

CHAPITRE IV

ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS EXPERIMENTAUX

IV.1 Rayage à sec des verres sans traitement (brut)

IV.1.1 Les endommagements observés lors de l'essai de rayage

Les paramètres qui ont été variés durant notre test de rayage sont la force normale de rayage, la vitesse de rayage, la nature du traitement du verre et l'état de lubrification.

Ces variations ont conduit à des modifications dans la formation de la rayure et dans le régime de fissuration basculant entre un régime micro-fragile et un régime micro-abrasif avec l'apparition très faible d'un régime micro-ductile. Les endommagements observés sur la surface des échantillons sont illustrés par des images spécifiques pour chaque paramètre.

Une faible formation de fissures latérales est observée loin de la surface de l'échantillon brut lors de l'application d'un effort normale de 2N et d'une vitesse de rayage de 0.1mm/s accompagné de plusieurs fissures radiales confondues avec le sillon principal, c'est le régime micro-abrasif apparaissant pour de faibles vitesses Fig.IV.1. En variant la vitesse de rayage pour une valeur supérieur, l'endommagement se transforme en régime micro-fragile, L'extension des fissures latérales se fait remarquer clairement tandis que les fissures radiales se rétrécissent progressivement Fig.IV.2 pour se limiter juste au bord du sillon de la rayure Fig.IV.3. On note ainsi une diminution de la largeur à fur et à mesure que la vitesse augmente.

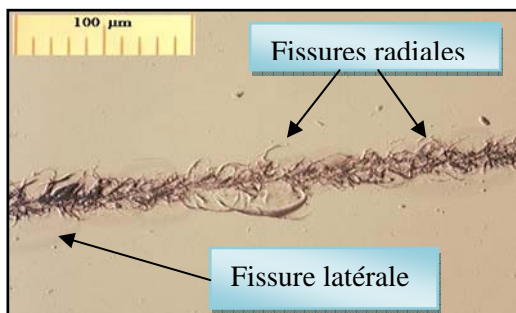


Fig.IV.1: Rayure sur un verre brut pour $v = 0.1 \text{ mm/s}$; $P = 2 \text{ N}$

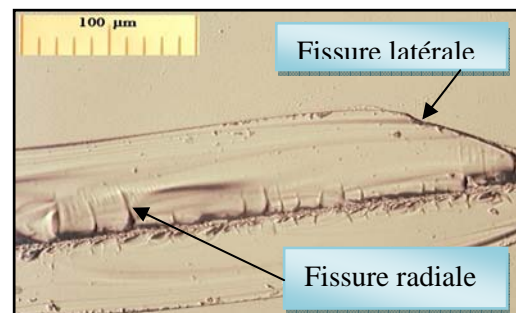


Fig.IV.2: Rayure sur un verre brut pour $v = 1 \text{ mm/s}$; $P = 2 \text{ N}$



Fig.IV.3: Rayure sur un verre brut pour $v = 10 \text{ mm/s}$; $P = 2 \text{ N}$.

La profondeur de la rayure suit la même évolution que celle de la largeur en considérant les mêmes paramètres de rayage (Voir Fig.IV.4 et Fig.IV.5).

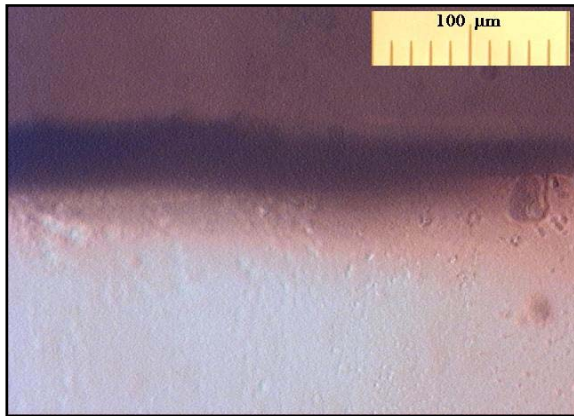


Fig.IV.4 : Profondeur d'une rayure de verre brut pour $v = 0.1 \text{ mm/s}$; $P = 2 \text{ N}$

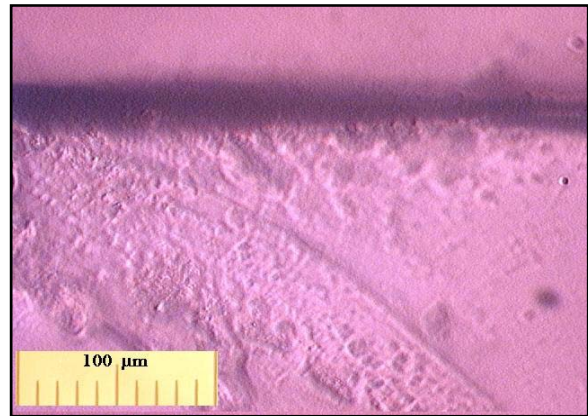


Fig.IV.5 : Profondeur d'une rayure de verre brut pour $v = 10 \text{ mm/s}$; $P = 2 \text{ N}$

IV.1.2 Action de la vitesse de rayage sur la géométrie de la rayure

Ces observations sont traduites par des graphes montrant la variation de la largeur et celle de la profondeur de la rayure en fonction de la vitesse de rayage Fig (IV.6) et Fig (IV.7) pour un échantillon de verre brut ne subissant aucun traitement superficiel où thermique.

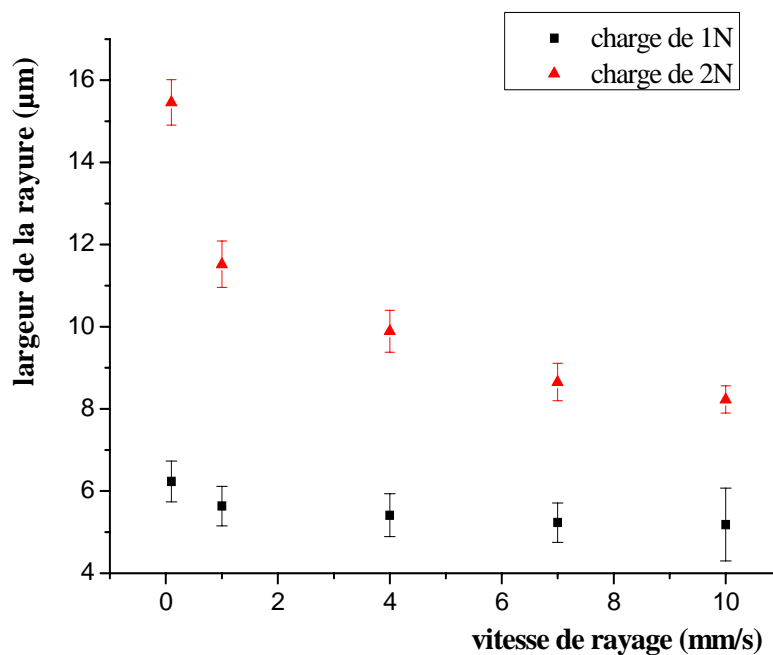


Fig.(IV.6) : Variation de la largeur de la rayure en fonction de la vitesse de rayage pour un verre brut rayé à sec

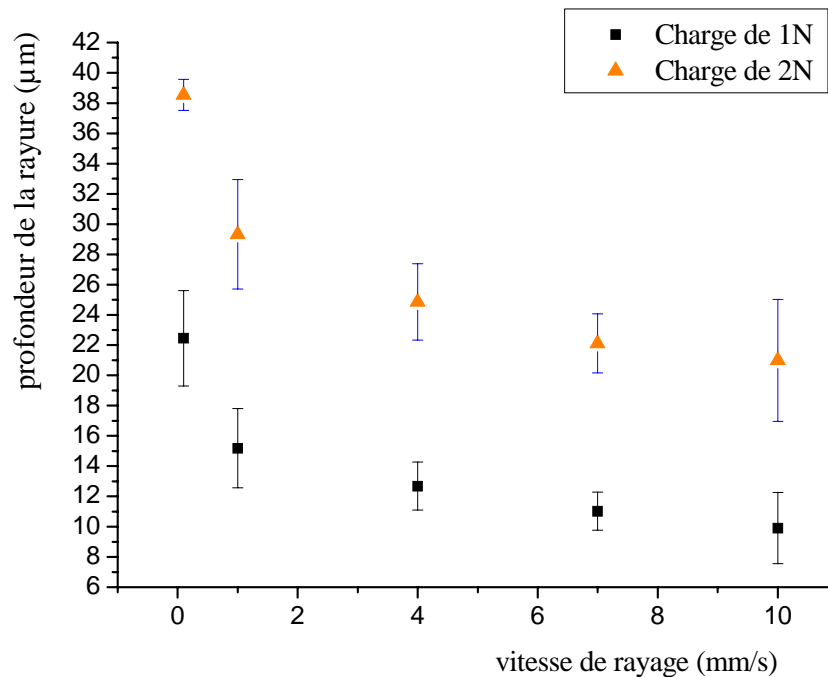


Fig.(IV.7) : Variation de la profondeur de la rayure en fonction de la vitesse de rayage pour un verre brut rayé à sec

Pour expliquer ce retrécissement en largeur et en profondeur de la rayure en augmentant la vitesse de rayage, on revient à la nature de la déformation au cours de l'essai où, dans le cas d'un labourage, la matière s'enfonce sous l'indenteur ou le contourne pour former les bourrelets frontaux et latéraux dont l'écoulement est plus facile si l'angle d'attaque est assez grand. De même si la vitesse augmente avec un angle sévère le cas d'un Vickers, dans le cas d'un usinage, la matière est évacuée vers l'extérieur sous forme de débris constituant le régime micro-abrasif apparaissant pour des vitesses lentes et des charges supérieures. Ces deux modes d'écoulements (labourage et usinage), dont dépend la géométrie de la rayure, sont conditionnés par le frottement que subit l'interface matériau-indenteur (Voir Fig.IV.8). Ainsi, le frottement modifie l'écoulement de la matière non pas, uniquement, sur la partie avant du contact matériau-indenteur, mais aussi, sur les côtés du sillon résiduel. Et l'aire de contact sous charge diminue considérablement lorsque le coefficient de frottement (μ) diminue. Dans notre cas, de 0.24 à 0.22 pour une charge de 1N et une vitesse augmentant de (0.1 à 10)mm/s (Voir Fig.(IV.9)). Par conséquent, le verre réagit en s'opposant par une résistance plus grande (Voir Fig.(IV.10)). La largeur du sillon résiduel est affectée directement par cette modification.

On en conclue que (μ) est l'élément principale engendrant cette variation grâce à l'équation liant μ et F_t (force tangentielle).

$$\mu = \frac{F_t}{F_n} = \tan(\theta) \quad (\text{IV.1})$$

$$F_t = F_a + F_p \quad (\text{IV.2})$$

Où :

μ : Coefficient de frottement.

F_t : Force tangentielle de rayage (N).

F_n : Force normal de chargement (constante) (N).

(θ) : L'angle d'attaque de l'arrête avec l'axe de l'indenteur.

F_a : Force adhésive induite par le frottement local (N).

F_p : Force de labourage induite par la déformation du matériau (N).

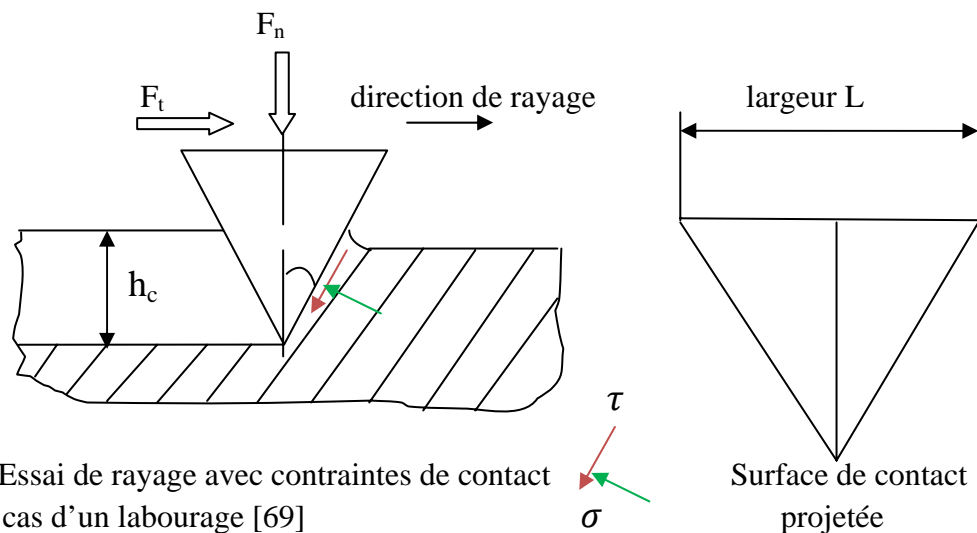


Fig.IV.8 : Essai de rayage avec contraintes de contact cas d'un labourage [69]

Une autre formulation peut être faite pour illustrer cette diminution en largeur et en profondeur, mais cette fois ci en introduisant les contraintes de compressions formées en avant de l'indenteur et celles de tractions du côté du sillon, qui augmentent avec l'augmentation du frottement (μ), mais à cause de la diminution marquée du coefficient de frottement (0.24 à 0.22) lors de l'acroissement de la vitesse de rayage de (0.1 à 10)mm/s (Voir Fig(IV.9)), les contraintes de compressions et de tractions ont été affectées directement par cette variation et réagissent par une variation de la géométrie du sillon résiduel. Cela peut être traduit par l'expression suivante [69] :

$$\mu = \frac{2}{\pi} \frac{1 + \frac{\tau}{\sigma} \tan \theta}{\tan \theta - \frac{\tau}{\sigma}} \quad (\text{le cas d'un labourage}) \quad (\text{IV.3})$$

$$\mu = \frac{2}{\pi} \frac{1 - \frac{\tau}{\sigma} \tan \theta}{\tan \theta + \frac{\tau}{\sigma}} \quad (\text{le cas d'un usinage}) \quad (\text{IV.4})$$

Où :

τ : Contrainte de contact tangentielle

σ : Contrainte de contact normal

μ : Coefficient de frottement

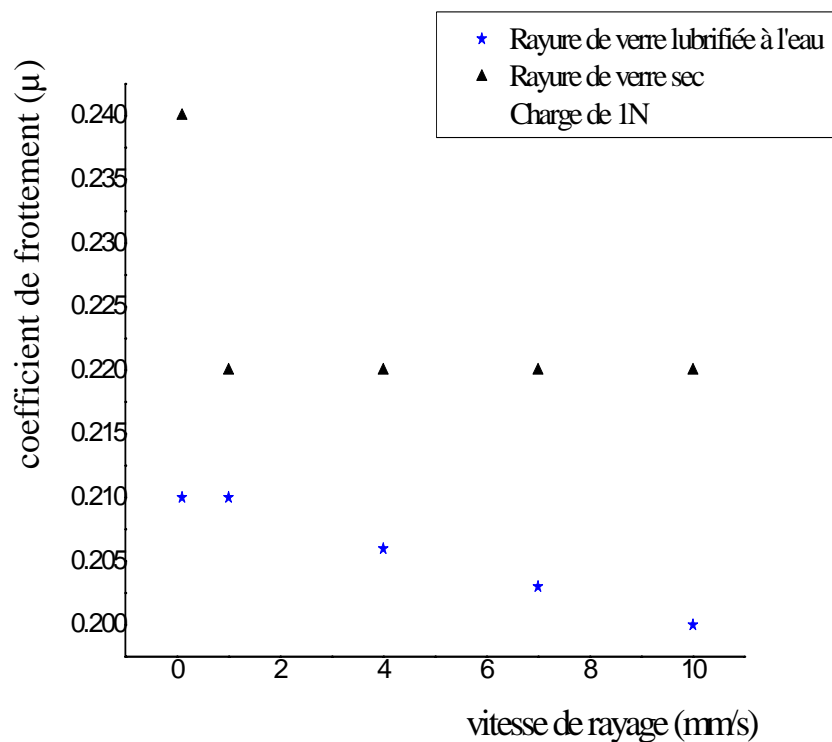


Fig.(IV.9) : Variation du coefficient de frottement en fonction de l'état de contact

IV.1.3 Action de la vitesse de rayage sur la résistance mécanique

La vitesse de rayage influence d'une façon directe le comportement du système de fissuration et la nature du régime d'endommagement. En effet, ce régime bascule entre un mode de labourage et celui d'un usinage où chacun engendre une résistance mécanique spécifique qui contrôle le système global de fissuration et qui dépend de la profondeur de rayage soumise à la charge et à la vitesse. Le test a présenté une résistance qui augmente avec l'augmentation de la vitesse de rayage. Cela est lié à l'aire de contact soumise à l'effort de rayage dont la profondeur diminue progressivement pour les vitesses supérieures comme on l'a expliqué déjà au paragraphe IV.1.1. Cet effet de la vitesse est testé sous un contact sec entre indenteur et indenté (Voir Fig.(IV.10)).

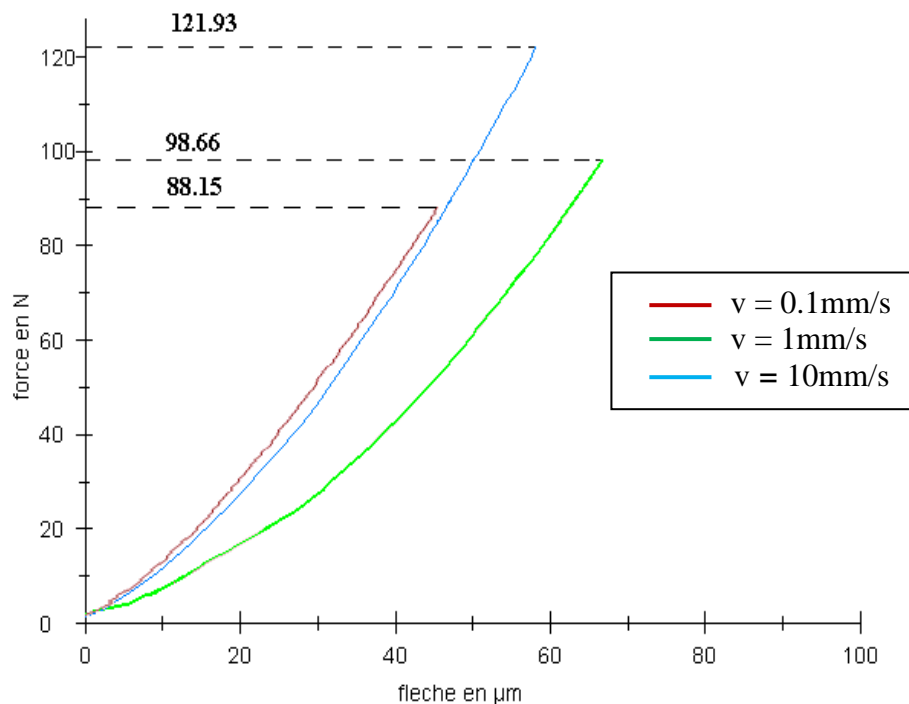


Fig.(IV.10) : Action de la vitesse de rayage sur la résistance mécanique d'un verre brut rayé à sec avec une charge de 2N

IV.1.4 Action de la vitesse de rayage sur la transmission optique

La transmission optique semble être plus sensible au régime micro-fragile apparaissant pour les vitesses assez importantes et fournissant une transmission optique d'autant plus

faible, qu'au régime micro-abrasif qui apparaît pour les vitesses lentes et dont la transmission est beaucoup plus meilleure. Les observations obtenues montrent que l'extension des fissures latérales empêche considérablement la transmission de la lumière à travers l'échantillon de verre et provoque des pertes au niveau des flancs de ces fissures. La vitesse de rayage fait augmenter le nombre et la longueur des fissures latérales qui évoluent de façon dramatique pour la transmission optique (Voir Fig.(IV.2 et IV.3)).

Les résultats obtenus pour la transmission optique, confirment cette constatation en variant la charge de rayage et en utilisant la même évolution de vitesse (Voir Fig.(IV.11)).

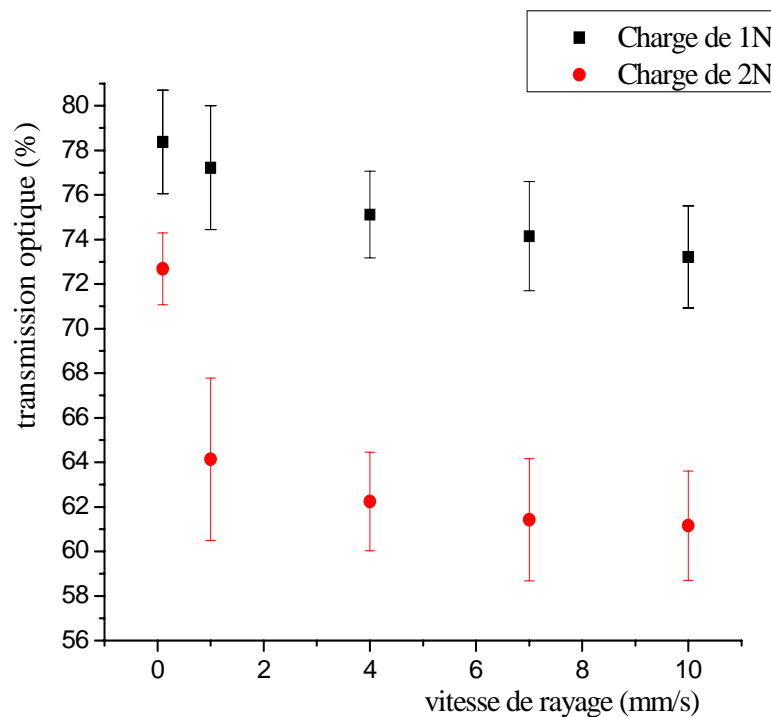


Fig.(IV.11) : Action de la vitesse de rayage sur la transmission optique d'un verre brut rayé à sec

IV.1.5 Action de la charge sur la géométrie de la rayure

L'observation d'échantillons de verre brut rayés avec deux charges différentes montre bien des fissures radiales moins nombreuses avec une rayure moins profonde et une fissure latérale de largeur étroite sur la Fig.IV.12 pour une charge de 1N comparées à celles apparaissant sur la Fig.IV.13 pour une charge de 2N ; alors que, le même régime

d'endommagement est conservé pour les deux charges. On peut dire que la variation de la charge influence beaucoup plus la géométrie de la rayure ainsi que ses fissures.



Fig.IV.12 : Rayure sur un verre brut avec

$P = 1\text{N}$; $v = 10\text{mm/s}$



Fig.IV.13 : Rayure sur un verre brut avec

$P = 2\text{N}$; $v = 10\text{mm/s}$

Cette variation de géométrie est illustrée par une augmentation en largeur et en profondeur de la rayure en appliquant une charge de rayage supérieure (Voir Fig.(IV.6) et Fig.(IV.7)). Cette augmentation est directement liée à la pénétration de l'indenteur qui provoque une surface de contact plus grande pour une charge plus élevée et la surface projetée indique cette variation (Voir Fig.IV.8).

IV.2 Rayage lubrifié à l'eau distillée des verres bruts

IV.2.1 Action de l'eau distillée sur la géométrie de la rayure

Dans le cas où le contact entre l'indenteur et le matériau n'est pas sec mais lubrifié avec de l'eau froide distillée, son action modifie la nature du contact et fait varier le frottement, ainsi, la composante adhésive est négligeable devant la composante de labourage et l'apparition des fissures radiales deviennent limitées (Voir Fig.IV.14) par rapport à celle d'un verre à contact sec (Voir Fig.IV.15).

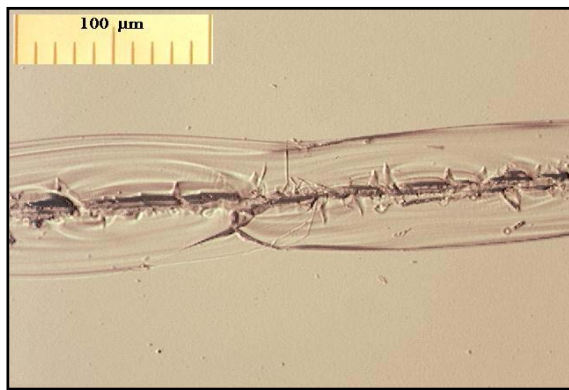


Fig.IV.14: Rayure sur un verre lubrifiée à l'eau
pour $P = 1\text{N}$; $v = 10\text{mm/s}$

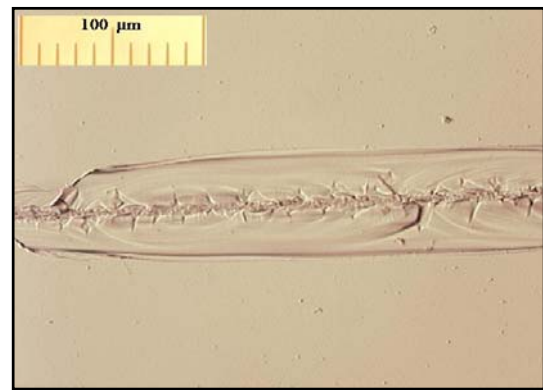


Fig.IV.15 : Rayure sur un verre sec
pour $P = 1\text{N}$; $v = 10\text{mm/s}$

L'absence du régime micro-abrasif sur les endommagements des surfaces de verres de nos photos ci-dessus nous laissent supposer qu'on est en présence du mode de labourage car celui-ci apparaît lorsque le frottement diminue, (Voir Fig (IV.9)) et par conséquent, la contrainte de scission (τ) diminue et s'inverse en mode d'usinage si le frottement augmente. Ces photos confirment la différence en largeur et en profondeur de la rayure en présence d'eau et à l'état sec. On en conclue que, l'eau effectivement, agit sur l'écartement de la fissure au niveau du réseau vitreux, en cassant la liaison $\text{Si} - \text{O} - \text{Si}$, pour former les groupes silanoles $\text{Si} - \text{OH}$ qui fragilisent beaucoup plus le verre. Cette évolution de la fissure est d'autant plus grande en largeur (Voir Fig.IV.16 et Fig.IV.17) et en profondeur (Voir Fig.IV.18 et Fig.IV.19) que si on augmente la vitesse de rayage



Fig.IV.16: Rayure sur un verre lubrifiée
à l'eau, pour $P = 1\text{N}$; $v = 0.1\text{mm/s}$



Fig.IV.17: Rayure sur un verre lubrifiée
à l'eau, pour $P = 1\text{N}$; $v = 10\text{mm/s}$

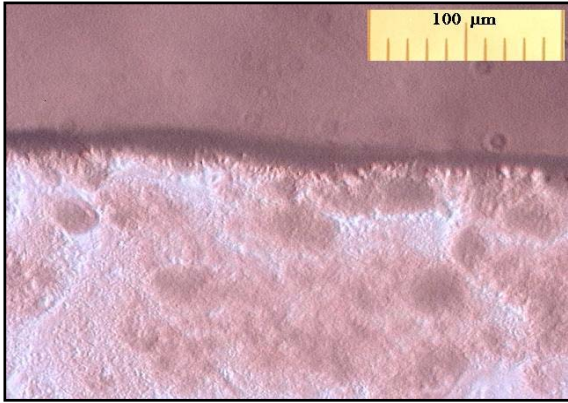


Fig.IV.18 : Profondeur d'une rayure sur verre lubrifiée à l'eau, pour $v = 0.1 \text{ mm/s}$; $P = 1 \text{ N}$

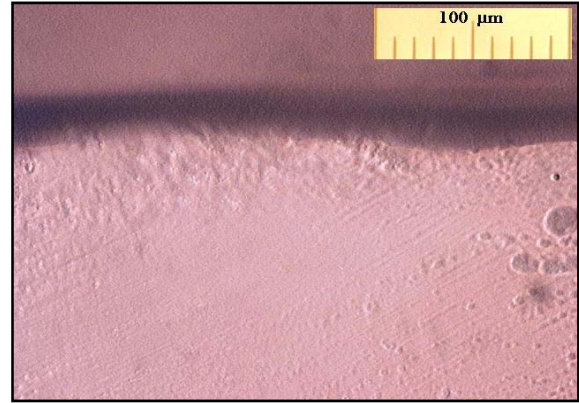


Fig.IV.19: Profondeur d'une rayure sur verre lubrifiée à l'eau, pour $v = 1 \text{ mm/s}$; $P = 1 \text{ N}$

Ces observations sont confirmées par des graphes présentant l'évolution des paramètres géométriques de la rayure (largeur, profondeur) en fonction de la vitesse de rayage pour un contact fluide (eau) (Voir Fig (IV.20) et Fig (IV.21)) par rapport au verre brut (Voir Fig.(IV.22)).

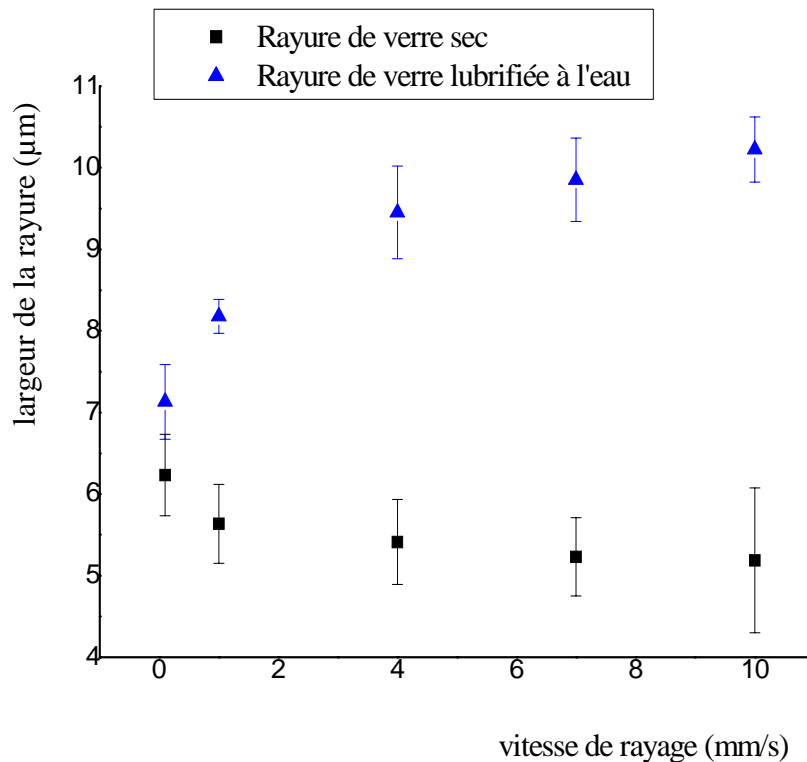


Fig.(IV.20) : Action de l'eau sur la largeur de la rayure pour une charge de 1N

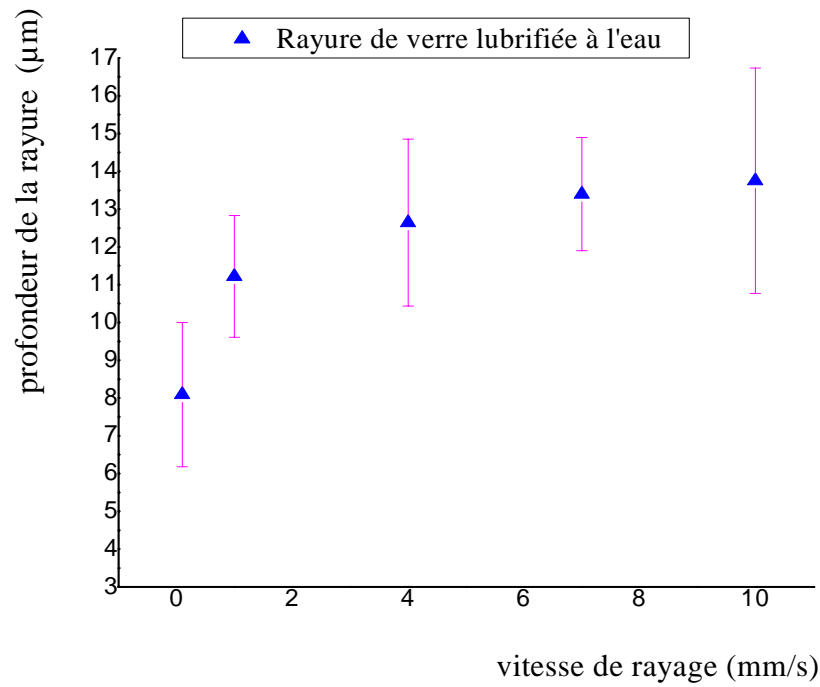


Fig.(IV.21) : Action de l'eau sur la profondeur de la rayure pour une charge de 1N

L'évolution de la profondeur de la rayure est ainsi illustrée dans le graphe suivant par rapport à celle d'un verre rayé à sec :

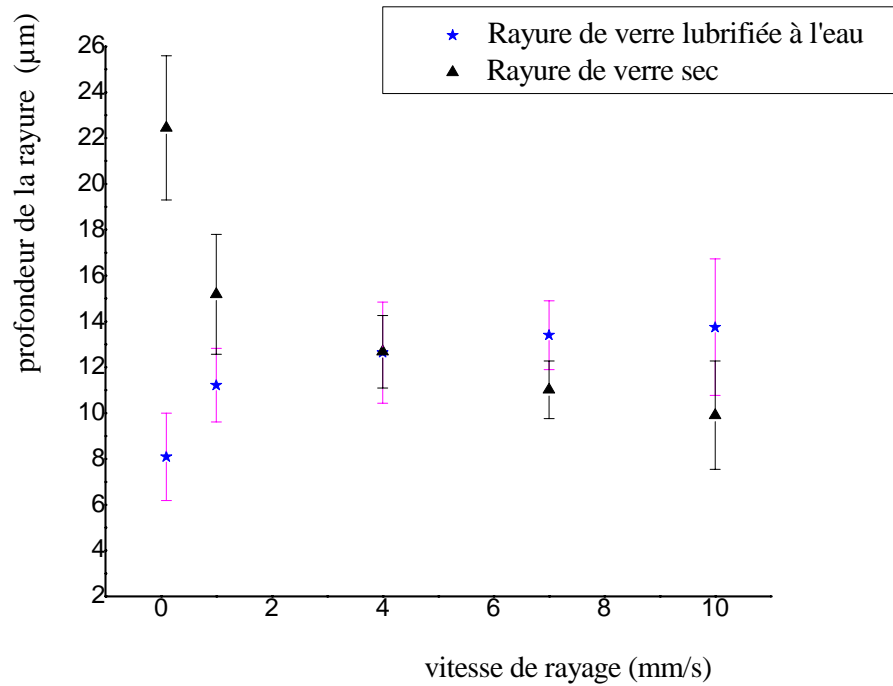


Fig.(IV.22) : Action de l'eau sur la profondeur de la rayure pour une charge de 1N

En comparant l'augmentation de la largeur de la rayure en fonction de la vitesse pour le rayage des verres lubrifiés à l'eau par rapport à celle des verres rayés à sec, on en conclue que, l'eau agit en écartant la largeur de la rayure d'une manière latérale à l'échantillon et cela proportionnellement à l'effort de rayage. Cet écart est d'autant plus accentué que la vitesse augmente (Voir Fig.(IV.20)) ; mais le phénomène diffère en profondeur car l'eau est entraînée par l'effort tangentiel sur la surface de l'échantillon et le frottement diminue permettant ainsi une surface de contact moins approfondie que celle d'un verre rayé à sec (Voir Fig.(IV.22)).

IV.2.2 Action de l'eau distillée sur la résistance mécanique

L'eau agit directement sur le frottement indenteur-indenté qui en diminuant son intensité, facilite l'écoulement du matériau tout en augmentant la vitesse de rayage mais, procède à une fragilité affectant le réseau vitreux. Le test mesurant la résistance à la rupture en flexion d'un verre rayé à l'eau distillée, confirme cette fragilité proportionnelle à la vitesse, en considérant les mêmes paramètres de rayage Fig.(IV.23). En comparant les résultats obtenus par rapport à ceux d'un verre rayé à sec Fig.(IV.24), la résistance du verre rayé à l'eau prend une valeur supérieure pour des vitesses suffisamment lentes (0.1 à 1)mm/s. Cela est dû d'une part, au rayon de la fissure qui en augmentant, permet l'augmentation de la résistance conformément à la théorie de GRIFFITH et d'autre part, au frottement qui diminue en présence d'eau (Voir Fig.(IV.9)), entraînant une aire de contact moins importante et une géométrie de rayure inférieure. Par contre, le phénomène est inversé pour les vitesses proches de 10 mm/s permettant une résistance inférieure à celle d'un verre rayé sec laissant une dominance de l'effet de la vitesse de rayage sur l'effet du frottement.

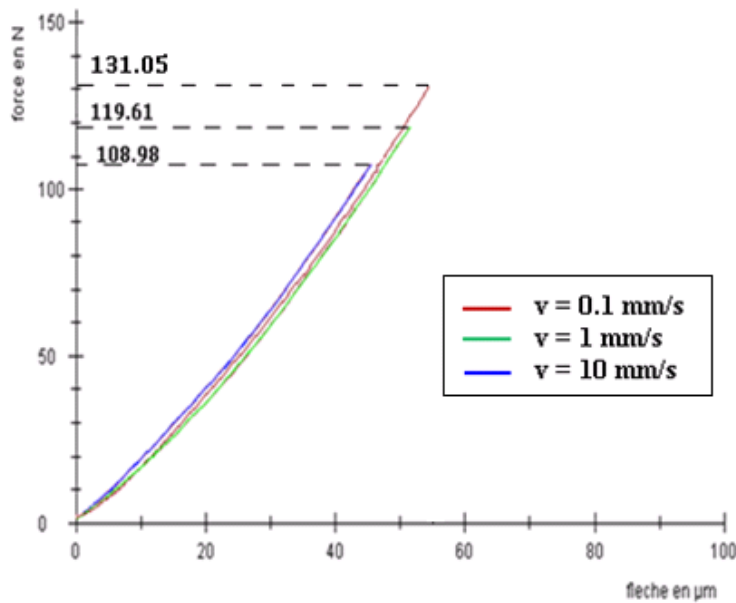


Fig.(IV.23) : Action de la vitesse de rayage sur la résistance mécanique du verre rayé à l'eau et pour une charge de 1N

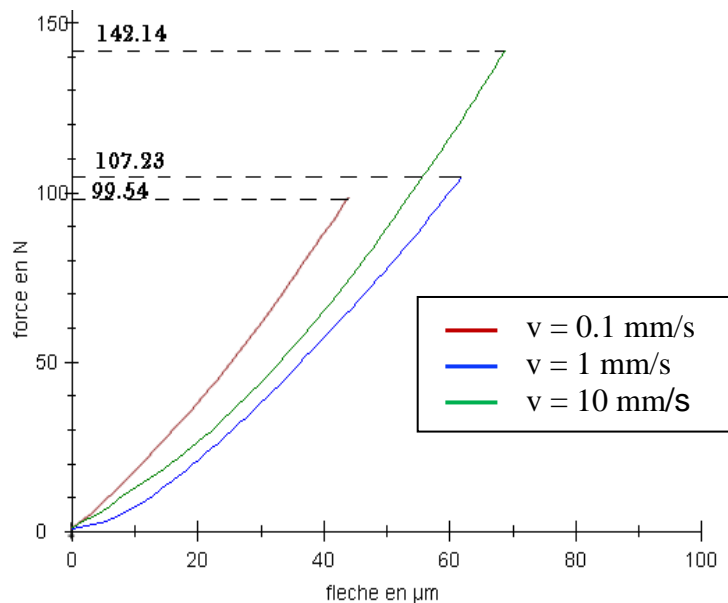


Fig.(IV.24) : Action de la vitesse de rayage sur la résistance mécanique du verre rayé à sec et pour une charge de 1N

Le tableau (IV.1) montre l'augmentation de la résistance à la flexion du verre rayé sec, de façon proportionnelle avec la vitesse de rayage pour deux charges différentes, mais une sensibilité de fragilité apparaît en augmentant la charge, tandis que, pour un verre rayé à l'eau, il a présenté une résistance à la flexion qui diminue en fonction de la vitesse mais présente une phase de transition pour les vitesses de rayages comprises entre 1mm/s et 10mm/s et devient plus fragile qu'au verre rayé à sec.

Propriétés échantillons		Rayure de verre à sec			Rayure de verre lubrifiée à l'eau		
		V ₁ (mm/s)	V ₂ (mm/s)	V ₃ (mm/s)	V ₁ (mm/s)	V ₂ (mm/s)	V ₃ (mm/s)
		0.1	1	10	0.1	1	10
σ_r (N/mm ²)	Charge (1N)	21.50	23.16	30.70	28.30	25.83	23.53
	Charge (2N)	19.04	21.31	26.33	—	—	—

Tableau (IV.1) : Variation de la résistance mécanique d'un verre rayé à sec et celle d'un verre rayé à l'eau distillée.

Une phase de transition est identifiée, caractérisant l'effet de l'eau sur la résistance mécanique du verre qui provoque un état de fragilité dès que la vitesse de rayage devient supérieure à 1mm/s. En effet, cette résistance est liée directement à la propagation des fissures médianes issues d'une profondeur de rayage bien déterminée. Dans notre cas, une vitesse de rayage de 4mm/s marque la limite où on peut espérer une évolution accélérée de ces fissures qui influencent la résistance mécanique de façon sévère par rapport à celle d'un verre rayé sec. Cette hypothèse est avancée expliquant les valeurs supérieures de la résistance mécanique du rayage lubrifié à l'eau, en les comparants à ceux du rayage à sec apparaissant dans le tableau (IV.1).

IV.2.3 Action de l'eau distillée sur la transmission optique

La présence de l'eau sur la surface de rayage écarte les fissures latérales induites sous l'effort de rayage et fait diminuer la transmission optique par rapport à celle du verre rayé à sec. En augmentant la vitesse de rayage, on gagne un peu plus en transmission car le frottement diminue, entraînant avec lui l'atténuation de la propagation des fissures latérales (Voir Fig.(IV.25)).

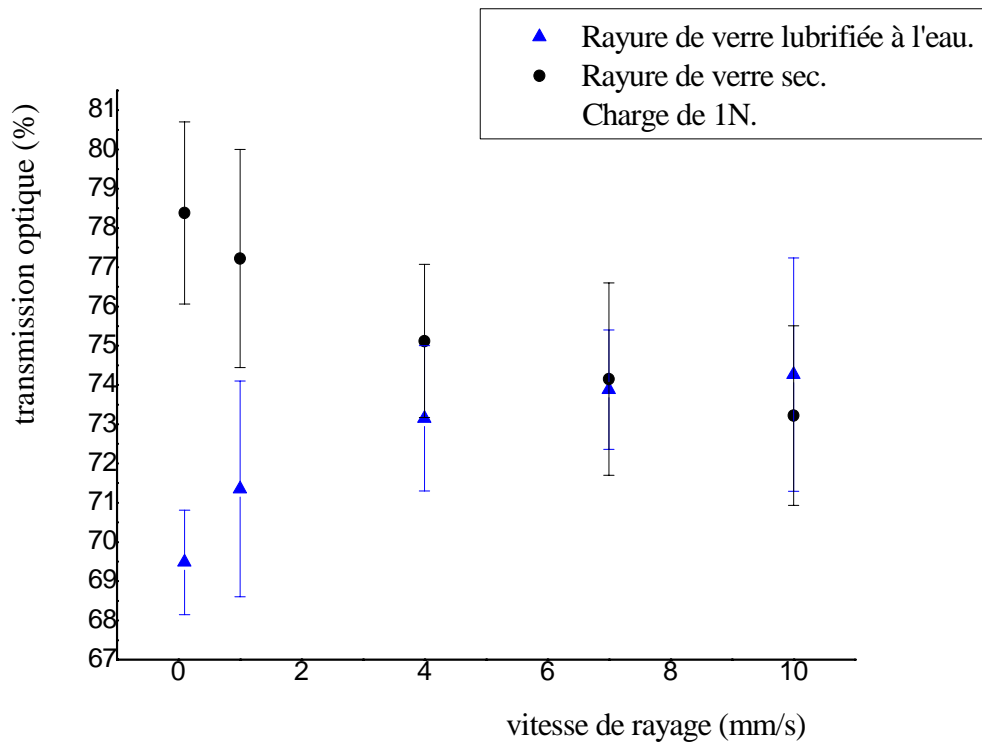


Fig.(IV.25) : Action de l'eau distillée sur la transmission optique

IV.3 Rayage des verres subissant le traitement du recuit

IV.3.1 Action du recuit sur la géométrie de la rayure

Le recuit est un procédé de traitement thermique qui consiste à supprimer les contraintes de tensions internes pouvant apparaître avant la phase d'élaboration du verre (bulles d'air, pores, inclusions divers). Ces contraintes sont dues à une distribution non uniforme de la température de transition vitreuse entre la surface et le centre et également entre le bord et le milieu, pouvant rester de façon permanente dans le réseau vitreux, ainsi que, les contraintes temporaires dont l'élimination se fait par refroidissement contrôlé. Les contraintes agissent comme des défauts sur les propriétés optiques et mécaniques du verre.

Le rayage du verre recuit a montré une amélioration de la géométrie de la rayure (largeur et profondeur), par rapport à celle du verre rayé brut (Voir Fig.IV.26 et Fig.IV.27).

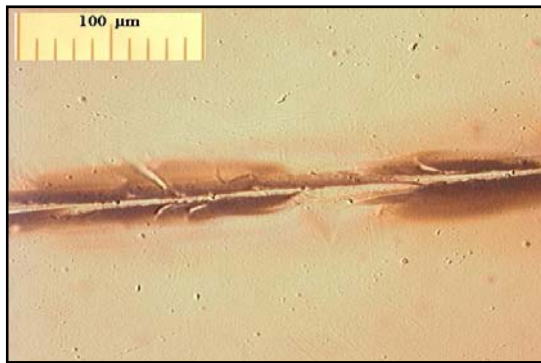


Fig.IV.26: Rayure sur un verre recuit
pour : $v = 10\text{mm/s}$ et $P = 1\text{N}$

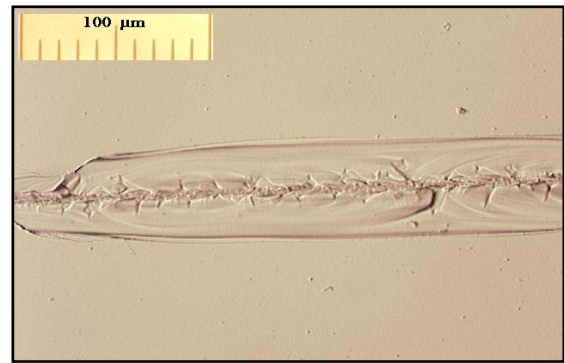


Fig.IV.12: Rayure sur un verre sec
pour : $v = 10\text{mm/s}$ et $P = 1\text{N}$

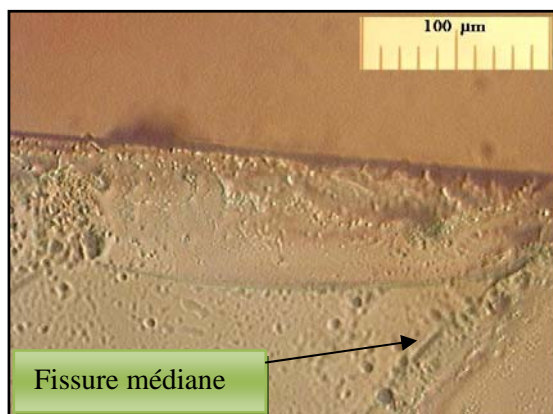


Fig.IV.27: Profondeur d'une rayure sur verre
recuit ; $v = 10\text{mm/s}$ et $P = 1\text{N}$

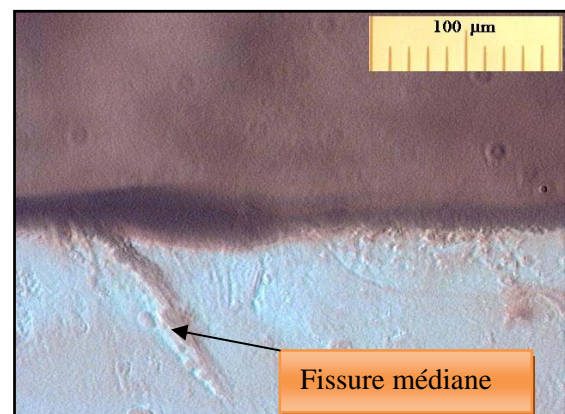


Fig.IV.28 : Profondeur d'une rayure sur
verre brut ; $v = 10\text{mm/s}$ et $P = 1\text{N}$

Les figures précédentes illustrent bien la différence en largeur et en profondeur d'une rayure de verre recuit dont les dimensions sont largement inférieures à celles d'un verre brut. Ces observations sont confirmées par des graphes montrant l'effet du recuit sur la géométrie de la rayure (Voir Fig.(IV.29) et Fig (IV.30)).

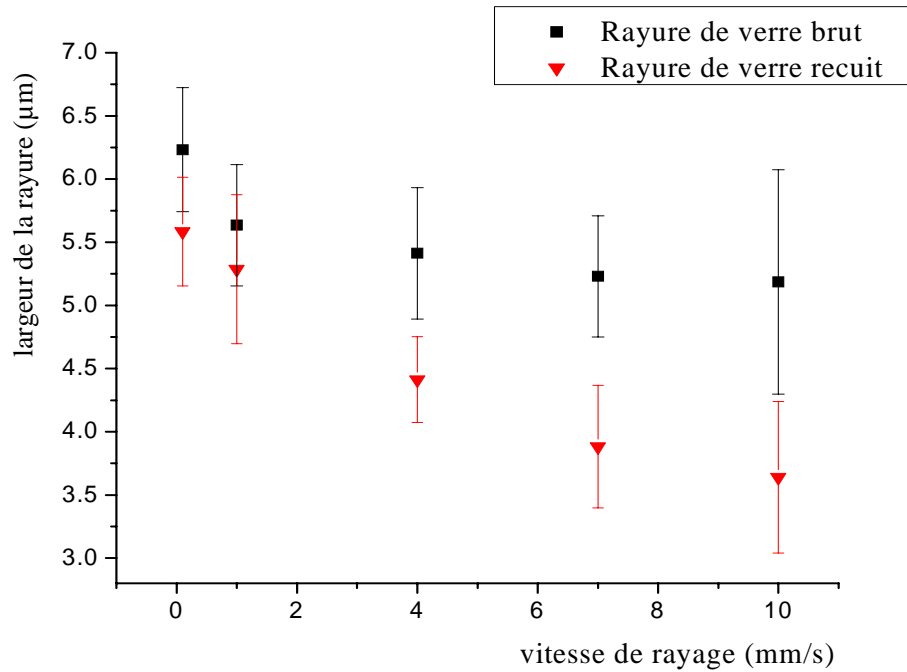


Fig.(IV.29) : Effet du recuit sur la largeur d'une rayure pour une charge de 1N

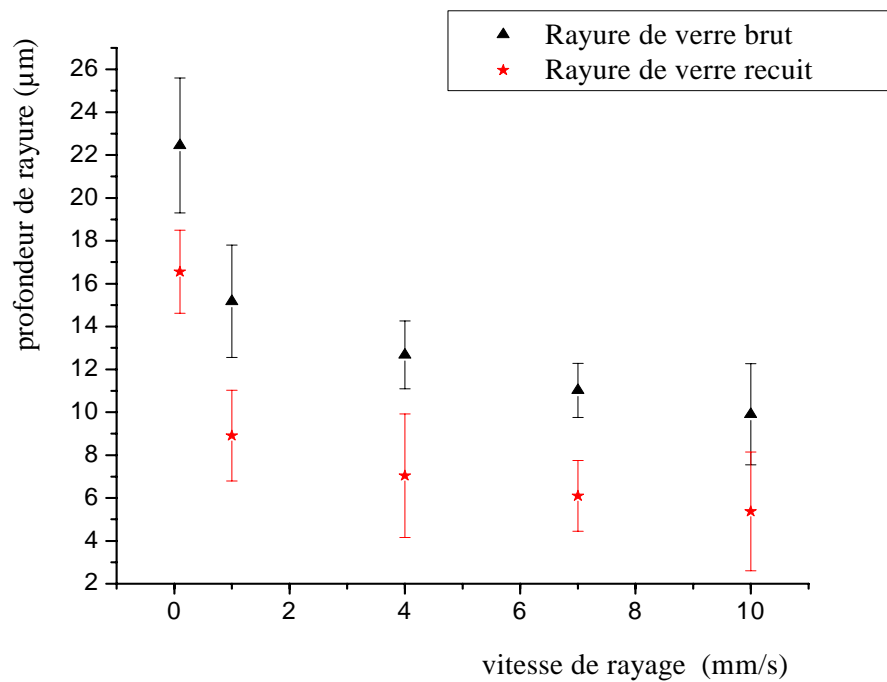


Fig.(IV.30) : Action du recuit sur la profondeur de la rayure pour une charge de 1N

Le recuit agit globalement par élimination des contraintes de tension qui existent dans le réseau vitreux, soit, lors de la mise en forme du verre, soit, lors du découpage de la plaque de verre en échantillons. Ceci implique une diminution remarquable de la largeur et de la profondeur de la rayure observées dans les deux graphes précédents.

IV.3.2 Action du recuit sur la résistance mécanique

La diminution en géométrie de la rayure est gouvernée par l'élimination des contraintes résiduelles dans le réseau vitreux qui dépend de plusieurs facteurs (temps, température, vitesse de refroidissement). Les contrôles de ces facteurs laissent supposer le sens d'action de ces contraintes. Le recuit agit en surface comme un remède aux différentes fissures qui peuvent survenir en s'opposant à leurs initiations et, dans le cas échéant, à leurs fermetures partielles ou totales. Les graphes obtenus de la résistance à la flexion permettent d'affirmer le sens d'action de ces contraintes par une amélioration pour $v = 1\text{mm/s}$ et par une dégradation de cette résistance quand le sens d'action va à l'inverse du recuit (Voir Fig.(IV.31)) pour $v = 0.1\text{mm/s}$ et $v = 10\text{mm/s}$ par rapport à celle du verre brut (Voir Fig.(IV.24)).

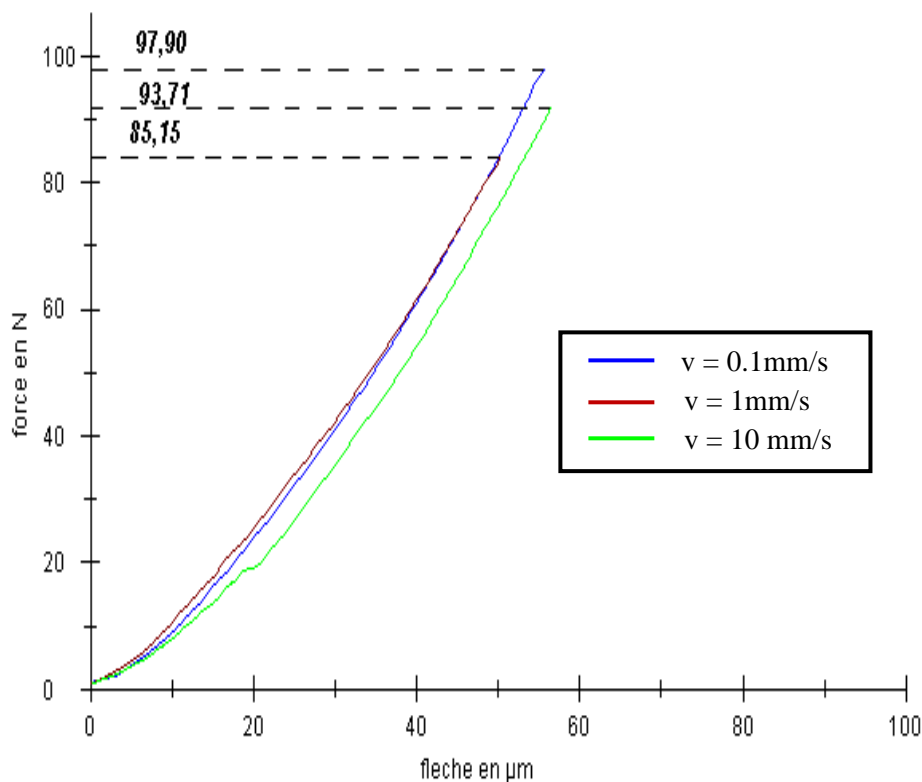


Fig.(IV.31) : Action du recuit sur la résistance mécanique du verre pour une charge de 1N

IV.3.3 Transmission optique d'un verre recuit

Le verre traité par le procédé du recuit offre une résistance meilleure au rayage et à la fissuration grâce à l'élimination des contraintes de tensions internes même si elle est partielle. De ce fait, les verres traités ont montré un taux de transmission optique qui augmente nettement avec la vitesse de rayage à cause de la diminution progressive de la géométrie de la rayure et de l'absence considérable des fissures latérales pour lesquelles la transmission est affectée (Voir Fig.(IV.32)).

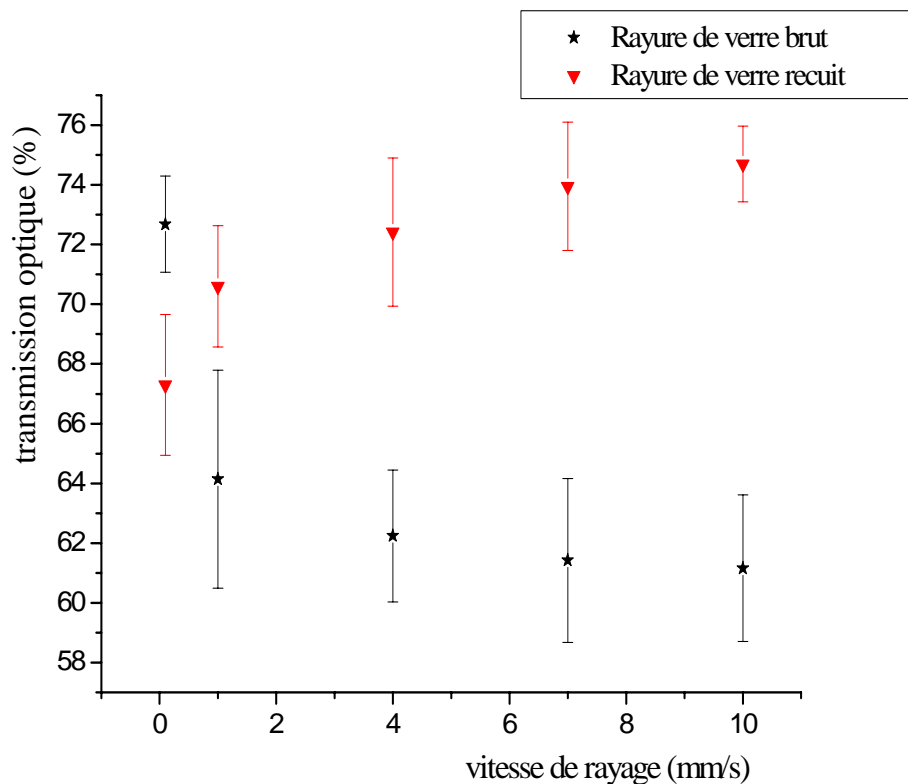


Fig.(IV.32) : Evolution de la transmission optique dans une rayure de verre recuit et dans celle de verre brut pour une charge de rayage de 2N

IV.3.4 Action de la charge sur la géométrie de la rayure

L'effet de la variation de charges sur la géométrie de la rayure est le même que celui d'un verre brut. Il est caractérisé par une augmentation en largeur et en profondeur de la rayure liée à une pénétration de l'indenteur plus élevée (Voir Fig.(IV.33) et Fig (IV.34)).

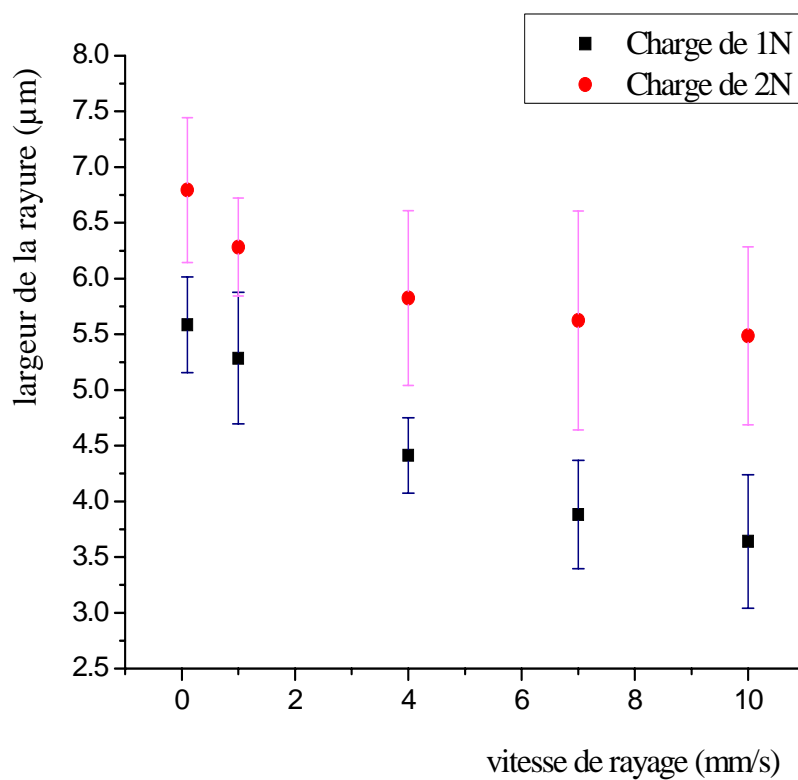


Fig.(IV.33) : Effet de la charge sur la largeur de la rayure d'un verre recuit

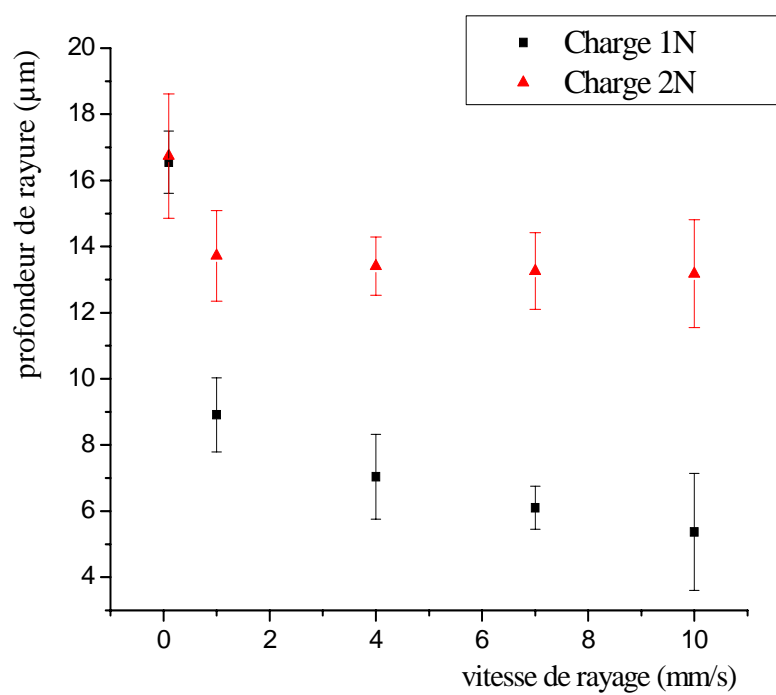


Fig.(IV.34) : Effet de la charge sur la profondeur de la rayure d'un verre recuit

IV.3.5 Action de la charge sur la transmission optique

La variation de la charge de rayage influence clairement la transmission optique d'un verre recuit de la même manière que celle d'un verre brut. Les charges supérieures affectent beaucoup plus le système de fissuration induit sous l'effort de rayage, qui enregistre une perte remarquable en transmission comme le montre la Fig.(IV.35), mais à un taux qui reste supérieur à celui d'un verre brut (Voir Fig.(IV.11)).

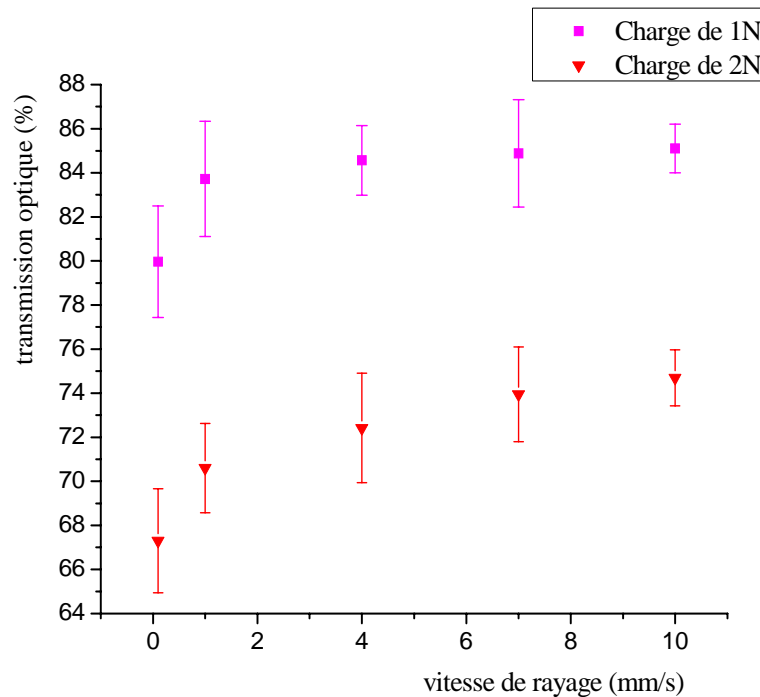


Fig.(IV.35) : Evolution de la transmission optique dans une rayure de verre recuit.

IV.4 Rayage des verres ayant séjournés dans l'eau chauffée à 100°C

IV.4.1 Action du séjour dans l'eau chauffée à 100°C sur la géométrie de la rayure

L'amorce de la fissure est déclenchée par une absorption d'une molécule d'eau à sa pointe, produisant une attaque corrosive sur le verre où une liaison oxygène silicium située au niveau de la fissure et une liaison oxygène hydrogène d'une molécule d'eau, sont rompus faisant apparaître deux groupements hydroxyles liés au silicium. Cette absorption est accélérée par l'énergie d'activation de la molécule d'eau chauffée à 100°C permettant une progression des fissures radiales et latérales très accentuées proportionnellement à la vitesse de rayage (Voir Fig.IV.36, Fig.IV.37 et Fig.IV.38) sans oublier les fissures apparemment

stationnaires (sub-critiques), issues d'un état de concentration de vapeur d'eau, qui peuvent progresser à des vitesses très faibles selon la théorie de la fatigue statique menée déjà par *CHARLES* et *HILLIG* [33].

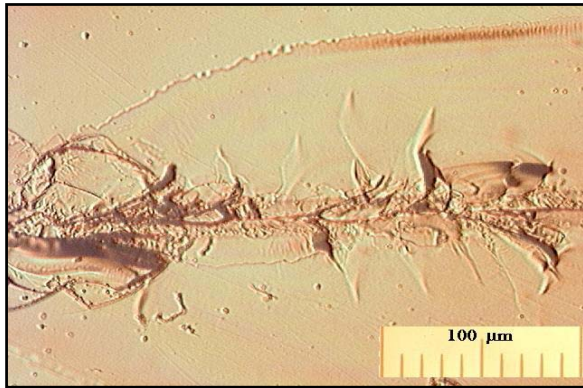


Fig.IV.36 : Largeur de la rayure pour
 $v = 0.1\text{mm/s}$

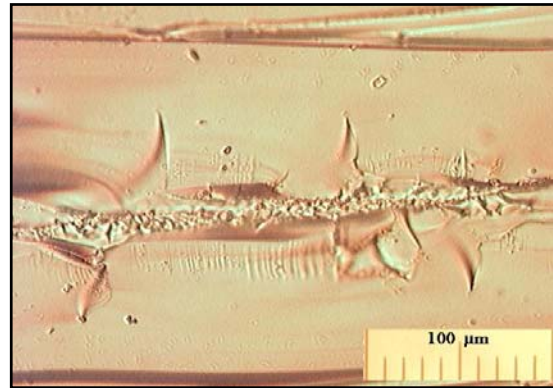


Fig.IV.37 : Largeur de la rayure pour
 $v = 1\text{mm/s}$

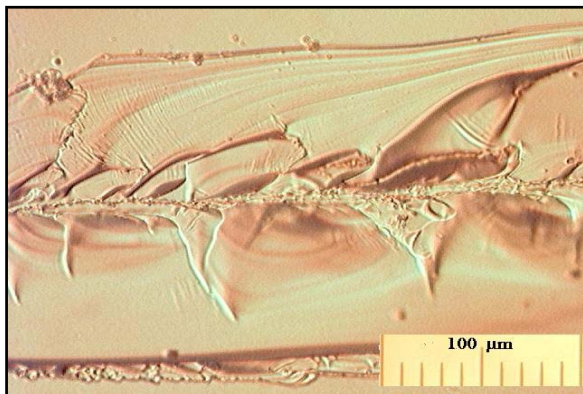


Fig.IV.38 : Largeur de la rayure pour
 $v = 10\text{mm/s}$

Les microfissures médianes évoluent faiblement en profondeur sous l'action de vapeur d'eau activée, pour des vitesses très lentes (0.1mm/s) (Voir Fig.IV.39) qui progressent en écartant de plus en plus la fissure développée pour des vitesses supérieures (1mm/s et 10mm/s) (Voir Fig.IV.40 et Fig.IV.41).

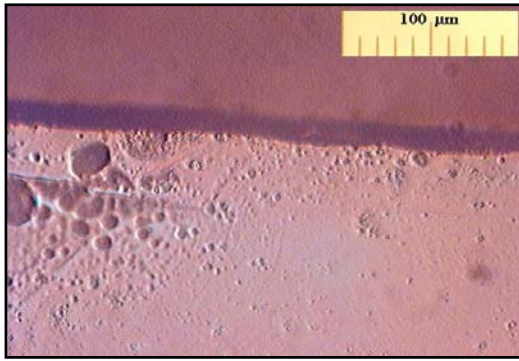


Fig.IV.39 : Profondeur de la rayure pour
 $v = 0.1 \text{ mm/s}$

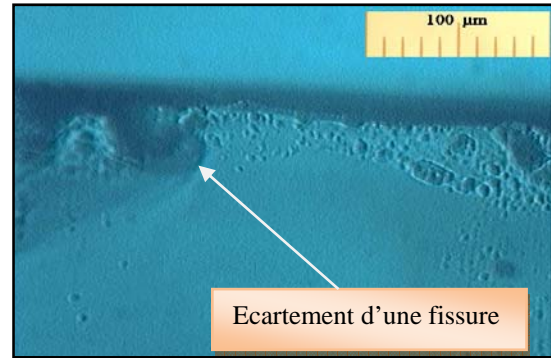


Fig.IV.40: Profondeur de la rayure pour
 $v = 1 \text{ mm/s}$

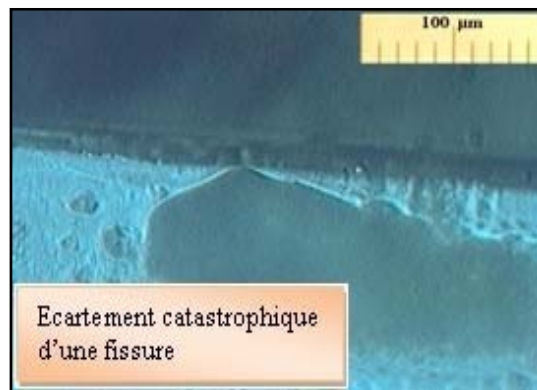


Fig.IV.41 : Profondeur de la rayure pour $v = 10 \text{ mm/s}$

Les mécanismes de contrôles de la propagation de la fissure dépendent directement de la vitesse de rayage et de la charge appliquée, ainsi que, du pourcentage de diffusion en vapeur d'eau à fond de fissure (Voir Fig.(IV.42) et Fig.(IV.43)) pour les vitesses lentes inférieures à 1 mm/s . Tandis que, pour les vitesses supérieures à cette valeur, l'attaque corrosive continue mais très lentement car la croissance de la fissure a été limitée par le taux de diffusion d'eau au bout de la fissure.

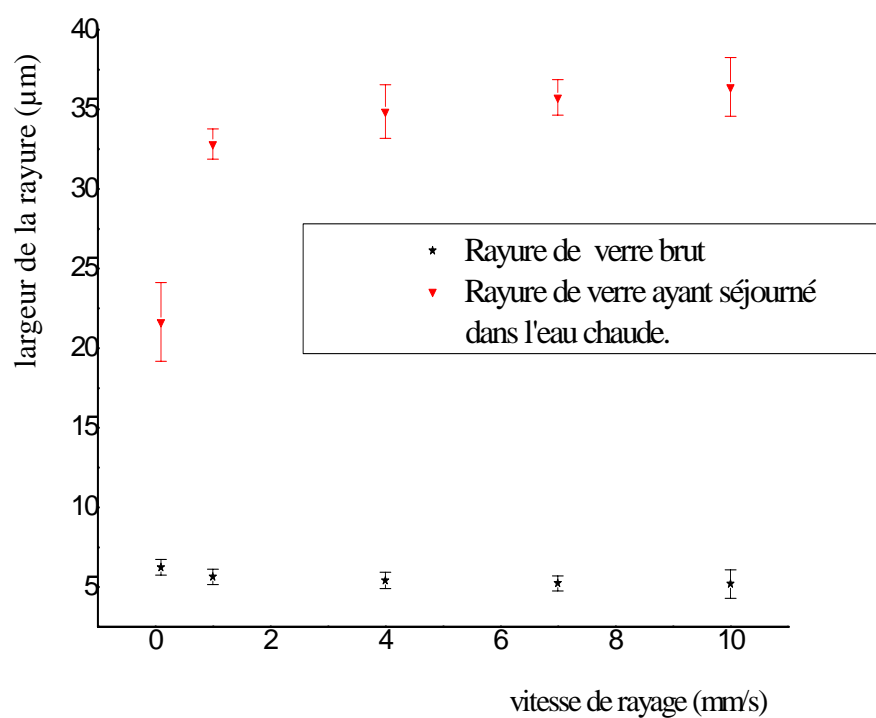


Fig.(IV.42) : Effet du séjour des échantillons dans l'eau chauffée à 100°C durant 24h et rayés avec une charge de 1N sur la largeur de la rayure

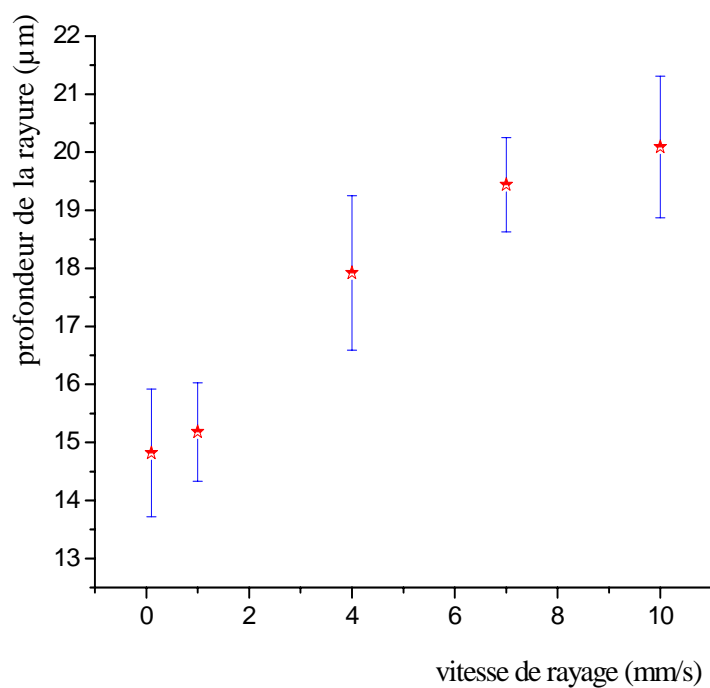


Fig.(IV.43) : Effet du séjour des échantillons dans l'eau chauffée à 100°C durant 24h et rayés avec une charge de 1N sur la profondeur de la rayure

IV.4.2 Action du séjour dans l'eau chauffée à 100°C sur la résistance mécanique

L'action de l'eau chauffée sur la géométrie de la fissure dépend elle aussi de l'existence de contrainte mécanique. Dans notre cas, l'absence de contraintes appliquées, engendre un accroissement du rayon de courbure au fond de la fissure et par conséquent, une augmentation légère de la résistance mécanique pour $v = 1 \text{ mm/s}$. Par contre, pour les vitesses supérieures à cette valeur, la réaction d'hydrolyse est accélérée par les contraintes de tension qui ouvrent les fissures d'une façon catastrophique et dans ce cas, la résistance mécanique est considérablement affaiblie pour $v = 10 \text{ mm/s}$ (Voir Fig.(IV.44)). L'effet de la vitesse de rayage joue un rôle très important dans cette réaction d'hydrolyse permettant une activation de ces contraintes de tension créées par l'effort tangentielle à la direction de rayage.

Le tableau suivant montre les résistances à la flexion des échantillons de verre ayant séjournés dans l'eau chauffée à 100°C et des échantillons de verre traités par recuit pour différentes vitesses de rayage.

Propriétés échantillons		Verre recuit			Verre immergé dans de l'eau chauffée à 100°C		
		$v_1(\text{mm/s})$	$v_2(\text{mm/s})$	$v_3(\text{mm/s})$	$v_1(\text{mm/s})$	$v_2(\text{mm/s})$	$v_3(\text{mm/s})$
		0.1	1	10	0.1	1	10
$\sigma_f(\text{N/mm}^2)$	charge (1N)	21.14	18.39	20.24	24,52	24,91	23,96
	charge (2N)	20.6	19.02	19.63	—	—	—

Tableau (IV.2) : Variation de la résistance mécanique d'un verre recuit et celle d'un verre immergé dans l'eau chauffée à 100°C.

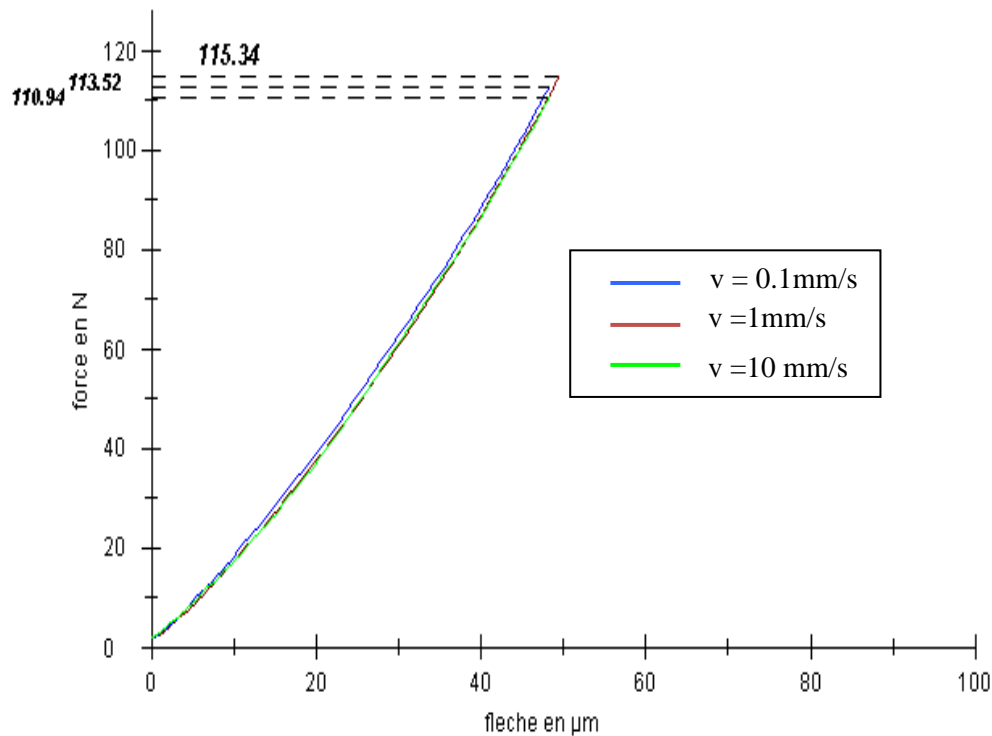


Fig.(IV.44) : Action du séjour des échantillons dans l'eau chauffée à 100°C et rayés avec une charge de 1N sur la résistance mécanique

Il semble que les contraintes de tension internes agissent en sens inverse au recuit et à l'eau chaude pour les vitesses de rayage assez faible (inférieure à 1mm/s) ce qui explique la diminution de la résistance mécanique pour les verres subissant le recuit, et la même constatation est révélée pour les verres immergés dans l'eau chaude ou on note une augmentation de cette résistance, par contre, ces mêmes contraintes de tension agissent dans le même sens au recuit et à l'eau chaude pour les vitesses de rayage assez importantes (supérieures à 1mm/s) ou on note un accroissement de la résistance mécanique pour le recuit et une dégradation de celle-ci pour l'eau chaude, ce qui est en accord avec la théorie.

IV.4.3 Action du séjour dans l'eau chauffée à 100°C sur la transmission optique

Les échantillons de verre ayant séjourné 24 heures dans l'eau chauffée à 100°C ont présentés lors du rayage un système de fissuration accéléré par l'attaque corrosive de l'eau chaude, en faisant augmenter largement la géométrie de la rayure, ainsi que, les dimensions des fissures comme le montre les Fig.(IV.36 à IV.41). La transmission optique est cependant

très affaiblie, vu l'endommagement causé provoquant des pertes multiples au niveau des fissures catastrophique.

La perte de la transmission optique est d'autant plus accentuée que la vitesse de rayage est plus grande sous l'effet de la propagation des fissures accélérée par l'eau chaude activée (Voir Fig.(IV.45)).

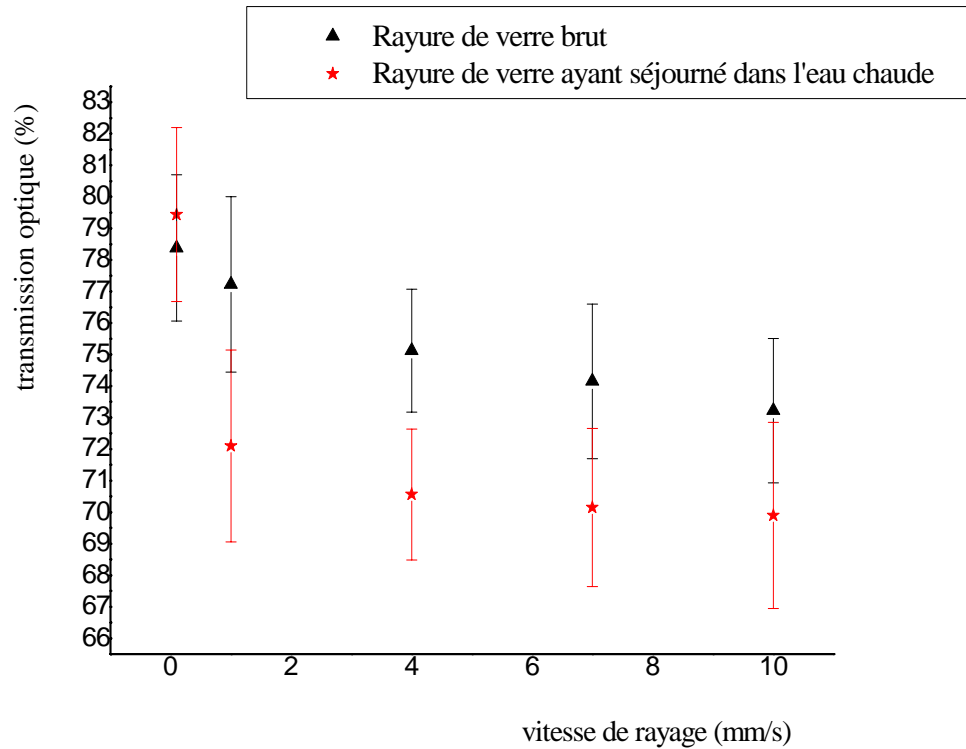


Fig.(IV.45) : Variation de la transmission optique à travers la rayure des échantillons de verres, ayant séjournés dans l'eau chauffée à 100°C et rayés avec une charge de 1N.