

**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
scientifique**

Université Ferhat Abbas- Sétif 1

Institut : Optique et Mécanique de Précision

Département : Optique et mécanique de précision

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Optique et Mécanique de Précision

Spécialité : Mécanique des matériaux

Mémoire de Master

Caractérisation d'un verre érodé par sablage à chaud

Etudié par : Saadoud Salima

Dirigé par : Pr Malou Hamidouche. Z

Dr GRIDI. O

Devant le jury :

(Présidente) : HAZZAM

(Examineur) : YOUNES

Soutenue le : 03.../07..../2023

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE :	1
<i>Chapitre I</i>	2
I.1 Définition du verre :	3
I.2 Structure du verre :	4
I.3 Composition chimique du verre :	4
I.4 Les différents types de verre :	6
a) Les verres d'oxydes :	6
b) Les verres métalliques :	6
I.5 Propriétés mécaniques du verre :	7
a-Dureté.....	7
b-Ténacité.....	7
c-Elasticité	8
d-Contrainte à la rupture	8
e-Essais de flexion	8
I.6 Propriétés optiques du verre :	9
I.6.1 L'indice de réfraction :	9
I.6.2 Transmission :	10
I.7 Diffusion de la lumière :	10
I.8 Comportement élastique et comportement fragile :	11
I.9 Traitements du verre :	12
I.9.1 Désalcalinisation :	12
I.9.2 Trempe chimique :	12
<i>Chapitre II</i>	15
II.1 Introduction :	16
II.2 L'érosion du matériau par impact des particules solide :	16
II.3 Principe de l'érosion :	17
II.4 Les types d'érosion :	18
✓ Technique « jet impingement ou gas blast » :	18
✓ Technique « recirculating loop » :	19
✓ Technique « whirling arm »:	19
✓ Technique « centrifugal Accelerator » :	20
II.5 Mécanismes de l'érosion par des particules solides :	20
II.5.1 L'érosion abrasive (Coupe) :	21

II.5.2 Fatigue de surface :	21
II.5.3 Déformation plastique :	22
II.5.4 Rupture fragile :	22
II.6 Mécanismes d'arrachement de la matière pendant l'érosion :	22
II.6.1 L'arrachement par la formation et la propagation des fissures :	22
II.6.2 L'arrachement par effritement :	23
II.6.3 L'arrachement par creusement et écaillage :	23
II.7 Influence des paramètres d'érosions :	23
II.7.1 Facteurs associés aux conditions d'exploitation :	23
II.7.1.1 Temps d'exposition :	23
II.7.1.2 Angle d'impact :	24
II.7.1.3 Vitesse d'impact des particules	24
II.7.2 Facteurs associés aux particules érosives :	25
II.7.2.1 Taille des particules	25
II.7.2.2 Forme des particules :	26
II.7.2.3 Dureté des particules :	26
II.7.3 Facteurs associés au matériau cible :	27
II.7.3.1 Résistance mécanique :	27
II.7.3.2 Rugosité :	27
II.7.3.3 Température	27
II.8 Conclusion :	28
<i>Chapitre III</i>	29
III.1 Objectif du travail :	33
III.2 Moyens utilisés :	33
III.2.1 Matériaux utilisés :	33
III.2.2 Dispositifs utilisés :	34
III.3 Préparation des échantillons et déroulement des essais :	37
<i>Chapitre IV</i>	40
IV.1 Résultats de la transmission :	41
IV.1.1 Effet de la température :	41
IV.1.1.1 Transmission optique du verre non traité :	41
IV.1.2 Effet de la granulométrie :	42
IV.2 : Résultat de la perte de masse :	44
IV.2.1. Effet de la température :	44

IV.2.1.1 Perte de masse du verre non traité :	44
IV.2.2 Effet de la granulométrie	45
IV.3 Résultat de La profondeur :	Erreur ! Signet non défini.
IV.3.1 Effet de la température :	Erreur ! Signet non défini.
IV.3.2 Effet de la granulométrie :	Erreur ! Signet non défini.
IV.4 Résultat de La Rugosité :	51
IV.4.1 Effet de la température :	51
IV.4.2 Effet de la granulométrie :	55
❖ Cas 2 : Température du sable variable (T_s), Température du verre fixée à 20°C :	56
Les figures IV.15 (A et B) représentent la variation de la rugosité pour les trois granulométries du sable pour différente température T_s du sable	56
L'évolution des facteurs de rugosité est presque identique pour les deux conditions A et B, sauf que les valeurs de R_t sont environ le double pour le cas T_v 20°C, $T_s=60^\circ\text{C}$	57
❖ Cas 3 : Température du verre égale température du sable ($T_v=T_s$) :	57
IV.5 : Résultats de la flexion :	Erreur ! Signet non défini.
IV.5.1 : Effet de la température :	Erreur ! Signet non défini.
IV.6.2 : Effet de la granulométrie :	59
IV.7 Observations microscopiques des défauts :	60
IV.7. 1 Effet de la température :	61
IV.7.1 : Verre non traité.....	61
• Cas 3 : Température du verre égale température du sable ($T_v=T_s$) :	62
IV.7.2 : Effet de la granulométrie :	62
Conclusion générale :	66
Résumé :	67

Liste des figures

Figure 1 : Lq structure du verre	4
Figure 2 : courbe schématique de flexion d'un échantillon de verre	8
Figure 3: phénomène de diffusion.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 4 Principe de la trempe chimique par échange ionique entre les ions Na ⁺ et K ⁺	13
Figure 5: Représentation schématique de l'échange ionique dans le verre	13
Figure 6: Profil des contraintes dans un verre trempé chimiquement.	14
Figure 7: le vent de sable à Ouargla (Algérie)	16
Figure 8: le principe d'érosion	18
Figure 9: Technique « jet impingement ou gas blast »	19
Figure 10: Technique « recirculating loop »	19
Figure 11: Technique « whirling arm »	20
Figure 12: Technique « centrifugal Accelerator »	20
Figure 13: Mécanismes d'érosion par des particules solides	21
Figure 14 le sable d'Ouargla (Sidi khwild).	34
Figure 15: Tamiseuse vibrante (Filtr).	35
Figure 16: dispositif souffleur de sable utilisé.	35
Figure 17: Cycle de recuit	36
Figure 18: Microscope optique.	36
Figure 19: Spectrophotomètre.	37
Figure 20 : Machine d'essais mécaniques(traction, flexion).	37
Figure 21: Transmission du verre sablé pour différentes températures du verre (Tv) et du sable (Ts) en fonction de la longueur d'onde (nm).	Erreur ! Signet non défini.
Figure 22: Transmission du verre trempé sablé en fonction de la longueur d'onde pour différentes températures (Tv=Ts).	42
Figure 23 Transmission optique du verre sablé en fonction de la longueur d'onde (nm),	Erreur ! Signet non défini.
Figure 24: Perte de masse en fonction de la température du verre, du sable et pour Ts =Tv, pour différentes granulométries.	44
Figure 25 Perte de masse du verre trempé sablé en fonction de la température, pour une taille des grains comprise entre 150-250 µm.	45
Figure 26 : Perte de masse en fonction de la granulométrie (µm) pour différentes températures Tv et Ts.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 27: Profondeur (µm) en fonction de la température de Tv et Ts pour différentes granulométries.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 28: Profondeur (µm) en fonction de la température du verre et de sable pour une taille des grains comprise entre 150 et 250 µm.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 29: Profondeur en fonction de la granulométrie pour différentes températures Tv et Ts.	51
Figure 30: Rugosité (Ra, Rq, Rt, Rz) pour différentes température du verre pour différentes granulométries.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 31: Rugosité (Ra, Rq, Rt, Rz) pour différentes température du sable pour différentes taille des grains.	Erreur ! Signet non défini.

INTRODUCTION GENERALE :

L'érosion est à la fois un phénomène courant qui reste un problème majeur pour le développement des applications des matériaux fragiles [1].[2] . Le principal inconvénient du verre est sa fragilité. Dans le Sahara, il est généralement érodé par sablage au cours des tempêtes de sable. Cet endommagement de la surface provoque une diffusion de la lumière et une diminution de sa transmission optique [3]. La dégradation se produit à la suite d'une perte progressive de matière de la surface du composant en raison du mouvement relatif et des interactions micromécaniques entre la surface du verre et les particules de sable [4] [5].

La surface du verre influe sur ses propriétés de base, en particulier sa résistance mécanique ses propriétés optique et son interaction physico-chimique avec l'environnement. Ceci explique pourquoi la maîtrise de la surface du verre est devenue depuis quelques années un enjeu de grande importance pour les industriels [6]

Par conséquent pour renforcer la résistance mécanique du verre il doit subir des traitements de surface, Afin de subir et de résister à des contraintes et des charges beaucoup plus conséquentes. Les traitements thermochimiques sont les plus indiqués particulièrement le procédé de la trempe chimique. Elle consiste à immerger le verre dans un bain de sels fondus (KNO_3 pour les verres sodo-calcique) à une température proche de sa température de transition vitreuse. Le remplacement des ions sodium du verre par les ions potassium du bain va créer des contraintes de compression superficielles à la surface du verre ainsi traité [7]

Notre travail comporte deux parties principales :

- ❖ La première partie est consacrée à une étude bibliographique sur le thème, basée essentiellement sur quelques généralités sur le verre et une analyse détaillée du phénomène de l'érosion par des particules solides.
- ❖ La deuxième partie est consacrée au volet pratique de ce travail qui englobe la procédure expérimentale, et à l'énumération des différents résultats obtenus et à leur interprétation.

Cette étude s'achève par une conclusion générale.

Résumé :

A cause de sa fragilité, le verre est très sensible à la présence de microfissures superficielles préexistantes ou induites par un processus extérieur comme des conditions environnementales sévères.

Dans les régions sahariennes du sud Algérien où les températures peuvent dépasser les 50°C le jour avec des nuits glacées selon les saisons, les vents de sable sont considérés comme un phénomène destructeur et dangereux. Les impacts de sable provoquent la dégradation des verres de vitrages d'habitations, de parebrises, Cet endommagement génère des défauts qui deviennent instables sous des sollicitations mécaniques et/ou thermiques et conduisent à la rupture catastrophique du verre en limitant son utilisation dans beaucoup de domaines. Ses propriétés mécaniques ainsi que sa qualité optique sont affaiblies d'une manière catastrophique.

L'objectif de ce travail consiste à caractériser un verre dégradé par sablage à chaud. L'effet des impacts de sable quand ce dernier est porté à différentes températures d'une part et quand le verre est chauffé d'autre part, sur les propriétés optiques et mécaniques d'un verre soumis au sablage sera étudié.

Les paramètres fixes sont la masse projetée de sable (50g), l'angle d'impact 90° et la vitesse du jet de sable égale à 30m/s. Nous avons varié la taille des particules de sable ([90-150], [150-250] et [250-500] μm), ainsi que la température de chauffage ([20, 30, 40, 50, 60]°C) pour le verre (T_v), le sable (T_s) et pour les deux à la fois ($T_v = T_s$).

Les résultats obtenus montrent que l'endommagement par le sablage à chaud dépend étroitement des températures de chauffage, soit la température du verre T_v ou la température du sable T_s ou quand $T_v = T_s$.

Abstract :

Because of its fragility, glass is very sensitive to the presence of pre-existing superficial micro cracks or induced by an external process such as severe environmental conditions.

In the Saharan regions of southern Algeria where temperatures can exceed 50°C during the day with freezing nights depending on the season, sandstorms are considered a destructive and dangerous phenomenon. The impacts of sand cause the degradation of glass in residential windows, windshields, etc. This damage generates defects which become unstable under mechanical and/or thermal stresses and lead to the catastrophic breakage of the glass, limiting its use in many fields. Its mechanical properties as well as its optical quality are catastrophically weakened.

The objective of this work is to characterize a degraded glass by hot sandblasting. The effect of sand impacts when the latter is brought to different temperatures on the one hand and when the glass is heated on the other hand, on the optical and mechanical properties of a glass subjected to sandblasting will be studied.

The fixed parameters are the projected mass of sand (50g), the angle of impact 90° and the speed of the sandblast equal to 30m/s. We varied the size of the sand particles ([90-150], [150-250] and [250-500] μm), as well as the heating temperature ([20, 30, 40, 50, 60] °C) for glass (T_v), sand (T_s) and for both at the same time ($T_v = T_s$).

The results obtained show that damage by hot sandblasting depends closely on the heating temperatures, either the glass temperature T_v or the sand temperature T_s or when $T_v = T_s$.