

II.6.PROCESSUS DE FABRICATION DU VERRE FLOTTÉ

II.6.1. Fabrication de verre flotté

Le verre flotté est fabriqué dans un long flux continu qui produit un ruban de verre illimité et ininterrompu, qui peut atteindre chaque jour **30** kilomètres de long, en fonction de l'épaisseur du verre et de la capacité de l'installation. Seule une précision irréprochable sur toute la chaîne de production de plusieurs centaines de mètres permet de garantir la qualité supérieure des vitrages **EUROFLOAT**.

La principale matière première utilisée pour la fabrication du verre flotté est le sable siliceux, qui est présent en quantité excédentaire dans la nature. Les générations futures disposeront elles aussi de quantités suffisantes. Il faut également de la soude, de la dolomie (chaux) et d'autres matériaux bruts en petite quantité. Pour améliorer le processus de fusion, près de **20 %** de chutes de verre propres sont ajoutés. Ces matériaux bruts arrivent sous forme de mélange dans le four de fusion et y sont fondus à une température d'environ **1550 C**. Le verre liquide ainsi produit est ensuite déversé sur un bain d'étain liquide. La masse de verre « **flotte** » alors sur l'étain liquide sous la forme d'un ruban de verre sans fin. La tension de surface du verre et la surface plane du bain d'étain donnent naissance à un ruban de verre plat qui ne présente pas la moindre déformation et affiche une excellente qualité optique. Le ruban de verre passe ensuite dans un tunnel de refroidissement et enfin à travers un couloir ouvert : petit à petit, il y est refroidi de **600 à 60° C**.

Il y est contrôlé à l'aide d'un laser pour déceler les imperfections, puis il est découpé en plaques de verre de **6000 x 3210mm**. (**Fig.II.6**) (**Fig.II.7**)

II.6.2. les matières premières

Les différentes matières premières utilisées dans la fabrication du verre floaté sont : (**Tab.II.1**) et (**Tab.II.2**)

Tab.II.1 : des matières premières principales pour la production de verre flotté

Matière première	En pourcentage du poids
Sable siliceux	~ 60 %
Soude	~ 19 %
Dolomie/chaux	~ 15 %
Autres matières première	~ 6 %
Plus ajout de calcin propre	~ 20 %

[8]

Tab.II.2 : Toutes ces matières premières doivent être employées sous forme pulvérulente et posséder avant leur enfournement un degré de siccité élevé :

Matière	Fonction globale	Rôle
LA SILICE	VITRIFIER	Apporté par le sable siliceux
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 CALCIN	AMORCER LA FUSION	Verre concassé qui provient des verriers ou de la récupération ménagère.
LA MAGNESIE	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 RESISTANCE THERMIQUE, MECANIQUE ET LA VISCOSITE	Apporté par le Feldspath
LE MINIMUM	REFRINGER	Réfraction à la lumière
LA BARYTE		
LE BORAX	BAISSER LE COEFFICIENT DE DILATATION	Verre spéciaux
LE BIOXYDE DE MANGANESE	COLORER	Pour colorer le verre vert
SELENIUM		à faible dose
LES OXYDES METALLIQUES		Fer, cuivre, chrome, cobalt (décolore le verre blanc)

[9]

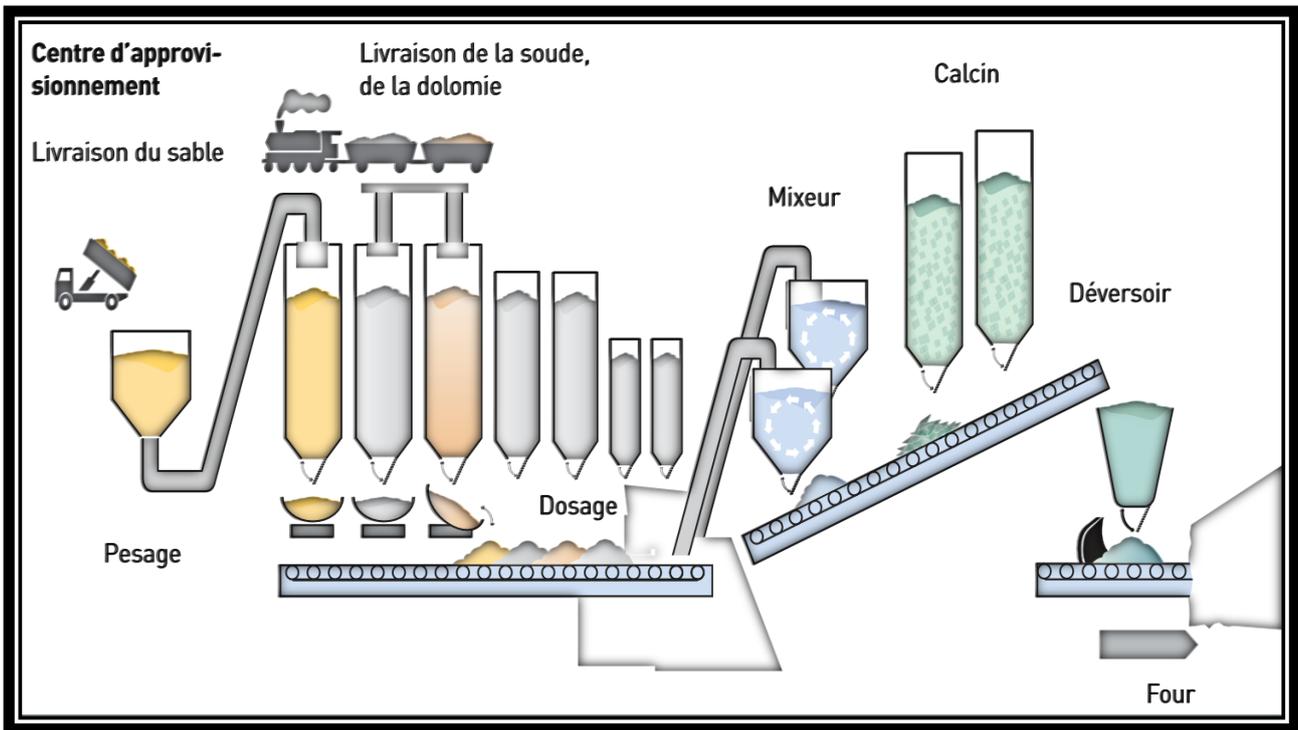


Fig.II.6. Schéma de centre d'approvisionnement

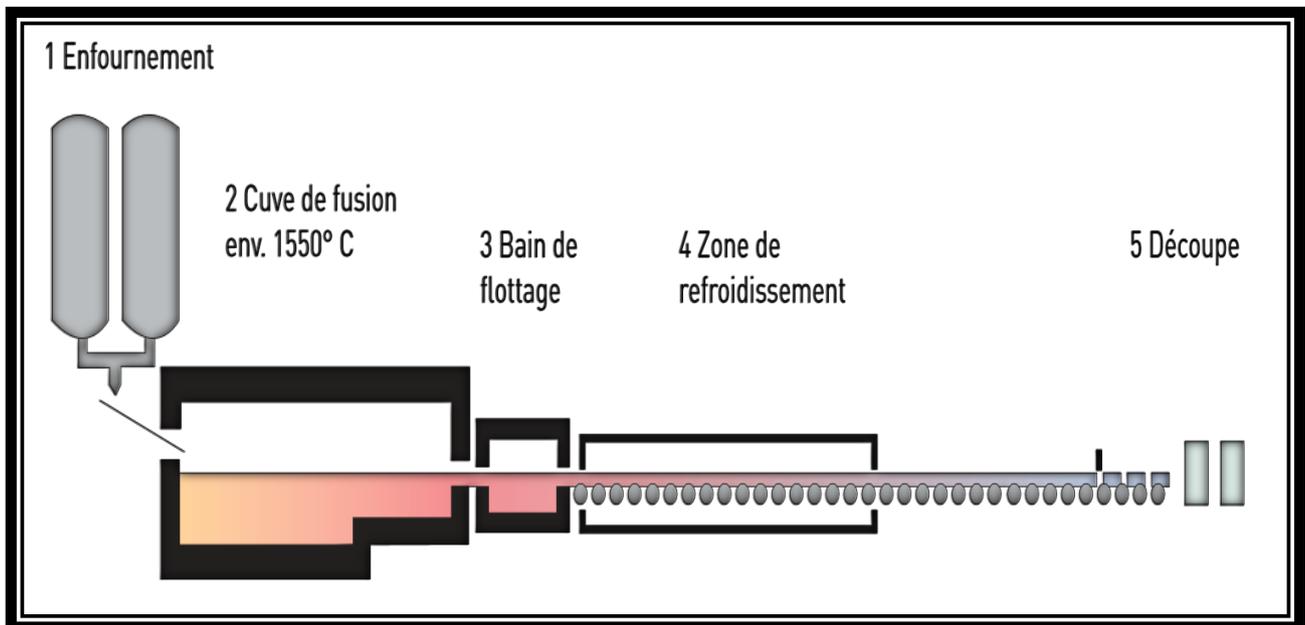


Fig.II.7. Schéma de processus de fabrication du verre flotté

[8]

II.6.3. Composition

On utilise dans le bâtiment les verres silico-calciques. Ils sont composés :

- D'un corps vitrifiant, la silice, introduit sous forme de sable pour **70 à 72%**.
- D'un fondant, la soude, sous forme de carbonate et sulfate pour environ **14%**.
- D'un stabilisant, la chaux, sous forme de calcaire pour environ **10%**.
- Divers autres oxydes tels qu'alumine, magnésie, destinés à améliorer les caractéristiques physiques du verre, notamment la résistance à l'action des agents atmosphériques.

II.6.4. Fabrication

Pour obtenir ce produit, la fabrication subit plusieurs étapes : **(Fig.II.8)**

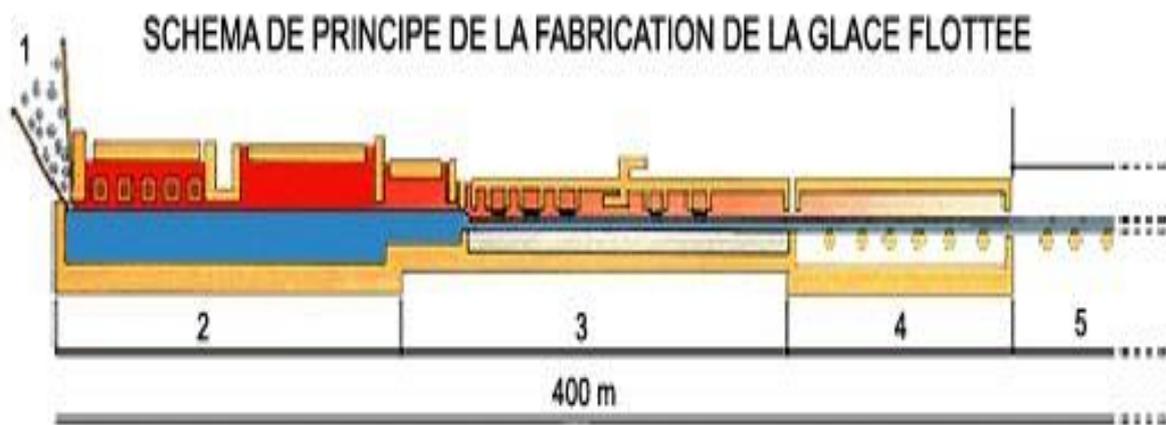


Fig.II.8. schéma de principe de fabrication du verre flotté

1. Composition verrière :

Au mélange vitrifiable est ajouté du verre cassé (calcin) afin de diminuer la température de fusion. Le transport, la pesée, le mélange et l'enfournement sont faits automatiquement.

Le mélange est humidifié afin d'éviter la ségrégation des grains des différentes matières et de dégagement de poussière. **(Fig.II.9)**

2. Four de fusion :

Trois phases essentielles participent à l'élaboration du verre :

- La fusion des matières premières à des températures avoisinant **1550°C**.
- L'affinage au cours duquel le verre fondu est homogénéisé et débarrassé des bulles gazeuses.
- Le conditionnement thermique où le verre peu visqueux est refroidi jusqu'à ce que la viscosité corresponde aux exigences du procédé de mise en forme. **[10] (Fig.II.9)**



[8]

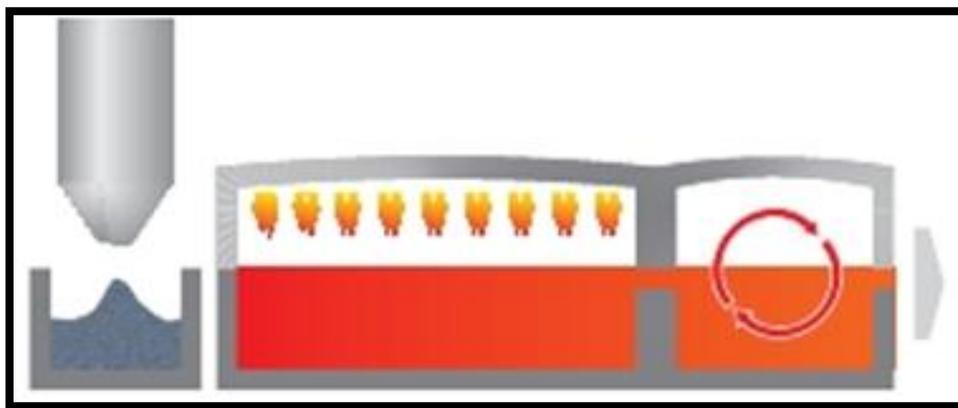


Fig.II.9. Composition verrière et four de fusion [11]

3. Bain d'étain :

Le verre liquide est déversé sur de l'étain fondu à **1000°C** environ. Le verre, moins dense que l'étain, « flotte » sur celui-ci et forme un ruban ayant une épaisseur naturelle de **6 à 7mm**.

Les faces du verre sont polies par la surface de l'étain d'une part et par le feu d'autre part. Des dispositifs permettent d'accélérer ou de diminuer l'étalement de verre afin de maîtriser l'épaisseur.

(Fig.II.10) [10]

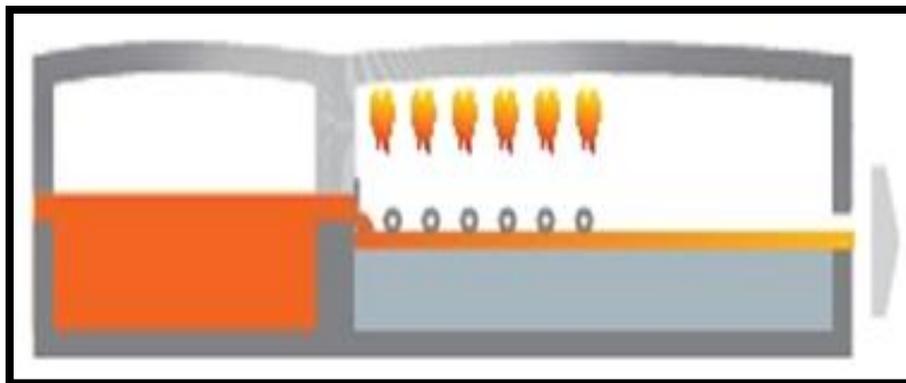


Fig.II.10. Bain d'étain [11]

4. Four de recuisons :

A la sortie du bain d'étain, le ruban de verre devenu rigide passe par « l'étenderie » qui est un tunnel de refroidissement.

La température du verre s'abaisse régulièrement de **620** à **250°C**. Le refroidissement lent se poursuit ensuite à l'air libre.

Il permet de libérer le verre de toutes les contraintes internes qui provoqueraient sa casse lors de la découpe. (**Fig.II.11**) [10]

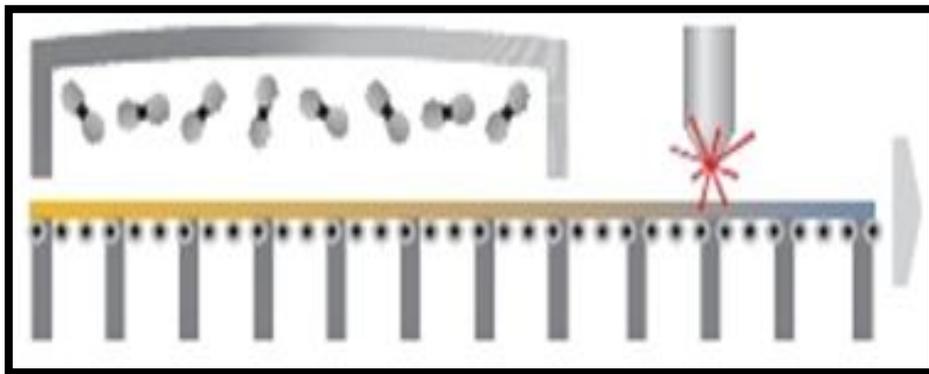


Fig.II.11. Four de recuisons [11]

5. Découpe :

Le ruban de verre froid, jusqu'ici continu est découpé automatiquement en plaques de **6000x3210mm**. (**Fig.II.12**) [10]

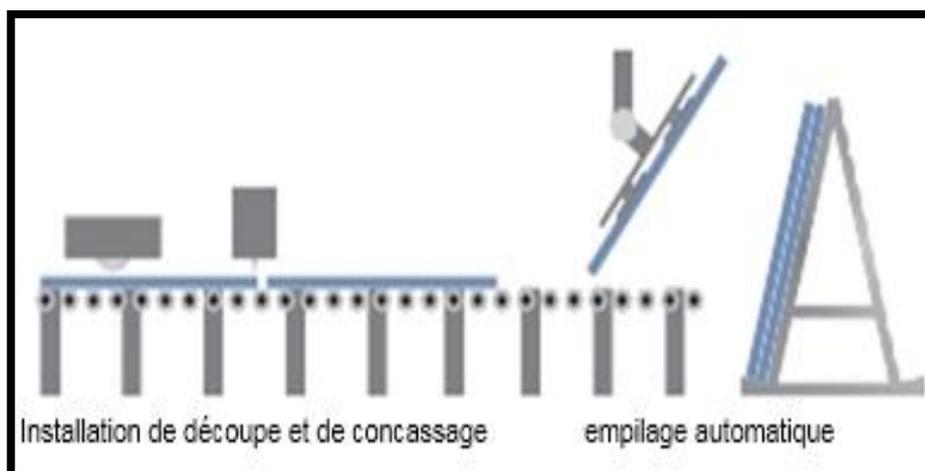


Fig.II.12. La découpe et empilage automatique [11]



Fig.II.13. Stock du verre flotté [8]

II.6.5. Des types de verre flotté

Le verre flotté subit ensuite divers traitements pour devenir :

- Du verre isolant
- Du verre feuilleté de sécurité (**VSG**)
- Du verre de sécurité trempé (**ESG**)
- Du verre à isolation thermique
- Du verre de protection solaire
- Du verre imprimé
- Du verre de protection incendie
- Des miroirs
- Etc...

Il est également utilisé comme base pour la réalisation :

- De façade de fenêtres de devantures de magasin et de toitures
- De vitrines d'exposition et autres meubles en verre
- D'aménagements intérieurs dans le cadre de magasins ou d'appartements .

II.6.6 Résistance

Le verre est l'un des matériaux de construction les plus résistants que l'on peut imaginer.

Le verre :

- ❖ ne rouille pas
- ❖ ne se putréfie pas
- ❖ n'est pas attaqué par les champignons

- ❖ n'est pas altéré par les intempéries
- ❖ ne se décolore pas
- ❖ n'absorbe pas d'humidité
- ❖ ne dégage pas d'humidité
- ❖ ne gonfle pas
- ❖ ne rétrécit pas
- ❖ ne se tord pas
- ❖ résiste au froid et à la chaleur
- ❖ ne devient ni cassant ni mou
- ❖ résiste à la lumière

[8]

II.7. VERRE PLAT

II.7.1. Fabrication du verre plat

Le verre s'écoulant du four sur un déversoir passe entre des rouleaux métalliques refroidis qui le figent en un ruban continu (3 à 15mm d'épaisseur, jusqu'à 3,60 m de largeur), débité avec une vitesse de 0,5 à 5m/minute, et qui est dirigé vers un tunnel de recuisons pour relâcher les tensions internes. La feuille brute n'est ni parfaitement plane, ni transparente. Après refroidissement elle doit subir des opérations de doucissage et de polissage, ce qui permet d'obtenir une feuille transparente dont les deux faces sont rigoureusement planes et parallèles, appelée glace. (Fig.II.14)

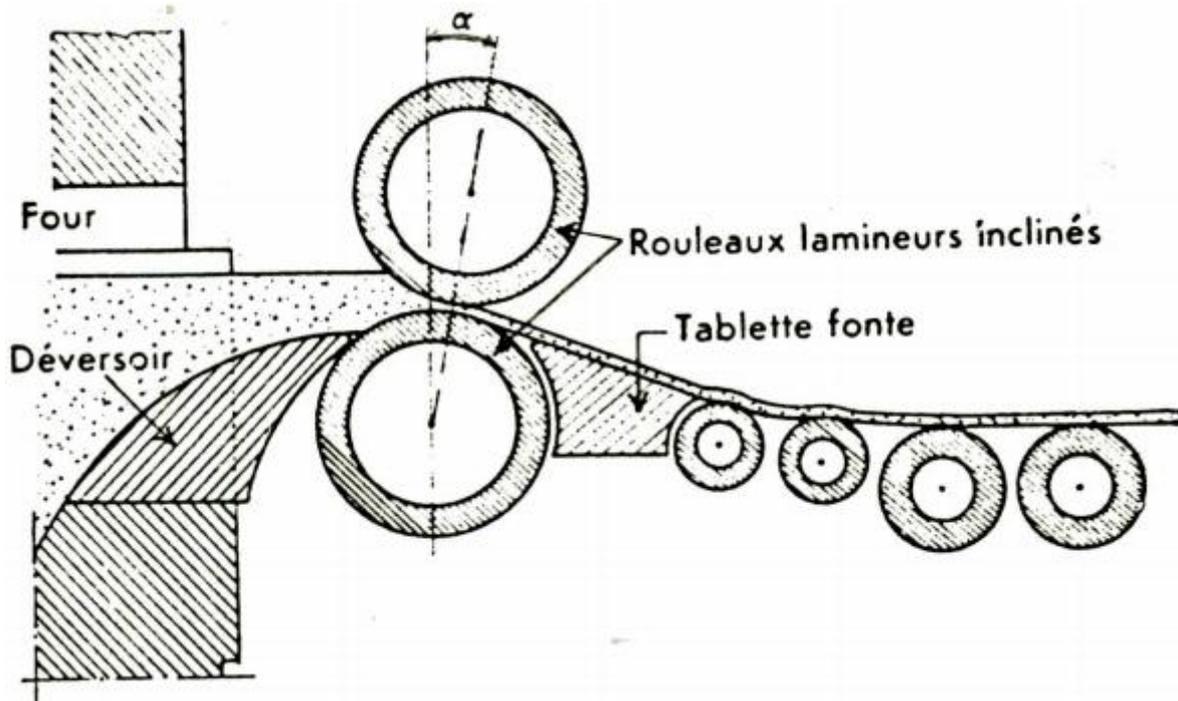


Fig.II.14. Coulée continue. Glace

Le doucissage consiste à aplanir la surface du verre brut en l'usant par frottement d'un plateau en fonte avec interposition de sable et d'eau. En fin d'opération, les grains d'abrasifs sont de plus en plus fins, ce qui produit une surface très finement satinée («savonnage»). Le polissage consiste à parachever le travail à l'aide d'un frottoir en feutre alimenté par une suspension d'oxyde de fer (« potée » ou « rouge d'Angleterre »). Le travail a été entièrement mécanisé sous forme de « douci-poli en continu » simultané sur les deux faces.

Actuellement, la glace fabriquée de cette manière est concurrencée par le verre flotté. La qualité de ce verre approche celle de la glace pour un prix de revient moindre grâce à la suppression des opérations mécaniques de doucissage et polissage. (Fig.II.15) [6]

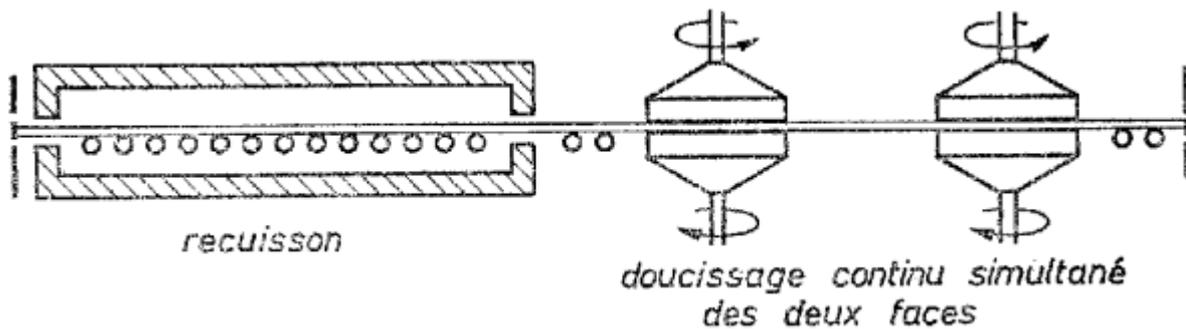


Fig.II.15. Doucissage continu simultané des deux faces [12]

II.8. TRANSFORMATION DE VERRE PLAT

II.8.1. Verre sécurité

II.8.1.1. Définition

Élément majeur de la construction actuelle, le verre s'impose dans tous les types de bâtiments où il assume diverses fonctions : isolations acoustique et thermique, protection solaire, décoration intérieure. Il doit également satisfaire à de nombreuses réglementations en terme de protection des biens et des personnes contre les risques de blessures, la chute d'objets en toiture et en verrière, la chute de personnes, le vandalisme et l'effraction, le tir au fusil ou à l'arme de poing.

Pour réduire la probabilité de ces sinistres, il existe deux types de verres de "sécurité" :

Les glaces trempées, traitées thermiquement pour améliorer leur résistance aux contraintes mécaniques (flexion, chocs...) et les vitrages feuilletés, composés de deux ou plusieurs vitrages assemblés par un ou plusieurs films de butyral de polyvinyle (**PVB**) qui maintiennent les glaces en cas de choc.

II.8.2. Les type de verre sécurité

II.8.2.1. Le verre trempé

Réalisée à partir d'une feuille de verre ayant subi un traitement thermique de renforcement, la glace trempée est particulièrement résistante aux contraintes mécaniques (flexion ; chocs...) et aux chocs d'origine thermique (différences de températures entre deux points).

Le processus de trempé, réalisé sur la glace en fin de production, lui confère :

- Une résistance à un écart de température pouvant atteindre **200°C**
- Une résistance à la flexion de l'ordre de **120Mpa**.

Un verre trempé de **8mm** d'épaisseur peut résister à la chute d'une d'acier de **500 g** tombant de **2** mètres. Par comparaison, le verre simple se bris dans les mêmes conditions à partir d'une chute de **0,3** mètre.

En cas de bris, le verre trempé a pour principale caractéristique et avantage de se fragmenter en petits morceaux, minimisant ainsi les risques de blessures.

Grâce à ses hautes qualités, le verre trempé est particulièrement adapté à la protection contre les risques de blessure en cas de heurt.

Il est utilisé pour la réalisation de mobilier (meubles pour enfant, consoles...), de dessus de tables, d'étagères ou de cloisons, de pare-douche, et dans de nombreuses applications industrielles (automobile, matériels ferroviaires intérieurs et extérieurs, portes de fours, d'armoires électriques, carters de machines, etc.).

Dans le domaine automobile, pour les vitres latérales et lunettes arrière des voitures, pour les engins de chantier, pour les trains, pour les véhicules agricoles, pour les cabines de téléphérique, pour les véhicules utilitaires communaux.

Lorsque le verre casse, le risque de blessure est important. Les éclats de verre sont pointus et leurs bords souvent très coupants. Dans de nombreux cas, il est important que les plaques de verre soient résistantes et que le risque de blessure soit réduit au minimum si elles devaient se casser.

(Fig.II.16) [8]



Fig.II.16. Verre trempé cassé [13]

II.8.2.1.1. Processus de fabrication du verre trempé

Après usinage des bords, la plaque de verre est déposée sur des rouleaux transporteurs horizontaux qui l'amènent dans le four où il est chauffé à plus de **600° C**. Pendant cette opération, le verre reste en perpétuel mouvement sur les rouleaux. A la sortie du four, il arrive au poste de refroidissement où un jet d'air froid le refroidit rapidement. Lors de l'opération, les zones extérieures, qui se refroidissent rapidement, retardent un peu le refroidissement du centre avec pour effet l'apparition d'une contrainte de compression au niveau des faces extérieures et d'une contrainte de traction au niveau du cœur. (**Fig.II.17**) [8]

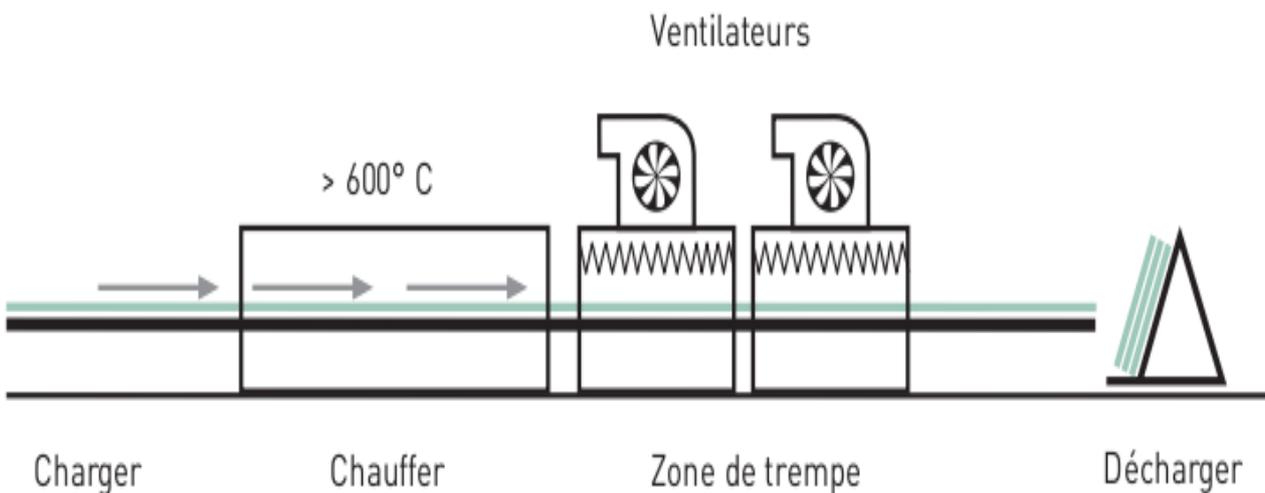


Fig.II.17. Schéma de processus de fabrication du verre trempé [8]

II.8.2.2. Le verre feuilleté

Le verre feuilleté permet d'adapter la résistance du vitrage en fonction des exigences souhaitées. En effet, en modifiant le nombre ou l'épaisseur de chacun des constituants (glace + film **PVB**), on obtient un vitrage plus ou moins résistant.

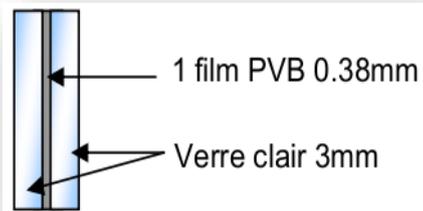
Grâce à l'adhérence parfaite du verre et du **PVB** obtenue par traitement thermique sous pression, le verre brisé est maintenu en place par le film de **PVB**.

La désignation de l'épaisseur d'un verre feuilleté s'exprime généralement sous la forme **XX.Y**, les **X** reprenant l'épaisseur de chacune des feuilles de verre composant le vitrage, et le **Y** indiquant le nombre de film **PVB** inclus. Pour exemple, un vitrage feuilleté **44.1** est composé de **2** feuilles de verre de **4 mm** chacune et d'un film de **PVB** de **0,38mm**. [14]

Exemple :

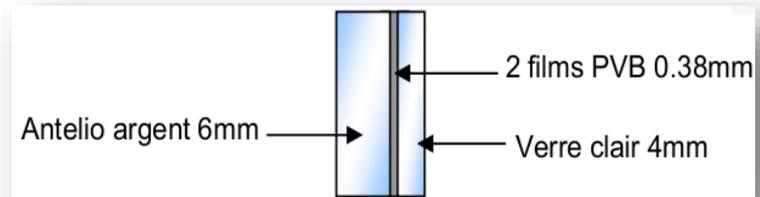
- Feuilleté **33.1** est composé de deux glaces claires de **3mm** et d'un film **PVB** de **0.38mm**.

Epaisseur du vitrage = **6 mm**



- Feuilleté **64.2** Antelio argentest composé d'une glace Antelio argent de **6mm** associé à un verre clair de **4mm** assemblé par deux films de **PVB** de **0.38mm**.

Epaisseur du vitrage = **10 mm**



[10]

D'un point de vue décoratif, les vitrages feuilletés peuvent contenir des films clairs, opaques, colorés ou à motifs ; ils peuvent également être associés en double -vitrage à des glaces spécifiques d'isolation thermique, solaire, acoustique...etc.

Parfaitement maintenu par le film qui le compose, le verre feuilleté convient en particulier pour la protection contre les chutes d'objets ou de personnes et les risques de vandalisme et d'effraction. Ainsi, il est utilisé pour les vitrines, les garde-corps les façades les pare-brise...etc. [14]

II.8.2.2.1. Processus de fabrication du verre feuilleté

Après nettoyage des faces, les plaques de verre et les films de **PVB** sont déposés les uns sur les autres, mis en température et préassemblés par presse à rouleaux ou par vide d'air. Les éléments arrivent ensuite dans un autoclave où ils sont définitivement assemblés sous l'effet de la pression et de la chaleur. Les bords sont usinés après le processus d'assemblage, sauf si l'on a utilisé de l'**ESG** ou du **TVG** pour fabriquer le **VSG**. (Fig.II.18)

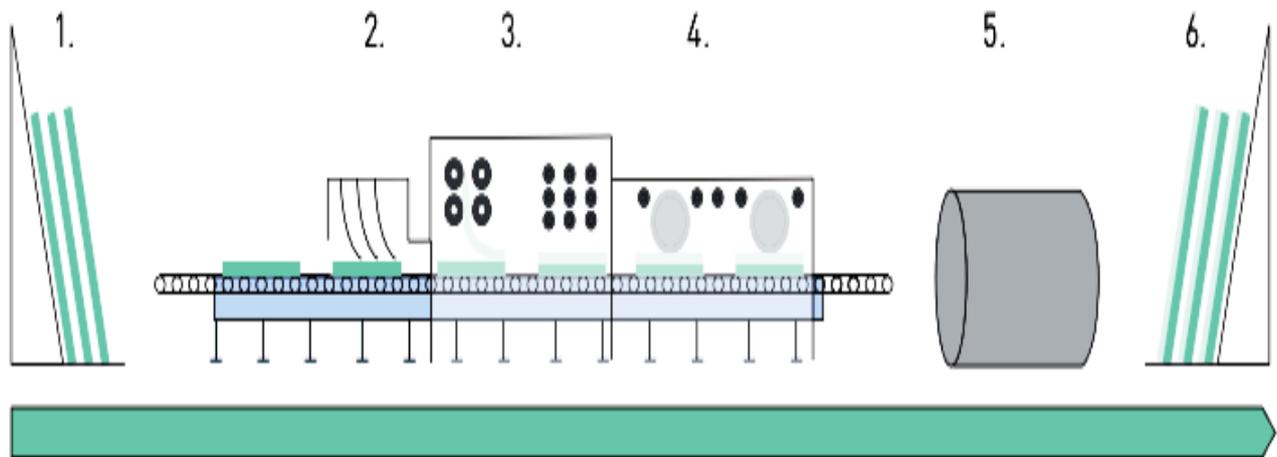


Fig.II.18. processus de fabrication du verre feuilleté

1. Chargement :

Le chargement de l'installation se fait par gerbeur à portique.

2. Nettoyage :

Les verres sont lavés dans l'installation de lavage. L'épaisseur du verre est mesurée automatiquement, puis les paramètres de la machine sont réglés automatiquement.

3. Chambre de laminage :

Dans cette zone, la structure verre/film/verre est assemblée selon le principe du sandwich. Comme le film PVB est très sensible à la température et à l'humidité, et que toute poussière peut dégrader la qualité optique, la chambre de laminage est une salle blanche climatisée. C'est pourquoi les films sont également stockés dans des pièces climatisées, par type de produit. (Fig.II.19)

4. Préassemblage :

Dans le four de préassemblage, le préassemblage a lieu à partir des plaques de verre et du film se trouvant entre elles. Pour cela, les plaques de verre sont chauffées de manière précise et pressées les unes contre les autres à l'aide de rouleaux.

5. Autoclave :

Dans l'autoclave, les plaques de verre sont assemblées au film de manière durable, sous l'effet de la pression et de la température. C'est ainsi que l'on obtient une plaque de VSG à l'issue du préassemblage. (Fig.II.20)

6. Déchargement/livraison :

A l'issue du passage à l'autoclave, d'autres traitements peuvent être effectués, comme le ponçage ou le perçage du verre.

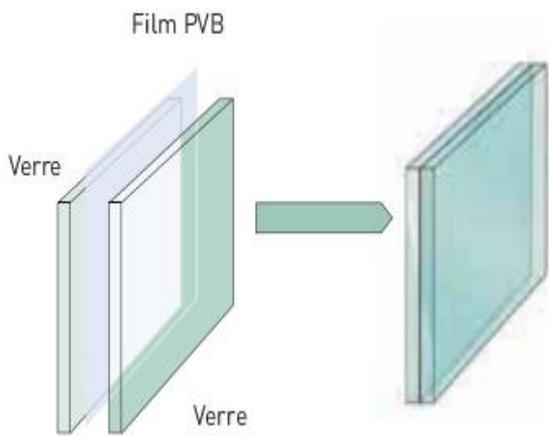


Fig.II.19. Chambre de laminage



Fig.II.20. Autoclave

II.8.2.2.2. Protection et sécurité

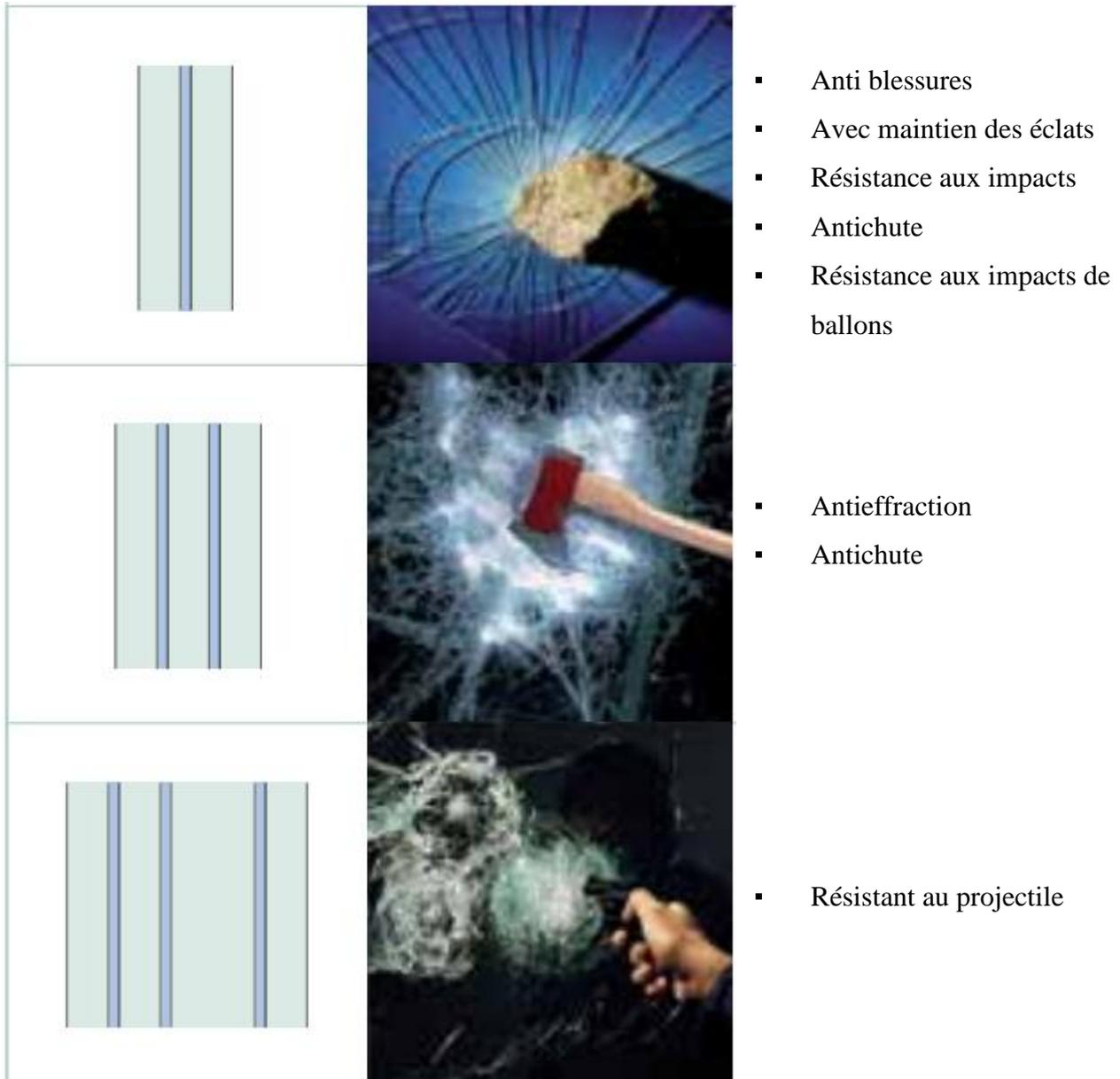
Pour de nombreuses applications de la vie courante, il est important que les plaques de verre conservent leur effet protecteur en cas de dommage accidentel ou intentionnel. Le **VSG** se compose de deux ou plusieurs plaques de verre séparées par des films de polyvinyle butyral (**PVB**) à la fois tenaces, élastiques et extrêmement résistants à la déchirure. Sous l'effet d'un choc ou d'un impact mécanique, le verre se brise, mais la couche de **PVB** non endommagée maintient les éclats ensemble. La plaque endommagée présente de ce fait une stabilité résiduelle, et la surface vitrée reste entière. Les éclats de verre sont maintenus sur le film **PVB** ce qui réduit également le risque de blessure.

Contrairement au verre **ESG**, le **VSG** ne se désagrège pas en une multitude de granules lorsqu'il casse, mais conserve son effet initial. L'apparence du verre feuilleté à l'état cassé illustre sa propriété consistant à maintenir les éclats ensemble : cela ressemble à une toile d'araignée. Les mailles sont plus ou moins serrées selon l'impact. (**Fig.II.21**)



Fig.II.21. Verre feuilleté éclaté

II.8.2.2.3. propriétés de sécurité



FigII.22. Propriétés de sécurité

II.8.2.2.4. Domaines d'utilisation du VSG

- ❖ Dans les écoles et jardins d'enfants, comme cloisons pour éviter les chutes d'éclats de verre et les blessures.
- ❖ Pour les vitrages en surplomb et de toiture dans les bâtiments privés et publics.
- ❖ Pour les applications à l'extérieur et à l'intérieur, comme protection visuelle ou pour obtenir des effets optiques avec des couleurs appliquées via des processus d'impression spéciaux, comme les verres design.
- ❖ Comme vitrage simple au niveau des portes, des cages d'escalier, des cloisons et des balcons.

- ❖ En combinaison avec du verre isolant comme protection contre l'effraction au niveau des fenêtres.
- ❖ Dans les immeubles publics comme vitrages de protection contre l'impact et l'effraction au niveau des fenêtres, des portes et des vitrines.
- ❖ Comme vitrages de protection contre l'effraction depuis l'extérieur et l'intérieur pour les établissements pénitentiaires et hospitaliers.
- ❖ Comme verre blindé pare-balles pour guichets de banque dans les banques, les offices de poste ou pour d'autres institutions similaires.
- ❖ Comme vitrage pour les cages des jardins zoologiques ou pour les aquariums.
- ❖ Comme éléments d'allège des façades tout verre, par exemple le Structural Glazing.
- ❖ Pour les domaines industriels et militaires comme verre de protection contre l'explosion, ainsi que pour les véhicules, aéronefs et bateaux. [8]

II.8.2.3. Association verre trempé/verre feuilleté

Dans le cas d'une protection mécanique extrême, il est parfois nécessaire de réaliser un assemblage feuilleté à partir de glaces trempées. L'association des caractéristiques propres à chacun de ces verres répond à la recherche de protection complémentaire requise contre les risques de chocs violents : salles de sport, séparations de tribunes de stade... On obtient ainsi une excellente résistance mécanique et le maintien du vitrage en place en cas de casse. [14]