



## Département de Technologie chimique industrielle

### Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme  
de Licence professionnelle en :  
**Génie chimique**

### Thème :

Procès de fabrication du verre

Réalisée par :

**KORTI Yousra**

Encadré par :

- **M<sup>me</sup> BELALIA Fatiha**

Enseignante MCB/ Institut de technologie de Bouira

- **M<sup>r</sup> MUSTAPHA Latef**

Chef de département de production /NOVER de  
Chlef

Corrigée par :

- **M<sup>me</sup> HAMIDOUCHE SABIHA**

Maitre de conférences MCB / Institut de technologie de  
Bouira

## DEDICACE

*Je dédie ce travail à :*

*Mes chers parents, qui ont aspiré à tous ces efforts, soutien et amour inconditionnel qu'ils m'ont donné depuis le début de ma vie.*

*A tous mes frères Azzedine, Noureddine et ma chérie Ritadje, car nous avons tout partagé dans la vie.*

*Ames collègues de l'Institut de Technologie en particulier les demoiselles: Iman, Asmaa, Manal, Iman, Hasna, Iman et Manal, j'ai beaucoup des souvenirs avec elles durant ces années.*

*Mes amis les plus chères de ma vie, Nawal, Chaimaa et Sid Ali, pour m'avoir soutenu dans toutes les circonstances qui ont traversé.*

*Et la personne proche de moi Khelifa pour son soutien à mes choix.*

*Sans s'oublier mes proches et toutes les personnes qui ont un jour donné un sourire sur mon visage.*

*Yousra*

## ***REMERCIEMENT***

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce aux concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude.

Je tiens à adresser mes vifs remerciements à mon encadreur M<sup>me</sup> **BELALIA Fatiha** qui m'a beaucoup aidée, soutenue, conseillée et orientée dans mon travail.

Mes remerciements pour M<sup>r</sup> **MUSTAPHA Latef** m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé durant la période de stage.

Je tiens à remercier tout le groupe technique de l'entreprise NOVER de Chlef et toutes les personnes qui m'ont fourni les outils nécessaires; par leurs paroles, leurs conseils et leurs critiques, qui ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mon stage.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs de l'institut de Technologie de Bouira.

Mes vifs également tous les membres du jury qui ont accepté pour examiner et présider ce modeste travail avec honneur et bienveillance.

Un grand merci à monsieur Mourad en particulier pour son aide précieuse.

Merci à tous ceux qui près ou loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

## Liste des abréviations

Av. J.-C : Avant Jésus-Christ	IR : Infra Rouge
Ha : Hectare	HCl : Acide chlorhydrique
T/j : Tonne par jour	Eu <sup>3+</sup> : Cation d'Europium
T/ans : Tonne par ans	GeO <sub>2</sub> : Dioxyde de gallium
KV : Kilovolt	GeO <sub>4</sub> : Tétraédrique germanate
mm : Millimètre	PbO : Oxyde de plomb
%: Pourcentage	WO <sub>3</sub> : Trioxyde de tungtène
°C: Degré Celsius	SB <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : Trioxyde antimoine
µm: Micromètre	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : Trioxyde d'arsenic
Kg : Kilogramme	TeO <sub>3</sub> : Tellurique
Kg /m <sup>3</sup> : Kilogramme par mètre cube	Ge : Germanium
Pa : Pascale	Si : Silicium
°A: Angström	Sn : Etain
min: Minute	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub> : Sulfure d'arsenic
ml: Millilitre	As <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> : Triséleriure d'arsenic
h: Heure	GeS <sub>2</sub> : Disulfure de germanium
g: Gramme	Ag <sub>2</sub> S : Sulfure d'argent
SiO <sub>2</sub> : Dioxyde de silicium	Au : Or
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : oxyde de bore	Pd : Palladium
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : Pentoxyde de phosphore	Pt : Platine
Na <sub>2</sub> O: Oxyde de sodium	Fe : Fer
CaO: Oxyde de calcium	Ni : Nickel
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Oxyde borique	NaOH : Hydroxyde de sodium
UV: Ultraviolet	EDTA: Ethylène Diamine Tétra Acétique

# **Liste des figures**

## **Chapitre I : Présentation de l'entreprise**

Figure I. 1: L'entreprise NOVER de Chlef .....	2
Figure I. 2: L'ensemble des verres produits à I <sup>er</sup> siècle av. JC. ....	6

## **Chapitre II: Aperçu général sur le verre**

Figure II. 1 : Bouteille en verre .....	7
Figure II. 2: Représentation d'un solide cristallin et le verre .....	8
Figure II. 3: Traitement de calcin dans l'industrie .....	14
Figure II. 4 : Les différentes étapes pour la fabrication du verre .....	16
Figure II. 5: Traitement du sable .....	17
Figure II. 6: Schéma d'enfournement du verre .....	19
Figure II. 7: Salle de contrôle du four de fusion .....	20
Figure II. 8: Exemple du verre plat .....	21
Figure II. 9: Exemple du verre creux .....	21
Figure II. 10: Formage du verre dans une machine IS. ....	23
Figure II. 11: Recuisons des produits en verre .....	24
Figure II. 12: L'emballage de produit fini .....	24

## **Chapitre III : Matériel et Méthodes**

Figure III. 1: Les étapes principales pour l'analyse granulométrique.....	25
Figure III. 2: Les étapes de détermination le taux d'humidité. ....	26
Figure III. 3: Les étapes de dosage de carbonate de soude. ....	27
Figure III. 4: Dispositif de contrôler le choc thermique.....	30
Figure III. 5 : Mesure de la pression interne des bouteilles en verre. ....	31
Figure III. 6: Test de planéité dans produit en verre. ....	32
Figure III. 7: Représentation de résultats du test de recuit.....	33

# **Liste des tableaux**

## **Chapitre II: Aperçu général sur le verre**

Tableau II. 1 : Propriétés physiques du verre.....	15
Tableau II. 2: Les matières premières et leurs intérêts à la verrerie.....	19

## **Chapitre IV : Résultats et Discussions**

Tableau IV. 2: Résultats des tests physiques du sable. ....	34
Tableau IV. 3: Résultats des tests chimiques du calcaire.....	35
Tableau IV. 4: Résultats des tests physiques du calcaire. ....	35
Tableau IV. 5: Résultats des tests chimiques de la dolomie. ....	35
Tableau IV. 6 : Résultats des tests physiques de la dolomie.....	36
Tableau IV. 7: Résultats des tests chimiques de la soude. ....	36
Tableau IV. 8: Résultats des tests physiques de la soude.....	36
Tableau IV. 9 : Résultats des analyses du mélange vitrifiable.....	37
Tableau IV. 10: Résultats des tests de contrôles de qualité d'un produit fini. ....	38

# **Sommaire**

Remerciement

Dédicace

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction ..... 1

## **Chapitre I : Présentation de l'entreprise**

I.1 Présentation de l'entreprise ..... 2  
I.2 Historique ..... 5

## **Chapitre II: Aperçu général sur le verre**

II Introduction ..... 7  
II.1 Définition du verre..... 7  
II.2 Structure microscopique du verre ..... 7  
II.3 Classification de verre ..... 8  
II.4 La composition du verre ..... 11  
II.5 Les propriétés du verre ..... 14  
II.6 Le processus de fabrication du verre ..... 16

## **Chapitre III : Matériel et Méthodes**

III Introduction ..... 25  
III.1 Les analyses effectuées au niveau de laboratoire ..... 25  
III.2 Les contrôles de qualité du produit fini ..... 28

## **Chapitre IV : Résultats et Discussions**

IV Introduction ..... 34  
IV.1 Résultats des analyses de laboratoire..... 34  
IV.2 Résultats de contrôles de qualité: ..... 38  
Conclusion..... 39

Références Bibliographiques

Annexe

Résumé

### Introduction

Le verre dans le langage courant, désigne un matériau ou un alliage dur, fragile (cassant) et transparent au rayonnement visible [1]. Donc, comment on fabrique ce produit?

Il y a plusieurs type de verre selon l'utilisation quotidiens, on peut distinguer : les verres creux et les verres plats.

La principale matière première utilisée pour la fabrication du verre est le sable siliceux, qui présent en quantité excédentaire dans la nature. On le combine avec d'autres éléments: les fondants et les stabilisants.

Afin d'assurer la qualité de ces produits, l'industrie suppose une chaine des contrôles: contrôles manuels des bouchages et de formage, contrôles automatiques effectué avec des instruments perfectionnées, des tests de l'approfondir dans laboratoire pour garantir que le produit fini est de bonne qualité afin de localité vers la consommation [2].

L'objectif principal de ce travail est de suivre le procès de fabrication du verre, tout en passant par des analyses physiques et chimiques sur la matière première utilisée et de contrôler la qualité du produit fini.

Ce travail s'organise donc autour de quatre chapitres :

Le rapport démarre par une introduction générale qui est surtout destinée à décrire et exposer le problème considéré et préciser l'objectif de cette étude.

- Le premier temps, nous exprimons un aperçu général sur la fabrication du verre ;
- La deuxième partie comporte la présentation de l'entreprise NOVER de Chelf où le stage a été fait;
- Le troisième chapitre qui est la partie expérimentale, elle est consacrée aux méthodes et matériel usagés pour la caractérisation physique et chimique de la matière première et le contrôle de qualité de produit finis.
- Le dernier chapitre est réservé au traitement des résultats obtenus et discuter le conformément deces valeurs aux normes algériennes.

Enfin, une conclusion générale résume les résultats obtenus au cours de ce travail.

# **Chapitre I**

## **Présentation de l'entreprise**

## I.1 Présentation de l'entreprise

NOVER est une entreprise nationale des verres et abrasifs, la nouvelle verrerie de CHLEF (NOVER) fut fondée il y a plus de 24 ans, afin de répondre à la forte demande nationale en emballage verre pharmaceutique. C'est ainsi que cette société par action est devenue un partenaire privilégié des grandes entreprises pharmaceutiques algériennes.



**Figure I . 1:** l'entreprise NOVER de Chlef [3].

L'entreprise de NOVER contient des informations suivantes :

**Président directeur général :** Monsieur BOURALEM Bouaissi

**Adresse :** BP 194 Zone industrielle-Oued Sly-Chlef-Algérie

**Date de création :** 07 mars 1995

**Capital :** 288.000.000 DA

**Emploi :** l'effectif est de 348 agents

Elle dispose de:

- a) **Une station de traitement de sable**
- b) **Un bâtiment de composition de préparation de mélange**
- c) **Un bâtiment de production (Fusion et fabrication) comprenant :**
  - Four à récupérateur métallique à double étage de capacité nominale de 80T/J pour alimenter deux machines IS de huit sections qui fabriquent du verre sodo-calcique à des vitesses variables.
  - Four à récupérateur métallique à double étage de capacité nominale de 50T/J pour alimenter deux presses à double gobe, pour la fabrication des articles de verrerie de table.

**a) Un bâtiment des utilités.**

Toutes ces installations sont alimentées en fluides et électricité par des équipements pour utilités :

- Circuit air comprimé : assuré par 05 compresseurs réseaux 04 bars et 01 compresseur réseaux de 07 bars.
- Circuit eau : assuré par une station de traitement des eaux.
- Circuit électricité: assuré par deux lignes de distribution MT/30KV (deux sous-stations électriques). Secours : par deux groupes électrogènes
- Circuit Gaz : Poste de détente SONALGAZ. Secours : GPL et FUEL

Pour évaluer la qualité de fabrication et pour bien satisfaire ses clients Nover est dotée de deux laboratoires :

**a) Laboratoire de contrôle des matières premières équipé de :**

- Un matériel de contrôle sophistiqué (spectromètre de fluorescence X séquentiel MAGIX – PHILIPS).
- Un spectrophotomètre pour mesurer la transmission de la lumière (spécialement pour les flacons pharmaceutiques).
- Un autoclave pour contrôler la classe hydraulique.

**b) Laboratoire de contrôle de produit fini :**

- Une machine de pression interne : pour déterminer la résistance mécanique de l'article.
- Un appareil de thermo choc : pour contrôler la résistance des articles aux chocs.

NOVER dispose d'une carrière de sable siliceux d'une superficie de 49 ha.

- le sable siliceux rentre dans la composition vitrifiable pour un taux de 70%.
- le sable jaune destiné à l'industrie de fonderie.

**I.1.1 Les activités principales**

- ✓ Production d'emballages: bouteilles et bocaux pour jus, limonade confitures, miel, etc..., destinés à l'industrie agroalimentaires.
- ✓ Production de flacons et piluliers destinés à l'industrie pharmaceutique.
- ✓ Production de verre de table (assiettes et Gobelets).

**I.1.2 Les activités secondaires**

L'entreprise développe une activité secondaire consistant en l'extraction et traitement de sable siliceux destiné aux fonderies, céramique et verreries.

**a) Patrimoine foncier et immobile**

Patrimoine foncier et immobile s'étend sur superficie de 7h55min. Dont 2.5 bâtie, de construction récente (1993-1994) est constitué de différents ouvrages en construction mixte, dure et charpente métallique.

**I.1.3 Capacité de production**

- Verre creux (bouteilles et bocaux) : 100 T/j soit 23000 T/an.
- Verrerie de table : 50 T/j soit 12000 T/an.

La filiale utilise deux fours avec une capacité de tirage cumulée de 130 T /j.

Les deux fours sont composés au total de 04 lignes de production :

- 02 lignes pour la production des emballages agroalimentaires.
- 02 lignes pour le verre pressé (verrerie de table).

**I.1.4 Plan de développement**

Dans le cadre du plan de développement l'EPE NOVER avait lancé l'opération de modernisation et l'extension des capacités installées en 2004.

La filiale a réalisé par priorité, les opérations principales à savoir :

- Automatisation et modernisation de l'atelier de composition.
- Modernisation et extension d'un four de fusion de 100T.
- Acquisition de deux nouvelles machines IS pour la fabrication du verre creux (bouteilles et bocaux).
- La modernisation et rénovation de la station de traitement de sable.
- La rénovation et modernisation d'un four de fusion pour la verrerie de table [3].

## I.2 Historique

Le verre existe déjà naturellement depuis plusieurs centaines de milliers d'années.

L'homme l'utilisa pour la première fois il y a 100000 ans sous forme d'obsidienne, (verre naturel d'origine éruptive) pour fabriquer des outils, des armes coupantes et des bijoux.

### a. Les origines : 3000 ans av. JC

Les premiers verres fabriqués par l'homme sont originaires de Mésopotamie, de Syrie ou d'Égypte. Ils ne sont pas encore transparents ou translucides mais opaques, de couleur verte ou bleu.

### b. Le premier épanouissement : XV<sup>ème</sup> siècle av. JC

Les fours permettent d'obtenir de plus hautes températures, la matière est mieux travaillée. Le verre devient translucide et se développe alors un marché d'imitation de pierres précieuses.

Les premières pièces en verre creux (vases, pots et flacons) apparaissent au même moment; elles sont coulées. L'émail apparaît vers **1500 av. JC**, c'est une substance vitreuse qui est constituée d'un produit incolore, le fondant, que l'on teint dans la masse grâce à l'adjonction de certains oxydes métalliques.

### c. L'apparition du verre soufflé : I<sup>er</sup> siècle av. JC

On attribue cette invention à la Syrie grâce à l'invention de la canne à souffler. De là, cette méthode passa en Italie, puis en Gaule et en Espagne.

Au même moment, on inventa le verre transparent à la Sidon (Phénicie), probablement à cause de la pureté des sables de la région et de la présence de natron.

### d. Au I<sup>er</sup> siècle av. JC

Cette découverte entraîne la naissance d'une forte industrie de verre creux. Grâce au soufflage à la canne, l'artisan est à bonne distance de la source de chaleur et il peut donner forme à des pièces de plusieurs dizaines de centimètres.

Le verre incolore apparut alors et se répandit à partir du    siècle, il est obtenu par adjonction de manganèse, qui joue le rôle de purificateur. La teinte naturelle du verre, bleu verdâtre, est due à la présence d'oxydes métalliques contenus dans le sable qui sert à sa fabrication.



**Figure I. 2:** L'ensemble des verres produits à I<sup>er</sup> siècle av. JC.

**e. Le verre plat soufflé : V<sup>ème</sup> et le X<sup>ème</sup> siècle**

Deux techniques sont apparues conjointement :

- Le soufflage en couronne : produit dans l'ouest de la France et en Angleterre où sa production dure jusqu'au XIX<sup>ème</sup> siècle. Le verre plat ne prit son essor qu'à partir de l'invention de ce nouveau procédé. Il s'agit d'abord d'un verre vase soufflé à fond plat que l'on fait ensuite tourner face à l'ouverture d'un four.
- Le soufflage en manchon : produit dans l'Est et dans l'Europe centrale. C'est un cylindre de verre obtenu par l'allongement de la paraison cueillie par la verrerie, puis fondu, ramolli et aplati. Ces procédés furent utilisés durant tout le Moyen âge pour la fabrication des viraux.

**f. Le verre à vitre**

L'usage du verre à vitre était connu des romaines mais fut peu répandu dans l'architecture civile jusqu'au XV<sup>ème</sup> siècle. On se prémunit du vent et des intempéries par des moyens rudimentaires : volets de bois, toiles cirées, peaux ou papiers huilés qu'il valait mieux protéger de grillages. Durant le Moyen âge, il y eut une longue stagnation du verre à vitre dans les maisons où les fenêtres dont la taille diminua n'étaient presque plus vitrées.

Au début du XIV<sup>ème</sup> 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. En 1698 au château de Saint Cobain, Lucas de Nehou mis au point le coulage des glaces (coulée sur table) [4].

# **Chapitre II**

## **Aperçu général sur le verre**

## II Introduction

Le verre est le matériau d'emballage préféré des consommateurs belges et européens pour aliments et les boissons. Il préserve le goût, l'arôme et la texture et conserve les produits frais et leurs vitamines plus longtemps que les autres matériaux. Le verre est considéré comme sain et aussi apprécié pour son élégance et son respect de l'environnement [5].

### II.1 Définition du verre

Le verre dans le langage courant, désigne un matériau homogène, un liquide figé. Les molécules sont disposées de manière désordonnée et ne forment pas un réseau cristallin. Il n'existe aucune formule chimique du verre. Celui-ci est le résultat de différentes compositions [2]. Il est électriquement neutre. Le plus souvent, le verre est constitué d'oxyde de silicium (silice:  $\text{SiO}_2$ ) et de fondants, le constituant principal du sable.

De manière scientifique, le verre est défini comme un matériau amorphe (non cristallin) présentant le phénomène de transition vitreuse. En dessous d'une température de transition qui est très élevée, le verre se présente à l'état vitreux [6,7].



Figure II. 1 : Bouteille en verre [8].

### II.2 Structure microscopique du verre

L'élévation de température de la silice, mettent en vibration ces atomes et changent de place, si bien qu'à un certain moment la structure se déforme et disparaît avec la fusion. En interrompant l'échauffement, le mouvement des atomes de silice se ralentit et ceux-ci tendent à reprendre leurs places primitives, celle qu'ils occupaient dans la structure.

Les cristaux de silice ne peuvent se former que très lentement, et quoi qu'en fasse, la vitesse de refroidissement est toujours trop grand, si bien que les atomes sont immobilisés dans la position qu'ils occupaient l'état liquide.

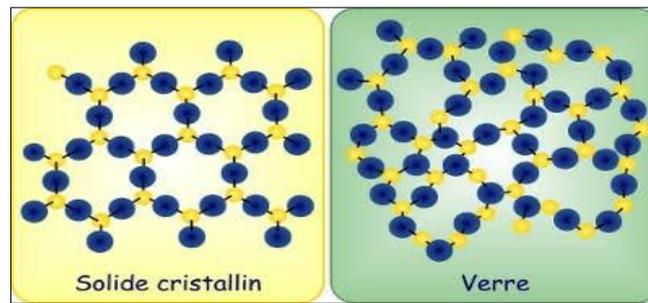


Figure II. 2: Représentation d'un solide cristallin et le verre [3].

### II.3 Classification de verre

Il y a plusieurs types de verres, on peut citer :

#### II.3.1 Verre naturel

Des substances à l'état vitreux existent rarement dans la nature ce sont essentiellement les verres volcaniques. La vitrification survient lorsque la lave fondue arrive à la surface de la croûte terrestre et y subit une brusque refroidissement. Parmi ces verres, on peut citer par exemple les obsidiennes et les Pechstein [7].

#### II.3.2 Verre artificiel

Bien que des substances très variées puissent former des verres, seul un nombre restreint de ceux-ci ont acquis une importance pratique.

Dans ce qui suit, nous citons les principaux types de verres, leurs caractérisations principales et leurs domaines d'utilisation.

##### II.3.2.1 Verre d'oxyde

Les verres d'oxyde sont historiquement les plus anciens et industriellement les plus exploités. La plupart des verres sont constitués par des oxydes ou des mélanges d'oxydes tel que :  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

##### ☞ Verre de silice

Les verres de silice sont le plus important et représentent plus de 9,5% de tonnage des verres produits industriellement. Il contient au moins 96% de silice. Il est très employé grâce à sa grande pureté (transparence optique) et pour sa résistance aux températures élevée, à la corrosion et aux chocs thermiques.

On peut utiliser ce type de verre pour la fabrication de tubes de lampe à halogènes, des éléments d'optique et des miroirs de télescope.

#### ☞ Verre sodocalcique

C'est un matériau de base de silice, il se compose de 70% de  $\text{SiO}_2$ , 20% de  $\text{Na}_2\text{O}$  et de 10% de  $\text{CaO}$  (% en mol). Il possède une bonne stabilité chimique et un coefficient de dilatation très élevé.

Ils sont utilisés pour la fabrication de bouteilles, de flacon et de vitrages. Ils représentent de l'ordre de 90% de la production de verre [7,4].

#### ☞ Verre de borate

Les verres de borate sont constitués de l'anhydride borique  $\text{B}_2\text{O}_3$  qu'il est passant systématiquement à l'état vitreux au refroidissement. A cause de son hygroscopicité (le verre de  $\text{B}_2\text{O}_3$  est très soluble dans l'eau), le verre de borate n'est jamais utilisé seul dans la pratique mais entre dans la composition de nombreuses verres industriels.

Les verres de borate font l'objet de nombreux travaux à cause de leur température d'élaboration moins élevée que celle de silicates.

#### ☞ Verre de phosphate

Les verres phosphatés se singularisent des silicates par leur faible température de fusion, leur grande transparence dans l'UV et leur faible transparence dans l'IR. Les verres phosphatés sont très performants surtout lorsqu'ils sont dopés aux ions de terres rares tels que  $\text{Eu}^{3+}$ . Ils s'accompagnent d'une faible durabilité chimique.

#### ☞ Verre de Germinates

L'oxyde de germanium  $\text{GeO}_2$  forme un verre iso-structural de la silice à base de tétraèdre  $\text{GeO}_4$ . Du fait de son prix qui est très élevé, sa faible réfractivité et sa moindre résistance aux agents corrosifs. Il est rarement utilisé dans les compositions verrières.

### II.3.2.2 Verre d'oxydes lourds

Les verres d'oxydes lourds se composent essentiellement des oxydes :  $\text{PbO}$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{SB}_2\text{O}_3$ ,  $\text{As}_2\text{O}_3$ ,  $\text{GeO}_2$  et  $\text{TeO}_3$ . Ils forment des verres avec des indices de réfractifs plus élevés et une transmission dans l'IR plus étendue jusqu'à 8  $\mu\text{m}$ . Ils sont utilisés dans la mise en œuvre des instruments optiques de précision (lentilles objectifs). Ils jouent aussi le rôle de filtre (verre de protection) ou guide d'onde pour la transmission des signaux.

### II.3.2.3 Verre de chalcogénures

On appelle un calogène les éléments S, Se et Te. Ils peuvent former de verre eux-mêmes à eux toute seul ou avec l'association d'autre éléments du groupe (Ge, Si, Sn) et le groupe (Sb, As). Ils forment des verres binaires tels que :  $As_2S_3$ ,  $As_2Se_3$ ,  $GeS_2$  ou ternaires tel que :  $Ag_2S$ ,  $Li_2S$ ...etc.

Dans un domaine de vitrification plus étendu, la plupart des verres chalcogénures sont opaques dans le domaine visible et transparents dans l'IR (jusqu'à  $30\mu m$ ). Ils possèdent également une température de ramollissement entre  $(100-300)^\circ C$  et une faible résistance chimique. De ce fait, ils sont utilisés principalement au domaine d'optique infrarouge (lentilles, capteurs infrarouge,...).

### II.3.2.4 Verre d'halogénures

C'est une grande famille de verres composés essentiellement des éléments halogènes tels que : le chlore, le brome, l'iode et le fluor. Tous ces verres sont transparents dans l'IR alors que leur application reste hypothétique.

### II.3.2.5 Verre de fluorures

Les fluorures comme les oxydes peuvent former des raisons de leur rayon ionique de l'ion  $F^-$  ( $R_F=1,285^\circ A$ ) très voisin de l'ion  $O^{2-}$  ( $R_O=1,35^\circ A$ ). Les verres de  $BeF_2$  et les fluoroberylates forment des verres iso-structuraux de silicates. Par la suite, les verres dites ABF issu de système  $BaF_2$ ,  $CaF_2$ ,  $AlF_3$  et  $BeF_2$  ont été proposés. La plupart de ces verres possèdent une bonne transmission dans le visible jusqu'à  $1\mu m$  dans l'IR. Ces caractéristiques placent ces verres en tête de liste comme des sérieux candidats pour l'optique et la réalisation de matériaux pour les fibres optiques. Ils se trouvent aussi des applications dans la chimie de dérivés fluorés.

### II.3.2.6 Verre organique

Il existe des polymères vitreux comme les polyméthacrylates qui forment des verres sous l'appellation commerciale « Plexiglas ». Il y a des nombreux composants organiques qui conduisent à des verres tels que : le Salol et le Glycérol. Les verres organiques ont l'avantage de présenter un bon facteur de mérite au-dessus de  $2\mu m$ . En revanche ils sont à exclure pour des applications dans le domaine de télécommunications du fait de leur absorption résiduelle et à leur basse température de transition vitreuse.

### II.3.2.7 Verre métallique

Les verres métalliques se partagent en deux classes principales :

- a) **Alliage métal-métalloïde** où le métal est un élément de transition : Pd, Pt, Fe, Ni, Mn et le métalloïde: Si, Ge, P, B. On trouve par exemple:  $\text{Pd}_{80}\text{Si}_{20}$  et  $\text{Ni}_{80}\text{P}_{20}$  et le verre commercial  $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{P}_{14}\text{B}_6$ .
- b) **Alliage métal-métal** : on a  $\text{Mg}_{65}\text{Cu}_{35}$ ,  $\text{Au}_{55}\text{Cu}_{10}$ ,  $\text{Sn}_{90}\text{Cu}_{10}$ ,  $\text{Zr}_{72}\text{Co}_{28}$ ,  $\text{Zr}_{50}\text{Cu}_{50}$ ,  $\text{Ni}_{60}\text{Nd}_{40}$ . On a également  $\text{Pd}_{40}\text{Cu}_{30}\text{Ni}_{30}\text{P}_{20}$ .

Les verres métalliques faites l'objet de nombreuses recherches en raison des leurs propriétés mécaniques remarquables. L'un de ces propriétés le plus intéressantes est leur haute résistance à la corrosion; c'est pour quoi, ils peuvent être utilisés comme revêtement anticorrosion [7].

## II.4 La composition du verre

Certaines éléments comme le silicium et le bore peuvent former un verre par leur seule combinaison avec de l'oxygène et par élévation à une très haute température. Ces oxydes sont appelés oxydes formateurs car ils forment le squelette du verre. On les combine avec d'autres éléments dits « modificateurs » qui sont :

- Les fondants qui abaissent la température de fusion des oxydes formateurs (silice : 1730 °C).
- Les stabilisants qui modifient les propriétés physiques du verre ramollies par l'adjonction du fondant.

### II.4.1 Les oxydes formateurs (vitrifiant)

#### II.4.1.1 La silice (dioxyde de silicium $\text{SiO}_2$ )

C'est le composant principal du verre qui représente environ 70% de la masse. Elle est l'élément formateur de réseau. Si l'on augmente sa quantité, on augmente la dureté du verre.

Son point de fusion est à 1730 °C. Elle entre dans la fabrication sous forme de sable dont les plus pures, ils contiennent 99,5% (les sables quartzeux). Le sable de Fontaine bleu, du fait de sa qualité, est très recherché pour la fabrication des verres optique et de cristal. Plus le pourcentage de silice est élevé et plus le coefficient de dilatation est faible ; donc le verre est résistant.

#### II.4.1.2 L'anhydride borique (le bore ou borax anhydre $B_2O_3$ )

Il diminue le coefficient de dilatation et améliore la résistance aux chocs thermiques ; il est aussi plus résistant à l'eau. Son point de fusion est à 2300 °C. Il sert pour le travail de laboratoire (verre thermorésistant comme le Pyrex). Il possède aussi les propriétés d'un fondant.

#### II.4.1.3 L'anhydride phosphorique (le phosphore $P_2O_5$ )

Il employé dans le domaine de l'optique. La principale source au moyen âge est les cendres de bois.

### II.4.2 Les oxydes modificateurs

#### II.4.2.1 Les fondants (oxydes alcalins)

La silice permet d'obtenir un verre, mais son point de fusion est très élevé (1730°C). En ajoutant des fondants, on abaisse cette température à 1500°C (économie d'énergie) et on facilite les possibilités de travail. Les fondants sodiques et potassiques ont été utilisés parallèlement dès le Moyen âge. Un même verre peut associer plusieurs fondants : soude et chaux (verre sodocalcique), soude et plomb (cristal).

##### ☞ L'oxyde de sodium ( $Na_2O$ )

Il entrainait autrefois dans la composition sous forme de cendres de plantes marines (ex: la salicorne) ou de nitre (grec: Nitron). Il abaisse le point de fusion, augmente l'éclat du verre et le coefficient de dilatation mais diminue sa résistance aux agents atmosphériques.

##### ☞ L'oxyde de potassium ( $K_2O$ )

Il introduisait autrefois dans la composition sous forme de cendres de plantes terrestres comme la fougère ; aujourd'hui, on utilise du salpêtre (nitrate de potassium  $KNO_3$ ). Il abaisse le point l'éclat du verre et le rend doux à la taille, mais il diminue sa résistance chimique.

Ces oxydes favorisent le soufflage du verre, car ils augmentent le temps de travail lors du façonnage.

##### ☞ L'oxyde de magnésium ( $MgO$ )

Il est utilisé sous forme de dolomite ( $CaMg(CO_3)_2$ ). 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.

### II.4.2.2 Les stabilisants (oxydes alcalino-terreux)

L'introduction d'un oxyde alcalin (fondant) a provoqué la rupture d'une liaison Si-O et l'apparition d'un oxygène « non pontant ». Ceci a pour effet de fragiliser le réseau et d'augmenter la solubilité à l'eau.

#### ☞ L'oxyde de calcium (CaO)

Il se trouve sous forme de chaux (qui est le stabilisant le plus employé) ou de dolomie (lorsque le verre doit contenir de la magnésie). Il augmente la résistance chimique du verre, son éclat et diminue sa stabilité, mais en excès il provoque une dévitrification.

#### ☞ L'oxyde de zinc (ZnO)

L'oxyde de zinc augmente l'éclat et l'élasticité.

#### ☞ L'oxyde de fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

Il se trouve souvent dans les roches naturelles (c'est un stabilisant et un colorant), il donne une teinte verdâtre. Il faut donc procéder à une décoloration de cette teinte. Pour cela, on peut ajouter du dioxyde de manganèse (MnO<sub>2</sub>) (savon des verriers).

#### ☞ L'oxyde de plombe (PbO)

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 confèrent une légère teinte jaunâtre.

### II.4.3 Intermédiaires

Les éléments intermédiaires ont différents comportements : certaines de ces éléments sont soit formateurs, soit modificateurs selon la composition du verre tandis que d'autre n'auront ni l'une ni l'autre de ces fonctions mais un rôle intermédiaire.

Les principaux éléments intermédiaires dans les verres d'oxydes sont l'aluminium (Al), le fer (Fe), le titane (Ti), le nickel (Ni) et le zinc (Zn) [7].

### II.4.4 Calcin

Le calcin est du débris de verre broyés et nettoyés ; ajoutés à la composition des matières premières nécessaires à la fabrication du verre. Le calcin est parfois appelé: groisil [8].Plusieurs types de calcin sont régulièrement utilisés par l'industrie du verre.

☞ **Le calcin de cave**

Calcin ramassé sur le sol sous le niveau de la machine. Il s'agit fréquemment de calcin coulé obtenu lorsqu'on laisse le verre fondu couler directement à la cave.

☞ **Le calcin de récupération**

Il est obtenu en broyant les emballages en verre collecté, après consommation, auprès du public.

☞ **Le calcin d'usine**

Dit aussi calcin domestique ou calcin interne, provenant exclusivement de la fabrication et se trouvant à l'intérieur de l'usine.

☞ **Le calcin de retour**

Verre stocké immédiatement à la sortie de l'arche de recuisons, par exemple les récipients ne répondant pas aux normes de qualité requise.

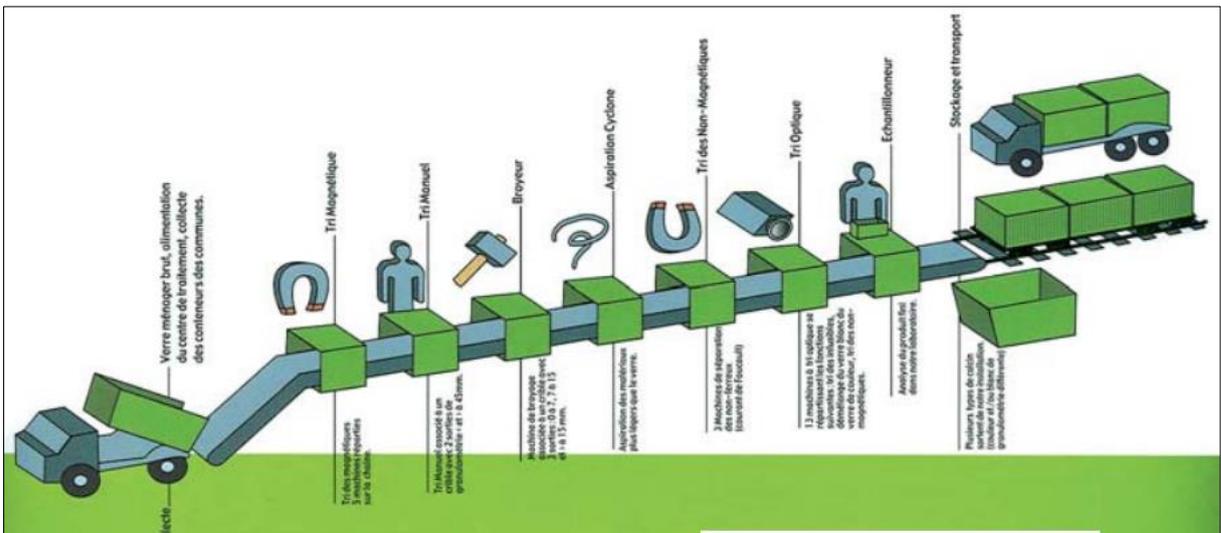


Figure II. 3: Traitement de calcin dans l'industrie [9].

## II.5 Les propriétés du verre

### II.5.1 Propriétés physiques

- La transparence mais il peut être opaque ou opalescent.
- **La dureté** : seules les diamants et le carbure de tungstène le rayent. Le verre le plus dur est le verre de Bohème et le cristal est le plus tendre.
- **La densité** : elle dépend des composants ; elle est d'environ 2,5. Cela signifie qu'un mètre cube pèse environ deux tonnes et demie ou qu'une feuille d'un mètre carré et d'un millimètre d'épaisseur pèse 2,5 Kg.

- **La résistance et l'élasticité** : la cassure de verre est liée à sa flexion et à sa résistance au choc. Il casse là où le métal se tord. contrairement, sa résistance à la compression est importante ; il faut une pression de 10 tonnes pour briser un centimètre cube de verre.
- **L'imputrescibilité** : il ne se putréfie pas.
- **L'imperméabilité** : elle est extrêmement grande mais le verre reste poreux pour certains liquides comme le Kérosène.

**Tableau II. 1** : Propriétés physiques du verre.

Propriété physique	Valeur	Unité
Masse volumique	2500 <sup>5</sup>	Kg /m <sup>3</sup>
Module de Young	69000 <sup>5</sup>	MPa
Coefficient de Poisson	0,25 <sup>6</sup>	-
Limite d'élasticité	3600 <sup>5</sup>	MPa
Résilience	De 1500 à 2500 <sup>7</sup>	Pa
Coefficient de dilatation linéaire	De 0,5 à 15×10 <sup>-67</sup>	1/°C
Conductibilité thermique	1 <sup>6</sup>	W/m/°C

### II.5.2 Propriétés thermiques

– **La dilatation** : c'est un très mauvais conducteur de chaleur. Il se brise s'il subit un brusque changement de température, car les différentes parties du verre ne se réchauffent pas en même temps. Son coefficient de dilatation est faible, ce qui lui confère de nombreuses applications : il sert d'isolant thermique (laine de verre).

On retrouve presque les mêmes coefficients que certaines métaux d'où l'exécution de soudures verre-métal. Ce coefficient varie selon la composition.

- **La conductivité** : il est mauvais conducteur (environ 500 fois moins que le cuivre) ; on l'utilise comme isolant électrique. C'est aussi un bon isolant acoustique suivant l'épaisseur de la feuille. Ceci n'est pas le cas à chaud, car il devient conducteur à partir de 250°C.
- Il est **ininflammable et incombustible**.

### II.5.3 Propriétés chimiques

– **L'action de l'eau** : l'eau agit sur les silicates qui en se décomposant, forment un dépôt en surface qui devient peu à peu opaque ; le verre perd de sa transparence.

- **L'action de l'air** : les silicates alcalins se combinent avec l'acide carbonique contenu dans l'air ce que donne un dépôt blanchâtre à la surface du verre.
- **L'action de la lumière** : exposés aux UV, certains verres se colorent ou se décolorent.
- **L'action des acides** : ils décomposent la silice, le plus rapide est l'acide fluorhydrique qui permet de graver en profondeur le verre plaqué. Le verre peut donc être dissout.

Tableau 01 : propriétés physiques moyennes du verre sodocalcique [3].

## II.6 Le processus de fabrication du verre

Le procès de fabrication du verre consiste sur :

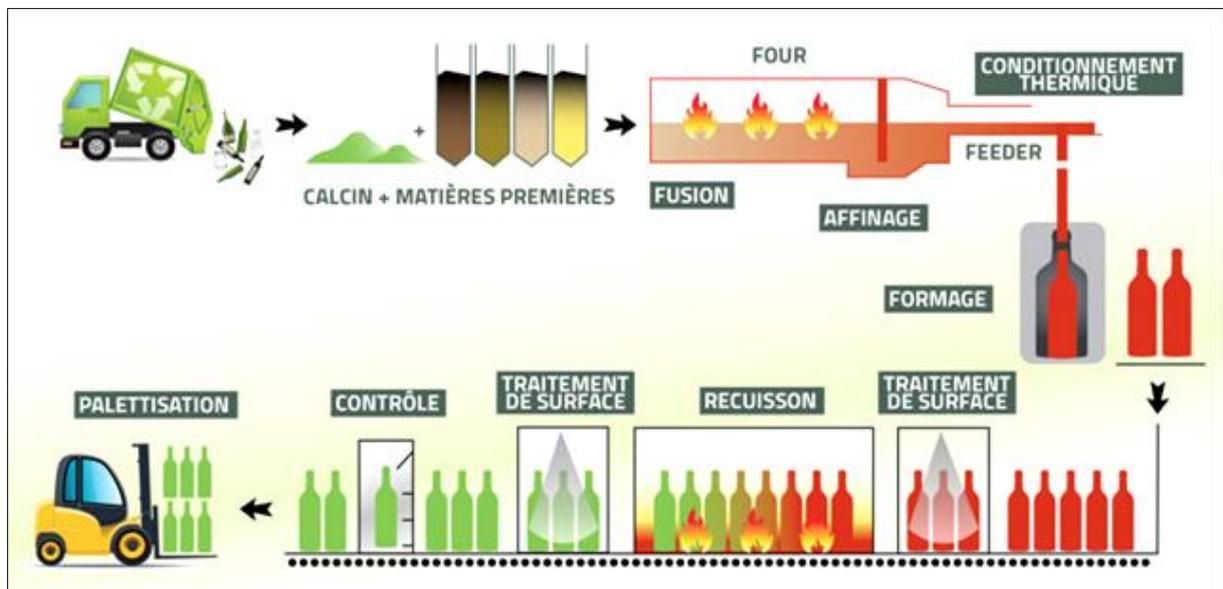


Figure II. 4 : Les différentes étapes pour la fabrication du verre [12].

### II.6.1 Traitement du sable

Le procès proposé comporte sur 6 étapes :

#### a) Réception de sable brut

Le sable provenant de la carrière est chargé par pelle mécanique dans la trémie de réception. Le sable est extrait de cette trémie par l'extracteur vibrant et déchargé sur le transporteur d'alimentation du crible de contrôle. Le crible de contrôle sert à éliminer les particules trop grosses ( $> 2$  mm) ainsi que les corps étrangers contenus dans le sable, le criblage se fait par voie humide.

Le produit à la sortie du crible de contrôle est récolté dans une bêche de pompe et dirigé vers les deux hydro-cyclones au moyen de la pompe.



**Figure II. 5:** Traitement du sable [3].

### **b) Section lavage et coupure**

La sous-verse du cyclone alimente un tamis à grille statique ou s'opère la coupure (630  $\mu\text{m}$ ) qui est ensuite dirigée vers un classificateur à vis pour un épaissement et une évacuation du filler.

Ce classificateur alimente une quadruple cellule d'attrition. Les produits attrition arrivés sont récoltés dans une bêche de pompe d'où ils sont relevés vers un hydro-cyclone au moyen de la pompe. La sous-verse du cyclone alimente l'unisizer ou s'opère la coupe à 150 $\mu\text{m}$ .

### **c) Filtration séchage :**

A la position de l'unisizer, la pompe dirige le produit vers le filtre à dépression via un hydro-cyclone. Sous l'effet de la dépression créée sous la toile filtrante par un ventilateur, l'eau traverse cette toile et est recueillie dans l'hydro-séparateur placé sous le filtre, qui sert en même temps de joint hydraulique.

### **d) Séchage**

Le produit extrait du filtre à dépression a une teneur en eau de l'ordre de 6 à 7%. Il est dirigé vers le tambour de séchage au moyen d'une chute et d'un alimentateur vibrant.

Le séchage se fait au moyen d'air chauffé par un bruleur au gaz naturel. Un circuit aller-retour créé à l'intérieur du tambour de séchage permet au produit (teneur en eau inférieure ou égale à 1%) de ressortir par l'extrémité du tambour par là-même où il est entré.

Le produit sec s'écoule de façon naturelle sur un transporteur à raclettes qui le répartit uniformément dans les 6 trémies d'alimentation des séparateurs magnétiques.

### **e) Séparation magnétique**

Le sable sec s'écoule sous forme d'un mince rideau entre les rouleaux induits des séparateurs magnétique. Le type de séparateur choisi comporte deux rouleaux induits. Les particules magnétiques sont séparées du produit.

**f) Stockage**

Ce dernier est recueilli sur un transporteur à chariot verseur qui assure la mise en tas du produits, tandis que les magnétiques sont eux recueillis sur le transporteur qui les dirige vers une cellule de stockage en béton armé [3].

Le sable est utilisé dans l'industrie du verre pour sa teneur élevée en Silice, l'introduction du sable dans la Composition doit avoir une granulométrie comprise entre 0.2 et 0.4 mm.

**II.6.2 L'atelier de composition (enfournement)**

Dans cette étape les matières premières sont mélangées, selon des proportions soigneusement définies [7,11].

- ↳ Stockage des matières premières dans les silos.
- ↳ Pesage.
- ↳ Malaxage dans des mélangeurs.
- ↳ Transfert vers le four.

**a) Préparation du Mélange vitrifiable****▪ Élément fondamentaux :**

- le Sable est un élément formateur 68% à 72%
- la carbonate de soude : élément fondant 10% à 15%
- le calcaire : élément stabilisateur 09% à 14%

**▪ Élément secondaires : Dolomie - Alumine - Sulfate...etc.**

- Colorant :** Oxyde métallique en pourcentage très faible (Fer, Sélénium, Oxyde de cobalt, Oxyde de chrome, Oxyde de cuivre noir).
- Calcin (verre concassé):** Le calcin permet de réaliser des économies d'énergie.

Tableau II. 2: Les matières premières et leurs intérêts à la verrerie.

Nom	Fonction	Mais encore
La silice	Vitrifier	Apporté par le sable de silice
Le carbonate de soude	Fondre	Permet d'abaisser la température de fusion de la composition
La calcite		Calcaire naturel sous forme de chaux
Le sulfate de soude		En substituant au carbonate
Le calcine	Amorcer la fusion	Verre concassé qui provient des verres ou de la récupération
La magnésie	Stabiliser	Apporté par la dolomie, qui permet au verre en cours de travail de se maintenir suffisamment plastique sur un long palier de température
L'alumine	Augmenter la résistance thermique et la viscosité	Apporté par le feldspath
Le minium	Réfranger	Réfraction à lumière

Le mélange est ensuite déversé dans le four. Cette composition est acheminée par bande transporteuse vers un silo d'enfournement situé en amont de chaque four.

Les opérations de pesage, de mélange et de transport sont entièrement automatiques [1].

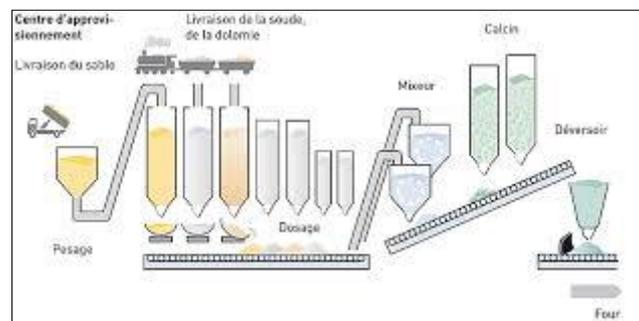


Figure II. 6: Schéma d'enfournement du verre [11].

### II.6.3 Cuve de fusion

Le mélange vitreuse est stocké dans la cellule journalier, et fondu dans un four s'élevant jusqu'à de température proches de 1550°C. Entre l'introduction des matières premières et la sortie du verre en fusion, il fonctionne à feu continu 24/24 heure.

Le four fonctionne jour et nuit, avec un niveau de verre en fusion constant. Des flammes alimentées par brûleurs assurent, avec le rayonnement de la voûte de briques en silice, une température de 1550°C nécessaire à la fusion du verre [7].

La transformation du mélange vitrifiable en verre est réalisée dans un four dont les caractéristiques principales sont les suivantes :

- \* Four de fusion à récupération de chaleur.
- \* Surface de fusion : 55m<sup>2</sup>.
- \* Capacité : 80 tonne/jour sans électrode.
- \* Chauffage : Gaz et/ou fuel + électricité.

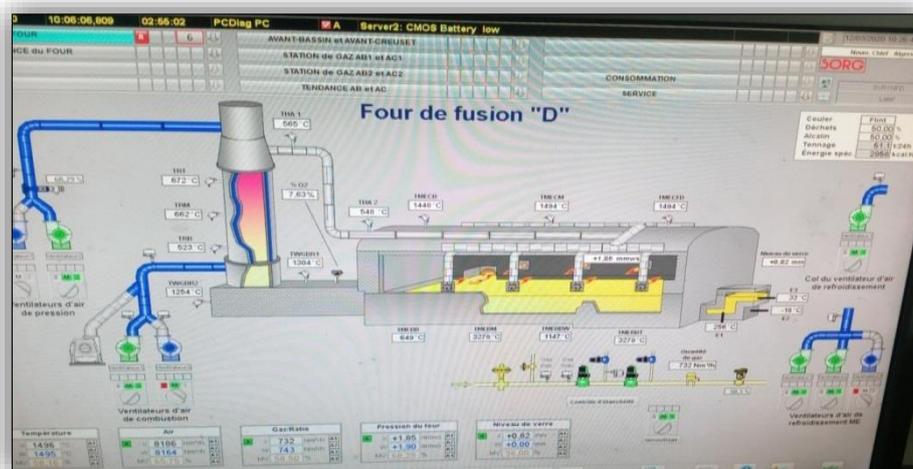


Figure II. 7: Salle de contrôle du four de fusion [3].

Aujourd'hui, les verres fabriqués dans les industries sont :

#### ☞ Verre plat

Les verres plats font partie de l'ensemble des verres fabriqués sous forme de feuilles. Produits principalement par l'industrie du vitrage mais aussi pour la fabrication des miroirs, leur sens fait opposition à la famille des verres creux (gobeletterie, produits de laboratoire, récipients, etc...) [16].



**Figure II. 8:** Exemple du verre plat [14].

### ☞ Verre creux

Les verres creux définissent tous les produits ayant une forme non plane (gobeletterie, bouteillerie, tubes de laboratoire, récipients, etc...). Ils peuvent néanmoins être produits à partir d'un verre plat (verre bombé). Il peut être principalement façonné par soufflage, pressage et centrifugation. Cependant dans l'industrie le façonnage du verre creux est souvent la combinaison de plusieurs méthodes et même le collage chaud et froid, bombage et usinage [7].



**Figure II. 9:** Exemple du verre creux [8].

Pour le four de verre creux, comprend deux parties:

#### **II.6.4 Zone de fusion**

Le verre n'a pas de point de fusion déterminé, il passe progressivement de l'état solide à l'état pâteux, puis à l'état liquide. La température de cette zone est de 1500 °C.

#### **II.6.5 Zone d'affinage**

Afin d'avoir un verre homogène et de bon qualité, le verre en fusion passe dans la zone d'affinage où la température est portée à 1580 °C, pour but d'éliminer les petites bulles de gaz carboniques inclus dans le verre.

Après la zone d'affinage, le four se sépare en deux parties appelées bassin de travail.

Le verre est alors légèrement refroidi avant de passer dans canal réfractaire appelée Feeder, son rôle est d'acheminer le verre à la machine et de le conditionner en vue de son élaboration. La température est alors de l'ordre de 1150 °C, le verre est à l'état pâteux.

### **II.6.5.1 Fabrication (Formage)**

L'opération de façonnage s'effectue au niveau des machines IS et presse à une température de 950°C. Après son passage par un mécanisme dit Spot, ce dernier a pour rôle l'homogénéisation du verre grâce au tube TOURNANT jouant un rôle d'un malaxeur.

Le formage de la bouteille comprend différentes phases :

### **II.6.5.2 Formage de la paraison**

La paraison est la goutte de verre nécessaire à la fabrication d'une bouteille. Son poids sera exactement celui de la bouteille, il est très précis ( OU MOIN +2 g pour certaines fabrication). La paraison doit avoir une forme précise et un diamètre précis afin de pénétrer correctement dans le moule à faire l'ébauche.

La température de la paraison importe beaucoup sur la fabrication de la bouteille. Elle est en environ 950°C et varie avec le format de la bouteille. L'ensemble du mécanisme qui fabrique la paraison s'appelle le mécanisme Feeder. La paraison a une forme définie, un longueur et diamètre précis.

### **II.6.5.3 Ebauche de la bouteille**

L'ébauche de la bouteille est l'état intermédiaire entre la paraison et la bouteille fini, la paraison tombe dans un moule appelé ébaucheur, un poinçon monte et presse, le verre entre les parois de moule, celui -ci remplit le volume disponible formant ainsi l'ébauche et la bague de la bouteille.

### **II.6.5.4 Finition de la bouteille**

L'ébauche de la bouteille est transférée dans un moule finisseur, elle est gonflée par l'air comprimé qui souffle dans l'ébauche, le verre se plaque entre les parois internes du moule et de son fond, la forme définitive de la bouteille est acquise.

Le formage de la bouteille (ébauche-finition) se fait automatiquement par une machine modulaire dite IS.

Les performances de la fabrication du verre creux dépendent fortement des matériaux utilisés pour les moules (ébaucheurs et finisseurs) et pour les accessoires (poinçons, moule de bague). Ces matériaux doivent posséder des caractéristiques bien particulières au niveau de:

- La résistance à l'usure à haute température;
- La conductibilité de la chaleur (évaluée par la conductibilité thermique) ;
- L'usinabilité ;
- L'aptitude au démoulage (mesurée par la résistance à l'oxydation).

Les matériaux les plus utilisés à ce jour sont les fontes, les aciers, les alliages de cuivre et les alliages de nickel et cobalt.

#### II.6.5.5 Evacuation de la bouteille

La bouteille terminée est extraite par un mécanisme appelé Take-Out puis évacuée sur un tapis convoyeur [3].



Figure II. 10: Formage du verre dans une machine IS [15].

#### II.6.6 Le recuits

Au cours de son élaboration, la bouteille a subi de nombreux chocs thermiques et mécaniques, ce qui crée des tensions dans la matière. Le but du recuit est d'éliminer ces tensions pour augmenter la solidité de la bouteille.

Une fois sortie de la machine les bouteilles sont acheminées vers un tunnel appelé Arche à recuire, dans lequel les bouteilles circulent à l'aide d'un tapis en inox et sont portées à une température voisine du point de relaxation des tensions (environ 600°C) puis refroidies très lentement (pendant une heure environ). Au bout d'arche, la bouteille arrive pratiquement à température (environ 50°C)[11].

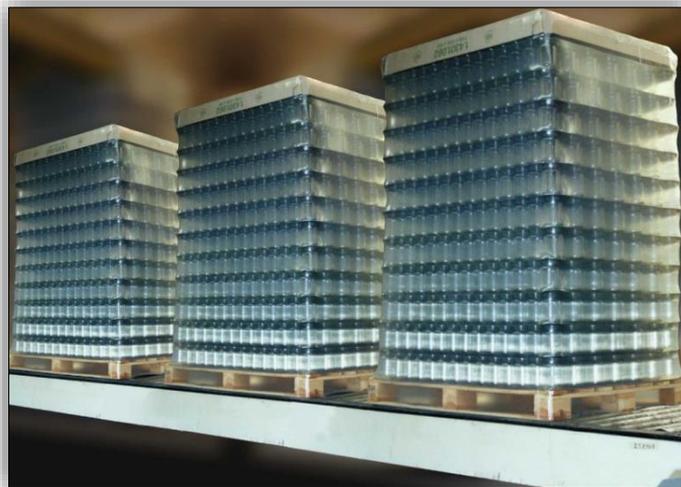


**Figure II. 11:** Recuison des produits en verre [16].

Sur les convoyeurs qui véhiculent les bouteilles jusqu'aux palettiseurs, différents contrôles sont effectués. Tous les emballages sont contrôlés par des machines électroniques qui vérifient principalement leur dimension, leur résistance et leur aspect. Des mesures sont également effectuées sur des prélèvements statistiques.

### II.6.7 Emballage

Les récipients en verre ayant subi les contrôles avec succès sont placés automatiquement sur des palettes, qui sont acheminées ensuite vers l'installation de housage [4].



**Figure II. 12:** L'emballage de produit fini [17].

# **Chapitre III**

## **Matériel et Méthodes**

### III Introduction

Dans cette partie de ce rapport, on a donné tous les contrôles de qualité effectuée par l'entreprise pour assurer un bon produit fini envoyé aux consommateurs.

#### III.1 Les analyses effectuées au niveau de laboratoire

##### III.1.1 Analyse physique

###### III.1.1.1 Analyse granulométrique

###### a) Matériel et produits utilisés

- Un échantillon du sable
- Des tamis d'analyse à vibration
- Une balance

###### b) Mode opératoire :

- Peser 10g de l'échantillon de (mélange creux et pressé)
- Tamiser sur un tamiseur d'analyse à vibration comporte une série de tamis déjà pesée à vide allant de 2, 1.18, 0.85, 0.5, 0.425 et 0.212 mm pendant 10min.
- Ensuite refaire à peser les tamis.



**Figure III. 1:** Les étapes principales pour l'analyse granulométrique.

###### c) Expression du résultat :

Pour exprimer le refus individuel de chaque tamis dans cette analyse, on doit faire la différence entre la pesée finale et initiale.

### III.1.2 Analyses chimiques

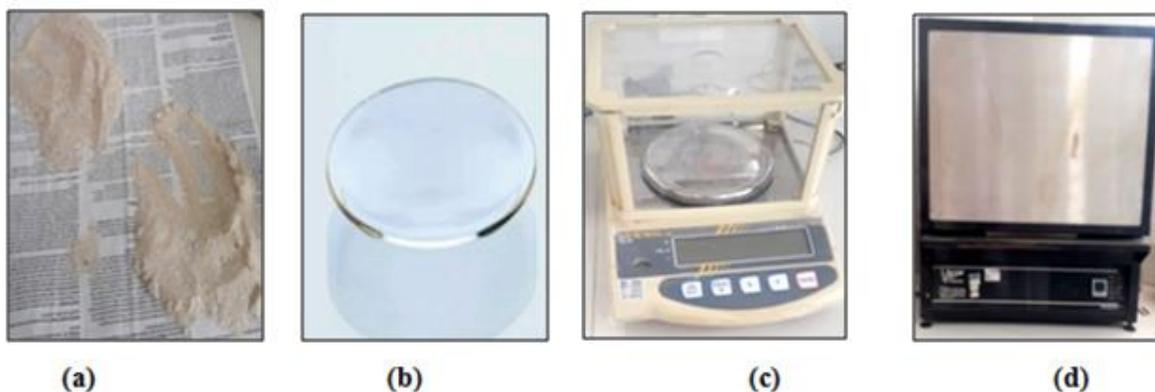
#### III.1.2.1 Détermination du taux d'humidité

a) **Matériel et produits utilisés :**

- Mélange vitrifiable
- Un four
- Une balance

b) **Mode opératoire :**

- Peser 20g du mélange vitrifiable dans un verre de montre soit  $P_1$ .
- Placer le verre dans le four à une température de 100°C à 110°C pendant 1h au minimum.
- Retirer l'échantillon du four et laisser à refroidir ensuite repeser soit  $P_2$ .



**Figure III. 2:** Les étapes de détermination le taux d'humidité.

c) **Expression des résultats**

$$\%H_2O = ((P_1 - P_2) / P_1) * 100$$

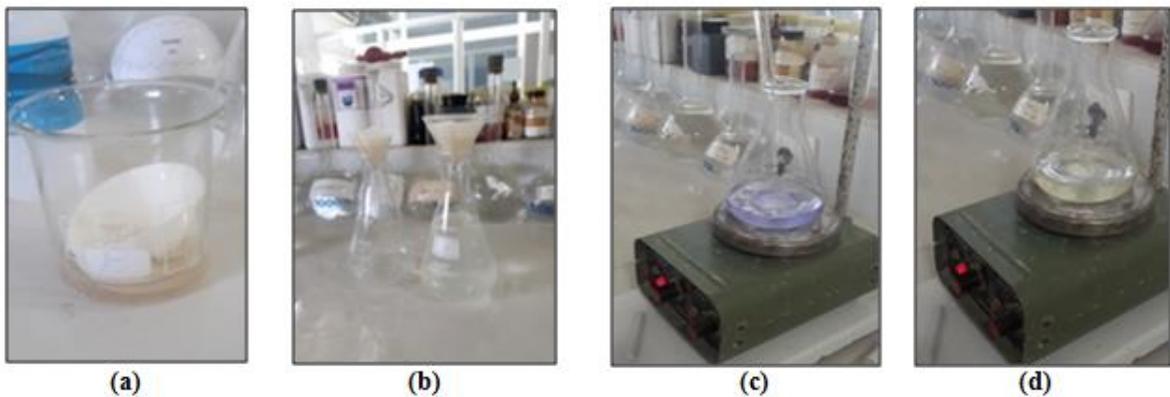
#### III.1.2.2 Dosage de carbonate de soude ( $Na_2CO_3$ ):Méthode volumétrique

a) **Matériel et produits utilisés :**

- Etuve
- Bécher
- Barreau magnétique
- Un agitateur magnétique
- Papier filtre
- Fiole de 500 ml
- Bleu du bromophénol
- Solution d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ )

**b) Mode opératoire**

1. Sécher bien le mélange dans l'étuve puis peser une masse de 20g.
2. Dans un bécher, ajouter un volume d'eau distillée chaude.
3. Mettre un barreau magnétique dans le bécher et agiter le tout sur un agitateur magnétique pendant 15min.
4. Filtrer le contenu de bécher dans un erlenmeyer. Après la filtration, ajouter quelques gouttes de bleu du bromophénol.
5. Titrer la solution prélevé par l'acide de  $H_2SO_4$  à 1N jusqu'au virage du bleu au jaune et noter le volume versé de l'acide V sur la burette.



**Figure III. 3:** Les étapes de dosage de carbonate de soude.

**c) Expression des résultats :**

$$\% Na_2CO_3 = V * 2.56$$

**III.1.2.3. Dosage des oxydes (CaO et MgO) :****a) Matériel et produits utilisés :**

- Béchers
- Fioles de 500 ml
- Solution de HCl
- Papier filtre
- Eau chaude
- Pipette jaugée
- Solution de NaOH à 2 N
- Solution d'EDTA
- MBTC
- Acide calçons carboxylique

**b) Mode opératoire :**

1. Attaquer le papier filtre du dosage par HCl 1/2 N puis mettre ce papier dans un bécher pendant 15min jusqu'à dissolution complète.
2. Ensuite verser une quantité de l'eau distillée chaude dans le bécher et filtrer le contenu dans une fiole de 500ml.
3. Agiter bien le filtrat obtenu. A l'aide d'une pipette jaugée prélever 25ml et verser ce volume dans un erlenmeyer bien nettoyé et sec.
4. Ajouter 40 ml de NaOH à 2 N en présence de l'indicateur coloré de l'acide calçons carboxylique et titrer le mélange sous agitation par la solution d'EDTA à 0.02 N jusqu'à le virage du violet au bleu et marquer le volume obtenu V.
5. A l'aide d'une pipette jaugée, prélever 25 ml de filtra précédente et mettre ce volume dans un erlenmeyer bien nettoyé et sec.
6. Ajouter 20 ml de la solution tampon en présence de l'indicateur coloré de MBTC, puis titrer le contenu sous agitation par la solution d'EDTA à 0.02N jusqu'à la disparition de couleur bleu et noter le volume soit V'.

**c) Expression des résultats**

$$\% \text{MgO} = V_1 * 0.4032$$

$$\% \text{CaO} = V * 0.5608$$

$$V_1 = V' - V$$

Où:

V : volume d'EDTA observé à la fin de l'essai du dosage de CaO

V' : volume d'EDTA observé à la fin de l'essai du dosage de MgO

**III.2 Les contrôles de qualité du produit fini**

Le contrôle de qualité est d'une grande activité, pour le client aussi bien que pour le fournisseur, car il permet de vérifier que les produits sont conformes aux spécifications du client d'une part et montre les dérives du procédé de fabrication d'autre part.

**III.2.1 Les contrôles visuels :**

Dans le passage des produits verreries dans l'arche de recuit, les ouvriers font voir les défauts d'aspects présentent dans les produits en verre et travaillent pour éliminer le maximum de ces défauts. Les produits déformés sont récupérés et les distincts sont passées aux autres contrôles pour assurer un bon objet versé aux clients.

**a. Défauts critiques****• Défauts majeurs:**

Un défaut majeur est un défaut qui sans être critique, risque de provoquer une défaillance ou de réduire de façon importante la possibilité d'utilisation de l'individu pour le but qui lui est assigné. Défaut qui nuit à une bonne utilisation de l'article chez le client embouteilleur (quand le % de défectueux dépasse une valeur généralement faible, de l'ordre de un pour mille)

Exemples :

- Glaçures
- Bague non finie
- Fond retombé
- Col de travers
- Bague de travers
- Absence de gravure
- Sale, etc...

**• Défauts mineurs :**

Un défaut mineur est un défaut qui ne réduira possiblement pas beaucoup et qui n'empêche pas une bonne utilisation, mais dont la présence est préjudiciable à l'aspect visuel, étant entendu toutefois que l'un des défauts ci-dessous doit être considéré comme défaut majeur s'il est très prononcé.

Exemples :

- Grain < 2mm
- Bouillon < 3mm
- Peau de crapaud
- Martelage
- Fond craquelé, etc...

**III.2.2 Test de choc thermique**

Un choc thermique est un brusque changement de température appliqué à un matériau ou un objet.

Les tests sont réalisés dans une enceinte à chocs thermiques, composée de deux chambres, une pour les températures négatives et l'autre pour les températures positives. Le choc est produit lorsque les échantillons sont transférés très rapidement. Les températures dépendent des procédures d'essais et des capacités de la machine.



Figure III. 4: Dispositif de contrôler le choc thermique.

**a) Matériels utilisés :**

- Dispositif de thermochoch
- 100 produits en verre

**b) Mode opératoire :**

- On réglé la température de l'appareil jusqu'à l'obtention une différence de température environ 45 °C.
- Mettre 100 produits dans le dispositif de thermochoch.
- Automatiquement, le dispositif immerge les produits dans l'eau chaude pendant 5 min puis vers un compartiment contient une eau froide pendant 1 min.
- Le contrôleur déterminer le temps de casse de ces produits en pourcentage (%).

$$\text{Temps de casse en \%} = \frac{\text{nombre des produit cassent} \times 100\%}{100}$$

**III.2.3 Test de pression interne :**

Le Sampling pressure tester (SPT, testeur de pression d'échantillonnage) fournit un test en production de récipients pour la résistance à la pression, automatiquement et sans l'intervention de l'opérateur. Le SPT collecte automatiquement les données de pression depuis les échantillons de récipients en mesurant la pression interne maximale pour supportable par les récipients.



**Figure III. 5 :** Mesure de la pression interne des bouteilles en verre.

**a) Matériels utilisés :**

- Dispositif de pression interne.
- Bouteille en verre.

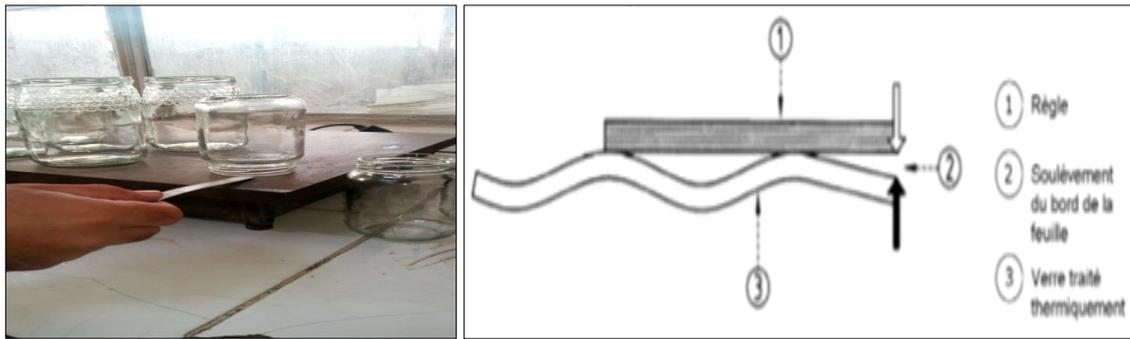
**b) Mode opératoire :**

- Mettre le produit en verre dans le dispositif.
- Automatiquement le dispositif mesure la pression des forces; chaque force de 1 Kg apparaît 1 bar.
- Le dispositif ajoute les forces jusqu'on remarque que le produit est de bonne résistance.

**III.2.4 Test de Marve:**

Lorsque la déformation est trop marquée, elle devient visible et induit des déformations de perception au travers du verre. L'environnement du bâtiment et les conditions d'observation influencent également la perception des déformations optiques liées aux défauts inévitables de planéité.

Les défauts de planéité du verre peuvent être mesurés à l'aide d'une règle métallique ou d'une corde suffisamment tendue.



**Figure III. 6:** Test de planéité dans produit en verre.

**a) Matériel utilisés :**

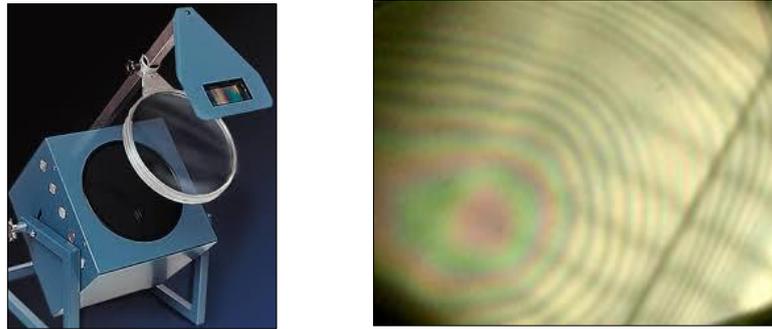
- Règle de maçon
- Produit en verre
- Calibres d'épaisseur

**b) Mode opératoire :**

- Le produit en verre doit placé verticalement et supportée de mire de référence.
- La longueur de la règle est comprise entre 300 et 400 mm et dépend de la longueur de la perturbation. L'épaisseur des calibres varie de 0.05 mm.
- La règle placée sur deux pics adjacents de la perturbation et les calibres d'épaisseur entre la règle et le produit en verre.
- Le défaut de planéité est mesuré avec une précision de 0.05 mm en positionnant successivement les calibres d'épaisseur croissante jusqu'au moment où ils remplissent exactement l'espace entre la règle et le produit en verre.
- La mesure est répétée à plusieurs endroits de la surface de produit en verre et la valeur maximale mesurée est relevée.
- La perturbation maximale autorisée est de 0,5 mm.

**III.2.5 Test de recuit:**

Le verre peut comporter comme un prisme et décomposer la lumière du jour en différentes couleurs. Des phénomènes optiques se produisent alors par combinaison des rayons lumineux réfléchis sur la surface des verres et donnent l'apparition de franges d'interférence. Ces franges colorées ressemblent à des tâches, des raies ou des cercles d'aspect huileux qui apparaissent principalement en réflexion. On utilise le dispositif polariscope pour vérifier le recuit des verres.



**Figure III. 7:** Représentation de résultats du test de recuit.

**a) Matériels utilisés :**

- Produit en verre
- Dispositif de polariscope

**b) Mode opératoire :**

- A l'aide des lunettes de dispositif de polariscope, on distingue la couleur obtenu dans le produit qui sera contrôlé.

# **Chapitre IV**

## **Résultats et Discussion**

## IV Introduction

Dans ce chapitre, on a jugé sur les matières premières et les produits finis.

### IV.1 Résultats des analyses de laboratoire

#### a) Le sable :

Les tableaux (IV.1 et IV.2) regroupent les résultats des analyses physiques et chimiques effectués sur le sable :

**Tableau IV. 1:** Résultats d'analyses chimiques du sable.

Caractéristiques Chimiques							
Oxydes	Na <sub>2</sub> O		MgO		CaO		Observation
Limites	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Conforme
	0	0,1	0	0,1	0	0,1	
Résultats	0,023		0,006		0,027		

**Tableau IV. 2:** Résultats des tests physiques du sable.

Caractéristiques physiques										H (%)	Observation
Granulométrie											
Tamis (mm)	2	1,18	0,85	0,50	0,425	0,212	0,15	0,106	<0,106	0	Conforme
Refus indiv. (%)	0	0	0	2,72	5,6	86,42	5,16	0,11	0		
Refus cumul (%)	0	0	0	2,72	8,32	94,74	99,89	100	100		

La composition chimique est un facteur déterminant pour le choix du sable. D'après les résultats illustrés dans les tableaux des caractéristiques chimiques et physiques du sable (Tableau IV. 1 et Tableau IV. 2), on trouve que le sable destiné pour la fabrication du verre est conforme à la norme algérienne.

## b) Le calcaire:

Tableau IV. 3: Résultats des tests chimiques du calcaire.

Caractéristiques Chimiques					
Oxydes	MgO		CaO		Observation
Limites	Min	Max	Min	Max	
		0	1	54	
Résultats	1.007		54.7		Conforme

Tableau IV. 4: Résultats des tests physiques du calcaire.

Caractéristiques physiques											
Granulométrie										H (%)	Obsv
Tamis (mm)	2	1,18	0,85	0,50	0,425	0,212	0,150	0,106	<0,106	0.01	Conforme
Refus indiv.(%)	0	0	4,1	11,2	5,6	21,2	23,6	17,1	17,2		
Refus cumul(%)	0	0	4,1	5,3	20,9	42,1	65,7	82,8	100		

D'après les caractéristiques chimiques et physiques du calcaire et par identifications avec les résultats obtenus dans les tableaux (Tableau IV. 3 et Tableau IV. 4), on trouve que les teneurs en CaO, MgO ainsi que la granulométrie sont adéquats et conformes aux réglettes.

## c) La dolomie :

Les résultats des analyses effectués sur la dolomie sont regroupés sur les tableaux ci-dessous.

Tableau IV. 5: Résultats des tests chimiques de la dolomie.

Caractéristiques Chimiques					
Oxydes	MgO		CaO		Observation
Limites	Min	Max	Min	Max	
		20	21	30	
Résultats	20.15		31.25		Conforme

**Tableau IV. 6 :** Résultats des tests physiques de la dolomie.

Caractéristiques physiques											
Granulométrie										H(%)	Obsr
<b>Tamis (mm)</b>	2	1.180	0.850	0.500	0.425	0.212	0.150	0.106	<0.106	0.03	Conforme
<b>Refus indiv (%)</b>	0.37	16.30	15.0	20.17	4.40	20.59	7.22	9.94	0.054		
<b>Refus cumul(%)</b>	0.37	16.70	31.72	51.90	56.20	76.79	84.01	93.94	100		

Les teneurs en CaO, MgO ainsi que les résultats de la granulométrie de la dolomie indiqués dans les tableaux (**Tableau IV. 5** et **Tableau IV.6**) se trouvent dans les fourchettes de la norme exploité.

#### d) La soude

Les tableaux IV.7 et IV.8 donnent les résultats des analyses physiques et chimiques effectués sur la soude.

**Tableau IV. 7:** Résultats des tests chimiques de la soude.

Caractéristique chimique			
Oxyde	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>		Observation
<b>Limite</b>	Min	Max	Conforme
	58	59	
<b>Résultat</b>	58,66		

**Tableau IV. 8:** Résultats des tests physiques de la soude.

Caractéristiques physiques											
Granulométrie										H (%)	Observation
<b>Tamis (mm)</b>	2	1,180	0,850	0,500	0,425	0,212	0,150	0,106	<0,106	0,01	Conforme
<b>Refus indiv. (%)</b>	0,5	0,47	0,47	7,63	7,5	66,23	12,00	3,58	1,62		
<b>Refus cumul(%)</b>	0,5	0,97	1,44	9,07	16,57	82,8	94,8	98,38	100		

Les résultats d'analyses réalisés sur la soude sont exprimés dans les tableaux (**Tableau IV.7** et **Tableau IV.8**). Après la comparaison, on peut voir la conformité de ces valeurs aux valeurs admissibles.

e) **Mélange vitrifiable :**

**Tableau IV. 9 :** Résultats des analyses du mélange vitrifiable.

Taux(%)		Na <sub>2</sub> O		CaO		MgO		Humidité		Granulométrie	Obs
Verre MI-BLANC	Limites	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	20	Conforme
		16.8	18.8	7.6	9.6	1	2	3	4		
	Résultat	18.68		8.97		1.2		2			
Verre de table	Limites	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	15.5	Conforme
		17.0	19.44	6.6	8.6	-		3	4		
	Résultats	18.94		8.13		-		3.5			

D'après les caractéristiques chimiques et physiques du mélange vérifiable et par identification avec les résultats obtenus dans le **Tableau IV.9**, on peut dire que les teneurs en CaO, MgO, l'humidité et la granulométrie sont conforme aux fourchettes.

## IV.2 Résultats de contrôles de qualité:

Les tests de contrôlé de qualité sur le produit fini ont été fait pour voir les défauts enregistrés pendant la fabrication des pièces en verre. Ces défauts sont rassemblés sur le **Tableau IV.10**.

**Tableau IV. 10:** Résultats des tests de contrôles de qualité d'un produit fini.

Heures	Défauts de fabrication	Recuit	Thermochoch
<b>6h</b>	Bague déformé	Bon	T = 3.33%
	Défauts d'aspect		
<b>8h</b>	Mal planéité		
<b>10h</b>	Fond calciné		
	Glacéur à la bague	Bon	T = 1.66%
<b>12h</b>	Défaut d'aspect		
<b>14h</b>	Bague déformé		
<b>16h</b>	Mal planéité	Bon	T = 2.5%
<b>18h</b>	Fond calciné		

Généralement, les résultats de contrôle de qualité sont conformes aux normes. Les défauts de planéités (profondeur différente de courbure du verre et de la conception de produits finis) résultent grâce aux problèmes résidés au niveau de réglage des paramètres de processus de trempe par exemple pendant la phase de chauffage, et lorsque la température de chauffage de la vitre n'est pas suffisante.

La plupart des défauts remarqués dans la surface du verre sont des conséquences de :

- réglage des installations de production,
- des erreurs des ultras des caractéristiques de la matière première car chaque matière ayant son rôle dans la fabrication d'un bon produit en verre,
- l'homogénéité de mélange aussi sur la transparence,
- la pureté des verres.

La casse des produits est influencée sur la résistance du verre et pour améliorer cette résistance, on peut augmenter la teneur de calcaire dans le mélange.

# **Conclusion**

### Conclusion

Ce rapport a été rédigé pour révéler la production du verre. Ce matériau est présent en grande quantité dans notre quotidien mais aussi dans divers domaines scientifiques.

Cette présente étude disposait pour atteindre l'objectif principal qui est le mode de fabrication du verre à partir d'oxyde de silicium et la caractérisation de produit fini.

Le développement de la technologie du verre a permis, grâce à de multiples procédés de traitement et d'affinage, contenu des installations de production permet d'offrir des dimensions toujours plus imposantes.

À la lumière des résultats obtenus au cours de cette étude, nous pouvons conclure que le verre est un matériau certainement très stable mais fragile. Il se comporte pratiquement de manière exclusivement élastique, cette propriété rend le verre « imprévisible ». Donc, il faut toujours prendre en compte que le verre peut casser en raison d'une influence extérieur imprévue par exemple le choc d'une pierre ou l'effet d'une très forte chaleur.

Le réglage des installations joue un rôle très important pour assurer un bon objet et également l'influence des teneurs des matières premières sur les caractéristiques du verre;

Le but des contrôles effectués au niveau de l'entreprise est pour assurer la bonne qualité de verre et identifier les besoins de client [11].

Aujourd'hui, le recyclage du verre est croissant donc, il est préservé l'environnement.

# **Références**

# **bibliographiques**

## Références bibliographiques

- [1]. Site internet [www.techno-science.net](http://www.techno-science.net) , « Verre », 28.03.2020.
- [2]. Site internet : You tube, « VOA verrerie d'Albi, ouvre ces portes », l'entreprise VOA, 10.06.2014.
- [3]. L'entreprise NOVER SPA de Chlef, 02.03.2020.
- [4]. BEN ABDA Siraj eddine, « Procédé de production verre d'emballage », septembre 2014, l'entreprise NOVER de Chlef Algérie.
- [5]. KOTLER Philip, P.WALDEMAR « La marque dans le produit », 2013, P136.
- [6]. INALCI Aguirre, MARIE Anne, « Introduction à la chimie générale », 1987, P 280.
- [7]. GUEZZOUN Hanane, « Etude physico-chimique et spectroscopique de l'ion de cobalt dans les verres  $Sb_2O_3-Li_2O-WO_3$ , Mémoire de Magister. Université KASDI MERBAH-OUARGLA, 2012, P 08-12.
- [8]. Site internet de Wikipédia.
- [9]. Gérard Pajean, «Une petite encyclopédie du verre, recyclage du verre », vol 14 N°1, février 2008, P 9-10.
- [10]. Site internet : [Fr.dremstime.com](http://Fr.dremstime.com) « Traitement du sable et de terre fonctionnement de machines et ligne de convoyeur transportant le sable. Piqure ouverte fin vers ».05.06.2020.
- [11]. Glass-und-Parix-Fr-Kapital-03-PdF, « Le verre : matériau de construction », 28.03.2020, P 19 -21.
- [12]. Site internet : [Verre-avenir.fr](http://Verre-avenir.fr), «Les différentes étapes de la fabrication du verre d'emballage », 05.06.2020.
- [13].Site internet : [Vinumédésign.com](http://Vinumédésign.com), « Verre à Gin-Riedel », 06.06.2020.
- [14].Site internet: [Fnac.com](http://Fnac.com), « Film Samsung Galaxy S10 plus protection Ecran verre trempé transparent, 05.06.2020.
- [15]. Site internet : [Youtube.com](http://Youtube.com), « Cycle du verre. Fabrication du verre », 28.02.2020.
- [16] : Site internet : [Verrièrecrixtaux.fr](http://Verrièrecrixtaux.fr), « L'arche de recuisons », 06.06.2020.
- [17] : Site internet : [Hellopro.fr](http://Hellopro.fr), « Emballage pour l'industrie du verre creux », 07.06.2020.

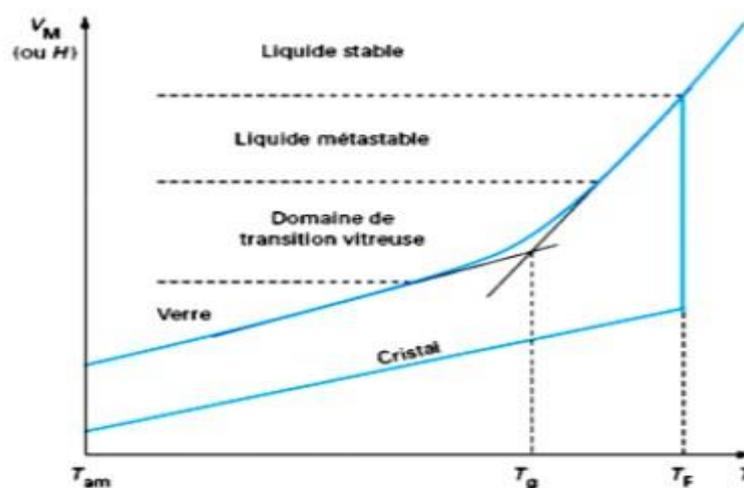
# **Annexes**

### 1. Définition de l'état vitreux du verre

Le verre est produit de manière classique par refroidissement rapide d'un liquide pour que la cristallisation n'ait pas le temps de se produire.

Pour étudier et comprendre ce processus avec plus de précision, on peut suivre l'évolution d'un variable thermodynamique tel que le volume spécifique  $V$  en fonction de la température  $T$ . En partant d'un liquide aux températures élevées, lors de refroidissement le volume  $V$  décroît lorsqu'on atteint le point de solidification ( $T_f$ ). Deux phénomènes peuvent se produire, pour le traitement de durée infinie le liquide sera cristallisé dont le volume spécifique  $V$  se contracte (une discontinuité survient) et devient plus faible que celle de liquide surfondu. Cet état décrit par la pente de la courbe étant toutefois inférieure à celle de liquide initiale.

Dans le deuxième cas, si le refroidissement est continu et rapide, le liquide peut se trouver dans un état de surfusion thermodynamiquement métastable dans un domaine de température inférieure à la température de fusion ; ce cas est indiqué par une portion de courbe prolongeant celle du liquide. Après le passage de ce domaine le liquide va progressivement se figer pour donner naissance d'un verre à température ambiante, cet état correspond à une coude de la courbe de refroidissement qui correspond à la température de transition vitreuse ; cette coude diminue pour devenir voisine de celle du solide cristallin correspondant.



**Figure 01** : variation du volume spécifique  $V$  ou de l'enthalpie  $H$  avec la température  $T$  au cours d'un refroidissement d'un liquide.

Le verre donc est un solide non cristallin présentant le phénomène de transition vitreuse. L'état physique correspondant est appelé état vitreux. La température de transition vitreuse noté  $T_g$  est la température où interviennent des changements assez brutaux de diverses propriétés du verre comme la chaleur spécifique ou encore la viscosité. Elle correspond par convention à une viscosité du verre égale à  $10^{13}$  Poises.

La transition vitreuse a été surtout étudiée du point de vue cinétique par l'intermédiaire d'une propriété physique, la chaleur spécifique ou l'indice de réfraction ...

## 2. La coloration du verre

### La lumière

#### ▪ Fonctionnement :

La lumière est considérée comme un ensemble de particules énergétiques que l'on appelle les photos. 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 ».

#### ▪ Réflexion et réfraction

La réflexion de la lumière a lieu lorsqu'elle rencontre un solide et qu'elle est réfléchi; 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 le même angle. Si les surfaces ne sont pas parallèles, les faisceaux sortiront suivant un angle différent.

#### a) 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 la quantité des colorants ainsi que de la composition du verre lui-même.

#### b) 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  $600^\circ\text{C}$ . La chaleur

provoque une dilatation des particules qui met en évidence la couleur dans la longueur d'onde souhaitée (rose et rouge à l'or, jaune orangé à rouge sélénium).

### 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.

Quelques exemples :

<b>Vert</b>	<b>Des sels de fer et de chrome</b>
<b>Grise</b>	Des sels de nickel
<b>Bleu</b>	Oxyde de cobalt, de manganèse
<b>Rubis</b>	Des sels d'or
<b>Jaune</b>	Chrome, argent
<b>Violet</b>	Oxyde de manganèse
<b>Rose et rouge rubis</b>	L'or
<b>Jaune orangé à rouge</b>	Des sels de cadmium ou de sélénium

### 4. La décoloration du verre dans la masse

Les composants contiennent toujours un faible pourcentage d'oxydes métalliques qui teintent le verre d'une couleur verdâtre (conjonctions des ions  $Fe^{+2}$  et  $Fe^{+3}$ ).

Pour obtenir un verre réellement incolore, il faut donc procéder à sa décoloration.

Il existe deux techniques :

#### a) La décoloration chimique

Les principaux décolorants sont le bioxyde de manganèse ( $MnO_2$ ) 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. En d'autres termes, ils neutralisent l'effet colorant des ions  $Fe^{+2}$  et  $Fe^{+3}$ . Les conditions de fusion permettent ensuite de faire disparaître les oxydes métalliques indésirables en les décomposant.

#### b) 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).

# Procès de fabrication du verre

## Résumé

Cette mémoire a été réalisée pour l'objectif de découvrir le processus de fabrication du verre. Ceci nécessite des grandes installations qui marchent automatiquement sans arrêts. Un mélange vitrifiable qui contient une teneur d'oxyde de silicium très élevée passe par plusieurs étapes et différents analyses.

Pour identifier le produit fini obtenu, des contrôles et des caractéristiques sont effectués pour atteindre le besoin du client et devenir un bon objet transporté vers la consommation.

**Mots de clés :** verre, oxyde de silicium, mélange vitrifiable, contrôle de qualité

## عملية تصنيع الزجاج

### ملخص

هذه المذكرة كانت من أجل التعرف على مراحل صناعة الزجاج من خلط المواد الأولية لغاية الحصول على منتج زجاجي ذو جودة عالية. صناعة الزجاج تحتاج بالدرجة الأولى إلى تجهيزات ضخمة و التي تعمل بشكل تلقائي بدون انقطاع. المزيج الزجاجي الذي يحتوي نسبة عالية من أكسيد السليسيوم يمر على العديد من الخطوات و الكثير من التحاليل المختلفة.

من أجل التعريف بالمنتج النهائي المتحصل عليه, مراقبات للجودة تنتهج للوصول إلى احتياجات الزبون والحصول على أحسن عرض موجه للاستهلاك.

**كلمات المفتاح :** زجاج, أكسيد السليسيوم, المزيج الزجاجي, مراقبة للجودة.

## Glass manufacturing process

### Abstract

The writing of this memoire for study the process of making the glass, this process needs to big equipments those work automaticly; the mixture glassy which has a proportion very high of silicon dioxide ( $\text{SiO}_2$ ) passes a lot of steps and different tests.

To identify the finished product obtained, controls and characteristics are carried out to meet the customers need and become a good object transported to consumption.

**Keywords:** glass, silicon dioxide, mixture glassy, quality controls.