

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE**



**Université Mohammed Seddik Ben Yahia-jijel**

**Mémoire de Fin d'Etudes**

**En vue de l'obtention du diplôme de Master en Chimie**

**Filière : Science de la matière**

**Spécialité : Chimie des matériaux**

**Thème**

**Suivi du procédé d'élaboration du verre et contrôle de qualité  
du produit fini à la société Africa-Verre, Taher- Jijel**

**Soutenu publiquement le 24/06/2023**

**Présenté par :**

**Berdi Amine et Khelalef Mohammed Tahar**

**Dirige par Pr/ H. Lahmar**

**Devant le jury composé de :**

Dr / N. Boutal

Maître de conférence-B, UMSBY Jijel

Présidente

Dr / H. LAHMAR

Maître de conférence-A, UMSBY Jijel

Encadreur

Dr / K. Telmani

Maître de conférence-B, UMSBY jijel

Examineur

## *DÉDICACES*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes chers parents qui m'ont aidé et m'ont encouragé  
pendant toute ma vie d'étude et d'être ma source de  
bonheur et de réussite.*

*Aussi pour ma femme et mes enfants.*

*Et à tous mes collègues.*

*Berdi Amine*

## *DÉDICACES*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes chers parents qui m'ont aidé et m'ont encouragé  
pendant toute ma vie d'étude et d'être ma source de  
bonheur et de réussite.*

*Aussi pour ma femme et mes enfants.*

*Et à tous mes collègues.*

*Khelalef Mohammed Tahar*

## *REMERCIEMENTS*

*Le travail présenté a été effectué au sein de la société Africane du verre Taher Jijel. Tout d'abord, je remercie **Dieu** le tout puissant, qui nous a donné la foi et la force pour accomplir ce travail.*

*Nous remercions sincèrement notre encadreur **Pr : H. Lahmar** pour son soutien, son encouragement et sa confiance pour son acceptation de mener ce travail et en nous apportant ses conseils afin de mieux maîtriser le sujet.*

*Nous ne saurons finir sans remercier tous les membres de jury : **Dr. Boutal .N**, MCB à l'université de Jijel d'avoir de présider ce jury, **Dr. Telmani K**, MCB à l'université de Jijel d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Enfin, un grand merci à tous nos enseignants du département de chimie.*

## *LISTE DES SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS*

<i>Symbole</i>	<i>Désignation</i>
m	Mètre
cm	Centimètre
G	Gramme
Kg	Kilogramme
mn	Minute
cm <sup>3</sup>	Centimètre cube
Mg	Milligramme
T	Température
ml	Millilitre
C	Degrée celsius
H	Heure
N	Normalité
%	Pourcentage
Σ	Somme
HF	Acide fluorhydrique
HCL	Acide chlorhydrique
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Acide sulfurique
KOH	Hydroxyde de potassium
NaOH	Hydroxyde de sodium
NaCl	Chlorure de sodium
EDTA	Éthylène diamine tetracétique
MTBC	Méthyle thymol bleu comolexons
KHSO <sub>4</sub>	Hydrogensulfate de potassium

**SOMMAIRE**

INTRODUCTION GÉNÉRALE 02

**CHAPITRE I : PATIE THEORIQUE**

I.1 Définition 05

I.2 Importance et utilisation du verre 05

I.3 Constituants du verre 06

I.4 Structure du verre 07

I.5 Elaboration du verre 08

I.6 Propriétés du verre 11

    I.6.1 Propriétés texturales du verre 11

    I.6.2 Propriétés optiques du Verre 12

    I.6.3 Propriétés mécaniques du Verre 12

    I.6.4 Propriétés chimiques du verre 12

    I.6.5 Propriétés électriques 13

    I.6.6 Propriétés thermiques du Verre 13

I.7 Types de verre 14

    a. Verre float 15

    b. Verre trempé 15

    c. Verre feuilleté 15

d. Verre à isolation thermique	15
e. Verre coloré	15
f. Verre optique	15
I.8 Matières premières	16
Références bibliographiques	19

## **CHAPITRE II : PATIE EXPERIMENTALE**

II.1 Matériel et méthodes	23
II.1.1 Matériel	23
II.1.2 Méthodes	24
II. 2 Verre imprime	24
II.2.1 Epaisseur	25
II.2.2 Découpe mécanique	25
II.2.3 Contrôle visuel	25
II.2.4 Composition chimique	26
II.3 Dosages des composants du verre	26
II.3.1 Dosage de $Fe_2O_3$	26
II.3.2 Dosage de $Al_2O_3$	27
II.3.3 Dosage de $TiO_2$	28
II.3.4 Dosage de CaO et MgO	27
a. CaO	29
b. MgO	29
II.3.5 Dosage de $SO_3$	30
II.3.6 Dosage de $Na_2O$ et $K_2O$	31

a. Na <sub>2</sub> O	32
b. K <sub>2</sub> O	32
II.3.7 Dosage de SiO <sub>2</sub>	32
II. 4 Verre Silicate de soude	33
II.5 Verre imprimé	34
II.5.1 Epaisseur	34
II.5.2 Découpe mécanique	34
II.5.3 Aspect	35
II.6 Composition chimique	35
II.6.1 Verre imprime	36
II.6.2 Verre silicate de soude	36
II.7 Verre trempé	37
Références bibliographiques	39
Conclusion générale	41
Annexe	44



# *Introduction Générale*

Le verre est un des plus anciens matériaux connus par l'homme. Le verre est un matériau homogène qui peut se former à partir de tous les éléments du tableau périodique et tous les types de liaisons chimiques. Ce matériau se distingue des autres états de la matière (solide cristallin, liquide, gaz et plasma) premièrement par son état solide caractérisé par une absence d'ordre à grande distance [1] et, secondement, par la présence d'une transition de second ordre, appelée transition vitreuse [2]. Sa découverte est attribuée à des marchants phéniciens, aux environs de 4000 ans avant Jésus Christ.

Un verre est un solide amorphe. Le terme solide implique une viscosité élevée, généralement supérieure à 10<sup>11</sup> Pa.s. [3] Cette viscosité limite l'écoulement du corps. Le terme amorphe implique l'absence d'ordre à longue distance ce qui révèle une analogie avec l'état liquide. Un verre est donc un solide dont certaines propriétés sont proches de celles des liquides [4]. Parks et Huffman parlent même « d'un quatrième état de la matière ».

Depuis que l'homme a commencé à fabriquer du verre, il s'est beaucoup intéressé aux verres oxydés, notamment ceux contenant de la silice en raison de son abondance naturelle ainsi que la silice assure un prix de revient très faible, elle s'est donc imposée dans l'industrie verrière comme l'ingrédient maître de ces verres. En effet, le verre au silicate présente des propriétés intéressantes comme une haute résistance aux chocs thermiques [5], une inaltérabilité dans le temps, la capacité de transmettre des informations sous forme de fibres optiques dans le domaine des télécommunications, etc. Cela lui donne une place très importante dans le domaine des matériaux. Il est indispensable et peu coûteux, il a donc un large éventail d'applications dans divers domaines .

Bien que le verre soit un matériau fabriqué, il existe aussi à l'état naturel, c'est le verre volcanique, « l'obsidienne » qui était déjà utilisé par les hommes préhistoriques pour fabriquer leurs outils.

L'état de verre peut survenir pour de nombreuses compositions chimiques dès lors que le phénomène de cristallisation est évité. Il existe des verres minéraux et d'autres verres usuels, verres d'oxydes, de sels, de solutions aqueuses, métalliques, verres organiques tels que les gels, les caramels, les bonbons... En fait, il est possible d'obtenir des verres quel que soit le type de liaison chimique : covalente, ionique, métallique, Van der Waals ou hydrogène.

L'état de verre correspond donc à une caractéristique de la matière condensée et il peut exister une palette infinie de composition chimique de verres, ayant chacun une structure propre.

Le verre, protège contre les influences atmosphériques et procure, en même temps, le contact direct avec la nature. Très vite, après sa découverte, l'homme s'est familiarisé avec ce matériau et a promotionné son utilisation, dans tous les domaines.

Notre travail consiste à apprendre comment se fait le contrôle de qualité des verres produits par la société AFRICAVER de Taher W de Jijel (Annexe).

Dans ce cadre nous nous sommes déplacées au niveau de la société AFRICAVER, pour effectuer un stage de 90 jours, afin d'apprendre comment :

1. On élabore , le verre imprimé, le verre silicate de soude, le verre feuilleté, et le verre trempé ?
2. On contrôle ces verres ?
3. On établis les normes de qualité de ces verre ?

Les informations obtenues, nous ont beaucoup appris sur le verre et nous ont permis de rédiger ce mémoire.

- 
1. Neuville, D. R., & Cormier, L. (2022). Le verre: un matériau d'hier, d'aujourd'hui et de demain. *Matériaux & Techniques*, 110(4), 404.
  2. GENIN, N. et RENÉ, F. Analyse du rôle de la transition vitreuse dans les procédés de conservation agro-alimentaires. *Journal of Food Engineering*, 1995, vol. 26, no 4, p. 391-408.
  3. BOUTTES, David. Micro-tomographie d'un borosilicate de baryum démixé: du mûrissement à la fragmentation. 2014. Thèse de doctorat. Université Pierre et Marie Curie-Paris VI.
  4. ANOT, Ch, GÉNY, J.-F., et MARCHAL, G. Les verres métalliques: des propriétés aux applications. *Revue de Metallurgie*, 1981, vol. 78, no 10, p. 811-822.
  5. ROUXEL, Tanguy. Conception chimique de verres à propriétés mécaniques spécifiques. MATEIS, INSA, 2014.

*Chapitre I*  
*Partie Théorique*

Cette synthèse résulte d'une recherche bibliographique basée essentiellement sur de nombreux travaux, qui seront indiqués dans cette partie théorique.

### I.1 Définition

Le mot « verre » a reçu diverses interprétations, il désigne par exemple l'état vitreux d'une matière ou bien un objet (un verre à boire) ou bien encore un matériau fonctionnel (le vitrage) [1]. Le verre est un matériau amorphe, dur, cassant, transparent ou translucide, super-refroidi liquide, obtenu par fusion d'un mélange de plusieurs silicates métalliques, la plupart communément Na, K, Ca et Pb ».

Haase (1956) et l'American Society for Testing Materials [2] ont respectivement donné du verre les définitions suivantes :

- On désigne par verre un liquide sous refroidi figé.
- Le verre est un produit de fusion inorganique qui s'est refroidi jusqu'à un état rigide sans cristalliser.

Matériau formé par refroidissement à partir de l'état liquide normal qui a montré aucun changement discontinu des propriétés à n'importe quelle température, mais est devenu plus ou moins rigide par une augmentation progressive de sa viscosité [3].

Le verre est un solide non cristallin. C'est-à-dire qu'il ne consiste pas en un arrangement ordonné de ses cations et anions constitutifs [4].

On peut ainsi dire que le verre est un matériau, solide, amorphe qui prend naissance par figeage d'un liquide surfondu, lors d'un refroidissement, sans cristallisation.

### I.2 Importance et utilisation du verre

Le verre est le plus attrayant en raison de sa transparence et peut être créé sous n'importe quelle forme à des fins artistiques, affiche. Les produits les plus importants du verre sont le secteur du verre d'emballage et plat secteur du verre qui sont utilisés comme bouteilles, spiritueux, boissons non alcoolisées, panneaux de fenêtre, lustres artistiques en verre, portes vitrées et bocaux à col large pour l'industrie alimentaire [5].

Ces les produits sont généralement considérés comme des articles de base, mais une autre partie importante du secteur est la production de contenants de plus grande valeur pour l'industrie pharmaceutique et de la parfumerie les industries [6]. L'industrie du verre a également élargi sa gamme de produits en fonction de l'exigence en raison de leur rentabilité, de leur importance écologique et recyclable.

Plusieurs secteurs basés sur les exigences du produit sont classés ci-dessous :

1. Verre de récipient
2. Verre plat
3. Fibre de verre à filament continu
4. Verre domestique
5. Verre spécial (y compris le verre à eau)
6. Laine minérale (Avec deux sous-secteurs, la laine de verre et la laine de roche.)
7. Fibre céramique
8. Frites
9. Lunettes laser (y compris les lunettes spéciales\*)
10. Verres d'affichage

\*Verres spéciaux : Il s'agit d'un ensemble extrêmement diversifié, qui couvre les des produits de faible volume et de grande valeur, dont les compositions varient très largement selon sur les propriétés requises des produits. Certaines des applications incluent: spécialiste produits borosilicatés [7]; verre optique, verre pour l'électrotechnique et l'électronique; cath- tubes à rayons ode; articles en silice fondue; joints en verre; tubes à rayons X; soudures de verre; verre fritté; électrodes; et vitrocéramique.

### I.3 Constituants du verre

La plupart des composants du verre sont des oxydes. On se basant sur le rôle joué par chacun lors de l'élaboration du verre, on distingue essentiellement :

- 1) Les vitrifiants : Ce sont les formateurs du réseaux vitreux et peuvent être soit  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$  ou  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Le plus utilisé est  $\text{SiO}_2$  (l'oxyde de silicium), trouvé abondement dans la nature sous forme de sable.

2) Les modificateurs : Ils transforment les propriétés du verre et incluent : les fondants qui abaissent la température de fusion du verre, comme les oxydes alcalins  $\text{Na}_2\text{O}$  et  $\text{K}_2\text{O}$  introduit par les produits industriels de carbonates et de sulfates, les stabilisants qui rendent le verre plus résistant, comme  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BaO}$  et  $\text{PbO}$ . Les plus utilisés sont  $\text{CaO}$  et  $\text{MgO}$ , respectivement introduits à partir des produits naturels suivants : calcaire et dolomie.

3) Les secondaires : Ils permettent d'obtenir des caractéristiques précises et peuvent être soit :

- des affinant qui accélèrent la vitrification avec  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$ , ect...,
- des colorants qui teintent le verre comme par exemple  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Au}$ , ect...,
- des décolorants qui permettent de supprimer les teintes résiduelles dans un verre, on utilise souvent  $\text{As}$ ,  $\text{NaNO}_2$ , ect...,
- des opacifiants qui colorent le verre en blanc comme  $\text{F}$  et  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

#### I.4 Structure du verre

Le verre est un solide amorphe. Sa structure dérive de celle de la silice. La distance moyenne entre les atomes de silice vitreuse ( $\text{SiO}_2$ ) est d'environ 3,6 Å et il n'y a pas d'ordre entre les atomes à des distances supérieures à 10 Å [8].

L'obtention d'un solide amorphe consiste à un refroidissement rapide de l'état liquide sans cristallisation. Dans des travaux récents sur la structure du verre, les chercheurs ont classé la structure du verre en quatre classes d'arrangement structural [9].

La première classe c'est l'atome central (Si) et les atomes voisins immédiats en formant les sommets des tétraèdres. La classe suivante c'est l'organisation des groupes structuraux autour du groupe central ensemble des unités I autour de l'unité centrale.

La troisième est intermédiaire caractérisée par des arrangements ordonnés de plusieurs atomes distants à partir de l'atome central.

La quatrième est la structure en longue distance caractérisée par des fluctuations de densité et de composition. Le réseau cristallin du dioxyde de silicium [10] est détruit en remplaçant les

cations formant des oxydes (Si) par des cations d'oxydes (Na, Ca, K), ouvrant ainsi le réseau et brisant sa périodicité.

Ces éléments ne font pas partie du réseau vitreux, mais ils aident à sa dépolymérisation. Ces éléments sont insérés entre les tétraèdres et produisent des oxygènes.

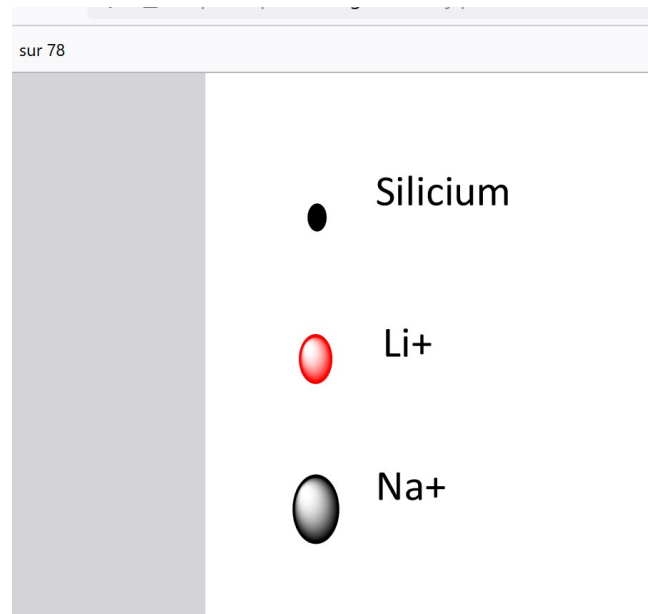


Figure I. 1 : Représentation schématique plane du réseau d'un verre de silicate alcalin.

### I.5 Elaboration du verre

Elle commence par l'élaboration d'une charge pulvérulente homogène (mélange vitrifiable), qui apportent, dans les proportions voulues, tous les éléments recherchés dans la composition finale du verre que l'on veut élaborer.

Les principaux éléments sont généralement apportés de la façon suivante :

La silice sous forme de sable, l'oxyde de sodium sous forme de carbonate (avec un complément éventuel de sulfate), les éléments alcalino-terreux sous forme de calcaire ou de dolomie (oxyde double naturel de calcium et de magnésium).

On peut se demander pourquoi on ajoute d'autres corps à la silice qui, seule possède la particularité de passer par l'état vitreux ?



Une première raison est la température de fusion : la silice fond vers 1800°C, si on ajoute du carbonate de soude ou plus généralement des oxydes alcalins, on abaisse la température de fusion vers 1500°C mais le verre obtenu a la fâcheuse tendance à être soluble dans l'eau [11]. On contrarie cette tendance, en ajoutant de la chaux ou plus généralement des oxydes d'alcalino- terreux, on obtient ainsi, le mélange ternaire, à la base des verres usuels : les silico-sodo-calciques.

On y ajoute les autres additifs éventuels sous forme d'intermédiaires élaborés, et l'on complète le rôle de fondant des oxydes alcalins par incorporation d'une quantité minimale de déchets de verre recyclé, finement broyés (calcin).

Ensuite on enfourne ce mélange vitrifiable dans un four, pour qu'ils subissent une fusion, une homogénéisation et un affinage.

A la fin, les procédés de coulage [12], de laminage, "float, ou d'autres techniques particulières aux verres spéciaux (verre feuilleté, verre trempé) prennent la relève pour élaborer le verre. Si on prend le procédé de :

**Coulage** : est un processus de fabrication qui consiste à amener le verre en fusion dans un moule pour le modeler et le refroidir, afin de créer des objets en verre. Le verre est chauffé à haute température dans un four et transformé en liquide. Ce liquide de verre est ensuite versé dans un moule, qui peut être fabriqué en métal, en graphite ou en céramique, selon le type de verre à produire et la forme souhaitée.

Une fois le verre coulé dans le moule, il est refroidi lentement pour éviter les tensions et les fractures, puis retiré du moule et fini selon les besoins. Le processus de coulage est couramment utilisé pour produire des objets en verre de grande taille et de formes complexes, tels que des bouteilles, des vases, des plaques de verre et des fenêtres.

**Laminage** : il consiste à conduire le verre en fusion, entre deux rouleaux lamineux, en fonte ou en acier spécial, refroidi intérieurement, par une circulation d'eau [13]. Généralement l'un des rouleaux est gravé, de façon à imprimer un dessin sur l'une des faces de la feuille. Il en résulte un vitrage translucide mais non transparent.

Est un processus de fabrication qui consiste à lier deux ou plusieurs feuilles de verre avec un intercalaire en plastique, souvent du polyvinyl butyral (PVB), en les passant à travers une

presse à rouleaux chauffée [14]. Ce processus crée un produit de verre composite, appelé verre feuilleté, qui est résistant aux chocs et à la rupture, ainsi qu'à l'impact du vent et des débris.

Le verre feuilleté est utilisé dans de nombreuses applications, notamment les pare-brise automobiles, les fenêtres résistantes aux ouragans, les toits en verre, les cloisons vitrées, les façades de bâtiments et les applications de sécurité.

En cas de bris, le verre feuilleté reste en place, maintenu par l'intercalaire en plastique, ce qui réduit les risques de blessure et permet de maintenir l'intégrité structurelle de la surface en verre. En outre, le verre feuilleté offre des avantages en matière d'isolation acoustique et de contrôle solaire.

**Float** : il consiste à étaler le verre en fusion sur une couche d'étain fondu. Il est le meilleur moyen pour obtenir un verre parfaitement plat. Le verre float (ou verre flotté) est un type de verre fabriqué en faisant flotter une couche de verre en fusion sur un lit d'étain fondu, ce qui crée une surface lisse et uniforme. Le processus de fabrication du verre float a été développé dans les années 1950 et est aujourd'hui le procédé de fabrication de verre plat le plus couramment utilisé dans le monde [15].

Lors de la fabrication du verre float, une couche de verre en fusion est versée sur une surface d'étain fondu dans un four spécialisé. Le verre en fusion flotte sur l'étain fondu [16], qui est maintenu à une température constante pour permettre au verre de refroidir et durcir lentement. Pendant ce processus, le verre devient parfaitement plat, lisse et uniforme, sans les ondulations et les imperfections qui sont souvent présentes dans les autres types de verre.

Le verre float est largement utilisé dans une grande variété d'applications, notamment les fenêtres, les portes, les miroirs, les pare-brise, les vitrines de magasins et les panneaux solaires. Il est également disponible dans une gamme de couleurs et de finitions pour répondre à une variété de besoins esthétiques et fonctionnels. Le verre float est un choix populaire pour les applications qui nécessitent une haute transparence optique, une bonne résistance à la rayure et une excellente planéité de surface.

**Trempe** : le verre est chauffé juste en dessous de la température de fusion et ensuite très rapidement refroidi avec de l'air. De par ce procédé, la résistance mécanique du verre est améliorée.

La trempe est un processus de traitement thermique qui consiste à chauffer le verre jusqu'à une température juste en dessous de son point de fusion, puis à le refroidir rapidement pour créer un état de contrainte dans la structure du verre. Ce processus améliore les propriétés mécaniques du verre, en particulier sa résistance à la rupture et à l'impact.

La trempe est réalisée en soumettant le verre à une source de chaleur intense, telle qu'un four, pour le chauffer à une température proche de 620°C [17]. Le verre est ensuite refroidi rapidement à l'aide de jets d'air froid ou d'un bain de sel chaud pour créer un refroidissement rapide et uniforme. Ce processus de refroidissement rapide crée des contraintes de compression dans la surface du verre, tandis que l'intérieur reste en tension, ce qui renforce la résistance du verre.

Le verre trempé est largement utilisé dans les applications qui nécessitent une résistance accrue, comme les portes et les fenêtres, les écrans de télévision, les smartphones, les fours et les appareils électroménagers. Le verre trempé est également utilisé pour les applications de sécurité, car en cas de rupture, il se brise en petits morceaux non coupants qui réduisent les risques de blessure.

## I.6 Propriétés du verre

Il y a une quinzaine de propriétés qui caractérisent le verre. Certaines jouent un rôle important dans l'élaboration du verre, d'autres ont une grande importance pour le verre transformé.

Nous n'allons pas aborder toutes ces propriétés, mais seulement les propriétés texturales, optiques, mécaniques, chimiques, thermiques et électriques, importantes pour le contrôle de qualité du verre transformé (produit fini).

### I.6.1 Propriétés texturales du verre

Le verre se présente généralement sous la forme d'un solide homogène et isotrope.

L'isotropie est la caractéristique commune à un grand nombre de verres. Elle est due à leur nature amorphe [18], non cristalline, ce qui implique l'absence d'ordre des atomes au moins à moyenne et longue distance.

### I.6.2 Propriétés optiques du Verre

La plupart des verres sont transparents, mais tous interagissent avec la lumière. La propriété optique la plus connue est l'indice de réfraction ainsi que toutes les notions de transmission et réflexion qui en découlent. Si l'on y ajoute l'absorption, la diffusion et la dispersion de la lumière, on a une description assez complète de l'interaction entre le verre et la lumière

Certains composants du verre peuvent absorber sélectivement une ou plusieurs longueurs d'onde de la lumière blanche : la conséquence en est la couleur des verres.

Par exemple dans un verre silico-sodo-calcique l'introduction du : ( $\text{Co}^{2+}$ ) colore le verre en bleu ( $\text{Cr}^{2+}$ ) colore le verre en vert ( $\text{Fe}^{2+}$ ) colore le verre en vert bouteille, précipité d'Or ou de cuivre colore le verre en rouge [19].

### I.6.3 Propriétés mécaniques du Verre

Le verre, à température ambiante se comporte comme un solide parfaitement élastique mais non ductile. Le verre ne peut supporter que des contraintes de traction et de flexion très faibles, d'où sa réputation de fragilité. Alors que la résistance théorique est de l'ordre de plusieurs milliers de  $\text{kg/mm}^2$  (forces de cohésion inter-atomiques) [20], de minimes défauts (fissures submicroscopiques) de surface font descendre la résistance à quelques  $\text{kg/mm}^2$ .

### I.6.4 Propriétés chimiques du verre

La réputation, de grande durabilité, du verre, vis-à-vis de presque tous les produits chimiques, aux températures normales est imméritée ; car, même très lentement, le verre s'altère au contact d'une solution aqueuse. L'altérabilité chimique des verres dépend fortement de la composition du verre d'une part, et de la solution altérante d'autre part (un verre standard ne résiste pas à l'acide fluorhydrique).

### I.6.5 Propriétés électriques

A température ambiante le verre est un excellent isolant. Quand on augmente la température le verre devient bon conducteur d'électricité. C'est également un bon diélectrique et il résiste bien aux forts champs électriques.

Le verre est un matériau électriquement isolant, ce qui signifie qu'il ne conduit pas l'électricité. Les propriétés électriques du verre dépendent de sa composition chimique, de son traitement thermique et de sa structure moléculaire.

Le verre peut être utilisé pour isoler les circuits électriques, protéger les composants électroniques, et comme matériau de support pour les écrans d'affichage à cristaux liquides (LCD) et les panneaux solaires [21]. Certains types de verre peuvent également être dopés avec des éléments chimiques pour créer des propriétés électriques spécifiques, tels que la conductivité électrique.

En outre, certaines applications du verre nécessitent des propriétés optiques spécifiques, telles que la transparence optique, la réflectivité, l'indice de réfraction, et la dispersion de la lumière. Ces propriétés optiques sont importantes pour les applications telles que les lentilles, les prismes, les filtres, les miroirs, les fibres optiques et les écrans d'affichage.

En résumé, les propriétés électriques du verre sont importantes pour les applications qui nécessitent une isolation électrique et une protection des composants électroniques, tandis que les propriétés optiques sont importantes pour les applications nécessitant une transparence optique et une fonctionnalité optique spécifique.

### I.6.6 Propriétés thermiques du Verre

Le verre a des propriétés thermiques spécifiques qui dépendent de sa composition chimique, de sa structure moléculaire et de son traitement thermique. Les propriétés thermiques du verre comprennent la conductivité thermique, la dilatation thermique, la capacité thermique et la résistance thermique [22].

La conductivité thermique est la mesure de la capacité d'un matériau à transférer la chaleur. Le verre a une faible conductivité thermique, ce qui signifie qu'il résiste à la transmission de la chaleur et est un isolant thermique efficace. Les propriétés isolantes du verre sont souvent utilisées dans les fenêtres, les portes et les murs pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments.

La dilatation thermique est la mesure de l'expansion ou de la contraction d'un matériau en réponse à une variation de température. Le verre a une faible dilatation thermique, ce qui signifie qu'il est relativement stable à des températures élevées et basses [23]. Cependant, les différences de dilatation thermique entre le verre et les autres matériaux avec lesquels il est en contact peuvent provoquer des contraintes thermiques qui peuvent entraîner des ruptures ou des fissures dans le verre.

La capacité thermique est la mesure de la quantité d'énergie nécessaire pour chauffer un matériau d'une certaine quantité. Le verre a une capacité thermique relativement faible, ce qui signifie qu'il peut chauffer et se refroidir rapidement en réponse aux changements de température.

La résistance thermique est la mesure de la capacité d'un matériau à résister aux effets thermiques. Le verre trempé a une résistance thermique supérieure à celle du verre ordinaire, ce qui le rend résistant aux chocs thermiques et aux fluctuations de température.

En résumé, les propriétés thermiques du verre jouent un rôle important dans la détermination de sa capacité à résister aux effets thermiques, à fournir une isolation thermique et à conserver sa stabilité dimensionnelle. La conductivité thermique relativement faible du verre, fait de lui, un bon isolant thermique.

### **I.7 Types de verre**

Les verres constituent un ensemble extrêmement varié de produits. Il existe de nombreux types de verre [24] qui sont utilisés dans une variété d'applications en raison de leurs propriétés spécifiques. Voici quelques-uns des types de verre les plus courants :

- a. **Verre float** : également appelé verre plat, il est utilisé dans les fenêtres, les portes, les vitrines et les panneaux solaires. Il est fabriqué en faisant flotter le verre fondu sur un lit d'étain en fusion, ce qui lui confère une surface lisse et plane.
- b. **Verre trempé** : également appelé verre durci, il est résistant aux chocs et est souvent utilisé dans les portes, les pare-brise de voitures et les écrans de télévision. Il est chauffé à une température élevée puis rapidement refroidi, ce qui le rend plus résistant aux chocs et aux contraintes thermiques.
- c. **Verre feuilleté** : composé de deux ou plusieurs couches de verre collées avec un intercalaire en plastique, il est utilisé dans les pare-brise de voitures, les balustrades, les toits en verre et les fenêtres des bâtiments. Il est plus résistant aux impacts et en cas de rupture, les fragments restent collés à l'intercalaire, ce qui réduit les risques de blessure.
- d. **Verre à isolation thermique** : également appelé verre à double vitrage, il est constitué de deux ou plusieurs panneaux de verre séparés par une couche d'air ou de gaz inerte. Il offre une meilleure isolation thermique et acoustique que le verre simple, ce qui le rend idéal pour les bâtiments à haute efficacité énergétique.
- e. **Verre coloré** : utilisé dans les applications décoratives, il est coloré avec des pigments métalliques ou des oxydes métalliques pour produire une large gamme de couleurs.
- f. **Verre optique** : utilisé dans les applications optiques, il est fabriqué avec des tolérances très précises pour les propriétés optiques telles que la réfraction, la transmission de la lumière et la dispersion de la lumière. Il est utilisé dans les lentilles, les prismes et les instruments optiques.

Ces types de verre ne sont que quelques exemples de la grande variété de types de verre disponibles, chacun ayant des propriétés et des applications uniques.

Les verres produits par l'AFRICAVER sont les verres dont on a besoin, pour notre contrôle de qualité.

AFRICAVER est une société située dans la zone industrielle de Taher à 17 Km de la Wilaya de Jijel, les verres qu'elle produit actuellement sont :

- verre imprimé,
- verre silicate de soude,
- verre trempé.

Avant, de commercialiser ces produits, ils doivent être conformes aux Normes internationales. C'est dans ce cadre qu'un contrôle de qualité s'impose.

### **I.8 Matières premières**

La fabrication du **verre imprimé** utilise des matières premières similaires à celles utilisées pour la production de verre plat ou float. Les principaux ingrédients utilisés pour la fabrication du verre imprimé comprennent :

- Sable de silice : il s'agit de l'ingrédient principal du verre, qui est fondu à haute température pour former le verre.
- Carbonate de sodium (soude) : il est utilisé comme fondant pour abaisser le point de fusion du sable de silice.
- Carbonate de calcium (chaux) : il est utilisé pour stabiliser le verre et lui donner une plus grande résistance à la chaleur.
- Oxydes métalliques : ils sont utilisés pour colorer le verre en différentes teintes. Par exemple, l'oxyde de cobalt est utilisé pour produire du verre bleu, l'oxyde de fer pour produire du verre vert, et l'oxyde d'or pour produire du verre rouge.

Le verre imprimé est également fabriqué en utilisant des motifs gravés sur les rouleaux d'impression. Ces motifs sont reproduits sur le verre lorsqu'il est encore chaud et malléable. Les motifs sont ensuite durcis lors du refroidissement du verre, ce qui lui donne une texture imprimée permanente.

En résumé, les matières premières utilisées pour la fabrication du verre imprimé sont principalement composées de sable de silice, de soude, de chaux et d'oxydes métalliques,



similaires à celles utilisées pour la production de verre plat. La texture imprimée est créée en utilisant des rouleaux d'impression gravés.

Le **verre de silicate de soude**, également connu sous le nom de verre sodocalcique, utilise les matières premières suivantes :

- **Sable de silice** : il est utilisé comme l'ingrédient principal pour le verre, fournissant la source de dioxyde de silicium nécessaire à la production de verre.
- **Carbonate de sodium (soude)** : il est utilisé comme fondant pour abaisser le point de fusion du sable de silice.
- **Carbonate de calcium (chaux)** : il est utilisé pour stabiliser le verre et lui donner une plus grande résistance à la chaleur.
- **Oxydes métalliques** : ils sont utilisés pour colorer le verre en différentes teintes. Par exemple, l'oxyde de cobalt est utilisé pour produire du verre bleu, l'oxyde de fer pour produire du verre vert, et l'oxyde d'or pour produire du verre rouge.

En plus de ces matières premières, d'autres additifs peuvent également être utilisés pour modifier les propriétés du verre de silicate de soude. Par exemple, de l'oxyde de magnésium peut être ajouté pour augmenter la résistance à la corrosion du verre.

Donc, les matières premières utilisées pour la fabrication du verre de silicate de soude comprennent principalement du sable de silice, de la soude, de la chaux et des oxydes métalliques, avec la possibilité d'ajouter des additifs pour modifier les propriétés du verre.

Le **verre trempé** utilise les mêmes matières premières de base que le verre standard, mais il subit un processus de trempage pour améliorer ses propriétés mécaniques et thermiques. Les matières premières utilisées pour la production de verre trempé [24] sont les suivantes :

- **Sable de silice** : il est utilisé comme matière première de base pour le verre.
- **Carbonate de sodium (soude)** : il est utilisé pour abaisser le point de fusion du sable de silice et rendre le verre plus facile à travailler.
- **Carbonate de calcium (chaux)** : il est ajouté pour augmenter la résistance du verre.

- Agents réducteurs : des composés tels que le sulfure de fer ou le charbon peuvent être ajoutés pour éliminer les impuretés dans le verre.

Le verre trempé est ensuite fabriqué en chauffant le verre à une température élevée pour le rendre malléable, puis en le refroidissant rapidement pour créer une compression superficielle. Cette compression rend le verre plus résistant aux contraintes mécaniques, aux chocs thermiques et aux contraintes thermiques.

Alors, les matières premières utilisées pour la fabrication du verre trempé sont principalement composées de sable de silice, de soude et de chaux, avec l'ajout d'agents réducteurs pour éliminer les impuretés. Le processus de trempé est utilisé pour renforcer les propriétés mécaniques et thermiques du verre.

## *Références bibliographiques*

1. PFAENDER, Heinz G. (ed.). Schott guide to glass. Springer Science & Business Media, 2012.
2. HAASE, William. Rorschach diagnosis, socio-economic class, and examiner bias. New York University, 1956.
3. ZANOTTO, Edgar D. et MAURO, John C. The glassy state of matter: Its definition and ultimate fate. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2017, vol. 471, p. 490-495.
4. PHILLIPS, Jr C. Topology of covalent non-crystalline solids I: Short-range order in chalcogenide alloys. *Journal of non-crystalline solids*, 1979, vol. 34, no 2, p. 153-181.
5. RAJARAMAKRISHNA, R. et KAEWKHAO, Jakrapong. Glass material and their advanced applications. *KnE Social Sciences*, 2019, vol. 2019, p. kss. v3i18. 4769.
6. SCHAUT, Robert A. et WEEKS, W. Porter. Historical review of glasses used for parenteral packaging. *PDA journal of pharmaceutical science and technology*, 2017, vol. 71, no 4, p. 279-296.
7. AXINTE, Eugen. Glasses as engineering materials: A review. *Materials & Design*, 2011, vol. 32, no 4, p. 1717-1732.
8. NAKAYAMA, Tsuneyoshi. Boson peak and terahertz frequency dynamics of vitreous silica. *Reports on Progress in Physics*, 2002, vol. 65, no 8, p. 1195.
9. ZANOTTO, Edgar D. et MAURO, John C. The glassy state of matter: Its definition and ultimate fate. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2017, vol. 471, p. 490-495.
10. SEIFERT, Friedrich A., MYSEN, Bjoern O., et VIRGO, David. Three-dimensional network structure of quenched melts (glass) in the systems  $\text{SiO}_2\text{-NaAlO}_2$ ,  $\text{SiO}_2\text{-CaAl}_2\text{O}_4$  and  $\text{SiO}_2\text{-MgAl}_2\text{O}_4$ . *American Mineralogist*, 1982, vol. 67, no 7-8, p. 696-717.
11. LOEHMAN, Ronald E. Preparation and properties of oxynitride glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1983, vol. 56, no 1-3, p. 123-134.
12. GUIYAO, Zhou, ZHIYUN, Hou, SHUGUANG, Li, et al. Fabrication of glass photonic crystal fibers with a die-cast process. *Applied optics*, 2006, vol. 45, no 18, p. 4433-4436.
13. KRAFT, Alexander et ROTTMANN, Matthias. Properties, performance and current status of the laminated electrochromic glass of Gesimat. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2009, vol. 93, no 12, p. 2088-2092.
14. CARROT, Christian, BENDAOU, Amine, PILLON, Caroline, et al. Polyvinyl butyral. *Handbook of thermoplastics*, 2016, vol. 2, p. 89-137.

15. PILKINGTON, Lionel Alexander Bethune. Review lecture: the float glass process. Proceedings of the Royal Society of London. A. Mathematical and Physical Sciences, 1969, vol. 314, no 1516, p. 1-25.
16. BENVENUTO, Mark Anthony. Metals and alloys. In : Metals and Alloys. De Gruyter, 2016.
17. ACLOQUE, Paul. Comparison Between Heat-Transfer Conditions and Setting Up of Strain in Glass During Heat-Treatment. Journal of the American Ceramic Society, 1961, vol. 44, no 7, p. 364-373.
18. KAISER, Nick et STEBBINS, Albert. Microwave anisotropy due to cosmic strings. Nature, 1984, vol. 310, no 5976, p. 391-393.
19. MIRTI, Piero, LEPORA, Anna, et SAGUI, Lucia. Scientific analysis of seventh-century glass fragments from the Crypta Balbi in Rome. Archaeometry, 2000, vol. 42, no 2, p. 359-374.
20. HAJLAOUI, K., DOISNEAU, B., YAVARI, A. R., et al. Unusual room temperature ductility of glassy copper–zirconium caused by nanoparticle dispersions that grow during shear. Materials Science and Engineering: A, 2007, vol. 449, p. 105-110.
21. LAMPERT, Carl M. Large-area smart glass and integrated photovoltaics. Solar energy materials and solar cells, 2003, vol. 76, no 4, p. 489-499.
22. ROSS, Russell G. et ANDERSSON, Per. Clathrate and other solid phases in the tetrahydrofuran–water system: thermal conductivity and heat capacity under pressure. Canadian Journal of Chemistry, 1982, vol. 60, no 7, p. 881-892.
23. ERFANTALAB, Sobhan, PARISH, Giacinta, et KEATING, Adrian. Determination of thermal conductivity, thermal diffusivity and specific heat capacity of porous silicon thin films using the  $3\omega$  method. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2022, vol. 184, p. 122346.
24. AXINTE, Eugen. Glasses as engineering materials: A review. Materials & Design, 2011, vol. 32, no 4, p. 1717-1732.

*Chapitre II :*  
*Partie expérimentale*

**II.1 Matériel et méthodes****II.1.1 Matériel**

Les produits de l'AFRICAVER sont le verre imprimé, le verre silicate de soude, et le verre trempé.

Ces produits doivent répondre aux Normes internationales, alors, ils subissent des contrôles au laboratoire de l'AFRICAVER.

Le matériel qui permet de réaliser ces contrôles est le suivant :

1. Pipettes
2. Burettes
3. Bêchers
4. Fioles
5. Balance
6. Broyeur
7. Bain de sable
8. Marteau
9. Bec benzène
10. Etuve
11. Spectrophotomètre
12. Trantest
13. Cuve
14. Déssicateur
15. Projecteur
16. Bille en acier trempé

**II.1.2 Méthodes**

Les essais de contrôle, de la qualité du verre sont spécifiques à chaque type de verre. Dans notre cas, il faut contrôler :

- L'aspect, l'épaisseur, la composition chimique et la résistance mécanique du verre imprimé,
- La composition chimique du verre silicate de soude,
- Les caractéristiques optique, la résistance mécanique et thermique du verre feuilleté,
- Caractéristiques optiques et la résistance mécanique du verre trempé.

Le contrôle de qualité du verre est normalisé. Il se fait suivant des normes internationales.

Avant d'aborder ces normes, nous allons étaler pour chaque type de verre, les différents essais de contrôle qui le concerne.

**II. 2 Verre imprimé**

Le verre imprimé est un verre plat, translucide, clair ou coloré, qui porte un motif (mauresque, cathédrale, granit, fleur chardon.), sur l'une de ces faces.

Particulièrement destiné au vitrage des bâtiments, il est élaboré à partir de sable, de calcaire, de dolomie, de carbonate de sodium et de sulfate de soude, qu'on mélange et on fond, pour après refroidir par coulage et laminage [1].

Concernant les méthodes de contrôle des différents essais du verre imprimé, elles sont tirées du manuel de qualité de Saint-Gobain vitrage, utilisé par le laboratoire de AFRICAVER. Ce sont essentiellement les essais de :

**II.2.1 Epaisseur**

L'épaisseur d'une feuille est calculée comme étant la moyenne des mesures effectuées au 1/100 mm de précision et relevées au milieu des 04 cotés.

Cet essai est calculé comme suite :

On a pesé le poids d'un échantillon de verre de longueur et de largeur déterminées, puis on a calculé son épaisseur, selon la méthode suivante, en se basant sur sa densité (d) et son volume (V),

Soient :

P = le poids de l'échantillon exprimé en Kg

L = longueur de l'échantillon, exprimé en m

l = largeur de l'échantillon, exprimé en m

Ep = épaisseur de l'échantillon, exprimée en mm

Sachant que :

$$d = \frac{P}{v} \dots\dots\dots(1)$$

Et que :

$$V = L \times l \times E_p \dots\dots\dots(2)$$

Donc :



$$E_p = \frac{d}{L \times l \times p} \dots\dots\dots(3)$$

### II.2.2 Découpe mécanique

C'est une ligne sinueuse, effectuée sur la longueur de la feuille du verre, à l'aide d'un coupe verre.

### II.2.3 Contrôle visuel

La qualité de l'aspect du verre est contrôlée, pour détecter, les défauts ponctuels (bulles, bouillons), les défauts linéaires ou étendus (égratignures, griffes) et les défauts de dessin.

### II.2.4 Composition chimique

La composition chimique, nous permet de déterminer les proportions massiques de SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, MgO, CaO, SO<sub>3</sub> et Na<sub>2</sub>O, qui sont les principaux composants du verre.

L'analyse chimique est réalisée après le broyage du verre, la préparation de sa solution mère et le dosage de ces constituants.

\Afin de préparer la solution mère, on a pesé dans une capsule de platine, 2g de verre broyé, quant à humecté avec un peu d'eau distillée froide.

Ensuite, on a ajouté 25 ml de HF, quelques gouttes de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré et chauffé dans un bain de sable jusqu'à évaporation à sec,

Par après on a ajouté au résidu sec des grains de KHSO<sub>4</sub>, puis tout en chauffant sur bec benzène jusqu'à dissolution complète du résidu sec,

Après refroidissement on a transvasé le contenu de la capsule dans un bêcher, en rinçant avec l'eau distillée, puis on a ajouté 10 ml d'HCl et chauffé jusqu'à dissolution complète,

Une fois refroidit, on a versé le contenu du bêcher dans une fiole jaugée de 500 ml en complétant le volume avec de l'eau distillé.

La solution obtenue est dite « solution mère »

### II.3 Dosages des composants du verre

Maintenant que la solution mère est préparée on peut faire le dosage des constituants du verre.

#### II.3.1 Dosage de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Le dosage de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [2] passe par une prise d'essai, puis un essai à blanc et enfin la mesure de la concentration.

##### ® Prise d'essai

On a introduit 10 ml de la solution mère dans une fiole de 100 ml, à laquelle on a mis un morceau de papier rouge Congo, qui devient bleu dans le milieu acide.

Puis, on a ajouté 2 ml d'hydroxylamine et 2 ml d'orthophénoltroline.

Ensuite, on a ajouté la solution tampon d'acétate d'ammonium, goutte à goutte jusqu'à ce que le papier rouge Congo devienne rouge.

Après, on a ajusté avec de l'eau distillée, le volume jusqu'à 100 ml et on a laissé reposer pendant une demi-heure.

- Essai à blanc

C'est les mêmes étapes que la prise d'essai, mais sans l'addition d'orthophénoltroline.

- Mesure de la concentration

La concentration du complexe fer- orthophémoltroline (PH ~ 2,9-3,1) se fait à l'aide de spectrophotomètre.

Soit :

C = lecture de la concentration en « mg » de 10 ml.

P = la prise d'essai diluée dans 500 ml (P = 2g)

La teneur de fer, exprimé en % en masse de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, est donnée par l'expression

$$\%Fe_2O_3 = \frac{(C)g / 500ml}{p} \times 100 \dots\dots\dots(4)$$

### II.3.2 Dosage de $Al_2O_3$

Le dosage de  $Al_2O_3$  [3] passe aussi, par une prise d'essai, puis un essai à blanc et enfin la mesure de la concentration.

- Prise d'essai.

On se basant sur le mode opératoire suivant :

On a introduit 5 ml de la solution mère dans une fiole jaugée de 250 ml, à laquelle on a ajouté 3 gouttes de rouge de méthyle et 1 ml de la solution de fer,

Ensuite, on l'a neutralisé avec la solution d'hydroxyde de sodium jusqu'à la coloration jaune et on a immédiatement, réacidifié, par l'addition de HCl jusqu'à la coloration rose,

Puis, ont ajouté 10 ml d'acide ascorbique (L+), en laissant reposer pendant 20 minutes.

Par après, on a ajouté dans l'ordre, 50 ml de solution tampon, 10 ml de chromazol - « S », et de l'eau distillée pour compléter jusqu'à 250 ml. On a homogénéisé et laissé reposer pendant 10 minutes.

- Essai à blanc

On a effectué un essai à blanc, en mettant en œuvre toutes les modalités opératoires de la prise d'essai, sauf à la place de la solution mère, on a ajouté un peu d'eau distillée.

- Mesure de la concentration

La concentration du complexe rouge Al - chromazol - « S » en milieu tampon acétique (pH ~ 5,5) est mesurée à l'aide du spectrophotomètre.

Soit :

C = lecture de la concentration en « mg » de 5 ml,

P = la prise d'essai diluée dans 500 ml (P = 2g)

La concentration est exprimé en % en masse d'alumine est donnée par l'expression :

$$\%Al_2O_3 = \frac{(C)g / 500ml}{p} \times 100 \dots\dots\dots(5)$$

Remarque.

Le complexe Al-chromazerol-« S » est stable pendant 1 heure environ après son développement, cependant il est préférable d'effectuer les mesures entre 10 à 30 minutes après l'addition du chromazerol « S », le complexe a tendance à se décomposer avec le temps.

### II.3.3 Dosage de TiO<sub>2</sub>

Comme pour les dosages de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on effectue, une prise d'essai, un essai à blanc et enfin la mesure de la concentration.

- Prise d'essai

On a prélevé 50 ml de la solution mère dans une fiole jaugée de 100 ml, à laquelle, on a ajouté 1 ml d'acide phosphorique, puis 20 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

On a ensuite, complété le volume jusqu'à 100 ml, avec de l'eau distillée en laissant reposer pendant 15 minutes.

- Essai à blanc

C'est les mêmes étapes que la prise d'essai, mais sans l'addition de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

- Mesure de la concentration

La mesure de la concentration se fait à l'aide du spectrophotomètre.

Soit :

C = lecture de la concentration en « mg » de 50 ml,

P - la prise d'essai diluée dans 500 ml (P = 2g).

La concentration est exprimé en % en masse de titane est donnée par l'expression :

$$\%TiO_2 = \frac{(C)g / 500ml}{P} \times 100 \dots\dots\dots(6)$$

### II.3.4 Dosage de CaO et MgO

On doit déterminer l'acidité avant de doser CaO et MgO

- Détermination de l'acidité

On a prélevé 10 ml de la solution mère, on la diluer avec 100 ml d'eau distillée, puis on a ajouté quelques gouttes de phénolphtaléine et de KOH jusqu' à ce que la solution devient rouge (mauve).

L'acidité = V KOH + 5 à 6 ml de KOH en excès

#### a. CaO

On a introduit 10 ml de la solution mère dans un bêcher de 250 ml, à laquelle on a ajouté 100 ml d'eau distillée, du KOH (4N) (le volume de l'acidité est déterminé), 5 ml de triéthanolamine et l'indicateur calcéine (quelques « mg »).

On a placé un fond noir sous le bêcher, on a agité, puis titré la solution obtenue, par « EDTA » (0,05 N) jusqu'à coloration rose.

Soit

V<sub>EDTA</sub> = Volume en ml d'EDTA

N<sub>EDTA</sub> = La normalité d'EDTA = 0,05 N

V<sub>fiolle</sub> = Volume de la fiole

E<sub>cao</sub> = Equivalent de CaO

P = La prise d'essai = 2g

V<sub>P.E</sub> = Volume de la prise d'essai

Le pourcentage de CaO est calculé par la formule suivante :

$$\%CaO = \frac{(V_{EDTA} \times N_{EDTA} \times V_{fiolle} \times E_{CaO}) / 1000}{P \times V_{p \times E}} \times 100 \dots\dots\dots(7)$$

#### b. MgO

On a prélevé 10 ml de la solution mère dans un bêcher, à laquelle on a ajouté 100 ml d'eau distillée, 5 ml de NH<sub>4</sub>OH (hydroxyde d'ammoniaque) et 5 ml de a solution tampon.

On a additionné l'indicateur (MTBC couleur bleue), ensuite titré la solution obtenue par EDTA, jusqu'à ce qu'elle devient incolore.

Le volume d'EDTA pour titrer MgO est :

$$V_{\text{MgO}} = V_{\text{EDTA totale}} - V_{\text{EDTA CaO}}$$

Sachant que :

$V_{\text{EDTA totale}}$  - le volume totale pour titrer la somme MgO+CaO.  $V_{\text{EDTA}}$  - volume en ml d'EDTA  $N_{\text{EDTA}}$  - la normalité d'EDTA = 0,05 N  $V_{\text{fiolle}}$  = volume de la fiole  $E_{\text{Mgo}}$  = équivalent de MgO  $P$  = la prise d'essai = 2g

$V_{\text{P.E}}$  = volume de la prise d'essai

Le pourcentage de MgO est déterminé par la formule :

$$\% \text{MgO} = \frac{(V_{\text{EDTA}} \times N_{\text{EDTA}} \times V_{\text{fiolle}} \times E_{\text{MgO}}) / 1000}{p \times V_{\text{P.E}}} \times 100 \dots\dots\dots(8)$$

### II.3.5 Dosage de SO<sub>3</sub>

On a introduit dans une capsule de platine 1g du verre broyé, humecté à l'eau distillée, puis on a ajouté 25 ml de HF, 1 ml de HNO<sub>3</sub> et 10 ml de HClO<sub>4</sub>.

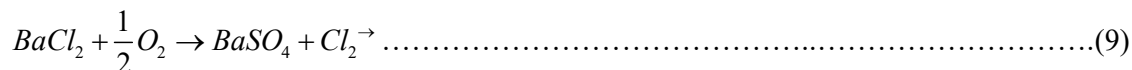
Après chauffage dans un bain de sable jusqu'à évaporation à sec et l'ajout de 20 ml d'eau distillée chaude, on l'a laissé une deuxième fois, au bain de sable pendant 15 à 20 minutes à température 50 à 60°C.

Après, on a fait transvaser le contenu de la capsule dans un bêcher en rinçant avec de l'eau distillée pour obtenir « la solution A ».

On a ajouté quelques gouttes de rouge de méthyle à la solution « A », puis on l'a neutralisé par l'ammoniaque, jusqu'à coloration jaune de l'indicateur, puis à la teinte rose par l'addition de quelques gouttes de HCl et un excès de 4 à 5 ml d'HCl.

Ensuite, on a chauffé jusqu'à l'ébullition sur un bec benzène, puis on a versé doucement 10 ml de BaCl<sub>2</sub> sur la solution bouillante obtenue, en agitant énergiquement, avant de l'apporter une deuxième fois à l'ébullition, pour quelques minutes, jusqu'à ce que la liqueur surnageante soit parfaitement limpide.

Enfin on a filtré sur le papier filtre (bande bleue), puis laver plusieurs fois à l'eau bouillante jusqu'à disparition des chlorures dans le filtrat.



BaSO<sub>4</sub> = précipité blanc insoluble dans l'eau.

On a continué en mettant le filtre et le précipité dans une capsule de platine et on a incinéré doucement le papier sans le faire brûler sur bec benzène.

Ensuite, on a calciné le précipité pendant 30 minutes dans le four à moufle à 1000°C et on a pesé après refroidissement dans un dessiccateur.

Soit :

P1 = la masse de la capsule vide

P2 = la masse de la capsule et de précipité ensemble

M = la masse du précipité

$$M = P_2 - P_1$$

La teneur en sulfate soluble dans l'acide chlorhydrique dilué de l'échantillon broyé exprimé en % en masse de SO<sub>3</sub> se détermine comme suite :

$$\% SO_3 = 34,50 \times M \dots\dots\dots(10)$$

### II.3.6 Dosage de Na<sub>2</sub>O et K<sub>2</sub>O

Afin de doser Na<sub>2</sub>O et K<sub>2</sub>O, il faut au préalable préparer une solution

- Préparation de la solution.

Dans une capsule de platine on a pesé 1g du verre broyé humecté avec un peu d'eau distillée, puis on a ajouté 1ml de NHO<sub>3</sub>, 10 ml de HCIO<sub>4</sub> et 20 ml de HF.

Après, on a évaporé à sec dans un bain de sable, ajouter 5 ml de HCIO<sub>4</sub> et évaporer encore une fois.

Ensuite, on a ajouté 20 ml d'eau distillée et on a encore chauffé dans le bain de sable pendant 15 minutes ( $T^{\circ} = 60^{\circ}\text{C}$ ).

Par après, on a transvasé le contenu de la capsule dans un bêcher de 250 ml, auquel on a ajouté 5 ml de HCl concentré, puis on a chauffé sur un bec benzène jusqu'à dissolution complète des sels solubles.

Enfin, après refroidissement on a transvasé la solution dans une fiole jaugée de 100 ml et compléter le volume de 100 ml avec de l'eau distillée.

La solution obtenue est dite « la solution B ».

#### a. $\text{Na}_2\text{O}$

On a prélevé 10 ml de la solution « B » dans un bêcher de 100 ml, qu'on a concentré par évaporation dans un bain de sable, jusqu'à l'obtention d'environ 1 ml de la solution.

Après refroidissement, on a ajouté lentement, en agitant 20ml de la solution double acétate de zinc et Uranyle acétate et on a laissé reposer 20 minutes.

On a filtré sur un creuset de verre fritté taré, puis rincer avec l'alcool éthylique et on a mit le précipité dans l'étuve à  $100^{\circ}\text{C}$  pendant 15 minutes.

Enfin, après séchage et refroidissement dans un dessiccateur, on a pesé le précipité.

La teneur en sodium exprimé en % en masse de  $\text{Na}_2\text{O}$  est donnée par l'expression

Soit :

$P$  = la masse en g du précipité

$$\text{Na}_2\text{O}\% = p \times 20,25 \dots\dots\dots(11)$$

#### b. $\text{K}_2\text{O}$

$\text{K}_2\text{O}$  n'a pas été dosé, car son pourcentage est très faible dans le verre.

#### II.3.7 Dosage de $\text{SiO}_2$

La teneur en silice est exprimée en % en masse de  $\text{SiO}_2$  et elle est déterminée par différence.

$$100\% - \sum \text{des éléments déterminées}$$



## II. 4 Verre Silicate de soude

Le verre silicate de soude est un verre soluble dans l'eau, anhydre de couleur blanche ou vert et qui est utilisé comme inhibiteur de corrosion dans les détergents [4].

Il est élaboré à partir d'un mélange de sable et de carbonate de sodium, qu'on fait fondre, puis refroidir par coulage.

Le silicate de soude se caractérise par :

- sa formule chimique =  $n \text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O}$  ( $n > 1$ ).
- sa masse moléculaire = 122 g/mol
- sa densité apparente = 0,75 - 0,85 gr /cm
- son point de fusion = 750°C à 1000°C.

le silicate de soude, ne subit ni plus ni moins, qu'un essai de contrôle de la composition chimique.

Dans l'essai de contrôle de la composition chimique, on se limite au dosage du composant essentiel qui est  $\text{Na}_2\text{O}$ . les autres composants comme  $\text{SiO}_2$ .  $\text{Fe}_2\text{C} > 3$ . et les insolubles en  $\text{Na}_2\text{O}$  sont calculés seulement à la demande du client.

Avant de doser  $\text{Na}_2\text{O}$ , il faut le broyer et le mettre en solution.

- o Mise en solution

On a introduit dans un bêcher de 600 ml, 10 g de silicate de soude broyé auquel on a ajouté environ 200 ml d'eau distillée, puis on a chauffé la solution, sur brûleur bunsen, jusqu'à dissolution complète du silicate de sodium.

Après, avoir filtré les insolubles sur papier filtre (bande blanche), on a transvasé la solution dans une fiole jaugée de 500 ml, qu'on a complété avec de l'eau distillée.

On a obtenu une solution qui contient (10g/500 ml) et qui servira pour le dosage de  $\text{Na}_2\text{O}$ .

- o Dosage

On a introduit 10 ml de la solution dans un bêcher de 250 ml, auquel on a ajouté 2 à 3 gouttes d'hélianthine, puis on a agité la solution à l'aide de l'agitateur magnétique.

Après on a dosé avec la solution titrée de HCl 0.2 N jusqu'à virage du jaune au rose.

Soient :

V = le volume en ml de HCl 0,2 N, utilisé pour le dosage, 10g= la prise d'essai,

10ml = le volume de la prise aliquote prélevé pour le dosage, 0 006g = l'équivalence en Na<sub>2</sub>O de 1 ml de HCl 0,2 N, 500ml = la dilution de la solution

La teneur en Na<sub>2</sub>O est exprimée en % en masse de Na<sub>2</sub>O, elle est donnée par l'expression :

$$\%Na_2O = \frac{(0,0062g \times V \times 500ml)}{10g \times 10ml} \times 100 \dots\dots\dots(12)$$

Les résultats des essais de contrôle qu'on a appliqué aux produits verriers de l'AFRICAVER sont les suivants :

## II.5 Verre imprimé

### II.5.1 Epaisseur

L'essai de contrôle sur l'épaisseur, que nous avons réalisé sur une feuille de verre d'une épaisseur prévu, comme étant 4 mm, nous a donné le résultat suivant : Ep = 4,15 mm. Sachant que la norme ISO 9001 - 2000, admet une tolérance de (+ -0,5mm), pour un verre imprimé d'épaisseur 4 mm, on peut alors dire que l'essai de contrôle de l'épaisseur est conforme aux normes.

### II.5.2 Découpe mécanique

La ligne sinueuse, effectuée sur la longueur d'une feuille de verre a cassée cette dernière le long de cette ligne. Sachant, que selon ISO 9001 - 2000, l'essai de découpe mécanique est considéré conforme, si la feuille de verre se casse le long de cette ligne, on peut dire, que d'un point de vue propriété mécanique le verre imprimé est dans les normes.

### II.5.3 Aspect

On n'a pas détecté des défauts ponctuels (bulles, bouillons), des défauts linéaires ou étendus (égratignures, griffes) et des défauts de dessin (photo n°1)

Les normes ISO 9001 - 2000 pour l'aspect du verre sont que ce dernier ne présente aucun défaut, mais si c'est le cas, ils sont admissibles si :

Le diamètre des défauts ponctuels est :

$\leq 1\text{mm}$ , mais pas en groupe,

$\leq 3\text{mm}$ , mais pas 8 pièces /  $\text{m}^2$ .

Les défauts linéaires ou étendus ne sont pas réparables à une distance de 1 mètre.

La déformation de dessin n'abîme pas l'expression d'ensemble et ne change pas son caractère.

En prenant en considération les résultats et les normes, on peut dire que l'aspect du verre imprimé est conforme aux normes.

## II.6 Composition chimique

### II.6.1 Verre imprime

Les proportions massiques de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SO}_3$  et  $\text{Na}_2\text{O}$ , déterminées lors, de l'essai du contrôle chimique est représenté sur le tableau 1 suivant :

Composants chimiques		Les résultats (%)	Les normes (%)
$\text{SiO}_2$	: Oxyde de silicium	72,31	71,5 - 72,5
$\text{AlO}_3$	: Oxyde d'aluminium	0,24	1,0 maximum
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	: Oxyde de fer	0,09	0,1 maximum
$\text{TiO}_2$	: Oxyde de titane	/	/
$\text{CaO}$	: Oxyde de calcium	9,65	9,5 - 10,5
$\text{MgO}$	: Oxyde de magnésium	2,75	2,5 - 3,00
$\text{Na}_2\text{O}$	: Oxyde de sodium	14,3	13,5 - 14,5
$\text{SO}_3$	: anhydride sulfurique	0,3	0,50 maximum

Tableau 1: résultats et normes chimiques

L'analyse des résultats montre que la composition chimique du verre est conforme aux normes ISO 9001- 2000, pour  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SO}_3$  et  $\text{Na}_2\text{O}$ , par contre elle n'est pas totalement conforme pour  $\text{SiO}_2$  car, la valeur de la silice dépasse un peu la norme admise.

Sachant que, le pourcentage de  $\text{SiO}_2$  est calculé par différence, la valeur élevée de  $\text{SiO}_2$  représenterait alors, d'autres composants comme  $\text{TiO}_2$  qui a une valeur très faible ou  $\text{K}_2\text{O}$  qui n'a pas été dosé.

### II.6.2 Verre silicate de soude

Les résultats du dosage du composant essentiel du verre silicate de soude qui est  $\text{Na}_2\text{O}$  (Tab.2), nous a donné la valeur exprimé au tableau suivant .

les autres composants comme  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , et les insolubles en  $\text{Na}_2\text{O}$  n' ont pas été calculés, car d'une part, ils se font seulement à la demande du client et d'autre part lors du contrôle, lorsque le résultat de  $\text{Na}_2\text{O}$  est dans les normes, c'est le cas pour les autres.

Composants chimiques	Les résultats (%)	Les normes (%)
$\text{Na}_2\text{O}$ : Oxyde de sodium	32,00 %	32,5 % $\pm$ 0,5 %
$\text{SiO}_2$ : Oxyde de silicium	Pas réalisé	66,6 % $\pm$ 0,5 %
Insolubles en $\text{Na}_2\text{O}$	Pas réalisé	4,5 % (max.)
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ : Oxyde de fer	6.0 %	6,10 % (max.)
$\text{SiO}_2$ R : ----- $\text{Na}_2\text{O}$	Pas réalisé	R = 2,05 $\pm$ 0,05

**Tableau 3:** Résultats et normes du verre silicate de soude

En prenant en considération tout ce qu'on vient de dire plus haut, on dira que le verre silicate de soude est conforme aux normes.

Mais, si on ne prend pas en considération ces précisions, on dira que le verre silicate de soude a seulement son  $\text{Na}_2\text{O}$  qui est dans les normes.

Les normes de référencés du verre silicate de soude sont ISO 9001 - 2000.

## II.7 Verre trempé

Les essais de contrôle et les normes du verre trempé ( Tab.4) sont :

ESSAIS	RESULTATS	NORMES
Transmission de la Lumière	T = 82 %	$\geq 70$ %
Fragmentation	Nombre des fragments = 70	Nombre de fragments N: $40 < N < 400$
Essai à la bille 227 g	Poids des fragments = 3.5 g	La bille ne doit pas traverser l'échantillon

**Tableau 4:** Résultats et norme du verre trempé.

L'analyse des résultats des essais réalisé montrent qu'ils sont conformes aux normes et que le verre trempé est de bonne qualité.

Les normes du verre trempé sont aussi tirées de la R43 des Nation-Unis et de la procédure de contrôle 82-05 établit par l'AFRICAVER.

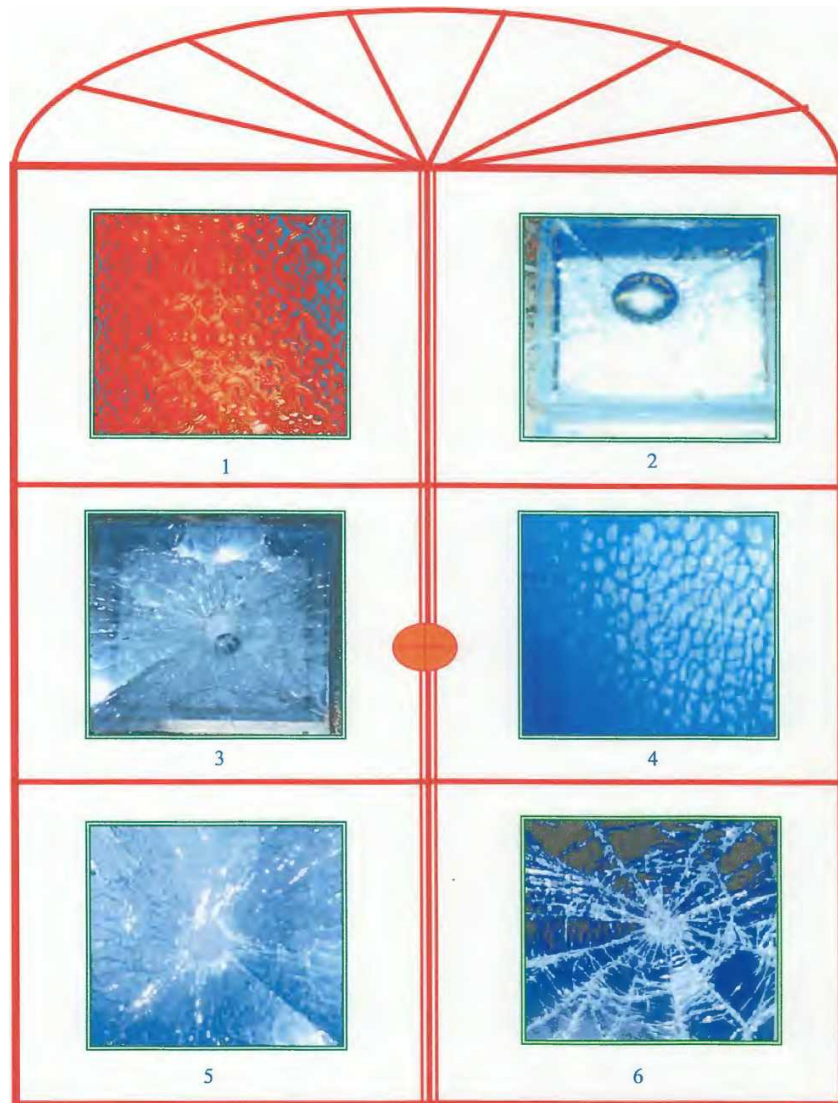


Photo n°1 Verre imprimé mauresque avec un aspect conforme aux normes.

Photo n°2 : Essai de la bille 2260g, conforme. la bille ne traverse pas l'échantillon.

Photo n°3 :Essai de la bille 227g, non conforme. La bille traverse l'échantillon.

Photo n°4 :Essai de résistance à haute température non conforme, à cause de la formation des bulles au centre de l'échantillon.

Photo n°5 :Essai de la bille 227g, non conforme .la bille traverse l'échantillon.

Photo n°6 :Essai de la bille 2266g, conforme. la bille ne traverse pas l'échantillon.

## *Références bibliographiques*

1. KOVTUN, Maxim, KEARSLEY, Elsabe P., et SHEKHOVTSOVA, Julia. Chemical acceleration of a neutral granulated blast-furnace slag activated by sodium carbonate. *Cement and concrete Research*, 2015, vol. 72, p. 1-9.
2. SHCHERBAKOVA, N. N. et KUPRIYANOVA, I. A. Prompt calculation and correction of the glass batch formula. *Glass and ceramics*, 2002, vol. 59, no 7-8, p. 221-223.
3. GRATUZE, Bernard. La composition chimique du verre à vitre carolingien de Blois (IXe-Xe) siècles. De transparentes spéculations, vitres de l'Antiquité et du Haut-Moyen-Age (Occident-Orient), Actes des 20e rencontres internationales de l'AFAV, Notions croisées d'héritage romain et d'approche contemporaines, *Id'Antiques*, 2005, vol. 4.
4. LIU, Songxia et OTT, William K. Sodium silicate applications in oil, gas & geothermal well operations. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2020, vol. 195, p. 107693.



# *Conclusion générale*

Le travail présenté dans ce mémoire rentre dans le cadre du contrôle de qualité du verre produit par AFRICAVER. Les résultats des essais de contrôle effectués, montrent que le verre produit est conforme aux normes internationales.

Le fait que l'AFRICAVER est actuellement en voie de certification prouve qu'elle est vraiment concernée par produire des produits verriers qui répondent aux normes exigées.

Le contrôle de qualité du verre est essentiel pour garantir que le produit final est conforme aux normes et aux spécifications requises. Il commence dès le début du processus de fabrication, depuis la sélection des matières premières jusqu'au produit fini.

Des équipements de mesure sont utilisés pour effectuer ces tests, tels que les jauges de dureté, les jauges de réfraction, les spectrophotomètres et les machines de test de résistance à la flexion. Les données collectées sont ensuite analysées pour s'assurer que le verre répond aux normes et spécifications de qualité.

Les contrôles de qualité sont également effectués tout au long du processus de production pour s'assurer que le produit final est conforme aux normes et spécifications. Les défauts sont détectés et corrigés avant que le produit ne quitte l'usine.

Lors de notre stage dans la société AFRICAVER, nous avons appris, comment élaborer : le verre imprimé, le verre silicate de soude et le verre trempé. En outre, nous avons pratiqué des essais de contrôle sur ces trois types de verre. Et puis, nous avons comparé les résultats obtenus avec les normes exigées et on a conclu que :

Les différents essais réalisés sur les produits verriers de l'AFRICA VER, sont conformes aux normes internationales qui sont la R43 des Nations-Unies, L'ISO 9001-2000 Exigences et valorisation.

En résumé, le contrôle de qualité du verre est un processus crucial pour garantir la conformité aux normes et aux spécifications de qualité, en utilisant des équipements de mesure et en effectuant des tests à différents stades de la production.

# *ANNEXE*

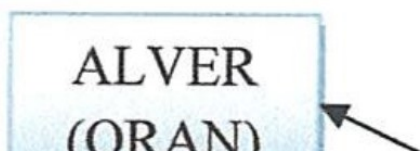
La société africaine du verre " AFRICAVER" (ex : complexe verre de Jijel E.N.A.V.A) est née dans le cadre d'une politique de développement régionale en 1982 (Décret N° 82-418 du 04/12/1982). La société africaine du verre AFRICAVER est située dans la zone industrielle de Taher, à environ 17 kilomètre du chef lieu de la wilaya de Jijel.

La superficie totale de la société est de 17 hectares.

L'effectif actuel de la société est d'environ 200 ouvriers.

## Chapitre I

---



La société africaine du verre "AFICAVER" est composée de trois unités de production du verre :

### 1-Unité verre sécurit :

Atelier pare-brise :

Capacité de production : 44 000 par-bise en verre feuilleté à partir du verre float d'importation .Atelier verre sécurit pour véhicules industriels et bâtiments :

Capacité de production :

1. Pare-brise feuilleté : 30 000 P/AN
2. Vîtes latérales : 216 000 P/AN

Cet atelier produit sur commande le verre architectural (feuilleté et trempé) ainsi que le verre antichoc.

### **2-Unité verre coulé :**

- a. Ligne verre laminé (verre imprimé et verre armé) :

Capacité de production : 15 000 tonnes par année, le verre laminé est produit dans plusieurs décors (mauresque, cathédrale, ....) et couleurs (claire, miel,...).

- b. Ligne brique de verre :

Capacité de production : 2 000 000 U/an la brique de verre peut être produite selon la commande en divers motif et couleurs en deux dimensions carrées et rectangulaires.

Depuis janvier 1997 cette ligne a été convertie en production du silicate de sodium.

### **3-Unité matières premières :**

- a. Sable :

La carrière de sable est située à El-aouana wilaya de Jijel. Capacité de production : 80 tonnes par heure. Gamme de produit : gré quartzeux de 0-60 mm.

- b. Traitement du sable et homogénéisation :

Composé de deux stations de traitement du sable et deux bâtiments pour l'homogénéisation :

Station N°1 (ancienne) :

Capacité de production : 20 700 tonnes par année.

Station N°2 (nouvelle) :

Capacité de production : 12 tonnes par heure.

- c. Traitement des autres matières premières :

Capacité de production :

Calcaire : 650 tonnes par année

Dolomie : 4 000 tonnes par année.