

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique

**UNIVERSITE de BLIDA 1**

**Faculté de Technologie**

**Département de Génie des Procédés**



## **Mémoire**

En vue de l'obtention du Diplôme de

**MASTER EN GENIE DES PROCEDES**

**Spécialité : Génie des Procédés des Matériaux**

**Caractérisation et classification des défauts du  
verre issus du four verrier :  
Impact sur la production**

Présenté par :

- M<sup>lle</sup> Doha CHABLAOUI
- M<sup>lle</sup> Maroua MEFTAHI

Encadré par :

- Pr. Omar BOURAS
- M. Zoubir SEDIRI

Année Universitaire 2022/2023

## *REMERCIEMENTS*

*Avant toute chose, merci à ALLAH Le Tout Puissant de nous avoir donné la patience, le courage, la santé durant nos parcours pédagogiques pour mener à terme ce travail.*

*Nous tenons à saisir cette occasion et adresser nos profonds remerciements et nos profondes reconnaissances à notre promoteur Pr. Omar BOURAS, pour sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils.*

*Nous tenons à exprimer nos reconnaissances à notre Co-promoteur, M. Zoubir SEDIRI qui a dirigé ce mémoire, Nous le remercions de nous avoir encadré, orienté, aidé et pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils.*

*Nous remercions l'ingénieur de laboratoire M. Brahim AZAZI pour son aide.*

*Nous tenons à témoigner toute notre gratitude à M. benyoucef MOKREFI, et tout le staff de la ligne de MFG, pour leur confiance et leur soutien inestimable qui ont permis la réalisation de ce travail.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.*

*Nos sincères remerciements,*

*A nos familles qui par leurs prières,*

*Leurs soutiens constants et leurs encouragements.*

*Enfin, nos remerciements vont à tous nos ami(e)s.*

## **DEDICACES**

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir à toi **mon père;***

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon*

*bonheur, **maman** que j'adore ;*

*A mes très chères frères « **Fetah** », « **Bahaa Eddine** » ;*

*A ma très chère sœur « **Oulfa** » et sa petite fille « **Sidra** » ;*

*A mes grands-parents maternels « **Mohammed** » et « **Zohra** » ;*

*A la mémoire de mes grands-parents paternels qu'ils reposent en paix.*

*A toute ma famille **Chablaoui** et **Benaddad** ;*

*A ma très chère binôme « **Maroua** » ;*

*A toute la promotion de génie des procédés des matériaux 2022/2023.*

*A tous ceux qui ont contribué de près ou loin à la réussite de ce projet, nous leur dirons Merci.*

***Doha***

## **DEDICACES**

*Je dédie ce modeste travail à mes chers parents pour leur soutien leur patience  
leur encouragement durant mon parcours scolaire ;*

*A mes sœurs **Ihcene** et **Safaa** ;*

*A mes frères **Mohamed** et **Sofiane** et **Abdelmounaim** ;*

*A ma chère tante **Zineb** ;*

*A mon fiancé **Djilali** pour leur encouragement ;*

*A mon cher binôme **Doha**.*

*A tous mes amis(e).*

*Et l'ensemble des étudiants de la promotion master génie des matériaux de  
l'année 2022/2023.*

***Maroua***

## ملخص

في هذا العمل نهتم بدراسة توصيف عيوب الزجاج المصقول لشركة MFG البلدية. الغرض من هذا العمل هو التعرف على الأنواع المختلفة من العيوب التي يمكن أن تتشكل أثناء تصنيع الزجاج المصقول وتتبع أسباب العيوب من فرن الصهر ومحاولة تصحيحها لتقليلها وزيادة المنتج والمبيعات. يعتمد تصنيف هذه العيوب على الجهاز ( ISRA VISION).

### كلمات مفتاحية:

تعويم، مواد خام، فرن، عيوب، تأثير على الإنتاج، رؤية ISRA.

## ABSTRACT

In this work we are interested in the study of the characterization defects on float glass of the company MFG, Blida. The purpose of this work is to identify the different types of defects that can form during the manufacture in float glass and to trace the causes of defects from the melting furnace and an attempt to correct them in order to reduce them and increase yields and sales. A classification of these defects depends on the device (ISRA VISION).

### Key-words:

Float raw material, oven, defects, impact on production, ISRA vision.

## RESUMÉ

Dans ce travail nous sommes intéressées à l'étude de la caractérisation des défauts du verre float de l'entreprise MFG de Blida. Le but de ce travail est d'identifier les différents types de défauts qui peuvent se former lors de la fabrication du verre float et de remonter les causes des défauts issus du four de fusion et une tentative pour les corriger afin de les réduire et d'augmenter les rendements et les ventes. Une classification de ces défauts dépend de l'appareil (ISRA VISION).

### Mots-clés :

Float, Matière première, Four, défauts, impact sur la production, ISRA vision.

## ***LISTE DES FIGURES***

Figure I.1 : Photographie représentant la localisation géographique MFG (Google Map).....	5
Figure I.2: Photographie représentant un fragment de fulgurite (a gauche) et l'obsidienne(a droite). .....	6
Figure I.3: Verre plats colorés opaques.....	7
Figure II.1: Shema du processus de fabrication du verre float.....	14
Figure II.2: Photo représentant le pourcentage des matieres vitrifiables dans la production du verre MFG. ....	17
Figure II.3: Schéma du four de fusion.....	18
Figure II.4: Shema représentant les courants de convection dans un four verrerie.....	19
Figure II.5: Schéma représentant le systeme de recuperation de la chaleur par regeneration..	21
Figure II.6: Photographie montrant les briques d'empilage du four.....	21
Figure II.7: Shèma representatif des courants convectifs survenus au niveau de verre. ....	26
Figure II.8 Controle de niveau de verre a bombardement radioactif (a gauche) a faisceau laser (a droite) ..	27
Figure II.9 Shèma de bain d'etain .....	34
Figure II.10: Photographie présentant l'etendrie de l'entreprise MFG. ....	34
Figure III.1: Photographie présentant un appareil d'inspection (ISRA VISION).....	38
Figure III.2: Photographie représentant un echantillon du défaut ( a droite) et son prelevement(a gauche). ....	38
Figure III.3: Photographie représentant un microscope optique de marque Leica.....	39
Figure III.4: Histogramme des statistiques des defauts du verre float. ....	41
FigureIII.5: Photographie représentant deux formes de pierres de corindon sous microscope.....	48
FigureIII.6: Courbe de la variation de température au niveau de bassin de repos en fonction du temps.....	49
FigureIII.7: Photographie représentant un grattement des pierres de corindon.....	51
FigureIII.8: Photographie représentant une pierre de zircon sous microscope.....	51
Figure III.9 : Courbe de la variation de temperature de la zone de fusion au niveau de la voute en fonction du temps.....	52
FigureIII.10: Courbe représentant la variation de température de sol de la zone de fusion en fonction dutemps.....	53

Figure III.11: Courbe représentant la variation de niveau de verre et la vitesse d'enfournement en fonction du temps.....	54
Figure III.12: Fiche des paramètres du bain d'étain.....	55
Figure III.13: Photo présentant une brique réfractaire corrodée.....	56
Figure III.14: Photographie représentant une pierre de sulfate de soude sous microscope.....	57
Figure III.15: Caractéristiques métrologiques des balances électroniques.....	76
Figure III.16: Journaux de bord four.....	79
Figure III.17: Journal de bord.....	79
Figure III.18: Photographie représentant une bulle d'air de sulfate sous microscope.....	60
Figure III.19: Courbe représentant la variation de pression de la zone de fusion en fonction du temps.....	61
Figure III.20: Journal de bord.....	80

## ***LISTE DES TABLEAUX***

Tableau I.1: Différents types des verres industriels .	10
Tableau II.1: types de briques réfractaires pour chaque zone de four.	23
Tableau III.1: Résultats d'analyse du microscope optique et leurs statistiques.	44
Tableau III.2: Valeurs de la tirée.	45
Tableau III.3: Composition des matières premières.	57
Tableau III.4: Température au point chaud.	58
Tableau III.5 : Valeurs de débit d'Air et de Gaz.	59
Tableau III.6: Valeurs de débit d'air de combustion dans les ports.	62
Tableau III.7 : Classification des défauts.	64
Tableau III.8: classification des défauts selon les dimensions.	64
Tableau III.9 : Norme d'acceptations des défauts.	65

## ***TABLE DES MATIERES***

Introduction générale.....	1
I.2. Historique du verre.....	5
I.3. Définition du verre .....	6
I.4. Propriétés du verre.....	7
I.4.1. Propriétés physiques .....	7
I.4.2. Propriétés thermiques .....	8
I.4.3. Propriétés chimiques.....	9
I.5. Différents types de verres industriels .....	9
I.6. Constituants d'un verre .....	11
I.6.1. Oxydes formateurs de réseau.....	11
I.6.2. Oxydes Modificateurs de réseau.....	11
I.6.3. Composés intermédiaires.....	11
I.7. La viscosité dans les verres .....	11
II.1. Définition de verre plat clair ou verre float.....	14
II.2. Matières premières utilisées dans la fabrication de verre sodo-calcique .....	15
II.3. Four de fusion .....	17
II.3.1. Conception de four .....	18
II.3.2. Briques réfractaires.....	23
II.3.3. Contrôle des paramètres de four.....	23
II.4. Etapes d'élaboration du verre.....	27
II.4.1. Dosage des matières premières .....	27
II.4.2. Enfournement .....	28
II.4.3. Etape de fusion .....	28
II.4.4. Etape d’Affinage et homogénéisation .....	31
II.4.5. Etape de conditionnement .....	33
II.4.6. Bain d’étain .....	33
II.4.7. Etenderie.....	34
II.4.8. Découpe.....	35
II.4.9. Stockage .....	35
II.5. Défauts des verres .....	35
II.5.1. Définition d'un défaut de verre .....	35

<i>Chapitre III</i> .....	37
III.1. Appareil d'inspection (Isra vision) .....	38
III.2. Prélèvement de l'échantillon .....	38
III.3. Technique expérimentale (analyse optique) .....	39
III.4. Analyse optique du produit fini : .....	40
III.5. Origine des défauts et actions correctives.....	42
IV.6. Causes principaux des défauts.....	44
III.6.1. Pierre de corindon .....	44
III.6.2. Pierres de zircon .....	47
III.6.3. Bulles d'air avec sulfate .....	52
III.6.4. Bulles d'air sans sulfate .....	55
III.7. Actions correctives des défauts : .....	58
III.8. classification des défauts du four.....	60
Conclusion générale.....	62
Références bibliographiques.....	63
Annexes.....	66

## ***LISTE DES ABREVIATIONS***

<b>AZS</b>	Alumine-Zircone-Silice
<b>ASTM</b>	American Society for Testing Materials (Etats unis).
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization.
<b>MFG</b>	Méditerranéen Float Glass.
<b>QHSE</b>	Qualité, Hygiène, Sécurité, Environnement.
<b>DIN</b>	Deutsches Institut für Normung(Allemagne).
<b>OHSAS</b>	Occupational Health and Safety Assessment Series.
<b>DLF</b>	Dimensions Largeurs de Fabrications
<b>DDLf</b>	Demi-Dimensions Largeurs de Fabrications
<b>DV</b>	Double Vitrage
<b>SV</b>	Simple Vitrage
<b>SVL</b>	Simple Vitrage destiné pour le marché Local
<b>SV+</b>	Qualité entre le DV et SV

## ***INTRODUCTION GENERALE***

Le verre a connu, ces dernières décennies, une évolution technologique spectaculaire dans le secteur du bâtiment. Il est ainsi passé de la simple vitre au vitrage possédant de multiples propriétés tel la résistance mécanique, sécurité, isolation thermique et acoustique, contrôle solaire et décoration , présente un nombre illimité de possibilités de compositions. C'est pourquoi ses propriétés sont également très diverses, ce qui lui a ouvert de nombreux domaines d'utilisation et lui en offre tous les jours de nouveaux. Le nombre de publications sur le verre est également grand [1].

C'est aux environs de 4 500 ans que fut découverte la manière d'élaborer le verre, mais avec l'avancement scientifique, le verre trouve des applications dans le bâtiment, la téléphonie, l'informatique, l'énergie, l'aéronautique et aussi dans le confinement des déchets, plus particulièrement celui des radioéléments à vie longue [1] .

Comme le verre a de multiples applications, les besoins en cette matière sont en constante croissance, et pour cela des usines sont installées dans différents pays dans le monde pour les satisfaire. La production du verre est comme n'importe quelle autre industrie, elle ne cesse pas d'avoir des risques qu'il faut maîtriser en appliquant des méthodes quantitatives qui vont nous aider à les réduire [2].

Le terme « float » fait référence à la dernière technologie de production du verre plat avec un certain niveau de qualité. Ce principe a été découvert par Henry Bessemer au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle. Lorsque certaines verrières, comme PPG, ont commencé à expérimenter le procédé float divers brevets ont été déposés aux États-Unis. Au début des années 1960, le verrier britannique Pilkington a développé le procédé du verre float. Ce procédé a révolutionné l'industrie du verre et a conduit à l'abandon progressif des anciens procédés.

Ce travail a pour objectif d'étudier, caractériser, classifier les défauts du verre float issues du four pouvant influencer et altérer la qualité du produit fini. Pour mieux comprendre l'origine des défauts il est primordial de connaître le processus de fabrication du verre float à commencer par la matière première, sa conformité et la bonne maîtrise des paramètres de production et pour identifier les défauts nous avons effectué des analyses à l'aide du microscope optique sur les produits finis à partir d'un stage pratique au sein de l'un des

sociétés exemplaires dans ce domaine, le MFG qui est considérée parmi les premiers fabricant de verre plat en Afrique.

Notre mémoire est organisé en 3 chapitres :

- Après une introduction générale, le premier chapitre expose des généralités sur les verres.
- Dans le deuxième chapitre, nous décrivons le procédé d'élaboration du verre Float.
- Dans le chapitre III, nous avons cité les différents matériels et méthodes utilisées durant notre stage pratique pour la caractérisation de nos échantillons , nous décrivons et nous discutons tous les résultats obtenus après les différents essais effectués relatifs aux défauts.
- Nous terminerons ce travail par une conclusion générale.

*Chapitre I*

*Notions de base sur le verre*

---

## **I.1. Historique de l'entreprise MFG**

Créée en 2007, filiale du Groupe CEVITAL, MFG est la plus grande industrie de production du verre plat en Afrique avec une capacité de production de 1400 tonnes/jour, cette capacité est assurée par deux lignes de production, la ligne de 600t/j a été lancée en 2007 et celle de 800 t/j a été lancée en 2016.

Grâce à la bonne qualité de ses produits, MFG exporte 70% de sa production essentiellement en Europe occidentale. A noter que 30% de sa production suffisent largement pour combler les besoins du marché national.

MFG a opté pour un système de management intégré QHSE et est certifiée sous les trois référentiels ;

- ✓ **ISO 9001 : 2008 pour la qualité.**
- ✓ **ISO 14001 : 2004 pour l'environnement.**
- ✓ **OHSAS 18001 : 2007 pour la santé et sécurité de ses employés.**

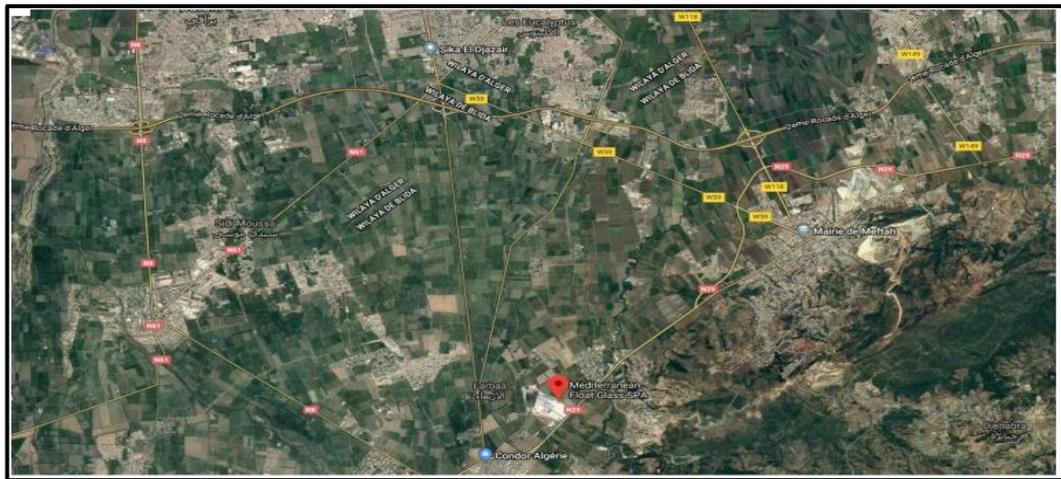
En octobre 2011, la direction technique de MFG a obtenu la certification **ISO 9001** : management de projets. En 2015, le laboratoire de MFG a été accrédité. Dans le cadre de son développement et dans le but d'élargir sa gamme de produits afin de répondre aux besoins de ses clients, MFG a mis en service, en décembre 2009, une ligne de production de verre feuilleté d'une capacité de 400 Tonnes/Jour en format PLF dont 90% sont destinés au Marché Export.

Dans le même créneau MFG a également lancé en septembre 2011 une ligne de production de verre à couches. Cette ligne est équipée de la dernière technologie, il s'agit du dépôt de couches nanométriques via le procédé PVD.

En ce qui concerne le deuxième créneau lancé en 2010, produits finis, MFG s'est lancé dans la transformation des produits verriers pour couvrir le besoin du marché algérien en produit fini de haute qualité, notamment le double Vitrage isolant destiné à la fenêtre et à la façade des bâtiments en verre. En 2016, MFG a lancé une deuxième ligne de transformation destinée à l'industrie électroménagère (verre trempé, verre décoratif, ...).

En résumé, Méditerranéen Float Glass dispose de :

- ✓ Deux unités de production de Verre Clair (2007 & 2016).
- ✓ Une unité de production de Verre Feuilleté.
- ✓ Deux unités de transformation du Verre plat (2010 & 2016).
- ✓ Une unité de production de Verre à couche tendre.



**Figure I.1 :** Photographie représentant la localisation géographique MFG (Google Map).

## I.2. Historique du verre

Le verre existe naturellement sur la terre depuis des centaines de milliers d'années. En 100 000 avant notre ère. Les humains préhistoriques ont connu déjà l'obsidienne, un verre naturel dérivé des volcans, et l'ont utilisé pour fabriquer des outils et des pointes de flèches.

Ils ont également utilisé des tectites (roches magnétiques et sédimentaires), des billes de verre formées par impact de météorite, et également utilisées comme bijoux ; et des fulgurites, qui sont des objets tout à fait inhabituels qui sont produits lorsque la foudre frappe. Généralement de forme creuse et quasi cylindrique, il est aussi totalement opaque étant donné le grand nombre d'impuretés qu'il renferme [3].



**Figure I.2:** Photographie représentant un fragment de fulgurite (à gauche) et l'obsidienne (à droite).

Le verre a été découvert il y'a environ 5000 ans avant Jésus-Christ dans l'ancienne Mésopotamie. Ce sont des verres de silico-sodo-calciques, et leur composition est très similaire au verre industriel actuel. Ils étaient obtenus en faisant fondre du sable avec des algues marines ou certains minéraux comme le natron (c'est une variété naturelle de Carbonate de sodium. C'est du carbonate de sodium hydraté (formule chimique :  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ )).

Sa découverte est probablement liée à des activités telles que la métallurgie, la poterie et la céramique. Au début, il était principalement utilisé pour la fabrication de bijoux et de perles. Les plus anciens produits verriers fabriqués par l'homme ont été découverts en Egypte en 3000 avant J.-C. A cette époque, ce n'étaient pas des matériaux transparents ou translucides, mais du verre opaque aux couleurs vertes ou bleues [4].

### **I.3. Définition du verre**

Le verre est un corps solide, non cristallin, homogène, cristallin qui conserve le désordre structural du liquide dans un état métastable que l'on appelle état vitreux, provenant du refroidissement progressif de certaines substances après fusion. La vitesse de refroidissement d'un liquide doit être pour cela suffisamment élevée afin de le figer et ne pas laisser le temps au matériau de cristalliser.

Le verre est l'un des matériaux les plus utiles car il possède de nombreuses qualités, il est facile à modeler, transparent et peut prendre de nombreuses formes. Le verre peut également être translucide ou opaque (**Figure I.3**). Sa couleur varie selon sa composition [5].



**Figure I.3:** Verre plats colorés opaques [6].

Selon les normes, le verre est défini comme suit :

❖ Norme **ASTM-C-162-92** (Société Américaine des matériaux et des essais) :

« Le verre est un produit inorganique coulé à partir de l'état liquide vers un état solide sans cristallisation » [7].

❖ Norme **DIN** (Institut Allemand de normalisation) :

« Verre est un produit inorganique de fusion qui se solidifie essentiellement sans cristallisation » [7].

## **I.4. Propriétés du verre**

Le verre est la seule matière minérale solide que l'on puisse produire à des dimensions et sous des formes quelconques tout en conservant sa transparence.

### **I.4.1. Propriétés physiques**

- **La transparence** : Le verre peut être opaque ou opalescent.

- **La dureté** : La dureté d'un matériau définit la résistance qu'oppose sa surface à la pénétration d'un poinçon, par exemple une bille en acier trempé (dureté Brinell) ou une pyramide en diamant (dureté Vickers).

Vis-à-vis la dureté, le verre se divise en deux types :

- ✓ Les verres durs : des verres à faible coefficient de dilatation qui se ramollissent à température élevée.
  - ✓ Les verres tendres : à coefficient de dilatation élevé qui se ramollissent à température relativement basse.
- **La densité** : elle dépend des composants ; elle est d'environ  $2,5\text{g/cm}^3$ . Cela signifie qu'un mètre cube pèse environ deux tonnes et demie ou qu'une feuille d'un mètre carré et d'un millimètre d'épaisseur pèse 2,5 kg.
- **La résistance et l'élasticité** : la cassure du verre est liée à sa flexion et à sa résistance au choc. Il se 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 [7] :

$$V_m = 0.38 \sqrt{E/\rho} \quad (1)$$

Où les paramètres suivants représentent :

**E** : le module de Young

**$\rho$**  : la masse volumique

L'imputrescibilité : il ne se putréfie pas.

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

#### **I.4.2. Propriétés thermiques**

- **La dilatation** : Lorsqu'on le compare à d'autres matériaux, le verre présente une faible dilatation thermique qui, de plus, dépend de sa composition. Il se brise s'il subit un brusque changement de température car les différentes parties du verre ne se réchauffent pas en même temps [8].

- **la chaleur spécifique** : la quantité d'énergie à apporter par échange thermique pour élever d'un kelvin la température de l'unité de masse d'une substance.

Le coefficient de dilatation thermique de  $9,0 \times 10^{-6}/\text{K}$  signifie qu'une plaque de verre flotte d'un mètre de long soumise à une augmentation de température de  $100^\circ \text{K}$  se dilate de 0,9mm.

Pour l'aluminium, la valeur analogue serait de 2,4mm. Ce coefficient varie selon la composition [9].

- **La conductivité** : Le verre est un mauvais conducteur (environ 500 fois moins que le cuivre); on l'utilise comme isolant électrique.

Il est aussi un bon isolant acoustique suivant l'épaisseur de la feuille. Ceci n'est pas le cas à chaud car il devient conducteur à partir de 250 °C.

- Il est ininflammable et incombustible.

### **I.4.3. Propriétés chimiques**

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

- **L'action de l'air** : les silicates alcalins se combinent avec l'acide carbonique contenu dans l'air ce que donne un dépôt blanchâtre à la surface du verre.

- **L'action de la lumière** : exposés aux ultraviolets, certains verres se colorent ou se décolorent.

- **L'action des acides** : Les acides décomposent la silice, le plus rapide est l'acide fluorhydrique qui permet de graver en profondeur le verre plaqué. Le verre peut donc être dissout.

## **I.5. Différents types de verres industriels**

Les compositions verrières sont ajustées en fonction de l'usage auquel elles sont destinées, en tenant compte à la fois des performances obtenues et des prix de revient. On distingue, selon le domaine d'applications, plusieurs grandes familles.

**Tableau I.1:** Différents types des verres industriels [10].

Catégorie	Domaine typique de composition	Applications
Sodocalcique	$\text{SiO}_2$ , $\text{CaO}$ , $\text{Na}_2\text{O}$	Vitrage Bouteilles Flaconnage Gobeletterie
Borosilicate	$\text{SiO}_2$ , $\text{B}_2\text{O}_3$ , $\text{Na}_2\text{O}$	Pharmacie Culinaire Laboratoire
Alumino-silicate	$\text{SiO}_2$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{CaO}$ , $\text{B}_2\text{O}_3$	Fibres de renforcement
Verre au plomb	$\text{SiO}_2$ , $\text{PbO}$ , $\text{K}_2\text{O}$	Verrerie d'art Flaconnage de luxe Écrans de protection
Silice	$\text{SiO}_2$	Fibres optiques
Zircone	$\text{SiO}_2$ , $\text{ZrO}_2$ , $\text{Na}_2\text{O}$	Renforcement du ciment
Bioverres	$\text{Na}_2\text{O}$ , $\text{CaO}$ , $\text{SiO}_2$ , $\text{P}_2\text{O}_5$	Médicales
Verres fluorés	$\text{ZrF}_4$ combiné à d'autres fluorures	Fibres optiques de courtes distances
Vitrocéramique	$\text{Li}_2\text{O}$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{SiO}_2$	Culinaires Optiques
Chalcogénures	S, Se, Te, mélangés à Ge, Si, Sb, As et/ou halogènes	Optiques infrarouge
Métallique	Métal de transition + non-métal ou deux métaux de rayons atomiques différents	Renforcement béton Industrie électrique

La famille dont l'usage est le plus répandu est la famille sodo-calcique. Actuellement, elle représente plus de 90 % des verres produits. Les verres les plus anciens. Donc il est nécessaire de définir le verre sodo-calcique.

### ❖ Le verre sodo-calcique

Le verre sodo-calcique, il tire son nom de la soude qui est son deuxième composant le plus important. Il est la famille du verre le plus ancien élaboré av. J.C. et le plus utilisé, 90 % du verre produit.

Il compose la majeure partie des verres de fabrication industrielle pour des raisons économiques : température modérée pour la fabrication et faible coût des matières premières car aussi réutilisable [11].

## **I.6. Constituants d'un verre**

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

### **I.6.1. Oxydes formateurs de réseau**

Ce sont des composés ayant des caractéristiques covalentes, tels qu'oxydes ou sulfures de silicium ( $\text{SiO}_2$ ), de bore ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ), de phosphore ( $\text{P}_2\text{O}_3$ ) ou de germanium ( $\text{GeO}_2$ ).

Généralement, ils peuvent facilement donner les verres eux-mêmes.

Les sables utilisés dans l'industrie verrière contiennent plus de 99% de  $\text{SiO}_2$  avec un taux d'impuretés inférieur à 0.2% [12].

### **I.6.2. Oxydes Modificateurs de réseau**

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 [13].

### **I.6.3. Composés intermédiaires**

Ils peuvent être introduits dans le réseau vitreux s'ils contiennent déjà un formateur et un modificateur et uniquement à cette condition [14].

## **I.7. La viscosité dans les verres**

La propriété probablement la plus importante pour la fabrication et le travail du verre est la viscosité  $\eta$  car de nombreux processus en dépendent [15].

La viscosité  $\eta$  pourra être définie comme un coefficient qui caractérise le frottement interne dans une substance déterminée.

La viscosité dans les verres dépend de leur nature et de leur structure et varie fortement avec la température. Plus la température est élevée, plus le nombre de liaisons rompues au sein de la structure vitreuse est important et plus la viscosité du verre devient faible.

Inversement lors d'un refroidissement des liaisons se forment d'où une augmentation de la viscosité avec une diminution de la température.

Quelle que soit la nature du verre à obtenir, quel que soit le procédé de travail mis en œuvre, qu'il s'agisse de façonnage manuel ou de confection automatique, d'étirage, de laminage, la viscosité joue un rôle essentiel [16].

- La fusion, elle ralentit les réactions,
- l'affinage, elle freine l'élimination des bulles qui se sont dégagées au cours de la fonte,
- Façonnage, elle s'oppose aux déformations que l'on imprime au verre et conserve celle acquises,
- recuit, elle contrarie le relâchement des tensions internes qui ont pris naissance par refroidissement brusque ou irrégulier au cours du travail et qu'il importe de faire disparaître pour assurer aux pièces leur solidité.

*Chapitre II*

*Technologies et fabrication du verre float*

---

## II.1. Définition de verre plat clair ou verre float

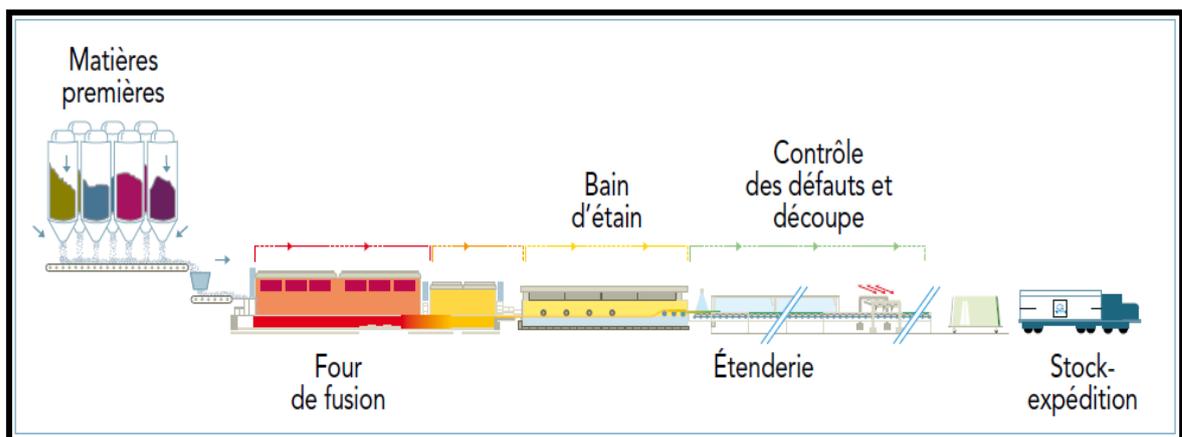
Le verre plat clair de MFG (float glass) est un type de verre fabriqué par le procédé « Float », flottage sur un lit de métal fondu «l'étain», puis à le refroidir lorsque le verre formé est suffisamment stabilisé du point de vue physique et dimensionnel.

Ce procédé donne à la feuille du verre une épaisseur uniforme et une surface très plane et parallèle [17].

En fait, le terme « flot » se réfère en même temps à la technologie la plus récente pour produire du verre plat avec un certain niveau de qualité.

La plupart de verre float est de Silicate Sodo-Calcique, mais il y a d'autres types de verre comme le borosilicate et le panneau de verre plat d'affichage sont également produits en utilisant le procédé de verre float.

Le processus de verre flotté est également connu comme le procédé Pilkington, nommé d'après le Britanniques fabricant Sir Alastair Pilkington qui a développé la technique dans les années 1950 [18].



**Figure II.1:** Schéma du processus de fabrication du verre float [19].

## **II.2. Matières premières utilisées dans la fabrication de verre sodo-calcique**

La composition chimique du verre dépend essentiellement toujours des propriétés recherchées et l'abondance des matières premières.

Généralement les minerais composant le verre float sont le sable, le carbonate de soude, le calcaire et la dolomie. Toutes ces matières existent à l'état naturel dans l'environnement [3].

### **➤ Sable**

Le sable est une roche naturelle riche en silice (formateur de réseau de verre). Densité apparente est de 1,5, densité réelle est de 2,65.

Le sable est la principale matière première qui intervenant dans la fabrication du verre. Car il constitue la plus importante source de  $\text{SiO}_2$ . Il s'agit d'une substance naturelle et courante. Le point de fusion du sable est trop élevé.

Pour que la fusion soit économique, il faut ajouter un fondant, tel que l'oxyde de sodium, pour réduire la température de fusion [20].

### **➤ Feldspath**

Le feldspath est un silicate double d'alumine et de potasse, ou de soude, ou de chaux. C'est une source d' $\text{Al}_2\text{O}_3$  mais aussi un apport intéressant de  $\text{Na}_2\text{O}$ , de  $\text{K}_2\text{O}$ . Ses densités (apparente et réelle) sont respectivement égales à 1,2, et 2,55.

L'oxyde d'aluminium,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , est ajouté afin d'améliorer la résistance chimique et d'augmenter la viscosité à basse température.

La granulométrie doit être inférieure à 600  $\mu\text{m}$  pour éviter tout problème de qualité du produit fini [21].

### **➤ Carbonate de soude**

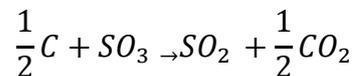
Le carbonate de soude ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) est un sous-produit de l'industrie chimique. Ses densités (apparente et réelle) sont respectivement égales à 1,11 et 2,53.

C'est la source principale d'oxyde de sodium  $\text{Na}_2\text{O}$ , 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 [22].

### ➤ **Charbon**

Le charbon ou poudre de coke sert de réducteur pour le sulfate de soude (affinant). Le charbon contient environ 80% de carbone. Un excès de charbon dans la composition engendre des hétérogénéités chimiques siliceuses. Un manque de charbon provoque des bouillons de sulfate [21].

Le charbon était utilisé comme réducteur intervenant dans les phénomènes de fusion par réaction avec le sulfate de sodium.



### ➤ **Sulfate de soude**

Le sulfate de soude ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) (affinant) est un sous-produit de l'industrie chimique. Ses densités (apparente et réelle) sont respectivement égales à 1,32 et 2,70. Le sulfate de sodium  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  est ajouté, en tant qu'agent affinant et oxydant, et constitue une source secondaire d'oxyde de sodium. Un excès de sulfate dans la composition engendre des bouillons de sel et une corrosion des réfractaires. Un manque de sulfate provoque des ségrégations siliceuses [21].

### ➤ **Oxyde de fer**

L'oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) est utilisé comme colorant (couleur verte, apporte de chaleur) et comme régulateur de la transmission lumineuse du verre. Les quantités utilisées sont faibles [21].

### ➤ **Calcaire**

Le calcaire est une roche naturelle riche en chaux (55 à 56%  $\text{CaO}$ , stabilisant de réseau de verre) blanche ou grise. Ses densités (apparente et réelle) sont respectivement égales à 1,6 et 2,71.

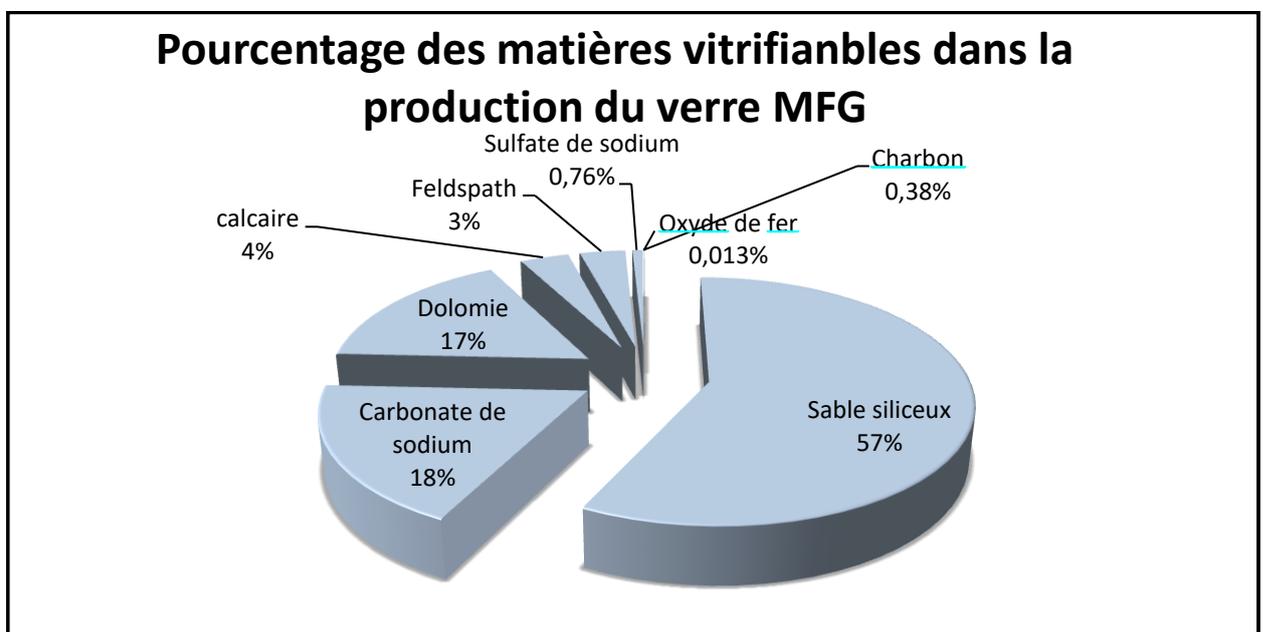
Les exigences de qualité sont sensiblement les mêmes que pour la dolomie.

### ➤ Dolomie

La dolomie est une roche naturelle carbonatée riche en CaO et MgO (stabilisant du verre). Densité apparente 1,7, densité réelle 2,9 [21].

### ➤ Calcin

Le calcin (verre broyé) est considéré comme une matière première (fondant). Une matière première de plus en plus importante, dans la fabrication du verre, à la fois issu de la fabrication, dit interne. Il nécessite une énergie de fusion inférieure à celle des matières premières [25].



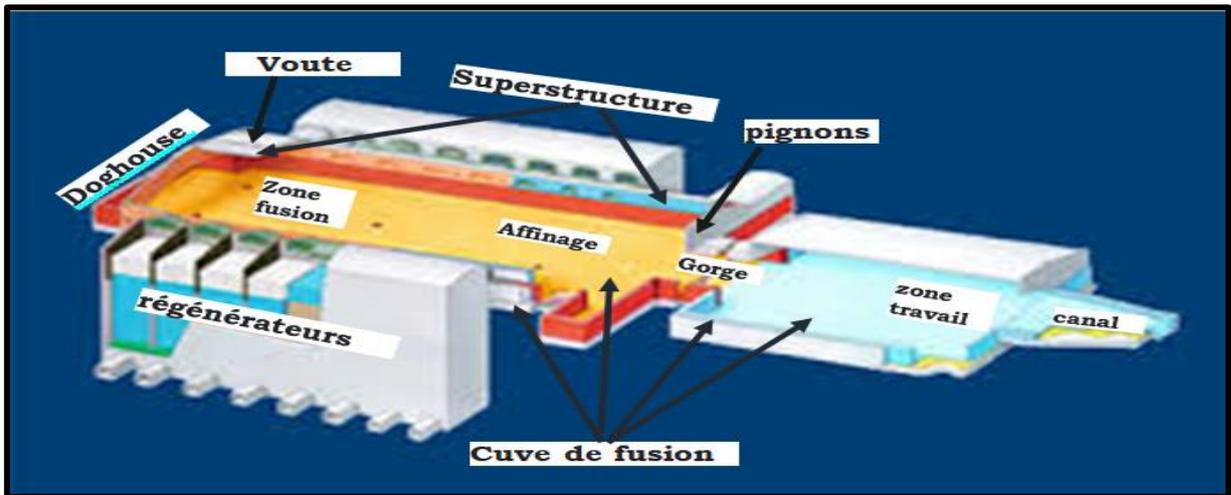
**Figure II.2:** Photo représentant le pourcentage des matières vitrifiantes dans la production du verre MFG [21].

## II.3. Four de fusion

Les fours de verrier sont de différents types (électrique, régénérateur, récupérateur .....etc.).

Ils sont considéré comme étant les cerveaux des lignes de production du verre, on lui apprête la plus grand importance qui soit afin de le préservé et maintenir son temps de vie (10 ans), pour cela tout une équipes composer de plusieurs membres est mobiliser [21].

Le four utilisé au sein de MFG est de type régénérateur à flamme transversale dont sa structure assure le maintien de température entre 1500 et 1600 °C afin d'éviter toute détérioration du verre ou du four.



**Figure II.3:** Schéma du four de fusion [5].

### ❖ Caractéristique du four

- Four à régénérateurs latéraux, transversaux (06 de chaque côté).
- Longueur : 64.5 m ; Largeur : 30.5m
- capacité du four: 2 050 tonnes.
- Température maximale : 1590 °C, Température de sortie : 1100 °C
- Durée de vie du four : entre 10 ans jusqu' à 13 ans.

#### II.3.1. Conception de four

Le type de four utilisé par l'entreprise MFG c'est le régénérateur à flamme transversale, avec une capacité de fusion de 800 tonnes/jour.

Il comporte 07 brûleurs transversaux en utilisant le gaz naturel comme combustible principal, spécifié par sa structure qui permet de le maintenir à une haute température (entre 1500 et 1600 °C). Ce four est constitué essentiellement des briques réfractaires AZS qui résistent à la chaleur comme à la corrosion, d'une couche externe de briques d'alumine qui minimisent les pertes de chaleur et soutenu à l'aide d'une structure en acier et refroidi en permanence par des ventilateurs [24].

Cette conception reprend les étapes d'élaboration d'un verre. Comme schématisé par la **Figure II.3**, la fabrication du verre peut se décomposer principalement en trois phases (fusion, affinage et conditionnement), auxquelles correspondent différentes zones du four :

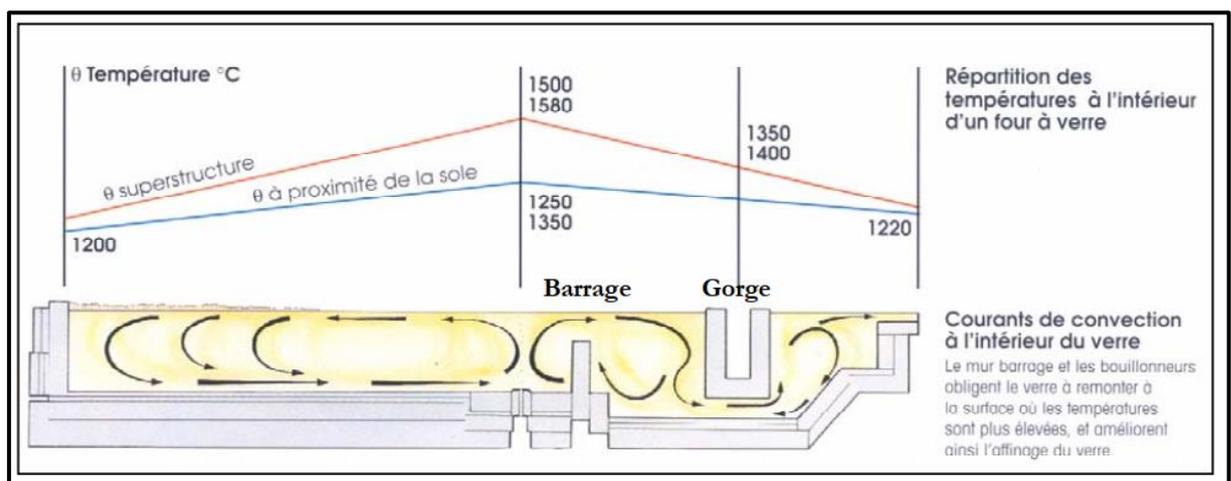
### a. Zone d'enfournement

Tout d'abord, un four verrier est constitué d'une zone d'enfournement, appelée **DOGHOUSE**, qui reçoit le mélange vitrifiable pulvérulent composé de matières vitrifiantes (par ex. sable siliceux, calcins), d'éléments intermédiaires/modificateurs de réseau (par exemple soude, calcaire ou feldspath) et d'agents colorants/décolorants (par exemple chromite ou oxyde de fer).

### b. Cuve du four

La cuve du four est une sorte de piscine contenant le verre fondu. Elle se partage en trois zones : la zone de fusion (de l'enfournement au barrage), la zone d'affinage (du barrage à la gorge) et la zone de travail (de la gorge à l'entrée du bain d'étain).

Comme l'illustre la **Figure II.4**, de forts gradients thermiques sont présents, provoqués par les écarts de température entre le bain en fusion, l'atmosphère du four et les parois des réfractaires refroidies. A cela viennent s'ajouter les différents courants de convection du verre, indispensables à l'homogénéisation de sa composition [25].



**Figure II.4:** Schéma représentant les courants de convection dans un four verrerie [19].

### **c. Zone de fusion**

Lieu de transformation de la matière première en verre fondu, elle s'étale depuis l'enfournement jusqu'au dernier port. Elle comporte plusieurs parties complémentaires entre elles (corps de fusion, colliers brûleurs, chambres régénératrices, système d'inversion, canaux principal et secondaires, 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.) [24].

Cette partie du four est notamment caractérisée par des dégagements gazeux ( $\text{CO}_2$ ) et par la formation de bulles dans le verre, provoquées par les impuretés contenues dans les silicates d'alcalins et les silicates de calcium.

### **d. Corps de fusion**

C'est un bassin où se trouve le volume du verre fondu 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 six chambres de régénération où ports, avec 03 injecteurs à flamme horizontale dans chaque chambre (sauf le 6ème port, y'en a deux).

Ces injecteurs permettent l'introduction du  $\text{CH}_4$  pour l'allumage des flammes qui peuvent atteindre une longueur de 8m, soit  $\frac{3}{4}$  de la largeur du bassin de fusion du four [24].

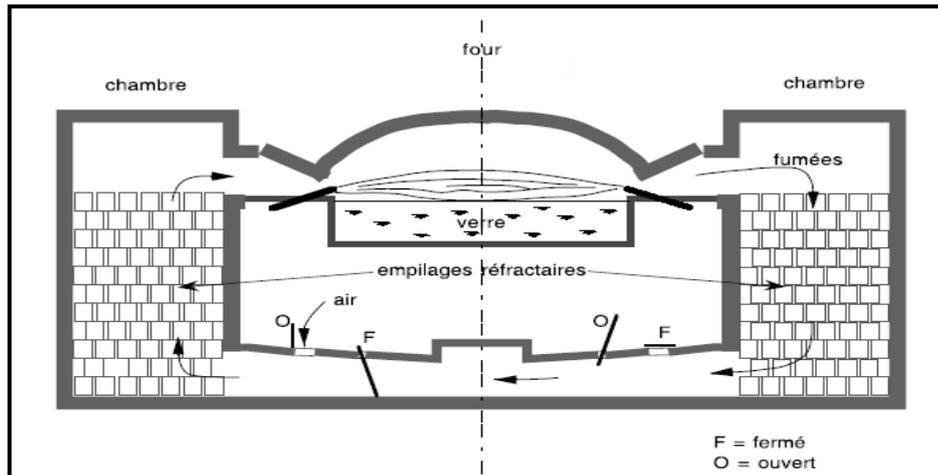
### **e. Chambres de régénérations**

Les chambres de régénérations sont reliées au four par les colliers de brûleurs, ces colliers permettent la circulation de l'air ( $\text{O}_2$ ) et l'évacuation des fumés vers l'extérieur, Les chambres de régénération sont conçues en briques d'empilage à l'intérieur qui supportent des températures atteignant les 1500 °C.

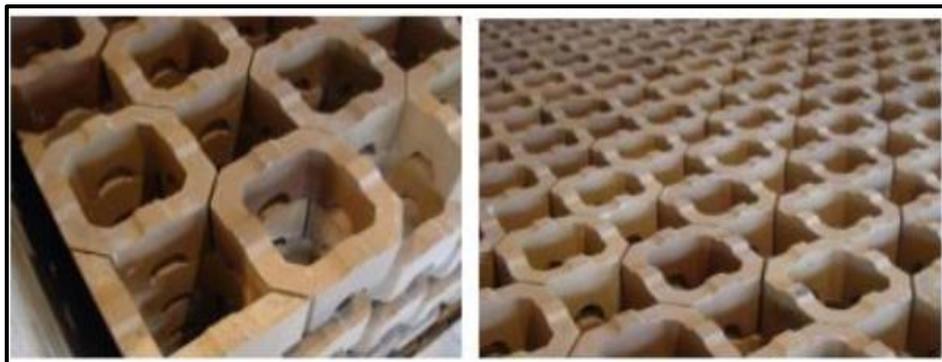
Elles fonctionnent suivant l'allumage de la flamme, elles permettent l'alimentation de la flamme en  $\text{O}_2$  de son côté, du côté opposé elles permettent d'évacuer les fumées et maintenir les briques chaudes d'où le terme de régénérateur.

Les ouvertures d'arrivée d'air ou d'évacuation des fumées sont situées sur les côtés du four.

Un système d'inversion utilisé qui permet le fonctionnement des bruleurs d'une fonction alternative, après chaque vingt (20) minute le système est inversé et l'air de combustion passe à travers la chambre préalablement chauffée [5-21].



**Figure II.5:** Schéma représentant le système de récupération de la chaleur par régénération [19].



**Figure II.6:** Photographie montrant les briques d'empilage du four [3].

## f. Superstructure

La superstructure, appelée également « laboratoire », englobe les différentes zones et constitue la structure même du four. Elle est constituée de murs latéraux ou pignons, de murs d'extrémité ou pignons, d'une voûte coiffant l'ensemble et de niches d'enfournement.

La superstructure joue un rôle essentiel dans les performances des fours verriers : elle a pour rôle d'assurer avec précision le maintien de la température entre 1550 et 1600 °C, ce qui est

primordial pour prévenir toute détérioration des caractéristiques du verre. La température maximale à laquelle elle peut être portée conditionne en grande partie la tirée et la qualité du verre [25].

### **g. Zone d'affinage**

D'une longueur de 16 mètres, commence du dernier port jusqu'à la gorge. Elle est constituée en briques AZS-36# (36% de Zr), son rôle est le dégazage des bulles d'air emprisonnées à l'intérieur du verre  $O_2$  et le  $CO_x$ ,  $NO_x$ ,  $SO_x$ .

### **h. Gorge**

C'est une zone intermédiaire entre l'affinage et le conditionnement. Elle est considérée comme un barrage pour stopper les impuretés qui flottent sur la surface du verre grâce à des barres en acier introduites à la sortie de cette zone.

Elle permet aussi de régler le débit du verre. Elle contient un malaxeur horizontal qui assure l'homogénéisation du liquide. Cette homogénéisation est assurée aussi par le courant de convection naturel et l'ascension des bulles (affinage). Les briques sont en AZS-33# (33% de Zr) [26].

### **i. Zone de conditionnement**

Sur une longueur de 16 mètres, elle s'étend de la gorge jusqu'au bain d'étain. Elle est aussi appelée zone de repos. Son rôle est de conditionner le verre à une température de 1100 °C environ, pour pouvoir être façonné au bain d'étain.

### **j. Canal d'écoulement**

Le canal est une structure composée de briques en corindon  $\alpha$ - $\beta$  électro fondu. Il doit assurer :

- a)- La connexion avec le four et le bain d'étain 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 [27].

La température d'entrée du verre liquide est de l'ordre de 1100 °C.

### II.3.2. Briques réfractaires

Le type des réfractaires le plus utilisé dans l'industrie du verre est l'AZS. Il est principalement utilisé pour les murs latéraux des fours de flamme avec les fonds, pour la sécurité totale avec les tractions et les longueurs moyennes de campagne, et les superstructures, paroi frontale, mur arrière, couronne supérieure dans le four de fonte en verre [28].

**Tableau II.1:** Types de briques réfractaires pour chaque zone de four [5].

N°	Zone	Type de réfractaires
1	Paroi de la zone de fusion et d'affinage	réfractaires électrofondus type AZS 41#, 36# et 33#
2	Paroi de la zone de repos	réfractaires électrofondus à haute teneur en alumine (corindon)
3	Superstructure	Réfractaires agglomérés de silice
4	Gorge	réfractaires électrofondus type AZS 33
5	Angles morts	réfractaires électrofondus type AZS 41
6	Murs de frappe	réfractaires électrofondus type AZS 41
7	Pignon en L	Réfractaires agglomérés de silice et de mullite
8	Empilage	réfractaires de magnésie
9	Sole du four	réfractaires électrofondus type AZS 33#

### II.3.3. Contrôle des paramètres de four

#### II.3.3.1. Température

Les conditions fixées sont les suivantes :

Température du point chaud : 1577 °C.

- $T^{\circ}$  point chaud –  $T^{\circ}$  premier port =  $\Delta T_1 = 120\sim 150$  °C.
- $T^{\circ}$  premier port –  $T^{\circ}$  second port =  $\Delta T_2 = 80\sim 90$  °C.

- Charge thermique en respectant la condition  $\sum 1\# \sim 3\# = 55-65$ .
- Ligne des mottes au 3<sup>ème</sup> port [29].

### II.3.3.2. Flamme

La luminosité de la flamme doit être légèrement sombre pas trop brillante, ne comportant pas de fumées.

- Port 1 ~ 2 :
  - La longueur de la flamme dans le port doit être 60%~65% la largeur du four
  - Les angles des injecteurs sont un peu élevés, sans toucher le lot MP. Dispersion de la matière qui peut bloquer les injecteurs (endommagement et explosion).
- Port 3 ~4 : la longueur de la flamme est 80%~85% la largeur du four
- Port 5 et plus : La longueur de la flamme est 60%~65% la largeur du four.

L'Angle de la flamme bas, sans toucher le verre. Génération de défauts type bulle d'air (port 3 jusqu'au dernier) [29].

### II.3.3.3. Pression

La pression dans l'enceinte d'un four est de l'ordre de quelques dizaines de Pascals. C'est un paramètre d'exploitation très important qu'il faut suivre avec attention.

En effet, un mauvais contrôle de la pression peut entraîner les phénomènes suivants:

- augmentation de la consommation spécifique et diminution du rendement ;
- détérioration de la combustion ;
- dégradation des parois en cas d'excès de pression [29].

Pour éliminer ces problèmes, il faut :

- Calibrer le transmetteur de pression chaque 3 mois.
- Nettoyez le tube de pression chaque 1 mois.

- Le contrôle de la quantité d'air de dilution :
  - Nettoyer les débits mètres chaque 3 mois.
  - Nettoyer le filtre chaque 15~20 jours.
- Nettoyez le carneau principal et le registre de pression chaque 3 mois.
- Vérifiez périodiquement le système d'inversion chaque 1 mois.
- Calibrer régulièrement le débitmètre d'air de combustion chaque 2 mois.
- Maintenance préventive des ventilateurs chaque 30~45 jours.
- Assurer une bonne isolation du four, fermer chaque nouveau trou à temps [29].

#### **II.3.3.4. Lignes limites**

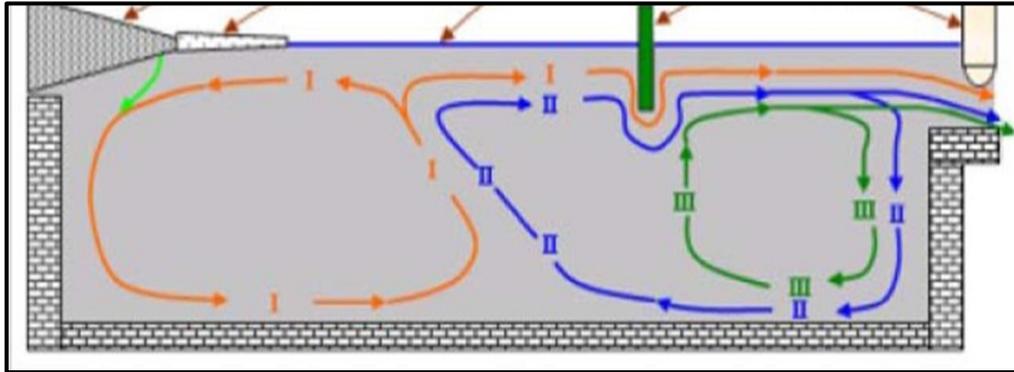
Pour assurer que les lignes limites soient stables, il faut :

1. Stabiliser la position du point chaud : pour maintenir le courant de retour stable.
2. Stabiliser le régime thermique des premiers ports (températures et flammes) : une grande fluctuation de température implique des lignes non stables.
3. Stabiliser les ouvertures des registres des carneaux secondaires premiers ports.
  - Plus grande ouverture des registres 1 à 3#, recul des les lignes avec présence de mousse.
  - Ouverture plus petite des registres 1 à 3#, déplacement des lignes (mauvaise fusion).
4. Contrôler en permanence l'enfournement.
5. Stabiliser la tirée (formage).
6. Non homogénéiser le mélange vitrifiable et ou calcin.
7. Augmenter l'humidité du mélange vitrifiable [29].

Les opérateurs doivent strictement renforcer la surveillance de :

- L'alimentation des enfourneuses.
- La courbe de feu.
- La quantité du combustible et le rapport air/gaz.
- Le système d'inversion [29].

### II.3.3.5. Courants convectifs



**Figure II.7:** Schéma représentatif des courants convectifs survenus au niveau de verre [5].

**1ère couche :** verre liquide fraîchement fondu, homogénéisé une seule fois, il est donc de meilleure qualité.

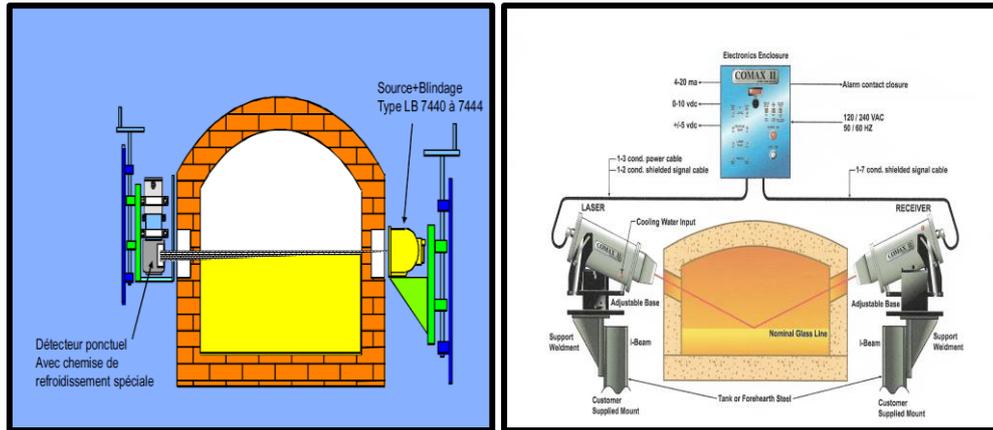
**2ème couche :** verre liquide de la zone d'affinage recyclé, homogénéisé au moins deux fois, sa qualité est toujours meilleure.

**3ème couche :** verre liquide verre de la zone de braise, recyclé plusieurs fois. Durée de séjour à l'intérieur du four plus grande. Qualité moindre par rapport aux autres couches.

- ✚ Déplacement des courants influe sur l'ascension des bulles d'air et peut conduire à un mauvais affinage [29].

### II.3.3.6. Niveau de verre

Le contrôle doit se faire en mode automatique pour minimiser la fluctuation du niveau [29],



**Figure II.8:** Contrôle de niveau de verre a bombardement radioactif (à gauche) à faisceau laser (à droite) [5].

### II.3.3.7. Malaxage

Pour un malaxage efficace, on doit s'assurer que :

1. La profondeur des agitateurs doit être optimale (10~15 mm) ;

- Plus haut : apparition des bulles d'air.
- Plus bas : mauvaise homogénéité du verre.

2. Les malaxeurs doivent être perpendiculaires à la surface du verre [29]

## II.4. Etapes d'élaboration du verre

### II.4.1. Dosage des matières premières

Pour la fabrication du verre float, chacune de ces matières est stocké dans son propre silo liées à des balances puis pesé suivant des normes pour être mélangés dans un malaxeur une fois à sec pendant 40 secondes et une 2eme fois humide pendant 105 secondes avec l'ajout de l'eau chaude de température entre 80 -90 °.

Donc l'humidité est entre 4 et 4.5% et la température de mélange est entre 33 et 35 c° pour :

- éviter la perte des matières volatiles lors de transport vers la trémie d'enfournement (carbonate de soude, sulfate de soude et charbon)

- Éviter la réaction de carbonate de sodes et sulfates de soude qui se produit à une température inférieure à 35°C (la réaction du carbonate de soude avec l'eau implique un colmatage qui signifie formation de bloc) [5,30].

## **II.4.2. Enfournement**

On obtient la matière première sans calcin, par suit il sera ajouté, et tous le mélange sera transporté et mis dans des trémies d'enfournement pour passer dans l'enfourneuse qui l'enfourne dans le four a fusion (four régénérateur a flamme transversal).

- ✚ Le transport, la pesés, le mélange et l'enfournement sont faits automatiquement grâce à un système entièrement automatisé [5,30].

## **II.4.3. Etape de fusion**

Le processus de fusion de verre peut se diviser en 5 étapes : la formation de silicate, la formation de verre, la décantation, l'homogénéisation et le refroidissement. Ces étapes sont non pareils mutuels, chacun a ses particularités, mais une relation étroite mutuelle, et en réalité, entre tous les étapes, il n'y a pas de limité claire pendant le processus de fusion [5].

### **II.4.3.1. Etape de formation de silicate**

La formation de silicate est la première étape de processus de fusion de verre. Tous ces composants dans les charges vitrifiables se produisent une série de transformation physique - chimique et physique -chimique dans cette étape du fait de chauffage [5].

La réaction importante physique et chimique dans cet étape est de :

#### **i. Vidange de l'humidité :**

Lors du chauffage des charges vitrifiables, tout d'abord, l'eau absorbée ou l'eau de cristallisation dans les charges vitrifiables seront vaporisées et vider l'eau de constitution chimique lors de l'augmentation continue de température [5].

#### **ii. Dissolution de sel :**

Toutes sortes de sels dans les charges vitrifiables seront dissociées lors de chauffage d'une certaine température et générés l'oxyde métallique en vidant le gaz [5].

Par exemple :  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$  700 °C environ

$\text{CaCO}_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$  500 °C environ

$\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2 \uparrow$  380 °C environ

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{O} + \text{SO}_3 \uparrow$  1200 °C environ

iii. Transformation polymorphique :

Certains composants ont plusieurs formes cristallines, la structure du cristal aurait connu un changement lors de changement de température, la forme cristalline sera tout à coup transformée d'une à une autre [5].

iv. Fusion :

Lors de chauffage au point de fusion, le composant sera transformé de phase solide en état fondu.

v. Formation de silicate :

Mélange de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , et de  $\text{SiO}_2$      $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO}_2 \uparrow$

Mélange de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  et de  $\text{SiO}_2$  :     $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{SiO}_2 + \text{C} \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO}_2 \uparrow + \text{SO}_2 \uparrow$

La dissolution de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  pur est très difficile de telle façon qu'elle doit commencer à la température de 1120 °C et la vitesse de dissolution est lente. S'il existe l'agent de réduction (tel que le poudre de charbon), la dissolution de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sera accélérée considérablement [5].

Si la quantité ajoutée de l'agent de réduction est insuffisante, et l'eau de nitrate sera flottée sur le niveau de liquide de verre du fait que le degrés de dissolution de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dans le liquide de verre est peu bas, il sera apparu de temps en temps la boule de sulfate de soude sur la bande original de verre.

Pour éviter que l'agent de réduction fût insuffisant à cause de la poudre de charbon brûlé, il faut être homogène lors de dosage des matières et il faut chauffer rapidement à la température élevée après l'entrée du four.

La flamme dans le four doit maintenir la réductibilité à la zone de fusion de tas de matières afin de dissocier le sulfate de soude [5].

Mélange de  $\text{MgCO}_3$  et de  $\text{SiO}_2$       $\text{MgCO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{MgSiO}_3 + \text{CO}_2\uparrow$

Mélange de  $\text{CaCO}_3$  et de  $\text{SiO}_2$       $\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2\uparrow$

vi.     Formation de sel double:

Le sel double est un composé constituant de deux (ou plusieurs) sortes de sels simples.

Il peut se produire le sel double entre beaucoup de composants des charges vitrifiables.

Tel que  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  et  $\text{CaCO}_3$  se forment  $\text{CaNa}_2(\text{CO}_3)_2$  à la température de  $600^\circ\text{C}$  environs [5].

vii.     Génération de mélange eutectique :

Mélange eutectique : il est un mélange de point de fusion le plus bas formé par les deux matières. Tel que  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  et  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  peuvent se former le mélange eutectique.

La formation de mélange eutectique accélère la vitesse de formation de silicate.

Lors de fabrication de verre en usine, l'enfourneuse chargera les charges vitrifiables dans le four et chauffera directement à plus de  $1300^\circ\text{C}$ , de toutes sortes de changements seront effectuées en même temps, et la réaction de l'étape de formation de silicate sera fini dans le temps plus court (de 3 à 5 minutes environ).

Le temps nécessaire pour l'étape de formation de silicate dépendra principalement de la température, il dépendra encore de nature des charges vitrifiables, de vitesse de chargement et de méthode de l'enfournement etc. [5].

#### II.4.3.2. Étape de formation de verre

Après avoir fini l'étape de formation de silicate, les charges vitrifiables seront devenues la matière agglomérante non transparente constituants de silicate et de  $\text{SiO}_2$ .

La température sera augmentée continuellement, le silicate et les grains quartzeux seront tout à fait fondus et transformés en liquide de verre qui a beaucoup d'ampoules visuelles et qui est semi-transparent de l'inhomogénéité de la température et de composition chimique, c'est l'étape de formation de verre.

Cette étape du verre plat en feuille ordinaire sera finie à la température de 1200°C à 1250 °C [5].

Le processus de fusion de grain quartzeux est très lent, c'est pourquoi la vitesse de formation de l'étape de verre dépend en réalité de la vitesse de fusion de grain quartzeux. L'élément principal influant sur la vitesse de fusion de sable siliceux est la température de fusion, la composition de verre et la grandeur de granulométrie des sables.

- Composition de verre : plus beaucoup auront les composants à point de fusion élevée de  $\text{SiO}_2$  et de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  la vitesse de dissolution de grain des sable est plus lente, plus beaucoup ont les composants de fusion/auto fondants de  $\text{Na}_3\text{O}$  et de  $\text{K}_3\text{O}$ , la vitesse de dissolution de grain des sables est plus rapide.
- Température de fusion : si l'on augmente d'une façon appropriée la température de fusion dans la condition, il peut accélérer la vitesse de formation de verre. Il est entendu qu'il faut préparer les matériaux réfractaires appropriés de bonne qualité lors de l'augmentation de la température de fusion. Il faut prévenir que la température est plus basse ou plus fluctuante dans le processus de la production pour éviter la dissolution incomplète de grain de quartz, la formation de déchet flottant et reste dans le liquide de verre, l'influence de la qualité de verre.
- Grandeur des sables : plus grande sera la grandeur des sables, la vitesse de dissolution des sables siliceux est plus lente.

Nous en avons parlé précédemment, il n'y a pas de limite évidente entre l'étape de formation de silicate et l'étape de formation de verre, la formation de verre est déjà commencée au moment où le processus de formation de silicate n'a pas encore fini. Il est plus difficile à distinguer ces deux processus. En conséquence, on peut qualifier ces deux processus du processus de fusion de verre [5].

#### **II.4.4. Etape d’Affinage et homogénéisation**

Le verre fondu doit être absolument homogène et sans bulles, avant de pouvoir être moulé, pour obtenir les différents produits. Cela veut dire que tous les composants doivent être parfaitement fondus et distribués, de manière homogène, et que toutes les bulles doivent être éliminées, à travers l'affinage.

Pendant le procédé de fusion, des bulles de gaz se dégagent, principalement du dioxyde de carbone, qui provient de la décomposition des carbonates, en particulier le carbonate de sodium et le calcaire, et, dans une moindre mesure, de l'air contenu dans les matières premières. Ces bulles doivent être éliminées du verre fondu. Car elles peuvent provoquer des défauts dans les produits finis, affectant notamment la résistance mécanique et l'aspect extérieur.

Le mouvement ascensionnel des bulles contribue à mélanger physiquement la masse fondue, nécessaire pour obtenir un produit homogène, doté de propriétés physiques optimales. Les bulles montent vers la surface à une vitesse qui est fonction de leur taille et de la viscosité du verre. Les grosses bulles montent vite en contribuant au procédé d'agitation.

Tandis que les plus petites bougent lentement, à des vitesses souvent inférieures à celles des gros courants de convection, présents à l'intérieur du four et sont, donc, plus difficiles à éliminer. Les petites bulles qui restent dans le produit fini sont appelées "graines".

La vitesse ascensionnelle  $v$  d'une bulle de gaz de rayon  $r$  dans un liquide de viscosité  $\eta$  vaut :

$$v = \frac{r^2 \rho g}{3\eta}$$

Où  $\rho$  est la masse volumique du liquide et  $g$  l'accélération de la pesanteur.

À 1450 °C, la viscosité du bain est environ 10 Pa.s. L'application de cette équation à une bulle de 0,1 mm de diamètre montre qu'il lui faut environ 140 heures pour s'élever d'un mètre dans le bain.

Dans le cas d'un verre sodo-calcique, L'agent affinant le plus fréquemment utilisé est le sulfate (de sodium ou de calcium) qui se décompose, à une température d'environ 1 450 °C, 1200°C en présence d'agents de réduction, pour créer de l'oxyde de sodium, incorporé dans le verre, des oxydes de soufre gazeux et de l'oxygène.

Sa décomposition peut s'écrire :



Le gonflage des bulles se fait donc avec un mélange de  $\text{SO}_2$  et  $\text{O}_2$

L'homogénéisation peut également être favorisée par l'introduction de bulles de vapeur, d'oxygène, d'azote ou, plus couramment, d'air dans le fond de la cuve. Ceci favorise la circulation et le mélange du verre, tout en améliorant l'échange de chaleur.

Certains procédés, entre autres celui utilisé pour la fabrication de verre optique, emploient des dispositifs d'agitation, pour obtenir le niveau élevé d'homogénéité requis. Une autre technique d'affinage, pour les installations de petites dimensions, surtout pour la production de verres spéciaux, consiste à faire augmenter la température du verre, de façon à le rendre moins visqueux et à faire remonter plus facilement les bulles à la surface [31].

#### **II.4.5. Etape de conditionnement**

Sert à abaisser la température du verre, car au début de l'opération de mise en forme, la viscosité du liquide doit être au moins dix fois plus élevée que pendant l'affinage. En pratique, on le laisse se refroidir et pour éviter les forts gradients de viscosité, on fait en sorte que ce refroidissement soit très lent.

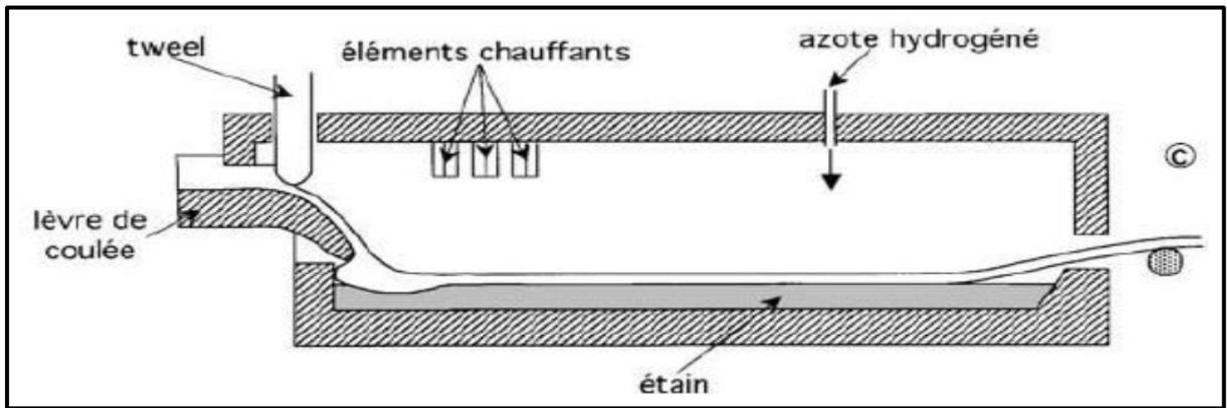
Autrefois on laissait le pot contenant le verre dans le four que l'on cessait d'alimenter en combustible.

Parmi les bénéfices de cette opération est la stabilité de régime thermique dans le four. Et donc la diminution des défauts et l'augmentation de rendement.

#### **II.4.6. Bain d'étain**

C'est un système étanche avec une atmosphère contrôlée composée d'azote et d'hydrogène. Il se compose d'une structure en acier, d'une enveloppe métallique supérieure, d'une enveloppe métallique inférieure protégée de l'étain par des réfractaires spéciaux et de systèmes de contrôle de la température du ruban de verre et du formage.

Le bain mesure environ 60 m de long sur 8 m de large, avec une vitesse de défilement pouvant atteindre jusqu'à 25 m/min. Il contient près de 200 tonnes d'étain pur, fondu à une température moyenne de 800 ° C.



**Figure II.9:** Schéma de bain d'étain [10].

### II.4.7. Etenderie

A la sortie de bain d'étain, le ruban de verre devenue rigide passe par l'étenderie qui est un tunnel de refroidissement dont la longueur d'environ 120 m.

Le verre est introduit à 600°C, ainsi il refroidit sous contrôle jusqu'à la température ambiante.

Ce processus de recuit évite la formation de défaut mécaniques dus aux tensions subies par le verre pendant le refroidissement, donc il permet de libérer le verre de toutes les contraintes interne qui provoqueraient sa casse lors de la découpe [5,24].



**Figure II.10:** Photographie présentant l'étenderie de l'entreprise MFG [5].

## **II.4.8. Découpe**

A la sortie de l'étenderie un système de détection des contraintes qui donne une courbe de contraintes puis le ruban de verre passe à travers un système de détection des défauts ( le laser), Le ruban de verre ainsi produit est refroidi à l'air libre, puis est contrôlé de manière permanente (épaisseur, qualité optique, défauts, etc.), coupé en plateaux de superficie standard et « débordé » automatiquement (enlèvement des bords).

## **II.4.9. Stockage**

La phase de stockage est le plus délicate de la « vie » d'un float les différents plaques de verre sont séparées à l'aide de poudres intercalaires 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 .

## **II.5. Défauts des verres**

### **II.5.1. Définition d'un défaut de verre**

Un défaut du verre est un défaut du matériau fini apparus lors de sa fabrication. Les principaux défauts peuvent être des inhomogénéités ou des inclusions. Les défauts du verre peuvent rendre le produit inutilisable ou en restreindre sévèrement l'utilisation [32].

Il existe deux types de défauts du verre float principaux :

#### **II.5.1.1. Défaut d'aspect**

Défaut qui altère la qualité d'aspect du verre. Ils incluent les défauts ponctuels et les défauts linéaires ou étendus.

##### **II.5.1.1.1. Défaut ponctuel :**

Le défaut ponctuel c'est un noyau généralement accompagné par un halo de verre déformé. Les défauts ponctuels peuvent être des inclusions présentent à l'intérieur du verre par exemple bulle, Pierre...etc.

Halo : surface localement déformée, généralement autour d'un défaut ponctuel.

#### **II.5.1.1.1. Bulles :**

Inclusions gazeuses (cavité remplie de gaz) dans le verre. Ces inclusions présentent presque toujours un aspect brillant et de forme elliptique. Le terme «puce» désigne les bulles dont la dimension est inférieure à 5,5 mm et le terme «bouillons» s'applique à toutes les inclusions de longueur supérieure à 6 mm.

#### **II.5.1.1.2. Pierres (inclusions solide) :**

Résidus opaques de matière première ou réfractaire non dissoute au cours du procédé de fusion.

Il existe différents types de pierres :

Pierre de Quartz, Pierre de Zircon, Pierre de Corindon, Gouttelette du verre fondu, Pierre du verre cristallisé, Pierre d'argile réfractaire, Pierre de Silice réfractaire, pierre d'oxyde d'étain, pierre d'étain.

#### **II.5.1.1.3. Taches**

- Tâche d'Etain inférieure.
- Tache d'Oxyde d'Etain (traces des rouleaux).

#### **II.5.1.2. Les défauts linéaires ou étendus :**

Défauts qui se trouve sur ou dans le verre, sous forme de dépôts, marque de griffes, impressions, rayures, épaufrures, etc. Défauts qui occupent une longueur ou surface étendue [33].

- **Rayure** : toute marque ou fissure sur la surface et qui semble avoir été faite par un instrument tranchant ou rugueux (entaille produite par un corps dur). Les diverses espèces de rayures apparaissant sur le verre sont accidentelles.

#### **II.5.1.2. Défaut optique**

Défaut qui provoque des déformations de l'apparence des objets observés au travers de la feuille du verre. Il existe deux types de défauts optiques linéaires et locaux (Knot) [33].

*Chapitre III*

*Matériels et méthodes, Résultats et discussions*

---

### III.1. Appareil d'inspection (ISRA vision)

Les systèmes d'inspection **ISRA** inspectent de manière précise et fiable la ligne de verre flotté, du côté chaud au côté froid ils mesurent à la fois les déformations et la planéité du verre, détectant immédiatement tout défaut dans le verre ou tout changement dans l'épaisseur et la tension.



**Figure III.1:** Photographie présentant un appareil d'inspection (ISRA vision).

### III.2. Prélèvement de l'échantillon

Effectué les prélèvements toutes les heures allant de 8h à 16h pour qu'on puisse lancer l'analyse dans la journée.



**Figure III.2:** Photographie représentant un échantillon du défaut (à droite) et son prélèvement (à gauche).

### III.3. Technique expérimentale (analyse optique)

L'analyse du produit fini est réalisée au sein de laboratoire centrale de contrôle et qualité (MFG), dont il est possible d'identifier et de déterminer la composition du défaut observé en comparant avec des photos de référence.



**Figure III.3:** Photographie représentant un microscope optique de marque Leica.

Le microscope optique est un instrument d'optique muni d'un objectif et d'un oculaire qui permet de Grossir l'image d'un objet de petites dimensions et de séparer les détails de cette image afin qu'il soit observable par l'œil humain.

### III.4. Analyse optique du produit fini :

Les résultats d'analyse optique allant de 08h00 à 16h00 sont résumés dans le tableau présenté dans la partie **ANNEXE 1**.

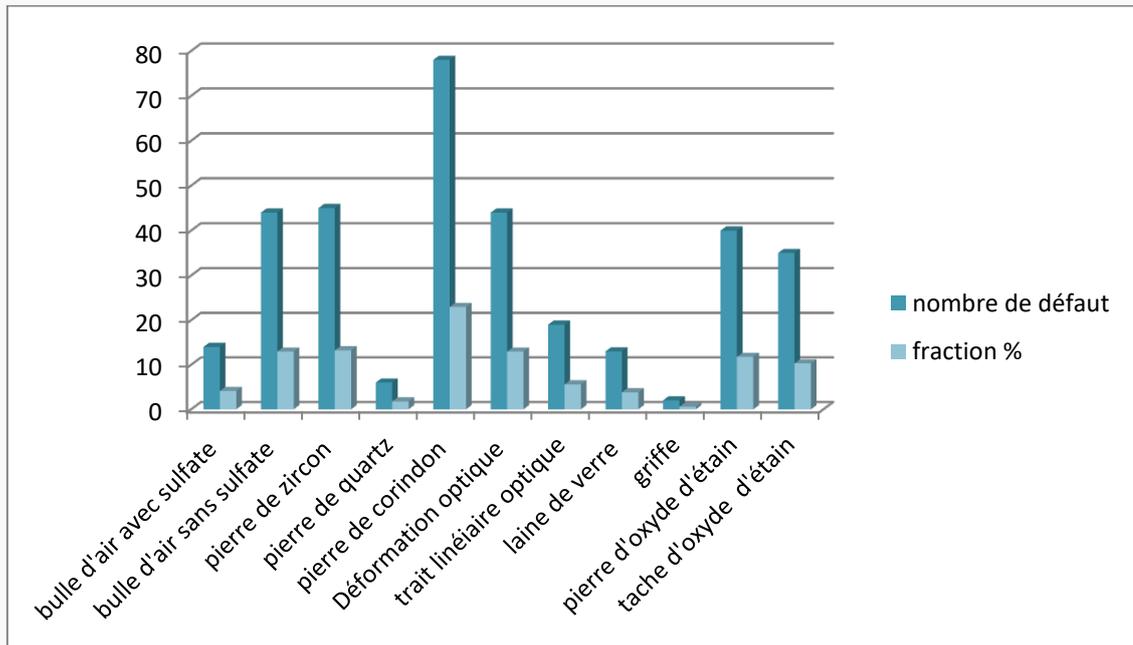
Après l'analyse de 340 échantillons dans le laboratoire central de MFG, nous avons pu identifier clairement 11 défauts sans compter les bulles d'air facilement identifiables dont les échantillons étudiés sont représentés dans un tableau récapitulatif avec la statistique tableau III.1.

L'histogramme correspondant présenté sur la Figure III.4 permet de réaliser une étude statistique précise du type de défaut qui apparaît le plus et la source (four /bain d'étain) qui entraîne un grand nombre de défauts lors la fabrication du verre float.

Ces statistiques des défauts sont présentées dans le Tableau III.1 suivant :

**Tableau III.1:** Résultats d'analyse du microscope optique et leurs statistiques.

Type de défaut	Nombre de défaut trouvés lors de l'analyse	Fraction (%)		
<b>Bulle d'air avec sulfate</b>	14	4,11	<b>Four de fusion</b>	<b>54,98%</b>
<b>Bulle d'air sans sulfate</b>	44	12,94		
<b>Pierre de zircon</b>	45	13,23		
<b>Pierre de quartz</b>	6	1,76		
<b>Pierre de corindon</b>	78	22,94		
<b>Déformation optique</b>	44	12,94	<b>Bain d'étain</b>	<b>45,02%</b>
<b>Trait linéaire optique</b>	19	5,58		
<b>Laine de verre</b>	13	3,82		
<b>Griffe</b>	2	0,58		
<b>Pierre d'oxyde d'étain</b>	40	11,76		
<b>Tache d'oxyde d'étain</b>	35	10,29		



**Figure III.4:** Histogramme des statistiques des défauts du verre float.

L'historgramme de la figure III.4 montre que parmi les 11 types de défaut repérés lors de l'analyse optique, le défaut le plus dominant des défauts du verre float est la pièce de corindon.

D'après le tableau des statistiques du verre float tableau III.1, nous avons pu constater que **54,98 %** des défauts de la production résultent du four de fusion et **45,02%** résultant du bain d'étain.

Donc, le lieu qui entraîne un grand nombre de défauts est le four de fusion puisqu'il affecte la production du verre et le rendement, nous nous sommes donc mis au travail pour les réduire.

### III.5. Origine des défauts et actions correctives

Voici quelques causes probables et actions correctives qui peuvent être prises pour chaque défaut

Types de défaut	Causes probables	Actions correctives
Pierre de corindon	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dérivée de l'érosion écaillée par l'attaque de briques ;</li> <li>- Substance associée de pierre résultant de l'érosion de brique de mullite (tel que le mur suspendu en L de zone avant) ;</li> <li>- Substance associée de pierre résultant de l'érosion de brique d'argile ;</li> <li>- Dérivée écaillée de briques au corindon <math>\alpha - \beta</math> ;</li> <li>- Inclusions de zirconite d'aluminium, d'aluminium de silice (brique d'argile) et de silico-alumineuse (briques au corindon de mullite) dans les matières premières.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stabiliser le régime thermique du four.</li> <li>- Renforcer (entretenir) les parois du four.</li> </ul>
Pierre de zircon	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Corrosion des briques de paroi AZS sous l'attaque de verre fondu ;</li> <li>- Pierres remontées à la surface suite grande perturbation des courants convectifs (déplacement de la couche inerte).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Renforcer la protection de paroi du four en augmentant le débit d'air de refroidissement ou installer des refroidisseurs à eau ;</li> <li>- Il faut vérifier strictement l'enfournement (interdiction de faire entrer des impuretés au zirconium au four) ;</li> <li>- Stabiliser le flux du verre liquide et éviter de tourbillonner le fond du four</li> </ul>

Type de défaut	Cause probables	Actions correctives
Bulle d'air	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perturbation des paramètres du four, notamment ceux d'affinage ;</li> <li>- La fluctuation de surface de liquide fait varier l'écoulement de verre, et l'air dissout dans le liquide de verre ne peut être évacuée ;</li> <li>- Surpression au niveau de la partie de refroidissement résultant de la fluctuation de la pression du four, le gaz ne peut être évacué ;</li> <li>- L'atmosphère du point chaud est plus oxydée de manière que l'air ne peut être évacué.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vérifier la température d'affinage ;</li> <li>- Vérifier la pression du four ;</li> <li>- Vérifier la propreté de l'air de dilution et la structure de registre principale ;</li> <li>- Stabiliser le système de commande automatique surface/niveau du liquide et assurer l'enfournement régulier du mélange vitrifiable.</li> <li>- Vérifier l'atmosphère neutre de la flamme du brûleur au point chaud.</li> </ul>
Bulle de sulfate de soude	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Surplus de la teneur de sulfate de sodium- erreur de pesage ou problème sur la balance ;</li> <li>- Mauvais réglage de flamme 1#/2# port. La flamme oxydante consomme en avance la poudre de charbon, soit un surplus de sulfate de sodium ;</li> <li>- Température du point chaud est basse de manière que le sulfate de soude fondu n'a pas le temps de se dissoudre et d'être évacué, restant ainsi dans le verre fondu ;</li> <li>- Enrichissement local de sulfate de sodium (mauvais pré-mélange sulfates/charbon) ;</li> <li>- Les sulfates se condense sur les endroits les plus froids (ouverture de brûleur, à l'entrée de canal et du bain d'étain et au niveau des malaxeurs) puis tombe ;</li> <li>- Teneur plus basse en poudre de charbon.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vérifier en permanence les balances et le système de pesage ;</li> <li>- Contrôler strictement les flammes ;</li> <li>- Stabiliser la pression du four ;</li> <li>- Stabiliser le régime thermique ;</li> <li>- Stabiliser les lignes limites (mottes/bullage).</li> </ul>

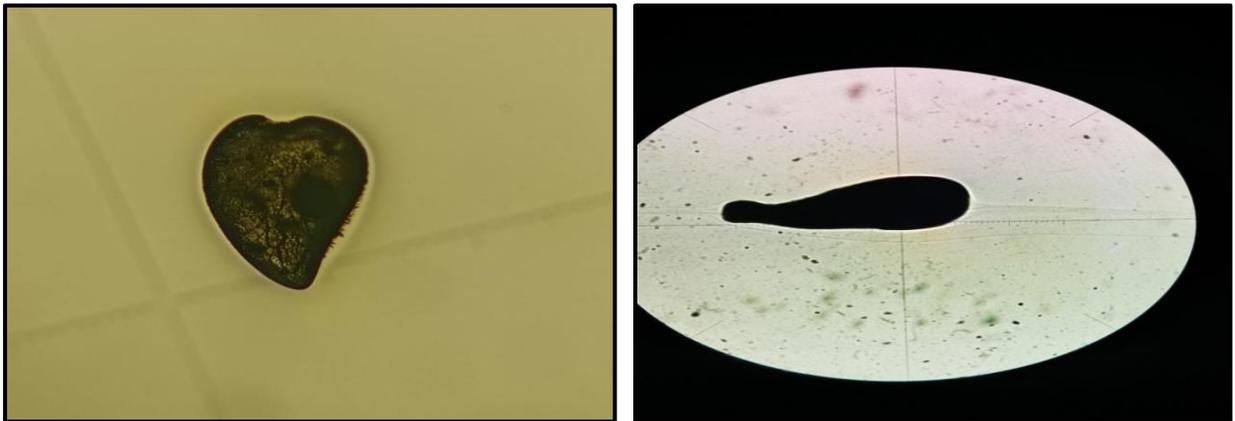
En mettant en œuvre ces actions correctives, nous pouvons minimiser l'apparition de ces défauts dans le verre flotté et améliorer la qualité globale du processus de production du

verre, on a travaillé à les écarter une par une pour arriver à la cause principale du défaut en modifiant un seul paramètre on peut s'attendre à un résultat dans un voisinage de forme finale attendue.

## **III.6. Causes principaux des défauts**

### **III.6.1. Pierre de corindon**

Le centre de pierre est en structure de briques ronde densité, il y'a de forme de grain à côté de pierre. Les pierres de corindon issu des briques réfractaires de la zone de repos et de canal.



**Figure III.5:** Photographie représentant deux formes de pierres de corindon sous microscope.

Dans notre cas, on doit évaluer la température (au niveau de bassin de repos et de canal), pour déterminer si elle contribue à la formation de pierre de corindon.

#### **III.6.1.1. Température du bassin de repos**

La Figure III.6 montre la variation de température au niveau du bassin de repos.



**Figure III.6:** Courbe de la variation de température au niveau de bassin de repos en fonction du temps.

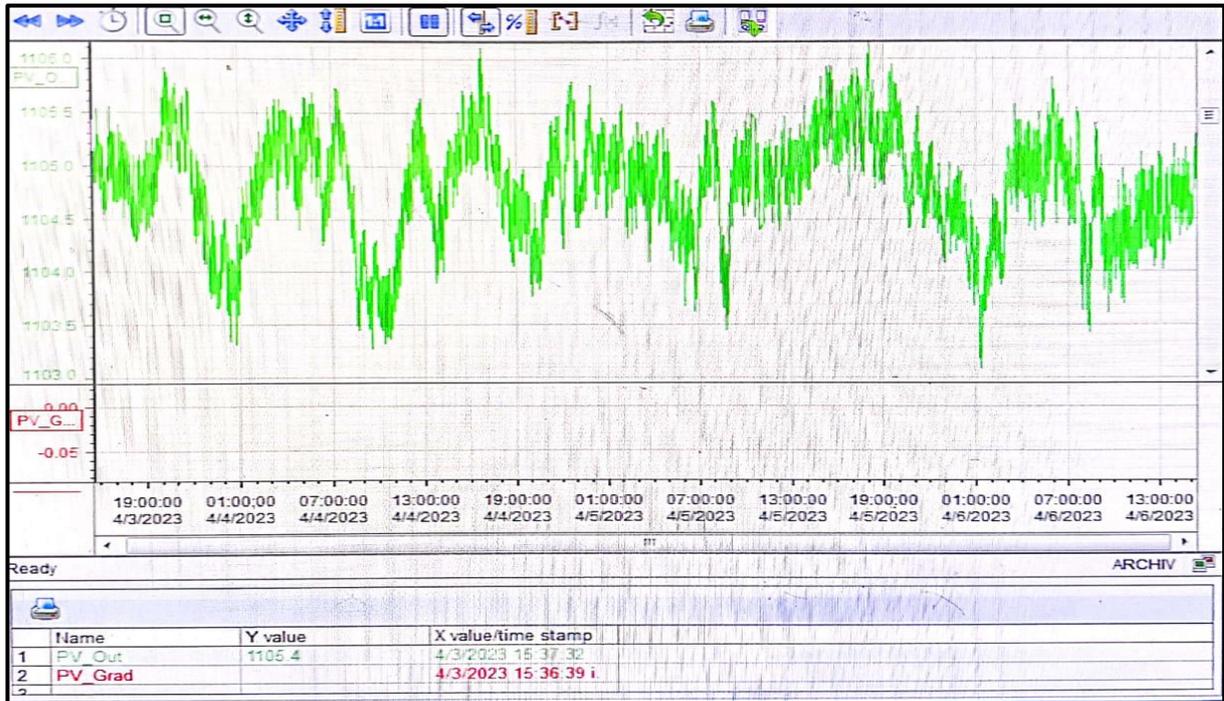
L'analyse de cette courbe de température de bassin de repos (Figure III.6) montre qu'il n'y a pas de renflement et concavité dans le graphe et qu'elle répond à la norme exigée.

Les zones étudiées dans la partie de bassin de repos sont les suivantes :

[TI175 (1049 ± 1 °C) ; TI176 (1004 ± 1 °C) ; TI174 (1090 ± 1 °C)]

### **III.6.1.2. Température du canal**

La Figure IV.4 montre la variation de température au niveau du canal :



**Figure III.7:** Courbe représente la variation de température du canal en fonction du temps.

L'examen de cette courbe de température du canal (Figure III.7) montre qu'avant l'apparition des pierres de corindon (05/04/2023) et le jour où ils sont apparus (06/04/2023), la température est identique à la consigne du four de fusion ( $1104 \pm 1^\circ\text{C}$ ).

La variation à grande échelle de la température peut se produire l'érosion grave contre la paroi et la sol du bassin de repos et du canal.

### **III.6.1.3. Origine des pierres de corindon**

Comme le montre la Figure III.8, et suite à la vérification de l'archive de la production, nous avons constaté qu'il y'a un frottement (grattement) résultant du contact du verre avec les briques de corindon puisque certaines briques ont été soulevées par rapport au niveau du sol.

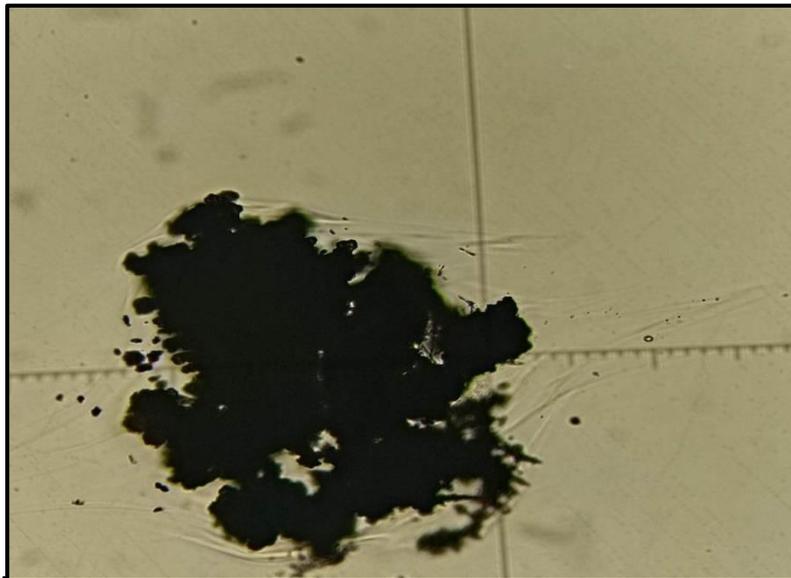


**FigureIII.8:** Photographie représentant un grattage des pierres de corindon.

### **III.6.2. Pierres de zircon**

Ils se présentent sous forme de petits grains denses et durs, blancs ou gris, pouvant créer une déformation optique autour du défaut généralement sur les bords du ruban.

Les pierres de zircon proviennent des briques réfractaires des parois du sol dans la zone de fusion.

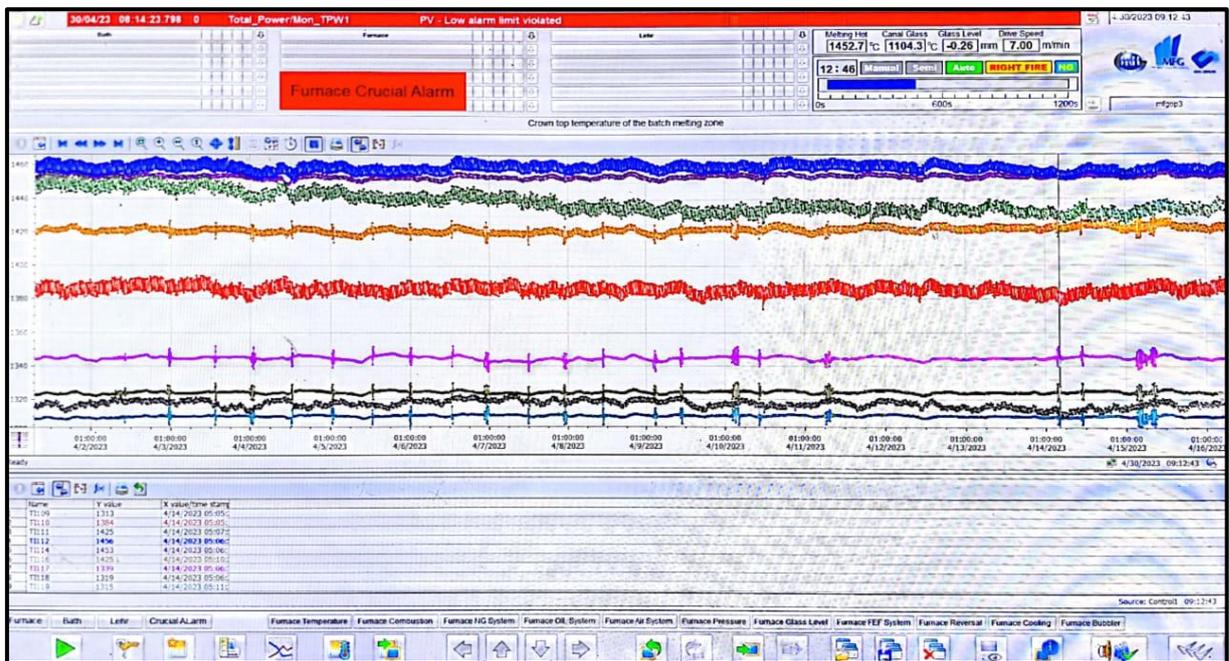


**FigureIII.9:** Photographie représentant une pierre de zircon sous microscope.

Pour corriger ces défauts, il faut contrôler les paramètres liés aux causes probables dès l'apparition des pierres de zircon.

### III.6.2.1. Température

La température au niveau de la voute (Figure IV.7) est stable et répond aux normes. Dans cette partie, nous avons pu découvrir qu'il y'a une fluctuation de température du sol de la zone de fusion (figure IV.8) comme indiqué ci-dessous :



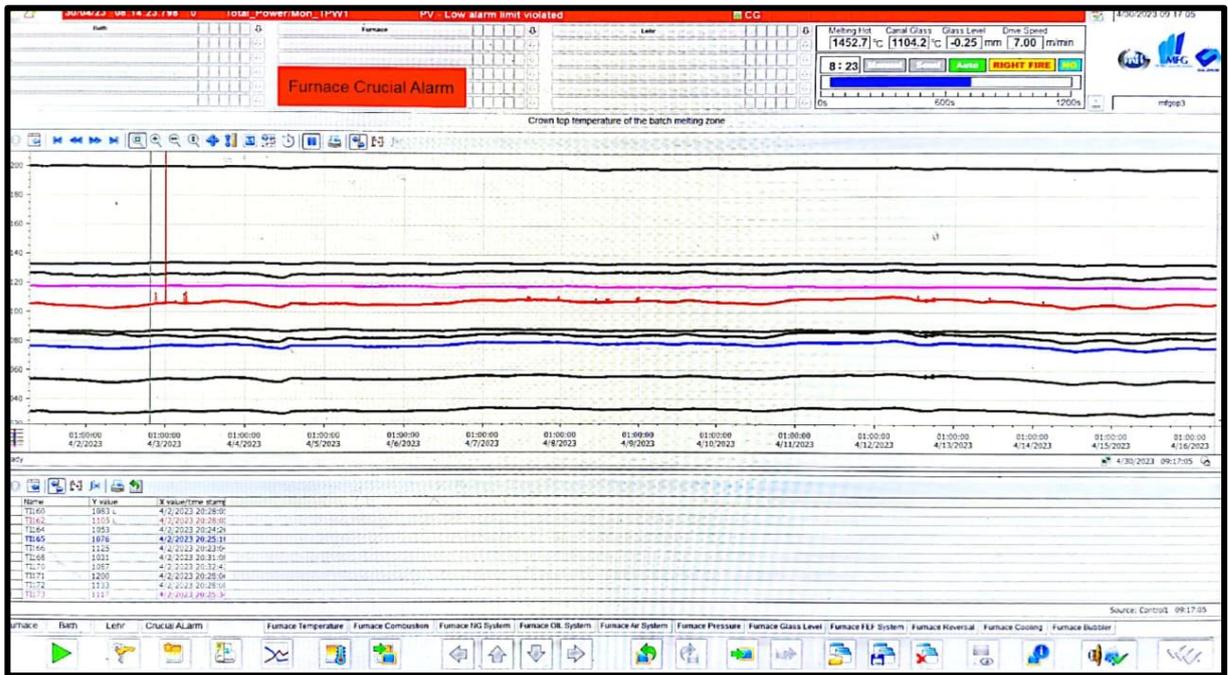
**Figure III.10 :** Courbe de la variation de température de la zone de fusion au niveau de la voute en fonction du temps.

La Figure III.10 montre qu'il n'y a pas de perturbation de température du (02/04/2023) au (16/04/2023) et qu'elle répond aux constructions du four de fusion.

Les zones étudiées dans la partie sol sont les suivantes :

TI109 ( $1313 \pm 1^\circ\text{C}$ ) ; TI110( $1354 \pm 1^\circ\text{C}$ ) ; TI111( $1425 \pm 1^\circ\text{C}$ ) ; TI112 ( $1456 \pm 1^\circ\text{C}$ ) ; TI114 ( $1453 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1$ ) ; TI116 ( $1425 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1$ ) ; TI117 ( $1339 \pm 1^\circ\text{C}$ ) ; TI118 ( $1319 \pm 1^\circ\text{C}$ ) ; TI119 ( $1315 \pm 1^\circ\text{C}$ ).

Où TI et ( $X \pm \Delta X$ ) représentent respectivement la zone étudiée et la température de la zone



**Figure III.11:** Courbe représentant la variation de température de sol de la zone de fusion en fonction du temps.

D’après le graphe (Figure III.11), la température du sol de la zone de fusion qui était stable du 02/04/2023 au 04/04/2023 a diminuée d’une manière discontinue pendant les périodes 04/04/2023 au 05/04/2023, puis elle s’est stabilisé et revenu à son état normal.

Les zones étudiées dans la partie sol sont les suivantes :

TI160 ( $1083 \pm 1^\circ\text{C}$ ); TI162 ( $1105 \pm 1^\circ\text{C}$ ); TI164 ( $1053 \pm 1^\circ\text{C}$ ); TI165 ( $1076 \pm 1^\circ\text{C}$ ); TI166 ( $1125 \pm 1^\circ\text{C}$ ); TI168 ( $1031 \pm 1^\circ\text{C}$ ); TI170 ( $1087 \pm 1^\circ\text{C}$ ); TI171 ( $1200 \pm 1^\circ\text{C}$ ); TI172 ( $1133 \pm 1^\circ\text{C}$ ); TI173 ( $1117 \pm 1^\circ\text{C}$ ).

Où TI et ( $X \pm \Delta X$ ) représentent respectivement la zone étudiée et la température de la zone.

La cause constatée dans la diminution de la température est due à l’élévation du niveau de verre par rapport au niveau du sol à cause de la basse température du mélange vitrifiable enfourné.

### III.6.2.2. Niveau de verre

Afin de s'assurer que le niveau de verre a bien monté, nous avons vérifié les deux causes de fluctuation de niveau de verre.

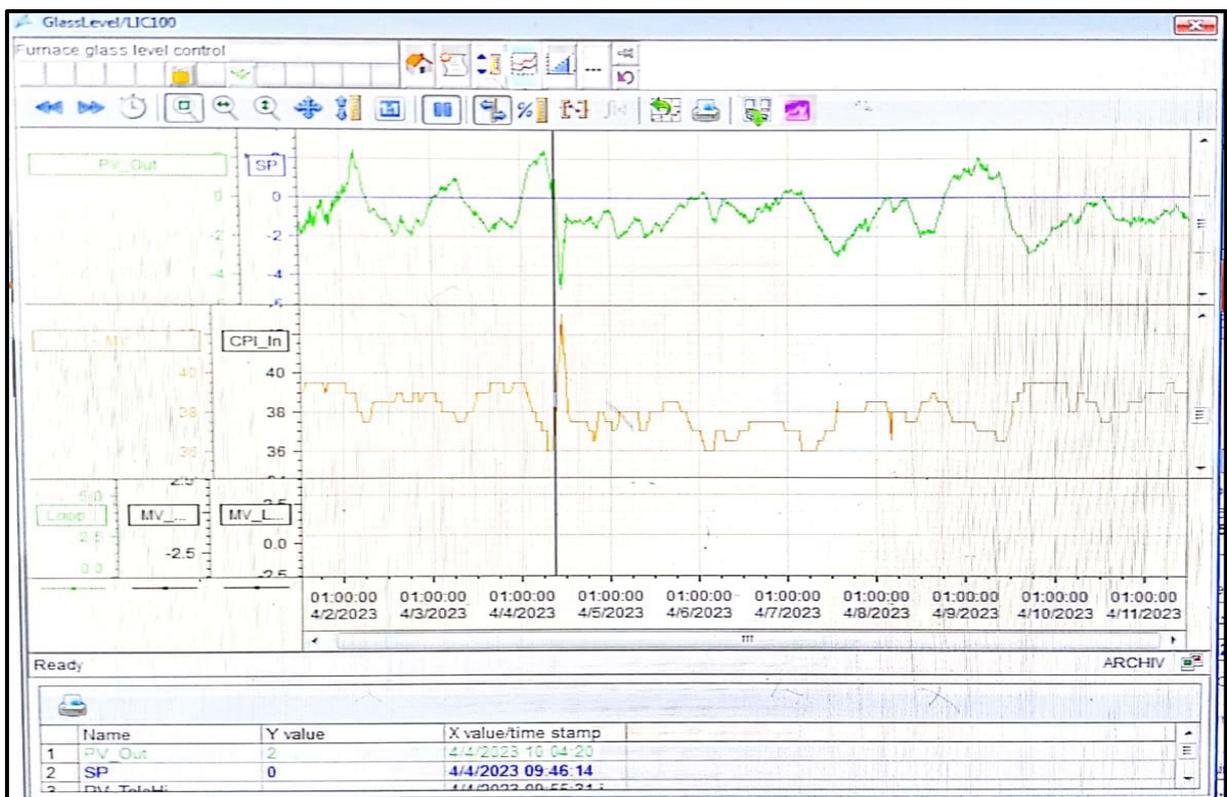
➤ **Causes de fluctuation du niveau de verre :**

1. Arrêt ou défaut sur l'une des enfourneuses ou la vitesse d'enfournement.
2. Fluctuation du tirage ou bien défaut de système ou commande automatique.

Donc, on est dans une impasse ou on doit traiter ces deux causes de fluctuation :

#### III.6.2.2.1. Vitesse d'enfournement

La courbe de la variation de niveau de verre et de la vitesse d'enfournement est donnée dans la figure III.12 suivante :



**Figure III.12:** Courbe représentant la variation de niveau de verre et la vitesse d'enfournement en fonction du temps.

D'après l'étude de la courbe du niveau de verre (courbe en verre) (figure III.12) nous voyons qu'on a des bouleversements c'est-à-dire une diminution et une augmentation significative du niveau de verre pendant 10 jours.

Par contre la vitesse d'enfournement (courbe en orange) est dans un état normal, dès que le niveau de verre augmente, on baisse la vitesse d'enfournement et vice versa.

Le niveau de verre est inversement proportionnel avec la vitesse d'enfournement, le fait que le niveau de verre augmente, la vitesse d'enfournement diminue.

La vitesse n'est pas la cause de fluctuation de niveau de verre donc nous allons vérifier la tirée.

### **III.6.2.2.2. Tirée du bain d'étain**

Après avoir traité la vitesse d'enfournement, nous avons vérifié la tirée du verre à l'entrée du bain d'étain.

L'examen de la fiche des paramètres du bain d'étain présenté dans la partie **ANNEXE2** fait apparaître les résultats suivants :

**Tableau III.2 : Valeurs de la tirée.**

Date	04/04/2023							
La tirée(T/j)	532,268	531,531	534,919	533,924	532,998	529,740	530,079	530,079

Date	04/04/2023							
La tirée(T/J)	523,648	525,971	526,023	526,361	525,162	525,212	527,850	527,814

Le tableau III.2 exprime que la tirée au début possède des valeurs plus élevées ensuite elles ont commencés à diminuer progressivement et s'écartent de la valeur de la consigne.

Donc la cause de la fluctuation de niveau c'est la variation de la tirée.

### III.6.2.2.3. Cause de l'apparition des pierres de zircon

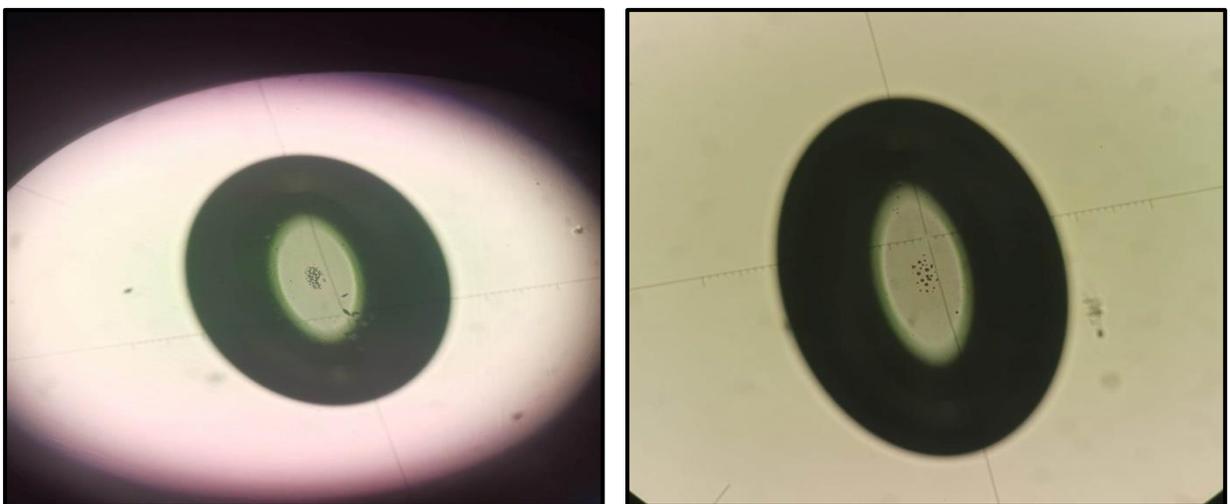
La cause principale d'apparition des pierres de zircon est la fluctuation du niveau de verre cause la corrosion des briques de parois qui en s'introduisant dans le verre liquide comme le montre la Figure IV.13.



**Figure IV.13:** Photo présentant une brique réfractaire corrodée.

### **III.6.3. Bulles d'air avec sulfate**

La bulle de sulfate de soude est généralement de forme longue. Il existe des impuretés de gaz à l'intérieur avec dépôts blancs brillants de sulfate de soude et des reflets autour de la bulle.



**FigureIV.14:** Photographie représentant une pierre de sulfate de soude sous microscope.

Pour connaître la raison de l'apparition de ce type de défaut, nous nous sommes proposé d'examiner tous les paramètres liés à celui-ci.

### **III.6.3.1. Vérification des balances et le système de pesage**

Pour vérifier si les balances fonctionnent bien, nous allons comparer la quantité de la poudre de charbon avec les résultats des balances électroniques.

**Tableau III.3:** Composition des matières premières.

N° Barème	Date début d'utilisation	Float 1									
		Sable Siliceux	Carbonate de sodium	Dolomie	Carbonate de calcium	Feldspath	Sulfate de sodium	Poudre de charbon	Oxyde de fer	Total	Calcin
314-02-22%	03/04/2023 à 23h30										
Quantité par mélange (kg)		2197,86	697,59	640,56	123,5	59,63	28,69	1,42	0,75	3750	874
taux d'humidité		4,30%	0,20%	0,15%	0,10%	0,15%	0,06%	0,45%	0,00%	5,41%	0%
taux matières		58,61%	18,60%	17,08%	3,29%	1,59%	0,77%	0,038%	0,020%	100%	22%

Le tableau III.3 montre la composition des matières premières en les comparant à des valeurs des caractéristiques métrologiques des balances électroniques présenté dans la partie ANNEXE 3 ,nous avons constaté que la quantité de la poudre de charbon est adéquate et conforme et la pesée est analogue à la consigne.

### **III.6.3.2. Température au point chaud**

D'après les journaux de bord four du float 1 présenté dans la partie ANNEXE 4, nous avons vérifié la température du point chaud avant, durant et après l'apparition de défaut afin de prouver la stabilité de la température.

**Tableau III.4:** Température au point chaud.

La date	04/04/2023	05/04/2023	06/04/2023	07/04/2023	08/04/2023
Température du point chaud (°C)	1577	1577	1577	1576	1576

Nous avons remarqué que la température du point chaud est stable suivant la consigne (1577 ± 02°C) car :

- Si la température est élevée, la fusion est rapide (avant le 3<sup>ème</sup> port)
- Si la température est basse, la fusion est lente (après le 4<sup>ème</sup> port), on aura des infondues du a la fusion incomplète de la matière première.

### **III.6.3.3. Flamme :**

Après un contrôle de l'atmosphère de la flamme port 1#/2#, nous nous sommes assurées que la flamme est réductrice ( $R_{air/gaz} < 10$ ) ;

Port1 :  $R_{air/gaz} = 4445/849 = 5,23 < 10$

Port2 :  $R_{air/gaz} = 5723/935 = 6,12 < 10$

- La flamme du port 1#/2# ne doit pas être oxydante c'est-à-dire la poudre de charbon ne doit pas être consommée en premier lieu sinon on a un excès de sulfate de sodium.

Les résultats sont tirés de la fiche présentée dans la partie **ANNEXE 5**:

**Tableau III.5 : Valeurs de débit d'Air et de Gaz.**

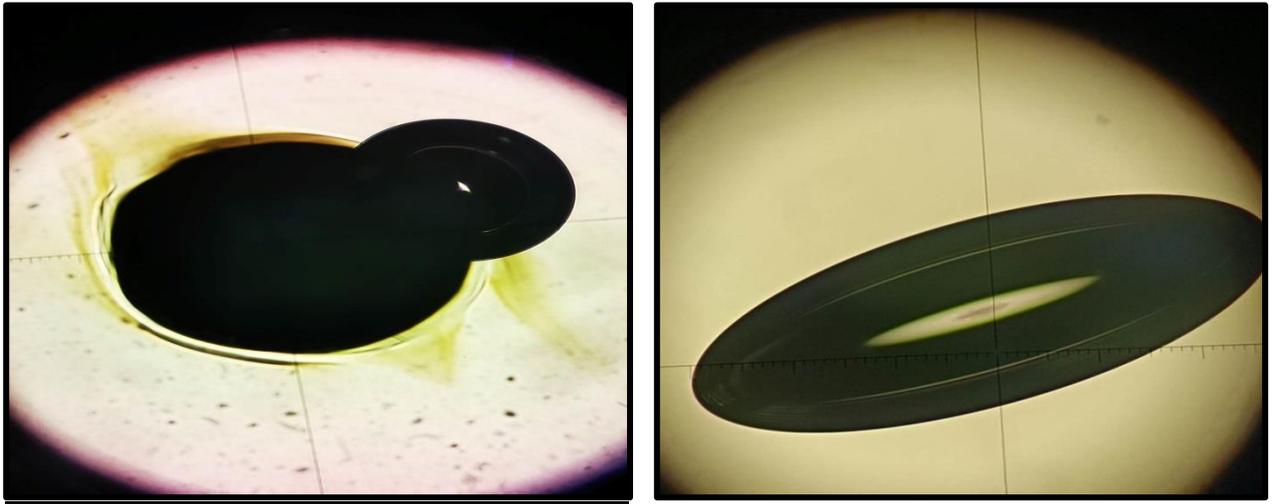
Gaz naturel						Air de combustion					
Débit de chaque port											
1#	2#	3#	4#	5#	6#	1#	2#	3#	3#	4#	5#
849	935	945	1009	338	161	4445	5723	5569	7423	3439	1231

### **III.6.3.4. Cause principale des bulles de sulfate de soude**

Après toute cette vérification, nous avons trouvé que tous les résultats sont conformes. Nous pouvons donc conclure que la seule raison restante qui pourrait être la cause de l'apparition des bulles de sulfate de soude est que les sulfates ont une tendance de se condenser sur les endroits les plus froids : dog house (refroidisseur entrée du four), les parois du four (refroidissement en continu), malaxeurs, barrage, canal, bain d'étain) puis tombe dans le mélange fondu et forme des bulles .

### **III.6.4. Bulles d'air sans sulfate**

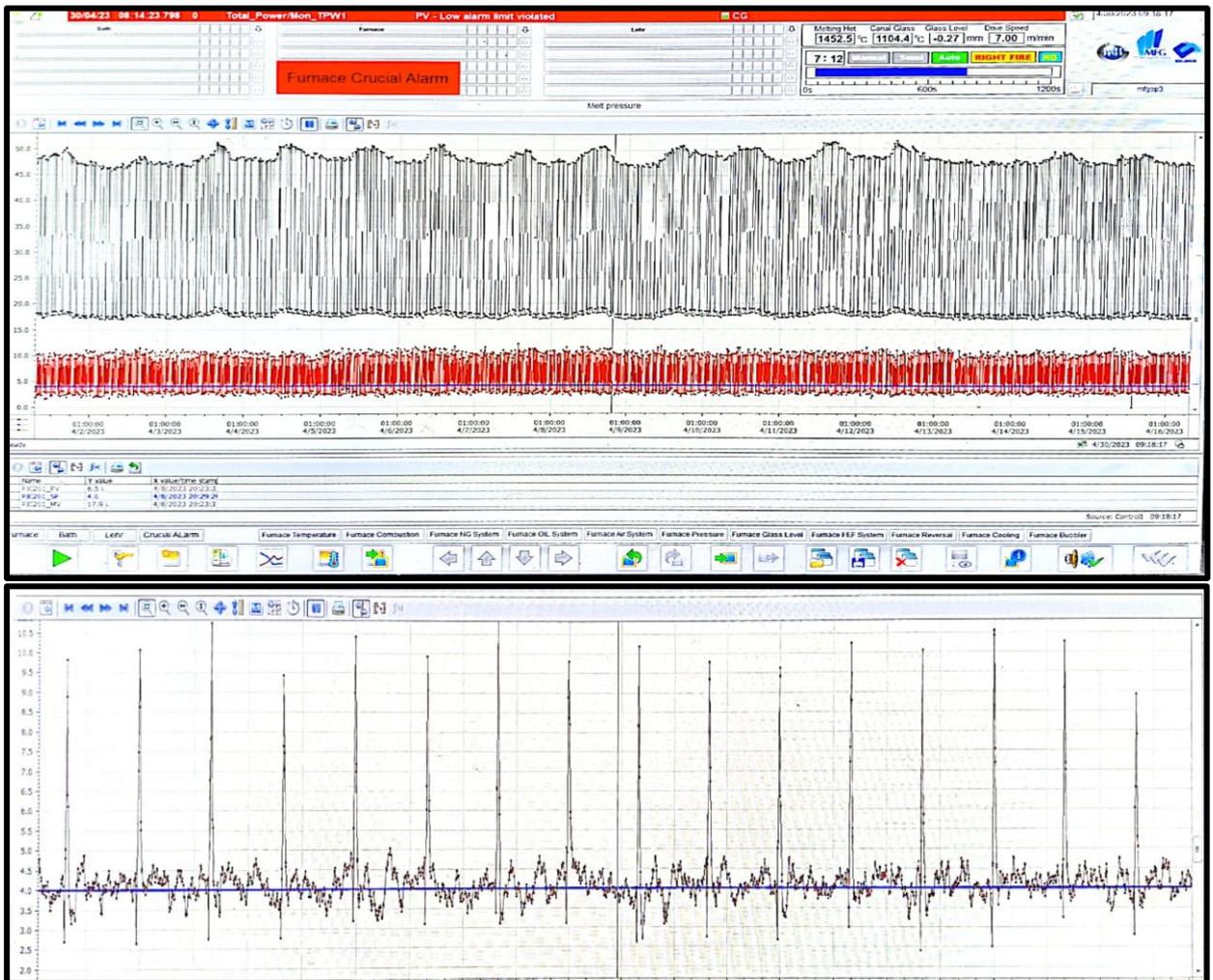
Le bulle d'air est un état de gaz qui peut voir dans le verre. Par rapport à corps fondu de verre, la bulle d'air est un autre état de la matière, est aussi un défaut d'identification et de résolution plus difficile dans le verre flottant. Son existence influence gravement l'amélioration de la qualité de verre.



**Figure III.18:** Photographie représentant une bulle d'air de sulfate sous microscope.

#### **III.6.4.1. Pression de four**

La Figure III.19 suivante montre la variation de pression de la zone de fusion.



**Figure III.19:** Courbe représentant la variation de pression de la zone de fusion en fonction du temps.

L'analyse de cette courbe figure III.19 de la variation de température de la zone de fusion (courbe en rouge) , nous voyons des fluctuations importantes de pression durant toute la période du mois d'Avril, elle n'est pas identique à la consigne (4 pascale).

Nous avons vérifié le débit d'air au niveau des ports pour trouver la raison du changement permanent et continu de la pression.

### III.6.4.2. Débit d'air de combustion :

Le tableau III.6 montre les valeurs de débit d'air de combustion dans chaque port sont tirés du journal de bord présenté dans la partie ANNEXE6.

**Tableau III.6:** Valeurs de débit d'air de combustion dans les ports.

Débit d'Air de combustion (Nm <sup>3</sup> /h)					
1#	2#	3#	4#	5#	6#
4445	5723	5569	7423	3439	<b>1231</b>
4440	5698	5434	7478	2637	<b>811</b>
4690	5600	5534	7518	3399	822
4661	6214	5372	7680	2718	895
4572	6219	5445	7574	2704	874
4581	6117	5448	7575	2900	<b>1042</b>
4543	5834	5528	7489	3013	<b>775</b>
4677	6200	5415	7510	3007	1020
4495	5610	5575	7413	3249	<b>229</b>
4630	6162	5450	7310	3424	<b>930</b>
4445	6012	5530	7518	5320	1133
4536	6159	5340	7514	3447	<b>200</b>
4507	6002	5731	7166	3866	<b>1455</b>
4527	6210	5599	7407	<b>374</b>	1053
4512	5734	5474	7626	<b>923</b>	1323
4492	5764	5489	7593	3562	1250
4285	5855	5547	7469	3160	1035
4606	6189	5504	7468	3150	1102
4648	6125	5501	7482	3350	1028
4537	6209	5539	7402	2761	988

D'après l'analyse du tableau III.6, nous avons observé une grande perturbation et déstabilisation des valeurs de débit d'air dans chaque port surtout au niveau des ports 5# et 6#.

La pression est régulée en ajustant le débit d'air de combustion donc la perturbation de pression du au dérèglement de débit d'air.

### III.6.4.3. Cause principale des bulles d'air :

La fluctuation de la pression du four au niveau de la zone d'affinage c'est la cause d'apparition des bulles d'air donc le gaz ne peut être échappé.

### III.7. Actions correctives des défauts :

Pour la résolution de tous les types de défauts qu'on a eus, voici les mesures qu'on a prises :

<b>Types de défauts</b>	<b>Solutions</b>
<b>Pierre de corindon</b>	- Changer les briques avec d'autres.
<b>Pierre de zircon</b>	- Stabiliser le niveau de verre fondu.
<b>Bulle de sulfate de soude</b>	- Il faut vérifier et nettoyer tous les zones refroidi pour se débarrasser de ce type de défaut.
<b>Bulle d'air sans sulfate</b>	- Pour se débarrasser des bulles dans ce cas il faut changer les débitmètres, et les vérifier chaque mois.

### III.8. Classification des défauts du four

Le tableau III.7 suivant montre la classification de chaque défaut selon ses dimensions.

**Tableau III.7 :** Classification des défauts.

<b>Defect Count - Classes By Types</b>								
Start Time: 2023-04-05 00:00, End Time: 2023-06-15 23:59, 71 Day(s) 23:59 Time, Defect Count [Absolute]								
Types / Classes	Class1	Class2	Class3	Class4	Class5	Class6	Class7	C
Bottom Tin	7762	67109	7054	1056	1816	0	0	0
Bubble	1593	131670	58378	7802	12059	0	0	0
Bubble_Bot	54	2226	835	356	192	0	0	0
Bubble_Mid	326	17116	4404	1228	857	0	0	0
Bubble_Top	171	20242	5773	680	557	0	0	0
Knot	123	4573	2513	305	8038	0	0	0
Point Defect	2800	77347	23625	6343	65908	0	0	0
Point Defect (Test)	0	0	0	0	0	0	0	0
Stone	341	48541	36777	8626	14919	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
Tin Oxide	0	329	7647	464	183	0	0	0
Top Tin	200	55950	2886	382	344	0	0	0
Top_Tin (Test)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	13370	425103	149892	27242	104873	0	0	0

D’après le tableau III.7 les défauts de classe 1,2 et 3 qui ont des dimensions comprises entre  $[0,6 < d < 1,5]$ ,  $[1,5 < d < 03]$ ,  $[03 < d < 06]$  respectivement sont acceptables.

Les défauts de classe 4 et 5 des dimensions  $[06 < d < 09]$  et plus sont pas acceptables et introduites comme calcin dans la production du verre comme le montre le tableau III.8 suivant :

**Tableau III.8:** Classification des défauts selon les dimensions.

Classes	Dimensions du défaut
	Ponctuel (mm)
A.C1	$0,6 < d \leq 1,5$
B.C2	$1,5 < d \leq 03$
C.C3	$3 < d \leq 6$
D.C4	$06 < d \leq 09$
E.C5	$>9$

**Tableau III.9 : Norme d'acceptations des défauts.**

		<b>Nn : Norme (nombre de défaut admissible)</b>				
	<b>Qualité</b>	<b>CL1</b>	<b>CL2</b>	<b>CL3</b>	<b>CL4</b>	<b>CL5</b>
<b>DDLf</b>	<b>SV</b>	99	2	1	1	0
	<b>SVL</b>	99	5	3	1	0
<b>DLF</b>	<b>DV</b>	2	1	0	0	0
	<b>SV+</b>	10	2	1	0	0
	<b>SV</b>	99	2	1	1	0
	<b>SVL</b>	99	5	3	2	0

D'après les normes tableau III.9 la classification n'est pas basée uniquement sur les dimensions, mais également sur le nombre de défauts présents dans chaque qualité de feuille de verre, par exemple :

Par rapport au SV (simple vitrage) le nombre de défauts admissibles dans la classe 1 et qu'ils ne doit pas être dépasser est de 99 défauts.

## ***CONCLUSION GENERALE***

Ce projet de fin d'étude qui a été réalisé en grande partie au niveau de l'entreprise du verre « Mediterranean Float Glass», nous a permis d'acquérir, en premier lieu, une expérience pratique, une confrontation avec le monde du travail et de production et également les problèmes et les difficultés quotidiennes de l'industrie verrière.

Le travail effectué au niveau de la MFG nous a permis de:

- Suivre le processus de fabrication du verre float sur les différentes lignes depuis les matières premières jusqu'au produit fini.
- Identifier les défauts du verre float par observation au microscope optique : Après l'analyse de 340 échantillons, nous avons pu identifier clairement 11 défauts, Sur les 11 défauts trouvés, 05 ont été attribués au four de fusion (54,98 % issus du four de fusion, 45,02% issus du bain d'étain).
- Donc, le lieu qui entraîne un grand nombre de défauts est le four de fusion
- Montrer que la pierre de corindon constitue le défaut le plus dominant des défauts du verre float.
- identifier la cause principale du défaut à partir de l'élimination des causes probables.
- Apporter des corrections à chaque défaut afin de les minimiser et améliorer la qualité du verre float aussi pour satisfaire les besoins des clients.
- Classer ces défauts à partir de leurs dimensions et le nombre de défaut présents dans chaque qualité de feuille.

## ***REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES***

- [1] Guettari, Nardjes et Hafnaoui, Mounya. Maîtrise des risques liés à l'amélioration du procédé de fabrication du verre plat au niveau de MFG. 2018. Thèse de doctorat.
- [2] L. Pilkington « Float Glass Production Process » 16/11/1969.
- [3] B. Dubois, J. J. Videau, and J. Portier, J. Non-Cryst. Solids 88, 355 (1986).
- [4] G. Poirier, M. Poulain, and M. Poulain, J. Non-Cryst. Solids 284, 117 (2001).
- [5] Documentation de l'entreprise MFG.
- [6] monvitrage <https://www.monvitrage.fr/credence-en-verre/75-verre-laque-trempe-couleur-sur-mesure.html>.
- [7] Larbi, M., Zeroub, H. Le verre dans le bâtiment [en ligne]. Mémoire de projet de fin d'études d'ingénieur d'état en génie des matériaux. Université M'hamed Bougara, Boumerdes, 2000.
- [8] Glass Trosch Holding AG, Conseil, Bützberg «Le verre et ses applications» 4ème édition, 2013.
- [9] H. Scholze « Le verre » Institut du Verre, Paris, 1974.
- [11] <https://les-souffleurs-de-la-science.fr/le-verre-sodocalcique/>.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] K. Atamnia, S. Satha, H. Satha, M. Gonon, Synthesis, structural and thermal characterization of silica glasses containing BaO, SrO and ZnO, Mater. Res. Express, Volume 8 (2021), 015201.
- [17] C. Maï, Satha, SAXS, WAXD and TEM of the early stages of crystallization in TiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub>-MgO-Li<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> Glass, Journal of Non-Crystalline Solids, Vol. 108, PP. 201-206, 1989.

- [18] C. Maï, S. Etienne, H. Satha, J. Perez, Etude et analyse de la déformation non-élastique autour de la transition vitreuse d'un verre borosilicate, Acta. Metall. Mater., Vol. 38, N°2, PP. 337-343, 1990.
- [19] J. Barton & C. Guillemet, Le verre : Science et Technologie, EDP Sciences, 2005.
- [20] D. R. Neuville & al, Du verre au Cristal : nucléation, croissance et démixtion, de la recherche aux applications, ecp-sciences, Chimie/Matériaux, 2013.
- [21] Bahiani hafssa, rapport de stage, école nationale supérieur de mines et de métallurgie, Annaba.
- [22] Djeridi Abdelmoumene, Thèse de doctorat « Élaboration de matériaux à base de verres à réseau mixte pour la vitrification des déchets nucléaires », Université M'hamed Bougara.
- [23] J. Fourment & J Fourmentation «Fours de verrerie» Technique de l'ingénieur, 2000.
- [24] M.Ouendi. Rapport de stage de master sciences, technologies, sante, Université Paris-Est Créteil Val de Marne, 2018.
- [25] Ludovic Massard, Centre des Matériaux P.M. Fourt de l'Ecole des Mines de Paris, B.P. 87, 91003 Evry Cedex.
- [26] Lorraine F. Francis, Bethanie J. H. Stadler, Christine C. Roberts, « Materials Processing A Unified Approach to Processing of Metals, Ceramics and Polymers », 2016.
- [27] Documentation interne du l'usine MFG (CLFG : China Luoyang Float Glass):unité de production verre float.
- [28] Massard, Ludovic. Étude du fluage de réfractaires électro-fondus du système alumine zircane-silice. Thèse de doctorat : Sciences et Génie des matériaux. Paris : école nationale supérieure des mines, 2005,212 p.
- [29] Noureddine Sebai, formation interne processus float glass, 2022.
- [30] Maria Rosa Boulanouar, mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master en génie mécanique, 2020.
- [31] Le verre Science ET technologie, James Barton et Claude Guillemet, Collection dirigée par Jean Philibert, ISBN: 2-86883-789-1, © 2005, EDP Sciences.
- [32] Online Browsing Platform (OBP).<https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:9802:ed-1:v1:fr>. [Consulté le 27 Novembre 2020].

[33] Selon la norme NF EN 572-2+A1:2013-02.

[34] Litim, Akram et Drissi, Bilel. Caractérisation et modélisation des verres multicouches. 2017. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure des Mines et de la Métallurgie. Amar Laskri. Annaba.

[35] Belabed Tayeb, BEKAKRIA Thabet. Elaboration et étude des propriétés physico-chimiques du verre sodo-calcique de l'industrie du verre MFG Algérie. 2022.

[41] Amirouche, Ahmed Razik. Étude du verre Float de l'industrie verrière Mediteranean Float Glass" MFG" Algérie. 2021.

## **ANNEXE 1**

Types de défauts	Dates	Heure
Bulle d'air sans sulfate	05/04/2023	15h00
		16h00
	10/04/2023	08h00
	11/04/2023	08h00 (02 bulles)
		12h00 (03bulles)
	06/04/2023	15h00
		14h00
	07/04/2023	15h00
12 /04/2023	11h00	
Bulle de sulfate de soude	14/04/2023	08h00
		12h30
	14h00	
	06 /04/2023	08h00
	07/04/2023	15h00
	11/04/2023	11h00
Pierre de corindon	11/04/2023	13h00
		16h00
	12/04/2023	14h00
	13/04/2023	09h00
	06 /04/2023	08h00
		14h00
	07/04/2023	16h00(02 pierres)
		08h00
08 /04/2023	10h00(04 pierres)	
	11h00(02 pierres)	
10/04/2023	08h00	
	11h00	
11/04/2023	12h00	
	08h00(03 pierres)	
14/04/2023	10h00	
	09h00	
Pierre de zircon	09h00	09h00
		11h00
	05/04/2023	12h00
		14h00
	06/04/2023	15h00
		14h00
	07/04/2023	16h00
		10h00
09/04/2023	11h00(02 pierres)	
	09h00	

	12/04/2023	12h30(03) 13h00(02) 14h00 15h00
	13/04/2023	08h00
	14/04/2023	14h00
	10/04/2023	08h00 11h00
	11/04/2023	08h00 +déformation
Pierre de quartz	06/04/2023	10h00 14h00
	07/04/2023	09h00
	08/04/2023	16h00
	14/04/2023	13h00
Déformation optique	05/04/2023	13h00
	06/04/2023	15h00
	07/04/2023	08h00 11h00
	10/04/2023	11h00
	11/04/2023	08h00(06) 11h00(03)
	12/04/2023	09h00 15h00
Tache d'oxyde d'étain	05/04/2023	13h00(02 taches) 15h00 16h00
	08/04/2023	08h00(03)
	10/04/2023	08h00(02) 09h00 10h00
	11/04/2023	08h00(04) 09h00 10h00(05) 11h00(02) 12h00 13h00
Pierre d'oxyde d'étain	06/04/2023	15h00
	07/04/2023	09h00(05)
	08/04/2023	08h00(03) 14h00
	09/04/2023	09h00 10h00(09)

	11/04/2023	10h00(03) 12h00 14h00(04) 15h00(04)
	12/04/2023	12h30 13h00 16h00(02)
	13/04/2023	10h00(03) 11h00
	14/04/2023	10h00
Pierre d'étain	06 /04/2023	16h00
	09/04/2023	08h00
Trait linéique optique	10/04/2023	11h00
	11/04/2023	08h00(05) 11h00(02)
Laine de verre	13/04/2023	11h00(03) 12h00(02)

# ANNEXE 2

N° de l'appareil : 100 Ann 2022												
Version du document : 2												
DATE:		04/04/2023		Epaisseur:		5,5 mm						
		Largeur du plaque de verre (mm)			Epaisseur (mm)				Vitesse descendante (m/min)	Tirée T/J	Ouverture de la tuile	
30	40	Largeur brute	Distance entre les molettes	Largeur nette	G	M	D	Moyenne				
		3610	3458	3210	39	46	36	5,42	7,56	532,958	84,119	
		3605	3440	3210	39	46	36	5,42	7,56	531,531	84,200	
		3608	3440	3210	41	50	38	5,45	7,56	534,919	85,100	
		3605	3445	3210	40	49	39	5,44	7,56	533,984	84,900	
		3600	3450	3210	40	49	38	5,44	7,56	532,998	85,400	
		3600	3450	3210	40	50	40	5,45	7,56	533,740	84,200	
		3599	3390	3210	41	51	39	5,46	7,50	539,070	83,900	
		3599	3390	3210	41	51	39	5,46	7,50	530,070	83,750	
		3575	3421	3210	36	48	38	5,43	7,50	523,648	83,591	
		3564	3405	3210	36	48	37	5,42	7,56	525,971	82,970	
		3566	3410	3210	36	48	36	5,42	7,56	526,023	82,165	
		3585	3407	3210	37	48	37	5,43	7,56	526,361	82,548	
				3210	Saturation				7,56			82,900
				3210					7,56			83,714
		3575	3410	3210	35	45	34	5,40	7,56	525,162	82,936	
		3577	3425	3210	34	45	34	5,40	7,56	526,212	83,527	
		3585	3415	3210	36	46	36	5,41	7,56	525,950	84,828	
		3580	3415	3210	36	46	36	5,41	7,56	525,714	84,256	
		3535	3416	3210	37	46	37	5,42	7,56	526,1864	84,682	
		3532	3410	3210	37	46	37	5,42	7,56	526,422	84,932	
		3580	3410	3210	37	46	37	5,42	7,56	525,601	85,185	
		3570	3412	3210	37	46	37	5,42	7,56	526,841	85,201	
		3570	3410	3210	37	46	37	5,42	7,56	527,621	85,504	
		3575	3415	3210	37	46	36	5,41	7,56	526,062	85,723	

Débit Gaz de protection (M <sup>3</sup> /H)	
Sortie Bain	
	H <sub>2</sub> 49

# ANNEXE 3

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'INDUSTRIE

وزارة الصناعة

OFFICE NATIONAL DE  
LA METROLOGIE LEGALE  
-Annexe wilaya de Blida -

الديوان الوطني للقياس القانونية  
ملحقة ولاية البلدة

OFFICE NATIONAL DE METROLOGIE LEGALE  
Annexe de Blida. Siège administratif de la Wilaya  
-PROCES VERBAL DE VERIFICATION PRIMITIVE  
N° : 351 / ONML /Anx/ Blida / 2022

Limite de validité: Octobre 2023

Demandeur : BAHDJA BALANCE – Lot 122.Cne Ourissia - Sétif

Détenteur : Mediterranean Float Glass MFG Route de Meftah Blida.

INSTRUMENT VERIFIE

Désignation : Bascules électroniques –Trémie - (IPFNA) (ligne1)

Marque /Modèle/Type : ZIPPE

Caractéristiques métrologiques :

N°Série	Pmax (kg)	Pmin (kg)	Échelon reel
Basculé 1 561	3000	200	d = 2kg
Basculé 2 447	1800	50	d = 0,5kg
Basculé 3 563	400	20	d = 0.2 kg
Basculé 4 564	5	0.2	d = 0.002kg
Basculé 5 756	50	2	d = 0,02 kg
Basculé 6 566	2000	200	d = 2 kg
Basculé 7 321	70	2	d = 0,02 kg
Basculé 8 322	15	2	d = 0,02 kg
Basculé 9 323	1800	50	d = 0.5 kg

Classe : IIII

Lieu et date des essais de vérification: MFG l'Arbaa – Blida.

Le : 10/ 10/ 2022

**Conclusion :**

Les résultats des essais des (09) instruments – ZIPPE sont satisfaisants. Les erreurs relevées sont dans la marge des Erreurs Maximales Tolérées.

**Les instruments sont jugés opérationnels, peuvent être mis en exploitation.**

NB : Non destinées à la vente directe au public (à usage interne)

Durée de validité : (01) Une année

Responsable des essais

Mr : R.SIASSI (Inspecteur)



رئيس ملحقة الديوان الوطني  
للقياسات القانونية لولاية البلدة  
إمضاء: بن أمعزال سعيد



Référence :

- Recommandation Internationale OIML R -76
- Arrêté du 15 Juin 1992 fixant les dispositions applicables aux instruments de pesage

Ce PV comprend une page, il ne peut être diffusé que dans sa totalité et sans modifications. Tout extrait ou toute modification nécessite l'autorisation de l'ONML.  
Les certificats sans signature ni cachet ne sont pas valables.







## ANNEXE 5

Date affactement	Température ambiante	Gaz naturel										Air de combustion					
		Débit total	Débit de chaque port						Débit total	Débit de chaque port							
			1#	2#	3#	4#	5#	6#		1#	2#	3#	4#	5#	6#		
Fl. 100 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 100 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 102 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 103 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 104 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 105 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 106 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 107 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 108 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 109 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 110 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 111 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 112 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 113 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 114 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 115 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 116 Nm <sup>3</sup> /h	
38	10	4380	849	935	945	1005	338	161	42018	4445	5723	5569	7423	3439	1231		
38	09	4380	850	936	944	1003	338	160	41973	4440	5698	5434	7478	2637	8M		
38	09	4400	860	938	944	1008	341	154	41733	4630	5600	5534	7518	3399	822		
37.5	08	4400	854	938	951	996	339	163	42600	4661	6214	5372	7680	2718	885		
37	08	4400	859	933	948	1007	340	160	42832	4572	6219	5445	7574	2704	874		
37.5	07	4400	853	938	956	1008	340	154	42264	4581	6117	5448	7575	2900	877		
38	06	4400	853	944	940	1005	341	149	42300	4526	5622	5545	7515	3115	1042		
38	06	4400	852	937	948	1008	340	150	42706	4543	5834	5528	7489	3013	775		
38	6	4400	878	925	971	1007	333	17	42607	4644	6200	6415	7516	5007	1620		
38	6	4400	873	933	974	1014	340	146	42409	4495	6610	675	7413	3249	929		
38	9	4400	854	937	949	1009	341	159	4315	4630	6162	6450	7310	3424	930		
38	14	4400	854	935	949	1008	340	159	41617	4455	6012	5530	7518	1720	1133		
37	11	4400	839	932	947	1011	342	176	42298	4536	6153	6340	7574	2444	700		
37.5	18	4400	840	937	949	1010	341	186	4320	4502	602	5731	2766	866	1455		
38	21	4400	853	938	953	1006	369	184	4315	4527	6210	5599	7408	324	1053		
38	21	4400	851	941	946	1006	369	181	42324	4712	6734	6414	7626	1923	1323		
38	21	4400	851	935	951	1001	369	185	42413	4492	5764	5459	7593	3562	1650		
38	22	4400	855	936	966	1007	369	190	42022	4285	5855	5547	7469	3160	1035		
38	22	4400	855	938	949	1006	380	182	42773	4606	6189	5504	7468	3150	1102		
38	21	4400	855	937	949	1005	378	187	4232	4648	6125	5501	7482	3350	1028		
38	19	4400	857	937	945	1006	379	174	42295	4537	6209	5539	7402	2761	988		
38	19	4400	854	936	943	1009	380	181	41922	4469	5750	5436	7522	2671	612		
38	11	4400	858	936	950	1005	380	184	43070	4728	6180	5473	7434	2351	975		
38	11	4400	850	941	945	1000	370	159	42715	4579	6206	5728	7369	3130	1448		

## ANNEXE 6

Débit total	Air de combustion						
	Débit de chaque port						
	1#	2#	3#	4#	5#	6#	
Fl. 101 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 102 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 103 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 104 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 105 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 106 Nm <sup>3</sup> /h	Fl. 107 Nm <sup>3</sup> /h	
42018	4445	5723	5569	7423	3439	1231	
41973	4440	5698	5434	7478	2637	8M	
41733	4630	5600	5534	7518	3399	822	
42600	4661	6214	5372	7680	2718	885	
42832	4572	6219	5445	7574	2704	874	
42264	4581	6117	5448	7575	2900	877	
42300	4526	5622	5545	7515	3115	1042	
42706	4543	5834	5528	7489	3013	775	
42607	4644	6200	6415	7516	5007	1620	
42409	4495	6610	675	7413	3249	929	
4315	4630	6162	6450	7310	3424	930	
41617	4455	6012	5530	7518	1720	1133	
42298	4536	6153	6340	7574	2444	700	
4320	4502	602	5731	2766	866	1455	
4315	4527	6210	5599	7408	324	1053	
42324	4712	6734	6414	7626	1923	1323	
42413	4492	5764	5459	7593	3562	1650	
42022	4285	5855	5547	7469	3160	1035	
42773	4606	6189	5504	7468	3150	1102	
4232	4648	6125	5501	7482	3350	1028	
42295	4537	6209	5539	7402	2761	988	
41922	4469	5750	5436	7522	2671	612	
43070	4728	6180	5473	7434	2351	975	
42715	4579	6206	5728	7369	3130	1448	