

## II.1. HISTOIRE DU VERRE

Le verre existe naturellement depuis des millénaires. L'homme l'utilisa pour la première fois il y a **100.000ans** sous forme d'obsidienne (verre naturel d'origine volcanique) pour fabriquer des outils, des armes coupantes et des bijoux.

Les premiers verres fabriqués par l'homme sont originaires de Mésopotamie, de Syrie ou d'Égypte. A cette époque, ils n'étaient pas transparents ou translucides mais opaques, de couleur verte ou bleue. Avec l'évolution des moyens d'élaboration et de caractérisation, les fours ont permis d'atteindre de plus hautes températures, la matière vitrifiable est mieux travaillée. On a obtenu le verre translucide qui a permis le développement d'un marché d'imitation de pierres précieuses. Les premières pièces en verre creux (vases, pots, flacons) apparaissent au même moment, elles sont coulées. L'émail apparaît vers **1500 ans** avant **J.C.** 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. Cette invention a été découverte en Syrie grâce à la canne à souffler. De là, cette méthode passa en Italie, puis en Espagne. Au même moment, on inventa le verre transparent à Sidon (Phénicie), probablement à cause de la pureté des sables de la région et de la présence du natrium (sodium).

Cette découverte entraîne la naissance d'une grande industrie du verre creux. Grâce au soufflage à la canne, l'artisan peut donner forme à des pièces de plusieurs dizaines de centimètres. Le verre incolore apparut alors et se répandit à partir du **III<sup>ème</sup>** siècle. Il est obtenu par adjonction de manganèse qui joue le rôle de purificateur. La teinte naturelle bleu verdâtre du verre, est due à la présence d'oxydes métalliques contenus dans le sable qui sert à sa fabrication. Le verre coulé plat (**5 à 6 mm**) apparut plus tard. Ce verre de bonne transparence fut utilisé pour vitrer les fenêtres. Auparavant, on utilisait de minces plaques de mica ou d'albâtre.

Les différents procédés de mise en forme permettent de classer les produits verriers en **3** grandes catégories :

- Le verre plat (verre à vitre, miroirs,...).
- Le verre creux (bouteilles, bocaux, flacons, objets de décoration...).
- Les fibres de verre textiles et non textiles et les autres verres (verre cellulaire, verre optique, tubes de téléviseurs, tubes et ampoules,...).

## II.2. DEFINITION DU VERRE

Dans le langage scientifique, on désigne par le mot « verre » un solide non cristallin obtenu par figeage d'un liquide surfondu. Dans le langage courant, le terme « verre » sert à désigner un matériau fragile et transparent.

- ❖ Le verre est une substance amorphe composé principalement de silice fondue à haute température, à laquelle on ajoute d'autres oxydes. On le refroidit jusqu'à devenir rigide sans qu'il y ait cristallisation. Le verre peut également être translucide ou opaque suivant sa composition.
- ❖ Les emplois du verre sont très variés, de l'utilisation quotidienne à la haute technologie on cite comme exemple les verres plats (vitrage), les verres coulés (architecture), les verres creux (bouteilles), les verres d'optique (lentilles, prismes), les verres à base de plomb (cristal et antiradiations), les verres photochimiques (antisolaire, flashes d'appareils photo), les vitrocéramiques, les fibres optiques, les verres au fluor, etc.
- ❖ Les verres de silicate sont caractérisés par une dureté et une résistance mécanique élevées, liées à la liaison atomique forte du réseau de silice et à la faible ténacité.
- ❖ L'absence de la plasticité rend le verre susceptible de la rupture fragile. [3]

## II.3. LA COMPOSITION DU VERRE

Les principales matières premières utilisées se classent en trois catégories :

Les vitrifiant, les fondants et les stabilisants. à ces matières s'ajoutent les affinant, les colorants et les opalisant.

La principale fonction de ces diverses catégories s'explique par leur désignation :

- les vitrifiant sont les éléments de base qui créent la structure vitreuse.
- les fondants permettent de fondre les vitrifiant à des températures acceptables.
- les stabilisants permettent d'empêcher la détérioration dans le temps des verres fondus.
- les affinant facilitent l'élimination des gaz provenant des réactions chimiques.
- les colorants apportent les éléments nécessaires à la coloration du verre.
- les opalisant sont utilisés lorsque les verres ne doivent pas être transparents.

A ces matières premières sont ajoutés des déchets de verre récupérés appelés « groisil » ou « calcin ». Ils facilitent la fusion des matières premières et contribuent à des économies d'énergie et à l'élimination des déchets.

En effet, il faut savoir que les ordures ménagères contiennent **8 %** en poids de verre qui peut être récupéré et recyclé, contribuant ainsi à la lutte contre le gaspillage des ressources naturelles tout en créant des emplois. Dans ce cadre, il convient également de signaler que le secteur verrier recycle

± 95 % de des déchets industriels et que la Belgique se place en tête des pays européens en ce qui concerne le recyclage du verre.

La silice et dans une moindre mesure, l'anhydrite borique sont les principaux vitrifiants utilisés.

La silice est introduite sous forme de sable. Des caractéristiques strictes de pureté et de granulométrie doivent être respectées.

Le sable de Campine les possédant, il est largement utilisé en Belgique et apprécié à l'étranger.

[4]

## II.4. LES DIFFÉRENTS TYPES DE VERRE

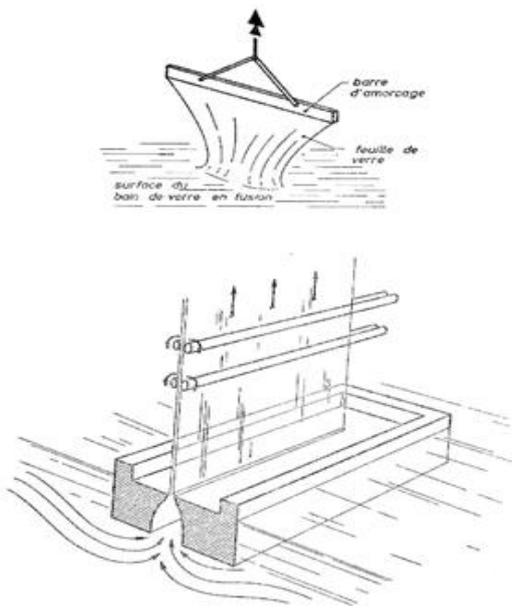
### II.4.1. les produits de base

- le verre floaté
- le verre imprimé ou coulé
- le verre armé
- le verre profilé
- le verre étiré
- le verre moulé
- le verre soufflé

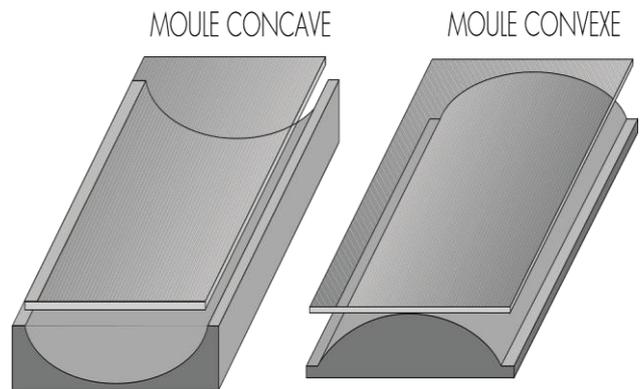
### II.4.2. Les produits transformés

- le verre trempé thermiquement
- le verre durci
- le verre trempé thermiquement le verre feuilleté
- le verre couché
- le verre bombé
- le miroir
- le verre de décoration

Verre étiré



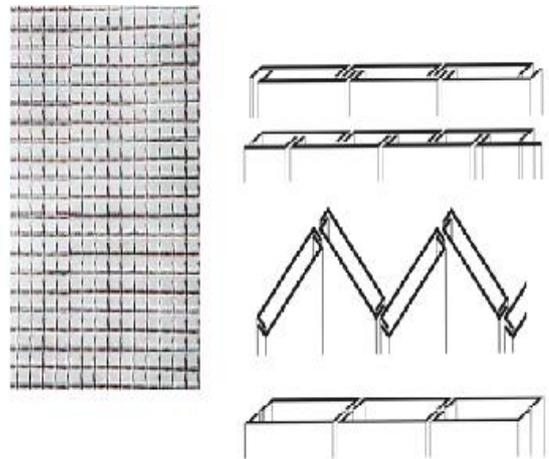
Verre moulé



Verre imprimé



Verre armé et profilé



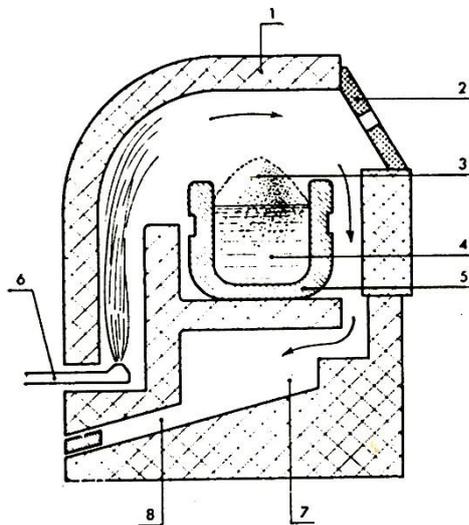
*Fig.II.1. des modèles du verre*

[5]

## II.5. LES FOURS DE FUSION

### II.5.1. Procédés discontinus

#### a. Fours à pots (Fig.II.2)



*Fig.II.2. Cellule de fusion à un seul pot*

- 1) Voûte en briques de silice.
- 2) Ouvreau de chargement du mélange vitrifiable.
- 3) Mélange vitrifiable en cours de fusion.
- 4) Verre fondu.
- 5) Pot en argile réfractaire.
- 6) Brûleur à gaz ou à mazout (l'air de combustion est généralement réchauffé par les gaz brûlés).
- 7) Les gaz brûlés sont acheminés vers un récupérateur de chaleur avant d'être évacués par une cheminée.
- 8) Conduit d'évacuation du verre en cas de rupture du pot.

L'élaboration de verres produits en faibles quantités a lieu souvent dans des creusets individuels ou « pots » placés dans des fours chauffés au gaz ou au mazout. C'est le cas des verres d'optique spéciaux ou verres destinés au travail manuel.

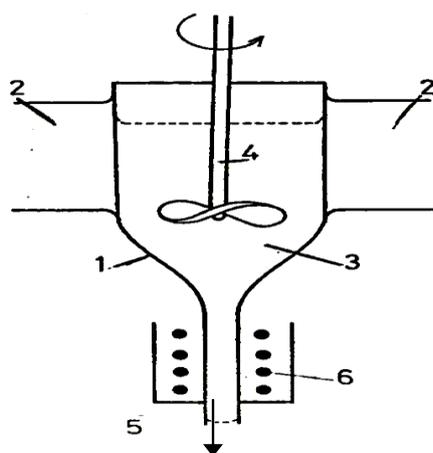
Un système de récupération de la chaleur permet de réchauffer l'air de combustion. Pour diminuer le prix de revient, on utilise des fours contenant une dizaine de pots (de **1000** litres environ) soumis tous au même cycle d'élaboration.

Les pots sont en argile, ils sont réchauffés lentement vers **900°C**, pré-cuits dans un four spécial (arche à pots), puis placés sans refroidissement dans le four où a lieu la cuisson finale vers **1450°C**

La composition est introduite dans le pot en plusieurs fois, avec **20 à 25%** de débris d'ancien verre de même composition appelée « calcin » qui favorise le processus de fusion.

A titre d'exemple pour un pot de **1000 litres**, la durée de l'élaboration est de **14 à 20 heures** fusions **6-8h**, affinage **4-6h**, braise **4-6h**. Après l'élaboration, le pot est, soit puisé sur place en travail manuel, soit vidé par coulée dans un moule. La durée de vie d'un pot peut être d'une vingtaine de coulées, soit **10-12 semaines**. Pour éviter les fissurations, la température d'un pot doit être toujours supérieure à **850°C**.

### b. Fours à creuset de platine (Fig.II.3)



*Fig.II.3. Four à creuset en platine pour la fusion de verres d'optique*

- 1) Creuset.
- 2) Amenées de courant.
- 3) Verre.
- 4) Agitateur.
- 5) Conduit de coulée.
- 6) Réchauffeur.

Pour les verres d'optique spéciaux à forte tendance à la cristallisation et les fontes agressives, on utilise un creuset en platine chauffé par effet Joule ou par induction. Le conduit de coulée est normalement bouché par le verre figé à l'intérieur, au moment de la coulée il est réchauffé pour laisser couler le verre dans le moule.

### II.5.2. Les fours continus (four à bassin)

La production massive du verre industriel a lieu exclusivement dans les fours continus, dits à bassin.

## a. Four pour verre plat ou verre à vitres (Fig.II.4)

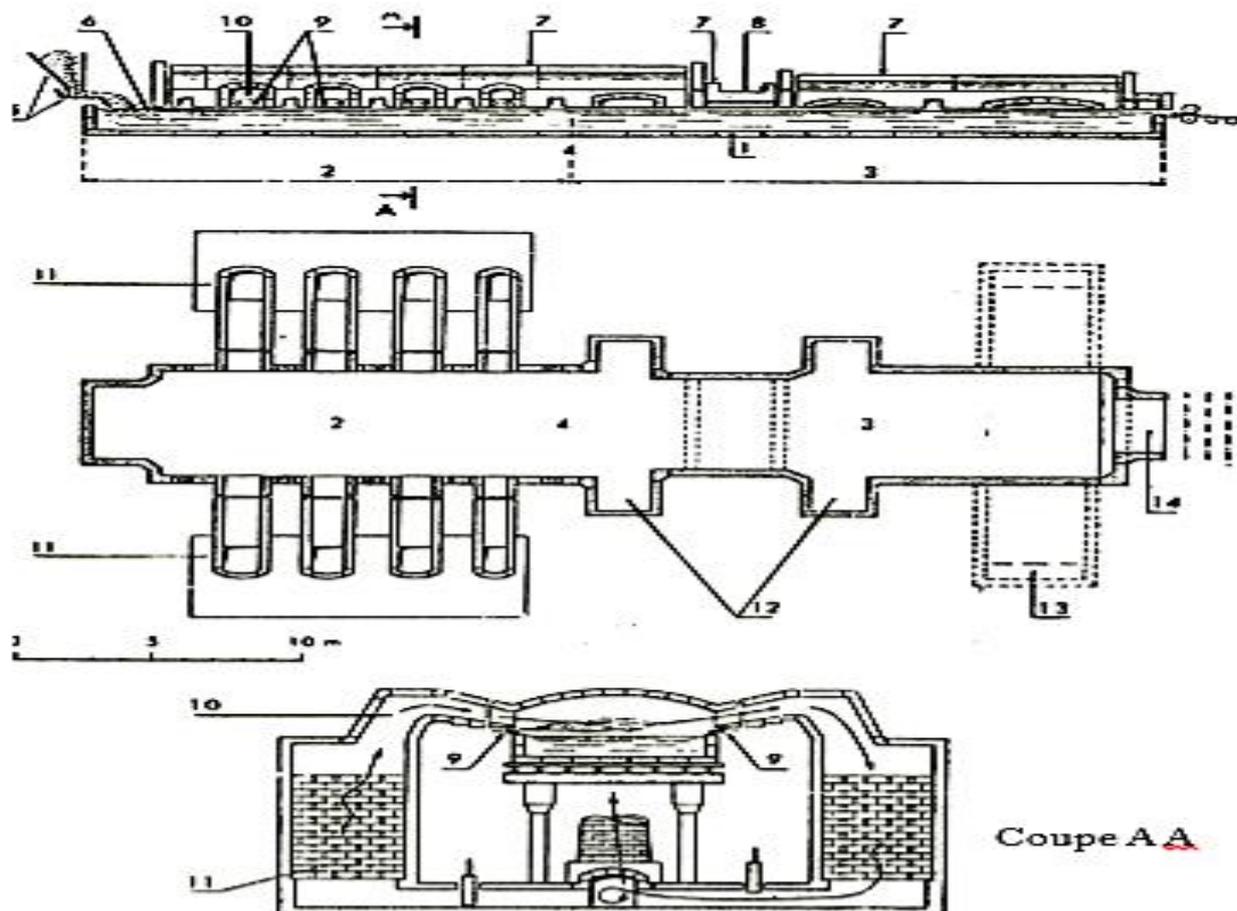


Fig.II.4. Four à bassin pour verre plat ou verre à vitres

\* L'organe essentiel est la cuve (1) constituée de blocs réfractaires, résistant à la corrosion du verre et posés sans liant, par assises. L'étanchéité est assurée par le verre lui-même qui se fige dans les joints successifs. La profondeur de la cuve est variable : **1-1.5m** pour les verres blancs, **0.60-0.80m** pour les verres teintés (transmettent moins bien la chaleur).

\* Le chauffage s'effectue au gaz de gazogène, au gaz naturel et surtout au mazout lourd avec récupération de chaleur dans les récupérateurs (11) : chambres à empilages de briques qui sont réchauffées par les gaz brûlés.

\* Les fours comportent deux séries de brûleurs (9) et de récupérateurs (11), disposés symétriquement par rapport à l'axe longitudinal, et qui fonctionnent alternativement : tous les quarts d'heure environ on procède à l'inversion, les gaz brûlés sont dirigés vers la série de récupérateurs moins chauds, tandis que l'air de combustion passe par les empilages qui viennent d'être réchauffés au cours du cycle précédent. Les flammes viennent lécher directement la surface du bassin. Les

brûleurs sont réglables individuellement, ce qui permet de contrôler d'amont en aval le régime thermique du four.

\* Les matières premières qui constituent la « composition » sont enfournées mécaniquement en continu en amont (**5**), le verre produit est fourni aux machines de mise en forme en aval par des puits d'étirage (**13**) ou par un déversoir de coulée (**14**). Le cycle d'élaboration se fait en continu successivement dans les différentes parties de la cuve.

\* L'atmosphère du four dans la zone de fusion (**2**) et la zone d'affinage (**4**) (température maximale) est partiellement isolée de celle de la zone de refroidissement (**3**) par une voûte surbaissée de façon à permettre la «braise» du verre dans la portion aval.

\* L'écoulement longitudinal, lent et continu du verre provoqué par la « tirée » des machines, est accompagné d'un système complexe de courants de convection thermique, qui assurent le brassage nécessaire à la fusion et à l'affinage et exercent un effet d'homogénéisation chimique et thermique du verre.

\* La fusion en bassin permet d'abaisser considérablement le prix de revient en diminuant les dépenses en combustible. Des unités de capacité très grandes sont utilisées : les bassins de gros fours de verre plat contiennent environ **1000T** de verre pour une surface de bassin de **300m<sup>2</sup>**. La production de ces unités se situe autour de **2T/m<sup>2</sup>jour** pour une durée de vie de **6 à 8 ans**. La dépense en mazout est de l'ordre de **0.2 kg** par **kg** de verre produit.

### **b. Four pour verre creux (Fig.II.5)**

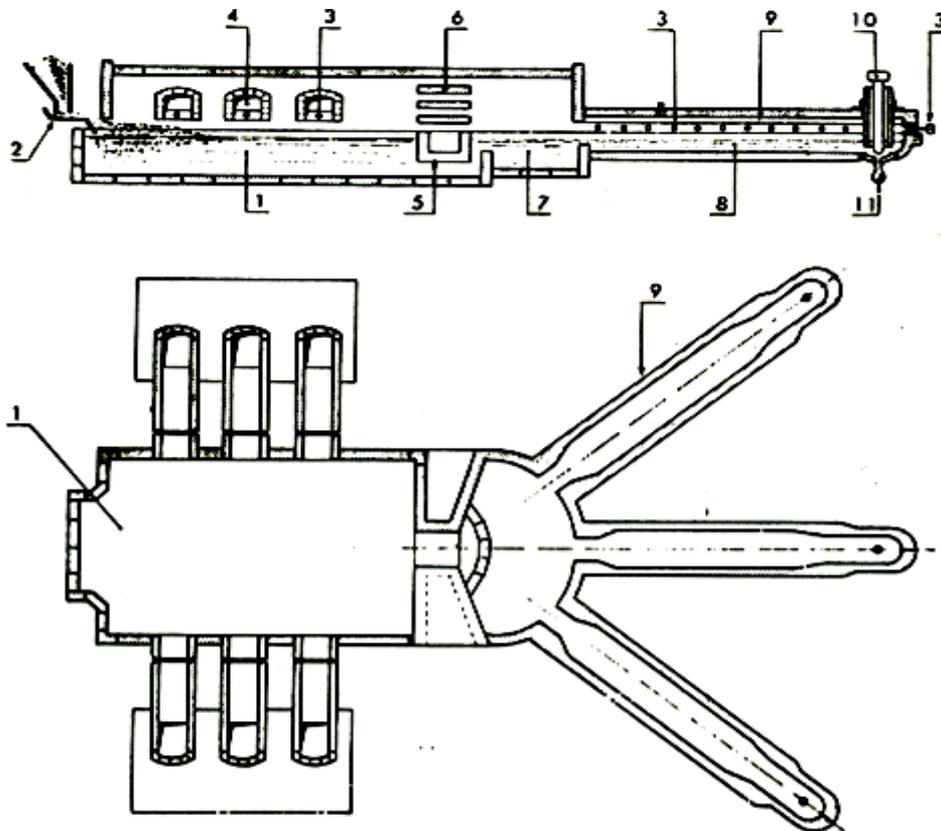
Les fours pour verre plats ou verre à vitre produisent du verre de très bonne qualité, mais au prix d'un certain gaspillage d'énergie : une partie importante du verre plus froid est recyclée plusieurs fois par les courants de convection vers les zones plus chaudes du four.

Pour les fabrications qui peuvent se contenter d'une qualité inférieure : cas des «verres creux » (bouteillerie), on sépare le compartiment de braise du reste de la cuve par une « gorge » formant un siphon, le verre refroidi dans ce compartiment de travail est amené vers les machines de formage par une série en éventail de canaux de distribution : les «feeders», ce qui permet de conditionner la viscosité du verre et de multiplier les postes de travail.

Certains fours à bassin peuvent comporter un chauffage électrique d'appoint par effet Joule : les électrodes d'amenée de courant sont en molybdène ou en graphite. La fusion totalement électrique est pratiquée dans certains pays (Suisse, Suède) ; il faut environ **1KWh** par kg de verre. La crise du

pétrole a stimulé les recherches sur ce mode de fusion en vue d'un passage vers l'électricité d'origine nucléaire.

*Fig.II.5. Four à verre creux*



- 1) compartiment de fusion et d'affinage.
- 2) enfourneuse automatique.
- 3) brûleurs.
- 4) conduit de récupérateur.
- 5) gorge.
- 6) empilage de briques de silice non jointives séparant partiellement les deux compartiments.
- 7) compartiment de braise.
- 8) canal de distribution.
- 9) avant-corps.
- 10) distributeur automatique de verre.
- 11) paraison en formation.

[6]