

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
<u>1 ère partie : Etudes bibliographiques</u>	
<u>CHAPITRE I : RAPPELS ET GENERALITES SUR LE VERRE [1]</u>	
<u>I-1 Definition</u>	
<u>I-2 Histoire du verre</u>	
I-3 Histoire du verre à Madagascar.....	3
<u>I-4Etat physique du verre</u>	
<u>I-5 Caracteristiques physicochimique du verre [6]</u>	
<u>I-6 Classement du verre [7]</u>	
I-7 Différents types du verre.....	8
<u>I-8 CONCLUSION</u>	10
<u>CHAPITRE II : PROCESSUS DE PRODUCTION DU VERRE [8]</u>	11
<u>II-1 Composition du verre</u>	
<u>II-2 Procédé d'obtention du verre</u>	
<u>II-3 Colorants du verre</u>	20
<u>II- 4 Conclusion</u>	
<u>CHAPITRE III : LES MATIERES PREMIERES ET LEUR CARACTERISTIQUE</u>	
<u>III-1 Le sable siliceux [12]</u>	
<u>III- 2 Le hetre [10]</u>	
<u>CHAPITRE IV : PRINCIPAUX GITES DE SABLES DERIVES DES QUARTZITES</u>	
DECOUVERTS JUSQU'A PRESENT A MADAGASCAR.....	
<u>IV – 1 Dunes anciennes de Toamasina</u>	
<u>IV – 2 Gites de sable siliceux de Champ de Tir</u>	
<u>IV – 3 Gites de sable de Masse</u>	
<u>IV- 4 Gites de sable de Moramanga</u>	
<u>IV – 5 Gites de quartzites de Sahambavy</u>	
<u>IV – 6 Gites de quartzites d'Analabe</u>	
<u>IV- 7 Conclusion</u>	
<u>CHAPITRE V : LE SABLE SILICEUX DE MORAMANGA</u>	
<u>V – 1 Nature [14]</u>	
<u>V –2 Cadre géographique [15]</u>	

V – 3 Cadre géologique [16].....	2 ème
.....	partie : Etudes expérimentales

CHAPITRE I : CARACTERISTIQUES DES MATIERES PREMIERES.....

I-1 Caracterisation.....	
I-1- 1 Sable siliceux.....	
a) Echantillonnage.....	
b) Teneur en silice.....	
c) Teneur en fer.....	
d) Teneur en alumine.....	
e) Recapitulation des résultats.....	
I – 1- 2 Cendre de hêtre.....	
a) Teneur en cendre.....	
b) Teneur en carbonate de potasse et soude.....	
c) Récapitulation des résultats.....	

CHAPITRE II : ETUDE PRATIQUE DE LA PRODUCTION DU VERRE.....

II- 1 Manipulation.....	
II- 1 -2 Préparation mécanique du sable.....	
a) Triage et nettoyage.....	
b) Séchage.....	
c) Broyage.....	
d) Tamisage.....	
II- 1-2 Essai de fabrication.....	
a) Matières premières.....	
b) Appareillage de fusion.....	
c) Essai de fabrication.....	
d) Conclusion.....	

3ème partie : Etudes socio-économiques

CHAPITRE I : CONSIDERATION RELATIVE A L'ENVIRONNEMENT.....

I -1 Les principaux impacts environnemental.....	
I-2 Les mesures d'atténuation des impacts.....	

CHAPITRE II ETUDE DE POSITIONNEMENT STRATEGIQUE DE LA BRANCHE

VERRE PLAT.....

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

II – 1 La situation nationale.....	II – 2 La situation internationale
<hr/>	
II- 3 Comparaison internationale.....	
II- 4 Stratégie national pour l'installation d'une industrie du verre.....	
II – 5 ETUDE DES REVIENTS DEFINITIF DU VERRE PLAT A MADAGASCAR.....	
II -5-1 Etude économique pour la fabrication de verre.....	
a) Matières premières.....	
b) Energie.....	
c) Main d'ouvrage.....	
d) Utilisation de soude ou silicate de sodium comme fondant.....	
e) Utilisation du cendre purifiée comme fondant.....	
70	
II- 5 -2 Conclusion.....	
CONCLUSION.....	73

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Schéma de la principale transformation de la silice
- Figure 2 : L'ion tétraédrique
- Figure 3 : Fours à pots
- Figure 4 : Appareillage de fabrication du verre à vitre
- Figure 5 : Etats des grains de sable en fonction de la température
- Figure 6 : Gisement de sable de Moramanga
- Figure 7 : Tamis vibrante
- Figure 8 : Broyeur à disque
- Figure 9 : Crible à mouvement giratoire verticale
- Figure 10 : Schéma de préparation mécanique du sable
- Figure 11 : Broyeur
- Figure 12 : Les boulets
- Figure 13 : Broyeur à boulets
- Figure 14 : Tamis
- Figure 15 : Schéma de préparation mécanique pour l'analyse

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau n°1 : Classement du verre
- Tableau n°2 : Pourcentage des matières premières entrant dans la fabrication du verre
- Tableau n°3 : Récapitulatif de l'enfournement
- Tableau n°4 : Résumé des mises en forme du verre
- Tableau n°5 : Différentes températures de recuissone
- Tableau n°6 : Résultats d'analyse d'un hêtre
- Tableau n°7 : Composition chimique du sable siliceux de Toamasina
- Tableau n°8 : Teneur en silice et en oxyde de fer du sable de Champ de tir
- Tableau n°9 : Teneur en silice et en oxyde de fer du sable de Masse
- Tableau n°10 : Composition chimique de sable de Moramanga
- Tableau n°11 : Composition chimique de quartzite d'Analabe
- Tableau n°12 : Teneur en silice, en oxyde de fer et en oxyde de titane du sable siliceux de Moramanga
- Tableau n°13 : Teneur en silice
- Tableau n°14 : teneur en fer
- Tableau n°15 : Teneur en alumine
- Tableau n°16 : Récapitulation des résultats
- Tableau n°17 : Teneur en cendre
- Tableau n°18 : Caractéristique de la lessive de cendre
- Tableau n°19 : Pourcentage en carbonate de potasse et soude
- Tableau n°20 : Récapitulation des résultats
- Tableau n°21 : Dosage de composition
- Tableau n°22 : Dosage en silice et soude
- Tableau n°23 : Dosage de composition
- Tableau n°24 : Dosage en silice et en soude
- Tableau n° 25 : Composition du mélange
- Tableau n°26 : Poids en silice et en soude
- Tableau n° 27 : Composition du mélange
- Tableau n° 28 : Poids en silice et en soude
- Tableau n°29 : Dosage en composition
- Tableau n°30 : Dosage en silice et en soude

Tableau n°31 : Dosage en composition

Tableau n°32 : Dosage en silice et en soude

Tableau n°33 : Dosage en composition

Tableau n°34 : Dosage en silice et en soude

Tableau n°35 : Composition de silicate de sodium

Tableau n°36 : Dosage de composition

Tableau n°37 : Dosage en silice et silicate de sodium

Tableau n°38 : Dosage en composition

Tableau n°39 : Dosage en silice et silicate de sodium

Tableau n°40 : Dosage en composition

Tableau n°41 : Dosage en silice et silicate de sodium

Tableau n°42 : Dosage de composition

Tableau n°43 : Dosage en silice et en soude

Tableau n°44 : Composition du mélange vitrifiable

Tableau n°45 : Dosage en silice et en soude

Tableau n°46 : Récapitulation des résultats des essais

Tableau n°47 : Rejets polluants d'un four verrier pour un four qui produit 230 tonnes de verre et consomme 31 tonnes de fioul par jour

Tableau n°48 : Composition moyenne des fumées pour un verre sodocalcique

Tableau n°49 : Pollution des eaux générée par la fabrication de verre, industrie céramique

Tableau n°50 : Récapitulatif des importations du verre (INSTAT)

Tableau n°51 : Prix des produits industriels

Tableau n°52 : Puissance des appareils utilisés par ans

Tableau n°53 : Revient définitif (en Ariary) d'un Kg de verre (fondant= soude)

Tableau n°54 : Revient définitif (en Ariary) d'un Kg de verre (fondant= silicate de sodium)

Tableau n°55 : Revient définitif (en Ariary) d'un Kg de verre (fondant= cendre purifiée)

INTRODUCTION

De tout temps, on a cherché à utiliser le verre dans la plus ample fonction. Le nouveau matériau a révolutionné aussi bien le style d'habitation que la décoration intérieure. Ce matériau transparent et résistant est devenu l'ami de l'architecte et de l'utilisateur.

Très vite après sa découverte, l'on a donné de la couleur au verre et des formes particulières en tant qu'objets de décoration, ustensile de ménage, vitre.

Pour le développement de notre pays nous avons choisi la production du verre car cet industrie rapporte deux fois le chiffres d'affaires de l'industrie cimentière.

La technique de la vitre est très ancienne et n'a guerre variée depuis le moyen age. Le verre est composé de soude et du sable.

Parmi les pays en voie de développement, Madagascar est particulièrement avancé en ce qui concerne la recherche géologique. Il possède des gisements de sable siliceux quasiment inexploités.

Dans notre pays, la production du verre est encore dominée par l'importation.
Aussi avons-nous essayé de procéder à l' « ETUDE DE LA POSSIBILITE DE PRODUCTION DU VERRE A MADAGASCAR »

La présente étude comporte trois parties :

La première traite les études bibliographiques sur l'ensemble du verre et des matières premières

La seconde partie se rapporte aux études expérimentales

Dans la troisième partie, nous exposons une étude socio- économique préliminaire du verre

PARTIE – I
ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES

CHAPITRE I : RAPPELS ET GENERALITES SUR LE VERRE [1]

I-1 DEFINITION

Le verre est une substance minérale solide issue de la fusion d'un sable siliceux mêlé de chaux et de carbonate de sodium [1]. C'est un produit inorganique de fusion qui a été refroidi jusqu'à l'état solide sans cristalliser.

Le verre est un liquide solidifié résultant de la fusion de plusieurs éléments. Ces éléments sont mélangés à une température d'environ 1500°C et fabriquées selon plusieurs techniques distinctes [2]

Le vitrail, c'est une grande fenêtre avec châssis de métal garni de verres, ordinairement peints [1].

D'après les verriers, c'est un solide altérable par les agents atmosphériques et renfermant plus de 60% de silice.

Scientifiquement, c'est une substance amorphe présentant l'état solide ou de liquide surfondu transparent, translucide ou opaque sonore, doué d'une cassure brillante et pouvant passer par toutes les phases de l'état pâteux par élévation de température

I-2 HISTOIRE DU VERRE

Le verre existe déjà naturellement depuis plusieurs centaines de milliers d'années. L'homme l'utilisa pour la première fois il y a 100.000 ans sous forme d'obsidienne (verre naturel d'origine éruptive) pour fabriquer des outils, des armes coupantes et des bijoux.

Les premiers verres fabriqués par l'homme sont originaires de Mésopotamie de Syrie ou d'Egypte. Ils ne sont pas encore transparents ou translucides mais opaque.

Selon Flavius Volpicus, Pline l'Ancien (3.000 ans avant JC). Ce serait des marchands Phéniciens qui faisant cuire leurs aliments sur les rives du fleuve Bélos dans des marmites supportées par des blocs de natron, avaient vu couler une substance inconnue, un noble liqueur comme cristal glissant ou pierreries fondus, d'où ils apprirent à faire le verre [3]

La matière a subi une longue évolution depuis son état naturel jusqu'aux dernières innovation pensées par l'homme. Et c'était vers XVIIe Siècle, que les constructeurs, les architectes n'avaient plus à hésiter à intégrer dans leur plan la lumière du soleil par action des verres plats qu'ils appellèrent : « le vitre »

L'usage du verre à vitre était connu des romains mais fut peu répandu dans l'architecture civile jusqu'au XVe Siècle . On se prémunit du vent et des intempéries par des moyens rudimentaires : volets de bois, toiles cirées, peaux ou papier huilés qu'il valait mieux protéger de grillages.

Durant le moyen Age, il y eut une longue stagnation du vitrail dans les maisons où les fenêtres dont la taille diminua n'étaient presque plus vitrées.

Au début du XIV^e Siècle, naquit la première verrerie à vitre à Bézu- la- forêt dans l'Eure et les feuilles planes « plats de verre » inventées par Philippe Cacqueray.

I-3HISTOIRE DU VERRE A MADAGASCAR

A Madagascar, des nombreux vases, miroirs, carafes et petit objet décoratifs sont offerts par l'Ambassadeur Anglais pour la Reine Ranavalona III, donc les ouvrages en verre commençaient à être connus à partir de cette époque [4]

Après la colonisation, vu les recherches sur l'environnement minier faites par Monsieur Besarie, le gouvernement lançait des projets d'études concernant l'installation d'une unité de verrerie à Madagascar pour le marché local. C'est ainsi que la société verrerie de Madagascar (SO.VE.MA), une société qui produit des bouteilles et verre à boire était créée le 24 Août 1967 à Toamasina.

Mais suite a des difficultés et surtout la manque de devise, l'usine fermait ses portes en Août 1984 et l'autorisation de mise en chômage technique des personnels fût obtenu le 30 Novembre 1986.

I-4ETAT PHYSIQUE DU VERRE

- Description de la molécule de silice

La silice existe sous un grand nombre de variété allotropique : quartz α et β , tridymite α, β, γ , cristobalite α et β [5]. Elle a une structure individualisée et chacune de ces formes présentent

deux structures selon la température :

1460°C fusion pâteuse

Quartz α

573°C 1670°C fusion pâteuse

Quartz β tridymite β cristobalite β verre

870°C 1470°C 1710°C

163°C 240°C

Tridymite α_2 cristobalite α

117°C

Tridymite α_1

Figure 1 : Schéma de la principale formation de silice [3]

C'est un silicate à tétraèdres en édifices à trois dimensions ou tectosilicates, dans le tectosilicates les tétraèdres sont soudés les uns aux autres par leurs quatre sommets. Chaque atome d'oxygène appartenant à la fois à deux tétraèdres voisins, la formule de cet édifice doit s'écrire $\text{SiO}_4/2$ ou SiO_2

La silice cristallisée SiO_2 appelé cristobalite est solide dans les conditions normales, dont une variété allotropique à même structure que le diamant. A l'état naturel, il est sous forme de sable siliceux ou de roche quartzite, chaque atome de silicium est placé au centre d'un tétraèdre et lié à quatre atomes d'oxygènes (figure 2). Le verre à l'état pur, est du bioxyde de silicium



Figure 2 : L’ion tétraédrique [3]

- L’état vitreux

L’état vitreux est observé dans une matière si ses molécules sont toutes identiques tandis que leur distribution est désordonnée. C’est le cas du verre où chaque molécule de silice est identique (tétraèdre) mais où l’organisation des unes et des autres est désordonnée. Cette fausse organisation se situe entre celle des solides (ordonnée, cristallisé) et celles des liquides (en mouvement donc amorphe) . L’état vitreux est cet état « solide amorphe » (non cristallisée) caractérisé par la distribution désordonnée des molécules qui conservent néanmoins des distances fixes entre elles.

- Etat vitreux à l’état cristallisé

La dévitrification du verre peut apparaître sous certaines conditions. L’état vitreux disparaît en même temps que sa structure s’organise, se cristallise. Le verre devient opalin, il perd sa solidité et sa transparence.

Ce défaut est plus observable sur les verres à base de potasse. Elle a aussi lieu dans le cas d’un refroidissement trop prolongé après fusion de verre. On appelle zone de dévitrification, la zone de température dans laquelle une cristallisation est susceptible de se créer

- Viscosité

La viscosité est une qualité qui permet d’opposer une résistance à l’écoulement de la matière sur une surface donnée ; c’est le cas du verre lorsqu’il est chauffé entre 1000°C et 1400°C. Les molécules sont liées ensemble et possèdent une degré de liberté pour se déplacer les unes par rapport aux autres : ceci s’appelle la viscosité. Il faut savoir que le verre même fortement chauffé n’est jamais fluide, il devient progressivement malléable, puis de 1000°C à 1400°C, il devient visqueux (consistance du miel). Dans le sens inverse, en se refroidissant, la matière est de moins en moins visqueuse, elle redevient plastique, (on peut la déformer car elle

est encore déformable) puis elle redevient finalement solide et rigide.

Le verre peut donc être qualifié de liquide figé (solide non cristallisé) obtenu après figement d'une matière surfondue dont la viscosité est extrêmement élevée.

- Structure de verres

Les verres silicatés sont des verres minéraux. C'est le résultat de la fusion de la silice qui se refroidit sans cristalliser et qui par suite de l'augmentation progressive de leur viscosité, prend à la température ordinaire, les caractéristiques des corps solides.

Les oxydes alcalins et alcalinoterreux qui sont des modificateurs de réseaux sont dissociés dans le verre, l'ion oxygène est accepté par un ion Si^{4+} formateur de réseaux et se place au sommet d'un tétraèdre.

I-5 CARACTERISTIQUES PHYSICOCHIMIQUES DU VERRE [6]

- Densité et dilatation

La densité du verre varie entre 2,2 pour les verres riches en silice et 2,4 pour les verres riches en plomb. Son coefficient de dilatation thermique :

- pour le verre plat $90 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 /^\circ\text{C}$
- pour le verre borosilicaté $8 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 /^\circ\text{C}$

Pour augmenter ce coefficient, il faut ajouter des alcalins, par contre pour la baisser on ajoute de l'anhydride borique B_2O_3 et de l'oxyde de calcium CaO

- Propriétés mécaniques

Le verre est un matériau fragile mais il présente une dureté de l'ordre de 6,5 à l'échelle de Mohr, c'est à près analogue aux aciers. Il présente une bonne résistance à la traction de 4 à 10Kg/m^2 . Sa résistance à la pression est de 100 à 200Kg/m^2 . Le verre peut supporter une charge à la compression de l'ordre de 60 à 120Kg/m^2 .

La mode de fabrication est importante au niveau de la propriété mécanique. Le verre présente une module d'élasticité, c'est-à-dire il s'allonge deux à trois fois plus que l'acier pour

une même charge.

- Propriétés thermiques

A cause de sa structure cristalline inexistante, le verre est un très bon isolant thermique, avec une capacité calorifique de l'ordre de 0,2 cal/ g/ °C.

Sa conductivité thermique plus forte que celle d'un plastique mais plus basse que celle d'un métal est de l'ordre de $2 \cdot 10^{-3}$ cal / cm² / s / °C

- Propriétés optiques

Le verre est un corps isotrope, c'est-à-dire toutes les propriétés physiques sont identiques dans toutes les directions.

Dans le visible, une très faible partie de rayonnement est absorbée. L'indice de réfraction de verre varie de 1,5 et 1,90

- Propriétés électriques

Les verres sont des isolants électriques. Le constant diélectrique varie de 1 à 5 et on peut fabriquer des petits condensateurs à partir du verre

- propriétés chimiques

Le verre présente une assez grande inertie chimique, l'acide fluorhydrique HF attaque le verre, la fusion alcaline détruit le verre.

Le verre peut être attaqué par l'eau suite à un contact assez long

Comme les liquides, le verre garde aussi l'isotropie de ses propriétés

I-6 CLASSEMENT DU VERRE [7]

On peut classer les verres suivant le passage de ces corps de l'état liquide à l'état solide par refroidissement, en formant des cristaux (corps cristallisables) ou non (corps vitreux)

- Corps cristallisable

En refroidissant progressivement un liquide, on atteint généralement une température

critique qui est le point de congélation. Pendant ce temps, les atomes ou molécules qui le composent sont animés d'un mouvement désordonné, puis s'organisent suivant les caractéristiques des corps cristallins.

Alors, si le solide est à nouveau chauffé, les atomes abandonnent très brusquement la configuration cristalline à la même température critique (point de fusion). C'est-à-dire il perd sa structure cristalline.

Pour qu'un liquide se cristallise il faut trois choses :

- la perte d'énergie du mouvement
- le temps nécessaire pour arranger les atomes selon la structure cristalline
- un schéma cristallin selon lequel il s'organise

Enfin, quand tout le contenu du verre est solide, il recommence à refroidir pour atteindre la température du mélange réfrigérant. C'est le phénomène de dévitrification

- Corps vitreux

La différence entre corps vitreux et corps cristallisables est définie par sa caractérisation.

En chauffant progressivement de 7°C à 800°C un verre courant, celui-ci va se ramollir jusqu'à en devenir plastique, vers 1000°C, il devient de plus en plus fluide et fond vers 1400°C, cet état fluide est comparable à celui du miel. Ce phénomène physique est réversible. Ce classement est résumé par le tableau suivant :

Tableau 1 : Classement du verre

Classement de verre	Solide → liquide	Liquide → solide
Corps vitreux	Réchauffement progressif	Refroidissement rapide
Corps cristallisables	Réchauffement rapide	Refroidissement progressif

I – 7 DIFFERENTS TYPES DU VERRE [11]

- Les verres sodocalciques :

Exemple de composition : Silice 72% + soude 13% + chaux 5%

C'est le plus commun des verres. Il a une bonne stabilité chimique, mais il est sensible aux chocs thermiques, il est utilisé pour la fabrication des verres plats et creux, des ampoules électriques et en bouteillerie.

Température de ramollissement pour 70% de silice = 700°C

- Son coefficient de dilatation est élevé = $86.10^{-7} \text{ m}^3 /^\circ\text{C}$ (de 0 à 300°C)

➤ Les verres borosilicates :

Exemple de composition : Silice 80% + anhydride borique 13% + soude 4% + alumine 3%
Le plus connu est le pyrex qui possède une bonne résistance aux chocs thermiques. On en fait des ustensiles de laboratoire et de cuisine. Il sert aussi pour l'isolation et le stockage de déchets radioactifs

Température de ramollissement pour 80% de silice : 820°C

- Son coefficient de dilatation est très faible : $32.10^{-7} \text{ m}^3 /^\circ\text{C}$ (de 0 à 300°C)

➤ Les verres au plomb

Exemple de composition : Silice 62% + Oxyde de plomb 21% + Potasse 7%

On l'appelle cristal si la teneur en oxyde de plomb est supérieur à 24%. Il sert en gobeletarie et en verrerie d'art, pour les téléviseurs et en électronique. Le cristal est limpide très sonore, très résistant à la dévitrification.

Température de ramollissement pour 60% de silice et 25% de plomb : 630°C

- Son coefficient de dilatation est très élevé : $90.10^{-7} \text{ m}^3 /^\circ\text{C}$ (de 0 à 300°C)

➤ Le verre de silice

Il contient au moins 96% de silice

Il est très employé grâce à sa grande pureté et pour sa résistance aux températures élevées, à la corrosion et aux chocs thermiques.

On l'utilise pour la fabrication de tubes de lampe à halogène, des éléments d'optique et des miroirs de télescope

Température de ramollissement pour plus de 96% de silice : 1700°C

- Son coefficient de dilatation est très faible : $5,6.10^{-7} \text{ m}^3 /^\circ\text{C}$ (de 0 à 300°C)

➤ Les vitrocéramiques ou vitro cristallins

Exemple de composition : Silice 75% + Alumine 15% + Sel de titane 5% + Oxyde de lithium 3%

Ces sont des dérivés du verre dont la fabrication est basée sur le principe de dévitrification

La transformation en céramique semi cristalline s'obtient par un traitement thermique appelé « céramisation » qui permet d'obtenir un début de cristallisation. La température de cristallisation est à environ 800°C et la cristallisation dure environ deux heures.

Les vitrocéramiques peuvent posséder une grande résistance à la rupture et un coefficient de dilatation très faible, ce qui leur permet d'être très résistants aux chocs thermiques ils sont notamment utilisés en verrerie culinaire résistante au feu. On les utilise aussi pour fabriquer des miroirs de télescope géant d'environ deux mètres de diamètre

I-8 CONCLUSION

La matière a subi une longue évolution depuis son état naturel jusqu'aux dernières innovations pensées par l'homme. Cette progression est riche d'éléments ; il est donc indispensable de détailler les compositions du verre et les procédés d'obtention

CHAPITRE II : PROCESSUS DE PRODUCTION DU VERRE [8]

II-1 COMPOSITION DU VERRE

En général, trois éléments de base sont nécessaires pour la fabrication du verre :

- Le vitrifiant
- Les fondants
- Les stabilisants

Par leurs actions, on peut classer ces produits en trois grandes parties :

- oxyde formateur
- oxyde modificateur
- oxyde intermédiaire

- Oxyde formateur (vitrifiant)

Ce sont des oxydes dont l'énergie de liaison $M - O$ est $\geq 80\text{Kcal} / \text{atome-gramme}$. Ils peuvent être vitrifiés. Ces oxydes doivent répondre aux règles suivantes quand on les porte en fusion :

- Le système doit contenir une proportion suffisante de cations M en coordination 3 ou 4
- Les polyèdres de coordination ont des sommets communs
- Les atomes d'oxygène ne sont liés qu'en présence de plus de deux de ces cations au maximum et ne forment pas de liaison avec d'autres cations

La silice : dioxyde de silicium SiO_2 , c'est le principal constituant pour la fabrication du verre qui représente jusqu'à 99% de la masse. C'est l'élément formateur de réseau. la dureté du verre dépend de sa quantité. Elle fond à haute température 1750°C . Elle entre dans la fabrication sous forme de sable.

Le borax : anhydride borique B_2O_3 , utilisé pour le pyrex (borosilicate) et se prête bien au travail de laboratoire grâce à sa grande résistance aux chocs thermiques ; il diminue le coefficient de dilatation. Son point de fusion est de 2300°C . Le borax a par ailleurs en effet de fondant qui permet de baisser le point de fusion de verre et améliore aussi la fusibilité du mélange.

Le cristal de roche : pour la fabrication de cannes de quartz, il fond à 1500°C

- Oxyde modificateur

L'ajout des oxydes modificateurs affaiblit les liaisons entre les éléments formateurs et les oxygènes. L'énergie de liaison de ces oxydes est $\leq 60\text{Kcal / atome-gramme}$. Il existe deux catégories des oxydes modificateurs suivant leur action :

- les fondants (oxydes alcalins)

Obtenus à partir des produits industriels ou naturels, ils accélèrent la fusion de dioxyde de silicium SiO_2 . Comme ce sont des bases fortes, ils réagissent sur le dioxyde de silicium SiO_2 qui est un oxyde acide par la réaction de fusion alcaline oxydante

L'oxyde de sodium Na_2O : Il a pour but de diminuer la température de fusion. Il entrait autrefois dans la composition sous forme de cendre de plante ou de nitre. Il augmente l'éclat du verre et sa résistance aux agents atmosphériques, ainsi que le coefficient de dilatation. Mais le verre sodocalcique a un caractère sec et il faut constamment le réchauffer pour le façonner ; trop contraignant à travailler à la main, il se prête bien à la production industrielle.

L'oxyde de potassium K_2O : Il permet un temps de façonnage assez long et assure une bonne sonorité et un beau brillant. Il entrait autrefois dans la composition sous forme de cendre de plante terrestre, aujourd'hui on utilise du salpêtre (nitrate de potassium KNO_3). Il abaisse le point de fusion, mais il diminue sa résistance chimique.

L'oxyde de magnésium MgO : Il est utilisé sous forme de dolomie (calcium + magnésium). Il n'est pas indispensable pour tous les verres, sauf le verre flotté, le verre à vitre et en gobeletterie. Il abaisse la température de fusion et augmente la résistance aux agents chimiques.

- Les stabilisants (oxydes alcalino – terreux)

Ces oxydes stabilisent et rendent le verre plus résistant aux agents chimiques comme l'eau ou les acides. Ils accélèrent aussi la fusion du mélange

L'oxyde de calcium CaO : Il est utilisé sous forme de chaux. Il augmente la résistance chimique du verre, son éclat et diminue sa solubilité, mais en excès il provoque une dévitrification.

- Oxyde intermédiaire (oxyde amphotère ou neutre)

Ces oxydes améliorent les propriétés optique, physique et thermique du verre.

L'oxyde de zinc ZnO : Il augmente l'éclat et l'élasticité

L'oxyde de fer Fe₂O₃ : Souvent contenu dans les roches naturelles. Il donne une teinte verdâtre.

L'oxyde de plomb PbO : Il entre dans la composition du cristal. Il abaisse également le point de fusion en stabilisant la composition. Il rend le verre plus éclatant tout en lui conférant une légère teinte jaunâtre. il est plus agréable à couper et à travailler

- Les colorants (oxyde coloratif)

La coloration du verre est aussi une des fonctions des oxydes intermédiaires.

Oxyde de cobalt, de manganèse = bleu

Chrome, argent = Jaune

Sélénium = jaune orangé à rouge

Oxyde de cuivre = rouge

Oxyde de manganèse = violet

Or = Rose et rouge rubis

Les pourcentages des trois éléments sont résumés dans le tableau suivant

Tableau 2 : Pourcentage des matières premières entrant dans la fabrication du verre

Matière première	Pourcentage
Vitrifiant	60 à 72,8%
Fondant	0,3 à 17%

Stabilisant	0 à 10,2%
-------------	-----------

II-2 PROCEDE D'OBTENTION DU VERRE

La fabrication du verre nécessite les étapes suivantes :

- Composition et préparation du mélange vitrifiable
- Fusion du mélange et sa transformation en une masse pâteuse de verre fondu homogène
- Mise en forme à chaud des objets en verre
- Recuisson du verre en vue de le stabiliser
- Façonnage du verre

- Processus de fabrication :

1) Composition du mélange

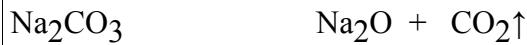
Il faut mélanger les oxydes formateurs et les oxydes intermédiaires. La silice à elle seule peut former un verre mais l'obtention exige une température de fusion élevée donc on a intérêt à abaisser la température de fusion de la silice, donc on a besoin d'ajout comme le potasse K_2O et la soude Na_2O .

La préparation des matières premières nécessite une grande rigueur car les composantes doivent être mélangées pour devenir parfaitement homogènes jusque dans la plus petite proportion. Les matières premières stockées en silos, s'écoulent vers un mélangeur qui mélange les composants uniformément. Pour une préparation plus petite, les produits sont pesés et mélangés manuellement.

Le mélange vitrifiable peut contenir, en plus de la préparation initiale, 30% de calcin (débris de verre) qui favorise la vitrification et l'homogénéité.

2) Fusion du mélange

On procède à l'enfournement du mélange. C'est-à-dire le mélange oxyde acide SiO_2 , oxyde basique KOH ou $NaOH$ et oxyde intermédiaire amphotère ou neutre avec du calcin est introduit dans le four. Dans le four, les matières premières se transforment en verre fondu en provoquant des dégagements gazeux CO_2 et la formation des bulles, des réactions se déroulent pendant ce temps : les réactions commencent au dessus de $800^{\circ}C$ lorsque les fondants commencent à fondre :



Jusqu'à la digestion complète du sable.

La phase de vitrification commence au contact , soit de l'atmosphère du four , soit de la paroi du creuset, vers le centre de la masse en fusion car les matières premières utilisées en verrerie sont des mauvaises conductrices de la chaleur et vers 1500°C, on obtient une masse fondu.

La fusion dure 4 à 5 heures pour une quantité de 1000 tonnes. La masse fondu du four n'est pas encore homogène donc elle nécessite de l'affinage. Cette non homogénéité de la masse du verre est due à la présence des bulles de gaz provenant de la décomposition des sulfates et des carbonates. L'affinage consiste à un chauffage prolongé à une température de 1200°C à 1500°C. On ajoute un agent d'affinage (sulfate de sodium) au mélange visqueux pour faire grossir les bulles gazeuses. Elles peuvent alors remonter à la surface et disparaître. La surface de verre en fusion est recouverte de déchets que l'on racle avec des outils en fer.

Et pour augmenter la viscosité du verre, on laisse la masse fondu se reposer et se refroidir : c'est la braise.

Récapitulatif

Tableau 3 : Récapitulatif de l'enfournement

Etape	Température	Réaction	Résultats
La fusion	800 à 1200°C	Dégagement gazeux, bulles	Les matières premières sont fondues
L'affinage	1200 à 1500°C	Augmentation de la fluidité + agent d'affinage = remontée des impuretés	Elimination des impuretés en surface, homogénéité
La braise	1500 à 1000°C	Baisse de la température	

Pour une production industrielle, on utilise des fours continus appelé « fours à bassin » tandis que dans une production artisanale, on utilise des fours à pots

- Fours à bassin [9]

Constitués de matériaux réfractaires, ces fours sont formés d'un long couloir

rectangulaire pouvant mesurer jusqu'à 50m de long et 10m de large, divisé par un ou deux compartiments. La cuve peut contenir jusqu'à 2500 tonnes de verre sur 1,50m d'épaisseur.

On distingue deux sortes de four à bassin suivant la production pour du verre plat ou pour du verre creux

- Fours à pots

C'est un four circulaire ou rectangulaire, avec des récipients en argile réfractaire. Ces fours peuvent contenir 1 à 16 creusets contenant jusqu'à 1000 litres de verre en fusion chacun.



Figure3 : Four à pots

3) Mise en forme à chaud ou float

On obtient une masse visqueuse et homogène apte à être travaillée. Suivant ce qu'on désire obtenir, on distingue diverses opérations:

Tableau 4 : Mises en forme du verre

	Fours à pots	Fours à bassin
Verres plats	Soufflage en plateau Soufflage en manchon Coulage du verre	Flottage du verre Laminage du verre Etirage du verre
Verres creux	Soufflage du verre Coulage du verre	Pressage du verre Soufflage du verre Refoulage du verre

- Verres plats

Fours à pots

- Soufflage en plateau : On se sert d'une canne à souffler et d'une petite tige de fer pour le soufflage
 - Soufflage en manchon : Une ébauche est soufflée et balancée au dessus d'une fosse où elle s'allonge par son propre poids jusqu'à former une bouteille
 - Coulage du verre : Coulage du verre sur du marbre ou du fer
- Fours à bassin
- Flottage du verre : Coulage du verre sur un bain d'étain fondu
 - Laminage du verre : On déverse le verre entre deux rouleaux horizontaux espacés de quelques millimètres, ces rouleaux sont refroidis par circulation d'eau pour éviter le collage du verre
 - Etirage du verre : La formation de la feuille se fait en plongeant une barre d'amorce horizontale qui entraîne une lame de verre verticalement dans un puits d'étirage

- Verres creux

Fours à pots

- Soufflage du verre : Le soufflage se fait à la bouche, dans un moule en bois ou en terre réfractaire
 - Coulage du verre : Coulage du verre sur un plan horizontal lisse ou imprimé
- Fours à bassin
- Pressage du verre
 - Soufflage du verre : Ce procédé nécessite une ébauche, qui est ensuite transférée dans un moule finisseur, et formée par injection d'air comprimé
 - Refoulage du verre : On utilise un fragment de verre solide que l'on ramollit pour le modeler grossièrement puis on le presse dans un moule métallique

4) Recuisson du verre

Aucun produit verrier ne peut être utilisé sans avoir subi ce traitement après sa mise en forme, sauf les fibres de verre qui subissent un brusque refroidissement pour obtenir une haute résistance mécanique.

Déposé à 600°C sur des rouleaux d'un tunnel de refroidissement appelé « étenderie », long de 100 mètres, le ruban de verre se refroidit sous contrôle jusqu'à la température ambiante, il acquiert vers 500°C les propriétés d'un solide parfaitement élastique.

La recuisson du verre comporte 3 phases :

- La température du verre descend suffisamment pour que le verre ne risque pas de se déformer, mais reste encore assez chaud pour conserver sa viscosité. Les contraintes disparaissent entre 500 et 550°C pour les verres courants
- La température est abaissée à 400°C jusqu'à ce qu'il devienne rigide. Cette phase de refroidissement évite la formation de nouvelles contraintes
- Simple refroidissement à température ambiante

Tableau 5 : Différentes températures de recuissage

Verre	Température de recuissage
Majoritaire en silice	1000°C à 1100°C
Borosilicaté	550°C à 600°C
Sodocalcique	450°C à 480°C
Cristal	400°C à 420°C

5) Façonnage du verre plat ou equarri

C'est la refroidissement à l'air libre du verre, suivi du stockage dans un endroit bien contrôlé.

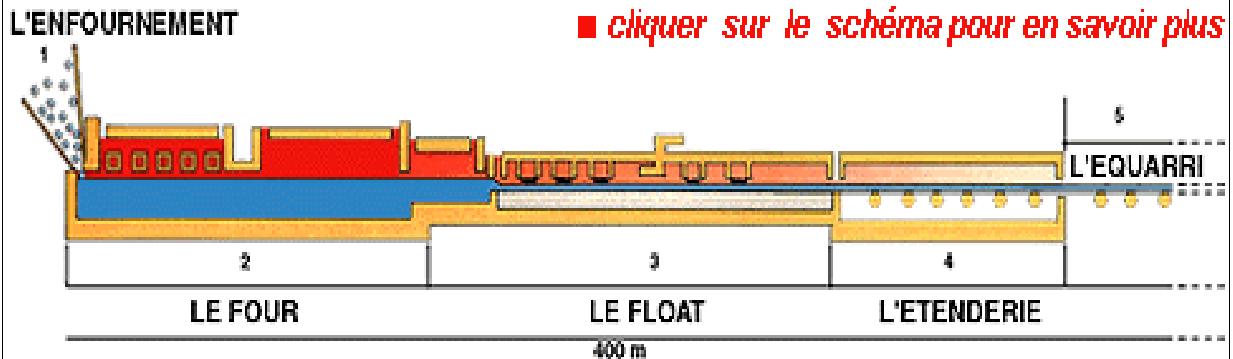


Figure 4 : Appareillage de fabrication du verre à vitre

- Autres procédés

1) Au moyen Age [8]

Le verre est obtenu par la cuisson d'un mélange de sable et de cendre de hêtre.

Le sable : depuis XIIIe Siècle, la silice est obtenue par broyage de cailloux d'un fleuve, composé de silice extrêmement pur

La soude : jusqu'au XIVe Siècle, elle était préparée à partir des cendres de plante à haute teneur en sodium, les cendres pourraient être utilisées telles quelles ou bien après

purification

2) Fusion de l'ancien verre de Murano [10]

La fusion avait lieu en 2 stades

- Préparation de la « Fritte »

Sur le rayon d'un four nommé « Cachera » on plaçait le mélange de silice et de cendres. à une température autour de 700°C, il se transformait après 6 à 12 heures en une masse solide dite fritte

- La fritte à laquelle on ajoutait du manganèse en tant que décolorant était transférée dans les pots, où se produisait la fusion proprement dite

3) Procédé FOURCAULT [2]

Ce procédé a été inventé en Belgique et consiste à faire passer le verre en fusion à travers une fente aménagée dans une pièce réfractaire, la débiteuse se trouve légèrement au-dessous de la surface de fusion. La nappe de verre est amorcée à l'aide d'une barre horizontale, passant ensuite entre des rouleaux. La largeur de la feuille de verre est ainsi constante, l'épaisseur peut varier de 1mm à 8mm . La planéité est assez bonne mais la surface est légèrement marquée par les lèvres de la débiteuse

4) Procédé LIBBEY – OWENS [2]

Ce procédé fut mis au point définitivement aux Etats- Unis en 1918. Il consiste à faire passer le verre en fusion, entre deux rouleaux moletés, placés aux deux extrémités de la largeur de la cuve, tournant en sens inverse , afin de maintenir une largeur constante de la feuille de verre.

La feuille de verre est alors pliée à 90°C sur un rouleau placé à 1,50m à la verticale du bassin et ensuite amenée horizontalement à l'étenderie de recuisson. La surface interne du verre est plus ou moins marquée par le passage du rouleau

5) Procédé PITTSBURGH

Mis au point aux Etats-Unis en 1925, il est à étirage vertical. La différence principale est que le verre passe à travers la fente de la pièce de base sans toucher les bords.

A la sortie du bassin, le verre est refroidi rapidement par de forts courants d'air froid. Il est ainsi solidifié et ensuite recuit au passage par une cheminée verticale

II-3 COLORANTS DU VERRE

- La lumière

La lumière est considérée comme un ensemble de particules énergétiques que l'on appelle les photons. Elle est constituée d'ondes électromagnétiques dont chacune correspond à une couleur (pour le domaine visible). L'ensemble des longueurs d'onde correspond au spectre lumineux. La lumière du soleil qui possède toutes les longueurs d'onde du spectre visible est dite « blanche ». Nous pouvons voir les objets qui nous entourent car ils réfléchissent la lumière vers notre œil. Et la couleur de ces corps dépend du spectre qu'ils envoient. Si le spectre d'une lumière envoyée par un corps possède plusieurs longueurs d'onde, notre œil mélange chacune des couleurs et l'on distingue le résultat.

- Réflexion et réfraction

La réflexion de la lumière a lieu lorsqu'elle rencontre un solide et qu'elle est réfléchie ; elle rebondit sur la surface dans une autre direction.

La réfraction a lieu lorsqu'elle traverse un solide (translucide). La lumière est réfractée, cette pénétration peut changer la perception des couleurs. Si la lumière traverse une feuille de verre à surfaces parallèles, elle en sort selon la même angle. Si les surfaces ne sont pas parallèles, les faisceaux sortiront suivant un angle différent.

- La coloration du verre proprement dite

- 1) La coloration directe

La couleur est donnée en ajoutant des mélanges d'oxydes métalliques qui absorbent certaines longueurs d'onde de la lumière. L'oxyde de fer par exemple, absorbe le rouge et donne le vert. La tonalité et l'intensité d'une coloration dépendent de la nature et de la quantité des colorants ainsi que de la composition du verre lui-même (sodique ou potassique).

- 2) La coloration indirecte

Certains oxydes sont en suspension dans la masse vitreuse au cours de la fusion. La

coloration apparaît lors du réchauffement du verre aux alentours de 600°C. La chaleur provoque une dilatation des particules qui met en évidence la couleur dans la longueur d'onde souhaitée.

3) Les matières utilisées

Elles sont très nombreuses et variées. Ce sont des colorants minéraux à base métallique car ce sont les seuls qui peuvent être mélangés à la silice pendant la fusion. Bleu = Oxyde de cobalt, de manganèse.

Jaune = chrome, argent

Rouge = oxyde de cuivre

Violet = oxyde de manganèse

Rouge et rouge rubis = or

Jaune orangé à rouge = sélénium.

- La décoloration du verre

Les composants contiennent toujours un faible pourcentage d'oxydes métalliques qui teintent le verre d'une couleur verdâtre. Pour obtenir un verre réellement incolore, il faut donc procéder à sa décoloration. Il existe deux techniques :

1) La décoloration chimique

Les principaux décolorants sont le bioxyde de manganèse, appelé savon des verriers, les oxydes de titane et d'antimoine. On ajoute ceux-ci à la composition du mélange vitreux. Ils neutralisent la coloration verdâtre donnée par l'oxyde de fer. Les conditions du fusion permettent ensuite de faire disparaître les oxydes métalliques indésirables en les décomposant.

2) La décoloration physique

Lors de la fusion, il faut introduire dans la composition du verre la couleur complémentaire à l'oxyde métallique déjà présent pour faire tendre la teinte de la masse vitreuse vers le gris (incolore)

Exemple : verdâtre + rose sélénium = neutre

II- 4 CONCLUSION

La technique du verre est très ancienne et variée depuis le Moyen Age, et actuellement beaucoup de recherches sur cette technique sont entreprises.

Les verriers fabriquent le verre avec de la cendre de hêtre et du sable, avec des oxydes pour colorer la pâte de verre

CHAPITRE III : LES MATIERES PREMIERES ET LEUR

CARACTERISTIQUE

En général, la fabrication du verre se fait par la réaction entre un vitrifiant et un fondant.

Dans cette étude nous avons utilisé le sable siliceux comme vitrifiant, et la soude, le silicate de sodium ou le cendre de hêtre comme fondant.

III-1 LE SABLE SILICEUX [12]

Ce sont des oxydes formateurs de réseaux vitreux, qui sont constitués de dioxyde de silicium SiO_2 appelé cristobalite. Il présente une structure de type cubique et le silicium se trouve dans les sites tétraédriques d'une structure compacte d'oxygène.

Ces grains sont durs et fragiles (indice 7 sur l'échelle de Mohr). Ils existent sous plusieurs états en fonction de la température.

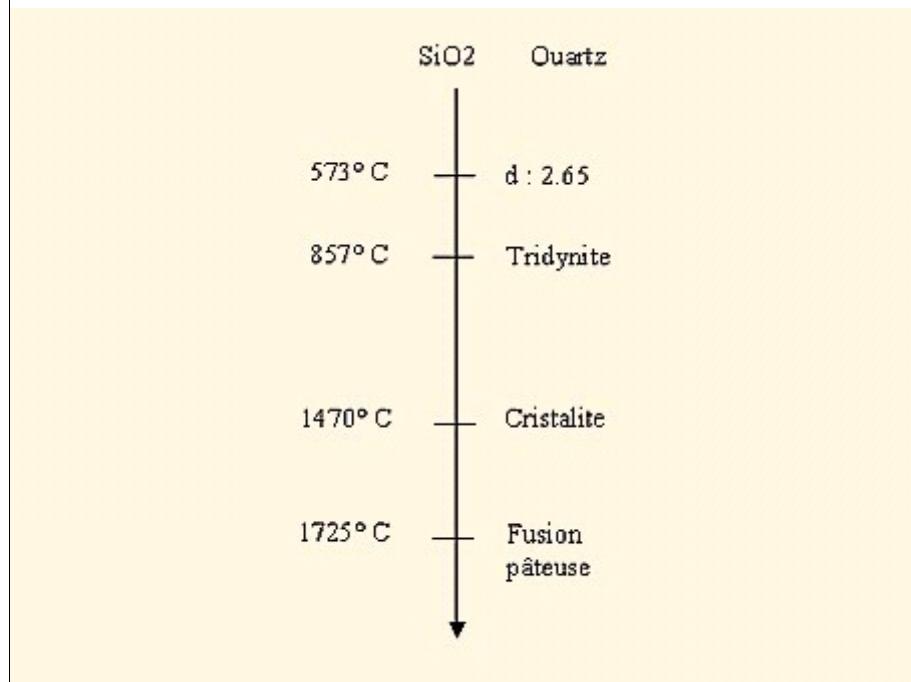


Figure 5 : Etats des grains de sable en fonction de la température

Dans les industries de verrerie, le sable siliceux est caractérisé par :

- le pourcentage en silice SiO_2

Le meilleur sable comporte 98 à 99% en SiO_2 mais un sable de teneur en silice de 90% ou plus est encore acceptable

- la granulométrie

La granulométrie optimale pour l'obtention d'un verre sans défaut est de diamètre entre 0,1 et 0,5mm et un bon sable offre plus de 50% des quantités satisfaisantes à cette granulométrie

- la teneur en Fe_2O_3

L'excès en Fe_2O_3 donne au verre final une coloration verte. C'est-à-dire que plus la teneur en Fe_2O_3 est élevée plus il est difficile d'obtenir un verre blanc

- les teneurs en oxydes magnétiques

Chrome, grenat, ilménite, rutile, tourmaline, ces oxydes provoquent des taches noires dans la qualité de verre final car ils sont encore infusibles à la température de fusion

III- 2 LE HETRE [10]

Le hêtre est un arbre de la famille des fagacées car le fruit est maintenu dans une « cupule » (organe enveloppant les fruits des arbres). Il prospère dans le partie Nord de la France, notamment en Normandie. Au sud de la Loire, il est présent dans le massif central et les Pyrénées Occidentales. On le rencontre aussi à Madagascar

- Description

C'est un arbre forestier à tronc droit, écorce lisse mince de couleur gris clair d'espèces hétérophylle. Il peut atteindre une hauteur d'environ 30 à 40m. Le hêtre est assez indifférent à la nature du sol, calcaire ou siliceux, riche ou pauvre. Il est sensible aux grands froids et aux forêts chaleurs.

Les feuilles pétiolées, ovales, à bords pubescents sont en disposition alterne et distique.

Les fleurs se forment en Avril, jaune pour les mâles et vertes pour les femelles, ils forment des groupes séparés ; et les fruits nommés faines groupées de trois à quatre dans une cupule hérisée.

- Utilisation

Fruit : extraction d'huile comestible

Bois homogène et dur : exploité en menuiserie comme meuble, parquet, bois de chauffage

Charbon : utilisé pour la sidérurgie des minerais

Par combustion incomplète : extraction du goudron

Par distillation : obtention de la créosote à forte odeur

Cendre de bois : entraient dans la composition du savon artisanal, utilisé dans la fabrication du verre.

- Cendre de hêtre

La nature et la quantité des matières minérales formant les cendres varient également avec les diverses parties de l'arbre. L'écorce en contient plus que le bois, les branches plus que le tronc et le tronc plus que les racines. La silice et la chaux sont plus abondantes dans l'écorce que dans le bois tandis que la potasse domine dans le bois.

L'analyse d'un hêtre nous donne les résultats suivants.

Tableau 6 : Résultat d'analyse d'un hêtre

Désignation	Pourcentage
Eau	40%
Cendre	0,65%
Principes élémentaires	59,35%

Et on peut considérer que les éléments non organiques qui constituent les cendres sont en majorités basiques avec 48% de chaux, 13% de potasse et soude, 9% au total d'oxydes tels que : magnésie, oxyde de fer, oxyde de manganèse, les constituants acides : acide phosphorique, acide silicique, acide sulfurique sont moins débordants.

C'est pour cela qu'au Moyen age , on introduisait la soude nécessaire à la fabrication du verre par le moyen de cendre de hêtre qui est particulièrement riche de ce produit.

CHAPITRE IV : PRINCIPAUX GITES DE SABLES DERIVES DES QUARTZITES DECOUVERTS JUSQU'A PRESENT A MADAGASCAR

Les sables de verrerie sont constitués par des roches naturelles, Madagascar en est très riche. Les principaux gîtes sont [13] :

- Les dunes anciennes de Toamasina
- Les gîtes de sable siliceux de Champ de tir (limite sud de la ville de Toamasina)
- Les gîtes de sable de Masse (sur le chemin de fer Antananarivo – Toamasina)
- Les gîtes de sable de Moramanga
- Les gîtes de quartzite de Sahambavy
- Les gîtes de quartzites d'Analabe

IV – 1 DUNES ANCIENNES DE TOAMASINA

La région de Toamasina présente une bande côtière sableuse large de plusieurs kilomètres et correspondant à une formation dunaire. Le sol de recouvrement est constitué par des sables alluvionnaires blancs d'une épaisseur variable de 0,5 à 3m reposant sur des sables jaunes ou rouges plus épais.

Le sable brut de Toamasina a la composition chimique suivante en pourcentage

Tableau 7 : Composition chimique du sable siliceux de Toamasina [13]

Désignation	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)
Dune	81,10	1,30	0,40
Carrière	89,90	0,92	1,90

IV – 2 GITES DE SABLE SILICEUX DE CHAMP DE TIR

Situé à 4,5Km au Sud de la gare de Manangareza, le gisement consiste en une bande côtière sableuse large d'environ 800m. Il est limité à l'Ouest par la voie ferrée et par le canal de Pangalanes. La bande côtière débute au bord de la mer par une plage vive d'une vingtaine de mètres de largeur suivie d'un corelon dunaire d'une hauteur moyenne de 7 à 8m et qui s'étend jusqu'à 200m de rivage. La zone sableuse est recouverte de gazon. La partie superficielle d'une épaisseur de 0,5 à 0,80m est de couleur grise.

D'après une étude, les caractéristiques du sable sont données dans le tableau 8 ci-après :

Tableau 8 : Teneur en silice et en oxyde de fer du sable de Champ de Tir [13]

Echantillon	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)
Sable 1	89,10	0,90

Sable 2	89,10	0,60
Sable 3	90,00	1,55
Sable 4	90,80	1,70
Sable 5	90,70	1,30
Sable 5	90,70	1,70

IV – 3 GITES DE SABLE DE MASSE

Ce gisement est situé à proximité du chemin de fer Antananarivo – Toamasina à 130 Km à l’Est de Tananarive et à 15 Km à l’Est de Moramanga. C’est un gisement dérivé de quartzites reposant en éluvions sur des argiles latéritiques. Il est fréquent qu’à leur base, les sables blancs soient enrichis en matières végétales sur quelques centimètres.

Les résultats d’analyses antérieurs sur des échantillons prélevés sont résumé dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Teneur en silice et en oxyde du sable de Masse [13]

Echantillon	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)
1	99,15	0,37
2	99,35	0,23
3	99,33	0,14
4	99,11	0,17

IV- 4 GITES DE SABLE DE MORAMANGA

Les formations de sable de Moramanga sont caractérisées par des altérations de quartzites. La position des affleurements des sables se trouve sur la route de Moramanga – Anosibe an ‘ala du PK 1,5 au PK 3. Les résultats d’analyse de ce sable sont donnés dans le tableau 10 ci-après

Tableau 10 : Composition chimique de sable de Moramanga [15]

Composition	Pourcentage (%)
SiO ₂	96,42
Al ₂ O ₃	0,37
Fe ₂ O ₃	2,33
TiO ₂	0,21
MgO	-

IV – 5 GITES DE QUARTZITE DE SAHAMBAVY

C'est un gisement de plusieurs dépôts sableux dérivé de quartzites métamorphiques qui se trouve sur la plaine alluviale de Sahambavy à 18 Km à vol d'oiseau à l'Est de Fianarantsoa sur le bord de la voie ferrée Fianarantsoa – Manakara. Les réserves sont environ 200.000tonnes avec une épaisseur de 50cm

IV – 6 GITES DE QUARTZITES D'ANALABE

Le gisement se trouve dans la région d'Analabe de Mandrailanitra et d'Ambatotelo, fivondronana d'Ambositra. Il est caractérisé par des utacolmites purs, blanc, gréseux, peu cohérents ou compacts. Sa pureté en silice y est presque totale. Il s'étend sur une chaîne de montagnes de quelques kilomètres et larges d'environ 150m.

Les réserves sont estimées à 6.200.000 tonnes environ. L'analyse de ce sable est résumé sur ce tableau

tableau 11 : Composition chimique de quartzite d'Analabe [13]

Composition	Pourcentage (%)
SiO ₂	98,1
Al ₂ O ₃	0,3
Fe ₂ O ₃	0,6
TiO ₂	Trace
CaO	Trace
K ₂ O	0,3
Na ₂ O	0,6
PF	-
Humidité	-

IV- 7 CONCLUSION

D'après tous cela, Madagascar possède une richesse non négligeable en sable siliceux et

l'exploitation de cette richesse doit être justifiée dans le cadre de l'application du développement rapide et durable

CHAPITRE V : LE SABLE SILICEUX DE MORAMANGA

La région étudiée, appartient au domaine de la côte Est de Madagascar. C'est un pays forestier, à climat tropical, humide et chaude, correspondant au vaste plateau mamelonné qui sépare les deux falaises majeures de Madagascar (falaise Betsimisaraka et celle de l'Angavo)

V – 1 NATURE [14]

Ce sont des sables siliceux constituant des plages plus ou moins étendues. Le gisement correspond à des sables résultant du démantèlement de quartzites métamorphiques granuleux. Il forme des nappes de recouvrement qui sont généralement faibles, de l'ordre du mètre.

Les sables peuvent difficilement être exploités sur une épaisseur inférieure à 50cm. Les 10 à 15 premiers centimètres sont très chargés en matières végétales et les zones à sables peu épais sont souvent marécageuses en saison humide.

Les sables sont assez grossiers, renfermant parfois de la sillimanite, biortile, ou graphite et

donnent par démantèlement des plages éluviales de sable blanc.

- examen minéralogique :

Les sables contiennent :

- du quartz limpide incolore en grain peu roulé
- du zircon reconnu par sa fluorescence
- des minéraux noirs composés surtout d'ilménite, avec des traces de magnétite

- La fraction granulométrique utilisable (grains compris entre 0,59 et 0,1mm) correspond en moyenne à 52% du tonnage total
- Examen chimique

Tableau 12 : Teneur en silice, oxyde de fer et en oxyde de titane du sable siliceux de Moramanga [13]

Désignations	Pourcentage
SiO ₂	98,10% à 99,20%
Fe ₂ O ₃	0,20% à 0,38%
TiO ₂	0,08% à 0,10%

Le gisement de Moramanga renferme une réserve exploitables d'environ 520.000 tonnes, réparties en 11 zones ayant une épaisseur moyenne de 70cm.

V –2 CADRE GEOGRAPHIQUE [15]

La ville de Moramanga se trouve à 115 kilomètres de Tananarive sur le chemin de fer de Toamasina. Les gisements de sables débutent à 2 kilomètres au Sud de la ville vers la route

qui mène à Anosibe An'ala (voir localisation sur la carte à l'annexe). Les sables supportent une végétation de graminées et de broussailles.

V – 3 CADRE GEOLOGIQUE [16]

Les sables blancs constituent les derniers sédiments lacustres du bassin de Moramanga.

L'allure des affleurements avec une limite régulière et des épaisseurs homogènes vers l'Ouest, et au contraire des langues à fortes épaisseurs vers l'Est semble montrer que dans cette région l'alimentation du bassin s'est faite par des rivières venant de la région Est. C'est là que devaient se situer les quartzites d'origine. Les grains de quartz sont peu roulés et le transport a sans doute été de faible amplitude.

Au cours de la sédimentation, les minéraux lourds se sont déposés dans les surcreusements et au débouché des rivières.

Au point de vue de l'utilisation pratique de ces sables soulignons leur forte teneur en matières végétales et leur granulométrie très étalée qui obligeront sans doute à passer par l'épreuve de tamisage avant toute utilisation..

PARTIE – II ETUDES EXPERIMENTALES

CHAPITRE I : CARACTERISTIQUES DES MATIERES PREMIERES

I-1 CARACTERISATION

I-1- 1 Sable siliceux

Pour la caractérisation du sable, nous avons effectués divers analyses :

- Teneur en silice
- Teneur en fer
- Teneur en alumine

Mais avant l'analyse proprement dite, on doit passer par des préparations mécaniques (Annexe I). Ces préparations mécaniques a pour but de préparer les échantillons aux fins d'analyses chimiques

a) Echantillonnage

Pour les analyses de caractérisation, nous avons utilisé l'échantillon de sable siliceux prélevé à 3 Km au sud de la ville de Moramanga sur une épaisseur supérieure à 50cm selon les

coordonnées Laborde :

X = 587,845

Y = 790,729

Z = 956



Figure 6 : Gisement de sable de Moramanga

b) Teneur en silice

La teneur en silice a été déterminée sur des échantillons pulvérisés. Le mode opératoire est à l'annexe (Annexe)

Le calcul de la teneur en silice se fait à partir du poids P_1 de l'échantillon après une première calcination et P_2 poids après une deuxième calcination :

$$\text{Teneur en silice} = (P_1 - P_2) \times 0,1$$

Tableau 13 : Teneur en silice

Echantillon	Teneur en silice
Sable siliceux	98,30%

c) Teneur en fer

La détermination de la teneur en fer a été effectuée à partir du filtrat obtenu lors de la détermination de la teneur en silice (Annexe)

Le résultat est obtenu par la formule :

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2) - \text{TiO}_2$$

Tableau 14 : Teneur en fer

Echantillon	Teneur en fer
Sable siliceux	0,37%

d) Teneur en alumine

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2) - (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2)$$

Tableau 15 : Teneur en alumine

Echantillon	Teneur en alumine
Sable siliceux	0,3%

e) Recapitulation des résultats

Les sables bruts ont la composition suivante:

Tableau 16 : récapitulation des résultats

Echantillons	SiO₂	Fe₂O₃	Al₂O₃
Sable siliceux	98,30%	0,37%	0,3%

I – 1- 2 Cendre de hêtre

a) Teneur en cendre

La détermination de la teneur en cendre a été effectuée sur des échantillons du hêtre. Le principe est l'incinération du hêtre dans l'air à 950°C jusqu'à masse constante du résidu obtenu qui est formé uniquement de la partie non combustible.

Le calcul de la teneur en cendre se fait à partir de la perte de masse par rapport à la masse initiale.

$$\frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

$$\text{Teneur en cendre} = 100 - \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \right)$$

$$\frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

Les résultats expérimentaux (Annexe) sont résumés dans le tableau ci –après :Nous avons obtenu le résultat suivant :

Tableau 17 : Pourcentage en cendre

Echantillon	Cendre
Hêtre 1	0,73%
Hêtre2	0,70%

b) Teneur en carbonate de potasse et soude

Cette teneur a été déterminée à partir du lessive de la cendre de hêtre (Annexe), et nous avons les résultats suivantes

Tableau 18 : Caractéristique de la lessive de la cendre

Degré Baumé	Pourcentage en soude	Densité
20°Bé	14,37%	1,162

Tableau 19 : Pourcentage de carbonate de potasse et soude

Echantillon	Pourcentage en carbonate de potasse et soude
Cendre de soude	12,52%

c) Récapitulation des résultats

Tableau 20 : Récapitulation des résultats d'analyse du hêtre

Echantillon	Teneur en cendre	Teneur en carbonate de potasse et soude
Hêtre	0,71%	12,52%

CHAPITRE II : ETUDE PRATIQUE DE LA PRODUCTION DU VERRE

Globalement, la composition du verre est basée sur trois éléments :

- vitrifiant (oxyde acide)
- fondant (oxyde basique)
- stabilisant (oxyde neutre)

En variant leurs proportions, des quantités de formules sont possibles.

II- 1 MANIPULATION

Les études expérimentales ont été effectuées à l'échelle de laboratoire. Elles comportent 2 étapes :

- Préparation mécanique
- Essai de fabrication de verre

II- 1 -2 Préparation mécanique du sable

Le gisement de sable siliceux a une épaisseur supérieure à 50 cm donc pour l'extraire, nous avons besoin d'un bulldozer et d'une pelle mécanique. Après on agglomère les sables.

Les sables arrivent par camion et sont déchargés à l'intérieur des usines avant la préparation mécanique. Cette préparation comporte quatre étapes :

- Triage et nettoyage
- Séchage
- Broyage
- Tamisage

a) Triage et nettoyage

Cette opération est réalisée par un appareil appelé tamis vibrante , cet appareil est constitué par une surface criblant , horizontale ou inclinée, animée d'un mouvement vibratoire rapide perpendiculaire à cette surface. Ils peuvent effectuer tous les tamisages à sec de 0,3mm à 120mm



Figure 7: Tamis vibrante

b) Séchage

Le séchage s'effectue à l'air libre ou dans un bâtiment bien aéré. On peut également effectuer cette opération par un sufflation d'air chaud ou froid à l'aide des ventilateurs.

c) Broyage

Cette opération amène les solides à des dimensions de l'ordre de 0,1 à 0,5mm. On utilise un broyeur à disque. Le broyage est assuré par deux disques , l'un mobile et l'autre fixe, ou des disques tournants en sens inverse. Le mode de fragmentation se fait : par cisaillement, ou par attrition, ou par compression

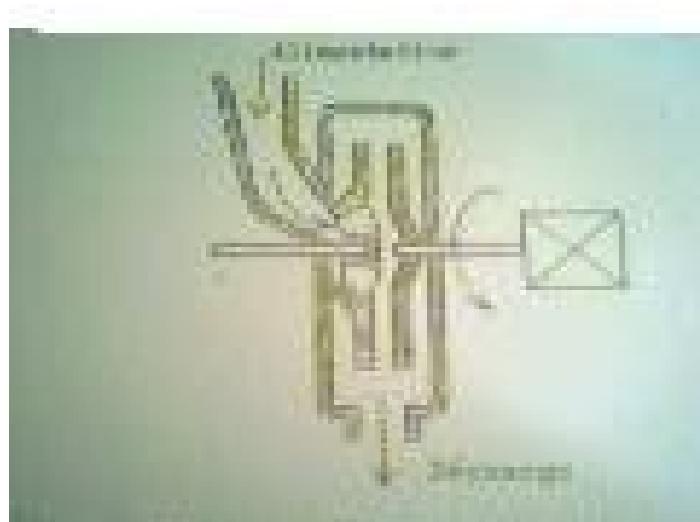


Figure 8 : Broyeur à disque

d) Tamisage

C'est une opération de classement mécanique de grain ; on utilise un crible à mouvement giratoire vertical ; la surface de tamisage , rectangulaire, est animée d'un mouvement circulaire dans un plan vertical, au moyen d'un excentrique ou d'un balourd.

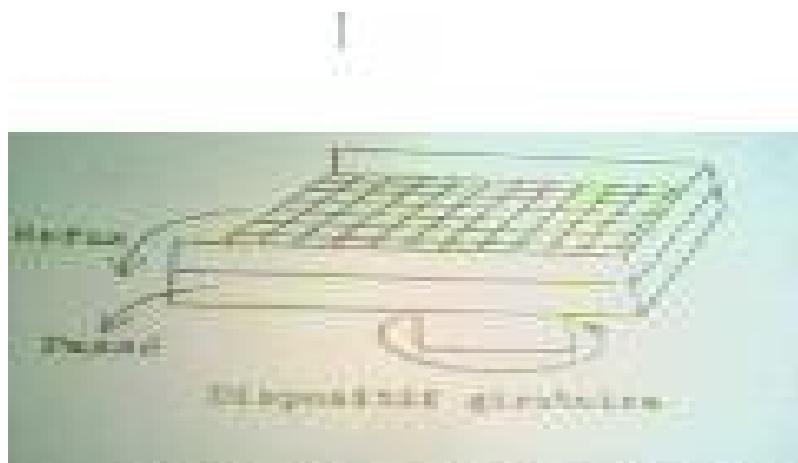


Figure 9 : Crible à mouvement giratoire verticale

Sable brut

Triage et nettoyage
(Tamis vibrante)

Séchage

Broyage 0,1 à 0,5mm
(Broyeur à disque)

Tamisage
(Crible à mouvement giratoire verticale)

Sable 0,1 à 0,5mm

Figure 10 : Schéma de préparation mécanique du sable

Cette opération est effectuée dans une industrie, mais à l'échelle laboratoire, la préparation qu'on a effectuée est comme suit :

a) Séchage

On fait le séchage du sable à ciel ouvert

b) Broyage

On utilise un broyeur à boulets, cet appareil est constitué par un tambour cylindrique à axe horizontal garni intérieurement par un blindage rempli de boulets d'acier. La vitesse de rotation du tambour est choisie de telle sorte que la vitesse relative de chute de la masse des boulets d'acier soit maximale entraînant une énergie cinétique optimale. En effet, les sables sont broyés par percussion, compression et frottement entre les boulets eux-mêmes et entre les boulets et la paroi mais aussi par le choc provoqué par les boulets en retour au cours de la rotation.



Figure 11 : Broyeur



Figure 12 : Les boulets



Figure 13 : Broyeur à boulets

c) Tamisage

On utilise le tamis en inox de contrôle normal AFNOR NFX 11540. Il est formé de tôle perforées montées dans des cadres circulaires de 31,5 de diamètre. L'ouverture des toiles est de 500μ .



Figure 14 : Tamis

Cette préparation mécanique a pour but :

- de faciliter la fusion
- d'obtenir la dimension nécessaire pour l'opération

II- 1-2 Essai de fabrication

1- Procédé d'obtention

- L'enfournement : Les matières premières sont pesés , puis mélangées . elles composent une charge vitrifiable qui, après addition de calcin, est envoyée

jusqu'au four.

- Le four : Bassin en réfractaire
- Le float : à 1100°C, le verre fondu coule du four sur un bain d'étain en fusion. Le verre flottant sur une surface liquide plane est étiré en ruban à faces parallèles. Sur les bords de ruban, des roues dentées étirent ou repoussent le verre latéralement, pour obtenir l'épaisseur désirée. Les épaisseurs obtenues vont de 1,1mm à 19mm
- L'étenderie : Les verres plats ont subi l'opération de recuisson à 600°C. C'est un refroidissement lent et conditionné du verre sur les rouleaux d'un tunnel pour éliminer toute trace de tension interne
- L'équarri : Refroidi à l'air libre, le ruban de verre est contrôlé puis coupé en plateaux de 6m X 3m débordés automatiquement. Les volumes sont ensuite placés verticalement sur des chevalets grâce à des relevageuses à ventouses.

2- Procédé expérimental à échelle laboratoire

a) Matières premières

Les matières premières utilisées lors des essais de fabrication du verre sont :

- Vitrifiant : le sable siliceux
- Fondant : le cendre de hêtre, la soude, le silicate de sodium
- Stabilisant : La chaux, le salpêtre, le calcin, l'alumine

b) Appareillage de fusion

- Creusets :

Nous avons utilisé des creusets en inox et des creusets en argile réfractaire résistant à une haute température

- Four

Nous avons utilisé le four électrique du laboratoire dont les caractéristiques sont les suivantes :

Type : CWF 11/5

Température maximale : 1000°C

Volts : 220 – 240

Phase : 1

Hertz : 50 - 60

Watts : 2400

Amps max : 10

c) Essai de fabrication

- Préparation du mélange vitrifiable

Tableau 21: Dosage de composition

Désignations	Pourcentage
Sable	59,90%
Cendre	40,10%

Tableau 22 : Dosage en silice et soude

Désignations	Pourcentage
Silice	59,45%
Soude	5,06%

- Introduction du creuset dans le four :

Avant l'introduction du mélange dans la four, nous avons effectué un malaxage manuel pendant 30mn pour que le mélange vitrifiable serait homogène.

La température du four est réglée à 900°C et on introduit le creuset dans le four.

La vitesse de température du four est de 15 heures / mn donc il a fallu 1 heure pour atteindre 900°C, puis palier 1 heure 25 mn

- Résultat

Bloc friable

- Interprétation

Le sable est entrain de s'agglomérer mais la durée n'est pas suffisante pour que le chauffage arrive au cœur du mélange

➤ Préparation du mélange vitrifiable

Tableau 23 : Dosage de composition

Désignations	Pourcentage
Sable	54,18%
Cendre	45,82%
Calcin	13,85% par rapport au poids

Tableau 24 : Dosage en silice et en soude

Désignations	Pourcentage
Silice	53,25%
Soude	5,73%

L'utilisation du calcin (déchets de verre) facilite la fusion de la silice

- Introduction du creuset dans la four

Avant l'introduction du mélange dans la four, il nous faut un malaxage manuel du mélange pendant 30mn pour avoir son homogénéité

On ajout du calcin après le mélange puis on introduit le tout dans le four

La température est réglée à 950°C

La durée de l'enfournement est de trois (3) heures

- Résultat

Bloc dur avec de calcin fondu refroidi au fond du creuset

- Interprétation

Il y a formation de fritte, c'est-à-dire le sable et le cendre s'agglomèrent afin de leur donner une cohésion et une rigidité, avant de le fondre.

La température n'est pas suffisante pour l'obtention de l'état vitreux.

Le calcin doit être mélangé avec le mélange vitrifiable pour avoir l'homogénéité

➤ Préparation du mélange vitrifiable

Tableau 25 : Composition du mélange

Désignation	Pourcentage
Sable	36,93%
Cendre	63,07%
Calcin	19,14% par rapport aux poids

Tableau 26 : Pourcentage en silice et en soude

Désignation	Pourcentage
Silice	36,30%
Soude	7,89%

L'augmentation du soude diminue la pourcentage en silice, c'est-à-dire plus la soude augmente plus la teneur en silice diminue. Cela est dû à la faible quantité de soude dans le cendre.

- Introduction dans le four

Les matières premières avec le calcin sont pesés et mélangés avant d'être envoyer dans la four

La température est réglée à 950°C

La durée de l'enfournement est de trois (3) heures

- Résultat

Bloc cuit de couleur blanche

- Interprétation

L'augmentation de soude modifie la caractéristique du bloc mais l'état vitreux n'est pas encore atteint

➤ Préparation du mélange vitrifiable

Tableau 27 : Composition du mélange

Désignation	Pourcentage
Sable	37,72%
Cendre	62,28%
Calcin	18,72% par rapport aux poids

Tableau 28 : Pourcentage en silice et en soude

Désignation	Pourcentage
Silice	37,07%
Soude	7,78%

- Introduction dans le four

Avant l'introduction du mélange dans le four, nous avons effectué un malaxage manuel

La température du four est réglée à 1000°C et on introduit le creuset dans le four pendant cinq (5) heures

- Résultat

Le mélange a commencé à fondre au fond du creuset mais la température n'a pas été assez élevée pour obtenir un verre pâteux

- Interprétation

L'augmentation de température est nécessaire

L'augmentation de pourcentage en soude est nécessaire pour activer la fusion mais la cendre contient une faible pourcentage en soude et les impuretés ne favorisent pas l'obtention de l'état vitreux, donc il nous faut une épuration du cendre

➤ Préparation du mélange vitrifiable

Tableau 29 : Dosage en composition

Désignation	Pourcentage

Sable	80%
Soude	14,45%
Chaux	5,52%
Calcin	29,81% par rapport aux poids

Tableau 30 : Dosage en silice et en soude

Désignation	Pourcentage
Silice	78,64%
Soude	14,45%

- Introduction dans le four

Les matières premières sont pesées et mélangées avant d'être envoyées dans le four

La température est réglée à 950°C

La durée de l'enfournement est de trois (3) heures

La chaux a un rôle de stabilisation du mélange

- Résultat

Verre pâteux de couleur blanche

Présence des bulles de gaz

Grains non dégénéré

- Interprétation

Il y a fusion du verre à l'état pâteux, la température n'arrive pas à réduire l'oxyde de fer dans le sable car la température de réduction de l'oxyde de fer est de 1000°C

- Conclusion

La température n'est pas encore suffisante même si on augmente le pourcentage en soude

L'utilisation de la chaux provoque une tendance à la dévitrification

➤ Préparation du mélange vitrifiable

Tableau 31 : Dosage en composition

Désignation	Pourcentage
Sable	60,9%
Cendre	27,39%
Soude	11,69%
Calcin	29,81% par rapport aux poids

Tableau 32 : Dosage en silice et en soude

Désignation	Pourcentage
Silice	59,89%
Soude	15,10%

- Introduction dans le four

Avant l'introduction du creuset dans le four, nous avons effectué un malaxage manuel pendant 30mn pour que le mélange vitrifiable serait homogène

La température du four est réglée à 950°C et on introduit le creuset dans le four pendant trois (3) heures

- Résultat

Verre pâteux avec coloration violet, au contact de l'air, il solidifie

Il y a des bulles de gaz et beaucoup de grains sont encore non dégénéré

- Interprétation

La fusion du verre commence, mais on n'observe pas l'état fluide

La coloration violette est due aux oxydes de manganèse contenus dans la cendre de hêtre

Les bulles de gaz proviennent de l'oxygène dégagé lors de la fusion

- Conclusion

Les oxydes contenus dans le cendre nous donne une coloration violette donc pour que cette coloration ne persiste pas, il ne faut pas ajouter du cendre. L'épuration du cendre est très indiquée

Pour éviter les bulles de gaz, il faut ajouter du salpêtre ou de l'arsenic car ils ont pour fonction de précipiter l'oxygénéation en cours de fusion

➤ Préparation du mélange vitrifiable

Tableau 33 : Dosage en composition

Désignation	Pourcentage
Sable	70,9%
Soude	12,9%
Chaux	9,89%
Alumine	2,01%
Cendre	3,16%
Salpêtre	1,03%
Calcin	29,73% par rapport aux poids

Tableau 34 : Pourcentage en silice et soude

Désignation	Pourcentage
Silice	69,69%
Soude	13%

- Introduction dans le four

Le mélange vitrifiable est pesé, mélangé dans le creuset pendant 30mn avant de l'introduire dans le four à 950°C

La durée de l'enfournement est de quatre (4) heures

Le salpêtre ou nitrate de potassium est un agent de clarification il précipite l'oxygène en cours de fusion et assure un bon brassage

L'alumine est utilisée pour étendre l'intervalle de façonnage

- Résultat

On obtient des pâtes de couleur violette tachetée de noir avec grand retrait

Le verre solide contient encore de très fines bulles de gaz

Il existe des grains non dégénérés

- Interprétation

Le verre ne peut pas encore atteindre la phase liquide

La couleur violette est due aux oxydes contenus dans le cendre

Les tâches noires sont dues à la présence d'oxydes magnétiques : chrome, grenat, ilménite, rutile, tourmaline, contenus dans le sable qui sont infusibles à la température de fusion de verre.

L'action du salpêtre diminue les bulles de gaz

➤ Fusion de la fritte

- Introduction dans le four

On introduit dans le four à 1000°C la fritte obtenue lors du premier et second essai

L'enfournement dure cinq (5) heures

- Résultat

On obtient un bloc dur

- Interprétation

Le faible pourcentage en soude nécessite une température élevée de 1500 à 1700°C donc le bloc ne peut pas encore fondre.

➤ Dans cet essai, nous avons utilisé le silicate de sodium comme fondant.

Le silicate de soude a aussi un rôle d'agglomérant des sables de fonderie. Le rapport $\text{SiO}_2 / \text{Na}_2\text{O}$ doit être entre 1,6 et 3,5

Tableau 35 : Composition de silicate de sodium

SiO ₂ / NaOH	SiO ₂ NaOH	SiO ₂	NaOH
2	100g	66.6g	33,4g
4	100g	80g	20g

➤ Préparation du mélange vitrifiable

Tableau 36 : Dosage en composition

Désignation	Pourcentage
Sable	60,16%
*Silicate de sodium	13,87%
Chaux	0,7%
Salpêtre	1,99%
Calcin	23,25%

*Silicate de sodium avec SiO₂ / NaOH = 2

Tableau 37 : Dosage en silice et silicate de sodium

Désignation	Pourcentage
Silice	59,14%
Silicate de sodium	13,87%

- Introduction dans le four

On introduit le creuset avec le contenu dans le four à 1000°C pendant 5 heures

- Résultats

Cristallisation du mélange vitrifiable

Couleur violet clair

Grain non dégénéré

- Interprétation

La température n'est pas encore suffisante

➤ Préparation du mélange vitrifiable

Tableau 38 : dosage de composition

Désignation	Pourcentage
Sable	59,89%
* Silicate de sodium	14,01%
Chaux	0,4%
Salpêtre	2%
Calcin	23,37%

*Silicate de sodium avec $\text{SiO}_2 / \text{NaOH} = 4$

Tableau 39 : Dosage en silice et silicate de sodium

Désignation	Pourcentage
Silice	58,87%
Silicate de sodium	14,01%

- Introduction dans le four

Même que précédemment

- Résultats

Même que précédemment

- Interprétation

L'utilisation de silicate de sodium de rapport 2 et 4 a la même effet sur le mélange vitrifiable

➤ Préparation du mélange vitrifiable

Tableau 40 : Dosage de composition

Désignation	Pourcentage
Sable	60,07%
Cendre	20,74%
Silicate de sodium	11,49%
Chaux	0,7%

Salpêtre	2,01%
Calcin	4,9%

Tableau 41 : Dosage en silice, soude, silicate de soude

Désignation	Pourcentage
Silice	59,05%
Soude	2,59%
Silicate de soude	11,49%

- Introduction dans le four

Le mélange vitrifiable est introduit dans le four après un malaxage manuel pendant 30mn

La température est de 1000°C pendant cinq (5) heures

- Résultats

On obtient un bloc dur qui commence à fondre

Couleur violette

- Interprétation

La température n'est pas encore atteinte mais le mélange commence à fondre au fond du creuset

Agglomération des sables avant de les fondre

- Conclusion

Si la cendre de hêtre n'est pas purifié nous avons besoin d'une température élevée pour avoir un bon résultat

➤ Préparation du mélange vitrifiable

Tableau 42 : Dosage de composition

Désignation	Pourcentage

Sable	56,65%
Soude	12,13%
Alumine	1,98%
Cendre	28,28%
Salpêtre	0,95%
Calcin	29,07% par rapport aux poids

Tableau 43 : Dosage en silice et soude

Désignation	Pourcentage
Silice	55,68%
Soude	15,67%

- Introduction dans le four

Pour que le mélange vitrifiable soit homogène, il nous faut un malaxage manuel pendant 30mn

La température est réglée à 1000°C et on introduit le creuset dans le four

La durée de l'enfournement est de cinq (5) heures

- Résultat

On obtient des pâtes de couleur vert noir dans des moules chauffés au rouge. Au contact de l'atmosphère qui est la température ambiante le verre pâteux à sa température de fusion subit une transformation qui évolue jusqu'à l'équilibre. Durant cette transformation le verre pâteux passe à l'état solide. Il y a dévitrification

Il y a encore des grains non dégénérés.

- Interprétation

Il y a eu un début de fusion mais il y a encore des grains non dégénérés et la température n'a pas été assez élevée pour obtenir un verre fluide.

La coloration verte noire est due à la présence de l'oxyde de fer dans le sable, qui donne la coloration verte et l'oxyde de manganèse dans la cendre qui donne la coloration violette. Il y a aussi les tâches noires dues aux oxydes magnétiques présents dans le sable

- Conclusion

La purification de la cendre est nécessaire avant son emploi comme matière première car il contient beaucoup d'impuretés qui ne favorisent pas le rôle de fondant de la soude dans sa composition

La température doit aussi augmenter

- Préparation du mélange vitrifiable

Tableau 44 : Composition du mélange vitrifiable

Désignation	Pourcentage
Sable	59,9%
Soude	14,09%
Chaux	0,69%
Salpêtre	1,99%
Calcin	23,28%

Tableau 45 : Dosage en silice et soude

Désignation	Pourcentage
Silice	58,91%
Soude	14,09%

- Introduction dans le four

Le mélange est introduit dans le four à une température 1000°C pendant 5 heures

- Résultats

Obtention d'un verre blanc, violet clair qui contient de très fines bulles de gaz et des cassures

- Interprétation

Le sable siliceux est un bon sable de verrerie

Le verre fondu présente une certaine transparence si on l'expose à la lumière.

Pour éviter la dévitrification, il faut sortir le verre du four à une température supérieure à 900°C mais faute de matériel, nous n'avons pas pu le faire.

- Conclusion

Nous avons donc de bons résultats jusqu'à la fusion avec la soude à 14% car le mélange

vitrifiable devient fluide

d) Conclusion

La récapitulation des résultats est résumée dans le tableau ci-dessous

Tableau 46 : Récapitulation des résultats des essais

Essai	Mélange vitrifiable	Température	Temps	Aspects
1	Sable + cendre	900°C	1h 25''	Bloc friable
2	Sable + cendre + calcin	950°C	3h	Fritte
3	Sable + cendre + calcin	950°C	3h	Bloc cuit
4	Sable + cendre + calcin	1000°C	5h	Le bloc commence à fondre au fond du creuset
5	Sable + soude + chaux + calcin	950°C	3h	Verre pâteux de couleur blanche Présence de bulles de gaz Existence de grains non dégénérés
6	Sable + cendre + soude + calcin	950°C	3h	Verre pâteux de couleur violette Présence de bulles de gaz Existence de grains non dégénérés
7	Sable + cendre + soude + chaux + alumine + salpêtre + calcin	950°C	4h	Pâtes de couleur violet tacheté de noir avec un grand retrait Très fines bulles de gaz Existence de grains non dégénérés
8	Fritte	1000°C	5h	Bloc dur
9	Sable + silicate de sodium de rapport 2 + chaux + salpêtre + calcin	1000°C	5h	Cristallisation du mélange Couleur violet clair Existence de grains non dégénérés
10	Sable + silicate de sodium de rapport 4 + chaux + salpêtre + calcin	1000°C	5h	Même que précédemment
11	Sable + cendre + silicate de sodium de rapport 2 + chaux + salpêtre + calcin	1000°C	5h	Bloc dur qui commence à fondre Couleur violette
12	Sable + cendre + soude + alumine + salpêtre + calcin	1000°C	5h	Pâtes de coloration vert noir Existence de grains non dégénérés
13	Sable + soude + chaux + salpêtre + calcin	1000°C	5h	Verre blanc violet clair Très fines bulles de gaz

L'augmentation de la température favorise la fusion de sable :

- Vers 1050°C si on utilise la soude à 14% ou du cendre purifié à 14%
- Vers 1200°C si on utilise la silicate de sodium à 14%
- Vers 1550°C si on utilise le cendre à 14%
- Vers 1700°C si on utilise pas de fondant

Les cendres doivent être épuré avant l'application

Pour décolorer le verre il faut ajouter de l'oxyde de titane

Finalement, le sable siliceux de Moramanga prête directement à la fabrication du verre, par contre la cendre de hêtre nécessite encore une purification.

L'opération de mise en forme ne nous donne pas de résultat satisfaisant car les conditions de réalisation ne sont pas adéquates pour le verre, il y a aussi le manque de matériel

PARTIE – III

ETUDES SOCIO ECONOMIQUES

CHAPITRE I : CONSIDERATION RELATIVE A L'ENVIRONNEMENT

En général, toutes industries de fabrication et du traitement des minéraux doivent répondre à trois impératifs :

- Assurer de hauts rendements
- Etre économiques et rentables
- Respecter l'environnement

Dans ce chapitre, nous étudierons les considérations relatives au troisième impératif ci-dessus.

De tous temps, la pollution et la dégradation de l'environnement ont fait prendre conscience des dangers et des désagréments des rejets industriels

D'après H.SADAR, 1996, l'environnement ce sont notamment :

- La terre, l'eau et l'air, y compris toutes les couches de l'atmosphère
- Toutes les substances organiques et inorganiques ainsi que les organismes vivants
- Les systèmes naturels en interaction qui incluent ces composantes
- Les conditions sociales, économiques et culturelles qui influencent la vie des personnes et des collectives
- Toutes constructions ou structures de fabrication humaine

D'après l'article 1 du décret 95.377 du 23mai 1995 relatif à la Mise en En Compatibilité des Investissement avec l'Environnement (M.E.C.I.E), tout projet d'investissement qu'il soit privé ou public susceptible de porter atteinte à l'environnement doit faire l'objet d'une étude d'impact, compte tenu de la nature technique, d l'ampleur dudit projet ainsi que de la sensibilité du milieu d'implantation. Parmi les investissements soumis à l'étude d'impact environnemental figurent les investissements relatifs aux industries de verre.

Conformément aux principes énoncés dans la loi n° 90 .033 du 21 décembre 1990 modifiée et complétée par les lois 97.012 du 06 juin 1997 et 2004 / 015 portant

charte de l'Environnement, notamment dans ses dispositions concernant les objectifs du programme d'Action Environnemental ainsi que l'impact des projets d'investissement et des actions de développement, la loi n°99.021 du 28 juillet 1999 définit le cadre général d'une politique de gestion rationnelle et de contrôle des pollution industrielle.

I -1 LES PRINCIPAUX IMPACTS ENVIRONNEMENTAL

Toute unité industrielle est soumise à autorisation conformément aux dispositions des textes règlementaires en vigueur de la loi 99.021 du 19 Août 1999 relative à la politique de gestion et de contrôle des pollutions industrielles.

L'industrie verrière est repartie en 3 secteurs principaux de production [20]

- le verre mécanique (verre creux, verre plat, fibre de verre,...)
- Le verre à main (gobeleterie fine,....)
- L'industrie de transformation

Et tous ces secteurs engendrent la pollution de l'environnement.

Donc les modalités d'application de l'article 7 (Annexe) de la loi 99 .021 sur la politique de gestion et de contrôle des pollutions industrielles sont nécessaires

D'une part, les problèmes liés à l'environnement sont les déchets de fabrication, ils sont généralement recyclés par retour dans le four, mais il y a une limite à la quantité qui peut être recyclée dans le secteur tel que le verre plat pour des raisons de qualité. La haute température à la fusion du verre génère des quantités d'oxydes d'azotes non négligeables, et des poussières qui résultent principalement des envolements et de la réaction de vapeurs

alcalines sur le dioxyde de soufre. On peut voir dans les tableau suivants les rejets polluants d'un four verrier en Kg / jour et la composition moyenne des fumées d'un four de verrerie

Tableau 47 : Rejets polluants d'un four verrier pour un four qui produit 230tonnes de verre et consomme 31 tonnes de fioul par jour

Désignation	Poids (Kg/ jour)
Fumées	550.000
SO _x	1.224
NO _x	667
Poussières	95

Tableau 48 : Composition moyenne des fumées pour un verre sodocalcique

Désignation	Pourcentage
CO ₂	14%
H ₂ O	9,6%
N ₂	71%
O ₂	5%

D'autre part, l'eau usée provenant d'une industrie de verre est aussi polluante

Tableau 49 : Pollution des eaux générée par la fabrication de verre et industrie céramique

Désignation	MES	MO	Sels	Toxiques	Azote	Phosphore
Verre, industrie céramique	7,9	0,8	1,7	2,5	0,7	0,6

MES : matières en suspension

MO : matières organiques

D'après ces tableaux, l'opération de fabrication de verre est aussi polluante.

I-2 LES MESURES D'ATTENUATION DES IMPACTS

Plusieurs moyens et méthodes ont été mis en œuvre pour réduire la quantité de polluants tout en respectant la qualité et le débit de la production de verre :

- Prévention et réduction à la source, déchets, eau, CO₂, émissions atmosphériques
- La mise en place d'un système de gestion des effluents liquides (épuration, régulation du PH, décantation,...) selon l'article 26 de la loi 099.021 sur la politique de gestion et de contrôle des pollution industrielles du 28 juillet 1999 (Annexe)
- L'utilisation du fioul à basse teneur en soufre
- Traitements spécifiques des fumées (electrofiltre, filtre à manche, ...) selon l'article 34 et 35 de la loi 099.021 sur la politique de gestion et de contrôle des pollution industrielles du 28 juillet 1999 (Annexe)
- Utilisation du four électrique mais cette solution n'a été retenue que pour des fours de petite capacité
- Utilisation de boosting électrique

Boosting électrique : installation des électrodes dans le four qui permet d'assurer un chauffage au cœur de la pâte de verre et diminue l'émission polluants.

CHAPITRE II ETUDE DE POSITIONNEMENT STRATEGIQUE DE LA BRANCHE VERRE PLAT

Le verre est l'un des matériaux les plus familiers. Il est utilisé sous des formes nombreuses et pour des applications diverses. De verres à boire aux pare-brises des automobiles en passant par le verre plat pour les bâtiments.

D'après l'étude faite, les principaux débouchés locaux sont :

- Les industries de constructions
- Les vitreurs

II – 1 LA SITUATION NATIONALE

En 1967, une industrie verrière était créée à Tamatave par le groupe Tourés et le gouvernement Malgache, mais l'usine Société Verrière de Madagascar (SOVEMA) fermait définitivement ses portes en Août 1984 suite à une situation financière catastrophique

Jusqu'à présent, Madagascar ne possède pas d'unité de verrerie et les importations du verre plat sont récapitulées sur le tableau suivant :

Tableau 50 : Récapitulatif des importation de verre (INSTAT)

Année	Valeur CAF (Ar)	Poids net (Kg)	Vu (poids net) (Ar/ Kg)
2002	543.754.403	896.831	660,306
2003	840.437.121	1.150.943	730,216
2004	2.422.299.927	1.405.607	1.723,312
2005	1.287.499.354	1.560.041	825,296

2006	1.393.446.045	1.462.706	962,649
2007 (*)	254.736.482	326.200	780,921

Source : DGINSTAT / DES / SSES / COMEXT / Octobre 2007

(*) : Janvier, février, mars, avril 2007

Ces verres sont importés soit des pays Européens soit des pays Asiatiques soit de la République Sud Africaine

II – 2 LA SITUATION INTERNATIONALE

Dans le monde le verre plat est utilisé à :

- 50% dans le bâtiment et l'ameublement
- 30% dans le transport
- Le reste est utilisé dans des spécialités diverses

En volume, la production du verre plat a été de 33 millions de tonnes par an

II- 3 COMPARAISON INTERNATIONALE

L'analyse du tableau de Benchmarking réalisé par référence à quatre pays à savoir la France, l'Italie, le Portugal et la Tunisie fait ressortir plusieurs observations pertinentes :

- La consommation intérieure est particulièrement élevée en Italie. Celle-ci s'explique par une tradition verrière très ancienne
- Le prix de revient du verre trempé en Tunisie ne présente pas de différence significative avec celui de la concurrence étrangère. Par contre pour celui du verre feuilleté pour le bâtiment, il est supérieur . Quand à celui du vitrage isolant, il est plus bas en Europe qu'en Tunisie

II- 4 STRATEGIE NATIONAL POUR L'INSTALLATION D'UNE INDUSTRIE DU VERRE

- Fabrication du verre plat

Installation d'une usine de verre à Madagascar dont le volume de production peut répondre au besoin national

➤ Action à entreprendre

Se recentrer sur les activités productives en accélérant la réalisation du programme de mise à niveau

Recherche plus approfondie pour avoir des produits répondant au critère de qualité et de rentabilité

➤ Mesure institutionnelle

Approfondir l'étude de faisabilité d'une unité de verre plat au niveau national

➤ Actions promotionnelles

Promouvoir l'emploi du verre fonctionnel dans le bâtiment

Sensibiliser les prescripteurs et les donneurs d'ordres publics et privés à la sécurité et l'isolation à l'utilisation du verre dans le bâtiment

II – 5 ETUDE DES REVIENTS DEFINITIF DU VERRE PLAT A MADAGASCAR

Pour une industrie, le choix d'implantation doit répondre les conditions suivantes :

- une région propice par l'abondance de matières premières
- une région ayant une débouchées accessibles avec un nœud de routes importantes vers des villes

Pour le calcul économique, nous avons basés sur les caractéristiques suivantes :

- 20.833 tonnes de production de verre par ans
- 300 jours d'activités annuelles
- 12.500 tonnes de sable de verreries utilisées par ans

II -5-1 Etude économique pour la fabrication de verre

a) Matières premières

- Sable siliceux

➤ Extraction

Le carrière louera un bouteur VPAT 5 à 90.000Ar par heure. Le bouteur pourra extraire 42 tonnes par heure qui est le besoin journalier de l'usine.

Le coût total d'extraction par ans est de $300j \times 90.000Ar = 27.000.000Ar$

➤ Transport

Le coût d'exploitation par kilomètre est de 4.000Ar soit 600.000.000Ar pour 12.500tonnes de sables

➤ Coût de sable par Kg

Extraction 27.000.000Ar

Transport 600.000.000Ar

627.000.000Ar pour 12.500 tonnes

Donc le prix d'un Kilogramme de sable est de 50,16Ar. Mais, il y a aussi le chargement qui sera fait manuellement donc ce prix revient à 70Ar / Kg

- Produits industriels

Tableau 51 : Prix des produits industriels

Produits	Prix (Ar / Kg)
Soude	2.800
Silicate de sodium	1.500
Chaux	2.500
Salpêtre	10.000

- Calcin

Le prix d'un kilogramme de débris de verre sera estimé à 184,4Ar

- Cendre de hêtre

Pour 27 Kg de hêtre à 13.000Ar, nous obtiendrons 191,7g de cendre constituée de 24g de soude.

De ce fait, le coût de cendre purifié par Kilogramme est de 541.667Ar

b) Energie

- Electricité

	UNITE	POIDS	PX UNITAIRE (Ar)	REVIENT	TOTAL (A)
	Heures		Puissance KW/ ans		
MATIERES PREMIERES					
Sable	8h – 18h		557.760		
soude	18h – 21h	Kg	41.667,0	59.850 70,0	2.916.690
Chaux	21h – 5h	Kg	9.722,3	160.320 2.800,0	27.222.440
	5h – 8h	Kg	486,1	59.850 2.500,0	1.215.287
Salpêtre		Kg	1.388,9	10.000,0	13.889.000
Calcin		Kg	16.180,7	184,4	2.984.527
Avaries			0,50%		48.227.944
TOTAL MATIERES PREMIERES			69.445,0		48.469.084
FRAIS GENERAUX					
Energie		<u>Nbre d'heures</u>	<u>Nbre de KW</u>	<u>Taux horaire</u>	
Electricité			2.792,6	245,0	9
Combustible		24		34.722,3	12
<u>Main d'œuvres</u>			<u>Nbre d'ouvrier</u>	<u>Taux journalier</u>	
Ouvriers spécialisés			27	16.156,9	6
Chef de table			6	27.697,0	2
Cadre			1	40.000,0	0
Autres frais généraux	10%				69
TOTAL FRAIS GENERAUX					
REVIENT TOTAL					

Le choix de l'installation est la ville d'Antananarivo car les prix des matières premières Pour le sable nous avons choisi le sable de Moramanga qui est le gisement le plus proche de la ville d'Antananarivo et qui a un gisement intéressant de sable exploitable

Tableau

Tableau 54 : Revient définitif (en Ariary) d'un Kg de verre (fondant= silicate de sodium)

	UNITE	POIDS	PX UNITAIRE (Ar)	REVIENT TOTAL
MATIERES PREMIERES				
Sable	Kg	41.667,0	70,0	2.916,6
Silicate de sodium	Kg	9.722,3	1.500,0	14.583,4
Chaux	Kg	486,1	2.500,0	1.215,2
Salpêtre	Kg	1.388,9	10.000,0	13.889,0
Calcin	Kg	16.180,7	184,4	2.984,5
				35.588,9
Avaries		0,50%		177,9
TOTAL MATIERES PREMIERES		69.445,0		35.766,8
FRAIS GENERAUX				
Energie	<u>Nbre d'heures</u>	<u>Nbre de KW</u>	<u>Taux horaire</u>	
Electricité		2.792,6	245,0	
Combustible	24		34.722,3	
Main d'œuvres		<u>Nbre d'ouvrier</u>	<u>Taux journalier</u>	
Ouvriers spécialisés		27	16.156,9	
Chef de table		6	27.697,0	
Cadre		1	40.000,0	
Autres frais généraux	10%			
TOTAL FRAIS GENERAUX				
REVIENT TOTAL				

D'après ces tableaux le prix d'un kilogramme de verre peut concurrencer le prix de l'importation.

e) Utilisation de cendre purifiée comme fondant

Le choix de l'installation est encore dans la ville d'Antananarivo

Tableau 55 : Revient définitif (en Ariary) d'un Kg de verre (fondant= cendre purifiée)

	UNITE	POIDS	PX UNITAIRE (Ar)	REVIENT TOTAL (Ar)	PX 1 Kg (Ar)
MATIERES PREMIERES					
Sable	Kg	41.667,0	70?0	2.916.690,0	
Cendre purifiée	Kg	9.722,3	541.667,0	5.266.249.074,1	
Chaux	Kg	486,1	2.500,0	1.215.287,5	
Salpêtre	Kg	1.388,9	10.000,0	13.889.000,0	
Calcin	Kg	16.180,7	184,4	2.984.527,3	
				5.287.254.579,9	
Avaries		0,50%		26.436.272,9	
TOTAL MATIERES PREMIERES		69.445,0		5.313.690.852,8	76.516,5
FRAIS GENERAUX					
<u>Energie</u>	<u>Nbre d'heures</u>	<u>Nbre de KW</u>	<u>Taux horaire</u>		
Electricité		2.792,6	245,0	9,8	
Combustible	24		34.722,3	12,0	
<u>Main d'œuvres</u>		<u>Nbre d'ouvrier</u>	<u>Taux journalier</u>		
Ouvriers spécialisés		27	16.156,9	6,3	
Chef de table		6	27.697,0	2,4	
Cadre		1	40.000,0	0,6	
Autres frais généraux	10%			7651,7	
TOTAL FRAIS GENERAUX					7.682,8
REVIENT TOTAL					84.199,3

Le prix n'est pas bénéfique car le prix de bois est très élevé.

Si nous envisagions d'implanter le hêtre pour avoir un prix plus bas, nous devons choisir la région de Moramanga pour l'installation de l'usine car l'implantation du hêtre peut faire dans cette région.

De ce fait, on peut espérer un prix compétitif par rapport au prix de l'importation

II- 5 -2 CONCLUSION

Comme Madagascar possède une richesse non négligeable en matières premières pour l'industrie de verre. Donc, l'installation d'une unité de fabrication de verre a été justifiée du fait de l'application de développement rapide et durable.

CONCLUSION

Le verre est obtenu par la cuisson d'un mélange de sable et de soude à haute température :

Le sable : depuis XIII^eS, la silice est obtenue par broyage de cailloux d'un fleuve, composé de silice extrêmement pur. D'après nos études, Madagascar possède des gisements de sable siliceux, et celui de Moramanga se prête bien à utiliser.

La soude : Jusqu'à XIX^eS, elle était préparée à partir des cendres de plantes à haute teneur en sodium. Le hêtre est l'un des plantes qu'on peut trouver à Madagascar, et ses cendres peuvent remplacer le fondant après une purification.

Pour Madagascar, l'exploitation et l'utilisation du sable siliceux pouvaient apporter des nouvelles perspectives pour notre pays

Compte tenu de la politique actuelle du gouvernement, les possibilités financières permettront de mettre sur pied un ou plusieurs ateliers de verre à Madagascar ;

En conclusion, le travail que nous venons de présenter est une fabrication de vitre à partir des matières premières existants à Madagascar.

Scientifiquement, il nous a montré la possibilité d'utilisation du soude ou du silicate de sodium ou de cendre purifiée en tant que fondant qui est très bénéfique

Economiquement, il nous a permis de voir un aperçu de la technologie de la verrerie et son intérêt concerne aussi bien le domaine économique que social, car l'utilisation du soude ou du silicate de sodium nous donne un prix de revient entre 600Ar et 800Ar le Kg qui est très compétitif par rapport aux importations (entre 650Ar et 1.800Ar le Kg)

Nous espérons, par le présent mémoire, avoir apporté notre contribution à la valorisation du sable siliceux de Moramanga en tant que sable de verrier. Et la suite de notre travaux est vivement recommandée afin d'obtenir des verres de qualité en norme internationale..

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

[1]- LAROUSSE « Petit Larousse illustré », Librairie Larousse 17, rue de Montparnasse, et boulevard Raspail 114, Paris VIe 1979

[2] – ERIC SAVOY, « Traité technique du verre », première édition paru le 7 avril 1989, revue et améliorée le 30 septembre 1989 , Achevé d'imprimer le 28 octobre 1989 à l'imprimerie André Demiere SA, centre Articom, 46, route de Divonne, 1260 Lyon, 301P

[3]- MARC LAFFITTE, « Cours de chimie minérale », Villars / dunod Paris 1967, 244p

[4]- ANDRIAMAMONJISOA TSIRY N « Elaboration d'un dossier téchnico-financier pour la mise en place d'une unité de production verrière », mémoire d'ingénierat, Département Génie Chimique ESPA Antananarivo , 1997

[5]- Cahier de Chimie minérale industrielle 4ème année

[6]- MAURICE POSTE ; FRANCIS DURREUX, « Technique de l'Ingénieur » 21 rue cassette 75006 Paris 1972

[7]- RATSIMBAZAFY ANDRIAMANANTSOA, « Contribution à l'étude des matières premières pour la fabrication artisanale du verre », mémoire d'ingénierat, Département Mine ESPA Antananarivo, 1989

[8]- XAVIER DE MIRBECK, « Technique du verre », Dessain et tobra 1992, Paris

[9] - www.Verreonline.fr/enviro/ recyclage

[10] - www.Angelmeet.Murano.blogspot.com

[11]- www.Infovitail.com/ verre/ histoire

[12]- CAILLEUX .A ; TRICART. J « Initiation à l'étude des sables et des galets », Tome I ; 5 Place de la Sorbonne, 5 Paris Ve 1959

[13]- H.BESAIRIE, « Précis de géologie malgache », Annales géologiques de Madagascar, fascicule n°XXVI, Tananarive, 1973

[14]- MAURICE RANTOANINA, « Prospection et géologie au 1/100.000 des feuilles Moramanga – Lakato » Service géologique Tannnarive 1962

[15]- H.BESAIRIE, « Première note sur les sables siliceux de Moramanga et de Masse », 30 janvier 1962, service géologique 1962

[16]- B.MOINE, « Etude des gisements de sables de Mramanga », 17 avril 1962, service géologique 1962

[17]- LAFUMA.H « Chimie appliquée aux matériaux de construction chaux et ciments, céramique et verrerie », Masson et Cie Editeurs 120, Boulevard Saint-Germain Paris Vie 1962

[18]- H.BESAIRIE, « Rapport annuel du service géologique » 1960

[19]- JEAN JUNG, « Précis de pétrographie », Roches sédimentaires métamorphiques et éruptives 3^e édition Revue et mise à jour MASSON et Cie , Editeurs 120, Boulevard Saint Germain , Paris VIe 1969

[20] GERARD .M « Environnement et Electricité », ouvrage réalisé sous la direction de DOPEE, France , 1994

ANNEXES

A-I Etude pratique pour les analyses de caractérisation

Des préparations mécaniques sont nécessaires avant toutes les analyses des minéraux

A – I -1 Préparation mécanique

a) Triage et nettoyage

Ces opérations consistent à enlever des impuretés grossières du sable. Le triage et nettoyage se fait manuellement

b) le séchage

Le séchage s'effectue à l'air libre, il consiste à abaisser la teneur en eau du sable

c) Fragmentation

On réduit la granulométrie afin d'avoir un bon résultat pour les caractères chimiques du sable. Pour cela , on utilise un broyeur à boulets

d) Schéma de préparation

Echantillon

Triage et nettoyage

Séchage

Broyage

Figure 15 : Schéma de préparation mécanique pour l'analyse

A- I- 2 Analyse proprement dite

a) teneur en silice

- Peser 0,500g d'échantillon
- Disposer dans un creuset en platine
- Ajouter jusqu'au 1/3 de la hauteur du creuset du CO_3Na_2 anhydre et mélanger.
Puis ajouter du CO_3Na_2 à 5mm environ du bord supérieur du creuset
- Couvrir avec un couvercle en platine
- Chauffer à feu doux au début sur bec de gaz puis fort pendant 3/4 heures
- Laisser refroidir et tremper dans un bécher de 400cc rempli à moitié avec HCl 1/2
- Recouvrir d'un verre de montre
- Laisser attaquer jusqu'à la disparition de l'effervescence
- Enlever le creuset et couvercle en rinçant avec de l'eau distillée dans le bécher
- Transvaser dans un erlen
- Chauffer jusqu'à sec une fois
- Reprendre avec HCl 1/3 et faire bouillir
- Filtrer à chaud sur filtre rapide
- Laver les résidus sur filtre avec de l'eau chaude ainsi que le bécher contenant le filtrat
- Calciner le résidu dans le creuset d'attaque
- Peser et noter le poids P_1 en mg
- Ajouter dans le creuset 0,5cc de H_2SO_4 1/2 et 5cc de HF
- Sécher sur bain de sable . La silice est évaporée sous forme de SiF_6H_2
- Calciner sur bec de gaz
- Peser et noter le poids en mg

$$\text{SiO}_2 (\%) = (P_1 - P_2) 2 \times 0,1$$

P_1 : poids après première calcination

P_2 : poids après deuxième calcination

b) Teneur en fer

- Précipitation des hydroxydes :
 - Ajouter 2g de bisulfate broyé dans le creuset
 - Chauffer sur bec de gaz
 - Laisser refroidir
 - Disposer le creuset dans le bécher contenant le filtrat
 - Chauffer sur bec jusqu'à dissolution du bisulfate restant
 - Noter que la solution est limpide à ce stade
 - Chauffer jusqu'à début d'ébullition
 - Verser 15cc de NH_4Cl 10%
 - Ajouter 4 gouttes de rouge de méthyle
 - Verser NH_4OH pur jusqu'à virage de l'indicateur jaune
 - Laisser reposer $\frac{1}{2}$ heure pour déposer le précipité au fond du bécher
 - Filtrer sur filtre rapide (identifier R_2 le précipité et F_2 le filtrat)
 - Laver le précipité à l'eau chaude
 - Mettre de côté le filtrat F_2
 - Reprendre le précipité R_2 et le filtre avec 100cc de HCl concentré
 - Ajouter de l'eau distillée jusqu'à 200cc environ
 - Précipiter à l'ammoniaque comme précédemment
 - Filtrer (identifier R_3 le précipité et F'_2 le filtrat)
 - Laver R_3 à l'eau chaude
 - Rassembler les 2 filtrats F_2 et F'_2 et identifier comme F_3
 - Calciner le résidu R_3 avec le filtre dans une capsule de platine préalablement pesée, d'abord sur bec puis au four à 1000°C
 - Peser et déduire le poids du résidu P_3

$\text{P}_3 \times 2 \times 0,1$ correspond à la somme des hydroxydes Al_2O_3 ; Fe_2O_3 ; TiO_2

- Dosage des hydroxydes
 - Ajouter 5g de bisulfate dans le capsule contenant le produit calciné
 - Chauffer sur bec de gaz
 - Laisser refroidir

- Disposer dans un bécher de 400cc et ajouter 200cc de H_2SO_4 10%
- Laisser refroidir
- Enlever la capsule et rincer à l'eau distillée (identifier la solution comme F_4)
- Passer F_4 à la colonne de Jones lentement pour réduire Fe^{3+} en Fe^{2+} , Ti^{4+} en Ti^{3+}
- Recueillir en bas de la colonne la solution dans un erlen sous atmosphère de CO_2
- Doser rapidement par volumétrie en additionnant MnO_4 N/10
- Soit V_{cc} le volume trouvé

$$V \times 2 \times 0,1 \times 7,98 = (Fe_2O_3 + TiO_2) \%$$

➤ Dosage de titane

- Verser F_4 dans un ballon de 500cc
- Ajouter 10cc de H_2O_2 à 20%
- Ajouter de l'eau distillée jusqu'à 500cc
- Prélever 250cc et disposer dans une fiole de Nessler de 250cc
- Prendre une fiole témoin et ajouter 0,5cc de sel de Mehr 5cc d'eau oxygénée et remplir jusqu'à 250cc avec H_2SO_4 10%
- Faire couler goutte à goutte une solution de TiO_2 (1cc = 1mg de Ti) jusqu'à égalisation des teintes jaunes.
- Soit V_1 cc le volume trouver

$$V_1 \times 4 \times 0,1 = TiO_2\%$$

$$Fe_2O_3\% = (Fe_2O_3 + TiO_2) \% - TiO_2\%$$

$$\text{Somme des hydroxydes} - (Fe_2O_3 + TiO_2) \% = Al_2O_3\%$$

A – II Teneur en cendre, teneur en carbonate de potasse et soude

A-II- 1 Teneur en cendre

Rappel

C'est la proportion de résidu restant après pyrolyse effectuée dans des conditions bien définies en temps et en température.

But

Elle a pour but de connaître la quantité de cendre dans l'échantillon

Principe

Elle consiste à incinérer l'échantillon à 950°C jusqu'à masse constante du résidu obtenu

Matériel utilisé

Four

Dessiccateur

Etuve

Balance

Mode opératoire

- Peser un creuset de masse constante m_c
- Mettre 1g d'échantillon dans le creuset , peser soit m_1
- Placer le creuset dans le four à 950°C
- Maintenir 3heures cette température
- Sortie et refroidir dans l'étuve puis dans un dessiccateur
- Peser , soit m_2 la masse finale

$$m_1 - m_2$$

$$\text{Teneur en cendre} = 100 - \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \right)$$

où m_c : masse du creuset

m_1 : masse du creuset + échantillon

m_2 : masse du creuset + échantillon à la fin de l'opération

A –II – 2 Teneur en carbonate de potasse et soude

Rappel

C'est la proportion en carbonate de potasse et soude contient dans un échantillon

Principe

Elle consiste au lessivage de l'échantillon par épuisement systématique à l'eau chaude

Matériel utilisé

Entonnoir

Papier filtre

Baumemètre

Mode opératoire:

- Prendre 100g de l'échantillon de cendre
- Mettre sur un entonnoir contient de papier filtre
- Ajouter de l'eau tiède 200ml
- On obtient de lessive de soude colorée en brun, soit V
- La lessive obtenue est mesurée par un baumemètre, soit B

Le calcul du teneur en carbonate de potasse et soude se fait à partir de la valeur B

Teneur en carbonate de soude = $V \times d \times A$

Où V : volume de la lessive de cendre

D : densité de la lessive du cendre, connu à partir du valeur de B

A : pourcentage en soude, connu à partir du valeur de B

A-III Articles sur les lois n° 099 – 021 sur les pollutions industrielles

Article 7 : Les effets nocifs des pollutions produites par les dites activités ainsi que les dangers,

risques et inconvénients qu'elles présentent font l'objet de mesures appropriées et action de prévention et d'altération , de maîtrise procédant d'une gestion globale de l'environnement industriel et d'un contrôle rationnellement conçu tenant compte de l'altération subie par l'environnement , de l'importance des dommages causés et du degré de gravité des risques et dangers en cours ou prévisibles.

Article 26 :Tout écoulement d'origine industrielle, eaux usées ou effluents liquides, qui ne respectant pas les valeurs limites de rejets ne peut être déversé dans le milieu récepteur, le réseau de collecte ou d'assainissement public , qu'après avoir subi un traitement de mise en conformité à ces valeurs limites.

Article 34 : Il y a pollution atmosphérique quand il y a émission dans l'air de substances polluantes, fumées, poussières, gaz toxiques ou corrosifs, odeurs pouvant atteinte à la santé de l'homme et à la qualité de l'environnement.

Article 35 : La mise en place d'un système de gestion des effluents gazeux d'origine industrielle comporte notamment :

- Une réglementation particulière destinée à limiter ou prévenir une concentration croissante d'émission polluante dans les zones urbaines ou de développement industriel ;
- Un contrôle permanent des émissions gazeuses provenant d'installation industrielles, effectué par les autorités compétentes afin de vérifier la conformité aux valeurs limites de rejets gazeux

Le contrôle prend en compte les paramètres physico-chimiques, toxicologiques et écotoxicologiques dont l'énumération doit faire l'objet d'une liste fixée par arrêté interministériel des ministères chargé de l'industrie et chargé de l'environnement et comportant des valeurs limites.

A-IV Carte

A-IV-1 –a – Gisement de sable de Masse

Echelle 1 / 10.000^e

Légende

Sable siliceux

b- plan de situation

Echelle 1 / 10.000^e

Légende

Sable siliceux

A-IV-2-a Gisement du dunes anciennes de Toamasina et sable siliceux de champ de tir

Echelle 1 / 10.000^e

Légende

Sable siliceux

b- plan de situation

Echelle 1 / 10.000^e

Légende

Sable siliceux

A-IV-3 Gisement de sable de Moramanga

Echelle 1 / 10.000^e

Légende

Sable siliceux

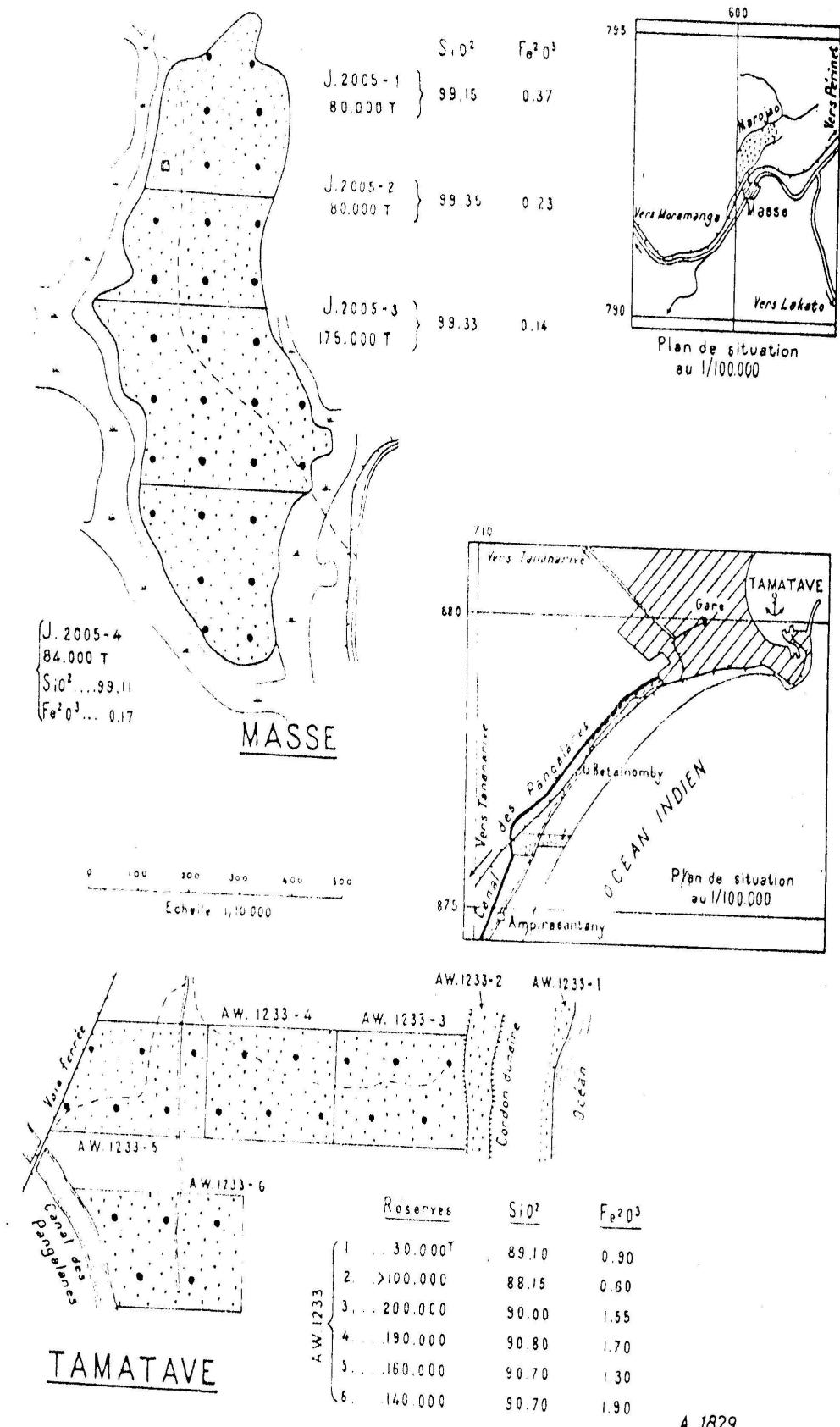
A-IV-4 Gisement de sable à Madagascar

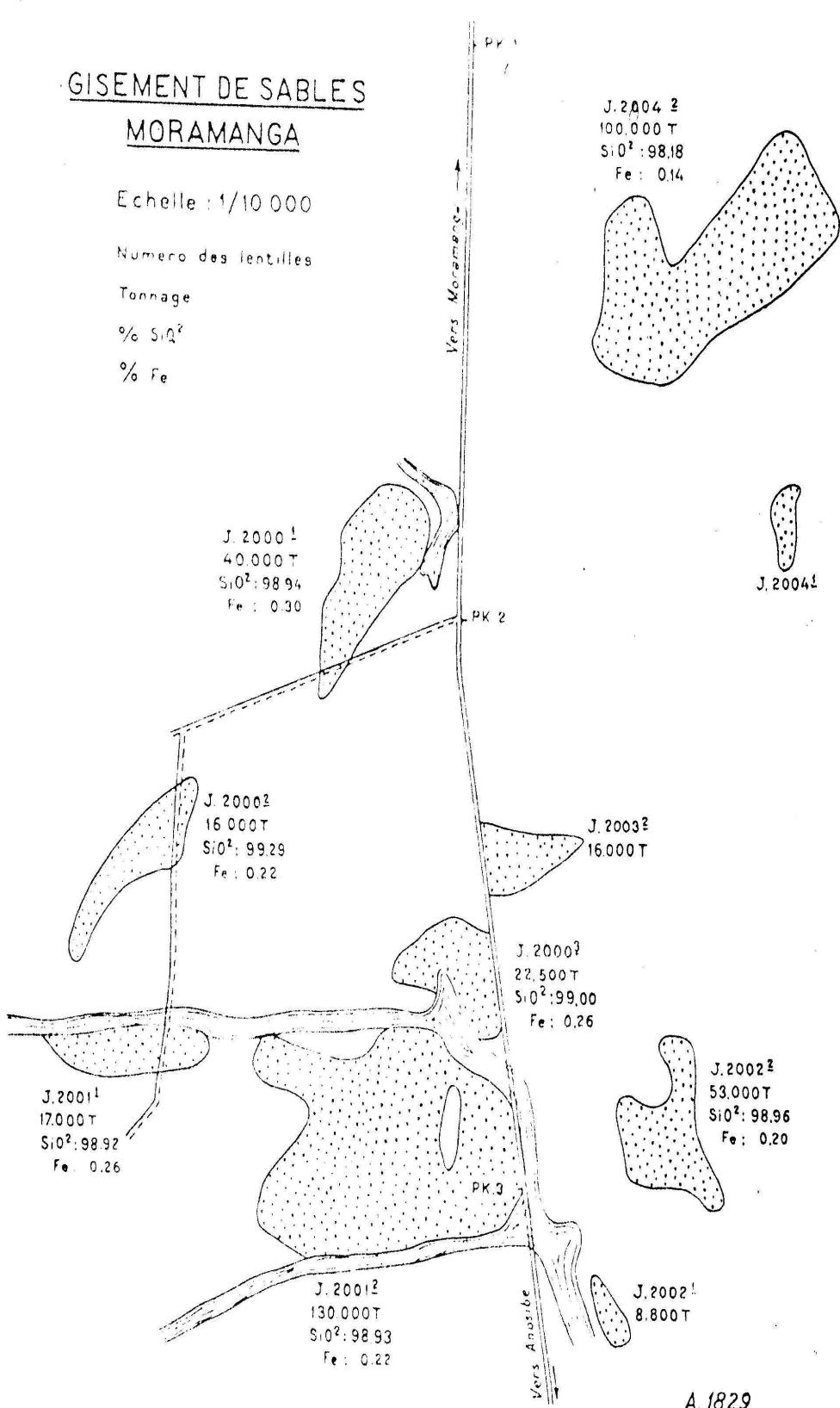
Echelle 1/5.300.000^e

Légende

Gisement de sable

Routes





Auteur : ANDRIAMANDANJA Ony Seheno
Titre : Etude de la possibilité de production du verre à Madagascar
Nombres de pages : 73
Nombre de tableaux : 55
Nombre de figures : 15

RESUME

Le verre est connu depuis 3500ans avant Jésus Christ, il était fabriqué à partir d'un vitrifiant 60% et un fondant 14% avec une température entre 1000 et 1500°C.

Les matières premières fondamentales utilisées en verrerie sont constituées par des roches naturelles, outre le sable siliceux de Moramanga, Madagascar en est très riche.

L'utilisation de cendre de hêtre à la place de la soude comme fondant nécessite encore une purification et la continuité des recherches dans ce domaine est vivement recommandée.

Dans cet ouvrage, nous avons essayé de montrer scientifiquement et économiquement la rentabilité d'une industrie de verre dans un pays.

En somme, nous souhaitons que l'installation future d'une usine de fabrication de verre sera établie et nous espérons qu'une étude plus approfondie de notre recherche, confirmera encore plus sa rentabilité.

Mots clés : sable siliceux, fusion, verrerie, fondant

ABSTRACT

The glass is known since 3500years before Jesus Christ, it was manufactured from a glazing 60% and a fondant 14% with a temperature between 1000 and 1500°C.

The fundamental raw materials used in glassware are constituted by natural rocks; besides the flinty sand of Moramanga, Madagascar is very rich of it.

The use of beech ash instead the weld like fondant requires purification and the continuity of the research again in this domain is recommended briskly.

In this work, we have try to show scientifically and economically the profitability of a glass industry in a country.

In short, we wish that the future installation of a factory of glass manufacture will be established and we hope that a survey more deepened of our research, will confirm more again his profitability.

Keywords: flinty sand, fusion, glassware, founding,

Directeur de mémoire : Professeur ANDRIANARY Philippe, Chef de département Génie Chimique à l'Ecole Supérieur Polytechnique d'Antananarivo

Adresse de l'auteur : Lot AB 80 Ankadindravola Ivato

Téléphone de l'auteur : 0331416426

Email de l'auteur : aonyseheno@yahoo.fr