

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE BLIDA 1

Faculté de technologie

Département de Génie des procédés



En vue l'obtention du diplôme de master en génie des procédés.

Projet fin d'étude.

Filière : génie chimique

Thème :

**Analyse des pertes de la production et les solutions proposées pour
augmenter les rendements.**

Présenter par :

ZITOUNI nadjia

ZINAI chahinez

Proposé et diriger par :

- Mr ISSAADI rachid

- SEBAI Noureddine

Année universitaire 2022 - 2023

Dédicace

و ما كنت لأفعل هذا لو لاله مكنني

Le voyage n'a pas été court. Après une marche d'un an, nous avons eu beaucoup de difficultés, et de fatigue. Ici, c'est le dernier pas dans l'échelle et nous nous sommes tenus sur notre seuil de graduation, cueillant des fruits , fatigués et soulevant fièrement nos chapeaux

اللهم لك الحمد حتى ترضى ولك الحمد إذا رضيت .

Nous dédions notre travail à ceux qui l'ont dit

" و قل ربي ارحمهما كما ربياني صغيرا"

À qui nous portons fièrement nos noms et à qui notre force était dans notre faiblesse

Nos papas.

Au grand être humain que vous avez toujours voulu voir en ce jour

Nos chères mères

À la source de la force de nos frères qui se tiennent derrière nous.

Et on n'oublie pas nos camarades qui ont partagé ce chemin avec moi Et à tous nos estimés professeurs, en particulier, le Professeur Superviseur

جزاكم الله كل خير

Remerciements :

Avant toute chose, nous tenons à remercier ALLAH tout puissant, qui m'a aidé et m'a donné la patience, la santé et le courage durant mon parcours pédagogique.

Nous tenons à remercier en premier lieu mon promoteur **Mr ISSAADI Rachid** Professeur au Département de Génie des Procédés, pour ses conseils, patience et compréhension.

Un grand remerciement à notre encadreur de stage **Mr SEBAI Noureddine**, Chef de ligne de production de verre plat en MFG, qui nous a formés et tout au long de ce mémoire avec beaucoup de patience et de pédagogie.

Nous adressons nos remerciements les plus sincères aux membres du jury pour nous avoir fait l'honneur d'accepter de juger ce travail.

nous tenons à remercier aussi le Chef de laboratoire et l'ensemble des ingénieurs de (Ligne float) et (laboratoire central de contrôle de qualité) de « MFG », pour la formation et les conseils, la patience et la gentillesse au cours de ces jours de stage.

Nous remercions, les personnes qui nous ont encouragé et soutenu, de près ou de loin, durant la réalisation de ce travail.

ملخص

تسعى معظم المصانع الصناعية إلى تحسين وزيادة الإنتاجية دون الاستثمار في وسائل جديدة تؤثر بشكل كبير على حسابات الشركة. في هذا السياق، يتم إنشاء منظور جديد في شركة MFG (Méditerranée Float Glass) الواقعة في مدينة الأربعاء ولاية البليلة، للسعي إلى تحسين الإنتاج، من خلال الحد من الخسائر وكذلك إدارة المشاكل اليومية. من أجل الحفاظ على استقرار الإنتاج والحفاظ على التزامهم التجاري.

وفي هذا السياق تجري دراستنا. من خلال تحليل مفصل لعملية التصنيع من المادة الخام إلى المنتج النهائي، حددنا نقاط الضعف في العملية حيث تكون الإطلاقات مهمة مما يؤدي إلى خسارة كبيرة في القيمة المطلقة. على مستوى كل خطوة محددة، نقترح حلولاً للحد من حالات الرفض وبالتالي تحسين عائدات الإنتاج وبالتالي الصحة المالية للشركة.

الكلمات الرئيسية: التحسين، زيادة العائد، الخسائر، تصنيع.

Résumé :

La plupart des usines industrielles cherchent à améliorer et augmenter la productivité sans investir dans de nouveaux moyens qui affectent considérablement les comptes de l'entreprise.

Dans ce contexte, une nouvelle perspective est créée dans la société Méditerranée Float Glass (MFG) située dans la ville de l'arbaa Blida State, pour chercher à améliorer la production, en réduisant les pertes et en gérant les problèmes quotidiens. Afin de maintenir la stabilité de la production et de maintenir leur engagement commercial.

Dans ce contexte, notre étude est en cours. Grâce à une analyse détaillée du processus de fabrication de la matière première au produit fini, nous avons identifié des points faibles du le procédé où les rejets sont importants entraînant une perte importante en valeur absolue. Au niveau de chaque étape du procédé, nous proposons des solutions pour limiter les rejets améliorant ainsi les rendements de production et par conséquent la santé financière de l'entreprise.

Mots clés : optimisation, augmenté le rendement, les pertes, fabrication de verre .

Abstract:

Most industrial plants seek to improve and increase productivity without investing in new ways that significantly affect the company's accounts. In this context, a new perspective is created in the Mediterranean company Float Glass (MFG) located in the town of Wednesday Blida State, to seek to improve production, reducing losses and managing daily problems. In order to maintain production stability and maintain their commercial commitment.

In this context, our study is ongoing. Through a detailed analysis of the manufacturing process from raw material to finished product, we identified process weaknesses where releases are significant resulting in a significant absolute loss. At each stage, we propose solutions to reduce waste and thus improve production revenues and therefore the financial health of the company.

Keywords: optimization, increased yield, losses, manufacturing.

Table des matières

Introduction générale :	1
Chapitre I : Techniques de fabrication du verre plat	
I. PRESENTATION DU LIEU DU STAGE.....	2
1. Localisation	2
2. Objectifs de MFG :.....	2
3. Les effectifs de MFG :.....	3
4. Développement :.....	3
5. Distribution :.....	3
6. Organisation structurelle de MFG :.....	4
II. HISTORIQUE DU VERRE :	5
1. Définition du verre :	5
2. L'état vitreux :	6
3. Constituants d'un verre :.....	6
4. Structure du verre :	7
5. Composition du verre :	8
6. Propriétés du verre :.....	10
7. Les différents types de verres industriels :	17
Conclusion.....	19

Chapitre II :Les étapes de Fabrication du verre plat dans l'unités MFG

(Méditerranée Float Glass)

II.1. Définition du verre float :.....	20
II.2. Composition chimique du verre silicate sodocalcique :.....	20
1. Le sable siliceux (SiO_2)	20
2. Carbonate de soude (Na_2CO_3) :.....	21
3. La dolomie ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$):.....	21
4. Le Calcaire (CaCO_3) :.....	21
5. Le Feldspath [$(\text{K}, \text{Na}) \text{AlSi}_3\text{O}_8$] :.....	22

6.	Sulfate de sodium (Na_2SO_4) :	22
7.	Charbon :	22
8.	Oxyde de fer :	22
9.	Le calcin (ou groisil) :	22
II.3	LES ETAPES DE FABRICATION DU VERRE PLAT FLOAT :	23
1.	Enfournement des matières premières :	24
2.	Le four de fusion :	24
3.	Le bain d'étain :	29
4.	Etenderie :	34
5.	Découpage :	36
6.	Le contrôle qualité :	37
7.	Stockage :	38
	Conclusion.....	39

Chapitre III :Problématique, étude, analyse et solutions proposées

III.	Objectif.....	40
III.2	Pertes en rendement issues des matières premières:	40
1.	Consommation des matières premières et origines :	40
III.3	Pertes issues de la fusion :	46
2.	Utilisation de verre recyclé (calcin) :	49
3.	Optimisation des processus de production :	49
III.4	Pertes issues du bain d'étain :.....	51
1.	Introduction:	51
2.	Pertes dues au changement d'épaisseur :.....	51
3.	Pertes dues aux bords :	52
III.5	Pertes issues du recuit :.....	55
1.	Perte pour mauvaise découpe et origine :.....	55
2.	Perte pour casses :	57
III.6	Pertes issues de la découpe :.....	58
1.	Problèmes des outils de coupe :	58
	Conclusion générale	62

Liste des figures

Chapitre I : Techniques de fabrication du verre plat

Figure I.1 : Photo de Méditerranée Float Glass.....	2
Figure I.2: Organigramme général du MFG.....	4
Figure I.3 : Schéma montrant la structure moléculaire du cristal (gauche) et du verre (droite).	6
Figure I.4: Représentation schématique de la structure de verre de silice.	7
Figure I.5: Représentation schématique de fabrication de fibres de verres par étirage mécanique	18

Chapitre II : Les étapes de Fabrication du verre plat dans l'unités MFG

(Méditerranée Float Glass)

Figure II.1 : Schéma de processus de fabrication de verre float	20
Figure II.2: Rupture d'une liaison Si-O introduction d'une molécule NaO réseau de silice.....	21
Figure II.3 : Etapes de fabrication du verre plat.....	23
Figure II.4 : Four "float" Régénérateurs bruleurs latéraux.....	24
Figure II.5: Les différentes zones du four	25
Figure II.6: Fonctionnement d'un four a régénérateurs.	26
Figure II.7: La chambre régénératrice	27
Figure II.8: Brique d'empilage de la chambre régénératrice[23].....	27
Figure II.9: Canal et spout-lip (a) canal (b) haut spout-lip.....	29
Figure II.10: Schéma d'un bain d'étain [24]	30
Figure II.11: Top Roll en contact avec le ruban du verre.....	31
Figure II.12: Représentation du bain d'étain.	31
Figure II.13: Processus de contamination d'étain.....	32
Figure II.14: Schéma représentatif des résistances électrique dans le bain d'étain et leur position	33
Figure II.15: Coupe schématique de Dross Box.....	33
Figure II.16: Schéma descriptif de l'étape de recuit.	35
Figure II.17: L'étenderie de la float line.	35
Figure II.18: Ligne de découpe	36
Figure II.19: Test zébra.	37
Figure II.20: Le pupitre lumineux.	38

Chapitre III :Problématique, étude, analyse et solutions proposées

Figure III.1 : Photo montrant la corrosion des briques "coups de sabre"	49
Figure III.2 : Blocage d'ouvertures de régénérateur.	50
Figure III.3 : Pertes de bords laissées par Top-Rollers (a) , découpe du verre plat (b) découpe des bords	52
Figure III.4: Traçage d'empreinte du la molette de découpe	53
Figure III.5 : Photos des pertes de mauvaise découpe.....	55
Figure III.6: Les infiltration d'air qui prédominent sur le cote droit de l'étenderie	57
Figure III.7: Photo de stock.	59

Liste des tableaux

Chapitre I : Techniques de fabrication du verre plat

Tableau I-1: composition chimique (% massique) de quelques verres industriels [13].....	9
Tableau I-2: Valeurs de la viscosité pour les différents régimes d'élaboration et de traitement du verre selon AVLOUCHKIN [13].....	11
Tableau I-3: l'influence de la chaleur spécifique	15

Chapitre II :Les étapes de Fabrication du verre plat dans l'unités MFG (Méditerranée Float Glass)

Tableau II-1: Température de la fusion des oxydes d'étain.....	32
Tableau II-2: Les différents formats de la feuille fabriquée du verre	36

Chapitre III :Problématique, étude, analyse et solutions proposées

Tableau III-1: Consommation des matières premières dans MFG.....	40
Tableau III-2: Tableau prix de matières premières.	41
Tableau III-3: Estimation des pertes du aux des matières premiers par rapporte la durée de chaque matière.	42
Tableau III-4 Représente les pertes de bord selon changement le nombre découpe.....	53

Introduction générale

Introduction générale :

Le verre a accompagné l'aventure humaine pendant au moins 100.000 ans, et il le trouve dans un large éventail de secteurs. Les produits en verre ont connu des développements remarquables au cours des dernières décennies, augmentant leurs performances et allant de pair avec la volonté de répondre à certaines exigences. Cela a conduit à de nombreux matériaux avec des caractéristiques très spécifiques.

En réponse à un besoin pressant d'une méthode économique pour créer du verre plat, pour des applications automobiles et des applications architecturales, le procédé du verre flotté a été inventé dans les années 1950. [1]

Ce procédé est utilisé en particulier dans l'unité MFG (Méditerranée Float Glass) sise dans la wilaya de Blida et dans laquelle nous avons effectué notre stage de fin d'études en particulier au niveau de la 2ème ligne de production du verre. Par l'analyse et l'étude des données qui ont été mises à notre disposition par l'entreprise, notre travail s'est intéressé à la problématique de la baisse du rendement et les améliorations à apporter pour augmenter la production, la qualité du verre et limiter les rejets.

Ce travail est structuré en trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à des généralités sur le verre, comprenant un historique ainsi que ses propriétés physico-chimiques.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation du procédé « float glass », ainsi que toutes les étapes de fabrication, de la matière première au produit fini.

Dans le troisième chapitre, nous présentons les analyses des données et l'identification des points négatifs du procédé. Les résultats de ces analyses nous ont permis de proposer dans ce chapitre, les améliorations que l'on pourrait adopter pour augmenter la production.

Enfin nous terminerons par une conclusion générale dans laquelle sont exposées les principales recommandations auxquelles nous avons abouti à l'issue de ce travail.

Chapitre I :
Techniques de fabrication du verre plat

Chapitre I : Technique de fabrication du verre plat.**I. PRESENTATION DU LIEU DU STAGE**

Méditerranéen Float Glass par abréviation (MFG) est créé en avril 2007, mais y'est inaugurée le 28 mai 2007. C'est une filiale du groupe CEVITAL, premier groupe industriel privé en Algérie. Elle est la plus grande ligne de production en Afrique et l'unique producteur du verre plat au niveau maghrébin, d'une capacité de 600 tonnes par jour pour la première ligne du verre float, et 800 tonnes par jour pour la deuxième. Depuis septembre 2007, l'entreprise travaille en continu dans un système d'équipes de rotation (3*8) pour atteindre une production de 14.000 tonnes/jour.

1. Localisation

Le complexe est implanté au niveau du site de Larbaa dans la wilaya de Blida et a nécessité un investissement de 100 Millions d'Euros. L'usine fait partie d'un grand projet constitué de 3 lignes de verre plat d'une capacité totale de 642 400 tonnes par an. MFG profite d'une parfaite localisation au niveau du site de Larbaa, à 30 km d'Alger ce qui représente moins d'une heure de route de l'aéroport international et du port d'Alger.



Figure I.1 : Photo de Méditerranée Float Glass

2. Objectifs de MFG :

MFG est née avec la volonté de relever le défi d'ériger l'industrie du verre au stade d'incontournable dans son domaine. Dès ses débuts, cette entreprise s'est fixé des objectifs à atteindre. Parmi ses objectifs, nous pouvons citer ce qui suit :

- Satisfaction des clients
- Optimiser sa part du marché international
- Satisfaire les demandes du marché national ;
- Respecter l'environnement et l'hygiène et sécurité de ses employés
- Un développement qualitatif et quantitatif de la production,

- Rendre MFG un opérateur incontournable dans le monde du verre plat.

3. Les effectifs de MFG :

MFG compte actuellement plus de 830 salariés, qui mettent en pratique leurs compétences dans différents métiers afin de fournir un produit de choix et un service de qualité.

4. Développement :

MFG a mis en place trois autres lignes de production de verre :

- En Décembre 2009 : une ligne de verre feuilleté.
- En Septembre 2011 : une ligne de verre à couches tendres.
- En Octobre 2010, MFG a mis en place une unité de transformation des produits verriers pour couvrir le marché algérien, notamment, en double vitrage isolant destiné aux fenêtres et aux façades des bâtiments.
- En 2015, inauguration de la 2ème ligne de production du verre plat et une unité de verre électroménager.

MFG répond aussi aux besoins de plusieurs secteurs économiques tels que le BTP, l'électroménager, l'énergie, les panneaux solaires, le mobilier urbain et domestique. Depuis 2008, MFG a un système de management intégré QHSE et est certifiée sous trois référentiels :

- ISO 9001 : pour la qualité en 2008
- ISO 14001 : pour l'environnement en 2004.
- OHSAS 18001: pour la santé et la sécurité de ses employés en 2007.
- ISO 9001: pour le management des projets en 2011.

5. Distribution :

MFG exporte 70% de sa production essentiellement en Europe occidentale tel que l'Italie (Turin), l'Espagne (Valence), la France, et le Portugal ; Mais aussi vers la Tunisie (Tunis), le Maroc (Tanger) et d'autre pays. Depuis 2007, MFG a fait passer l'Algérie, de pays quasi importateur à celui d'exportateur en matière de verre. Les 30% restants, suffisent largement à combler les besoins du marché national.

6. **Organisation structurelle de MFG :**

La figure I.2 permet de visualiser les différents organes qui composent l'entreprise, le lien existant entre les différentes structures ainsi que la hiérarchie existante au sein de cette société:

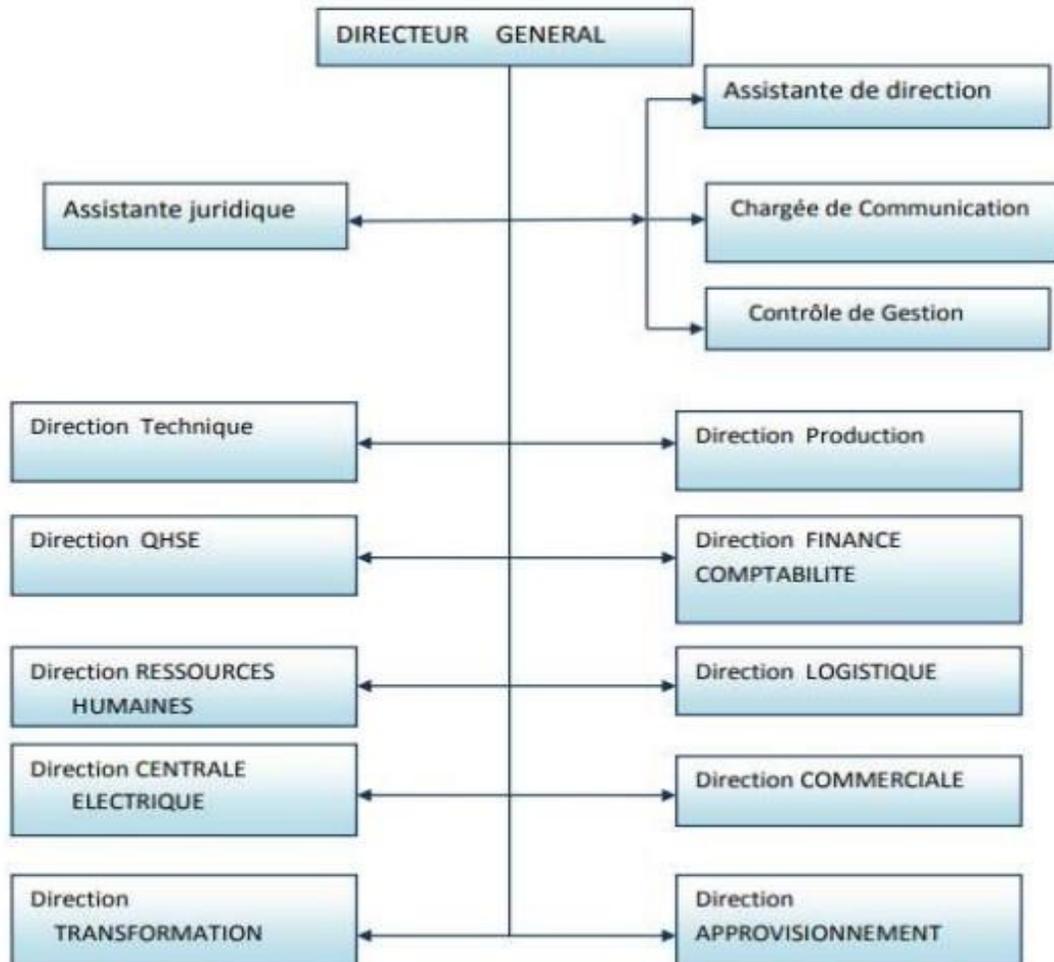


Figure I.2: Organigramme général du MFG

II. HISTORIQUE DU VERRE :

Le verre existe déjà naturellement depuis plusieurs centaines de milliers d'années. L'homme du préhistorique l'utilisa, pour la première fois, il y a 100 000 ans sous forme d'obsidienne (verre naturel d'origine éruptive). Après sa découverte, il s'est familiarisé avec ce matériau et a promotionné son utilisation dans tous les domaines, pour fabriquer des outils, des armes coupantes et des bijoux [2]. Les premiers verres fabriqués par l'homme sont originaires de Mésopotamie, de Syrie puis d'Égypte, des potiers Egyptiens ont fabriqué le premier verre tout à fait, par accident, en cuisant leurs poteries. Le premier verre était un émail, mélange de sable et d'autres 6 minéraux fondus sur la surface d'objets en céramique. Il y a trois mille ans, des artisans découvrirent que si l'émail avait une épaisseur suffisante, il pouvait servir seul à fabriquer des objets sans pour autant qu'il soit supporté par la terre cuite. Ils ne sont pas encore transparents ou translucides mais opaques, de couleur verte ou bleue. Le verre transparent a été découvert à Sidon (Phénicie), probablement à cause de la pureté des sables de la région [3]. Au Ve et Xe siècle est apparue la fabrication de verre plat soufflé, cette fabrication se faisait par deux techniques à savoir :

- Le soufflage en couronne : Produit dans l'Ouest de la France et en Angleterre où sa production dura jusqu'au XIXe siècle. Le verre plat ne prit son essor qu'à partir de l'invention de ce nouveau procédé. Il s'agit d'abord d'un vase soufflé à fond plat, que l'on fait ensuite tourner face à l'ouverture d'un four.
- Le soufflage en manchon : Produit dans l'Est de la France et en Europe centrale. C'est un cylindre de verre obtenu par l'allongement de la paraison cueillie par le verrier, puis fendu, ramolli et aplati.

Ces procédés furent utilisés durant tout le moyen âge pour la fabrication des vitraux.

1. Définition du verre :

Pour la majorité des scientifiques le terme verre est défini quel que soit son processus de fabrication comme tout solide non cristallin qui présente un phénomène de transition vitreuse [4]. L'état physique correspondant est appelé état vitreux [5]. Selon la norme A.S.T.M (C-162-92) (American Society For Testing And Materials) c'est un produit inorganique, coulé à partir d'un état liquide vers un état solide sans cristallisation. Gustav Tammann [6] définit le verre comme suit : « L'état vitreux est l'état figé d'un liquide en surfusion, qui se solidifie sans cristalliser » Le verre est un alliage dur aussi fragile (cassant), transparent au rayonnement visible.

2. L'état vitreux :

L'état vitreux est observé dans une matière si ses molécules sont toutes identiques tandis que leur distribution est désordonnée.

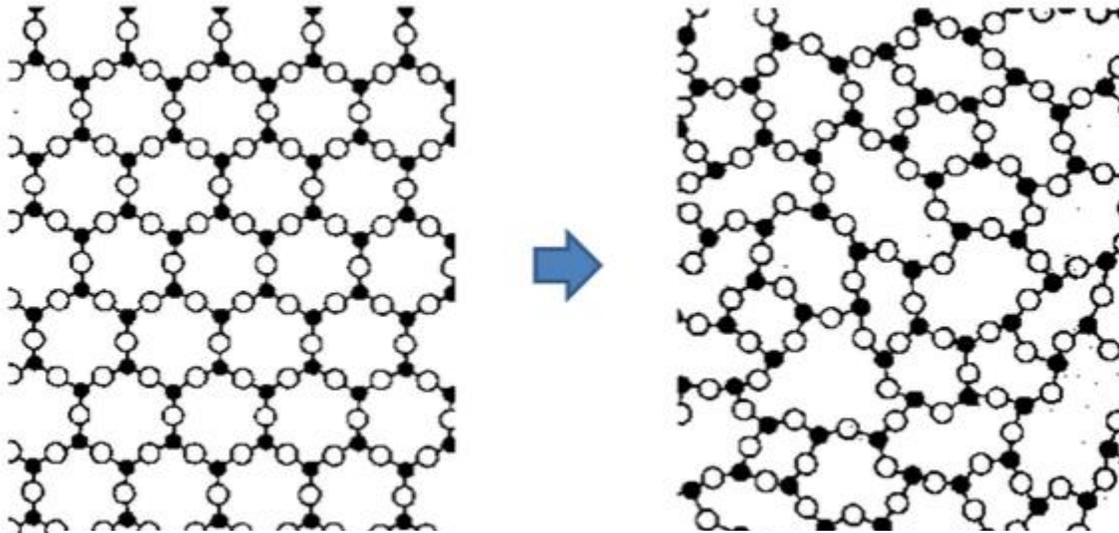


Figure I.3 : Schéma montrant la structure moléculaire du cristal (gauche) et du verre (droite).

C'est le cas du verre où chaque molécule de silice est identique (tétraèdre) mais où l'organisation des unes et des autres est inexistante. Cette fausse organisation se situe entre celle des solides (ordonnée donc cristallisée) et celles des liquides (en mouvement donc amorphe). L'état vitreux est cet état solide amorphe (non cristallisé) caractérisé par la distribution désordonnée des molécules qui conservent néanmoins des distances fixes entre elles [7].

3. Constituants d'un verre :

Trois grandes catégories de constituants peuvent intervenir dans la composition d'un verre

3.1. Oxydes formateurs

Ce sont des composés ayant des caractéristiques covalentes, tels que les oxydes ou sulfures de silicium, de bore, de phosphore ou de germanium... Généralement ils peuvent facilement donner les verres eux-mêmes. Les sables utilisés dans l'industrie verrière contiennent plus de 99% de SiO_2 avec un taux d'impuretés inférieur à 0.2% [8], la figure I.4 qui représente la structure de verre de silice

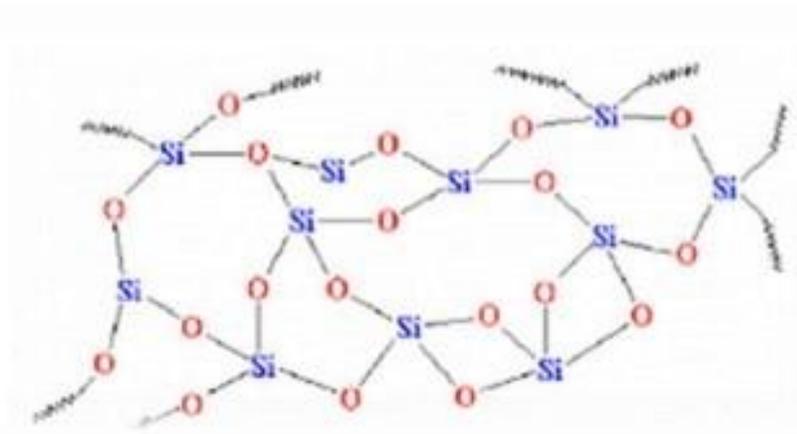


Figure I.4: Représentation schématique de la structure de verre de silice.

3.2. Oxydes modificateurs

Ce sont des composés qui ont un caractère ionique marqué, on peut citer en particulier les oxydes ou les sulfures alcalins, alcalinoterreux ou de métaux de transition. Ils sont incapables de former par eux-mêmes un réseau vitreux mais sont susceptibles de réagir avec les formateurs et de s'incorporer dans leur réseau en le modifiant considérablement [9].

3.3. Oxydes intermédiaires

Ils peuvent jouer le rôle de formateur ou modificateur de réseau selon la composition du verre. Certains composants sont ajoutés en très faibles quantités (1/100) afin de modifier les conditions de préparation ou de coloration du verre ou de faciliter l'affinage.

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 (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 [10]. 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 [11].

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 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 non pontants.

5. Composition du verre :

Le verre est un matériau inorganique, composé de nombreux oxydes, mais le plus souvent élaboré à partir de 3 constituants de base [5]-[12]:

- L'oxyde de silicium (SiO_2) ou silice, élément majoritaire, et véritable formateur du réseau vitreux

- L'oxyde de sodium (Na_2O), appelé fondant, provenant de la décomposition de carbonates synthétiques et qui va transformer la silice en silicate par attaque chimique

- L'oxyde de calcium (CaO), appelé stabilisant, issu de la décomposition de CaCO_3 .

Pour de nombreux verres industriels (verre d'emballage et verre plat) ces 3 éléments représentent environ 95 % de leur composition pondérale, ce qui permet de définir le verre sur un plan chimique comme un silicate de sodium et de calcium.

En réalité l'oxyde de sodium est souvent accompagné d'oxyde de potassium (K_2O) et l'oxyde de calcium par l'oxyde de magnésium (MgO).

*D'autres éléments, appelés additifs, sont ajoutés au verre pour apporter des propriétés bien spécifiques en fonction des applications envisagées:

L'oxyde d'aluminium pour accroître la résistance hydrolytique.

L'oxyde de plomb pour accroître la densité l'indice de réfraction et la brillance du verre

L'oxyde de bore B_2O_5 formateur de réseau, comme la silice, mais apportant une plus grande stabilité thermique

Les oxydes métalliques des éléments de transition (Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , CaO , CuO , etc.) et certains lanthanides (CeO_2 , Nd_2O_3 ...) pour colorer le verre ou le décolorer.

□ Des additifs d'oxydoréduction pour ajuster le pouvoir redox du bain de fusion, ce paramètre jouant un rôle important sur la transmission du verre dans l'infrarouge et sur sa teinte finale, les plus utilisés sont le carbone pour son pouvoir réducteur, et l'oxyde de soufre (SO_3) obtenu par décomposition de sulfate de sodium, pour son pouvoir oxydant.

À titre d'exemple le tableau I.1 donne les compositions chimiques (en poids %) d'un verre courant utiliser pour la fabrication de bouteilles de champagne, du verre cristal pour la fabrication d'objets de luxe et d'un verre borosilicate très résistant chimiquement et thermiquement pour la pharmacie.

Tableau I-1: composition chimique (% massique) de quelques verres industriels [13].

	Verre champagne	Verre cristal	Verre borosilicaté
SiO₂	0.72	0.696	0.748
Na₂O	0.132	0.033	0.075
CaO	0.11	0.013	0.005
MgO	0.001		
K₂O	0.004	0.109	0.008
Al₂O₃	0.017		0.062
PbO		0.244	
B₂O₃			0.105
Fe₂O₃	0.003		
Cr₂O₃	0.002		
SO₃	0.001		
BaO			
ZnO			

6. Propriétés du verre :

Le verre est un matériau de plus en plus commun au quotidien. Il est donc nécessaire de connaître ces propriétés pour pouvoir l'utiliser ingénieusement. [14].

6.1. Propriétés rhéologiques

Les verres par leur structure ont un comportement rhéologique très complexe. En fait, à très haute température, les verres ont des propriétés liquides visqueuses et à des températures inférieures à la température de transition vitreuse (T_g), la cohésion est grande, ils ont l'apparence d'un solide élastique.

6.1.1. La viscosité du verre

Le verre est un liquide super-refroidi sans point de fusion défini comme dans le cas des métaux. Ainsi, il se ramollit à mesure que la température augmente grâce à différents domaines de viscosité, puisque la viscosité n'est pas seulement une propriété essentielle pour la production et le formage du verre, mais elle dépend de la nature et la structure du verre. Le phénomène de viscosité est lié avec les forces de frottement entre deux couches de n'importe quel corps. La cause de la viscosité est la transition des particules d'une couche à une autre. La viscosité a la même mesure que la force (en dynes) qu'il faudrait appliquer à 1cm^2 d'un feuillet du fluide considéré pour le déplacer à une vitesse uniforme de 1cm/s par rapport à un autre feuillet parallèle situé à 1cm du précédent. Newton a proposé une formule liant les forces agissantes sur la surface des couches et la vitesse de déplacement des couches l'une par rapport à l'autre. L'unité de mesure est Pa.s, lorsque la surface de frottement exercée sur une surface de 1m^2 et de 1N pour une variation de vitesse $dv = 1\text{m/s}$ sur une distance $dx = 1\text{m}$. La viscosité cinématique est exprimée comme suite :

$$F = \eta \frac{dv}{dx}$$

$$V = \eta / d$$

- V : viscosité cinématique
- d : densité
- η : coefficient de viscosité

avec :

$$V = \frac{\mu}{\rho}$$

- μ : viscosité dynamique.
- ρ : la masse volumique.

Le tableau suivant montre les valeurs de la viscosité pour les différents régimes d'élaboration et de traitement du verre selon AVLOUCHKIN [13] :

Tableau I-2: Valeurs de la viscosité pour les différents régimes d'élaboration et de traitement du verre selon AVLOUCHKIN [13]

<i>Valeurs de la viscosité dynamique (Pa.s)</i>	Les points(au niveau du procédé)
$10^{19} - 10^{20}$	A Température 18 -26 °c
$10^{13.5}$	Température < Température de recuisons
$10^{12.3}$	Température de transformation tg
10^{12}	Température > Température de recuisons
$10^7 - 10^8$	Bombage
10^7	Combuge
$10^{6.6}$	Température de ramollissement
$10^4 - 10^7$	Pressage
$10^3 - 10^6$	Laminage
10^3	Etirage (procédé Foucault)
$10^2 - 10^{2.5}$	Fabrication manuelle
$10^{1.5}$	Température de liquide
$10^{1.48} - 10^{1.61}$	Coulage
10^1	Température > température d'élaboration

6.1.2. Dépendance de la viscosité

A. Influence de la température :

La viscosité est un paramètre très important pour la fabrication de verre. La viscosité détermine la façon dont les verres industriels sont fabriqués et c'est un point essentiel. Quand la température augmente la viscosité diminue d'abord peu, puis plus vite et finalement plus lentement d'où atteindre, aux températures de fusion une valeur de 1012 Pa.s. Ceci peut être expliqué par le fait qu'à haute température le pouvoir de mobilité des éléments structuraux est grand et les forces de liaison tendent à se rompre. Le verre à la température de fusion, la rupture des liaisons est semi totale et qui croit progressivement avec l'énergie thermique, ainsi il apparaît des fragments de dimensions relativement élevées d'où les déplacements sont limités

et ainsi une viscosité élevée. Au contraire, en refroidissant les liaisons se ferment progressivement et la viscosité augmente.

B. La tension superficielle :

Elle joue un rôle crucial dans les processus de fusion et de fabrication du verre. Elle est décrite comme suit : Le résultat final est zéro parce qu'une particule dans le corps attire toutes les particules à proximité. Le liquide prend une forme sphérique car la substance avec la plus grande surface du corps absorbe le plus d'énergie, et les petites surfaces ont tendance à absorber moins d'énergie à mesure qu'elles sont réduites. D'autre part, si cette particule est à la surface, il n'y a pas de forces qui agissent sur elle, et elle suit la force résultante vers l'intérieur. La croissance des particules nécessite de l'énergie car elle suppose le mouvement des particules de l'intérieur vers l'extérieur. L'énergie nécessaire pour créer une nouvelle surface de 1m^2 s'appelle l'énergie libre de surface, qui s'exprime par unité $[\text{J}/\text{m}^2]$. En général, la notion de tension superficielle se mesure en N/m est plus courante:

$$\sigma = A/S \text{ [J/m}^2\text{]}$$

- σ : Tension superficielle de liquide.
- A : énergie libre de surface
- S : la surface de particule

La diminution de l'énergie superficielle n'a pas seulement lieu physiquement par changement de la forme de la surface mais il peut y avoir aussi une influence chimique par le fait que se rassemblent les particules qui sont liées à l'intérieur par des forces moindres.

C. Influence de la composition

Les changements dépendants de la viscosité et de la composition chimique dépendent de la rigidité des liaisons chimiques et du niveau de cohérence du réseau. Comme c'est le cas avec les bases, les oxydes réduisent la viscosité à toutes les températures. L'introduction d'ions alcalins fait chuter brutalement la viscosité car les ions Li^+ , Na^+ , K^+ sont moins volumineux et donc plus mobiles.

6.2. Propriétés physiques

6.2.1. Dureté :

La dureté d'un matériau est définie comme la résistance mécanique qu'un matériau oppose à la pénétration d'un poinçon. La dureté du verre se divise en deux grands types :

*Les verres durs : des verres à faibles coefficients de dilatation thermique qui se ramollissent à température élevée.

*Les verres tendres à coefficient de dilatation élevé qui se ramollissent à une température relativement basse.

6.2.2. La densité :

Elle dépend de la composition du verre, elle est d'environ 2.5g/cm³. Cela signifie qu'un mètre cube de verre pèse environ deux tonnes et demie ou qu'une feuille d'un mètre carré et d'un millimètre d'épaisseur pèse 2.5kg.

6.2.3. La résistance d'élasticité :

la cassure du verre est liée à sa flexion et à sa résistance au choc. Il casse là où le métal se tord. Contrairement, sa résistance à la compression est importante : il faut une pression de 10 tonnes pour briser un centimètre cube de verre ; La vitesse maximale de fissuration du verre V_m est définie par l'expression suivante [15] :

$$V_m = 0.38 \sqrt{E/\rho}$$

Avec :

E : module de Young

ρ : la masse volumique

6.2.4. *L'imputrescibilité* : il ne se putréfie pas

6.2.5. *L'imperméabilité*: elle est extrêmement grande mais le verre reste poreux pour certains liquides

6.3. Propriétés thermiques

La fabrication du verre est un processus mettant en jeu des températures très élevées, si bien que les propriétés thermiques jouent un rôle important. En outre la connaissance de la chaleur massique est particulièrement importante pour l'étude de la nature du verre.

6.3.1. La dilatation :

Elle s'exprime par un coefficient mesurant l'allongement par unité de longueur pour une variation de 1°C. Le coefficient de dilatation linéaire du verre est de l'ordre de 9×10^{-6} m/m.k. Ainsi un vitrage de 2 m de longueur s'échauffant de 30°C, s'allongera de 0.54 mm.

Le verre se brise s'il subit un brusque changement de température car les différentes parties du verre ne se réchauffent pas au même temps [16].

6.3.2. Chaleur spécifique

La chaleur spécifique représente la quantité de chaleur absorbée par une unité de masse du verre quand il s'échauffe d'un degré. Pour réchauffer un produit de masse m d'une température T_1 à une température T_2 , il faut dépenser une quantité de chaleur tel que :

$$\varphi = C_p \cdot m (T_1 - T_2)$$

Où :

- φ : Quantité de chaleur en joule.
- C_p : Chaleur spécifique massique à pression constante (J /kg. °C).
- m : Masse en Kg.
- $T_1 - T_2$: variation de la température.

Pour les verres silicatés le C_p est compris entre 0.3 et 1.05 kJ /kg. °C.

Dépendance de la chaleur spécifique

a. Influence de la température

Quoique la chaleur spécifique est considérée comme étant la variation de l'enthalpie par rapport au temps.

$$C_p = \frac{1}{m} \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_p$$

* C_p : capacité calorifique isobare

* m : la masse .

* $(\partial h / \partial t)$: variation d'enthalpie par rapport au temps.

Et quoique celle-ci soit fonction de la température représentée par la formule suivante :

$$C_p = C_v + [(\beta \cdot t) / (\rho \cdot x)]$$

- β : coefficient de dilatation cubique.
- ρ : masse volumique.
- x : compressibilité.
- t : température.

L'influence de celle-ci sur la chaleur spécifique d'un verre industriel reste faible .

le tableau suivant montre l'influence de la chaleur spécifique.

Tableau I-3: l'influence de la chaleur spécifique

Température	La chaleur spécifique
100°C	0.202 Cal / g degré
20 ~ 700 °C	0.265 Cal / g degré
20 -1300 °C	0.294 Cal /g degré

b. Influence de la composition chimique

Il n'existe pas de dépendance directe entre la chaleur spécifique massique et la composition chimique du verre mais il est cependant possible de déterminer la chaleur spécifique par un calcul à partir des constituants mais cette théorie n'est valable que pour un intervalle de température donné (20 à 100 °C). On peut alors utiliser la formule suivante :

$$C_p = \sum C_{p_i} \cdot P_i$$

- **C_p**: Chaleur spécifique moyenne de chaque constituant.
- **P_i** : Pourcentage en poids de chaque constituant.

L'augmentation de la teneur en oxydes modificateurs entraîne une augmentation de la chaleur spécifique massique contrairement au PbO qui diminue sensiblement la chaleur spécifique.

c. Conductibilité thermique

C'est le pouvoir ou la capacité d'un matériau de transmettre à travers son épaisseur un flux thermique résultant d'une différence entre la température qui régit entre les surfaces d'un échantillon. Ceci peut être justifié par la formule suivante :

$$Q = \lambda F (T_2 - T_1) \cdot t/e$$

- **Q** : quantité de chaleur.
- **λ**: Coefficient de conductibilité thermique en J/m.sec.°C
- **t**: Temps en sec.
- **e** : épaisseur en m.
- **F**: surface en m².

Généralement le coefficient de conductibilité thermique des verres silicates est compris entre 0.85 à 1.34 W/m.k

Le transfert de chaleur dans les verres peut avoir lieu par conduction et par rayonnement. La conduction s'effectue généralement à des températures moyennes. Le rayonnement s'effectue à hautes températures.

Donc on définit la loi de Fourier de la conductibilité thermique par conduction par la relation suivante :

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda \cdot c \cdot S \frac{dt}{dx}$$

- **S** : surface par laquelle s'écoule la quantité de chaleur dQ perpendiculairement.
- **dt** : le temps pendant lequel s'écoule dQ.
- **dt/dx** : le gradient de la température.

La conductibilité par rayonnement J_r est régit par la formule suivante :

$$J_r = (16\sigma \cdot n^2 \cdot T^3) / 3K$$

- **σ** : Constante de Stéphan-Boltzmann.
- **n** : Indice de réfraction.
- **T** : température.
- **K** : coefficient d'absorption.

La conductibilité thermique est inversement proportionnelle à l'augmentation des oxydes modificateurs.

6.4. Propriétés chimiques

Le verre est un matériau présentant une très grande inertie chimique. Il n'est attaqué que par l'acide fluorhydrique ou quelques produits fortement alcalins.

Les eaux de ruissellement de béton sont de ces points de vue particulièrement dommageables pour les vitrages.

- Le feu n'a aucune action chimique sur le verre.
- Il est incombustible.
- Il n'est pas décomposé.
- Il n'est pas oxydé.

La corrosion des verres est un phénomène complexe qui peut prendre des formes variées suivant :

- La nature et la composition du verre
- Le pH et la nature des sels dissous dans la solution de corrosion
- Le renouvellement éventuel de la solution
- La température l'état de contrainte du verre

7. Les différents types de verres industriels :

Les emplois du verre sont très variés, de l'utilisation quotidienne à la haute technologie. Ils donnent lieu à une production très importante.

7.1. Verres creux :

Les verres creux sont utilisés pour fabriquer les bouteilles, les flacons, les tubes, les ampoules, les briques et les pavés. La composition du verre est différente suivant le produit fabriqué. Pour un contenant de produits alimentaires, on emploie un verre sodico-calcique. Une quantité déterminée de verre fondu ou « paraison » est introduite dans un moule et pressée vers 400-450°C. Les moules sont en acier spécial et leurs surfaces souvent chromées. Les presses à main permettent de fabriquer jusqu'à 300 pièces/heure et les presses automatiques (comportent une série de moules) jusqu'à 1000 pièces/heure,

Le procédé primitif de soufflage à la bouche, encore pratiqué dans la verrerie d'art ou scientifique a été mécanisé pour augmenter les rendements [17].

7.2. Fibres de verres :

Ils sont obtenus par l'étirage verre fondu jusqu'à ce qu'il présente un diamètre compris entre 0,5 et 15 μm . Il est possible de fabriquer des fils longs, continus et multifilaires aussi bien que des fibres courtes de 25 à 30 cm de long. Tissées dans certains textiles, les fibres de verre constituent d'excellentes étoffes et de très bons matériaux d'ameublement grâce à leur stabilité chimique, leur solidité et leur résistance au feu et à l'eau [18].

Les fibres de verre seules, ou associées à des résines, forment d'excellents isolants électriques.

En imprégnant les fibres de verre de plastique, on obtient une fibre de verre mixte qui allie la solidité et l'inertie du verre à la résistance aux chocs du plastique.

Parmi les procédés de fabrication des fibres de verres il y a l'étirage mécanique à grande vitesse, la vitesse déterminant le diamètre des fibres qui est compris entre 1 et 8 μm (figure I.5). Ces fibres sont destinées à l'ameublement, au renforcement de matière plastique ou du caoutchouc, du plâtre, du papier, à l'isolement électrique ou à la fabrication de tissus industriels [19].

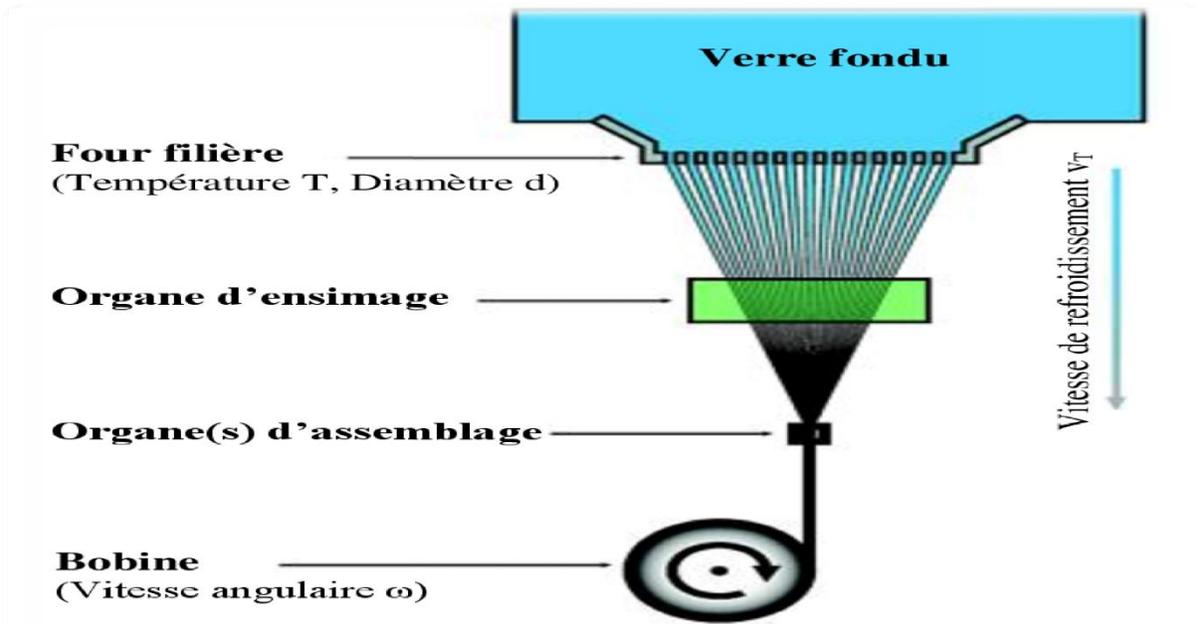


Figure I.5: Représentation schématique de fabrication de fibres de verres par étirage mécanique.

7.3. Verre plat :

Le verre plat est un verre fabriqué sous forme de feuilles. Il est principalement utilisé pour la fabrication des vitres et des miroirs. Les verres plats, constituent avec les verres creux, les fibres de verre et les verres cellulaires, les principales familles de verre. [20]

Conclusion

Le verre est largement utilisé dans de nombreux secteurs scientifiques et techniques ainsi que dans notre vie quotidienne. Il existe également d'autres types de verres composés d'autres espèces chimiques, L'oxyde de silicium est le constituant majoritaire dans la plupart des cas. Pour que les ingrédients se mélangent bien, des fours très chauds jusqu'à 1700°C sont nécessaires lors de la fabrication du verre.

Le verre possède des propriétés physico-chimiques uniques et particulières qui l'empêchent d'interagir avec son environnement d'utilisation, ce qui le rend très apprécié dans la verrerie de laboratoire et même dans le domaine nucléaire et autres.

Semblable aux matériaux composites (béton), le verre est un matériau essentiel pour l'avancement de la science et de la construction moderne. De plus, le verre étant recyclable, il peut être utilisé comme surface dans la production de nouveau verre.

CHAPITRE II :

Les étapes de Fabrication du verre plat dans l'unité

MFG

(Méditerranée Float Glass)

Chapitre II : Etape de technique de fabrication du verre dans MFG.

II. Définition du verre float :

Le verre float (float glass) est un type de verre fabriqué par flottage sur un lit de métal fondu, (généralement l'étain), le plomb et d'autres alliages à bas point de fusion ont été utilisés dans le passé. Cette méthode donne à la feuille du verre une épaisseur uniforme et une surface très plane. [21].

La plupart de verre float est du Silicate Sodo-Calcique, mais il y a d'autres types de verre comme le borosilicate .Le processus de verre flotté est également connu seulement de procédé Pilkington, du nom du Britanniques Sir Alastair Pilkington qui a développé la technique de fabrication dans les années 1950. [22]

Le verre float 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. La figure II.1 schématise le processus de fabrication de verre.

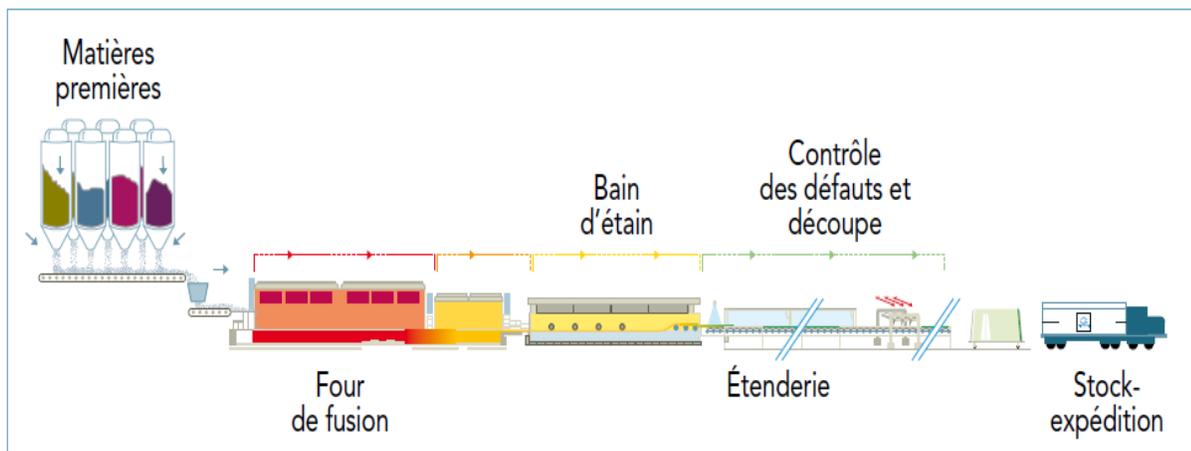


Figure II.1 : Schéma de processus de fabrication de verre float

II.2. Composition chimique du verre silicate sodo-calcique :

1. Le sable siliceux (SiO_2)

La principale matière première utilisée pour la fabrication du verre float est le sable siliceux, qui est présent en quantité excédentaire dans la nature. Les générations futures disposeront elles aussi de quantités suffisantes

La silice fond à une température très élevée (1 710°C environ). Pour faire baisser cette température, on ajoute donc des "fondants", comme la soude, la potasse ou la chaux.

2. Carbonate de soude (Na₂CO₃) :

C'est la source principale d'oxyde de sodium Na₂O qui est l'alcalin le plus employé comme un oxyde modificateur qui dépolymérise le réseau des oxydes formateurs, abaisse la température de fusion, augmente le coefficient de dilatation et la conductivité électrique. Chaque molécule de Na₂O, provoque la coupure d'une chaîne : -O-Si-O-Si-O, et la transformation en deux groupements : O-Si-O [21]. La figure II.2 représente une liaison SiO et l'introduction d'une molécule NaO dans réseau de silice .

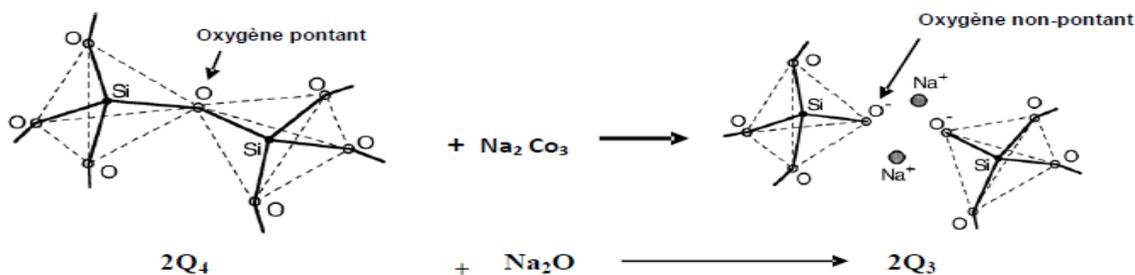


Figure II.2: Rupture d'une liaison SiO introduction d'une molécule NaO réseau de silice.

3. La dolomie (CaMg(CO₃)₂):

La dolomie est une roche carbonatée contenant à la fois de la chaux et de la magnésie dans des proportions sensiblement égales. L'oxyde de magnésium (MgO) est ajouté essentiellement afin d'éviter la vitrification. On peut aussi améliorer la résistance chimique du verre en remplaçant une partie de CaO par une quantité équivalente de MgO. C'est pourquoi le MgO est le meilleur stabilisant pour le verre que CaO.

4. Le Calcaire (CaCO₃) :

Le calcaire est riche a plus de 58% en calcium, l'ajout de CaO dans le verre augmente sa résistance à l'attaque chimique, sa densité, son coefficient de dilatation thermique ainsi que son indice de réfraction par contre il décroît aussi sa résistance mécanique. La présence de CaO conduit à un abaissement de la viscosité de verre.



5. Le Feldspath [(K, Na) AlSi₃O₈] :

C'est une matière première difficilement fusible, le feldspath est ajouté afin d'améliorer la résistance chimique et augmenter la viscosité à basse température. Lorsque on ajoute l'oxyde Al₂O₃ dans un verre contenant des alcalins, le Al³⁺ va avoir une possibilité de se substituer à Si⁴⁺ dans le réseau si à son voisinage se trouve un Na⁺ qui compose la charge négative excédentaire. Chaque Al₂O₃ ajouté fait disparaître la paire d'oxygène non-pontant.

6. Sulfate de sodium (Na₂SO₄) :

Il constituait dans le passé la source première d'oxyde de sodium dans l'industrie du verre. Il a été remplacé par le carbonate de sodium depuis la fabrication de ce dernier par le procédé SOLVAY. Toutefois, il est encore présent dans la composition en petite quantité compte-tenu de son rôle dans les phénomènes de fusion et d'affinage.

7. Charbon :

Le charbon est une roche sédimentaire utilisé comme combustible. Il est formé à partir de la dégradation partielle de la matière organique dans des plantes, il est considéré comme un très bon adsorbant pour quelques opérations unitaires.

Il est utilisé dans le mélange vitrifiable comme un réducteur d'oxygène libéré lors de la décomposition de Na₂SO₄ selon la réaction suivante :

**8. Oxyde de fer :**

L'oxyde de fer possède d'une bonne conductivité thermique il a alors un rôle d'assurer la stabilité de régime thermique dans le four de fusion. L'oxyde de fer est considéré aussi comme un agent colorant, il donne au verre sa couleur verdâtre, C'est un régulateur de la transmission lumineuse du verre.

9. Le calcin (ou groisil) :

C'est du verre cassé recyclé ajouté aux matières premières mises en œuvre pour fabriquer le verre. Son emploi a une grande importance car il permet d'abaisser le point de fusion de ce dernier de consommer moins d'énergie pour que le mélange vitrifiable et de réduire les émissions de CO₂.

II.3 LES ETAPES DE FABRICATION DU VERRE PLAT FLOAT :

L'industrie du verre passe par plusieurs étapes qui sont résumées dans la figure II.3 :

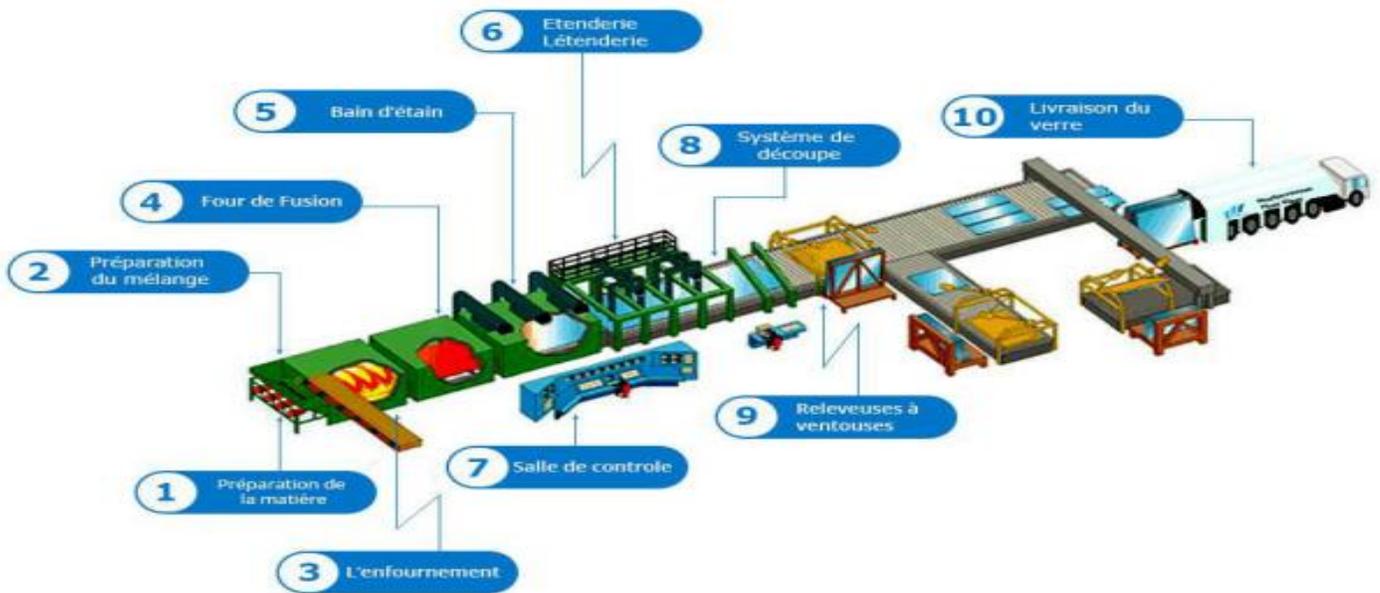


Figure II.3 : Etapes de fabrication du verre plat

Le diagramme suivant montre les étapes et les matières premières pour la fabrication du verre :



1. Enfournement des matières premières :

Les matières premières sont contrôlées et stockées au niveau de l'atelier « composition » qui est composé de grands silos de stockage. Dans lequel sont stockées les différentes matières premières.

Les différents éléments constituant la matière première sont pesés, mélangés puis acheminés vers le four dans des bandes transporteuses. Le four est équipé de quatre enfourneuses de la matière première. Les enfourneuses utilisées ont été fabriquées par la société ZIPPE d'Allemagne.

2. Le four de fusion :

Le four utilisé au sein de MFG est de type régénérateur (brûleur latéraux) à flamme transversale dont sa structure assure le maintien de la température entre 1500 et 1600°C. La figure II.4 représente une vue générale d'un four à régénérateurs.

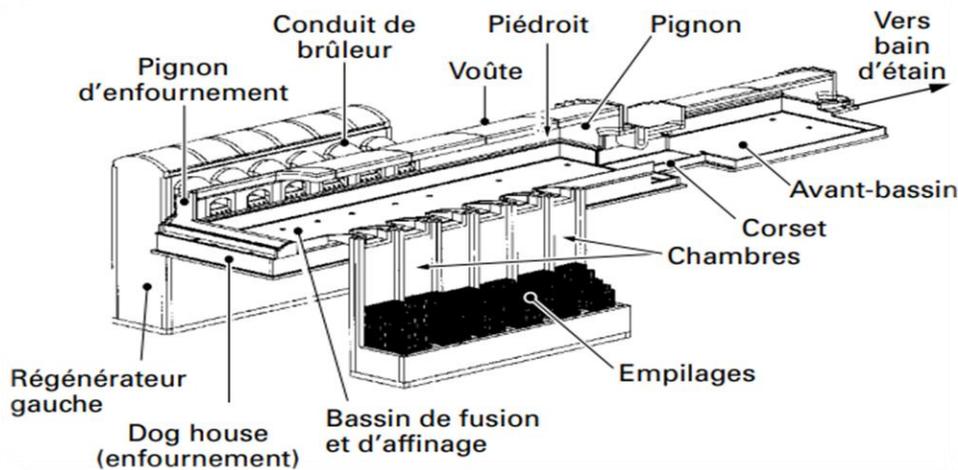


Figure II.4 : Four "float" Régénérateurs brûleurs latéraux.

A. Conception du four :

Le four à régénérateurs ou four à inversion est basé sur le principe du four Siemens Martin (utilisé en aciérie). Il est équipé de deux séries d'orifices appelés colliers de brûleurs, localisés dans les piédroits ou dans le pignon du four. Ces orifices fonctionnent alternativement :

- soit comme départ de fumée ;
- soit comme arrivée d'air de combustion ; l'intervalle entre deux inversions se situant entre 20 et 30 min. Des conduits (figure II.5) relient les colliers de brûleurs à deux ensembles de régénérateurs constitués par des chambres en maçonnerie à l'intérieur desquelles sont installées des pièces en réfractaires, « l'empilage », au travers duquel circulent soit les fumées,

- soit l'air de combustion à réchauffer. Les pièces réfractaires constituant l'empilage reposent sur des entretoises supportées par des voûtains. Lorsque les fumées traversent l'empilage, elles lui cèdent une partie de leur chaleur sensible ; l'empilage restitue ensuite cette chaleur à l'air de combustion [23].

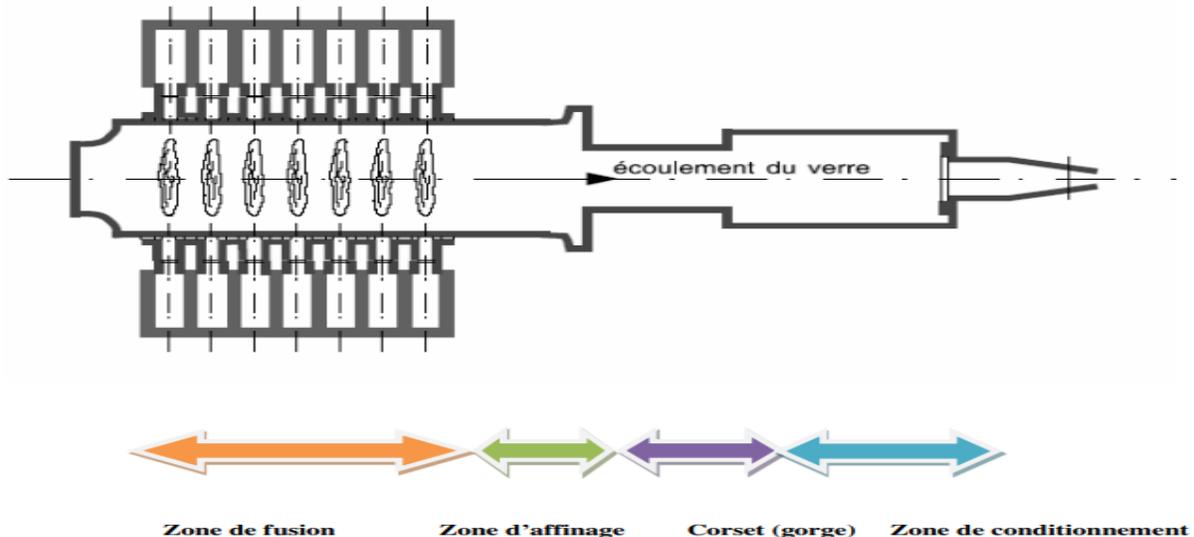


Figure II.5: Les différentes zones du four .

Le four à régénérateurs à brûleurs transversaux est constitué essentiellement des briques réfractaires qui résistent à la chaleur, avec une couche externe des briques d'alumine qui minimisent les pertes de chaleur, soutenu à l'aide d'une structure en acier refroidie en permanence. Ces dispositifs permettent de recycler efficacement l'énergie de combustion amenée par les gaz brûlés (d'où son nom régénérateur). Cette conception répond aux différentes étapes d'élaboration du verre, qui se décompose en différentes phases (fusion, Affinage, Conditionnement) auxquelles correspondent différentes zones :

a) Zone de fusion :

La zone de fusion permet, comme son nom l'indique, de transformer la matière première en verre fondu. Elle se compose essentiellement d'un bassin en réfractaire, de bouillonneurs et parfois d'électrodes de fusion afin de contribuer au bon mélange des matières premières par l'intensification des courants de convection du verre. Cette partie du four est notamment caractérisée par des dégagements gazeux et par la formation de bulles dans le verre, provoquées par les impuretés contenues dans les silicates d'alcalins et les silicates de calcium [24].

Elle comporte plusieurs parties complémentaires entre elles (corps de fusion, colliers brûleurs, chambres régénératrices, système d'inversion, canaux principal et secondaires) (voir figure II.6) .

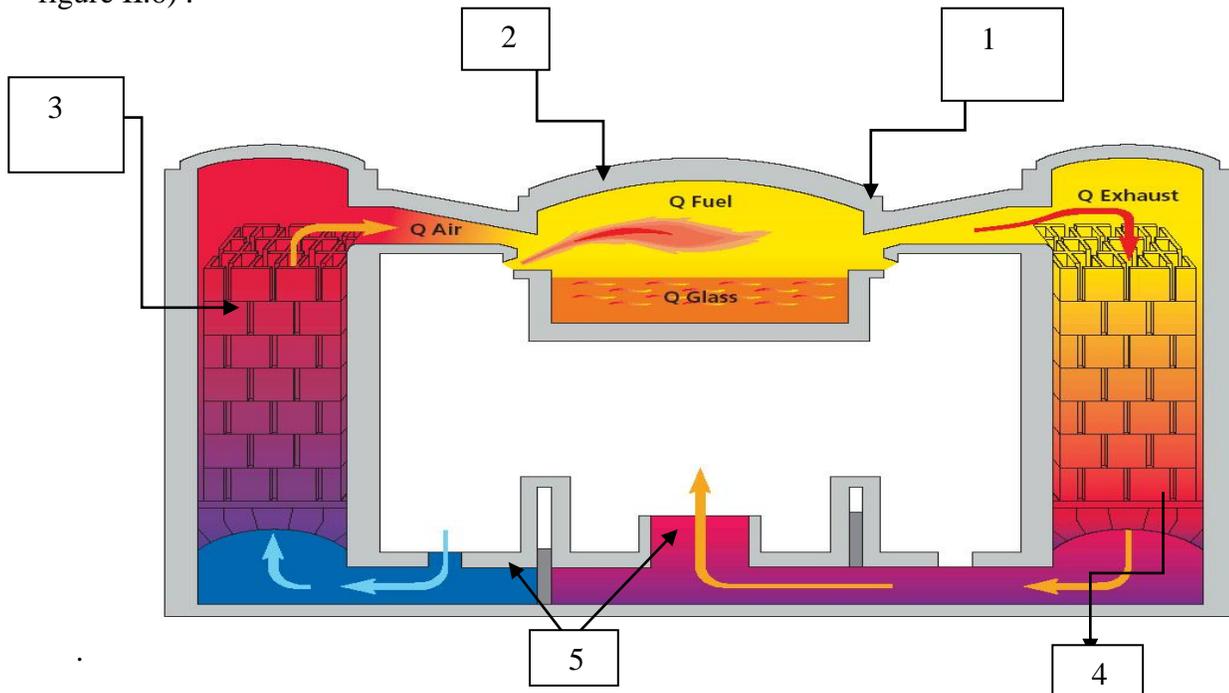


Figure II.6: Fonctionnement d'un four à régénérateurs.

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------|
| 1. Corps du four | 3. Chambres régénératrices |
| 2. Colliers de brûleurs | 4. Système d'inversion |
| 5. Carneaux principal et secondaires | |

1. Corps de fusion :

C'est un bassin où se trouve le volume du verre généralement appelée paroi de cuve. Elle est constituée en briques AZS (alumine, zirconium 41%, silice), sur-plantée par une voûte en briques de silice. Sur chaque côté il y a sept chambres de régénération où ports, avec 03 injecteurs à flamme horizontale et à haute pression. Sauf le dernier port, il en a deux.

Ces injecteurs permettent l'introduction du gaz CH₄ pour l'allumage des flammes qui peuvent atteindre une longueur de 8m, soit $\frac{3}{4}$ de la longueur du four.

2. Chambres régénératrices :

Les chambres de régénération (la figure II.7) sont reliées au four par les colliers de brûleurs, qui sont conçus d'une couche interne de brique en silice et d'une couche externe de brique en aluminium.

Les colliers permettent la circulation de l'air et l'évacuation des fumées vers l'extérieur. Les chambres de régénération sont conçues en briques d'empilage (figure II.8) à l'intérieur qui supportent des températures atteignant les 1500°C. Elles fonctionnent suivant l'allumage de la flamme, elle permet l'alimentation de la flamme en air d'un côté, et permet d'évacuer la fumée et maintenir la brique chaude par la chaleur de l'autre côté d'où le terme de régénérateur.

L'inversion est assurée par un système mécanique qui permet d'inverser la flamme de part et d'autre chaque 20 min. Les fumées sont évacuées dans un long couloir appelé carneau principal vers une cheminée d'une longueur de 82.5mètres .



Figure II.7: La chambre régénératrice

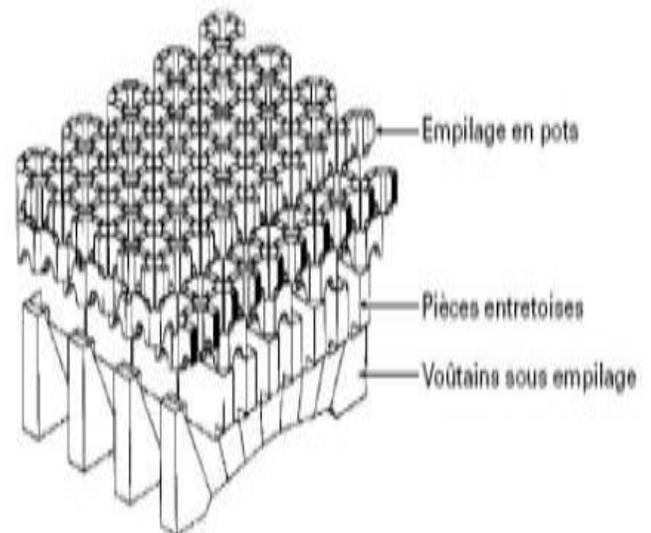


Figure II.8: Brique d'empilage de la chambre régénératrice[23].

b) La zone d'affinage :

Dans le mélange vitrifiable en fusion, il est nécessaire d'expulser les bulles de gaz provenant des différentes réactions chimiques mais également de l'air situé entre les matières premières et de l'évaporation de l'eau. Cette étape nécessite la présence d'agents affinant tel que du sulfate de sodium dans le mélange de départ. Une élévation de la température entre 1450°C et 1530 °C (pour diminuer la viscosité du verre fondu) et parfois une agitation mécanique ou l'insufflation d'air [25].

c) La gorge :

Il s'agit d'une réduction intermédiaire entre la zone d'affichage et la zone de conditionnement. Permet d'ajuster le débit de verre. Dans cette zone, il y a un barrage pour détecter les impuretés flottantes sur la surface du verre et un malaxeur horizontal pour assurer l'uniformité du liquide. Les briques murales sont fabriquées en AZS-33 (33 % Zr).

d) Le conditionnement :

Une zone de travail ou de conditionnement thermique permet ensuite le refroidissement du mélange jusqu'à une température où la viscosité du verre sera adaptée à sa mise en forme (typiquement entre 1300 et 1000°C). Cette partie est composée de canaux de distribution ou « feeders » qui servent à l'approvisionnement en verre des machines et assurent son homogénéité thermique [26].

Parmi les bénéfices de cette opération on retiendra la stabilité de régime thermique dans le four et donc la diminution des défauts et l'augmentation de rendement [27].

3. Le bain d'étain :

C'est un système fermé avec une atmosphère constituée d'un contrôle de l'azote et d'hydrogène.

Pour éviter la contamination de l'étain.

Le verre fondu homogénéisé sort du four est acheminé vers le bain d'étain, le verre « flotte » sur ce dernier à cause de sa densité à température (1100 °C) (la densité du verre de 2,5 g/cm³ et celle de l'étain est de 7,2 g/cm³).

A ce stade, le verre s'est refroidi pour atteindre une température de l'ordre de 600 C°

3.1.Principaux composants du bain d'étain :

A.Canal d'écoulement :

Le canal est une structure composée de briques en corindon α - β électro fondu. Il doit assurer :

a) La connexion avec le four et le bain d'étain (figure II.9) doit être compact, afin que le liquide de verre ne puisse pas s'échapper.

b) Empêcher l'atmosphère du four de pénétrer dans le bain d'étain et d'affecter la qualité du verre.

c) Réduire au minimum l'échappement du gaz protecteur du bain d'étain [24]. La température d'entrée du verre liquide est de l'ordre de 1100°C.

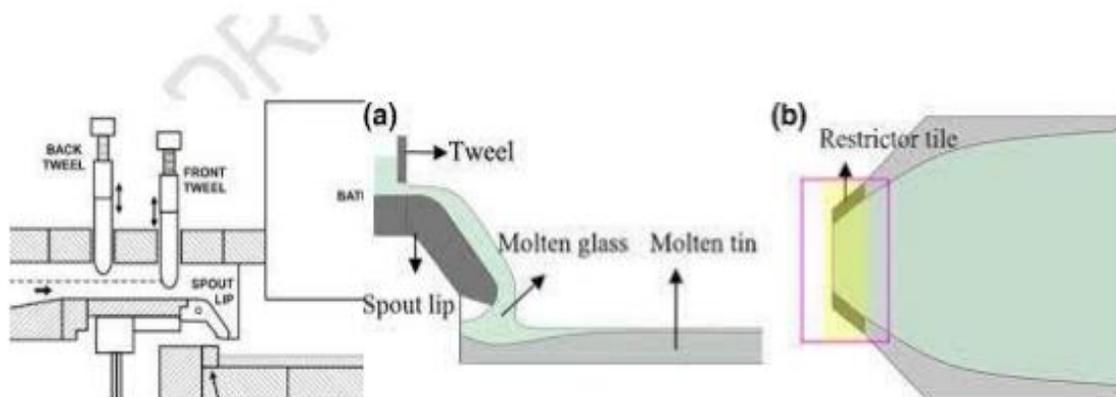


Figure II.9: Canal et spout-lip (a) canal (b) haut spout-lip.

Le bain d'étain (figure II.9) se compose d'une enveloppe métallique supérieure et une autre enveloppe métallique inférieure, protégée de l'étain par des réfractaires spéciaux qui sont fixés dans les structures métalliques. Il mesure environ 60 m de long sur 8 m de large et contient près de 200 tonnes d'étain pur.

Un système de contrôle de la température du ruban de verre et du formage est minutieusement vérifié pour garantir une maîtrise optimale du ruban de verre.

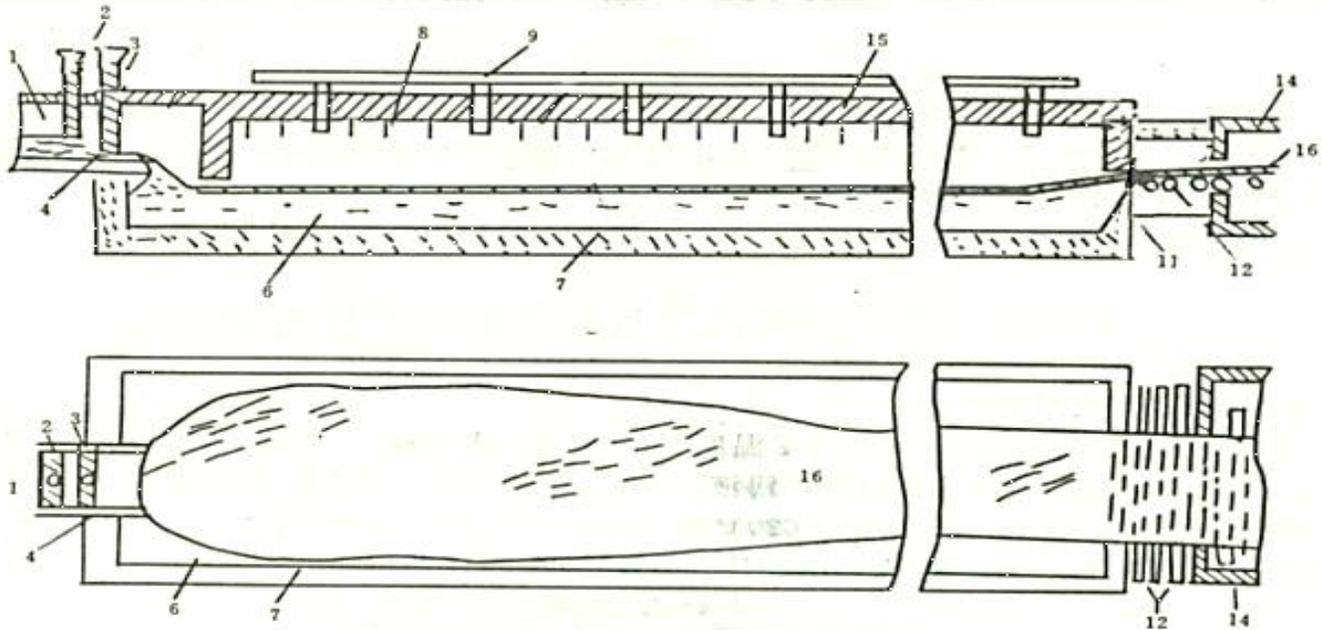


Figure II.10: Schéma d'un bain d'étain[24]

1. Canal 7. Réchauffage électrique supérieur du bain d'étain
2. Tweel obturatrice 8. Tuyauterie de gaz de protection
3. Tweel régulatrice 9. Sortie du bain d'étain
4. Spout-lip 10. Rouleau t'entraînement de lift Out Rolls
5. Liquide d'étain 11. étenderie
6. sole du bain d'étain 12. Couvercle du bain d'étain
13. ruban de verre

B. Les Top Rolls :

Il s'agit de roues en acier rotatives refroidies à l'eau qui sont poussées dans le verre près des bords du ruban. Ses axes de rotation sont horizontaux mais font un angle avec la direction occasionnelle de la barre qui tend à produire l'expansion de la feuille et est donc mince. Parce qu'ils ne touchent que la surface supérieure du verre, ils sont appelés Top_Rolls

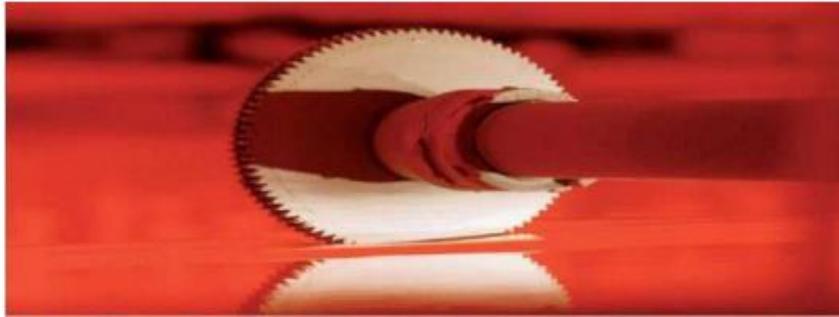


Figure II.11: Top Roll en contact avec le ruban du verre.

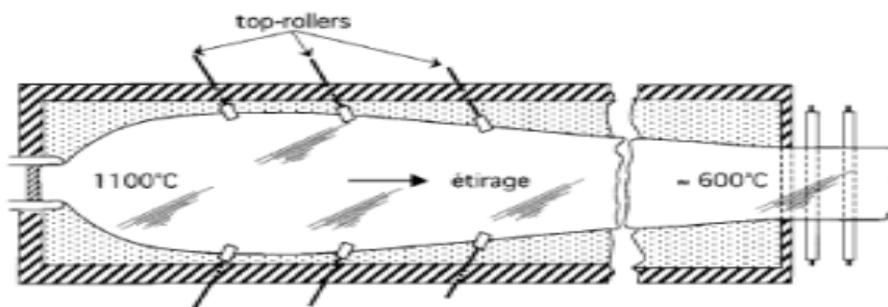


Figure II.12: Représentation du bain d'étain.

Leur mise en œuvre est maintenant bien maîtrisée ; elles sont universellement utilisées, même pour obtenir du verre épais. Pour un débit de verre fixé et une largeur imposée de la feuille, son épaisseur est déterminée par les Top Rolls avec les mouvements suivants :

- a. Un mouvement transversal pour déterminer la pénétration
- b. Un mouvement rotatif pour déterminer la vitesse d'écoulement du verre
- c. Un mouvement latéral pour déterminer les ongles horizontaux
- d. Un mouvement vertical pour déterminer l'impression [28].

- **Gaz de protection :**

L'introduction d'un mélange gazeux azote / hydrogène dans le bain d'étain pendant la fabrication de verre plat peut aider à empêcher la formation des défauts dans le verre et à protéger les équipements dans lesquels le verre est mis en forme.

Une cuve de flottage consomme en moyenne de 1400 à 1600 m³ /h d'azote haute pureté, et de 80 à 130 m³/h d'hydrogène haute pureté pour constituer l'atmosphère réductrice, soit une concentration de 4 à 10%.

L'effet de l'entrée du gaz protecteur dans la cuve d'étain est d'empêcher l'oxydation de ce dernier (tableaux II.1), car l'étain est facilement réactif avec l'oxygène à haute température. Donc on ajoute ces gaz pour éviter la contamination de bain avec l'oxygène, selon les réactions suivant :



Tableau II-1: Température de la fusion des oxydes d'étain

Nom du composé	Etain pur	Monoxyde d'étain	Dioxyde d'étain
Formule chimique	Sn	SnO	SnO ₂
Température de fusion	232°C	1129°C	1630°C

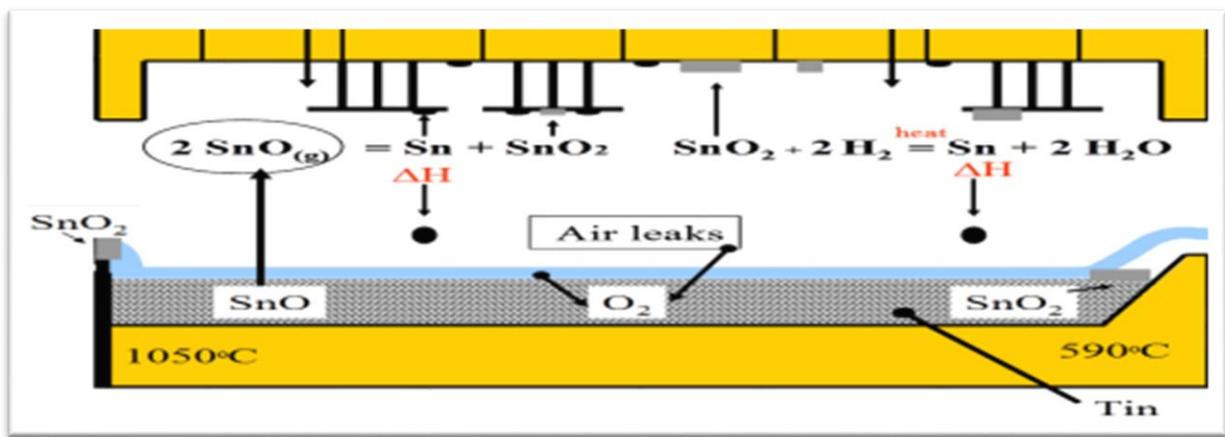


Figure II.13: Processus de contamination d'étain.

C'est pour éviter la contamination que le bain d'étain est chauffé électriquement par des résistances (figure II.14). Donc pas d'introduction de flamme et par conséquent pas d'oxygène. En fonction des exigences de chaque zone de formage du verre, la puissance de chauffage électrique et la zone de contrôle de la température sont raisonnablement disposées le long du bain.

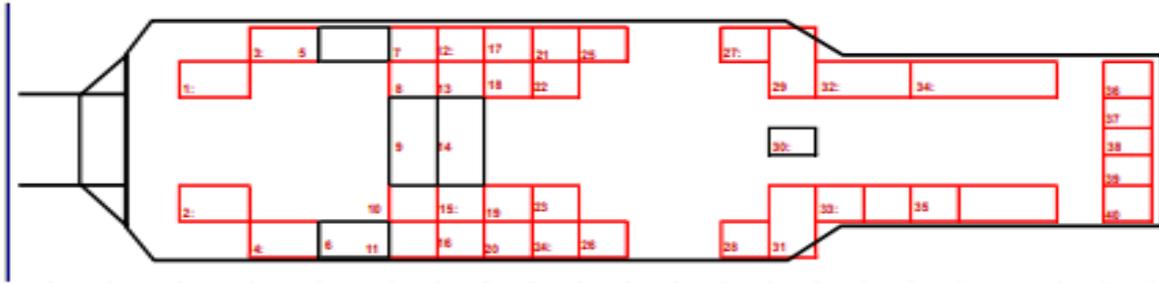


Figure II.14: Schéma représentatif des résistances électrique dans le bain d'étain et leur position.

C. Les refroidisseurs :

Les refroidisseurs dans le bain d'étain servent principalement à extraire la chaleur du verre dans ce dernier. Cette extraction peut s'effectuer sur la base de deux principes physiques différents : le refroidissement par rayonnement, effectué à l'aide d'éléments de refroidissement situés au-dessus du ruban de verre, et le refroidissement par convection indirect, réalisé par des refroidisseurs au sein du bain d'étain. Habituellement, ces éléments de refroidissement sont utilisés par paires de part et d'autre du bain d'étain.

La température du ruban de verre dans le bain d'étain peut être contrôlée au moyen d'une grande variété de refroidisseurs. La température de sortie est environ 600°C [24].

D. Dross-Box:

La Dross-Box est située à l'extrémité du bain d'étain composée de trois (03) rouleaux inclinés, servant à faire sortir le ruban de verre du bain vers la zone de recuit (étenderie) en évitant la perte d'étain lors du mouvement du ruban du verre. Elle est appelée aussi exit-lip ou LOR (Lift Out Rolls, rouleaux de sortie).

La Dross-Box (figure II.15) contient aussi quatre (04) rideaux en inox situés en haut qui assurent l'isolation du bain d'étain en arrêtant la pénétration de l'oxygène dans le

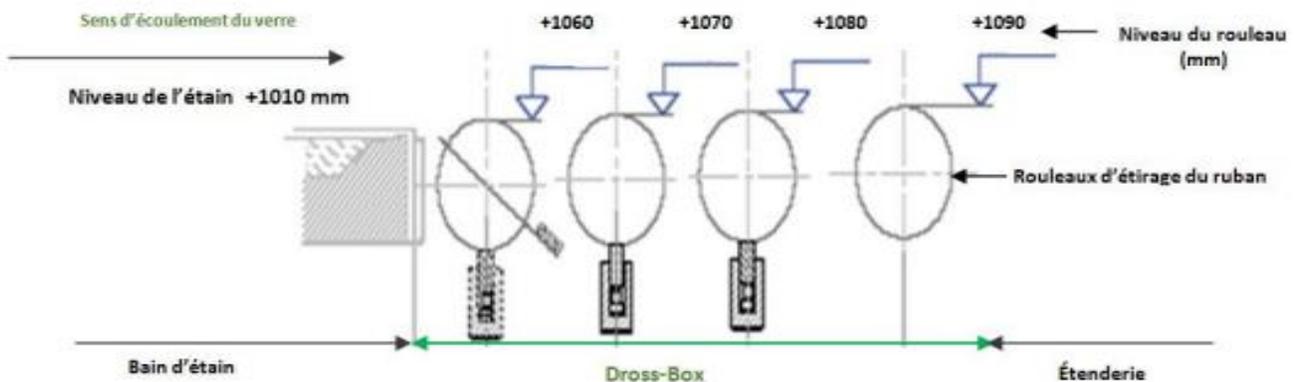


Figure II.15: Coupe schématique de Dross Box.

4. Etenderie :

Après le bain d'étain, le ruban de verre passe dans un couloir de refroidissement appelé Etenderie (recuit) dont la longueur dépasse 114,5 mètres. Il y est refroidi d'environ 600 à 50°C. Ce refroidissement lent et contrôlé évite toute formation de tensions internes. C'est un élément important dont dépend la qualité du traitement ultérieur. L'Etenderie est divisé en deux zones, chaque zone est constituée de plusieurs sections.

➤ La zone isolante (A, B1, B2, C): le mode de refroidissement utilisé dans cette zone est le processus de radiation thermique, il est assuré au moyen des tubes disposés tout au long de la zone.

* La section A : est un système de refroidissement indirecte pour évite le choc thermique.

*les sections B1, B2, C : sont des systèmes derefroidissement à contre-courant.

➤ La zone de refroidissement (RET, F1, F2, F3): le processus de Refroidissement utilisé est celui de la convection forcée. Des résistances et des ventilateurs permettent un contrôle précis de la température dans le sens longitudinal et transversal du ruban :

- Les résistances électriques sont installées dans les bords des deux côtés de l'étenderie.

- La ventilation est assurée par 11 ventilateurs :

- 6 ventilateurs dans la zone isolante (deux dans chaque section).

- 5 ventilateurs dans la zone de refroidissement (un dans chaque section)

- La section RET : est un système de refroidissement directe, mélange de l'air chaud avec l'eau froid.

Pendant le temps de résidence du verre dans l'étenderie, du SO₂, est vaporisé sur la surface du ruban :



Ce traitement sert à protéger le verre pendant le contact avec les rouleaux et augmenter la durabilité du verre en milieu acide ou neutre

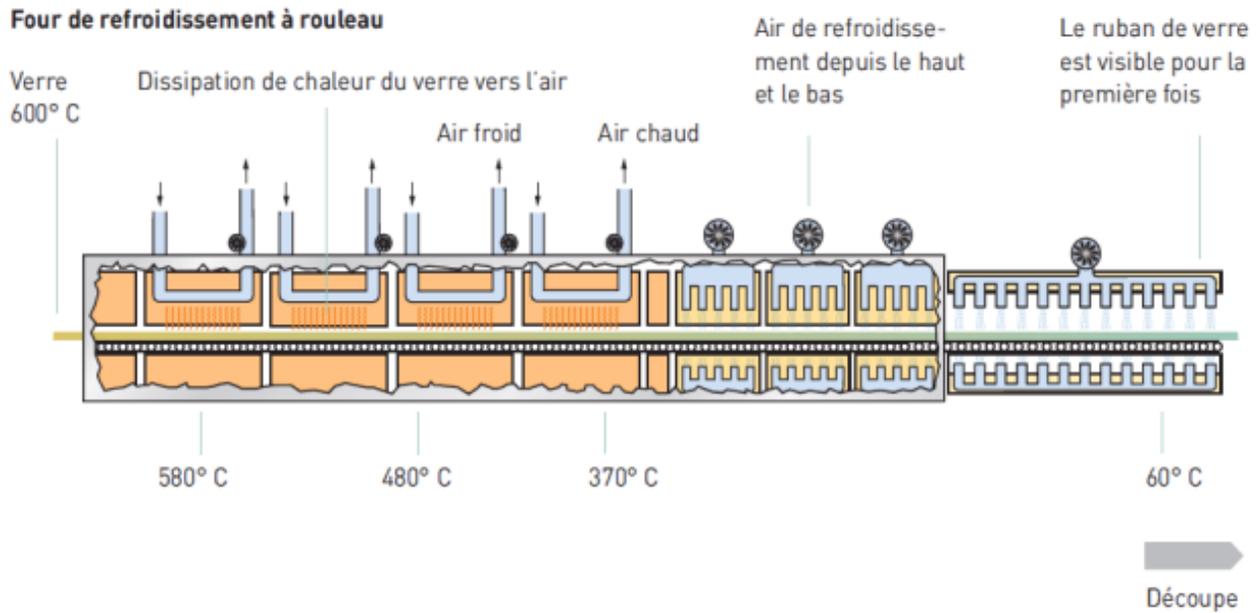


Figure II.16: Schéma descriptif de l'étape de recuit.



Figure II.17: L'étenderie de la float line.

5. Découpage :

La dernière section de production est appelée « bout froid ». Elle comprend le contrôle qualité et la découpe. Le ruban de verre est contrôlé en continu à l'aide de rayons laser afin de détecter la plus petite imperfection car il est rare de pouvoir détecter à l'œil nu les zones qui ne répondant pas aux exigences de qualité.

Le verre est ensuite débité et empilé, en plaques standards de 6000 x 3210mm. Le verre peut également être directement préparé aux dimensions souhaitées par le client à l'aide d'une ligne de coupe séparée [30].

Les épaisseurs qui peuvent être produites peuvent varier de 2 à 19mm avec les formats donnés dans le tableau II.2 suivant:

Tableau II-2: Les différents formats de la feuille fabriquée du verre .

Format	PLF	DLF	1/2DLF
Dimension (mm x mm)	3210x6000	2000x 3210	2000x 1605
	3210x 5100	2250x 3210	2250x 1605
	3210x 4500	2400x 3210	2400x 1605
		2550x 3210	2550x 1605
		2600x 3210	2600x 1605

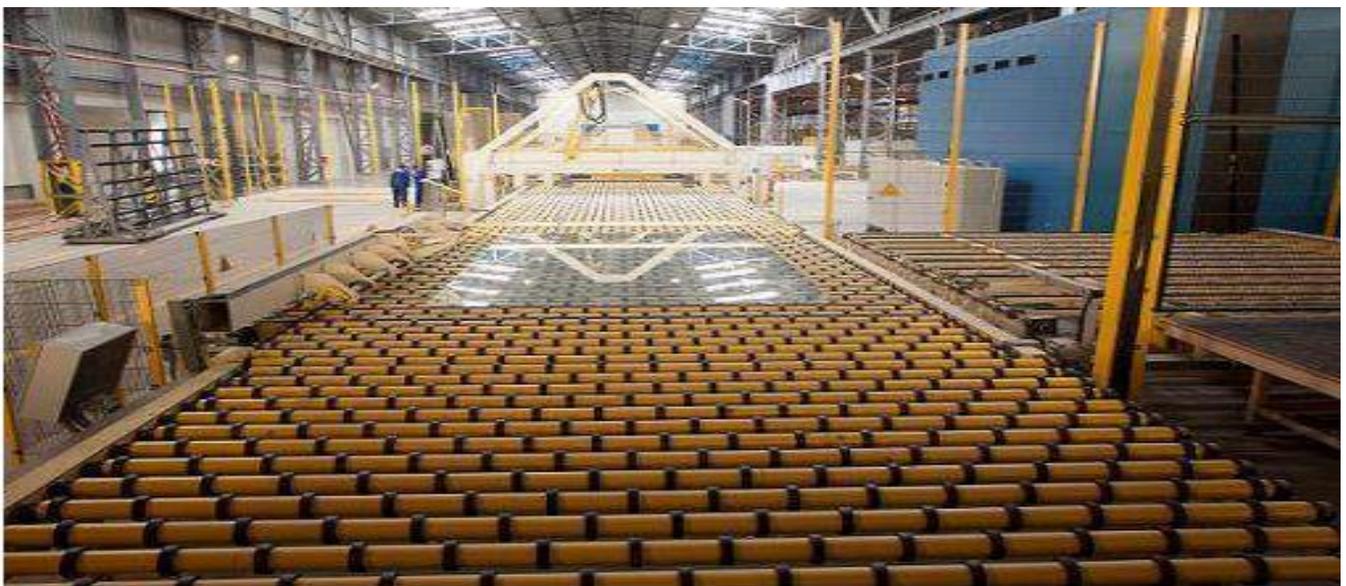


Figure II.18: Ligne de découpe

6. Le contrôle qualité :

On y effectue les différents tests afin de détecter, classer et dimensionner les différents défauts, on vérifie ainsi la conformité du verre aux normes de consommation. Au niveau de MFG, on effectue les tests suivants :

1. Le test zébra : pour déterminer l'angle de déformation optique (la norme internationale est de 45°).
2. Le test de la lumière latérale: L'échantillon est latéralement traversé par une lumière blanche, ça permet de bien visualiser les défauts.
3. Le test de pupitre lumineux : la surface de l'échantillon est exposée à la lumière blanche afin de localiser les défauts

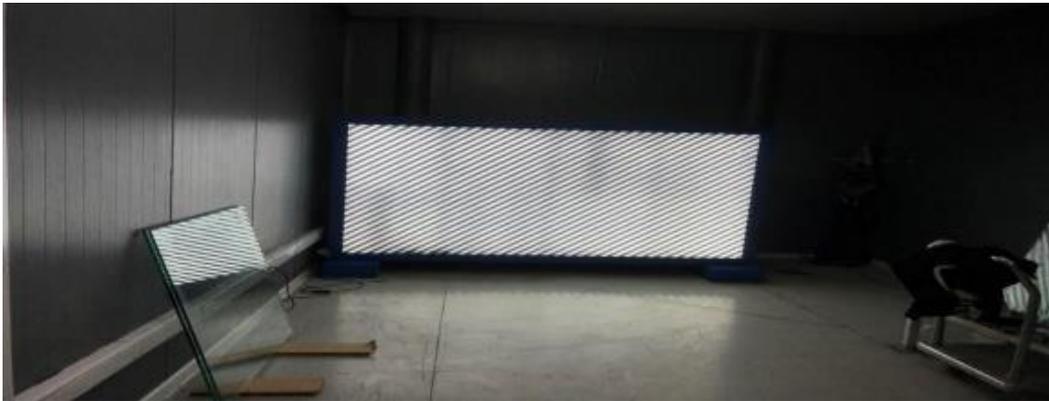


Figure II.19: Test zébra.

Pour une vérification approfondie, une examination de l'échantillon du verre est effectuée à l'aide de microscope optique.

Des essais de découpage manuel sont effectués pour contrôler le comportement du verre vis-à-vis l'outil coupant.



Figure II.20: Le pupitre lumineux.

7. Stockage :

La phase de stockage est la plus délicate de la « vie » d'un verre float. Les différentes plaques de verre sont séparées à l'aide de poudres intercalaires (ex. leucite) puis emballées et laissées en attente avant la commercialisation. Dans la majorité des cas les magasins ne sont pas pourvus d'un système de contrôle de la température et de l'humidité relative. Ainsi les verres sont soumis à des cycles de condensation évaporation qui provoquent une détérioration des deux plaques adjacentes sur les hydroxydes formés à partir de Na^+ et Ca^{2+}). Parfois l'altération est très importante car le rapport surface de verre/solution altérante est élevée des piqûres se forment [25].

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les étapes de production de verre plat flottant.

Le mélange de matières premières est amené au point de fusion et le verre liquide est versé dans un moulage continu du four sur le bain d'étain lui-même eu fusion. Le verre, moins dense, flotte sur l'étain et forme une surface parfaitement plane des deux côtés.

Le procédé de verre flottant consiste à faire flotter une bande de verre sur un bain d'étain fondu, créant naturellement une surface lisse.

Chapitre III :
Problématique, étude, analyse et solutions proposées

Chapitre III : Problématique, étude, analyse et solutions proposées

III. Objectif

Le but de cette étude est d'identifier les pertes de toutes sortes et d'augmenter les revenus et les ventes. Pour le processus de développement de MFG et de verre plat, il est plus facile de maîtriser des techniques de fabrication avec certaines épaisseurs par rapport à d'autres mais cette matière génère beaucoup de pertes sur la ligne de la fabrication.

Notre travail vise à porter un regard neuf sur les facteurs qui affectent, les rendements de production.

Un des points qu'il faut aborder en priorité est de trouver le défaut et les causes de pertes au niveau des lignes de production.

Dans un second temps, nous traiterons et analyserons les pertes liées à l'activité de fabrication du verre et élaborerons des pistes d'amélioration afin d'atteindre notre objectif qui est l'augmenter les performances et donc augmenter les bénéfices de l'entreprise.

III.2 Pertes en rendement issues des matières premières:

1. Consommation des matières premières et origines :

Les matières premières utilisées à MFG sont données dans le tableau III.1 ci-dessous :

Tableau III-1: Consommation des matières premières dans MFG

N°	Matières premières	Composition	% introduction par batch	Consommation journalière tonne/jour	Provenance
1	Sable siliceux	SiO ₂	60,18%	349,100	local
2	Carbonates de sodium	Na ₂ CO ₃	18,33%	106,347	USA/Espagne
3	Dolomie	CaCO ₃ . MgCO ₃	16,63%	96,466	local
4	Calcaire	CaCO ₃	3,25%	18,862	local
5	Feldspath	SiO ₂ . Al ₂ O ₃	0,85%	4,942	Espagne
6	Sulfate de sodium	Na ₂ SO ₄	0,72%	4,189	Espagne
7	Charbon	C	0,03%	0,203	Espagne
9	Calcin	verre MFG	25%	190,241	local

Les matières premières en granulés comme le sable et calcin, appelées matières en vrac, sont stockées dans des box et manipulés à l'aide des grands engins. Les autres matières sont des matières déjà préparées, stockées dans des grand-bags d'une tonne en moyenne et sont

parfaitement sèches. Les matières premières en petites quantités tel le charbon sont livrées en sacs de 25Kg. Il est demandé des qualités particulières de pureté et de stabilité à suivre :

- Une granulométrie qui doit être ni trop fine, pour éviter la formation de poussières, ni trop élevée pour ne pas ralentir la vitesse de fusion
- Absence de minéraux lourds infusibles.
- Une teneur en humidité limitée sur certains produits sensibles à la prise en masse (par exemple silicium est la plus forte utilisation dans le production de verre, la différence de l'humidité peut causer une différence chiffre pesé de quel que kilogramme. Il est nécessaire d'effectuer une compensation particulière pour mouvement de l'humidité de silicium à améliorer la précision.

Le Silicium est la plus forte utilisation dans le production de verre. La différence de l'humidité peut causer une différence chiffre pesé de quel que kilogramme. Il est nécessaire d'effectuer une compensation particulière pour mouvement de l'humidité de silicium à améliorer la précision.)

Les pertes des matières premières au niveau de l'atelier composition se divise en deux parties :

- Pertes lors de la manutention et le stockage des matières premières.
- Pertes lors du mélange et du transfert vers le four

A. Perte lors de la manutention et le stockage des matières premières :

- a) Prix de la matière première:

Tableau III-2: Tableau prix de matières premières.

	Poids/batch en Kg	Prix unitaire DZD/tonne	Prix MP/batch/Kg
Sable Siliceux	2960,63	5 000,00 DZD	14 803,15 DZD
Carbonate de sodium	938,84	60 000,00 DZD	56 330,40 DZD
Dolomie	851,61	5 000,00 DZD	4 258,05 DZD
Carbonate de calcium	166,52	5 000,00 DZD	832,60 DZD
Feldspath	43,61	25 000,00 DZD	1 090,25 DZD
Sulfate de Sodium	37,00	35 000,00 DZD	1 295,00 DZD
Poudre de Charbon	1,79	140 000,00 DZD	250,32 DZD
Cout unitaire moyen d'un batch de 5000Kg	50007		78 859,77 DZD/kg
Cout unitaire moyen d'une tonne de MP	1000		15 771,95 DZD/tonne

b) Problème de fuites lors du chargement :

Les matières sont stockées dans des silos intermédiaires qui sont remplis automatiquement par des élévateurs à godets. La fuite au niveau de ces derniers peut avoir différentes origines. Cela peut être dû à une mauvaise étanchéité des garnitures mécaniques des arbres de commande, des défauts de serrage des raccords etc...

Les pertes sont ramassées chaque un-deux mois selon le taux de remplissage des fosses. Les matières sont mélangées et ne peuvent pas être séparées, donc le taux de chaque matière ne peut pas être déterminé. Lors de l'évacuation, ces matières sont pesées avant d'être déclassée définitivement et déduite des quantités initiales présentes. Selon les données MFG, 30 à 40 grand-bags sont extraits à chaque fois. La même quantité est évacuée de la fosse de sable chaque 3 mois.

Tableau III-3: Estimation des pertes du aux des matières premiers par rapporte la durée de chaque matière.

	Nbr de big-bags	durée	Prix unitaire/ tonne	Coût de perte en MP durant la période	Coût de perte moyen par mois
Sable Siliceux	50,00	3 mois	5 000,00 DZD	250 000,00 DZD	83 333,33 DZD
Carbonate de sodium	21,12	2 mois	60 000,00 DZD	1 267 052,75 DZD	633 526,38 DZD
Dolomie	19,16	2 mois	5 000,00 DZD	95 777,31 DZD	47 888,65 DZD
Carbonate de calcium	3,75	2 mois	5 000,00 DZD	18 727,86 DZD	9 363,93 DZD
Feldspath	0,98	2 mois	25 000,00 DZD	24 535,50 DZD	12 267,75 DZD
Somme des pertes enregistrées				1 656 093,42 DZD	786 380,04 DZD

Remarque :

Dans ce tableau ne sont pas représentées les deux autres matières (sulfate de sodium et poudre de charbon) parce qu'il y n'a pas des pertes.

Le calcul des valeurs des matières premières est calculé selon le pourcentage des introductions par batch. La soude dont le pourcentage est de 18% dans la recette va être plus perdue vue que le tonnage journalier est plus grand. Cette mesure a été prise vue l'indisponibilité de moyen pour déterminer le pourcentage de chaque matière perdue.

Ce calcul ne prend pas en compte la paie des équipes qui vont réaliser la prestation d'évacuation ainsi que les coûts de stockage au niveau des décharges destinées pour ce genre de produits.

c) Problème de contamination :

La contamination des matières premières du verre peut entraîner une perte de rendement. Les matières contaminées affectent directement la qualité du verre et donc réduisent la quantité produite. Cela peut également augmenter les coûts de production, car le traitement des matériaux contaminés ne peut se faire vu que les matières sont granulées et la démixtion des grains rend impossible leur séparation.

La contamination peut provenir de diverses sources, principalement erreur de chargement vue que les grand-bags sont recyclés pour assurer l'approvisionnement d'autres matières, erreur d'introduction des valeurs de la nouvelle recette lors du changement de barème. Une dernière source de contamination est l'inattention des travailleurs, qui nécessite un suivi et un contrôle permanent et une gestion très efficace pour éviter la survenue de ce risque.

Une autre contamination peut être enregistrée mais d'un effet moindre, c'est la contamination par des déchets comme le plastique, le bois lors du déclassement du verre réformé.

La perte en rendement en cas de contamination est très grande surtout lorsque la matière est introduite au niveau du four. Pour ce dernier point, MFG a enregistré un cas qui pour une erreur d'introduction de 04 heures, a entraîné un arrêt de production pendant une semaine. Même si la procédure a été modifiée pour éviter ce genre de problème, le risque de contamination persiste toujours. Concernant le 1^{er} point, plusieurs vidanges de silos ont été enregistrés afin d'éviter plus de perte en acheminant le mélange contaminé vers le four.

A signaler qu'un cas a été enregistré au niveau des silos de la ligne de 650T/jr la journée du 22/03 où il y avait mélange du calcaire avec le feldspath à un taux de 4% conduisant à l'augmentation de la densité de défauts et la fragilisation des propriétés mécaniques du verre pendant presque 3 jours.

B. Pertes lors du mélange et du transfert vers le four:**a) Perte lors du mélange (Bad batch) :**

Les bad batch sont généralement le résultat de l'arrêt des malaxeurs au moment du mélange. Ce phénomène est généralement enregistré en cas de chute de tension au niveau de l'atelier composition. A signaler l'absence d'un onduleur de maintien au niveau de la ligne float 2 mais le float 1 est doté d'onduleur.

b) Perte lors du transport :**b-1) Rejet des métaux non-ferreux :**

Afin de purifier les matières introduites au four, un détecteur de métaux non ferreux est installé le long de la bande transporteuse. La sensibilité du détecteur est à contrôler régulièrement. Un équipement trop sensible conduit à des rejets de plus en plus grands.

b-2) pertes sur les bandes transporteuses :

Les pertes de matières premières au niveau des bandes transporteuses peuvent être causées par différents facteurs tels que le mauvais alignement de la bande, une tension inadéquate de la bande, des lacunes entre les rouleaux de la bande ou des goulets d'étranglement. Il peut également y avoir des pertes en raison de fuites ou de déversements de la matière transportée.

b-3) Rejet au niveau enfourneuses :

L'arrivée aux enfourneuses peut être suivie de pertes causées par de défauts de maintenance des équipements.

Le prix de matières premières pour une tonne de verre est de 15 771,95 DZD (à partir de tableau III.2).

	Quantité en tonnes	Coût d'une tonne de MP DZD/tonne	Coût de perte mensuelle MP
rejet Métaux non-ferreux	3,00	15 771,95 DZD	47 315,86 DZD
Bad batch	5,00	15 771,95 DZD	78 859,77 DZD
Rejet enfourneuses	3,60	15 771,95 DZD	56 779,03 DZD
Somme des pertes enregistrées			182 954,67 DZD

Le prix de matières premières pour une tonne de verre est de 15 771,95 DZD.

1. Statistiques globale des pertes de l'atelier composition :

La perte moyenne mensuelle au niveau des matières premières est comme suit :

	Coût moyen de perte mensuelle au niveau de l'atelier composition
Pertes lors de la manutention et le stockage des matières premières.	786 380,04 DZD
Pertes lors du mélange et du transfert vers le four	182 954,67 DZD
Somme des pertes enregistrées	969 334,71 DZD

Solutions préconisées :

- 1- Recyclage des déchets : Les déchets de verre(calcin) peuvent être collectés et recyclés pour être réutilisés dans le processus de fabrication du verre. Cela peut réduire la quantité de matières premières nécessaires pour produire du verre même les pertes des matières au niveau de mélangeur et au niveau de malaxeur.
- 2- Stockage et gestion appropriés des matières premières.
- 3- Les travailleurs doivent être formés pour manipuler les matières premières de manière efficace, minimisant les pertes et les déchets.
- 4- L'utilisation de systèmes de mesure peut aider à suivre la quantité de matières premières utilisées et à minimiser les pertes
- 5- Possibilité utilise système de séchage pour séché le sable avant l'utilisation

III.3 Pertes issues de la fusion :

La fabrication du verre nécessite un processus de fusion à hautes températures ce qui peut entraîner des pertes de chaleur importantes.

III.3.1. Pertes issues du manque d'isolation thermique :

Il faut assurer que le four est bien isolé pour éviter les pertes de chaleur. Des matériaux d'isolation thermique efficaces, tels que la fibre de verre, peuvent être utilisés pour envelopper le four et réduire les pertes de chaleur.

III.3.2. Rendement du four :

Dans le MFG on utilise un four continu donc en régime thermiquement stabilisé, les températures des fumées et de l'air de combustion sont constantes dans le temps et les parois sont en équilibre thermique, ce qui entraîne :

$$Q_{mv} = 0$$

➤ Q_{mv} : pertes dues au réchauffage de parois (KJ/h)

Les fours continus étant assez peu souvent arrêtés et refroidis, l'énergie utilisée durant les périodes de mise en température est souvent négligeable dans le bilan global d'exploitation.

1.3. Rendement de la combustion :

Si l'on considère un combustible quelconque, il est caractérisé, entre autres, par :

- son pouvoir calorifique inférieur ;
- v_{a0} le volume d'air nécessaire à sa combustion en stœchiométrie ;
- v_{f0} le volume de fumées produit par sa combustion en stœchiométrie

Dans les conditions usuelles d'utilisation dans les fours, la combustion se fait généralement avec de l'air en excès (et plus rarement avec de l'air en défaut). Si on appelle e l'excès d'air exprimé en pourcentage, les volumes d'air utilisé et de fumées produites lors de la combustion complète d'une unité de masse (pour les solides et les liquides) ou de volume (pour les gaz) de combustible [31] sont données par

$$V_a = v_{a0} \left(1 + \frac{e}{100}\right)$$

$$V_f = v_{f0} + \left(v_{a0} + \frac{e}{100}\right)$$

- V_f : volume de fumées
- V_a : volume de l'air.

- **Les pertes par les fumées s'écrivent :**

$$Q_f = V_f C p_f T_f$$

Avec :

- T_f : température de sortie de fumées du four (en °C),
- $C p_f$: capacité thermique volumique moyenne à pression constante dans l'intervalle de température 0 °C à T_f

- **La chaleur apportée par l'air s'écrit :**

$$Q_a = V_a C p_a T_a$$

Avec :

- T_a : température de l'air à son entrée dans le four (en °C) ,
- $C p_a$: capacité thermique volumique à pression constante de l'air [32]

- **On appelle rendement de combustion, le rapport :**

$$\eta_c = \frac{PCI + Q_a - Q_f}{PCI}$$

η_c : Rendement de combustion.

PCI : Pouvoir calorifique inférieur du combustible (KJ/Kg).

1.4. Rendement en exploitation

Les rendements précédents sont des rendements instantanés sur une période de temps limitée. Ils sont utilisés pour déterminer les performances d'une installation dans des conditions bien définies [31].

En exploitation industrielle, les conditions d'exploitation sont variables :

- le four n'est pas utilisé en permanence à sa production maximale ;
- certaines installations fonctionnent d'une façon discontinue.

Cela entraîne une consommation énergétique qui peut être sensiblement supérieure à celle obtenue lors d'un essai limité dans le temps. On utilise alors la notion de consommation spécifique C_s qui est le rapport de l'énergie totale utilisée pendant une

période donnée (par exemple un mois) à la quantité de produit chauffé ou traité durant la même période[30].

$$Cs = \frac{\text{gaz} \times PCI}{v}$$

- Cs : consommation spécifique Kcal/Kg de verre
- Gaz : consommation en gaz m³
- PCI : pouvoir calorifique inférieur Kcal/m³
- Tirée : masse de verre produite Kg

Selon les données d'exploitation, la consommation spécifique a changé depuis le démarrage jusqu'à aujourd'hui comme indiqué sur le tableau suivant :

		31-déc-16	15-avr-23	Ecart
Gaz	m ³	116261	119871	3610
V	Tonne/Jour	650	650	0
Cs	Kcal/Kg verre	1553	1506	46,77
1m ³ de gaz =	20,00 DZD			
Perte journalière	72 200,00 DZD			
Perte mensuelle(mois)	2 166 000,00 DZD			

• Interprétation des résultats :

Le tableau représente les pertes dues aux fuites de flamme au niveau du four pendant 7 ans.

- Où l'on constate que la quantité de gaz consommée en 2016 est supérieure à la quantité de gaz brûlée en 2023, il y a aussi une différence d'environ 47.66Kcal/kg, bien que la valeur de la tirée reste constante.
- Les changements antérieurs sont le résultat d'une fuite de flamme due à un manque d'isolation thermique.

Remarque : la fuite de flamme est le résultat de la corrosion des briques d'isolantes à l'intérieur du four en raison de leur contact avec la matière première.

2. Utilisation de verre recyclé (calcin) :

Au niveau de l'unité MFG, il y a des grandes pertes de verre sous forme de calcin (verre brisé) que les ingénieurs de l'entreprise réutilisent à leur tour dans le four en le versant sur la surface du mélange constituant la matière première pour fondre d'abord et permettre aux composants du mélange de fondre à la température appropriée. Il a également un rôle important et efficace dans l'abaissement du point de fusion.

3. Optimisation des processus de production :**3.1. Niveau de verre en mode automatique :**

Il est nécessaire de maintenir le niveau de verre bas pour que les briques thermiques ne se corrodent pas au contact du verre dit coup de sabre montrée sur la Figure III.1 :



Figure III.1 : Photo montrant la corrosion des briques "coups de sabre".

3.2. Contrôle de la flamme :

La forme horizontale de la flamme doit être préservée pour éviter tout contact avec la matière première.

Lorsque la flamme touche la matière première, la taille fine (de MP) s'intensifie dans les régénérateurs, ce qui entraîne blocage de ce dernier.

Les particules fines peuvent obstruer les conduits de gaz, réduisant ainsi le flux de gaz nécessaire pour alimenter le four. Cela peut entraîner une diminution de la température dans le four, ce qui peut affecter la qualité du produit final.



Figure III.2 : Blocage d'ouvertures de régénérateur.

Solutions préconisées :

1. Refaire une bonne isolation du four et colmatage des fuites de flammes
2. Utiliser un mur écran métallique au lieu des briques qui sont facilement dégradables.
3. Respecter la périodicité de la maintenance des injecteurs et respecter les paramètres de la flamme (fusion)
4. Réaliserle calorifugeage de la tuyauterie de gaz afin de stabiliser la température du gaz et éviter trop de manipulation et ajustage des débits en fonction de la température.

III.4 Pertes issues du bain d'étain :

1. Introduction:

Le bain d'étain est la section où est opéré le changement d'épaisseur. C'est une section vitale pour le procédé float. Hormis la stabilité et la pureté des gaz de protection N_2+H_2 , la section engendre des pertes inévitables au niveau des extrémités mais qui peuvent être réduites.

Parmi les pertes qui ont été constatées lors de la pose au niveau du bain d'étain on citera le défaut au niveau de la brique représenté par son soulèvement de son emplacement d'origine suite à une fissure à son niveau en raison de changement constant de l'épaisseur.

Ce défaut est à l'origine de beaucoup des pertes:

- baisse de la qualité des produits,
- perte d'énergie thermique,
- du produit est collecté en tas à l'intérieur de bain.
- Le grande partie financière à la fois pour le produit qui ne convient pas à un usage et aussi pour la valeur de brique.

2. Pertes dues au changement d'épaisseur :

Les pertes de production liées aux changements d'épaisseur sont inévitables compte tenu de la non-conformité des épaisseurs par rapport à la norme EN572. Pour une épaisseur de 4mm, la tolérance est de $\pm 0,2$ mm tandis que pour le 10mm, elle de $\pm 0,3$ mm. Les changements d'épaisseur sont programmés selon les besoins du marché ainsi que la situation des stocks.

	janv.-23	févr.-23	mars-23
Nbre de changement par mois	5	4	7
Perte due au changement (tonne)	101,51	89,91	120,67
Perte monétaire	7 714 760,00 DZD	6 833 160,00 DZD	9 170 920,00 DZD

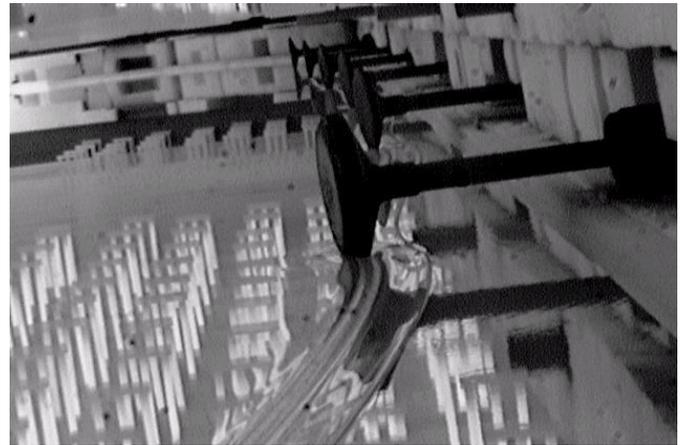
N.B. Sur la base du prix d'une tonne de verre à 76000,00 DZD.

La remarque principale est plus le nombre de changements est réduit, moins il y aura de pertes même si ce n'est pas le seul facteur. La durée du changement est facteur aussi de l'écart d'épaisseur entre celle produite et celle à produire est important. Exemple, le passage du 10mm vers le 6mm peut être réalisé mais le contraire est à éviter. La durée augmente si l'écart

dépasse 2mm. Le changement d'épaisseur est plus facile et maîtrisable en production du 6mm, 5mm et 4mm.

3. Pertes dues aux bords :

Les pertes de bord sont tout simplement les extrémités droites et gauches de la feuille de verre qui contient des traces laissées par les Top-Rollers lors du formage de l'épaisseur au niveau du bain d'étain (voir figure III.3.a). Ces extrémités présentent une énorme quantité de défauts optiques qui ne sont pas tolérés par les normes de fabrication. Ces pertes sont inévitables car elles sont liées au process et les bords sont broyés et recyclés au niveau de la découpe (voir figure III.3.b).



(a) (b)

Figure III.3 : Pertes de bords laissées par Top-Rollers (a), découpe du verre plat (b) découpe des bords

La découpe de bords se fait en deux temps : brute (comme démontré sur la photo) et fine (50mm de chaque côté) pour l'obtention de la largeur utile de 3210mm.

Solutions préconisées :

1. Minimiser le nombre de changement d'épaisseur par mois en allongeant le temps de fabrication des épaisseurs difficiles comme le 3mm, 8mm et 10mm. Il faut tenir en compte la difficulté de production, la demande du marché et la capacité des stocks.
2. Minimiser les pertes de bords en adaptant une nouvelle technique de découpe. Pour une largeur brute de 3580mm, l'écart est de 370mm par rapport à la largeur nette de la ligne, soit un taux égal à 10,34% ($370\text{mm}/3580\text{mm}$). Ce taux est augmenté à 14,40% lors de la production du 8mm et 10mm pour une largeur brute de 3750mm. Pour des raisons techniques, la ligne de notre stage

n'a pas produit du verre mince de 3mm. Les bords sont aussi à un taux de 15% pour une meilleure stabilité du ruban et des rendements.

Afin de réduire ce taux, il faut utiliser la découpe à un seul temps qu'une découpe à 2 temps, soit un gain de 100mm sur la largeur du ruban. La découpe conventionnelle se base sur un traçage d'empreinte de la molette de découpe sur une profondeur de 15% par rapport à l'épaisseur, cependant la maison PENETT a développé des nouvelles molettes capables de réaliser une profondeur allant jusqu'à 90% de l'épaisseur à produire, comme démontré sur la photo ci-dessous (figure III.4)



Figure III.4: Traçage d'empreinte de la molette de découpe

Le calcul estimatif du gain avec une seule découpe des bords est donné dans le tableau ci-dessous. Pour se faire, il faut étudier le changement de l'installation de la découpe ainsi que les molettes et voir les contraintes réelles pour un tel remplacement. Ce calcul est purement théorique :

Tableau III-4 Représente les pertes de bord selon changement le nombre découpe.

	Découpe en 2 temps utilisée actuellement à MFG	Découpe en 1 temps avec utilisation de la molette PENETT
Perte de bords en mm	370	270
Taux des pertes bords	10,34%	7,54%
Tirée	650	650
Rendement prod	84%	86,79%
Poids bords (tonne)	67,17877095	49,02234637
Prix du bords	5 105 586,59 DZD	3 725 698,32 DZD
Gain par jour (écart)		1 379 888,27 DZD
Gain mensuel		41 396 648,04 DZD

Interprétation des résultats :

Le tableau précité représente le taux de perte de bords en fonction du nombre de découpe.

Ce tableau nous montre que :

- si on coupe les bords en 2 temps on obtient plus de perte des extrémités (370mm) par rapport à la découpe en 1 temps (270mm).
- le taux des pertes des bords en 2 temps 10.34% est supérieur au taux des pertes de bords en 1 temps 7.54%
- le rendement de la production augmente si on a diminué le nombre découpe.
- il est nécessaire de changer la méthode de la découpe pour avoir un plus grand de profit et moins de perte puis augmenter le rendement.

A noter que MFG possède deux lignes de production du verre plat, le gain sera alors multiplié par 2.

Le contrôle minutieusement des gaz de protection doit être rigoureux afin d'éviter la contamination du bain d'étain en respectant les conditions suivantes :

- Pureté à 5PPM,
- Point de rosée au niveau du bain à -30°C
- Débit à 4 bars,
- Quantité $N_2 = 2000m^3/h$, $H_2 = 140m^3/h$

Il faut assurer une stabilisation de la pression du bain et la température du verre ainsi que le ruban et éviter la déviation.

III.5 Pertes issues du recuit :

Les pertes dues au recuit sont des pertes par mauvaise découpe ou casses. Les pertes de mauvaise découpe se caractérisent par les « becs et coins cassés » qui sont des défauts correspondant respectivement à des excès ou manques de matières dans les coins des feuilles de verre. Ils sont tous les deux dus à une déviation de la fracture en dehors du traçage ou trait de découpe.

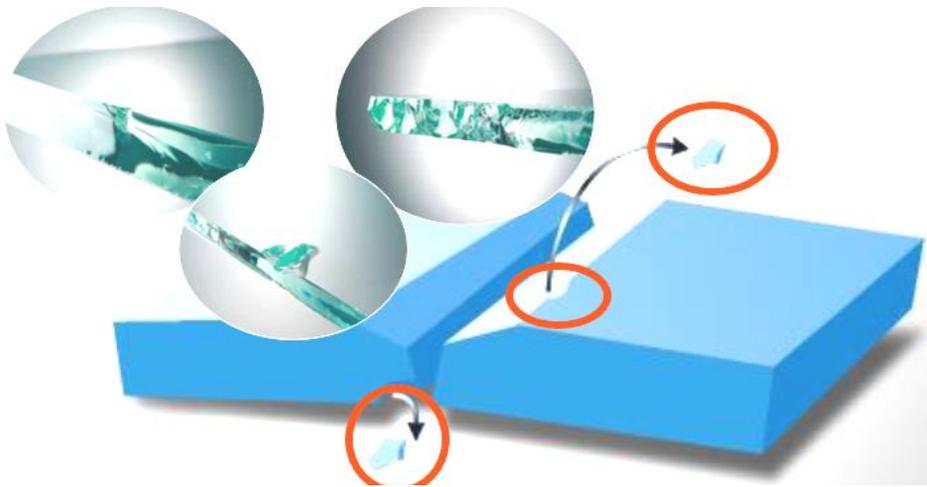


Figure III.5 : Photos des pertes de mauvaise découpe.

La mauvaise découpe peut être d'origine thermique au niveau de l'étenderie (mauvais recuit) et causée par les outils de découpe.

1. Perte pour mauvaise découpe et origine :

Les températures dans l'étenderie sont contrôlées par 07 thermocouples supérieurs et 05 inférieurs balayant ainsi toute la largeur du ruban de verre. Ce contrôle est basé sur les zones A, B et C de l'étenderie. Les zones Ret (zone D) ainsi que la zone F, sont seulement pour le refroidissement du verre après élimination des contraintes, la première avec de l'air chaud et la seconde avec de l'air ambiant.

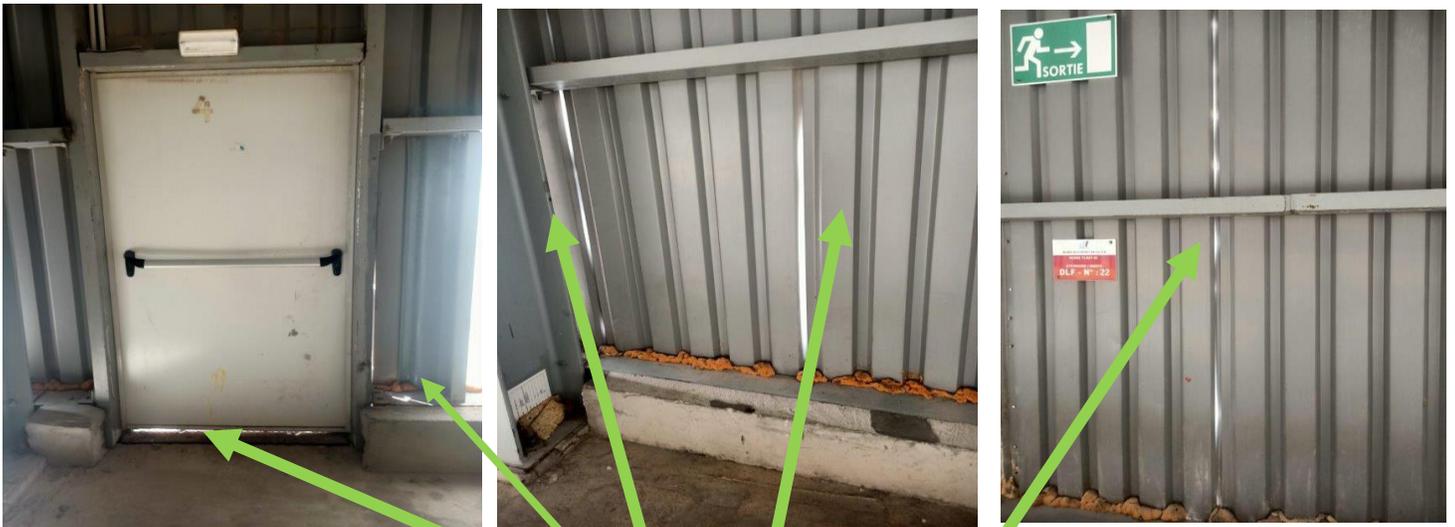
En analysant la situation au niveau de l'étenderie, l'équipe du bout chaud réalise des ajustages permanent des températures sur les deux côtés, gauche et droit, selon la différence de température ambiante le jour et la nuit. Même si le système fonctionne en mode automatique, un forçage par le manuel est nécessaire.

La cause de ce décalage des températures est la constitution même du bâtiment ainsi que la ligne de production. Sur le côté gauche, il y a les locaux techniques comme la salle de contrôle

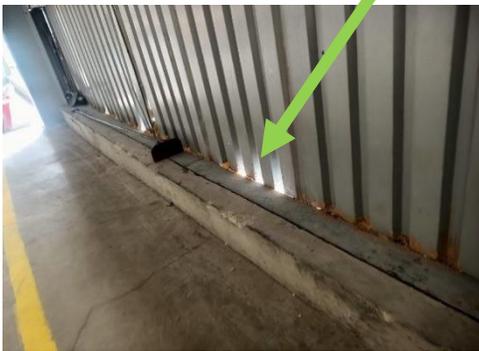
et les locaux électriques. Ces derniers permettent de casser les courants d'air externe qui pénètrent dans la ligne de production.

La cause principale de ces infiltrations d'air dans l'étenderie est la mauvaise étanchéité qui est toujours enregistrée suite la dégradation visuelle de la tôle extérieure du bâtiment. Cette dégradation crée un écart de température entre le côté gauche et droit qui influence le paramétrage de l'étenderie

A. Mauvaise étanchéité



Mauvaise étanchéité du bâtiment sur le côté droit à plusieurs endroits le long de l'étenderie



L'influence de la position des locaux est plus ressentie au niveau de l'étenderie où la température descend de 600°C (température de sortie verre du bain) à 60°C (température de découpe de verre). Les contraintes du verre sont plus ressenties l'hiver que l'été ou des grands vents sont enregistrés.

Comme solution adopter pour diminuer l'influence de cet écart de température est la mise en place d'un film plastique sur le côté droit de l'étenderie en période d'hiver surtout lors de la production du verre épais tel le 8mm et le 10mm, figure III.6.



Figure III.6: Les infiltration d'air qui prédominent sur le cote droit de l'étenderie

Le tableau suivant donne les pertes de mauvaise découpe enregistrée avant et après la mise du film plastique.

Année 2023	Perte en tonne	% perte mois	Perte monétaire
janvier	251,9	1,12%	19 144 400,00 DZD
février	139,13	0,71%	10 573 880,00 DZD
mars	265,19	1,32%	20 154 440,00 DZD
Cumul trimestre	656,22	3,15%	49 872 720,00 DZD
moyenne mensuelle	218,74	1,05%	16 624 240,00 DZD

2. Perte pour casses :

Les pertes de casses sont l'objectif de notre étude, elles dépendent essentiellement de régime thermique du recuit qui est très important pour l'obtention d'un verre plus ou moins rigide, néanmoins il y a d'autres paramètres secondaires qui peut également influencer la fréquence des casses survenues Dans ce qui suit nous allons présenter tous ces paramètres ainsi que leurs influences sur les casses du verre.

III.6 Pertes issues de la découpe :

1. Problèmes des outils de coupe :

La vérification des outils de découpe est très importante afin de garantir une coupe de verre conforme à la norme de production. Les outils sont changés après une durée de fonctionnement de l'ordre de 5000min (3000min note du constructeur).

Les outils sont changés selon l'épaisseur produite. Pas de problème à signaler de ce côté.

1.1. Pertes par retard d'évacuation du produit fini :

L'évacuation du produit fini est une opération très délicate dans un process continu. Tout retard engendre soit une perte sèche de la production, soit la production de formats non utiles pour la commande.

Dans les photos, un exemple sur le retard d'évacuation et d'acheminement de pupitres pour la production des produits en nu, soit sans emballage. L'empileuse est restée en arrêt de 15h06 à 17h15, soit un peu plus de 02 heures. Durant cette période de non disponibilité de pupitres, il y a eu production de caisses nécessitant un emballage, soit une perte de bois, de feuilards de serrage, de film plastique de protection ainsi que les joints de protection du verre. Durant cette période, il est possible de produire 25 tonnes de produit demandé et utile. Si chaque shift perd la même quantité, il y aurait une perte de 75 tonnes de produit utile, soit une perte monétaire journalière de 5 700 000,00DZD, et mensuelle de 171000 000,00DZD.

La date de début: 02/05/2023 13.45.00
Date de fin: 02/05/2023 15.06.00

rapport production de ligne

Les paramètres de production		Les valeurs de production		densité de défauts	
largeur brute (mm)	1 591,00	m2	Tn	CL 1	0,99
largeur de fillet (mm)	1 382,00	Produit	4 584,48	CL 2	0,52
vitesse Lebr (m / min)	12,58	déchets de fillet	796,95	CL 3	1,11
vitesse de ligne (m / min)	50,00	Froid scrap ligne	30,75	CL 4	0,44
		Emballe	2 565,97	CL 5	0,58
		rendement	79,39	CL 6	0,00
				CL 7	0,00
				CL 8	0,00

Épaisseur		Équilibre		verre Déchargé	
Valeur	%	m2	Tn	m2	Tn
100	100,00	10 000	10,94	10	10,94
10	10,00	1 000	1,09	10	10,94
1	1,00	100	1,09	10	10,94

les pertes d'extrémité		rendement		les pertes d'extrémité		rendement	
chânde	m	m2	Tn	noires	m	m2	Tn
Micro cause de la description	m	m2	Tn	Micro cause de la description	m	m2	Tn
Sord	398,55	384,51	3,86	CL / Remise	4,8	15,41	0,15
Contrôle de qualité	1,2	0,53	0,04	Geométrie	25,65	82,24	0,83
Top Safety Defect	212,4	362,09	3,64	Problème de ligne	2,4	3,85	0,04
Total	1 212,05	749,93	7,54	Autres causes	8,75	28,09	0,28

La date de début: 02/05/2023 13.45.00
Date de fin: 02/05/2023 17.15.00

production de ligne

Les paramètres de production		Les valeurs de production		densité de défauts	
largeur brute (mm)	1 590,00	m2	Tn	CL 1	0,78
largeur de fillet (mm)	1 380,00	Produit	4 632,00	CL 2	0,57
vitesse Lebr (m / min)	12,20	déchets de fillet	1 066,67	CL 3	0,94
vitesse de ligne (m / min)	50,00	line	1 171,22	CL 4	0,35
		trifluoréthylène	6,77	CL 5	0,49
		travail	4 722,00	CL 6	0,00
		rendement	73,88	CL 7	0,00
				CL 8	0,00

Épaisseur		Équilibre		verre Déchargé	
Valeur	%	m2	Tn	m2	Tn
100	100,00	10 000	10,94	10	10,94
10	10,00	1 000	1,09	10	10,94
1	1,00	100	1,09	10	10,94

les pertes d'extrémité		rendement		les pertes d'extrémité		rendement	
chânde	m	m2	Tn	noires	m	m2	Tn
Micro cause de la description	m <td>m2 <td>Tn <td>Micro cause de la description</td> <td>m <td>m2 <td>Tn </td></td></td></td></td>	m2 <td>Tn <td>Micro cause de la description</td> <td>m <td>m2 <td>Tn </td></td></td></td>	Tn <td>Micro cause de la description</td> <td>m <td>m2 <td>Tn </td></td></td>	Micro cause de la description	m <td>m2 <td>Tn </td></td>	m2 <td>Tn </td>	Tn
Sord	398,55	384,51	3,86	CL / Remise	4,8	15,41	0,15
Contrôle de qualité	1,2	0,53	0,04	Geométrie	25,65	82,24	0,83
Top Safety Defect	212,4	362,09	3,64	Problème de ligne	2,4	3,85	0,04
Total	1 212,05	749,93	7,54	Autres causes	8,75	28,09	0,28



Figure III.7: Photo de stock.

Solutions

Compte tenu de ce qui précède, la perte de produit due à la mauvaise découpe est d'origine thermique plus que celle mécanique (outil de coupe). Le réglage est axé sur le côté droit avec changement perpétuel des températures de chauffage au niveau de l'étenderie.

Afin d'augmenter les rendements de production en minimisant les pertes dues à la mauvaise découpe, il faut :

- Garantir une bonne étanchéité du bâtiment spécialement le côté droit. Cette opération doit se lancer dans les plus brefs délais surtout avec l'approche de la saison hivernale et la baisse naturelle des températures. Le même phénomène est observé en été mais avec une influence moindre.
- Allonger la durée des campagnes surtout lors de la fabrication des épaisseurs difficiles comme le 3mm, 8mm et 10mm.

Tableau réduplicatif des pertes mensuelles des sections

	Désignation	Maintenance	Process	Perte mensuelle enregistrée	Taux en % pour chaque perte	
Atelier composition	Pertes lors du chargement	x		786 380,04 DZD	0,85%	1,12%
	Pertes par contamination	x	x		0,00%	
	Perte lors du mélange (Bad batch)	x		78 859,77 DZD	0,09%	
	Rejet des métaux non-ferreux	x		47 315,86 DZD	0,05%	
	pertes sur les bandes transporteuses	x		63 087,82 DZD	0,07%	
	Rejet enfourneuses	x		56 779,03 DZD	0,06%	
Four de fusion	Mauvaise isolation thermique		x	2 166 000,00 DZD	2,35%	5,89%
	Pertes par réduction tirage		x	3 249 000,00 DZD	3,53%	
Bain d'étain	Pertes dues au changement d'épaisseur		x	6 833 160,00 DZD	7,43%	12,98%
	Pertes dues aux bords			5 105 586,59 DZD	5,55%	
Etenderie	Perte mauvaise découpe (mauvaise étanchéité bâtiment)		x	16 624 240,00 DZD	18,07%	18,07%
Découpe	Indisponibilité pupitre	x	x	57 000 000,00 DZD	61,95%	61,95%
Total				92 010 409,11 DZD		

Interprétation :

- Le tableau représente les types des pertes au niveau de chaque section. On remarque que :
 - Les pertes de matières premières sont représentées dans les pertes dites de maintenance qui sont :
 - * les pertes lors du chargement
 - * les pertes par contamination
 - * les pertes lors du mélange (Bad batch)
 - * le Rejet des métaux non-ferreux
 - * les pertes sur les bandes transporteuses
 - * le Rejet des enfourneuses et d'autre part, il y a des pertes processus (Pertes par contamination)

Ces pertes représenté environ 1.12 %des pertes globales.

- Les pertes au niveau du four sont les pertes dues à une mauvaise isolation thermique et les pertes par réduction tirage (processus). Elles représentent 5,89% des pertes globales.

- Au niveau du bain d'étain, il y a des pertes dues au changement d'épaisseur et les pertes dues à la découpe des bords. Ces pertes représentent 12.98% des pertes globales.
- Les pertes au niveau de l'étenderie sont les pertes dues à l'infiltration d'air externe. Elles représentent 18.07% des pertes globales.
- Au niveau de la découpe, il y a des pertes dues à l'indisponibilité de pupitres et la durée de vie des molettes. Ces pertes représentent 61.95% des pertes globales.

D'un autre côté des problèmes techniques ont été constatés. Afin d'améliorer la productivité et la qualité du produit, il faudra :

1. Acquérir un nouveau thermocouple plus long que celui utilisé actuellement afin de pouvoir l'introduire plus en cas baisse du niveau de verre. Il permettra ainsi de donner une valeur plus fiable de la lecture de la température de canal.
2. Utiliser un refroidissement plus concentré au milieu afin d'épaissir le ruban de verre au milieu.
3. Faire un étalonnage et un contrôle périodique des top-rollers.
4. Recalculer les paramètres de TRs afin d'obtenir la forme d'œuf du ruban de verre à l'intérieur du bain d'étain.
5. Un contrôle plus accentué des paramètres de matières premières et de la fusion afin de réduire les pertes qualité.
6. Réaliser une seule découpe de bords vue que l'épaisseur produite est fragile et donc facilement cassable.
7. Remplacement les hubtex par des chariots élévateurs, beaucoup moins chers, disponibles sur le territoire national ainsi que leur PDR.
8. Contrôler strictement les paramètres de recuit.
9. Vérifier les outils de découpe périodiquement.
10. S'assurer que la poudre intercalaire est sèche (sable par exemple)

Conclusion générale

La société MFG a su maîtrisé la technologie de fabrication de verre divers en termes d'épaisseur et de type. Néanmoins, Ils sont exposés à beaucoup de pertes au niveau de toute la chaîne de production.

Afin d'améliorer l'efficacité de la production, la fabrication et la qualité, nous avons fait un diagnostic complet au niveau de la ligne 2, des problèmes techniques rencontrés lors de la production et ainsi que des pertes.

Ces pertes se distinguent au niveau du chargement de la matière première, du four, du bain d'étain, de l'étenderie et de la découpe.

Afin d'y remédier, nous avons proposé les solutions suivantes :

- Gérer les processus de fabrication de manière à réduire les pertes de matières premières. Cela peut être accompli grâce à l'utilisation de technologies modernes et à l'optimisation des paramètres de production tels que la température, la pression et le temps de traitement.
- Recyclage des déchets : Les déchets de verre peuvent être collectés et recyclés pour être réutilisés dans le processus de fabrication du verre. Cela peut signifier que la quantité de matières premières nécessaires pour produire du verre est inférieure.
- Le stockage et la gestion adéquats des matières premières.
Les travailleurs doivent être formés à manipuler efficacement les matières premières, à réduire les pertes et les déchets. Ils doivent également respecter la périodicité de la maintenance des injecteurs et respecter les paramètres de la flamme. Ils doivent également utiliser un mur écran métallique plutôt que des briques facilement dégradables.
- Isolation appropriée du four et étanchéité des fuites de flammes - Réduction des temps d'arrêt de l'équipement grâce à une maintenance planifiée et à l'évitement des interventions que lors des pannes (maintenance curative)
- Réduire le nombre de changements d'épaisseur par mois en prolongeant le temps de fabrication pour les épaisseurs difficiles telles que 3 mm, 8 mm et 10 mm. La difficulté de production, la demande du marché et la capacité des stocks doivent tous être pris en compte.

Références bibliographiques

- [1] CSTC « Le verre et les produits verrières » 1999
- [2] université Aboubekr Belkaid- faculté des sciences de l'ingénieur « science des matériaux de construction »
- [3] Le journal du CNRS, n°181, février 2005.
- [4] M. Yamane & Y. Asahara « Glasses for Photonics » Cambridge University Press 2000.
- [5] J. Zarzycki, Les verres et l'état vitreux, Edition Masson, Paris, 1982.
- [6] J. Phalippou « Verres Propriétés et application. » Technique de l'ingénieur 2006.
- [7] C. Mazières « Les solides non cristallins » Presses universitaires de France 1978.
- [8] H. Satha, J. Simons, M. Remram, Alternative to lead crystal glass: study of a lead free composition, Revue Verre, Vol. 3, N°1, PP. 27-31, 1997.
- [9] J.M. Haussonne, C. Cary, P. Browen et J. Barton, Traité des Matériaux, Vol. 16, Céramiques & Verres, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, CH-1015 Lausanne, 2005.
- [10] H. Satha, J. Phalippou, A. Haddad, Silica Glass from Aerosil by Sol-Gel Process: Densification and Textural Properties, International Journal of Thermophysics, Vol. 24, N°3, PP. 885-893, 2003.
- [11] H. Satha, J. Simons, Effet de la composition sur l'indice de réfraction et la densité dans les verres de silice contenant Ba, Sr et Zn, Ann. Chim. Sci. Mat., Vol. 27, N°2, PP. 53-59, 2002.
- [12] SHELBY, J.E. Introduction to glass science and technology. 1997. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- [13] Document inter , Enterprise MFG.
- [14] Nasir BICHARI : RENFORCEMENT MECANIQUE D'UN VERRE SODO-CALCIQUE PAR TREMPE THERMIQUE .Mémoire de Magister de l'université de Boumerdes 2007.
- [15] J. Phalippou « Verres Propriétés et application. » Technique de l'ingénieur 2006.
- [16] Glas Trosch Holding AG, Conseil, Bützberg «Le verre et ses applications» 4ème édition, 2013.
- [17] H. Shaybany, « De la structure des verres alumino silicates mixtes, Verres Réfractaires» 1948.
- [18] J. F. Nye, « Physical Properties of Crystals » Clarendon Press, Oxford, 1957

[19] C. Mai, Satha & al, SAXS, WAXD and TEM of the early stages of crystallization in TiO₂-ZrO₂-MgO-Li₂O-Al₂O₃-SiO₂ Glass, Journal of Non-Crystalline Solids, Vol. 108, PP. 201-206, 1989

[20] nfo vitrail : <http://www.infovitrail.com/index.php/fr/glossaire-vitrail/lettre-v/71-definition-des-verres-plats> [archive]

↑ James Barton et Claude Guillemet, " Le verre : Science et technologie ", EDP, 2005

[21] A. Iratni «cours verre -MCQ » 2012-2013.

[22] J. Fourment & J Fourmenton «Fours de verrerie» Technique de l'ingénieur, 2000.

[23] J. FROMENTIN & J. FOURMENT, Fours de verrerie, Technique de l'ingénieur, juin 2000, BE 8848 -6.

[24] Fiche Technique de Glass Trosch Holding AG, Conseil, Bützberg, « Le verre et ses applications», 4e édition, 2013.

[25] Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans l'industrie du verre, « Prévention et Contrôle Intégrés des Pollutions (PCIP) », décembre 2001

[26] mémoire de : MEFTAH .S& HAFSI. Y «Optimisation des paramètres de bain d'étain et l'étenderie pour améliorer le rendement lors de la production du verre mince 3mm», Dr. Aattache Amel, Polycopié « Nouveau matériau : Le verre dans le bâtiment », Université Des Sciences et de la Technologie d'Oran, 2018.

[27] mémoire de AMIROUCHE .A «Étude du verre Float de l'industrie verrière Mediteranean Float Glass "MFG" Algérie», Université 8 Mai 1945 Guelma.

[28] Dr Saher, « Généralités sur les verres », 2014.

[29] mémoire de : MEFTAH .S& HAFSI. Y «Optimisation des paramètres de bain d'étain et l'étenderie pour améliorer le rendement lors de la production du verre mince 3mm», ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES ET DE LA METALLURGIE AMAR LASKRI-ANNABA.

[30] N. EL JOUHARI, Cour chimie minérale appliquée « Introduction à la technologie du verre

[31] Isidore JACUBOWIEZ , « Fours industriel » BE 8 842 - 6

[32] Isidore JACUBOWIEZ , « Fours industriel » BE 8 842 - 7

ANNEXES

I. Les analyses effectuées au niveau de laboratoire

1. Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique est le processus d'étude de la distribution des différents grains pour l'échantillon, selon ses caractéristiques (poids, taille).

Pour effectuer une analyse granulométrique nous avons suivi la méthode classique, tout d'abord nous avons commencé par peser un échantillon de sable à l'aide d'une balance électrique de grande précision.

L'échantillon à analyser doit être représentatif, pour cela on doit homogénéiser ce dernier et prendre plusieurs prélèvements des différents points. Ensuite, nous avons séché l'échantillon dans une étuve de séchage. Le produit ainsi obtenu été mis dans un diviseur rotatif de type (PT-100). La dernière étape consiste à faire un tamisage de l'échantillon à l'aide d'un tamiseur type (Retsch AS200), puis on détermine le refus dans chaque tamis.



Figure ANNEXE 1 : Image d'un tamiseur type (Retsch AS200)



Figure ANNEXE 2 : Image d'un diviseur rotatif de type (Retsch PT100)

2. Analyse chimique :

Un échantillon est prélevé selon la règle d'échantillonnage. Ensuite, cet échantillon subit une étape de séchage dans le four suivi d'un refroidissement dans le séchoir. Par la suite, il est écrasé dans le vibromasseur .et prend deux échantillons sont prélevés dans deux enveloppes, l'une pour l'analyse par fluorescence X et l'autre pour l'analyse des pertes d'incendie. Laissez ces deux enveloppes au four pendant 10 à 15 minutes, puis mettez-les dans le sèche-linge.



Figure ANNEXE 3 : Photo d'un vibro broyeur(Retsch RS200)

3. Fluorescence des rayons X :

La spectrométrie de fluorescence X (FX ou XRF pour X-ray fluorescence) est une technique d'analyse élémentaire qui permet de qualifier et quantifier les éléments chimiques présents dans un échantillon de sable.

Dans le but d'analyser un échantillon de sable par la fluorescence X on doit l'adapter à une forme de perl à fin de l'installer dans l'appareil de mesure. Cette forme est obtenue par la fusion d'échantillon à 1000 °C dans un petit four appelé MiniFuse à l'aide des fondants spéciaux utilisés pour abaisser la température de fusion.

L'échantillon sous forme de perl est ensuite introduit dans un spectro analyseurs type BRUKER TIGER qui analyse l'échantillon automatiquement affiche les résultats dans un tableau.



Figure ANNEXE 4 : Photo d'un spectro-analyseurs de type BRUKER S8 TIGER

4. Spectroscopie :

L'échantillon dont les dimensions ne doivent pas dépasser la taille de 6× 6 cm², est nettoyé puis placé dans la boule d'intégration située au milieu de la machine, la première analyse déterminera la transmission, et puis on change l'emplacement de l'échantillon en dehors du champ d'intégration pour mesurer la réflexion ainsi que l'absorption, ces analyses sont faites pour obtenir des valeurs en UV, lumière visible et énergie.



Figure ANNEX5: Spectrophotomètre à MFG