sable, nous remarquerons la présence de plages de sable blanc et de sable gris dans les zones dites clair, mentionnée dans l'introduction.

c) Sable brun :

Le sable brun est de couleur très foncée et fortement argileux. Sa teneur en Al_2O_3 et Fe_2O_3 est la plus élevée.

1.2 - Caractéristiques minéralogiques : [16]

L'analyse minéralogique faite sur les fractions lourde et légère a donné la composition moyenne des sables du gisement suivante :

a) Fraction légère :

La fraction légère représente 99,9% de la masse totale, constituée principalement par le quartz à 99% associés à des grains de feldspath, carbonates, hydromicas...

La plupart des grains de quartz aux formes arrondies et subarrondies sont recouverts d'une pellicule d'hydroxyde de fer et présentent des micro-fissures remplies d'hydroxydes de fer.

b) Fraction lourde :

La fraction lourde représente 0,1% de la masse totale, composée, dans sa majorité en minéraux, faiblement magnétiques, parmi lesquels on peut citer : Zircon, tourmaline, rutile, ilmenite, etc...

1.3 - Composition chimique : [17]

L'analyse chimique des trois qualités est donnée dans le tableau N° 6 de l'annexe II.

2 - Caractéristiques du sable gris

Le sable gris, objet de ce travail, se trouve dans la couche claire (gris, blanc), qui peut être exploité séparément du sable blanc.

2.1 - Composition minéralogique :

L'observation au microscope binoculaire nous a montré que ce sable est constitué principalement de grains de silice de couleur transparente, et laiteuse de formes arrondies et subarrondies; certains grains présentent des micro-fissures remplies d'hydroxydes de fer et d'autres impuretés, associés à des feldspaths (amphiboles et pyroxène ...)

La plupart des grains de silice sont recouverts par des pellicules ferrugineuses.

2.2 - Caractéristiques granulométriques :

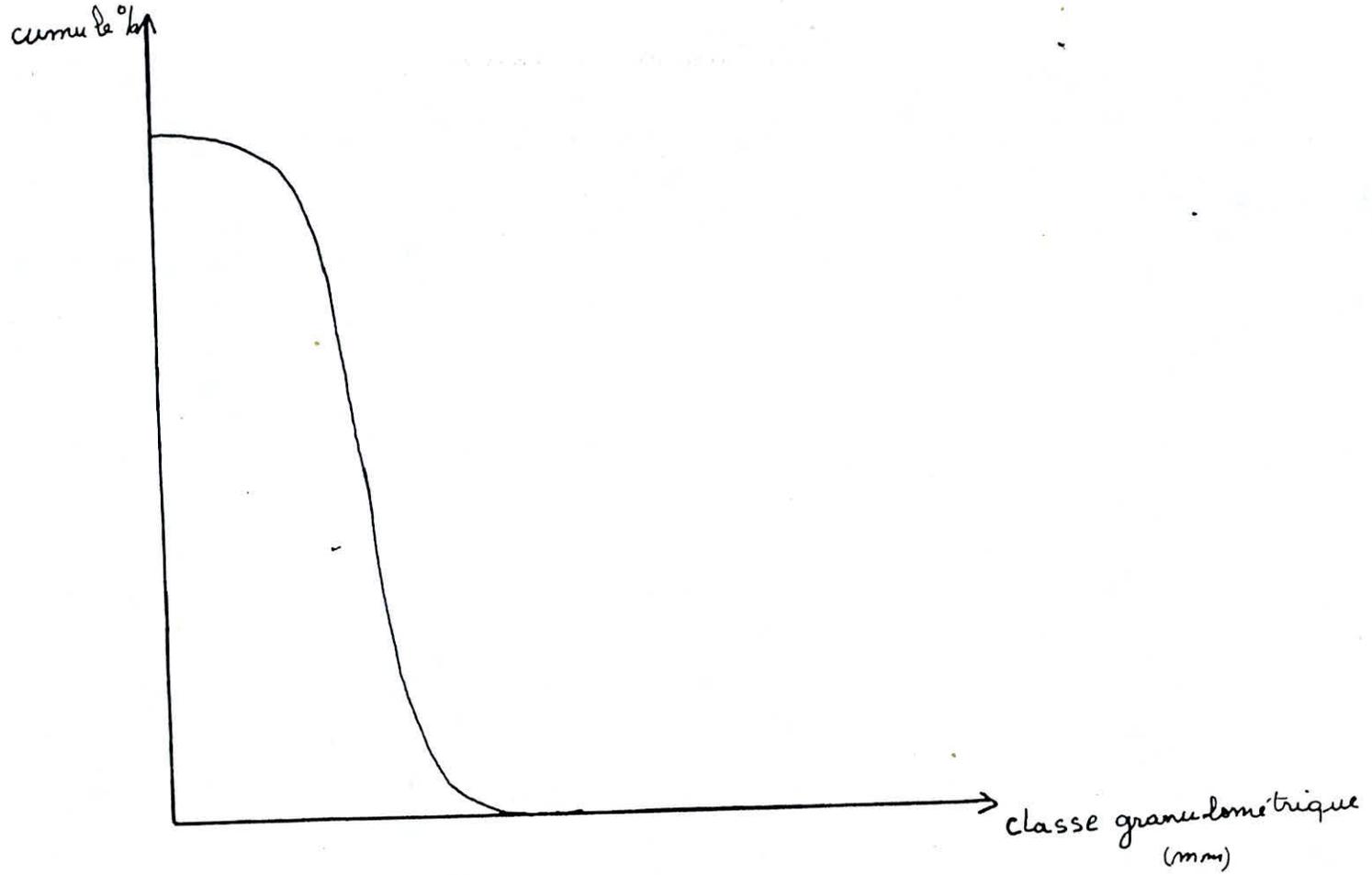
Compte tenu des exigences granulométriques imposées par les utilisateurs, notamment les fonderies et verreries, nous avons effectué l'analyse granulométrique dont les résultats figurent dans le tableau N° 7 et illustré par l'allure de la courbe de la figure N° 1.

Cette analyse permet d'évaluer le rendement pondéral des tranches granulométriques marchandes que nous soumettons au traitement et aux analyses nécessaires dans le cadre de ce travail qui concernera la qualité verrière des sables.

Tableau N° 7 :

Classe granulométrique	Poids du refus	refus %	cumul %	passant
+ 0,8	0	0	0	100
- 0,8 + 0,6	0,7	0,33	0,33	99,67
- 0,6 + 0,5	1,5	0,70	1,03	98,97
- 0,5 + 0,4	11,6	5,42	6,45	93,55
- 0,4 + 0,3	95,6	44,68	51,13	48,87
- 0,3 + 0,2	69,5	32,48	83,61	16,39
- 0,2 + 0,1	32,3	15,09	98,7	1,30
- 0,1	2,8	1,3	100	0

24 Bis



Analyse granulométrique

FIG N° 1

CHAPITRE III

Partie Expérimentale

Chapitre 1 :

Techniques d'épuration utilisées

2.3 - Composition chimique :

L'analyse chimique du sable gris du tout venant a donné les résultats portés dans le tableau suivant :

Composant	Teneur %
SiO ₂	96,26
Al ₂ O ₃	1,96
Fe ₂ O ₃	1,13
P ₂ O ₅	< 0,05
TiO ₂	0,09
CaO	0,09
MgO	0,06
Na ₂ O	< 0,05
K ₂ O	0,12
PAF	0,21
MnOP	< 0,05

Dans la suite de ce travail, nous nous bornerons à suivre l'évolution de l'épuration du sable par l'analyse chimique principalement celle du Fe₂O₃ et SiO₂, critères important qui nous renseignent le mieux sur l'aptitude du sable traité à être utilisé dans l'industrie du verre et d'évaluer la qualité. L'analyse complète sera effectuée sur les échantillons traités.

Les résultats seront portés dans les tableaux suivants. 10, 11, 14, 15
en annexe II

7 - Techniques d'épuration utilisées

D'après l'analyse chimique et minéralogique du sable gris de Sidi Bouali, nous avons proposé le schéma de traitement illustré par le diagramme N° 1

1 - Moyens matériels utilisés et réactifs

1.1 - Pour le débouillage :

- Bidons,
- Sceaux,
- Agitateur (bâton),
- Eau (du robinet).

1.2 - Classification :

- Un vibro-tamiseur,
- Tamis de 0,6 mm, 0,5 mm, 0,1 mm,
- Eau (du robinet).

1.3 Attrition :

- Cellule de flottation,
 - marque : DENVER,
 - forme : cubique,
 - volume : 2 l.
- Eau (du robinet).

1.4 - Séchage :

- Etuve.

1.5 - Séparation électromagnétique à sec à haute intensité :

- Deux séparateurs :

a) Séparateurs de l'E.N.P.

- marque : 138TC M (Soviétique)
- Schéma de l'appareil : voir dessin n°2.

b) Séparateur de l'E.R.E.M. (Boumerdes)

- marque : carpco (USA)
- Schéma de l'appareil : voir dessin n°1

1.6 - Flottation :

- Cellule de flottation

- marque : DENVER,
- forme de la cellule : cubique
- volume : 2 l

- Eau

- Réactifs :

- Réactifs de la flottation variante a :

- Déprimant : Na_2SiO_3
- Collecteur : acide oléique + kérosène
- Moussant : savon ISIS
- Régulateur du milieu : $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{NaOH}$
- Activant : $\text{NaF} + \text{H}_2\text{SO}_4$

- Réactifs de la flottation variante b :

- Déprimant : Na_2SiO_3

- Collecteur : aeropromotor 840

- Moussant : aerofroth 65

- pH-mètre.

1.7 - Lavage acide :

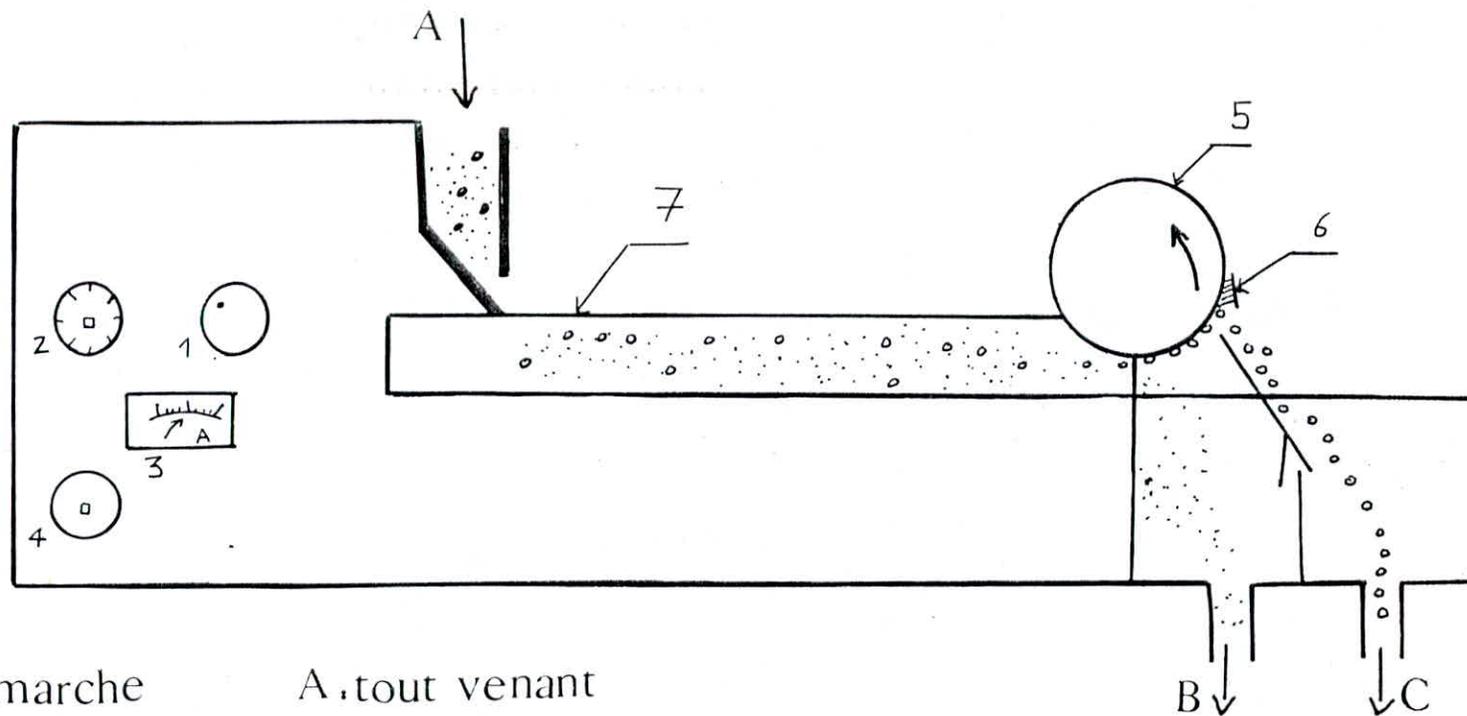
- Bécher

- Acide chlorhydrique (HCl)

1.8 - Coupure des tranches granulométriques

- Tamis : 0,2 mm

- Tamiseur.

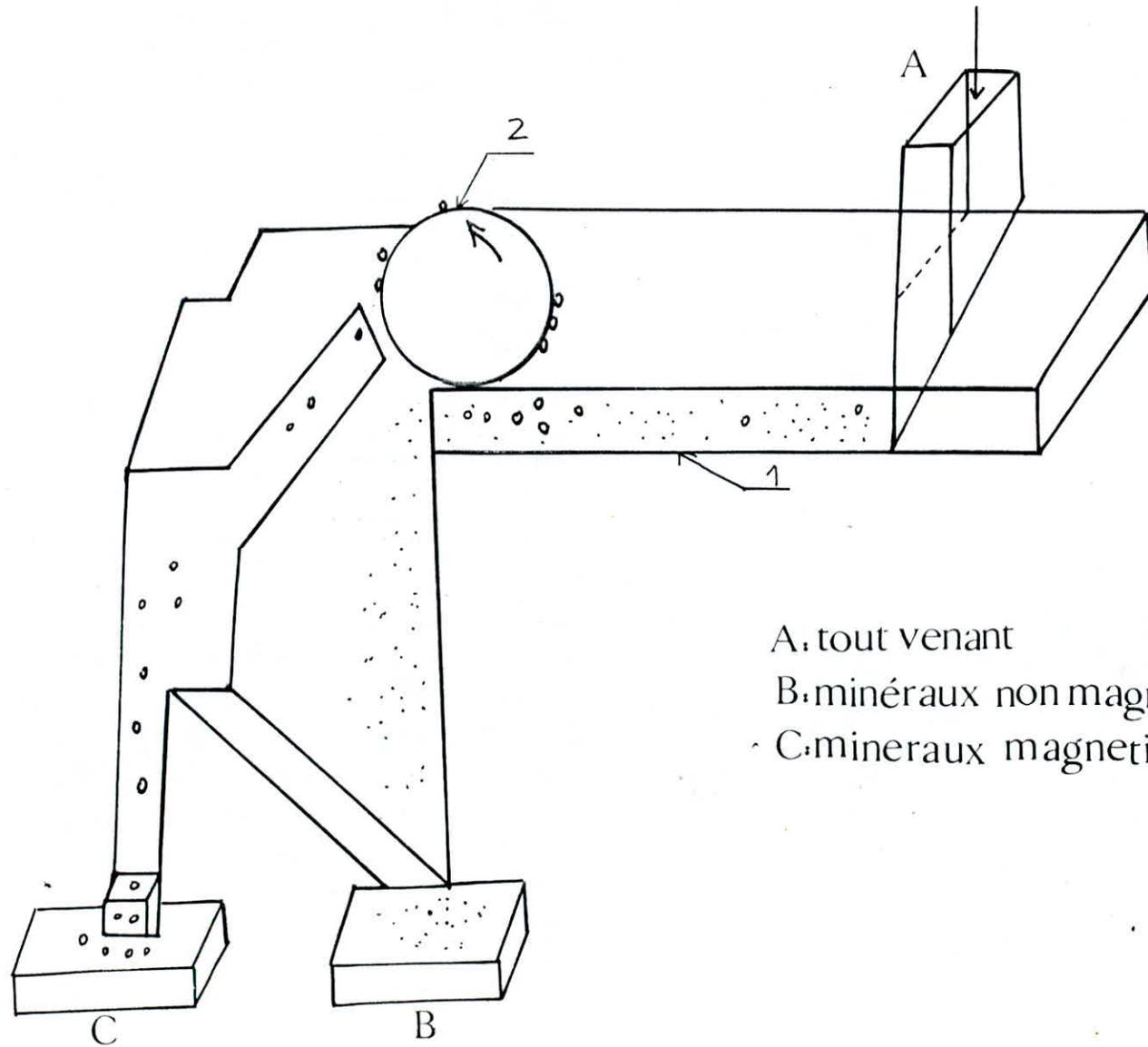


- 1 bouton arrêt - marche
- 2 commutateur de vitesse
- 3 cadran d'intensité
- 4 commutateur d'intensité
- 5 rotor induit
- 6 brosse
- 7 tapis vibrant

A : tout venant
 B : minéraux non magnétiques
 C : minéraux magnétiques

DESSIN N°1

1 tapis vibrant
2 rotor



A: tout venant
B: minéraux non magnétiques
C: minéraux magnétiques

DESSIN N°2

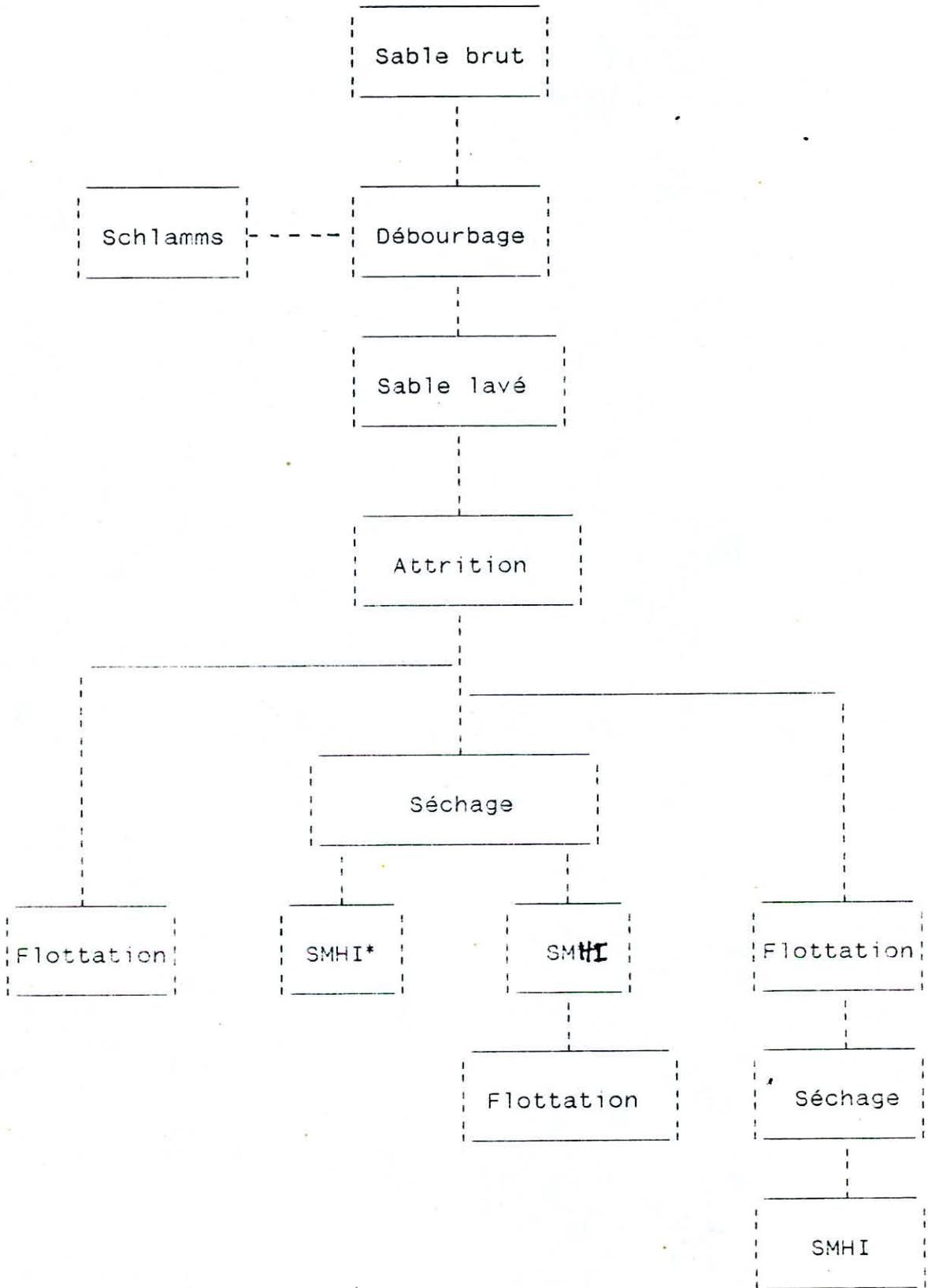


Diagramme n° 1

(*) : SMHI, séchage à sec à haute intensité.

(**) : ~~SM, séparation magnétique.~~

2 - Conditions opératoires

2.1 - Débourbage :

Le lavage a été effectué dans des seaux remplis au 1/4 de son volume en sable et auquel nous avons ajouté des quantités d'eau successives jusqu'à occuper les 2/3 du volume; un bâtonnet en bois a servi d'agitateur manuel.

L'eau trouble chargée de fines après agitation a été évacuée en inclinant le seau.

Cette opération a été répétée plusieurs fois jusqu'à l'obtention d'une eau claire.

La consommation a été de 10 m³/t; cette consommation est plus élevée que dans l'installation industrielle et ne peut être prise en considération dans un calcul de bilan réel.

2.2 - Classification granulométrique :

Les tranches granulométriques 0,1 - 0,6 mm et 0,1 - 0,5 mm choisies répondent aux exigences des utilisateurs verriers, et permettent d'en connaître le degré de pureté.

La classification a été effectuée par voie humide, afin de parfaire le lavage et permet l'entraînement du sable à travers les tamis.

2.3 - Attrition :

Nous avons effectué cette opération sur une pulpe de 60 à 70% de solide avec une durée de 5'.

Nous avons procédé sur chaque tranche granulométrique à une double attrition de 5' avec élimination par tamisage humide après chaque attrition, de la fraction fine (< 0,1 mm)

produite.

Afin de mieux étudier l'influence du recyclage sur la qualité du produit, nous avons effectué une triple attrition de 5' dans les mêmes conditions pour chaque tranche granulométrique pesant 2 Kg chacune.

Le diagramme N° 2 résume les opérations de cette phase de traitement.

2.4 - Séchage :

L'opération du séchage a été effectuée dans les conditions suivantes :

- Température : 180 °C
- Temps : 6 h

2.5 - Séparation électromagnétique à sec à haute intensité :

Nous avons utilisé la voie sèche par souci de réduire la consommation en eau, et d'autre part les essais effectués par voie humide n'ont pas montré une efficacité meilleure que celle obtenue à sec. [7].

Nous avons procédé à un premier essai dans le laboratoire de l'école nationale polytechnique avec un séparateur de fabrication soviétique avec les conditions opératoires suivantes :

- Intensité : 7,5 A (12.000 Gauss)
- Débit : 4 Kg/h

L'élimination des minéraux magnétiques a demandé 16 passages, ce qui nous a poussé à effectuer un second essai dans le laboratoire de l'E.R.E.M. (Boumerdes) dans le séparateur de fabrication américaine et de marque carpco avec les conditions opératoires suivantes :

- Intensité : 2,5 A
- Débit : 0,75 Kg/h
- Vitesse : 15 tr/mn

L'élimination des minéraux magnétiques n'a exigée qu'un seul passage, le second passage n'a pratiquement rien éliminée.

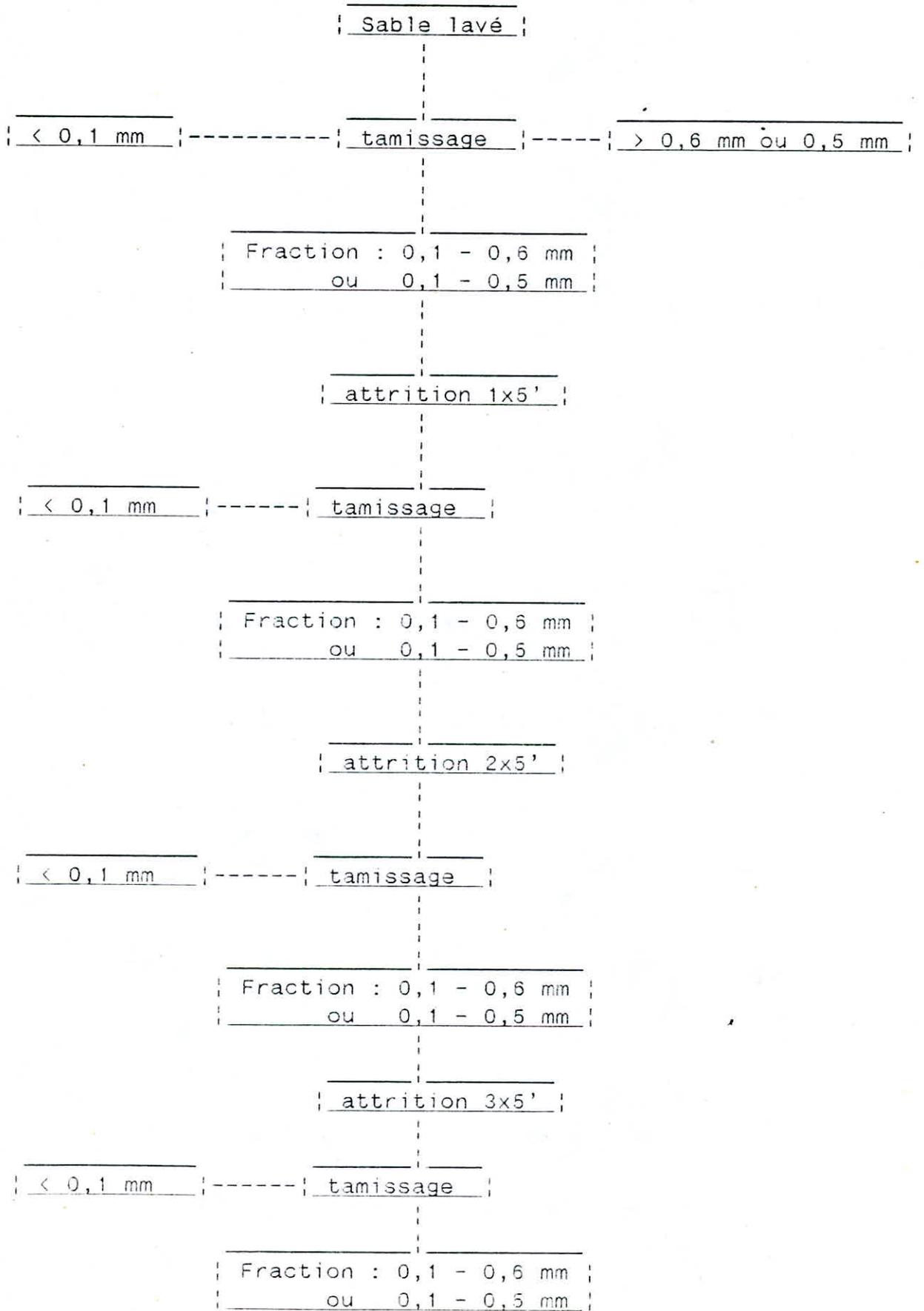


Diagramme N° 2

Par suite, nous avons utilisé le séparateur carpco dans la suite de nos travaux.

2.6 - Flottation :

Essais orientatifs

Nous avons utilisé la méthode de flottation inverse qui consiste à faire flotter la gangue constituée dans notre cas, surtout de minéraux lourds et laisser le concentré (SiO₂) dans la cellule de flottation.

2.6.1 - Mode opératoire :

Essais orientatifs

Nous avons retenu deux variantes de flottation variante a et b dans le but d'avoir des éléments de comparaison.

Variante a (pH 6 - 6,5)

Nous avons réalisé les essais sur une pulpe de rapport solide / liquide = 1/1, le temps de conditionnement du mélange (solide, liquide) est de 3 mn, la prise d'essai est de 250 g de sable lavé, le pH a été maintenu à 6 - 6,5. Toutes les séries d'opération de flottation ont été effectuées en circuit ouvert avec une durée de flottation de 10 minutes.

1er essai : F1

Les conditions de travail de cet essai sont portés dans le tableau N° 8.

Une seule flottation principale

Produits	Conditionnement	Quantité g/t	Quantité l/t	Concentration
NaF+	2 '	2400	-	
H ₂ SO ₄		-	-	20
Na ₂ SiO ₃	5 '	500	-	6
Acide oléique +	5 '	640	-	
Kérosène		-	16	
ISIS	5 '	-	12	

Tableau N° 8

2ème essai : F2

Cet essai a été accompli avec les mêmes conditions que celles de F1 à l'exception de la quantité d'acide oléique utilisée qui est de 800 g/t au lieu de 640 g/t

3ème essai : F3

Nous avons également effectué cet essai avec les mêmes conditions que celle de F1, mais avec une quantité d'acide oléique de 320 g/t seulement.

Nous avons évalué visuellement la quantité des minéraux flottés pour chaque essai et nous avons constaté que la quantité la plus importante de minéraux lourds flottés est celle de l'essai F2, par conséquent, nous avons retenu les conditions de l'essai F2 pour flotter les différentes tranches granulométriques choisies.

Variante b (pH 3 - 5)

Pour tous les essais, nous avons pris également une prise de sable lavé de 250g, avec le rapport solide/liquide = 1/1 et 3 mn pour le temps d'agitation de la pulpe et un pH de 3 - 5

1er essai: F1

Les conditions de travail de cet essai sont portés dans le tableau N° 19.

Produits	Conditionnement	Quantité g/t	Concentration
Na ₂ SiO ₃	5	500	6
Aero- promotor 840	6	250	1
Aero- froth	5	50	1

Tableau N° 9

2ème essai : F2

Nous avons réalisé cet essai avec les mêmes conditions opératoires que celles qui ont servi à l'essai F1, mais la quantité utilisée de l'aéropromotor 840 est de 300 g/t au lieu de 250 g/t.

Les résultats obtenus par cet essai sont meilleurs que ceux obtenus dans F1.

- Dans la suite de nos essais de flottation des différentes tranches granulométriques, nous avons retenu les conditions de F2 dans les deux variantes a et b.

2.7 - Méthodes combinés :

- Séparateur électromagnétique, suivie d'une flottation variante a ou b.

- Flottation a ou b, suivie d'une séparation électromagnétique

2.8 - Coupure des tranches granulométriques

Nous avons fait des coupures granulométriques sur les différentes tranches granulométriques ayant subi un traitement par méthode combinée, en vue de nous informer sur les possibilités d'améliorer la qualité du sable.

- 0,6 - 0,1 mm à 0,6 - 0,2 mm

- 0,5 - 0,1 mm à 0,5 - 0,2 mm.

2.9 - Lavage acide :

Le lavage acide est réalisé avec l'acide chlorydrique à 5%, sur deux prises, l'une de 20g et l'autre de 30g.

Le premier essai a porté sur un échantillon de sable enrichi par séparateur magnétique; le rapport solide/liquide est de 1/1.

Le deuxième essai concerne un échantillon enrichi aussi par séparation magnétique; le rapport solide/liquide est de 1/2. Le temps d'agitation pour les deux essais a été de 5'.

Résultats expérimentaux

- Résultats expérimentaux

1 - Débourbage

Nous avons déterminé les rendements pondéraux pour l'opération de débourbage.

Les résultats sont portés dans le diagramme N° 3.

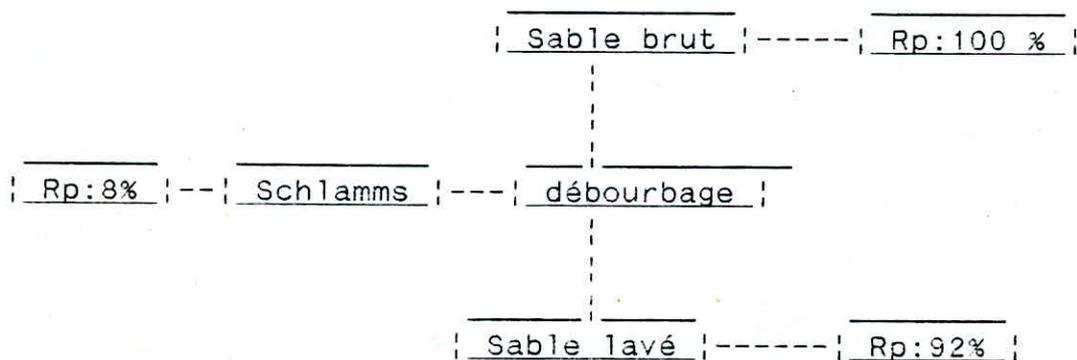


Diagramme N° 3

Note : Rp = Rendement poids

2 - Classification granulométrique

Nous avons fait subir au sable lavé une classification en différentes tranches acceptables par les verriers

- tranche 0,1 - 0,6 mm contenant 98,20% de SiO₂ et 0,6% d'oxyde de fer.

- tranche 0,1 - 0,5 mm dont la teneur en silice est de 98,06% et celle de l'oxyde de fer de 0,4%

Les résultats sont portés dans les diagrammes N° 4 et 5, ceux entre parenthèses sont rapportés au poids du sable tout venant.

tranche granulométrique 0,1 - 0,6 mm

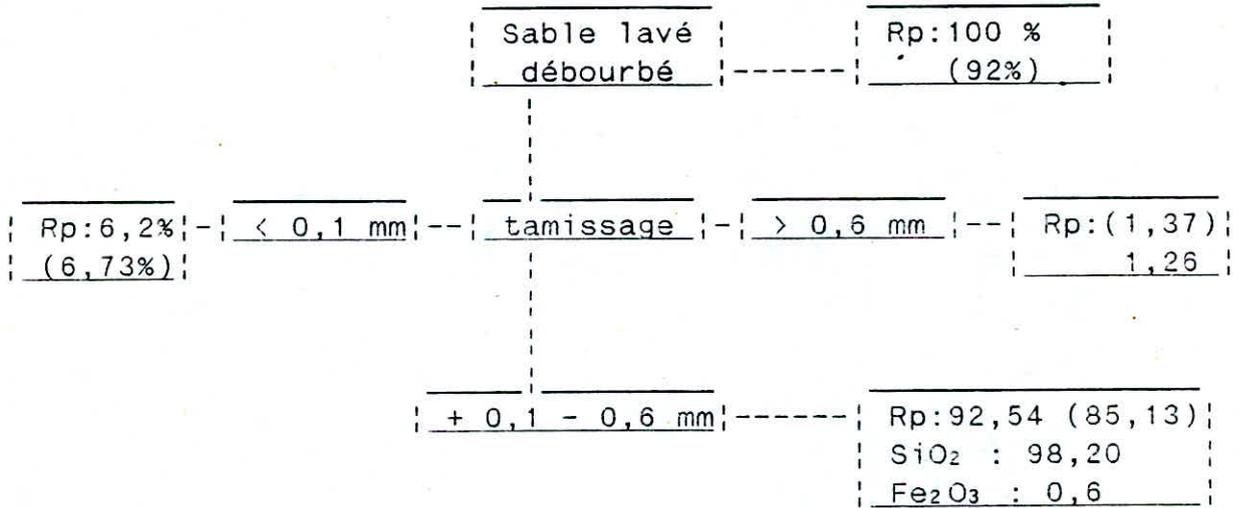


Diagramme N° 4

tranche granulométrique 0,1 - 0,5 mm

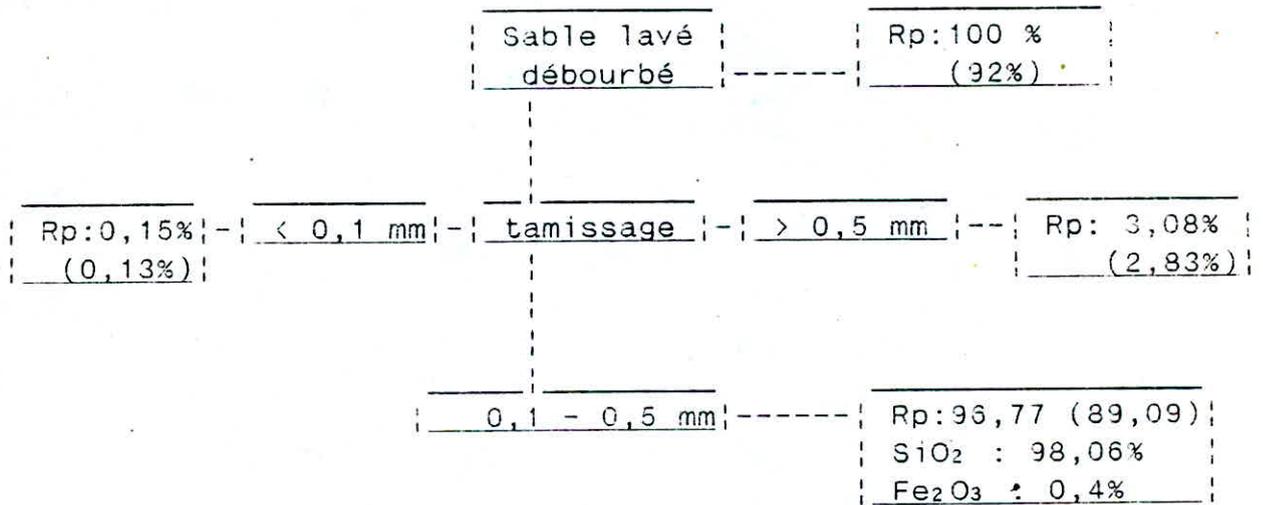


Diagramme N° 5

3 - Attrition

Les résultats d'attrition intéressant le rendement poids du concentré SiO_2 , la teneur d'oxyde de fer et de silice pour chaque tranche granulométrique, sont donnés dans les diagrammes N° 6 et 7 pour les tranches granulométriques 0,1 - 0,6 mm et 0,1 - 0,5 mm respectivement.

tranche granulométrique 0,1 - 0,6 mm

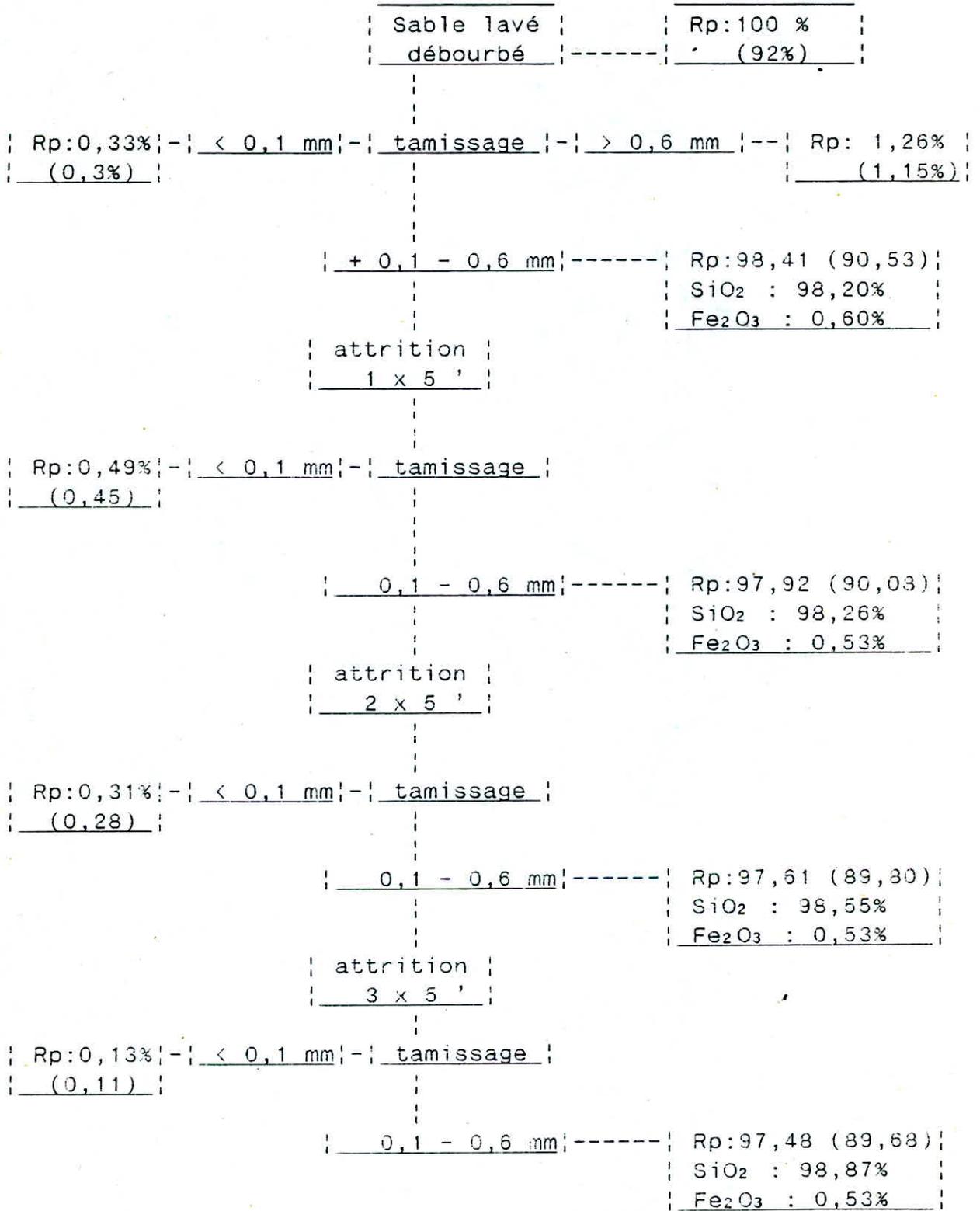


Diagramme N° 6

tranche granulométrique 0,1 - 0,5 mm

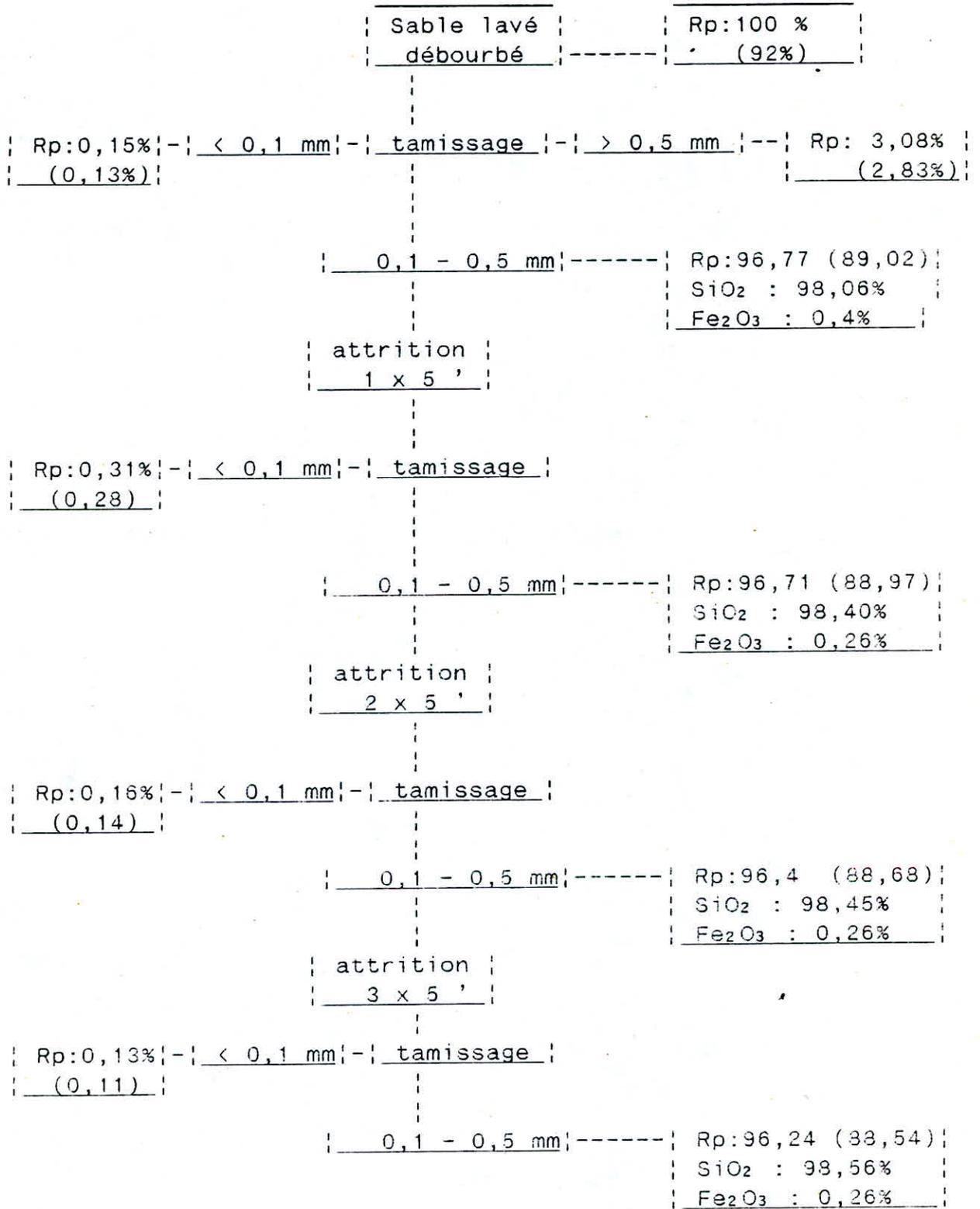


Diagramme N° 7

4 - Séparation magnétique à sec à haute intensité

La séparation magnétique en éliminant les minéraux lourds et les oxydes de fer ayant une faible susceptibilité magnétique a permis de ramener la teneur en Fe_2O_3 pour les tranches granulométriques du sable lavé, débourbé et attitré 2x5' à 0,08% pour la tranche 0,1 - 0,6 mm et 0,1% pour la tranche 0,1 - 0,5 mm et les teneurs en silice sont respectivement de 99,09% et 98,56% avec des rendements poids respectifs de 99,62% et 98,06%.

Tous les résultats sont portés dans les diagrammes N° 8 et 9.

L'analyse minéralogique des minéraux magnétiques a permis de mettre en évidence la présence du Zircon qui est le plus abondant parmi les autres impuretés et également d'autres minéraux tels que l'amphibole, le pyroxène etc...

- tranche granulométrique 0,1 - 0,6 mm

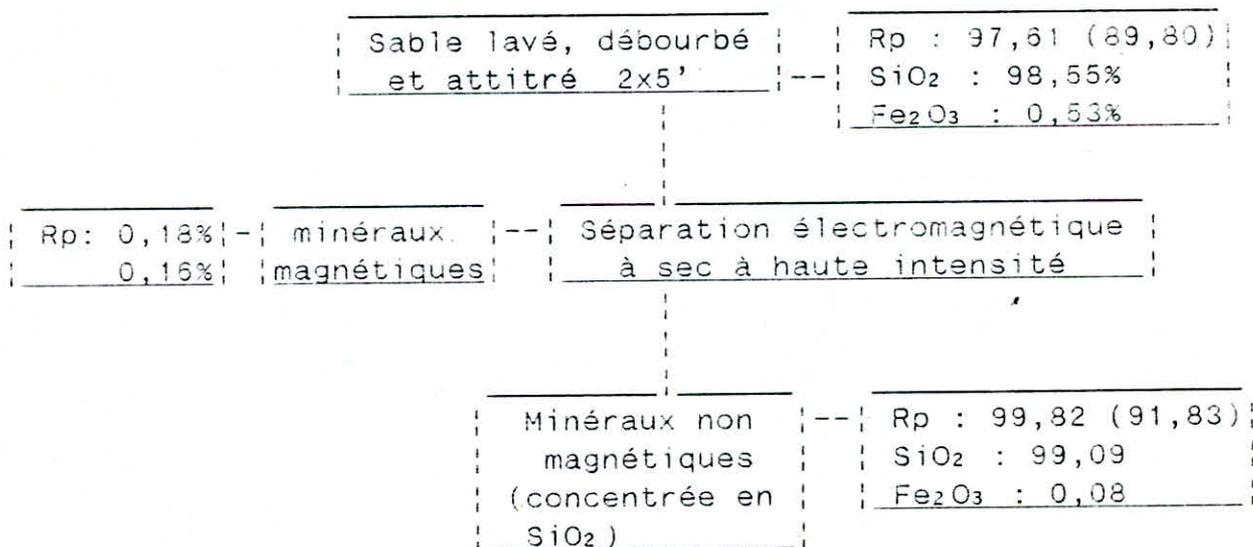


Diagramme N° 8

- tranche granulométrique 0,1 - 0,5 mm

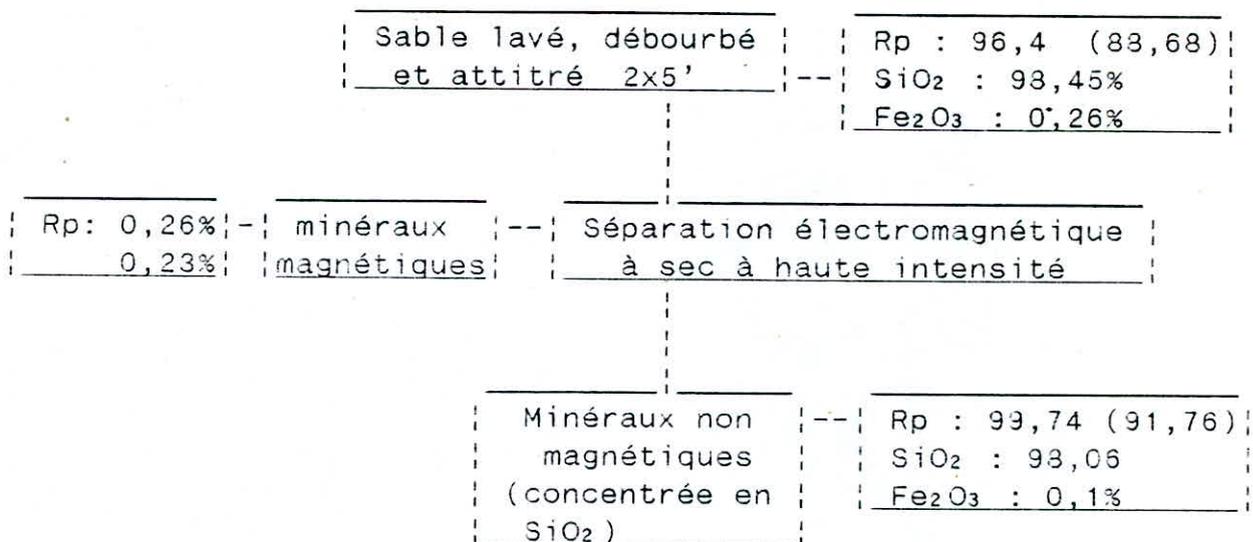


Diagramme N° 9

5 - Flottation inverse

La flottation des minéraux lourds dans les conditions décrites dans le chapitre I a donnée pour

- La variante a, un concentré à 0,09% en Fe₂O₃ et 99% en SiO₂ avec un rendement poids de 97,73% pour la tranche 0,1 - 0,6 mm, et pour la tranche 0,1 - 0,5 mm un concentré à 0,1% en Fe₂O₃, et 98,58% en SiO₂ avec un rendement poids 96,73%. Les résultats de cette variante sont portés dans les diagrammes N° 10 et 11,

- Et pour la variante b, un concentré à 0,06% en Fe₂O₃ et 99,0% en SiO₂ avec un rendement poids de 99,51% pour la tranche 0,1 - 0,6 mm et pour la tranche 0,1 - 0,5 mm un concentré à 0,12% en Fe₂O₃ et 99,06% en SiO₂ avec un rendement poids de 99,53%.

Les résultats de cette variante figurent dans les diagrammes N° 12 et 13.

- tranche granulométrique 0,1 - 0,6 mm

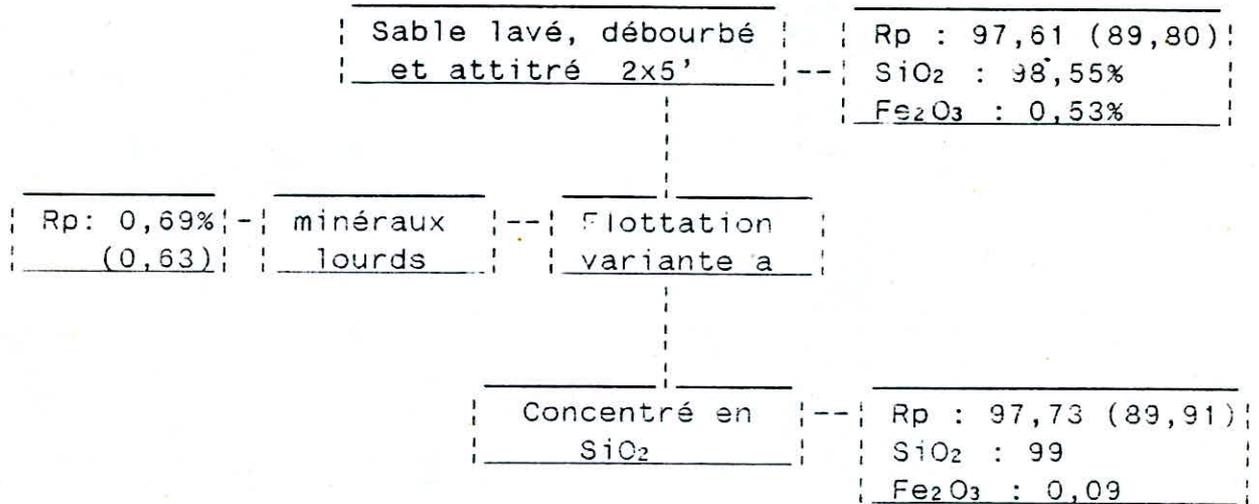


Diagramme N° 10

- tranche granulométrique 0,1 - 0,5 mm

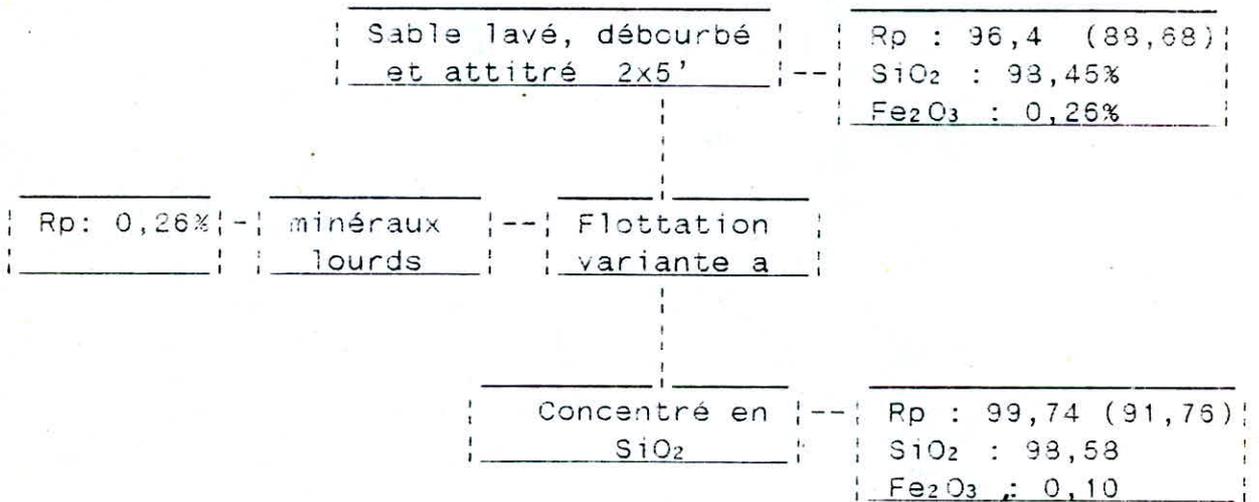


Diagramme N° 11

- tranche granulométrique 0,1 - 0,6 mm

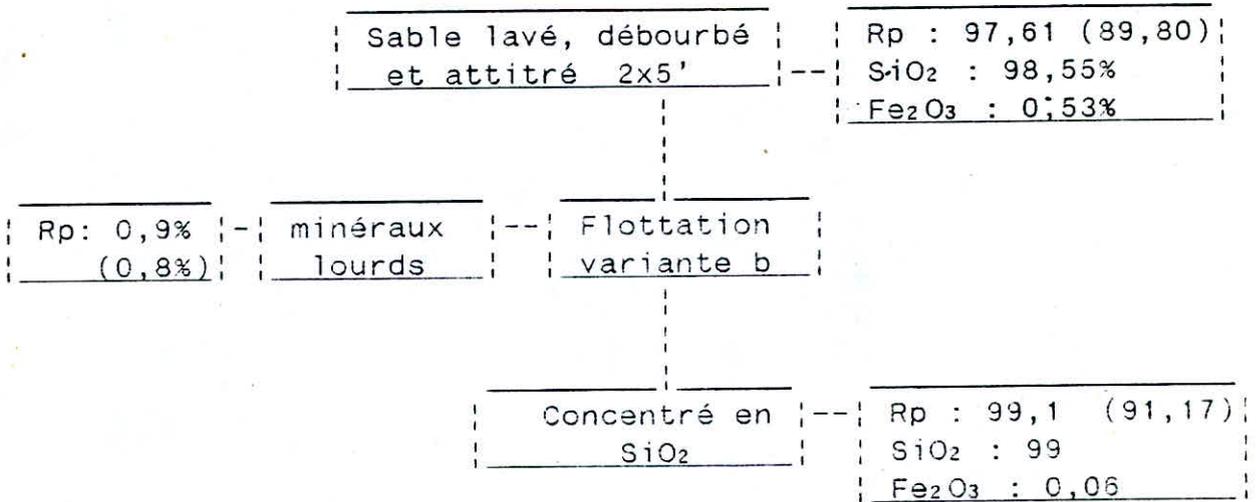


Diagramme N° 12

- tranche granulométrique 0,1 - 0,5 mm

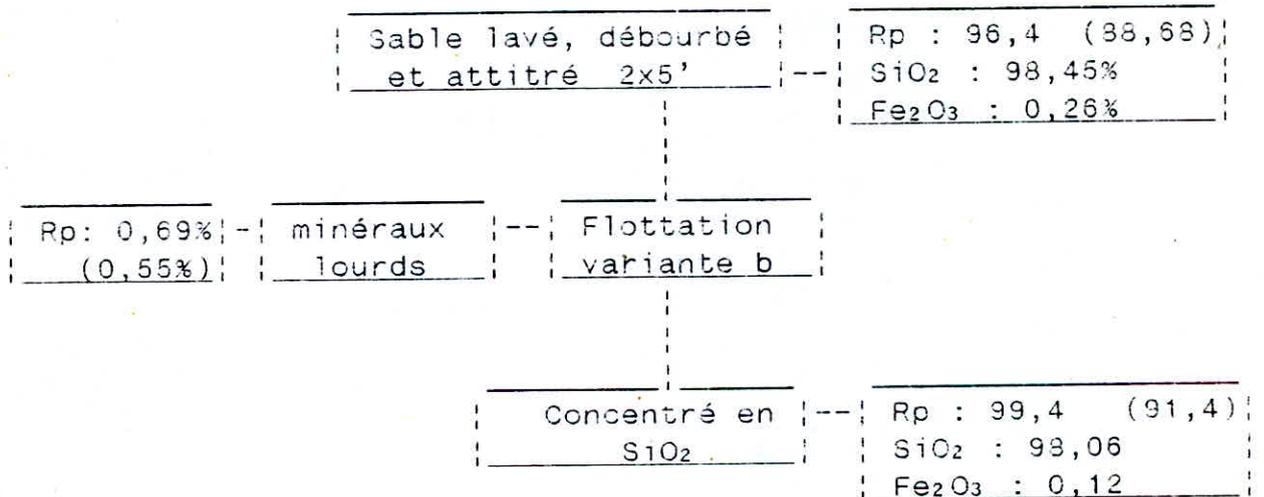


Diagramme N° 13

6 - Méthodes combinées

6.1 - Séparation électromagnétique suivie d'une flottation :

a) Flottation variante a :

La flottation du concentré non magnétique a donné les résultats suivants :

- Pour la fraction 0,1 - 0,5 mm, nous avons obtenu un concentré de 98,87% en SiO_2 , 0,08% en Fe_2O_3 avec un rendement poids de 97,5% rapporté au concentré non magnétique,
- Pour la fraction 0,1 - 0,6 mm, nous avons obtenu un concentré de 99,3% en SiO_2 , 0,08% en Fe_2O_3 avec un rendement poids de 98,88%.

Les résultats sont portés dans les diagrammes N° 14 et 15.

b) Flottation variante b :

Cette variante, a donné un concentré de silice titrant à 99% en SiO_2 et 0,06% en Fe_2O_3 avec un rendement poids de 99,2% rapporté au concentré non magnétique pour la tranche 0,1 - 0,6 mm et un concentré titrant 99,06% en SiO_2 et 0,14% en Fe_2O_3 avec un rendement pondéral de 99,4% pour la tranche 0,1 - 0,5 mm.

Les résultats sont portés dans les diagrammes N° 16 et 17.

- tranche granulométrique 0,1 - 0,6 mm

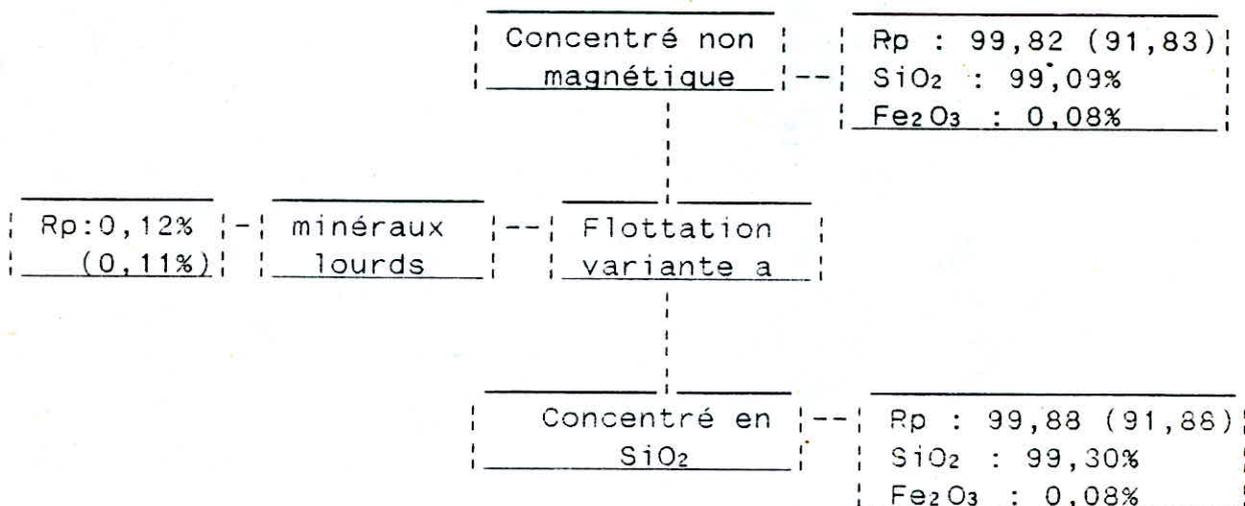


Diagramme N° 14

- tranche granulométrique 0,1 - 0,5 mm

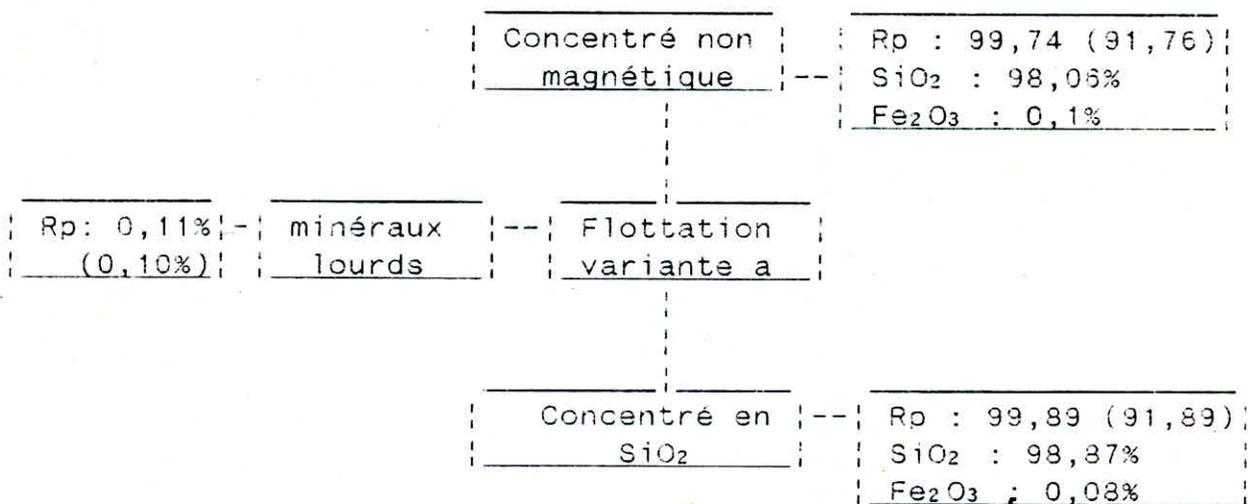


Diagramme N° 15

- tranche granulométrique 0,1 - 0,6 mm

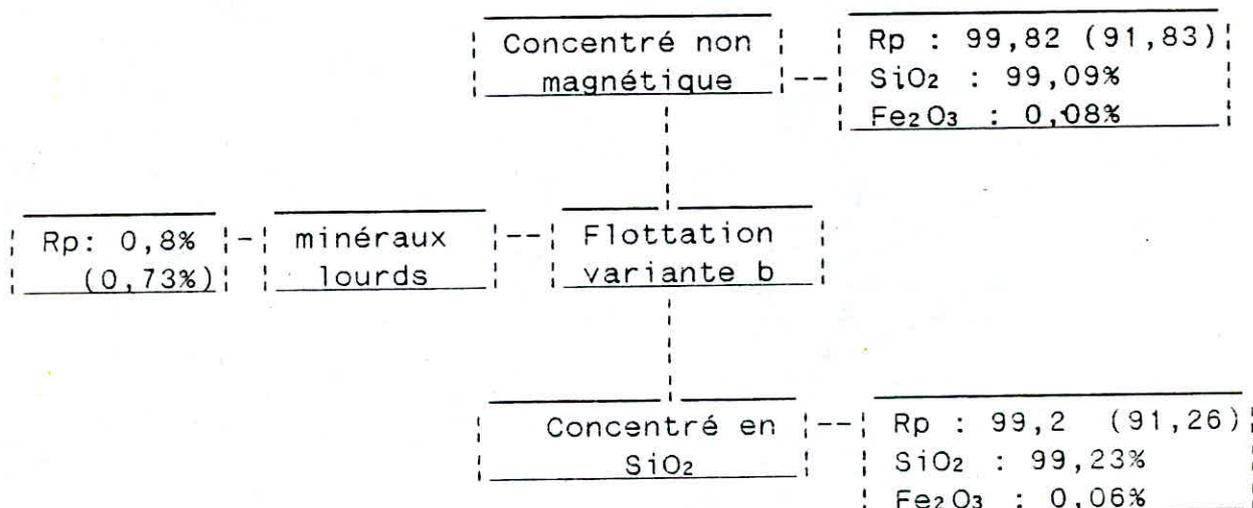


Diagramme N° 16

- tranche granulométrique 0,1 - 0,5 mm

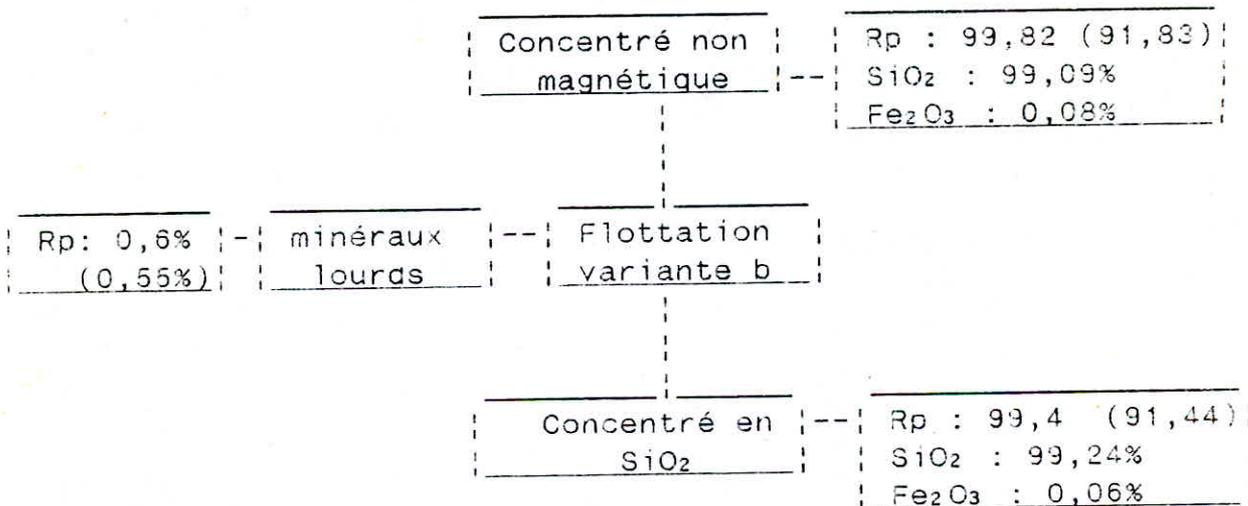


Diagramme N° 17

6.2 - Flottation suivie d'une séparation électromagnétique :

Les concentrés de flottation des deux variantes a et b sont soumis à une opération de séparation électromagnétique à sec.

Les résultats concernant les deux tranches choisies sont portés dans les diagrammes 18, 19, 20 et 21.

- tranche granulométrique 0,1 - 0,5 mm

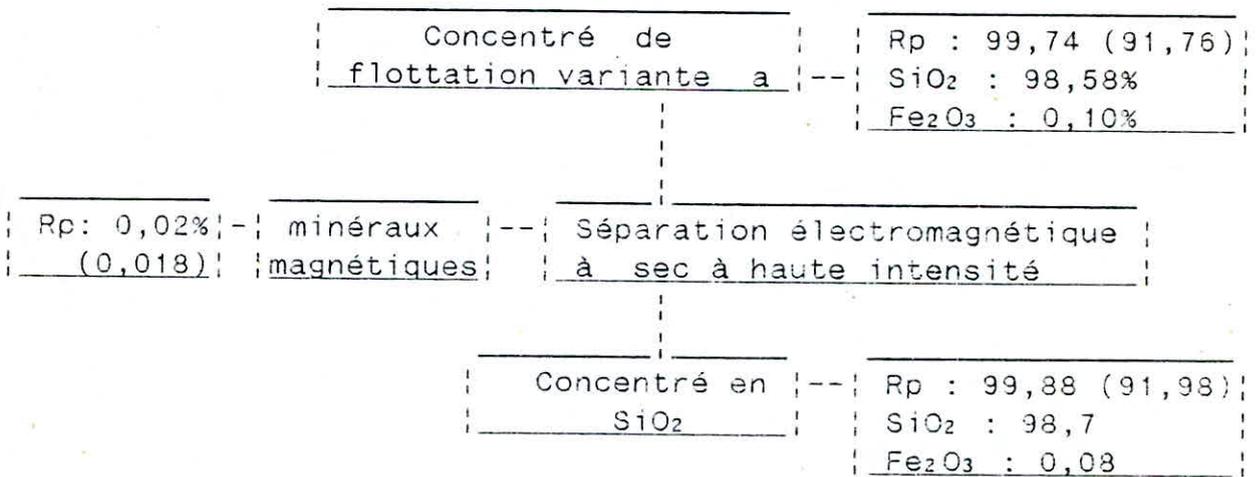


Diagramme N° 18

- tranche granulométrique 0,1 - 0,6 mm

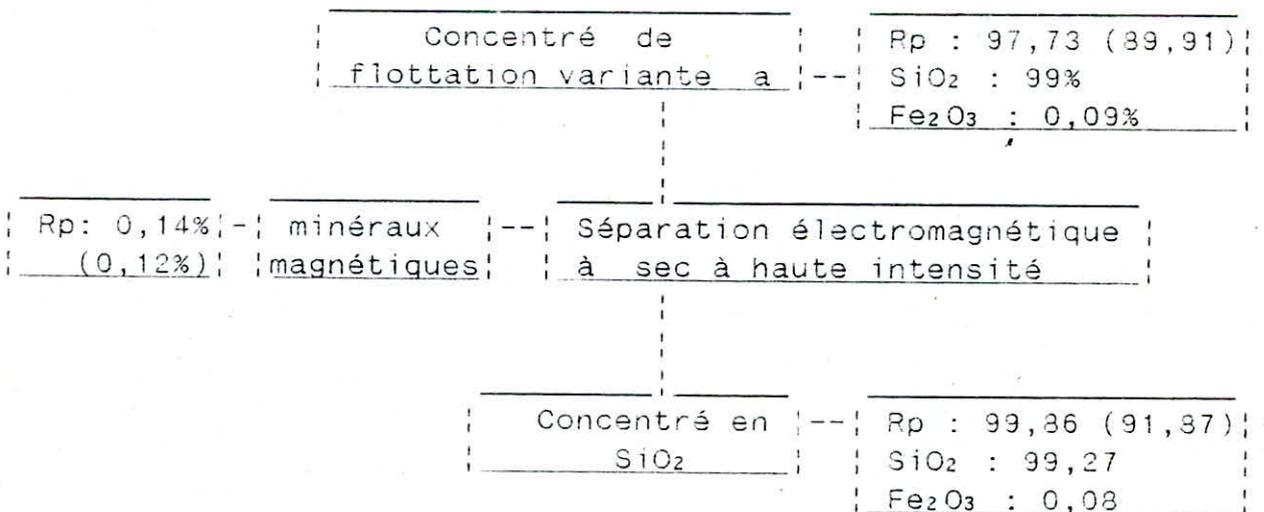


Diagramme N° 19

- tranche granulométrique 0,1 - 0,5 mm

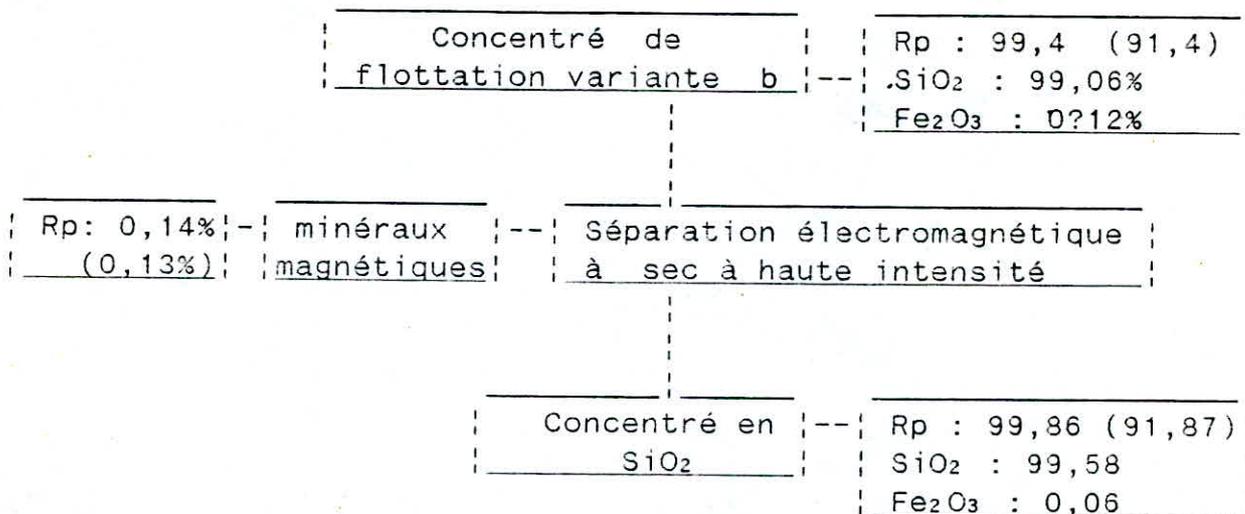


Diagramme N° 20

- tranche granulométrique 0,1 - 0,6 mm

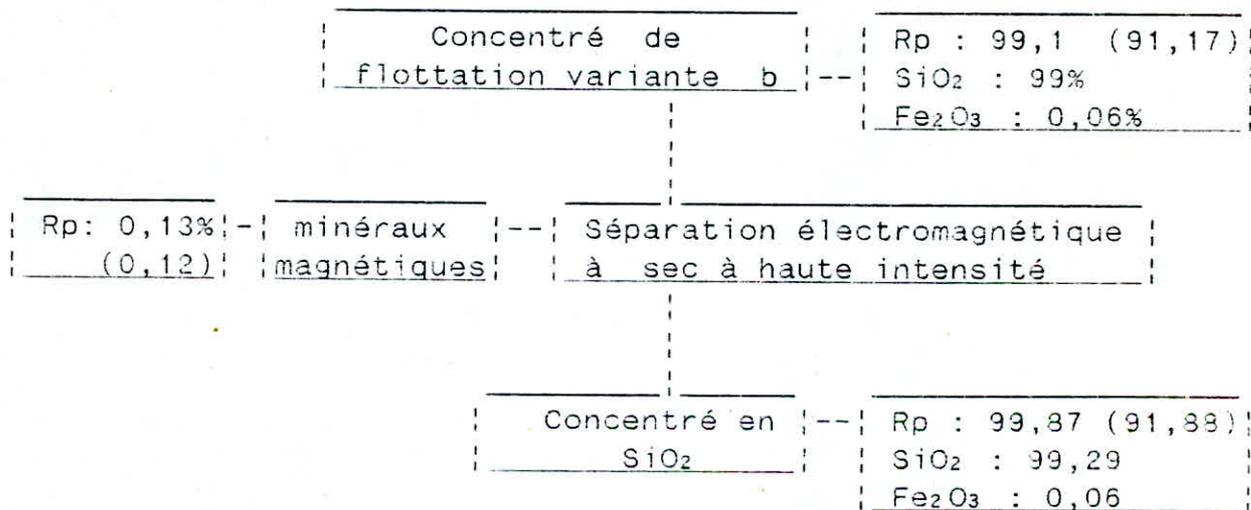


Diagramme N° 21

7 - Lavage acide

Les concentrés de la séparation magnétique de la tranche 0,1 - 0,5 mm lavé à l'acide HCl à 5% à froid ont pratiquement gardé les mêmes valeurs en Fe_2O_3 et en SiO_2 .

Les résultats sont portés dans les diagrammes N° 22 et 23.

Les résultats complets figurent au tableau N° 10, annexe II.

- Tranche granulométrique 0,1 - 0,5 mm :

Concentré non magnétique	---	SiO_2 : 98,06
		Fe_2O_3 : 0,1
lavage acide (1/s) = 1/1		
Concentré lavé à l'acide	---	SiO_2 : 98,94
		Fe_2O_3 : 0,08

Diagramme N° 22

- Tranche granulométrique 0,1 - 0,5 mm :

Concentré non magnétique	---	SiO_2 : 98,06
		Fe_2O_3 : 0,1
lavage acide (1/s) = 2/1		
Concentré lavé à l'acide	---	SiO_2 : 99,10
		Fe_2O_3 : 0,10

Diagramme N° 23

8 - Coupure granulométrique

Dans le but de mettre éventuellement en évidence les possibilités d'enrichir d'avantage le sable en SiO_2 par simple classification granulométrique, nous avons procédé à une coupure à 0,2 mm des tranches : 0,1 - 0,6 mm et 0,1 - 0,5 mm.

Les tranches 0,2 - 0,6 mm et 0,2 - 0,5 mm sont soumises à l'analyse dont les résultats en SiO_2 , Fe_2O_3 et le rendement poids figurent dans les diagrammes N° 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 et 31.

Les résultats complets sont portés dans le tableau 11 en annexe II.

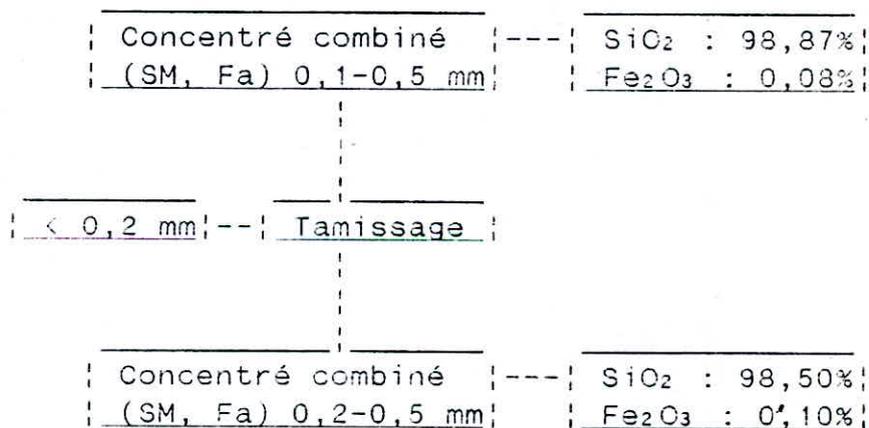


Diagramme N° 24

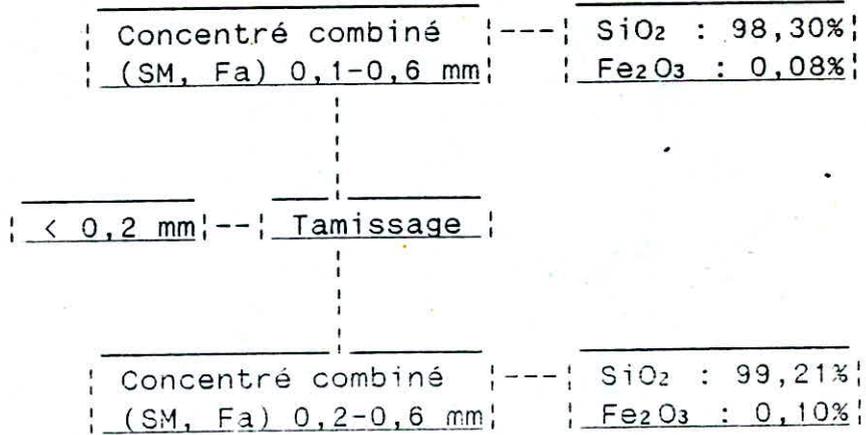


Diagramme N° 25

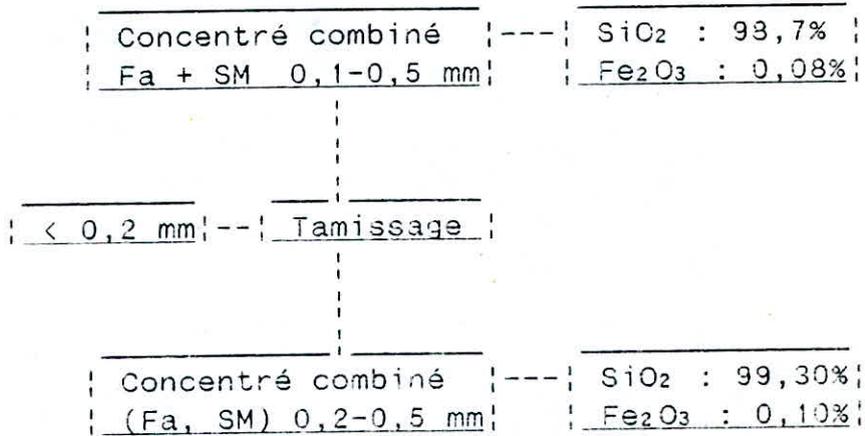


Diagramme N° 26

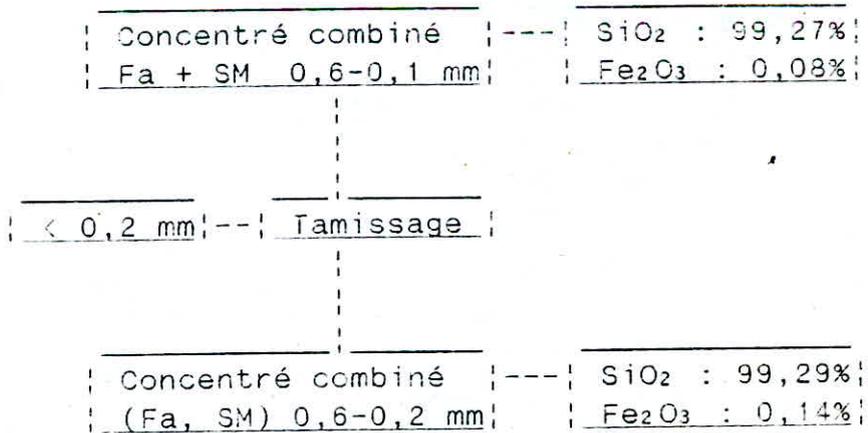


Diagramme N° 27

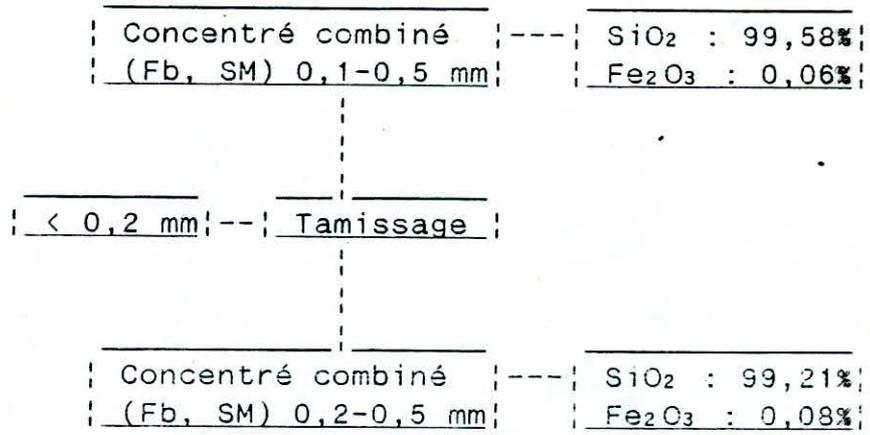


Diagramme N° 28

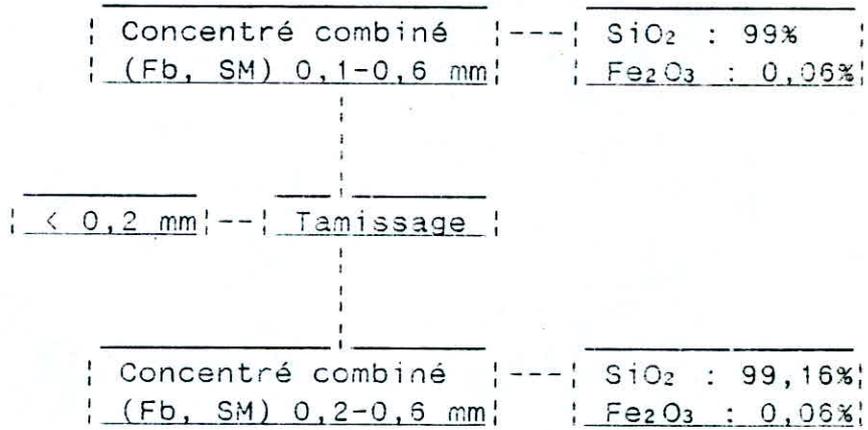


Diagramme N° 29

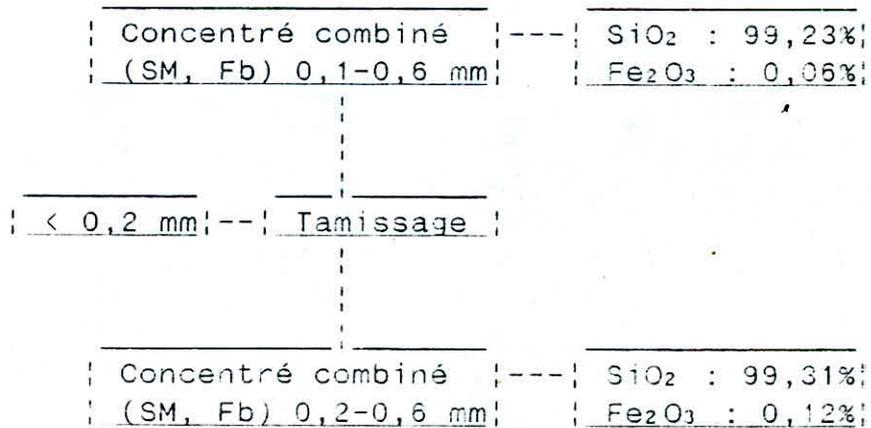


Diagramme N° 30

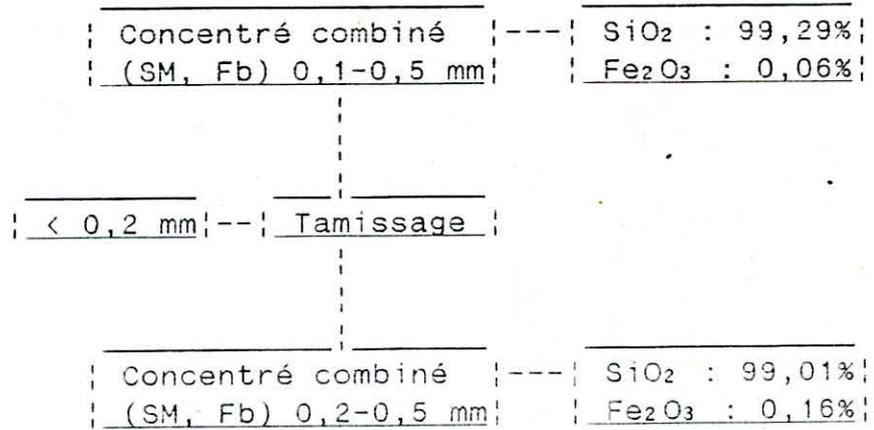


Diagramme N° 31

L'ensemble des résultats concernant les teneurs en Fe₂O₂ et SiO₂ pour les tranches granulométriques 0,1 - 0,6 mm et 0,1 - 0,5 mm ayant subi toutes les opérations de traitement à l'exception du débouillage de l'attrition et la coupure à 0,2 mm sont portés dans le tableau 13.12

Opérations Traitement	0,6 - 0,1 mm			0,1 - 0,5 mm		
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Rp	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Rp
Fa	99	0,09	97,73 (89,91)	98,58	0,10	99,74 (91,76)
Fb	99	0,06	99,1 (91,17)	99,06	0,12	99,4 (91,4)
SM	99,09	0,08	98,82 (91,82)	98,06	0,1	99,74 (91,76)
Fa, SM	98,27	0,08	99,87 (91,87)	98,7	0,08	99,98 (91,98)
SM, Fa	98,30	0,08	99,88 (91,88)	98,87	0,08	99,89 (91,89)
Fb, SM	99	0,06	99,1 (91,17)	99,58	0,06	99,86 (91,87)
SM, Fb	99,23	0,06	99,2 (91,26)	99,29	0,06	99,4 (91,4)
SM + 1/s 1/1 lavage acide	-	-	-	99,10	0,1	-
SM + 1/s 2/1 lavage acide	-	-	-	98,94	0,08	-

Tableau N° ~~11~~ : Résumé des résultats
12

Légende :

- SM : Séparation électromagnétique
- Fa : Flottation variante a
- Fb : Flottation variante b
- Fa, SM : Flottation variante a suivie d'une SM
- Fb, SM : Flottation variante b suivie d'une SM
- SM, Fb : Séparation magnétique, suivie de Fb
- SM, Fa : Séparation Magnétique, suivie de Fa

Chapitre IV:

Remarques et discussions des résultats

IV - Remarques et discussions des résultats

1 - Remarques sur les résultats

1.1 - Séparation électromagnétique :

La tranche 0,1 - 0,6 mm a donné la plus faible teneur en Fe_2O_3 .

1.2 - Flottation :

Les meilleurs résultats sont donnés par la variante b pour les deux tranches granulométriques.

1.3 - Techniques de traitement combinées :

Les améliorations relevés dans la qualité du sable traité sont légères et ne sont pas présentes dans tous les cas considérés, nous remarquerons néanmoins que le meilleur résultat est obtenu sur les deux tranches granulométriques traitées par flottation variante b suivie d'une séparation électromagnétique ou vice-versa.

1.4 - L'attaque acide :

L'amélioration est remarquée lorsque la rapport 1/s augmente.

1.5 - Coupure granulométrique :

Les résultats de la coupure à 0,2 mm pour les deux tranches granulométriques 0,1 - 0,5 mm et 0,1 - 0,6 mm n'a pas

amélioré le résultat sur la pureté du sable, il serait bon de revoir une méthode d'analyse plus performante pour les faibles teneurs.

Les résultats de l'analyse du tout-venant comparés à ceux obtenus par ENOF (tableau 6) nous pousse à classer le sable gris dans la catégorie du sable jaune, notamment si on prend en considération les teneurs en SiO_2 et Al_2O_3 ; mais, cette classification n'est pas suffisamment justifiée, il est nécessaire de comparer aussi les résultats de traitement car la qualité finale n'est pas toujours fonction de la quantité initiale d'impuretés. Nous remarquons que le lavage donne une teneur en SiO_2 plus proche de celle du sable clair lavé que celle du sable jaune lavé, alors que la teneur en Fe_2O_3 est plus proche de celle du sable jaune lavé. La teneur en Al_2O_3 est élevée après lavage, le lavage effectué sans agitation énergique en est probablement la cause.

Cette comparaison des teneurs concerne la tranche granulométrique 0,1 - 0,5 mm.

Une attrition de 5' suivie d'un deschlammage réduit la teneur en oxyde de fer presque de moitié et augmente celle de la silice de 3/10ème.

Plusieurs attritions supplémentaires effectuées n'ont pas améliorées notablement les premiers résultats.

Les résultats obtenus après attrition et séparation électromagnétique, comparés à ceux du sable clair et à ceux du sable jaune (13 en annexe II) ayant subi le même traitement, permettant de conclure que le sable gris se situe entre le sable clair et le sable jaune.

Il semble que le traitement séparé du sable blanc pourra, théoriquement, aboutir à une qualité supérieure à celle du

Conclusion

sable clair, sur la base des mêmes conditions et du même flowsheet utilisé.

2 - Discussion

Compte tenu de la méthode d'analyse du Fe_2O_3 par volumétrie citée en annexe III, moins précise que celle par absorption atomique dont le principe est aussi décrit dans la même annexe, nous pouvons conclure que, dans le présent travail, seule l'analyse des faibles teneurs inférieures à 0,1% nécessite un contrôle rigoureux par des méthodes plus sensibles (colorimétrie, ou absorption atomique).

Les teneurs en Fe_2O_3 n'a pas pu mettre en évidence les différences des effets de traitement de la méthode combinée et du lavage acide.

Il serait souhaitable de reprendre ces analyses et procéder au contrôle des bilans.

Le bilan matière de l'ensemble des opérations, à l'exception du lavage acide et coupure granulométrique, est décrit dans le diagramme N° 32, annexe II.

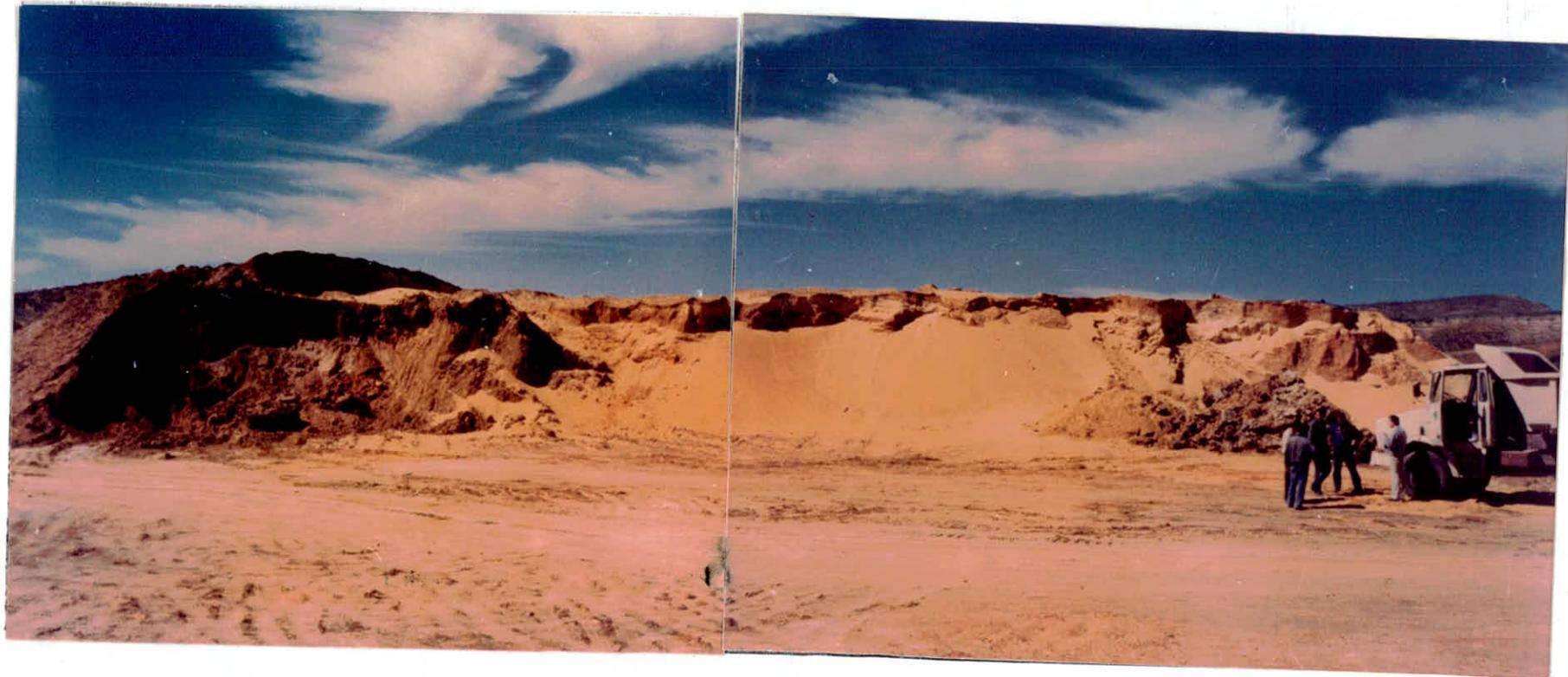
Dans les tableaux 14, et 15 sont portés respectivement les résultats d'analyse complète pour le sable gris *sont portés en annexe II*.

Annexe I



Photo n^o 2

photo n°1



Annexe II

Conclusion

Au cours de ce travail, nous avons procédé à l'épuration du sable gris par différents procédés.

Les résultats auxquels nous avons abouti, comparés à ceux obtenus pour le sable jaune (tableaux 6,13), nous permettent d'intégrer ce sable gris dans la catégorie du sable jaune; qui trouve son application dans la fonderie, céramique et le verre de qualité ordinaire.

Cependant, pour espérer à l'obtention du verre de haute qualité utilisé dans le domaine optique et électronique "*tube cathodique*", nous recommandons une exploitation de la couche claire, d'une façon sélective et ne prendre que le sable blanc qui doit faire l'objet d'une étude de traitement à part, afin de confirmer l'hypothèse d'une meilleure qualité de sable pouvant donner une teneur en oxyde de fer inférieure à 0,04% pour atteindre les teneurs proches de 0,020 ou inférieures.

ANALYSES CHIMIQUES DU SABLE CLAIR, JAUNE, BRUN DE SIDI BOUALI

Tableau N° 6

	SABLE CLAIR						SABLE JAUNE						SABLE BRUN						
	Sable brut	Sable lavé	Fraction granulométrique du sable lavé				Sable brut	Sable lavé	Fraction granulométrique du sable lavé				Sable brut	Sable lavé	Fraction granulométrique du sable lavé				
			0,5 - 0,315	0,25 - 0,2	0,2 - 0,1	0,5 - 0,315			0,25 - 0,2	0,2 - 0,1	0,5 - 0,315	0,25 - 0,2			0,2 - 0,1				
			0,315 - 0,25	0,2	0,1	0,315 - 0,25			0,25	0,2	0,315 - 0,25	0,25			0,2				
Rend. (%) P/rapport au sable brut	100	90,1	21,72	29,23	23,81	15,35	100	88,75	20,19	25,91	24,76	17,89	100	86,62	14,71	29,54	20,43	21,94	
Rend. (%) P/rapport du Sdb Lavé		100	24,10	32,45	26,42	17,03		100	22,75	29,19	27,90	20,16		100	16,98	34,7	23,59	25,33	
TENEURS %	SiO ₂	96,86	98,65	98,98	99,03	98,67	97,50	94,80	97,97	98,03	98,34	98,67	96,44	92,87	97,64	98,04	98,14	96,00	96,33
	Al ₂ O ₃	1,05	0,18		0,15	0,15	0,53	1,03	0,14	0,13	0,22	0,22	0,45	0,88	0,15	0,02	<0,05	0,13	0,41
	Fe ₂ O ₃	0,48	0,18	0,10	0,17	0,14	0,40	1,57	0,49	0,37	0,30	0,34	1,10	2,43	0,59	0,39	0,34	0,39	1,26
	TiO ₂	0,21	0,20	0,16	0,13	0,15	0,48	0,24	0,18	0,14	0,16	0,36	0,80	0,28	0,20	0,16	0,13	0,14	0,48
	CaO	0,47	0,25	0,14	0,27	0,27	0,27	0,82	0,38	0,41	0,27	<0,07	0,54	1,22	0,44	0,68	0,41	0,41	0,47
	MgO	0,10	0,10	0,10	<0,05	<0,05	<0,05	0,10	0,10	0,1	<0,10	<0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	<0,05	<0,05	<0,05
	PAF	0,64	0,24	0,27	0,13	0,39	0,18	2,24	0,62	0,55	0,59	0,35	0,85	1,34	0,61	0,70	0,48	0,45	0,87

Resultat - complet du procedé par lavage acide

composant	L/A=117	L/S=217
SiO ₂	99,10	98,94
Al ₂ O ₃	0,05	0,26
Fe ₂ O ₃	0,12	0,10
TiO ₂	0,11	0,08
CaO	<0,05	<0,05
P ₂ O ₅	<0,02	<0,02
MgO	<0,02	<0,02
N ₂ O	<0,05	<0,05
K ₂ O	<0,05	<0,05
MnO	<0,05	<0,05
PAF	0,22	0,21

tableau N° 10.

ANALYSE - CHIMIQUE

Composant	Tranches - Granulométriques							
	0,6 - 0,2 mm				0,5 - 0,2			
	(Fa, SM)	(Fb, SM)	(SM, Fa)	(SM, Fb)	(Fa, SM)	(Fb, SM)	(SM, Fa)	(SM, Fb)
SiO ₂	99,25	99,16	99,20	99,31	99,30	99,21	98,21	99,01
Al ₂ O ₃	<0,05	<00,05	<00,05	00,18	00,20	<00,05	00,30	00,30
Fe ₂ O ₃	0,10	00,06	00,08	00,12	00,08	00,06	00,10	00,16
Ti O ₂	0,12	00,11	00,10	00,03	00,09	00,13	00,06	00,09
Ca O	<0,05	00,03	<00,02	<00,02	00,03	00,02	00,04	00,02
P ₂ O ₅	0,04	<00,05	<00,05	<00,05	<00,05	<00,05	<00,05	<00,05
Mg O	<0,02	<00,02	00,02	00,04	<00,02	00,02	<00,02	00,02
Na ₂ O	<0,05	<00,05	<00,05	<00,05	<00,05	<00,05	<00,05	00,02
K ₂ O	0,06	<00,05	<00,05	<00,05	00,06	<00,05	<00,05	<00,05
PAF	0,06	00,18	00,05	00,08	00,06	00,12	00,6	<00,15
MnO	0,05	00,05	<00,05	<00,05	<00,05	<00,05	00,05	00,05

Tableau N° 19

ANALYSES CHIMIQUES DES SABLES ATTRITES APRES
LA SEPARATION ELECTROMAGNETIQUES

	SABLES	FRACTIONS GRANULOMETRIQUES	TENEUR %	
			SiO ₂	Fe ₂ O ₃
Séparation électromagnétique	Sable gris attrition 5 min	0,5 - 0,315	99,17	0,04
		0,355 - 0,2	99,58	0,05
		0,2 - 0,1	99,53	0,06
	10 min	0,5 - 0,1	99,30	0,05
		0,5 - 0,1	99,52	0,04
	Sable jaune, attrition 5 min	0,315 - 0,2	98,15	0,14
" " " 10 min	0,5 - 0,315	99,04	0,13	

TABLEAU N° 13

Annexe III

TRANCHE granulométrie 0,1 - 0,6 mm

ANALYSE CHIMIQUE Du Sable De SIDI BOUALI tableau n° 15

Composant	Teneurs %											
	TV	T	1x5'	2x5'	3x5'	Fa	S _M	Fa, S _M	S _η , Fa	F _L	F _L , S _η	S _η , F _L
SiO ₂	96,26	98,20	98,26	98,55	98,87	99	99,09	99,27	99,30	99,00	99,29	99,23
Al ₂ O ₃	1,96	0,30	0,28	0,28	0,28	0,28	0,26	0,19	0,09	<0,05	<0,05	0,05
Fe ₂ O ₃	1,13	0,60	0,53	0,53	0,53	0,09	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,06
TiO ₂	0,09	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,09	0,07	0,07	0,05	0,09	<0,05
P ₂ O ₅	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,03
CaO	0,09	0,04	0,02	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	0,02	<0,02
MgO	0,06	0,03	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05
N ₂ O	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
K ₂ O	0,12	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	<0,05	0,06	<0,05	<0,05
MnO	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
PAF	0,21	<0,17	0,11	0,09	0,08	0,06	0,32	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	<0,05

Méthodes d'analyse utilisées

a) Méthode volumétrique et gravimétriques

La méthode volumétrique est un procédé classique de dosage qui intéresse un grand nombre d'éléments, la précision est fonction de la nature de l'élément et sa teneur. Elle a été appliquée pour le dosage de SiO_2 , PAF, Fe_2O_3 , Al_2O_3 , les autres éléments ont été dosés par absorption atomique.

Méthode opératoire de l'analyse SiO_2 , PAF, Fe_2O_3

1°) Préparation de l'échantillon :

- Séchage
- Homogénéisation
- Pulvérisette en gate.

2°) Détermination de la perte au feu PAF :

Une prise d'un gramme de l'échantillon préalablement sèche, homogénéisé, pulvérisé est introduit dans un four à 1000°C pendant une heure et repeser : P_2
différence de poids nous donne la PAF

$$P_E - P_2$$

$$\% \text{ PAF} = \frac{P_E - P_2}{P_E} \times 100\% \quad P_E = \text{un gramme} = \text{prise d'essai}$$

3°) Détermination de la silice :

Après avoir déterminé la PAF, on ajoute de l' HNO_3 (pour l'oxydation des éléments), plus HF qui réagit avec SiO_2 .

($4 \text{ HF} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{SiF}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$) ensuite porté à 1000°C pendant 20'. Après, retirer, laisser refroidir, ensuite peser : P_3 .

Par différence de poids on détermine les % de la silice

$$P_2 - P_3$$

$$\% \text{ Silice} = \frac{\quad}{\quad} \cdot 100$$

4°) Dosage de Fe_2O_3 :

a) Préparation de la solution de dosage : Solution A

La préparation de la solution A se fait par ajout de pyrosulfate de potassium $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ après calcination de la silice, effectuer une fusion à 6000°C à 7000°C jusqu'à obtention d'un liquide jaune, huileux. Retirer, laisser refroidir et ajouter HCl 1/1, porter sur une plaque chauffante, dissolution du culot de fusion, transvaser ensuite cette solution dans une fiole de 250 ml. Jauger jusqu'au trait avec l'eau distillée. Bien agiter cette solution qui servira pour le dosage.

b) Détermination de Fe_2O_3 :

Prendre 10 ml de la solution A, préparée, plus 10 ml de l'acide silfosilicilique (Indicateur), régler le pH légèrement acide 5,5 - 6.

Titration avec EDTA (0,05 N), le virage du violet au clair.

Bibliographie

b) Dosage pour absorption atomique :

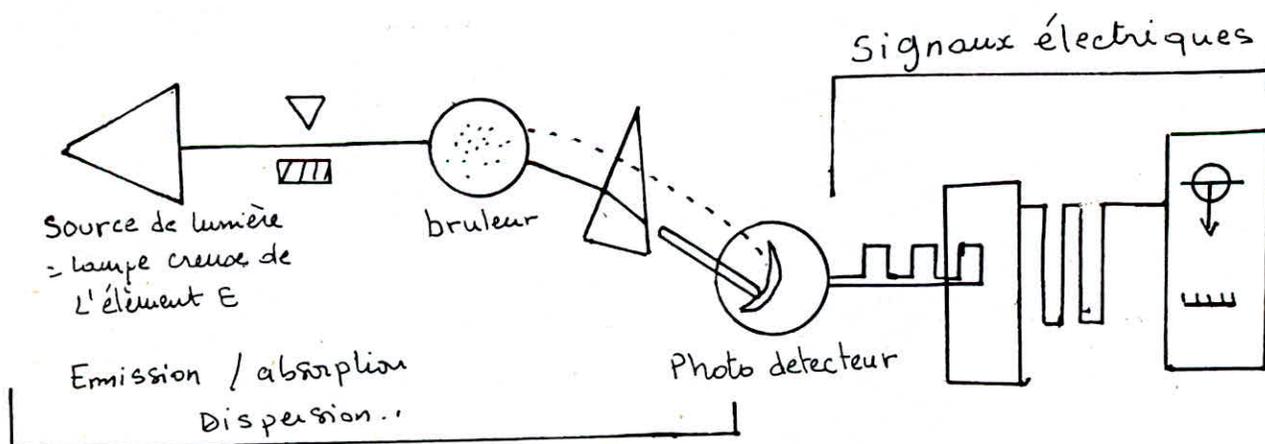
Principe :

Le principe repose sur les propriétés d'absorption de la lumière par les éléments à l'état atomique.

Cette absorption est fonction de la longueur d'onde et varie selon l'élément considéré. Nous sommes en présence de deux variables analytiques : l'une, qualitative et concerne la longueur d'onde à laquelle l'absorption se manifeste, l'autre, quantitative et représentée par les valeurs d'absorption repérée dans les conditions déterminées.

La première variable est spécifique à chaque élément. La longueur d'onde choisie pour le dosage est celle correspondant à la raie de résonance de chaque élément qui peut présenter plusieurs de ses raies. Dans ce cas, il faut choisir celle offrant la meilleure sensibilité.

Schéma de principe : Dosage de l'élément E



Application : L'absorption atomique intéresse surtout les dosages des éléments en solutions aqueuses à concentrations faibles et très faibles

Bibliographie

- [1] Guide des minéraux
J. BAUER
- [2] Manuel de sédimentologie
André VANTAN
- [3] Instruction concernant l'application de la classification
des réserves aux minéraux
Comité géologique d'état U.R.S.S.
Moscou 1965
- [4] Précis de pétrographie
JUNG
- [5] Etude de laboratoire "valorisation des grès quartzeux"
d'Ait-Aouna 1986
M. ZIBOUCHE Ingénieur traitement
A. DJAFFER Technicien supérieur
- [6] Communication personnelle du docteur BOURAHLA
- [7] Devis 110750553 REV 5
ENOF
9 Juillet 1989
Traitement des sables, 3 Juillet 1989
- [8] Industrie minérale
Février 1984, Angleterre
- [9] Industrie minérale
Février 1984, Angleterre
- [10] Cours de prospection de matière de carrière
Yves BERON & Patrick LEBRE
BRGM 2 N° 5
- [11] Revue industrie minérale
Avril 1969
- [12] Revue industrie minérale
Mai 1969
- [13] Cours du docteur ARAB

[14] Rapport traitement des sables par flottation (Juillet 1989)

BENSABAA

MENAD

KADRI

[15] Rapport géologique sur la prospection détaillée des sables
quartzeux du gisement de Sidi-Bouali

1986 - 1987

[16] ENOF

Rapport de visite du site, 5 Mars 1989

Rapport d'essais complémentaires de Sidi-Bouali, Wilaya de
Chlef

[17] Etude de valorisation du gisement de sable de Sidi-Bouali et
de Tadjna (1986)

ENOF, BOURAHLA

