République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Yahia FARES de MÉDÉA
Faculté de Technologie
Département de Génie mécanique

Mémoire de fin étude en vue de l'obtention de diplôme de
Master en Génie mécanique
Option: Ingénierie Des Matériaux et des surfaces

Thème :

Etude expérimentale de la résistance au rayage des optiques automobiles

Proposé et Dirigé par :
Encadrant: Dr. LABBADLIA Omar
Co- Encadrant: Dr. MADAOUI Zakarya

réaliser par :
Mr: KORICHI Mohamed
Mr: KETTAB khaled

Année Universitaire 2024-2025

REMERCIEMENT :

Nous louons Dieu Tout-Puissant qui nous a accordé la réussite pour achever ce travail. Nous exprimons notre profonde gratitude à nos parents pour leur soutien et leurs sacrifices tout au long de ce parcours académique, ainsi nos professeurs pour leur dévouement dans la transmission du savoir, en particulier notre encadrant, **Dr. LABBADLIA Omar et Dr. MADAOUI Zakarya,** pour ses orientations et ses efforts précieux. Nous remercions également nos collègues pour leur accompagnement, et nous apprécions les remarques constructives du jury. Enfin, nous exprimons notre reconnaissance à toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce projet .

DEDICACE :

الشكر لله والفضل له في كل شيء وصلت إليه الان ، الحب والتقدير والامتنان لوالدي الذين تعبو لأجلي ودعواتهم التي رافقتني خلال المشوار الدراسي، شكرا للزملاء ولكل أصدقائي الذين وجهوني ونصحوني بمحبة واخلاص وأخص بالذكر أصدقائي الطيبين والاعزاء ، محمد قوريشي، مولوج يعقوب، مصطفاي يونس،حمزة تواتي وشيبي محمد ايوب وفالاخير أتقدم كذلك بجزيل الشكر لكل من ساعدني من قريب أو بعيد أقدم لكم هذا العمل بكل حب و امتنان

KETTAB KHALED

DEDICACE :

الى الله عزّ وجل، أولًا وأخيرًا، الحمد والشكر له على توفيقه وتيسيره في كل خطوة

إلى والديّ العزيزين، شكرًا لكما على دعائكما، دعمكما، وصبركما طوال مسيرتي الدراسية، فبفضلكما، بعد الله، وصلت إلى هذه المرحلة وكذلك الزوجة العزيزة اقدم لها شكر خاص لا يقدر بثمن

إلى زملائي وأصدقائي الذين تقاسمت معهم لحظات الجدّ والمرح، و كنتم خير سند لي في هذه الرحلة،

وأخصّ بالذكر: بشير، سفيان، وزملاء الدراسة: كتاب خالد، مولوج يعقوب، تواتي حمزة، شيبي محمد أيوب،

و إلى العائلة الطيبة: عائلة حمداني

إلى كل من ساندني ولو بكلمة طيبة، من قريب أو بعيد، أهديكم ثمرة هذا المجهود المتواضع، عرفانًا وامتنانًا

Korichi mohamed

Etude expérimentale de la résistance au rayage des optiques automobiles

Résumé:

Les lunettes d'optiques automobiles jouent un rôle crucial dans les systèmes d'éclairage des véhicules. Ils sont continuellement exposées à divers facteurs d'usure : frottements mécaniques (poussière, sable, contact avec particule solide), variations climatiques (pluie, neige, rayons UV), ou encore des nettoyages fréquents. Ces agressions provoquent à la surface des optiques des micro-rayures qui altèrent la transmission lumineuse, dégradent la performance de l'éclairage, compromettent la sécurité du conducteur, et affectent l'aspect visuel du véhicule. L'objectif de ce travail est de déterminer l'influence du milieu aride saharien sur la résistance au rayage des lunettes d'optique automobile. Cinq échantillons de 2, 4, 6, 10 et 12 années d'utilisation tirés des optiques automobiles utilisées dans le sahara Algérien sont testés. La microscopie optique a été utilisée pour analyser l'état de surface des échantillons. Les résultats montrent que l'exposition prolongée des lunettes aux environnements aride influe fortement leur résistance au rayage. Une amélioration dans la résistance au rayage a été observée pour les échantillons de 2, 4 et 6 années. Cette amélioration est attribuée à une augmentation dans la microdureté des échantillons. Cependant, au-delà de 6 années, une diminution de la résistance au rayage est constatée.

Mots clés : Rayage, optique automobiles, polycarbonate, années d'utilisation, facteurs environnementales.

دراسة تجريبية لمقاومة الخدش لعدسات السيارات الضوئية

ملخص :

تلعب العدسات الضوئية للسيارات دورًا حيويًا في أنظمة إضاءة المركبات. فهي تتعرض باستمرار لعوامل تآكل مختلفة، مثل الاحتكاكات الميكانيكية (الغبار، الرمل، التلامس مع الجزيئات الصلبة)، والتغيرات المناخية (المطر، الثلج، الأشعة فوق البنفسجية)، بالإضافة إلى عمليات التنظيف المتكررة. تؤدي هذه الاعتداءات إلى ظهور خدوش دقيقة على سطح العدسات، مما يؤثر على نفاذية الضوء، ويُضعف أداء الإضاءة، ويُعرض سلامة السائق للخطر، كما يُؤثر على المظهر الجمالي للمركبة.

يهدف هذا العمل إلى تحديد تأثير البيئة الصحراوية الجافة على مقاومة العدسات البصرية للسيارات للخدش. تم اختبار خمسة عينات من العدسات تم استخدامها لمدة 2، 4، 6، 10 و12 سنة، مأخوذة من عدسات سيارات مستخدمة في الصحراء الجزائرية. تم استخدام المجهر البصري لتحليل حالة سطح العينات. أظهرت النتائج أن التعرض الطويل لبيئة الصحراء يؤثر بشكل كبير على مقاومة العدسات الضوئية للخدش. لوحظ تحسن في مقاومة الخدش في العينات ذات الاستعمال لمدة 2، 4 و6 سنوات، ويُعزى هذا التحسن إلى زيادة في الصلادة المجهرية للعينات. ومع ذلك، بعد مرور 6 سنوات، لوحظ انخفاض في مقاومة الخدش

الكلمات المفتاحية :

الخدش، عدسات السيارات الضوئية ، البولي كربونات، سنوات الاستخدام ، العوامل الطبيعية

Experimental study of the Scratch resistance of automotive optics

Abstract:

Automotive optical lenses play a crucial role in vehicle lighting systems. They are continuously exposed to various wear factors, such as mechanical friction (dust, sand, contact with solid particles), climatic variations (rain, snow, UV), and frequent cleanings. These aggressions cause micro-scratches on the lenses surface, which reduce light transmission, degrade lighting performance, compromise driver safety and affect the vehicle's visual appearance.

The objective of this work is to determine the influence of the arid Saharan environment on the scratch resistance of automotive optical lenses. Five samples with usage durations of 2, 4, 6, 10, and 12 years, taken from automotive optics used in the Algerian Sahara, were tested. Optical microscopy was used to analyze the surface condition of the samples. The results show that prolonged exposure of automotive optical lenses to arid environments significantly affects their scratch resistance. An improvement in scratch resistance was observed for the samples used for 2, 4, and 6 years. This improvement is attributed to an increase in the micro hardness of the samples. However, beyond 6 years of use, a decrease in scratch resistance was observed.

Keywords: Scratch, automotive optics, polycarbonate, duration of use, environmental factors

Sommaire :

Remerciements……...I

Dédicace……....II

Résumé……IV

Liste des figures ……...XI

Liste des tableaux…….....XIII

Introduction générale …….....02

Chapitre I : Recherche bibliographique

I-1- Introduction ……..…… ……...5

I-2-Historique ……..…….. ……..….. ……...… ……..….....5

I-3-Polycarbonate utilisé pour la fabrication des lentilles de phares…….....6

I-3-1-Caractéristiques du Polycarbonate ……. …….....7

I-3-1-1-Propriétés mécaniques ……..…..... 7

I-3-1-2-Propriétés thermiques …….. 7

I-3-1-3-Propriétés physiques …….....7

I-4-Différentes étapes de la construction……....8

I-4-1-Conception et Design……...…..…….…8

I-4-2- Choix des Matériaux……8

a-Lentille …….. ……....8

b-Réflecteur…….…..8

c-Source lumineuse……..…….…8

d-Boîtier…….....8

I-4-3- Fabrication des Composants……....8

I-4-4- Assemblage et Montage……..….9

I-4-5- Tests de Qualité……....9

I-4-6-Installation sur le Véhicule…….…..9

I-5-Composants des optiques…….....9

I-5-1- Ampoule……...…9

I-5-2- Bol réflecteur…….…..9

I-5-3- Lentille……..…..10

I-5-4- Obturateur ou écran de coupure……..……...10

I-6-Technologies et performances des optiques automobiles…….....11

I-6-1-Les ampoules halogènes…….……11

I-6-2-Les Ampoules Xénon…….12

I-6-3- optiques LED……..12

I-6-4- optiques Laser……...13

I-6-5- optiques OLED……...…..14

I-6-6- optiques à LED Matrix……..15

I-7-Types des endommagements observés les lentilles de phares……..16

I-7-1-Oxydation de base……..16

I-7-2-Oxydation sévère……16

I-7-3-Jaunissement……...17

I-7-4-Rayures……...17

I-7-5-Microfissures / Craquage……17

I-7-6-Desquamation / Écaillage……...18

I-7-7-Échec partiel du revêtement……18

I-8-Rénovation des optiques jaunis…….…19

I-8-1-Nettoyage de base…….…..19

I-8-2-Protection de la carrosserie…….……19

I-8-3-Ponçage……...…19

I-8-4-Application du composé de rénovation……..…20

I-8-5-Polissage…….…20

I-9-Influence de l'environnement sur la résistance des lunettes d'optique automobile……...…20

I-9-1-Conditions Climatiques……...…20

I-9-1-1- Pluie et Humidité……20

I-9-1-2-Neige et Froid Intense……..21

I-9-1-3-Chaleur et Forte Exposition au Soleil…….……21

I-9-1-4- Brouillard……21

I-9-2- Qualité des Routes et Vibrations……21

I-9-3- Poussière et Pollution……21

I-10- Types de vieillissements……..……..…..21

I-10-1- Vieillissement physique…….…..21

I-10-1-1- Plastification…….....21

I-10-1-2- Gonflement……..….22

I-10-1-3-Endommagement……...22

I-10-2- Vieillissement chimique…….……..23

I-10-3- Vieillissement hydrique……...…23

I-10-3-1- Modifications macroscopiques……23

I-10-4- Vieillissement thermique…….……24

I-11-Conclusion…….....24

ChapitreII:

Résistance au rayage des lunettes d'optique automobile

II-1-Introduction…….….26

II-2- Comportement des matériaux au rayage……..…...27

II-2-1Morphologie et mécanique du rayage des matériaux massifs……..…. 27

II-2-1-1-Morphologie d'une rayure…….….27

II-2-1-2-Mécanique des matériaux massifs…….…28

II-2-2- Endommagement déterminé par observation microscopique……...…28

II-2-2-1 Mode d'endommagement fragile….. ……....28

II-2-2-2- Mode d'endommagement ductile…….29

II-3-Coefficient de frottement…….....30

II-4-Dureté à la rayure…….…....31

II-5-Principe d'essai de rayage ……...31

II-6-Facteurs affectant les résultats du test de rayage……..…….32

II-**7**-Types des tests de rayage……..…...33

II-**7**-1-Test de rayage avec une seule pointe……33

II-7-2-Essai de dureté de Mohs…… ..….33

II-7-3-Test par aiguille……34

II-8-Présentation du dispositif expérimental utilisé…… 34

II-8-1-Schéma du banc d'essai……..34

II-9-Conclusion……37

Chapitre III : Résultats, discussions et interprétations

III-1-Introduction……..39

III-2-Procédure expérimentale……..…39

III-3-Résultats et discussions……...40

III-3-1-Analyse préliminaire des surfaces des lunettes……40

III.4- Evolution de la force normale et tangentielle…….....41

III-5- Evolution du coefficient de frottement……...44

III-6- Observations par microscopie optiques des endommagements……..…47

III-7-Interprétations des résultats…….....50

III-8-Conclusion…….……..50

Conclusion générale ……...51

Référence ……52

La liste des figures

Figure I-1:formule chimique de polycarbonate ……...…6

Figure I-2 **:** Ampoule ……...…9

Figure I-3 **:** Réflecteur……...10

Figure I-4 **:** Lentille……...10

Figure I-5 **:** obturateur…….....10

Figure I-6 **:** Ampoule halogène…….....11

Figure I-7 : Ampoule xénon…….....12

Figure I-8 : Optiques LED……..….13

Figure I-9 : Optiques Laser……...14

Figure I-10 **:** Optiques OLED……..…....14

Figure I-11 : Optiques à LED Matrix……...15

Figure I-12 : Oxydation de base……...16

Figure I-13 : Oxydation sévère…….....16

Figure I-14 : Jaunissement……...17

Figure I-15 : Rayures…….……...17

Figure I-16 **:** Microfissures……... …..18

Figure I-17 **:** Écaillage…….18

Figure I-18 **:** Échec partiel du revêtement…….....18

Figure I-19 **:** Nettoyage de base…….……19

Figure I-20 **:** Protection de la carrosserie…….....19

Figure I-21 **:** Ponçage…….……19

Figure I-22 **:** Application du composé Rénovation…….....20

Figure I-23 **:** Polissage ……...….20

Figure I-24 **:** Schéma de la pénétration d'un solvant dans un polymère…….....22

Figure I-25 **:** Gonflement du polymère……....22

Figure I-26 **:** Les types d'endommagement…….23

Figure II-1:Morphologie résiduelle d'une rayure et définition des différents paramètres……...27

Figure II-2 **:** Schématisation des différents endommagements générés sur un polymère Par rayage en fonction de l'angle au sommet 2θ d'un cône dur…….....28

FigureII-3: Mode d'endommagement fragile dans l'essai de rayage…….....29

Figure II-4 **:** Modes d'endommagement ductile dans le rayage…….30

FigureII-5 : Schéma des forces impliquées dans le frottement par glissement…….....31

Figure II-6 **:** Vue rapprochée d'un indenteur et un échantillon…….....31

Figure II-**7 :** Diagramme des différents paramètres enregistrés lors du nano rayage……..... ..32

FigureII-8 **:** Schéma général du banc d'essai de micro rayage……....36

Figure II-9 **:** Banc d'essai de rayage réalisé et pointes utilisées……..…....36

Figure III-1 Morphologie des surfaces des échantillons étudiés en fonction des années d'utilisation…....40

Figure III-2 Force tangentielle, Ft, en fonction de la force normale…….……...43

Figure III-3 Coefficient de frottement en fonction de la longueur de la rayure…….…..46

Figure III-4 Images microscopique du premier stade d'apparition des fissures (Lc1)……..…..….47

Figure III-5 Images microscopique optique du deuxième stade d'endommagement (Lc2)…….…...48

Figure III-6 Images microscopique du troisième stade d'endommagement (Lc3)…….....49

Liste des tableaux

Tableau I-1 Propriétés mécaniques…….…7

Tableau I-2 Propriétés thermiques……...7

Tableau I-3 Propriétés physiques……...7

Tableau II-1 **:** Facteur influençant sur les résultats du test de rayage …….33

Tableau II-2**:** Duretés Mohs…….....34

Tableau II-3 **:** Identification des composants de la machine de rayage……...35

Introduction Générale

Introduction générale :

Dans l'industrie automobile moderne, l'optique automobile qui regroupe les phares avant, les feux arrière et les dispositifs d'éclairage auxiliaires joue un rôle fondamental non seulement en matière de sécurité routière, mais également dans l'esthétique et l'identité visuelle des véhicules. Les matériaux utilisés pour la fabrication des lunettes d'optiques sont généralement des polymères transparents, principalement du polycarbonate (PC), en raison de leur légèreté, de leur excellente résistance aux chocs et de leur capacité à être moulés en formes complexes. Toutefois, ces matériaux présentent un inconvénient majeur : leur faible résistance intrinsèque aux rayures, aux abrasions et à l'érosion.

En usage réel, les optiques automobiles sont continuellement exposées à divers facteurs d'usure : frottements mécaniques (poussière, sable, lave-glace avec particules), variations climatiques (température et gradient de température, pluie, neige, rayons UV), ou encore des nettoyages fréquents. Ces agressions provoquent à la surface des optiques des micro-rayures qui altèrent la transmission lumineuse, dégradent la performance de l'éclairage, compromettent la sécurité du conducteur, et affectent l'aspect visuel du véhicule.

L'évaluation de la résistance au rayage devient ainsi un enjeu crucial dans le développement et la validation des optiques automobiles. Des méthodes normalisées, telles que les essais, Taber, Bayer ou Crockmeter, érosion par particule solide sont employées pour quantifier les performances des matériaux et des revêtements.

En effet, l'exposition prolongée aux rayonnements UV solaires provoque des réactions photochimiques dans le polymère, telles que l'oxydation, la rupture des chaînes macromoléculaires et la formation de groupes carbonylés. Ces dégradations entraînent un vieillissement prématuré du matériau, qui se manifeste par une perte de brillance, un jaunissement, et surtout, une diminution de la dureté de surface. Ce phénomène rend les surfaces optiques plus vulnérables aux micro-rayures, même en présence de frottements modérés.

De plus, les températures élevées accélèrent les processus de vieillissement chimique, modifie la structure amorphe du polymère, réduit la cohésion des couches de protection (revêtements anti-rayure), et peut entraîner des tensions internes ou un délaminage. Ce vieillissement thermo-oxydatif affecte non seulement les propriétés mécaniques, mais aussi l'adhésion des couches de vernis protecteur, rendant les optiques plus susceptibles aux rayures même à faible sollicitation.

Dans ce travail, une étude expérimentale sur l'influence de milieu aride saharien en Algérie caractérisé par haute intensité UV, haute température et haute gradient de température, sur la résistance au rayage des lunettes d'optique automobile. Cinq échantillons de 2, 4, 6, 10 et 12 années d'utilisations tirés des lunettes

d'optique sont testés. Pour ce faire, des observations par microscopie optique des surface a été réaliser, les essais sont effectués dans la machine de rayage conçu et fabriquée au niveau de laboratoire de rhéologie et de mécanique (LRM) a Chlef. Ce travail se divise en trois chapitres :

Le premier chapitre présent une étude bibliographique sur les optiques automobiles, différentes étapes de la construction, composants des optiques, types des endommagements observés les lentilles de phares, influence des facteurs environnementaux sur la résistance des lunettes d'optique automobile et les types de vieillissement observés.

Le deuxième chapitre présente le Comportement des matériaux au rayage, la morphologie et mécanique du rayage des matériaux massifs, l'endommagement déterminé par observation microscopique, le facteur de coefficient de frottement, ainsi principe d'essai de rayage, facteur affectant l'essai et la machine utiliser.

Le chapitre 3 présente les différentes résultats obtenus tels que les forces tangentielles et normales, le coefficient de frottement, les observations de l'endommagement par microscopie optique et on termine par les discussions et les interprétations.

Chapitre I:

Recherche bibliographique

I-1-Introduction:

Dans les années 1980, sous l'effet de la crise énergétique, le Japon a amélioré les fonctionnalités des automobiles et conçu de nouveaux modèles permettant d'économiser l'énergie et les matières premières. Les phares des voitures étaient fabriqués à partir de matériaux de moulage par injection, et un procédé de fabrication adapté aux pièces moulées par injection de grande taille a été proposé, ce qui a considérablement réduit le coût de la production manuelle et a permis d'améliorer davantage l'efficacité de la production automatisée des phares automobiles [1].

L'un des principaux objectifs de la conception automobile moderne est de réduire le poids total des véhicules afin d'améliorer le rendement énergétique et de réduire les émissions. Le polycarbonate joue un rôle important dans la réalisation de cet objectif. Clé rapport résistance/poids élevé permet aux fabricants de remplacer des matériaux plus lourds comme le verre et le métal par des alternatives plus légères sans compromettre la sécurité ou la durabilité. Le polycarbonate est environ 50 % plus léger que le verre, ce qui en fait un choix idéal pour des composants tels que les fenêtres, les toits ouvrants et les lentilles de phares [2].

I-2-Historique :

Les phares automobiles sont des projecteurs de lumière destinés à l'éclairage de la route empruntée par un véhicule la nuit. Ils sont un constituant de l'éclairage standard des automobiles. Ils servent aussi à rendre le véhicule plus facilement visible par les autres, notamment par temps de pluie. Il existe également des phares de jour destinés à accroître la visibilité diurne [3].

Les premiers phares, issus du monde hippomobile, ont d'abord été constitués d'une lanterne donnant un faible éclairage par la combustion d'une bougie, d'huile ou d'acétylène [3]. Ils sont remplacés par des projecteurs à miroir parabolique : muni d'une lampe à incandescence placée au foyer d'un miroir en forme de paraboloïde de révolution, le phare devient électrique et équipe toutes les automobiles [3]. Pour des raisons de coût de fabrication, il reste de section circulaire jusqu'au années 1960 et c'est la Citroën Ami 6 qui propose en France les premiers phares non circulaires en avril 1961 juste après la Ford Taunus P3 badewanne présentée le 14 octobre 1960 au Salon de Paris [3]. En réalité il s'agit de phares tronqués en haut et en bas. Leur intérêt réside dans la profondeur plus grande, qui augmente l'intensité du flux lumineux capté (donc renvoyé) par le miroir. Viennent ensuite les projecteurs à lentille convergente [3].

Aussi connues sous le nom de phare, les optiques sont les composants clé du système d'éclairage, Le bloc optique d'une voiture est composé d'ampoules, d'un réseau d'éclairage et d'une vitre de protection. Les véhicules possèdent des optiques de phares à l'avant et à l'arrière, ainsi que sur les côtés.

Au niveau des ajouts technologiques entourant le phare en lui-même, on trouve par exemple les phares directionnels la Tucker '48 et les DS d'après septembre 1967 sont munies de tels phares, couplés au

système de direction et qui, dans les virages, éclairent la route que veut suivre le conducteur et non le fossé et la correction d'assiette [3]. Cette dernière est particulièrement utile sur les véhicules utilitaires, qui peuvent subir une forte variation d'assiette lorsqu'ils sont chargés : les phares n'éclairent plus de façon optimale et tendent à éblouir les usagers venant d'en face [3]. Il convient de procéder à une correction, en abaissant l'axe des phares pour compenser le défaut. Ce système maintenant automatisé est devenu obligatoire et intégré dans les nouveaux phares surpuissants.

À partir de la fin des années 1990 et du début des années 2000, les phares automobiles ont connu une évolution majeure au niveau de l'optique. Les phares étaient précédemment dotés d'une vitre en verre comportant des stries servant d'optique afin de diriger la lumière [3]. Les évolutions techniques ont permis de concevoir des réflecteurs au niveau des ampoules qui permettent à eux seuls de diriger le flux lumineux, d'apporter une meilleure optimisation du flux et d'éviter les pertes de lumière, ce qui offre une meilleure efficacité lumineuse pour les automobilistes et de meilleurs rendements[3]. Cela a conduit à l'abandon des phares striés en verre par des vitres en plastiques transparentes qui s'adaptent mieux à l'évolution des designs automobiles pour les nouveaux modèles de l'époque, bien que le plastique pose des problèmes d'usure avec la chaleur des rayons du soleil. Cette rapide évolution s'est faite dans la quasi-totalité du secteur automobile [3].

I-3-Polycarbonate utilisé pour la fabrication des lunettes de phares :

En 1959, la production industrielle de polycarbonate a commencé. La société de l'époque n'était pas encore prête à assimiler le nouveau polymère, exceptionnellement résistant, non toxique et transparent, mais l'opinion publique américaine ne tarde pas à exprimer son approbation [4]. Le polycarbonate est un matériau populaire pour les lentilles de phares en raison de sa clarté optique exceptionnelle et de ses excellentes propriétés. Bien qu'il s'agisse d'un plastique léger, il est très durable et résistant aux chocs, ce qui lui permet de supporter des conditions environnementales difficiles [5]. La formule chimique de polycarbonate est la suivante :

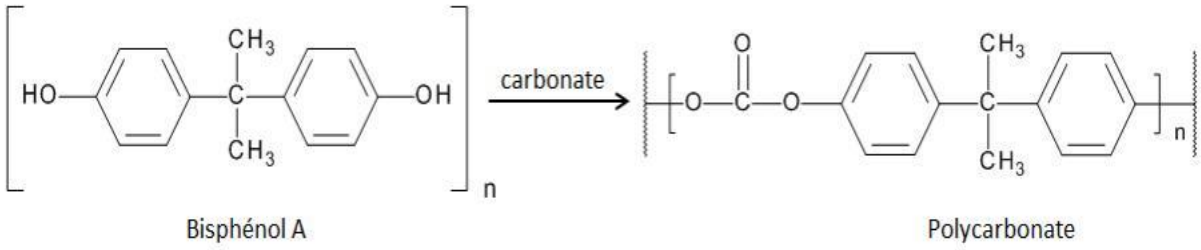


Figure I.1 : formule chimique de polycarbonate [6].

I-3-1-Caractéristiques du Polycarbonate :

Les tableaux suivants présents les propriétés mécanique, thermique et physique de polycarbonate [7] :

Tableau I-1 Propriétés mécaniques**:**

Propriété	Valeur
Module de Young (E)	2,0–2,4 GPa
Résistance à a traction (σt)	55–75 MPa
Allongement à la rupture (ε)	80–150 %
Résistance à la compression (σc)	>80 MPa
Coefficient de Poisson (ν)	0,37
Dureté (Échelle Rockwell)	M70
Résistance à l'impact (Izod)	600–850 J/m
Résistance au choc (Charpy)	20–35 kJ/m²
Résistance à l'abrasion (ASTM D1044)	10–15 mg / 1000 cycles
Coefficient de frottement (μ)	0,31
Vitesse du son	2270 m/s

Tableau I-2 Propriétés thermiques**:**

Propriété	Valeur
Température de transition vitreuse (Tg)	147 °C (297 °F)
Température de déflexion thermique (HDT)	0,45 MPa : 140 °C ; 1,8 MPa : 128–138 °C
Point de ramollissement Vicat (50 N)	145–150 °C (293–302 °F)
Température maximale de service	115–130 °C (239–266 °F)
Température minimale de service	–40 °C (–40 °F)
Conductivité thermique (k, à 23 °C)	0,19–0,22 W/ (m·K)
Diffusivité thermique (α, à 25 °C)	0,144 mm²/s
Coefficient de dilatation thermique linéaire	65–70 × 10^{-6} /K
Capacité thermique spécifique (c)	1,2–1,3 kJ/ (kg·K)

Tableau I-3 Propriétés physiques**:**

Propriété	Valeur
Densité (ρ)	1,20–1,22 g/cm³
Nombre d'Abbe (V)	34,0
Indice de réfraction (n)	1,584–1,586

Inflammabilité	HB-V2
Indice Limite d'Oxygène (LOI)	25–29 %
Absorption d'eau (équilibre ASTM)	0,16–0,35 %
Absorption d'eau (24h)	0,1 %
Résistance aux UV (1–380 nm)	Modérée

a-Avantage:

-Résiste à la chaleur et au froid.

-Il est jusqu'à 250 fois plus résistant à un impact que le verre.

-Il est translucide et peut être coloré [8].

b-Inconvénients:

-Son seul défaut est sa faible résistance aux rayures. [8].

I-4-Différentes étapes de la construction :

La fabrication des optiques automobiles suit plusieurs étapes clés, combinant ingénierie, design et technologie avancée. Voici un aperçu du processus :

I-4-1-Conception et Design

Étude des normes de sécurité et d'éclairage, modélisation 3D (CAO) pour le design du phare et son intégration dans le véhicule et prototypage et tests d'aérodynamisme et d'éclairage.

I-4-2- Choix des Matériaux:

a- Lentille : Généralement en polycarbonate, traité pour résister aux UV et aux rayures.

b- Réflecteur : Fabriqué en aluminium ou en plastique métallisé pour une meilleure réflexion.

c- Source lumineuse : Ampoules halogènes, LED ou xénon selon les technologies utilisées.

d- Boîtier : En plastique robuste (polypropylène) pour protéger les composants internes.

I-4-3- Fabrication des Composants

Moulage par injection pour la lentille et le boîtier en plastique, métallisation sous vide pour donner un effet réfléchissant aux réflecteurs en plastique et assemblage des circuits imprimés pour les LED ou les systèmes d'éclairage intelligent.

I-4-4- Assemblage et Montage

Fixation du réflecteur et de la lentille, installation du système d'éclairage (halogène, LED, xénon, laser) et assuré l'étanchéité du boîtier pour éviter l'humidité et la condensation.

I-4-5- Tests de Qualité

Contrôle optique : vérification de l'intensité et de la répartition de la lumière.

Tests de résistance aux chocs, aux rayures, aux vibrations et aux conditions climatiques extrêmes.

Vérification de la conformité aux normes internationales (ECE, SAE, DOT, etc.).

I-4-6-Installation sur le Véhicule

Fixation du phare sur la carrosserie, réglage précis de l'orientation de la lumière pour éviter l'éblouissement et tests finaux en conditions réelles.

I-5-Composants des optiques:

Un phare est composé de plusieurs éléments : l'optique, réflecteurs, ampoules de feux de croisement et de route et celles des veilleuses, alimentation électrique et système de lave-phare (optionnel) :

I-5-1- Ampoule :

La source lumineuse, qui peut être un halogène, HID (décharge haute intensité) ou une ampoule LED. Les phares à projecteurs sont compatibles avec tous ces types, permettant une flexibilité en termes de luminosité et de température de couleur [9].



Figure I-2: Ampoule [10].

I-5-2- Bol réflecteur :

Une surface courbée et réfléchissante qui entoure l'ampoule. Son rôle est de diriger la lumière vers la lentille [9].



Figure I- 3: Réflecteur [11].

I-5-3- Lentille :

Un composant en verre ou en plastique transparent (polycarbonate) et courbé qui concentre la lumière en un faisceau précis. Cette lentille aide à projeter la lumière de manière plus efficace et nette sur la route [9].



Figure I- 4: Lentille [12].

I-5-4- Obturateur ou écran de coupure :

Un bouclier métallique positionné devant l'ampoule qui crée une ligne de coupure nette, empêchant la lumière d'éblouir les conducteurs venant en sens inverse. Il garantit que la lumière soit dirigée vers le bas et se répartisse uniformément sur la route [9].



Figure I- 5: obturateur [13].

I-6-Technologies et performances des optiques automobiles :

Lorsqu'il s'agit de choisir l'éclairage de votre véhicule, l'innovation est au cœur des solutions disponibles. Entre les ampoules halogènes classiques, les puissants phares à xénon, l'efficacité des LED et la technologie révolutionnaire des phares laser, l'automobile n'a jamais autant brillé, au sens propre comme au figuré. Ces avancées technologiques ne se contentent pas d'illuminer la route, elles redéfinissent aussi la sécurité et l'expérience de conduite [14].

I-6-1-Les ampoules halogènes:

Les ampoules halogènes sont parmi les plus anciennes et les plus couramment utilisées sur les véhicules. Elles fonctionnent grâce à un filament en tungstène entouré d'un gaz halogène dans une petite capsule en verre résistant à de très hautes températures. Quand le courant passe, le filament chauffe et produit de la lumière. Le gaz halogène permet d'améliorer la durée de vie de l'ampoule et d'augmenter l'intensité de la lumière [14].



Figure I-6 : Ampoule halogène

a-Avantage :

-Longue durée de vie (plus de 1000 heures)

-Compatibles avec la plupart des voitures

-Prix abordable

b-Portée des feux de route :

-Environ 150 mètres

c-Inconvénients :

-Consomment plus d'énergie et produisent beaucoup de chaleur

-Plus sensibles à l'humidité et aux éléments extérieurs

I-6-2-Les Ampoules Xénon:

Les ampoules xénon, contenant du gaz xénon, sont sur le marché depuis plus de 30 ans. Elles se distinguent par leur longévité et leur lumière blanche légèrement bleutée, idéales pour les voitures haut de gamme [14].

La lampe au xénon, couramment appelée lampe à décharge, fonctionne de manière similaire à un tube au néon. Elle est constituée de deux électrodes enfermées dans une ampoule en verre remplie de xénon. Lorsqu'une tension supérieure à 25 000 volts est appliquée entre les électrodes, un arc électrique se forme, émettant une lumière blanche. Une fois amorcé, cet arc est maintenu par une tension alternative de 85 volts, ce qui provoque un léger retard à l'allumage [14].



Figure I- 7: Ampoule xénon

a-Avantage :

- Puissance et netteté du faisceau lumineux

- Longue durée de vie (environ 2000 heures)

b-Portée des Feux de Route :

- Environ 220 mètres

c-Inconvénients:

-Coût plus élevé en raison du gaz rare xénon

-Risque d'éblouissement si les phares ne sont pas bien réglés

I-6-3- optiques LED:

Les phares LED (Light Meeting Diode ou Diode Électroluminescente) sont récents dans l'automobile, avec une première utilisation il y a environ 3 à 4 ans. Plus puissants que les ampoules xénon, ils sont moins éblouissants et consomment peu d'énergie, particulièrement prisés pour les voitures électriques. Leur petite taille permet des designs innovants pour les phares [14]



Figure I- 8 : Optiques LED

a- Avantages

- Faible consommation d'énergie
- Durée de vie supérieure aux ampoules xénon
- Taille réduite permettant des formes variées de phares
- Éclairage puissant et confortable

b-Portée des Feux de Route

- Environ 300 mètres

c- Inconvénients

- Technologie plus coûteuse
- Risque de surchauffe dans certains cas

I-6-4- optiques Laser:

Les phares laser représentent une technologie encore relativement nouvelle dans le domaine automobile. Ils produisent un faisceau lumineux dont la portée est doublée par rapport aux phares à LED et sont 1000 fois plus puissants que les ampoules halogènes. Ce faisceau peut prendre diverses formes et s'adapter en fonction de la conduite et de la route. Des constructeurs tels que BMW (i8) et Audi (R8 LMX) ont déjà équipé certains de leurs modèles de cette technologie. La lumière des phares laser est non seulement extrêmement puissante mais aussi très précise, surpassant les autres types de feux. Ils intègrent une fonction « anti-éblouissement » particulièrement nécessaire [14].



Figure I- 9: Optiques Laser

a-Avantage :

- Éclairage extrêmement puissant et précis
- Portée d'éclairage très longue

b-Portée en feux de route :

- Jusqu'à 600 mètres

c-Inconvénients :

- Très coûteux

I-6-5- optiques OLED:

Les phares OLED (Diode Électroluminescente Organique) offrent encore plus de possibilités en termes de design, de formes et de couleurs. Les OLED sont plus économes que les LED, se positionnant très bien sur le plan environnemental. Elles produisent une lumière plus homogène et répartie, bien que légèrement moins intense que celle des LED. Conçue pour résister aux fortes températures générées lors de leur fonctionnement, la technologie OLED assure une durée de vie prolongée [14].



Figure I- 10 : Optiques OLED

a-Avantage :

- Design flexible et élégant
- Très faible consommation d'énergie
- Résistantes aux fortes températures

b- Portée en feu de route :

- Environ 100 mètres.

c-Inconvénients :

- Moins lumineux que les LED.
- À utiliser principalement pour les feux de signalisation arrière, en complément des LED, ou à l'intérieur des voitures.

I-6-6- optiques à LED Matrix:

Les phares LED Matrix sont une innovation qui améliore la sécurité et le confort de conduite. Ils adaptent automatiquement le faisceau lumineux en fonction des conditions de circulation, évitant d'éblouir les autres conducteurs tout en offrant une visibilité maximale. Grâce à une gestion segmentée de la lumière, ces phares ajustent leur intensité selon les informations fournies par des capteurs [14].



Figure I-11: Optiques à LED Matrix

a- Avantage:

- Éclairage optimal sans éblouir les autres conducteurs
- Amélioration de la sécurité de nuit

b-Portée des feux de routes :

- Environ 800 mètres.

c-Inconvénients :

- Coût élevé
- Maintenance et réparations coûteuses

I-7-Types des endommagements observés les lentilles de phares:

I-7-1-Oxydation de base:

Également connue sous le nom de brouillard, la détérioration causée par le soleil et les contaminants tels que les insectes et les produits chimiques de lavage de voiture entraînent l'oxydation des phares [15].



Figure I-12: Oxydation de base

I-7-2-Oxydation sévère :

L'oxydation sévère se produit lorsque l'oxydation de base est ignorée, pénétrant profondément dans les phares. La restauration est un processus complexe en plusieurs étapes, impliquant l'élimination de l'oxydation tenace [15].



Figure I-13 : Oxydation sévère

I-7-3-Jaunissement:

La combinaison d'une exposition prolongée au soleil, de l'oxydation et de l'accumulation de produits chimiques provoque le jaunissement des phares. Beaucoup supposent ou se font dire que c'est irréversible. Comme montré ci-dessus, voici le résultat de notre expertise [15].



Figure I-14 : Jaunissement

I-7-4-Rayures:

Les rayures proviennent de diverses sources, y compris les lavages de voiture et les débris de la route. Bien que certaines rayures superficielles puissent être enlevées, les plus profondes représentent un défi. Notre couche de finition ne se contente pas de protéger, elle agit également comme un remplisseur, dissimulant souvent efficacement les rayures [15].



Figure I-15 : Rayures

I-7-5-Microfissures,Craquage:

Les microfissures ou craquages sont souvent causés par une couche de finition trop dure qui ne peut pas se dilater ou se contracter avec le verre pendant les fluctuations de température ou les vibrations du véhicule. Ce dommage peut commencer du côté intérieur ou extérieur. La profondeur ou la taille des fissures peut déterminer le degré de restaurabilité [15].



Figure I-16 : Microfissures

I-7-6-Desquamation / Écaillage:

La desquamation ou l'écaillage provient souvent de revêtements de mauvaise qualité appliqués après-vente, ou de l'application de nouvelles couches de vernis sur un revêtement ancien et endommagé. Une remise en état appropriée et une application experte de la protection UV premium sont cruciales pour éviter que cela ne se produise [15].



Figure I-17 : Écaillage

I-7-7-Échec partiel du revêtement:

Le dommage à la couche de finition d'origine intacte, où la partie supérieure se dégrade tandis que le reste en parfait état, représente un défi majeur. Nous devons l'enlever avant d'appliquer le protecteur UV, mais le processus tenace de retrait de l'ancienne couche peut Prendre plu revêtement [15].



Figure I-18 : Échec partiel du revêtement

I-8-Rénovation des optiques jaunis :

Pour rénover efficacement les optiques jaunis, une suite d'étapes précises doit être respectée [16].

I-8-1-Nettoyage de base :

Retirez les impuretés à l'aide de nettoyants doux avant de passer aux étapes.



Figure I-19 : Nettoyage de base [17]

I-8-2-Protection de la carrosserie :

Utilisez du ruban adhésif pour protéger le pare-chocs et les zones adjacentes au phare [16].



Figure I-20 : Protection de la carrosserie [18].

I-8-3-Ponçage :

Éliminer la couche de plastique jaunie par un papier de verre fin [16].



Figure I-21 : Ponçage [19].

I-8-4-Application du composé de rénovation :

Ce produit spécifique permet de gommer les rayures laissées par le ponçage [16].



Figure I-22 : Application du composé de Rénovation [20].

I-8-5-Polissage :

Cette opération offre un aspect lisse et brillant au phare [16].



Figure I-23 : Polissage [21].

I-9-Influence de l'environnement sur la résistance des lunettes d'optique automobile

L'environnement a une grande influence sur la performance, la durabilité et l'efficacité des phares des véhicules. Les principaux facteurs environnementaux qui affectent les phares sont les suivants :

I-9-1-Conditions Climatiques

I-9-1-1- Pluie et Humidité

Risque de buée ou condensation à l'intérieur du phare, réduisant la visibilité. Infiltration d'eau pouvant endommager les circuits électriques (surtout pour les LED et xénon). Pour éviter ce phénomène il faut assurer une bonne étanchéité et de systèmes de ventilation dans le phare.

I-9-1-2-Neige et Froid Intense

Formation de givre sur les lentilles, réduisant l'efficacité de l'éclairage. Les optiques LED produisant peu de chaleur peuvent ne pas faire fondre la neige, contrairement aux halogènes, ce qui conduit au risque de fragilisation des plastiques à cause des températures très basses.

I-9-1-3-Chaleur et Forte Exposition au Soleil

Les rayons UV peuvent jaunir et ternir les lentilles en polycarbonate, aussi pose le risque de dilatation des matériaux qui peuvent affecter l'assemblage et l'étanchéité de l'optique.

I-9-1-4- Brouillard

Réflexion de la lumière dans les gouttelettes d'eau, réduisant la visibilité Les phares jaunes ou antibrouillard sont plus efficaces que les feux blancs

I-9-2- Qualité des Routes et Vibrations

Routes en mauvais état : les vibrations peuvent provoquer des désalignements des phares. Aussi les chocs répétés peuvent abîmer les ampoules halogènes et les connexions électriques.

I-9-3- Poussière et Pollution

Dépôts de poussière sur les lentilles réduisant la luminosité. Ainsi la pollution et la saleté pouvant altérer la transparence des optiques.

I-10- Types de vieillissements :

Le vieillissement peut être classé en quatre catégories :

I-10-1- Vieillissement physique :

Ce type de vieillissement correspond à tout processus conduisant à une modification des propriétés d'utilisation du matériau sans qu'il y ait modification de la structure chimique de ce dernier. Il englobe les phénomènes de vieillissement sous contrainte mécanique, les phénomènes de relaxations, les phénomènes liés au transfert de masse (pénétration de solvants, migration d'adjuvants) et les phénomènes de surface. [22], le vieillissement physique se traduit de plusieurs manières différentes que nous allons aborder :

I-10-1-1- La plastification :

La plastification apparaît lorsque les molécules de solvant s'introduisent dans le réseau macromoléculaire.

Théoriquement, une plastification pure est réversible. Ces phénomènes se retrouvent souvent lorsque le matériau possède des chaînes de faible masse moléculaire ou lorsqu'il a un taux de cristallinité bas.

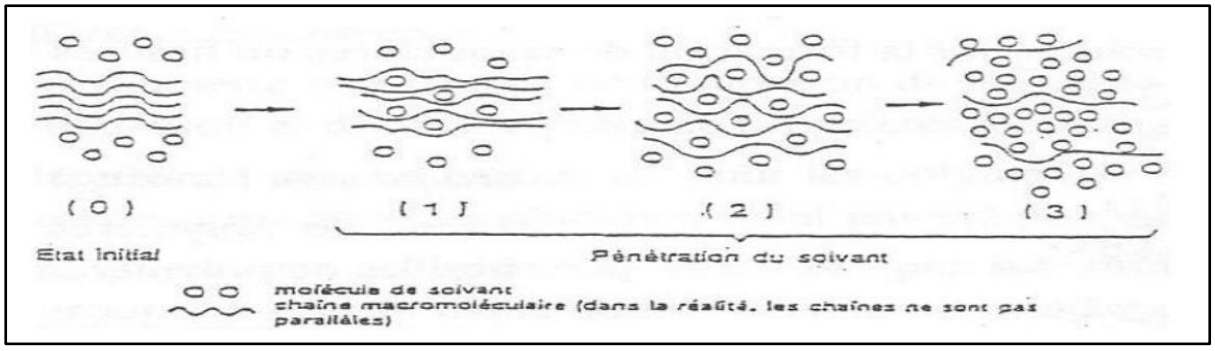


Figure I-24 : Schéma de la pénétration d'un solvant dans un polymère. [22]

I-10-1-2- Le gonflement :

La pénétration de solvant au sein du matériau polymère peut induire un gonflement susceptible de provoquer des modifications de structure interne lorsqu'il existe des hétérogénéités qui induisent des contraintes entre zones plus ou moins gonflées. Ces zones peuvent être amorphes (relativement accessibles), ou cristallines (relativement impénétrables) [22].

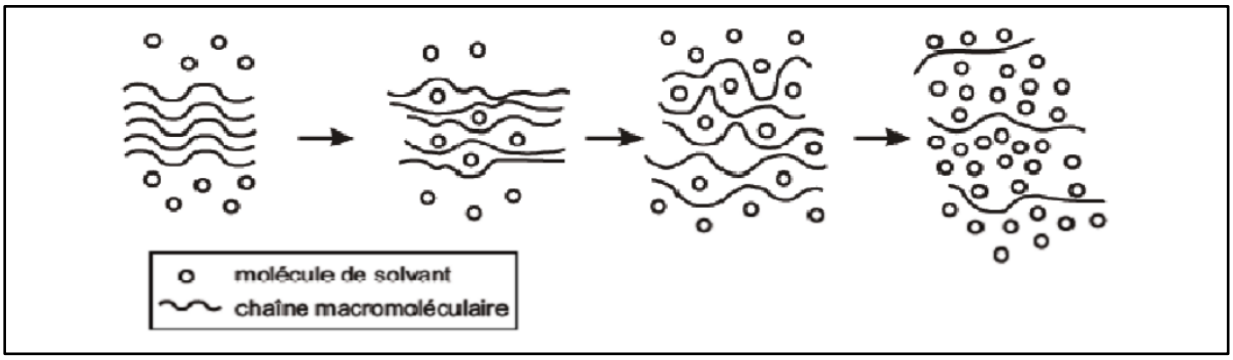


Figure I-25 : Gonflement du polymère. [22]

I-10-1-3-L'endommagement :

L'endommagement sous contraintes peut produire des craquelures ou des fissures dans le matériau. Le craquelage (crazing) concerne les zones constituées de vide et de fibrilles très orientées dans le polymère. La fissuration (cracking) est issue de la craquelure qui peut conduire à la formation d'une microfissure puis d'une fissure. [22]

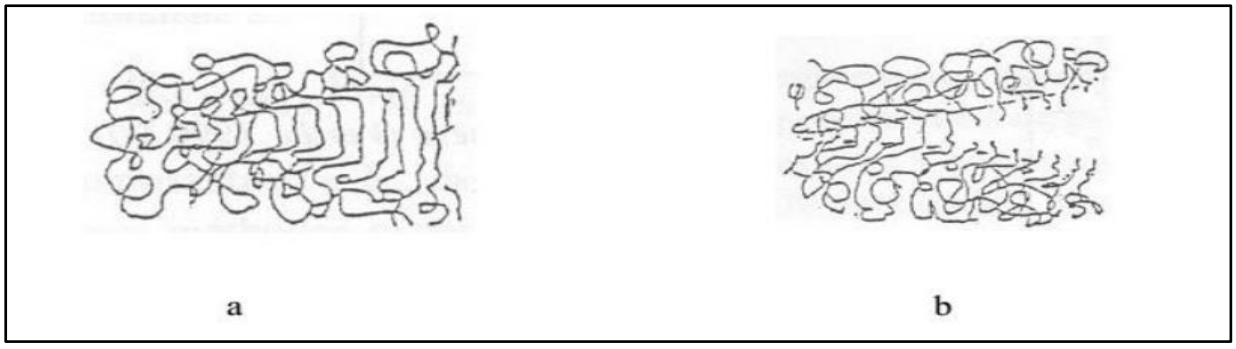


Figure **I-26 :** Les types d'endommagement. [22]

I-10-2-Le vieillissement chimique :

Le vieillissement chimique concerne tout phénomène impliquant une modification chimique de manière irréversible du matériau des liaisons covalentes rompues, d'autres nouvelles liaisons formées, etc… [22]. Le vieillissement chimique regroupe plusieurs phénomènes qui peuvent parfois être complémentaires entre eux, ce qui complique considérablement l'analyse.

Ils se traduisent principalement par des phénomènes d'hydrolyse, d'oxydation, de lessivage ou de diffusion et peuvent conduire à une altération du squelette macromoléculaire suivant trois mécanismes distincts :

Les coupures du squelette peuvent induire une baisse de la masse molaire du polymère, ce qui entraîne une chute des propriétés mécaniques. Ces réactions peuvent intervenir simultanément au cours du vieillissement.

I-10-3- Vieillissement hydrique :

Le vieillissement hydrique correspond à la modification de propriétés en présence d'humidité. La présence d'eau dans les polymères se traduit par des modifications macroscopiques et une diminution des propriétés mécaniques est généralement constatée.

La pénétration de l'eau dans les polymères et les modifications physiques peuvent être décrites de manière phénoménologique. [22]

I-10-3-1- Modifications macroscopiques :

En présence d'eau ou d'humidité, on observe dans les polymères un phénomène de gonflement qui se traduit par des modifications dimensionnelles.

I-10-4-Vieillissement thermique :

Une élévation de température, que ce soit pendant l'utilisation du matériau ou pendant sa mise en œuvre entraîne une dégradation thermique des matières plastiques imputable à la modification de la structure des chaînes macromoléculaires. La dégradation thermique peut provoquer une combustion, réaction fortement exothermique. [22]

I-11-Conclusion:

Dans ce chapitre on présenter brièvement une étude bibliographique sur les optiques automobiles, ainsi les caractéristiques des matériaux polymères utilisé dans la fabrication des optiques automobiles, différentes étapes de fabrication, différents composants constituant un optique, différentes sources de lumière, endommagent observé dans la lunette ainsi l'influence de l'environnement sur les optiques automobiles.

Choisir le bon matériau pour les lentilles de l'optique est essentiel pour garantir une visibilité optimale. Le meilleur choix de matériau dépendra des besoins de conduite de chacun et des conditions environnementales dans lesquelles le véhicule est généralement conduit. Le polycarbonate est le choix le plus courant en raison de sa durabilité et de sa résistance aux rayures. Quel que soit le matériau choisi, des soins un entretien appropriés des lentilles sont nécessaires pour les garder exempts de saleté, de débris et de contaminants susceptibles d'obstruer la vue du conducteur.

Chapitre II :

Résistance au rayage de la lunette d'optique automobile

II-1-Introduction:

L'attribut principal que les fabricants et les consommateurs aspirent à avoir dans les produits est une bonne qualité de surface, que ce soit par souci de fonctionnalité ou par pur esthétisme. Le véritable défi consiste à fabriquer un produit avec la finition de surface souhaitée, car il est difficile de maintenir la bonne qualité de surface tout au long de la durée de vie du produit. Le problème de la qualité de surface dans les applications de polymères peut être globalement classé en termes d'esthétisme de surface, de sécurité, d'intégrité et de durabilité. Pour l'esthétisme des surfaces, les rayures réduisent simplement l'attractivité du Produit d'origine, tandis que les fonctionnalités recherchées restent largement inchangées, Comme dans les peintures automobiles. En terme de sécurité, les rayures peut causer des pertes de vie ou de grave endommagement, car les rayures réduit la quantité de lumière qui traverse la lunette et par conséquence réduit la visibilité pendant la nuit. En termes de durabilité, le milieu saharien aride Caractérisé par des intensités UVs élevée, une température haute et un gradient de Température important entre le jour et la nuit ont une influence considérable sur la résistance des lunettes d'optique automobile contre les rayures et les abrasion causé par tempête de sable ou par contact avec le milieu ambiant et par conséquent sur la durée de vie. Dans ce chapitre, une étude expérimentale de la résistance des optiques automobiles au rayage est réalisée. Les essais expérimentaux sont réalisés sur des échantillons de lunette tirés des optiques automobiles utilisées réellement dans le Sahara algérien de **2, 4, 6, 10 et 12** années d'utilisation.

II-2- Comportement des matériaux au rayage

Durant le rayage d'une surface, l'abrasion se produit lorsque le matériau subit une déformation et / ou un décollement du matériau par le contact avec des particules solides sur sa surface. Ces particules peuvent être des bords rugueux d'une surface rigoureuse ou Des particules solides bouclées entre deux surfaces glissant l'une contre l'autre. L'usure abrasive est l'un des modes d'usure les plus fréquents et les plus sévères. Il conduit à des défauts de surface qui peuvent provoquer une dégradation des propriétés optiques, mécaniques ou esthétiques des pièces sollicitées, et ainsi leur faire perdre leurs fonctions principales. Le comportement des matériaux au rayage peut être décrit selon : d'abord, la morphologie de la rayure qui peut être analysée avec ses dimensions.

II-2-1Morphologie et mécanique du rayage des matériaux massifs

II-2-1-1-Morphologie d'une rayure

En rayant une surface d'un matériau de comportement élastoplastique, il est généralement observé que l'on crée une trace ou un sillon, des bourrelets se forment dans les côtés de la rayure. La forme morphologique qui est générée pendant le rayage reflète la Déformation plastique. La figure **II-1** illustre la morphologie résiduelle classique d'une Rayure ductile. Elle décrit également les différents paramètres morphologiques définis par Jardretet al. [23]

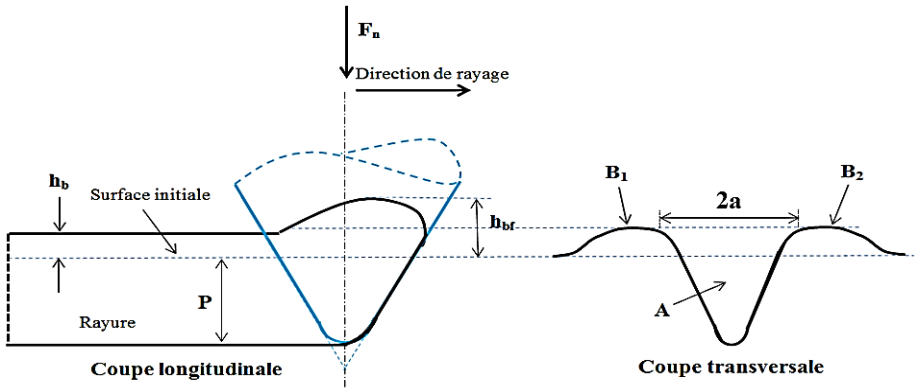


Figure **II-1**:Morphologie résiduelle d'une rayure et définition des différents paramètres Morphologiques.

Où : **hb** est la hauteur de bourrelet latéral, P est la profondeur résiduelle de la rayure, Depuis la surface initiale, hbf est la hauteur de bourrelet frontal, Fn est la force normale Appliquée, B1 et B2 sont les bourrelets latéraux du rayage

II-2-1-2-Mécanique des matériaux massifs

On peut avoir une déformation élastique lorsque la pointe de rayage ne laisse aucune trace optiquement visible. Cela s'apparente à un glissement purement élastique souvent rencontré lorsque la contrainte imposée est extrêmement faible. Le repassage est le terme utilisé lorsque nous observons un type de marquage sur la surface du polymère qui indique un lissage des aspérités élevées à la surface, sans aucune déformation plastique observée sur la surface du polymère. Ce type de déformation peut être défini comme une étape entre la déformation élastique et le labourage ductile. Ainsi, le labourage plastique est défini comme une déformation plastique de la surface du polymère provoqué par l'indenteur. Aucune présence de microfissures n'est remarquée à l'intérieur ou le long de la rayure. Souvent, un matériau ductile présente des empilements ou des bourrelets formés sur les côtés de la rayure lorsque le labourage est profond. Des fissures se produiraient dans et autour de la rayure si le comportement du matériau est fragile.

	Schématisation	Régime d'endommagement	Conditions de rayage
a		Elastique	$2\theta = 180°$
b		Repassage (*Ironing*)	Matériaux viscoplastiques, faible, niveau de déformation, $2\theta = 150°$
c		Labourage plastique (*ductile ploughing*)	Métaux, polymère, faible niveau de déformation, $2\theta = 120°$
d		Usinage plastique + fissuration (*Ductile machinig+cracking*)	Matériaux caoutchoutiques, verre, acétate, $2\theta = 90°$
e			Matériaux fragiles, PMMA, $2\theta = 60°$
f		Usinage fragile (*brittle machining*)	Métaux, polycarbonate, niveau de déformation important, $2\theta = 0°$

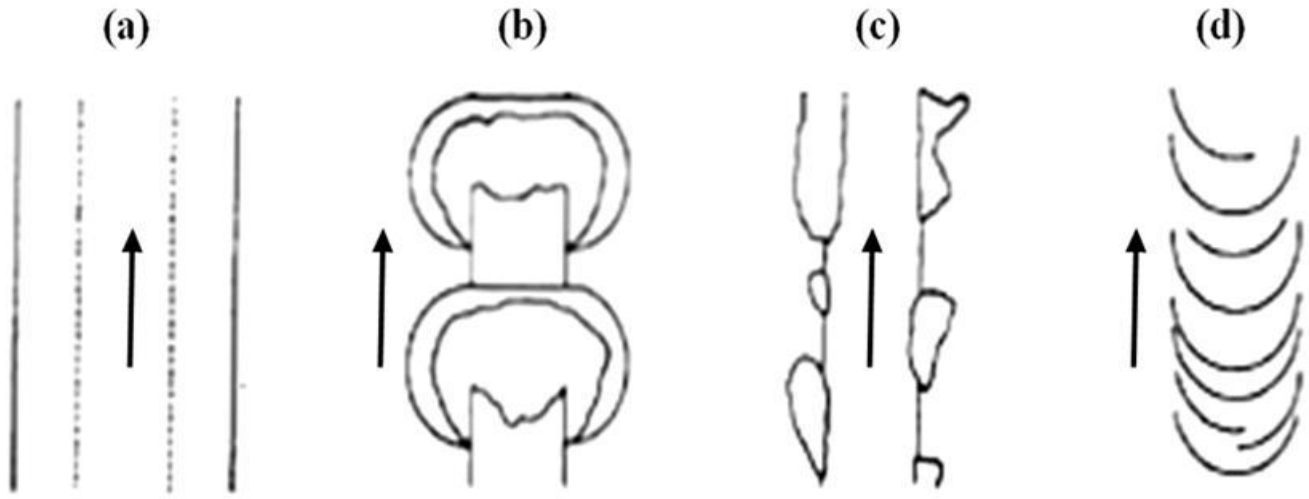
Figure II-2 : Schématisation des différents endommagements générés sur un polymère

Par rayage en fonction de l'angle au sommet 2θ d'un cône dur [24].

II-2-2- Endommagement déterminé par observation microscopique

II-2-2-1 Mode d'endommagement fragile

Un certain nombre de modes d'endommagement ont été observés dans le cas où le substrat est fragile. Les principaux modes d'endommagement dans le cas où le substrat est fragile sont illustrés schématiquement ci-dessous (Figure **II-3**). Un grand écaillage, (Figure **II-3-a**), est courant si l'adhérence est faible ou si le niveau de contrainte résiduelle dans le Revêtement est élevé. Dans ce cas, lorsque l'indenteur est en contact avec le revêtement, une fissure se forme à l'interface du revêtement-substrat, laquelle peut se propager sur une distance considérable jusqu'aux deux côtés de la rayure. Cette fissure peut provenir à partir d'un défaut interfacial ou d'une fissure à travers l'épaisseur [25].



FigureII-3: Mode d'endommagement fragile dans l'essai de rayage [25] : (a) grand écaillage, (b) écaillage devant l'indenteur, (c) recouvrance d'écaillage derrière l'indenteur,

(d) fissure par traction.

La figure **II-3-d**montre un mode d'endommagement typique des substrats très fragiles. Les contraintes radiales de traction sur le bord du contact de l'indenteur génèrent une fissure de forme d'un anneau qui se propage de la surface jusqu'au substrat à travers le revêtement. Une fois la fissure est formée, la forme du contact entre l'indenteur et le revêtement change et la charge est alors principalement supportée sur la moitié avant de l'indenteur. Cela conduit à des fissures perpendiculaires à la direction de glissement [25].

II-2-2-2- Mode d'endommagement ductile

Les endommagements ductiles sont généralement caractérisés par des zones de fissure plus petites par des régions ébréchées ou éclatées. Les schémas de mode d'endommagement typiques sont illustrés ci-dessous (Figure **II-4**). Les modes d'endommagement d'écaillage et de flambement.

Le phénomène d'écaillage se produit lorsque l'adhérence est faible entre la couche de revêtement et le substrat et aussi pour les revêtements épais où la force motrice nécessaire pour réduire l'énergie élastique stockée est plus grande

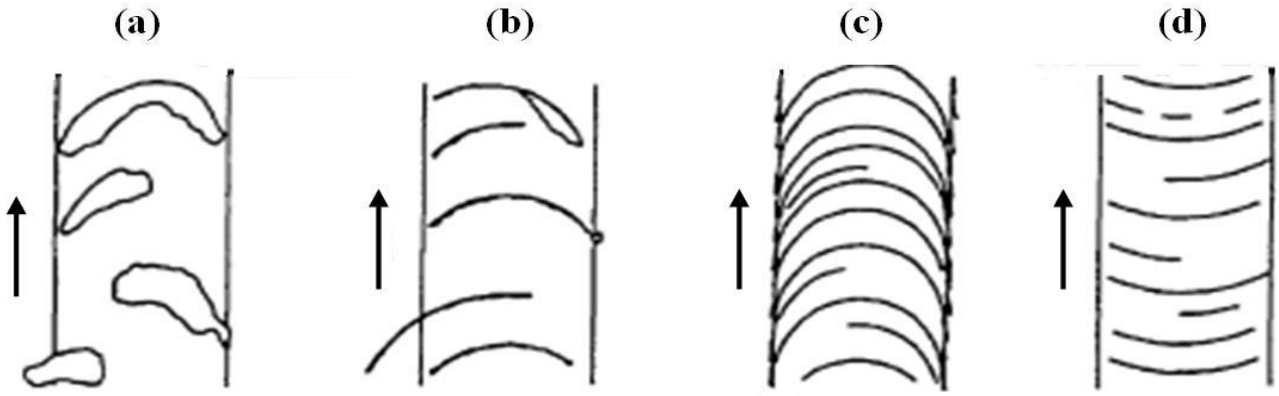


Figure II-4 : Modes d'endommagement ductile dans le rayage [25] **:** (**a**) écaillage, (**b**) Flambement, (**c**) fissuration par compression, (**d**) fissuration par traction.

II-3-Coefficient de frottement

Dans les essais de rayage, un indenteur est déplacé sur une surface, ce qui provoque une combinaison de déformations élastiques et plastiques. La composante élastique est régie par le module de Young. La dureté de la surface est éliminée une fois la charge appliquée est retirée. Une troisième règle stipule que le frottement est indépendant de la vitesse mais que la fiabilité de cette dernière affirmation est mise en doute [26,27]. La force de frottement requise pour initier le glissement est supérieure à celle nécessaire pour le maintenir. Par conséquent, le coefficient de frottement statique est supérieur au coefficient de frottement dynamique.

Cependant, une fois le glissement commence, le coefficient de frottement dynamique reste indépendant de la vitesse sur une large plage de vitesses [26].

Le coefficient de frottement global est exprimé par l'équation (**II-1**) suivante **:**

$$\mu = Ft/Fn \qquad \text{(II. 1)}$$

Où **:** μ est le coefficient de frottement, Ft la force tangentielle requise pour déplacer le Corps sur la contre face fixe et Fn la charge normale appliquée (Figure **II-5**).

Bowden et Tabor [28] ont proposé un modèle de frottement par glissement qui suppose que la force de frottement provient de deux sources. Une force d'adhérence F_{adh} développée dans les zones de contact réel entre les surfaces et une force de déformation F_{def} requise pour creuser les aspérités d'un matériau tendre par un matériau dur.

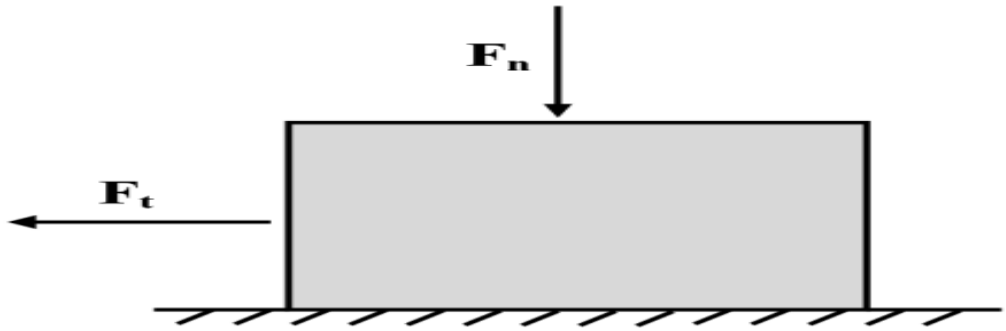


Figure II-5 : Schéma des forces impliquées dans le frottement par glissement

II-4-Dureté à la rayure

Au début du XIXème siècle, évaluer la dureté des matériaux était une question relative. L'échelle de dureté de Mohs a été développée en frottant divers minéraux ensemble. Le Minéral qui endommageait l'autre était considéré comme le matériau le plus dur. Cette échelle varie d'une dureté de 1 (les matériaux les plus doux) à 10 (les matériaux le plus durs).

II-5-Principe d'essai de rayage

Le principe de l'essai de rayage est illustré dans la figure **(II-6).** L'indenteur est glissé sur une surface avec une charge constante, progressive ou charge incrémentielle et une rayure est donc introduite à la surface de l'échantillon.

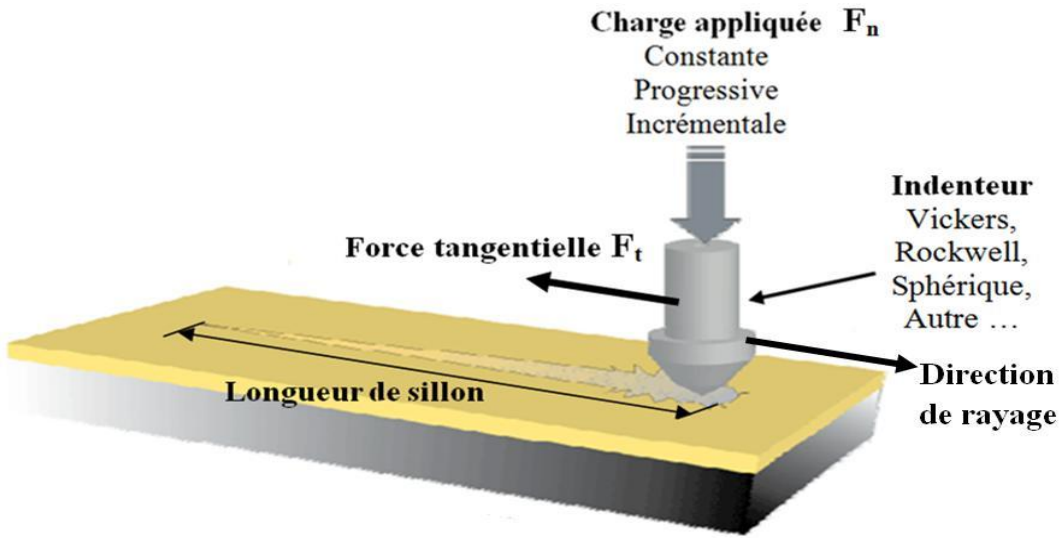


Figure II-6 : Vue rapprochée d'un indenteur et un échantillon [29].

Le test de rayage comprend trois phases : pré-balayage, rayage et post-balayage. Dans la phase de pré-balayage, avant le test de rayage proprement dit, une charge négligeable est Appliquée à l'indenteur pour enregistrer la topographie de la surface de l'échantillon.

Cette Étape est nécessaire pour calculer la profondeur de pénétration « réelle » et la profondeur Résiduelle après le test en soustrayant les valeurs de pré-balayage de la profondeur

Mesurée. Ensuite, dans la deuxième étape, l'essai de rayage est effectué avec les Paramètres sélectionnés. Dans cette phase, la charge normale, la force tangentielle et la Profondeur de pénétration sont enregistrées. Dans la dernière phase, la table porte échantillon revient automatiquement à la position de départ et le post-balayage est effectué, en mesurant la profondeur résiduelle. Cette dernière étape est particulièrement importante.

Pour les polymères en raison de leur comportement viscoélastique. Pour les peintures, la Profondeur résiduelle est plus importante que la profondeur de pénétration car la Profondeur résiduelle représente l'endommagement permanent.

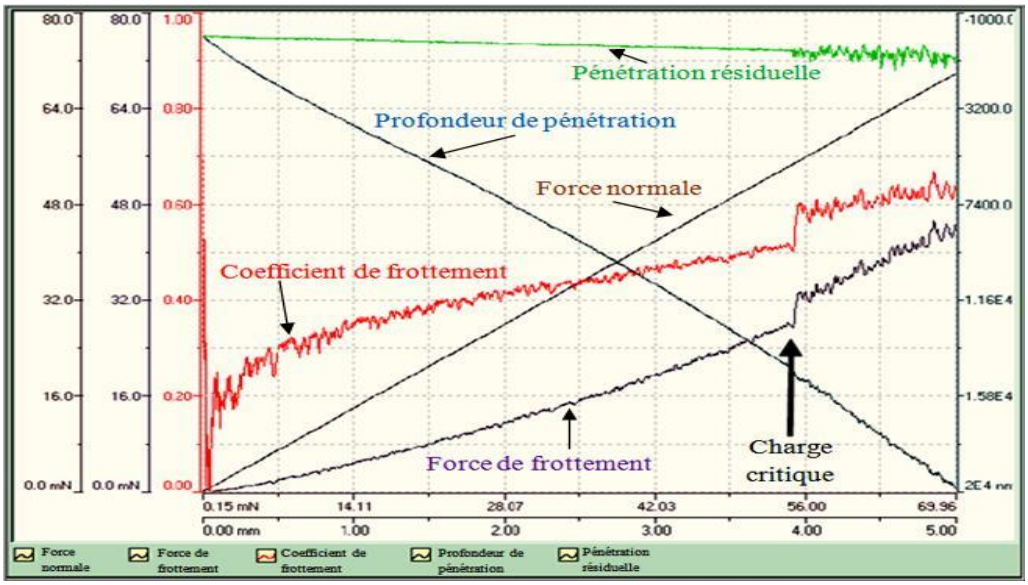


Figure II-7 : Diagramme des différents paramètres enregistrés lors du nano rayage.

II-6-Facteurs affectant les résultats du test de rayage

Les facteurs affectant les résultats des tests de rayage peuvent être séparés en deux catégories : les facteurs inhérents au test lui-même et les facteurs dépendant du système de substrat de revêtement. Le tableau **II-1** répertorie ces variables.

Tableau II-1 : Facteur influençant sur les résultats du test de rayage

Paramètres de l'essai	Paramètre des matériaux
- Taux de chargement - Vitesse de rayage - Rayon de la pointe d'indenteur - Usure de l'indenteur - Facteurs machines	Substrat - Dureté - Module de Young - Coefficient de dilatation thermique - Rugosité du substrat Revêtement - Dureté - Fragilité - Module de Young - Rugosité de la surface - Contrainte et propriétés d'interface Force de frottement et coefficient de frottement

II-7-Types des tests de rayage

Au cours des années, de nombreux dispositifs de test de rayage ont été conçus commercialement ou dans des laboratoires de recherche par des chercheurs pour étudier le rayage des matériaux. Dans les sections suivantes, une brève description de plusieurs tests sera donnée. La gamme et la fonctionnalité de chaque type de test seront mentionnées.

II-7-1-Test de rayage avec une seule pointe

Ce procédé utilise une seule pointe qui glisse sur la surface de l'échantillon. La géométrie de la pointe peut être sphérique ou conique ou autres.

II-7-2-Essai de dureté de Mohs

Le test de dureté de Mohs pour les minéraux est utilisé depuis 1822 [30,28]. Si un solide est capable de rayer la surface d'un autre solide sélectionné, il aura donc une dureté élevée.

L'échelle de dureté consiste simplement en 10 matériaux disposés dans l'ordre de 1 à 10. Le diamant est considéré comme le matériau le plus dur avec l'indice numéro 10 et le talc comme le plus doux avec l'indice numéro 1. Cette méthode n'est pas très utilisée, car plusieurs matériaux, tel que les polymères, ne sont pas indiqués dans cet échelle.

Tableau II-2 : Duretés Mohs.

Matériau	Indice de Mohs
diamant	10
Corindon	9
Topaze	8
Quartz	7
Orthoclase (feldspath)	6
Apatite	5
Fluorine	4
Calcite	3
Gypse	2
Talc	1

II-7-3-Test par aiguille :

Sur une machine d'essai de traction, Ramsteiner et al. [31] installent un support sur lequel une aiguille avec une pointe conique est attachée. Lorsque la machine de traction se déplace verticalement à une vitesse de 0,083 mm/s, l'aiguille crée une rayure verticale sur les éprouvettes. La charge normale au cours de l'essai est contrôlée par des poids compris entre 0,1 et 1,1 N et les aiguilles utilisées avaient des angles compris entre 60 °, 90 ° et 120°.

II-8-Présentation du dispositif expérimental utilisé :

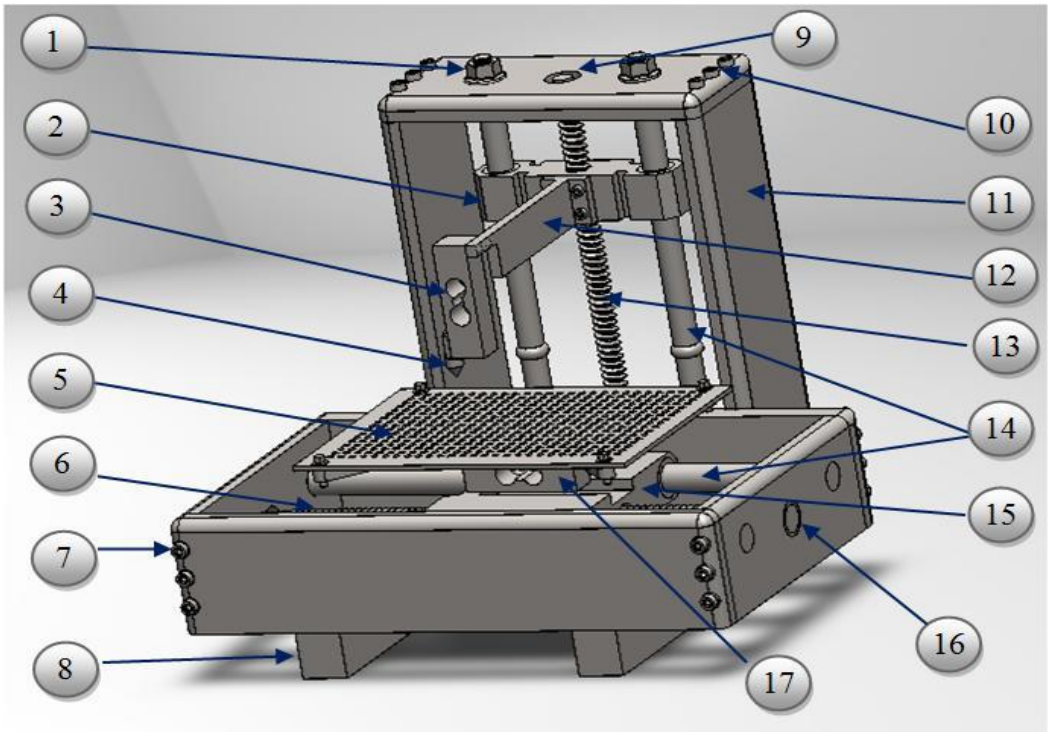
II-8-1-Schéma du banc d'essai

Le banc d'essai de microrayage a été conçu et construit au laboratoire (LRM), Chlef. Il est conçu de manière à ce qu'il soit rigide et capable de résister à des charges inférieures à 200 N et simple à manipuler

(Figure **II-9**). Les mouvements de ce banc d'essai sont contrôlés par ordinateur. Un programme, sous l'environnement ARDUINO, est utilisé pour commander les mouvements et acquérir les signaux des forces tangentielles et normales. Une description détaillée des mécanismes d'entrainement et d'acquisition des données est indiquée ci-dessous. Les différentes pièces mécaniques (Figure **II-8**) sont répertoriées dans le tableau **II-3**

Tableau II-3 : Identification des composants de la machine de rayage

Numéro	Désignation
01	Ecrou pour la fixation des guides de chariot vertical
02	Chariot vertical
03	Capteur de force tangentielle
04	Indenteur
05	Table porte échantillon
06	Tige filetée pour l'entrainement du chariot horizontal
07	Vis pour l'assemblage des panneaux du chariot horizontal
08	Support de la machine
09	Support du moteur pour l'entrainement du chariot vertical
10	Vis pour l'assemblage des panneaux du chariot vertical
11	Panneau du chariot vertical
12	Bras porte-capteur de force tangentielle
13	Tige filetée pour l'entrainement du chariot vertical
14	Axe cylindrique pour le guidage des chariots vertical et horizontal
15	Chariot horizontal
16	Support du moteur pour l'entrainement du chariot horizontal
17	Capteur de charge normale



FigureII-8 : Schéma général du banc d'essai de micro rayage



Figure II-9 : Banc d'essai de rayage réalisé et pointes utilisées, (a) vue générale du banc,

(b) Pointe Conique et (c) Plaquette en carbure métallique.

II-9-Conclusion

Dans ce chapitre on présenter des généralités sur le rayage des matériaux polymères, on commencer par le comportement mécanique, les modes de déformation et les formes d'endommagement après rayage sur les matériaux en polymères, le coefficient de frottement qui est très important dans la justification des résultats, la micro dureté et des généralités sur différente essais de caractérisation des matériaux Polymères. En suite une présentation de dispositif d'essai conçue et réalisée au laboratoire de Rhéologie et Mécanique (LRM) chlef, ainsi que la procédure expérimentale suivi pour achever ce travail.

Chapitre III : Résultats, discussions et interprétations

III-1-Introduction:

Les optiques automobiles, constituées principalement de plastiques transparents comme le polycarbonate (cas de l'étude) ou le poly méthacrylate de méthyle (PMMA), jouent un rôle essentiel dans la sécurité et l'esthétique du véhicule. Ces matériaux sont légers et offrent une excellente résistance aux chocs, mais présentent une sensibilité importante au rayage, abrasion et a l'érosion.

Le rayage des optiques est une forme d'usure abrasive qui affecte la transparence et la qualité des optiques et des feux arrière. Une surface rayée ou érodée diffuse la lumière de manière irrégulière, réduisant ainsi l'efficacité de l'éclairage et compromettant la sécurité routière, tout en altérant l'apparence esthétique du véhicule.

L'influence du milieu saharien aride sur la résistance au rayage de la lunette d'optique automobile est le but de ce travail. Les essais expérimentaux de rayage sont réalisés dans une machine fabriquée au laboratoire de rhéologie et de mécanique (LRM) à chlef. Initialement, la microscopie optique a été utilisée pour caractériser les endommagements causés par le milieu ambiant au cours des années d'utilisation, aussi pour observer l'endommagement au fond de la rayure. Les discussions sont articulées sur la durée d'utilisation des échantillons dans le milieu aride, et aussi sur l'endommagement observées par la microscopie optique dans les rayures.

III-2-Procédure expérimentale :

Les échantillons de lunette en polycarbonate étudiés ont été obtenus à partir des optiques automobiles utilisés dans le sahara algérien. Le climat de cette région est caractérisé par une forte intensité des UVs et des gradients de température élevés. Durant l'été et pendant la journée, la température peut atteindre plus de 50 °C l'après-midi, alors que la nuit, elle peut descendre au-dessous de 0 °C et la gelée blanche y est courante [33]. Alors que durant l'hiver, la température pendant la journée est plus clémente et un faible gradient de température entre le jour et la nuit est enregistré.

Cinq échantillons de lunette de dimensions 50×50 mm provenant d'une zone plane de la lunette sont étudiés. Les véhicules à partir desquels sont tirés ces échantillons avaient **2, 4, 6, 10 et 12 années** d'utilisation. Des observations par microscopie optique ont été effectuées pour analyser la morphologie de surface des lunettes étudiées, aussi pour caractériser l'endommagement causé par le rayage.

L'essai de rayage est conduit, à température ambiante. Une pointe conique d'angle au sommet $2\theta = 120°$ et un rayon de la calotte sphérique $R = 200$ µm (Figure 2-18-b) & été utilisée. La vitesse verticale de rayage est de 1 mm/min. La vitesse de déplacement horizontal de l'échantillon est de 8 mm/min.

III-3-Résultats et discussions :

III-3-1-Analyse préliminaire des surfaces des lunettes

La figure III-1 présente les endommagements causés par l'environnement au cours des années d'utilisation des échantillons de lunette de l'optique automobile testés.

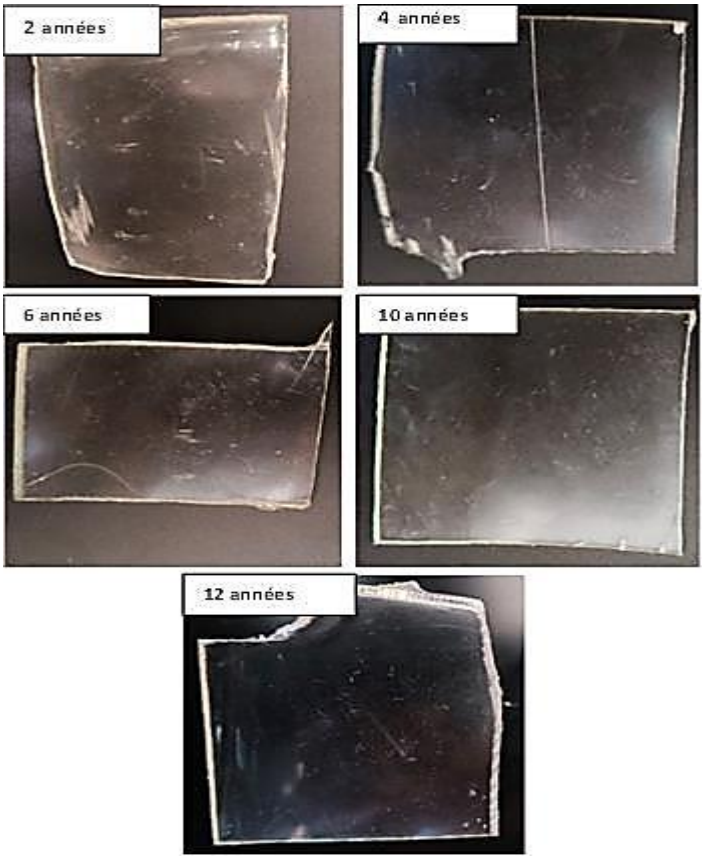


Figure III-1 Morphologie des surfaces des échantillons étudiés en fonction des années d'utilisation.

Dans la figure **III-1** on remarque clairement l'influence de l'environnement sur l'état de surface des échantillons de la lunette, tous les échantillons marque une perte importante de la transparence, cette perte de transparence fait un obstacle au passage de la lumière surtout pendant la conduite en nuit. La cause de cette perte est l'influence de hautes intensités ultraviolettes et la haute température [33]. Les ultraviolets (UV) et la lumière visible provoquent une photo-dégradation en brisant les liaisons chimiques **[36]**. Les UV provoquent un vieillissement photo-oxydant, qui entraîne la rupture des chaînes polymères, produit des radicaux libres et réduit le poids moléculaire des polymères, ce qui entraîne une perte de brillance de surface [34,35]. Les températures élevées accélèrent les réactions chimiques et le mouvement moléculaire, entraînant la rupture des liaisons et la dégradation thermique **[36]**. Tous ces paramètres rendant la lunette terne et opaque et par conséquence la réduction de la visibilité du conducteur pendant la

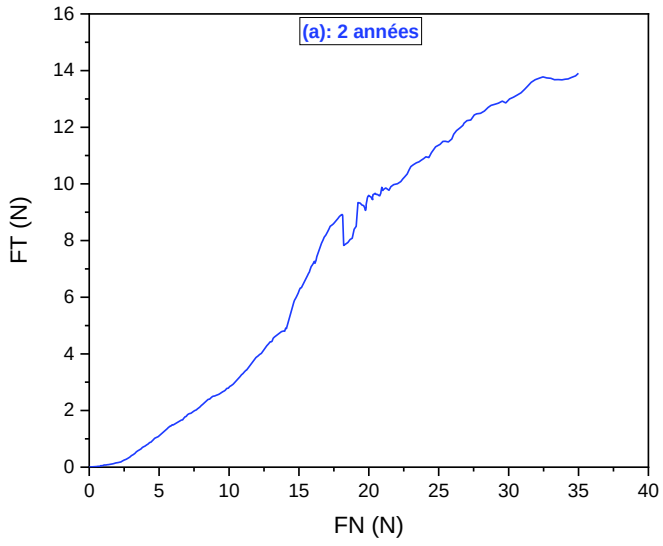
nuit. Ce qui augmente le risque d'accident grave. **La figure III-1** montre aussi beaucoup d'abrasion sur la surface de la lunette, la cause de ces abrasions est le contact répétitif avec le milieu extérieure tel que : les brosse de lavage, les vêtements ainsi que les particules de sable soulevées par le vent ou projetées par les autres véhicules. Des fines rayures dans les couches supérieures sont remarquées sur la figure **III-1** L'épaisseur et le nombre de ces rayures varient avec la durée d'utilisation.

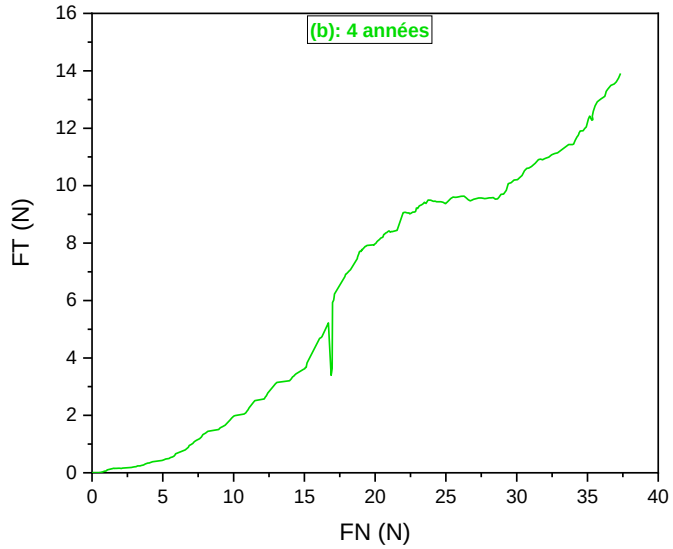
Comme il a été aussi observé par Ulrich et al. [37], la création et la disparition de ces abrasions sont affectées par l'effet de vieillissement caractérisé par les UVs et par les précipitations acides et probablement aussi par le contact avec le milieu extérieur.

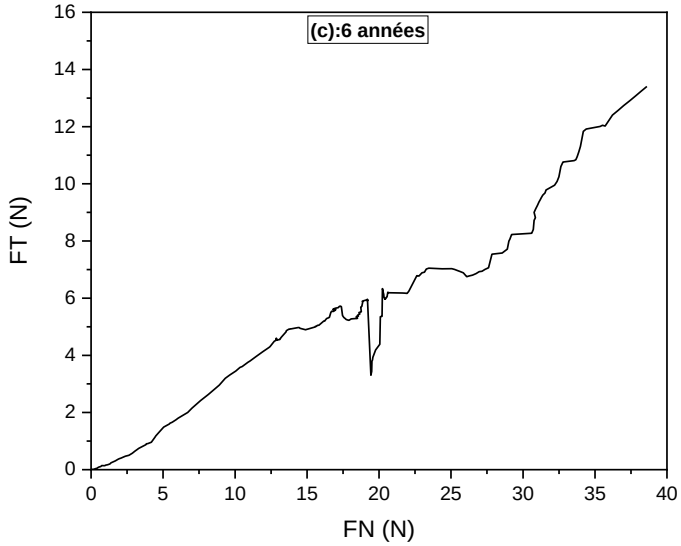
Le nombre et la taille des abrasions sont clairement plus importants. Comme il est indiqué par Jones et al. [38], la diminution de la résistance aux rayures peut être liée à la fragilité de la couche de vernis protectrice qui s'endommage par les cycles répétés de vieillissement.

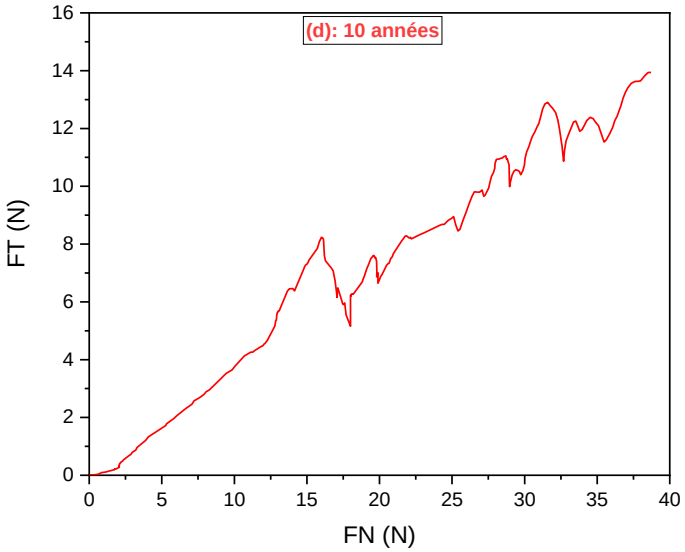
III.4-L'évolution de la force normale et tangentielle:

L'étude de la variation de la force tangentielle et la force normale donne une bonne indication sur la résistance au rayage des matériaux, la figure **III-2** présente la variation de la force tangentielle en fonction de la force normale de tous les échantillons étudiés.




(b): 4 années
FT (N)
FN (N)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
0
5
10
15
20
25
30
35
40


(c):6 années
FT (N)
FN (N)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
0
5
10
15
20
25
30
35
40


(d): 10 années
FT (N)
FN (N)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
0
5
10
15
20
25
30
35
40

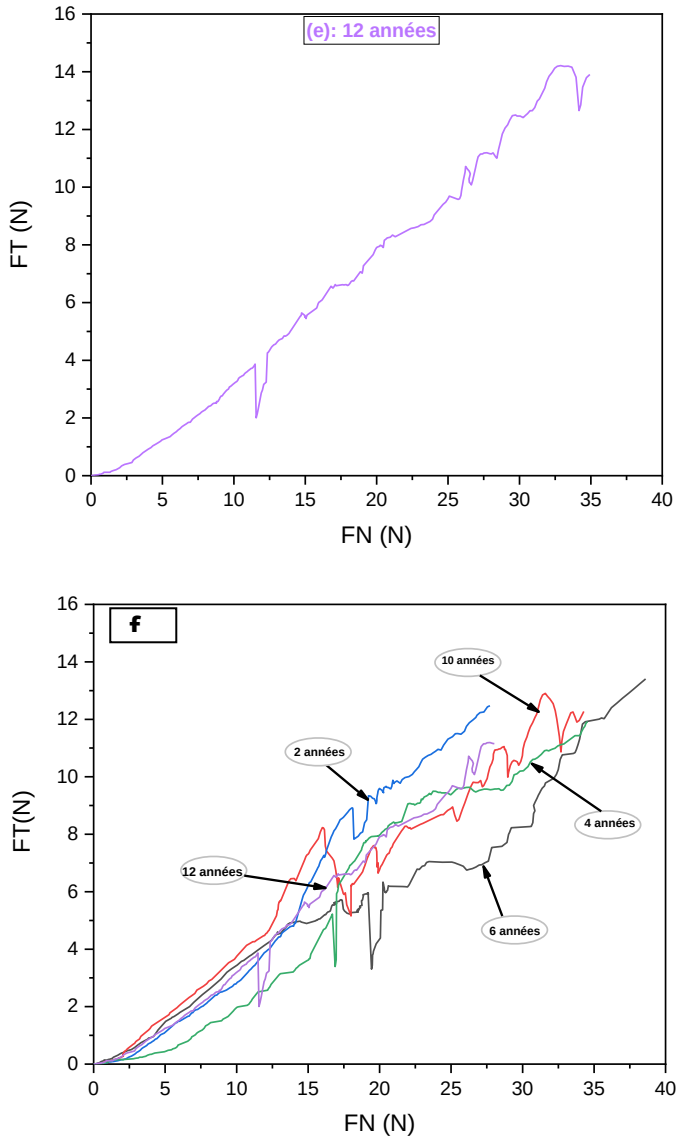


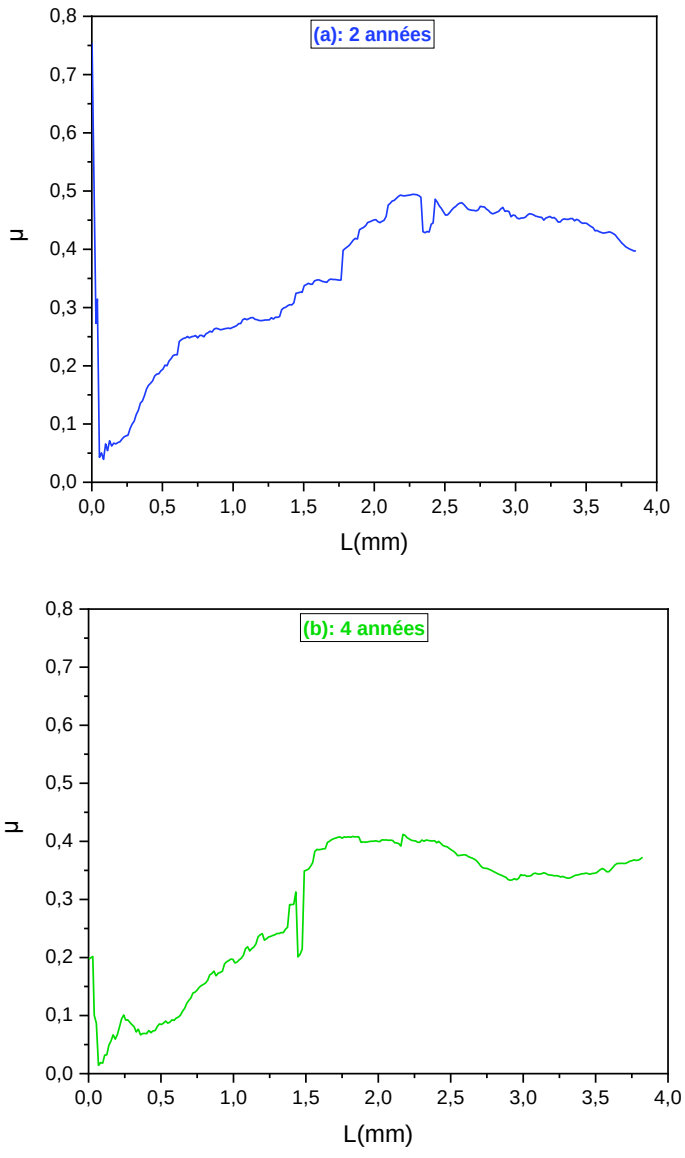
Figure III-2 la variation des Force tangentielle, Ft, en fonction de la force normale, Fn, individuel de chaque années et global utilisant la pointe conique et la vitesse de rayage de 8 mm/mn.

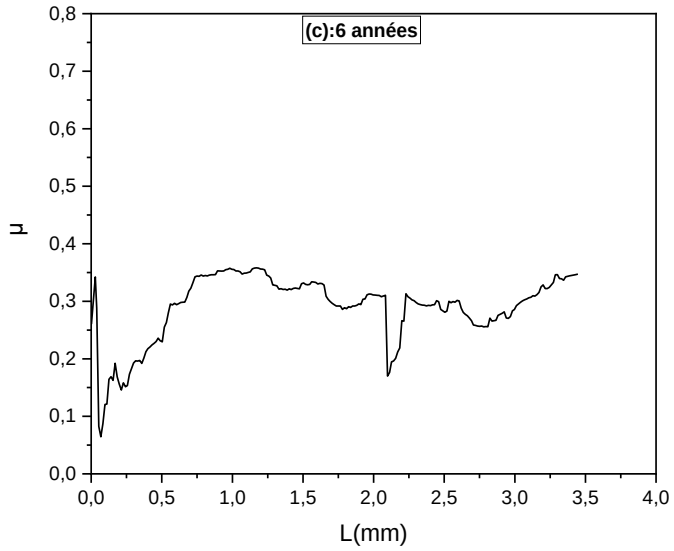
Dans la figure **III-2**, dans le premier stade des valeurs obtenus (moins de 16 N de la force normale), les échantillons de 2, 4, 6 et 10 années d'utilisation montrent une augmentation linéaire et régulière de la force tangentielle par rapport à la force normale, c'est une indication du passage libre de la pointe sur la surface de la lunette sans blocage, ce premier stade est remarqué aussi pour l'échantillon de 12 années d'utilisation a environ moins de 12 N. Dans le deuxième stade de la rayure (valeur de la force normale entre 16 et 20 N), une chute libre dans les allures est observée pour les échantillons de 2, 4, 6 et 10 années d'utilisation, et entre 12 et 14 N pour l'échantillon de 12 années d'utilisation, ceci indique que le matériau se déchire ou se décolle devant l'indenteur. Au de la de 20 N pour 2, 4, 10 et 12 années d'utilisation et de 14 N pour l'échantillon de 6 années d'utilisation figure **III-2** tous les allures montrent une fluctuation sévère, cet fluctuation dû au fissures dans la rayure et à cause de l'accumulation répétitifs du matériau

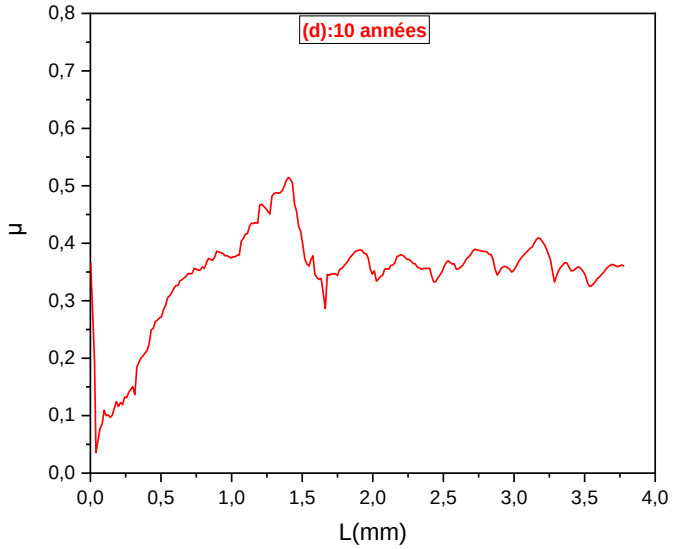
devant la pointe de rayage. Dans la figure **III -2**-f, tous les échantillons montre une augmentation linéaire et proche a moins de 15 N, au-delà de cette valeur l'échantillon de 2 années d'utilisation a montré la force tangentielle la plus élevé tandis que l'échantillon de 6 années d'utilisation a montré les valeurs les plus faibles.

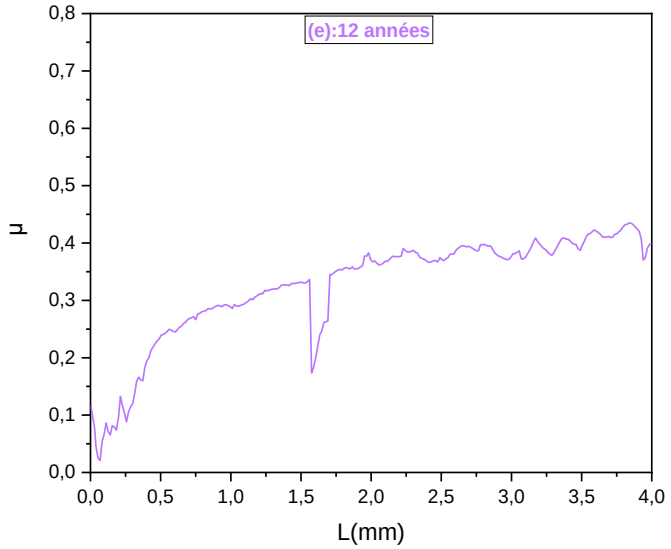
III-5- L'évolution du coefficient de frottement

La figure **III-3** présente la variation du coefficient de frottement en fonction de la longueur de la rayure des échantillons testés. Le coefficient de frottement est calculé comme le rapport entre la force tangentielle (Ft) et la charge normale appliquée (Fn).




(c):6 années
μ
L(mm)
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
4,0


(d):10 années
μ
L(mm)
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
4,0


(e):12 années
μ
L(mm)
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
4,0

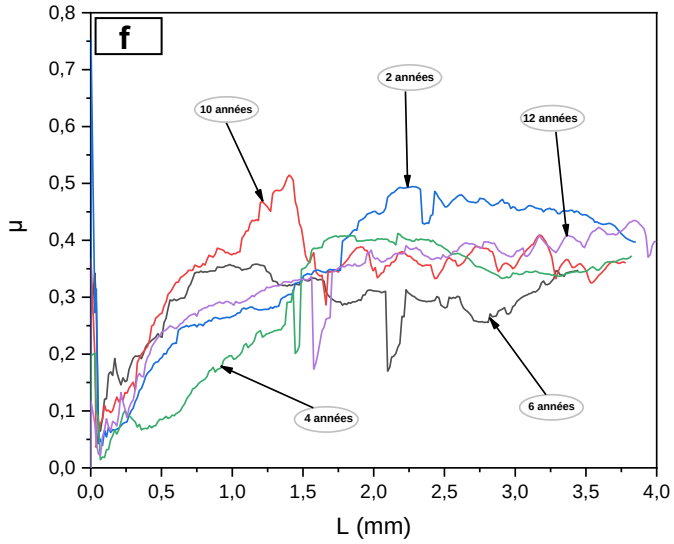


Figure III-3 la variation du coefficient de frottement en fonction de la longueur de la rayure, L, utilisant la pointe conique et la vitesse de rayage de 8 mm/mn.

A une longueur de moins de 0.1 mm, une augmentation importante de coefficient de frottement est marquée pour les échantillons de 2, 4, 6 et 10 années d'utilisation, cette augmentation peut être interpréter par la convergence entre les valeurs des forces tangentielle et normale au premier stade de rayage. Cette augmentation est aussi remarquée pour l'échantillon de 12 années mais avec faible valeurs. Pour les charges normales inférieures à 2 N, zone 1, le coefficient de frottement augmente en allant vers le deuxième stade de la rayure, accompagnée avec quelques irrégularités dû notamment aux défauts dans la surface tels que les abrasions (Figure **III-1**). Une chute est observée dans les échantillons de 2 et 6 années d'utilisation a environ 2.5 mm de la longueur de la rayure, et a environ 1.5 mm pour les échantillons de 4, 10 et 12 ce qui indique le décollement de la matière. Au-delà de cette longueur, les fluctuations dans les valeurs du coefficient de frottement deviennent plus prononcées pour tous les échantillons testés. Ceci est dû à la formation des premières fissures et à cause de l'accumulation répéter du matériau au-dessous de l'indenteur.la comparaison entre les coefficients de frottement de tous les échantillons est illustré dans la figure **III-3**-f, il est clairement observé dans le deuxième stade (entre 0.25mm et 1.75 mm de longueur de rayure) que l'échantillon de 10 années d'utilisations a le coefficients le plus élevé, tandis que l'échantillon de 4 années d'utilisation a le coefficient le plus bas entre tous les échantillons testés. Dans le dernier stade de la rayure (au-delà de 1.75 mm), l'échantillon de 2 années d'utilisation a montré le coefficient le plus élevé, tandis que le coefficient le plus faible est noté pour l'échantillon de 6 années d'utilisation. Beaucoup de fluctuation est constater le long des allures, ceci est dû à la fissuration au-dessous de la pointe conique, ainsi le phénomène répétitifs de l'accumulation suivi par l'enlèvement de la matière devant l'indenteur au cours de l'essai.

III-6- Observations par microscopie optiques des endommagements :

Les figures **III-4** a **III-6** présentent les endommagements observés par la microscopie optique dans les rayures. Plusieurs zones caractéristiques dans les rayures sont observées dans la figure **III-4** et qui sont : l'apparition de la rayure, zone de glissement et quelque fissures de faible taille. Lorsque la charge normale appliquée augmente, on remarque que la fissuration devient plus importante en nombre et en longueur (Figure **III**-5), aussi l'apparition des bourrelets. Aux grandes charges normales appliquées, l'endommagement devient plus large et plus catastrophique et il est caractérisé par un décollement de la matière (Figure **III-6**). Trois zones d'endommagement dans la rayure peuvent être donc identifiées :

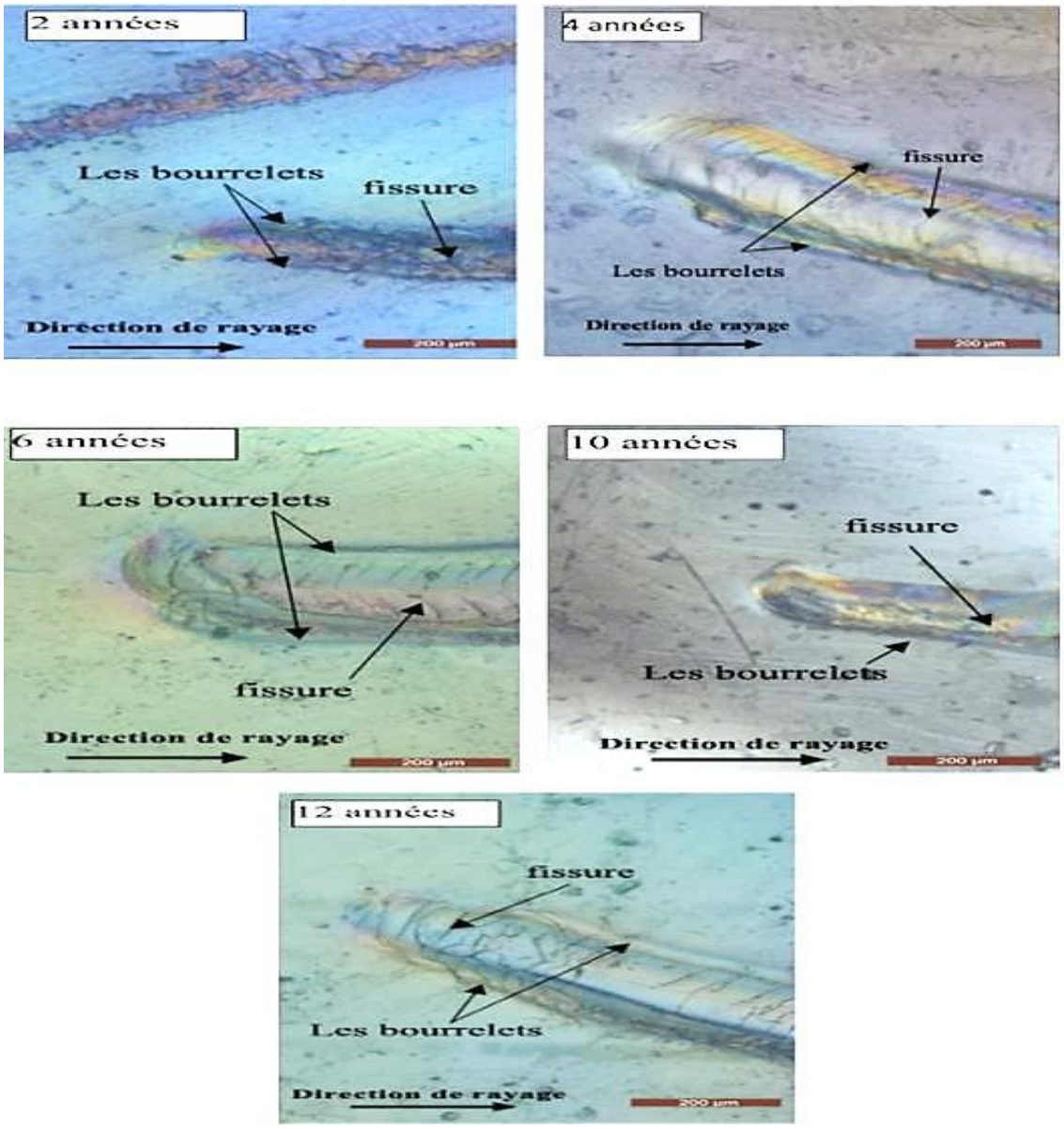


Figure III-4 Images microscopique du premier stade d'apparition des fissures (Lc1), utilisant la pointe conique, vitesse de rayage de 8 mm/mn.

La figure **III-4** présente le premier stade de déformation dans la rayure, beaucoup de fissuration sont observées au début des rayures pour les échantillons de 4, 6 et 12 années d'utilisation, et de faible fréquence pour les échantillons de 2 et 10 années d'utilisation, cela signifie que le matériau est comprimé au-dessous de l'indenteur sans aucun enlèvement de la matière. Les bourrelets sont clairement visibles dans les frontières des rayures, cela signifie que le matériau commence à se déformer plastiquement.

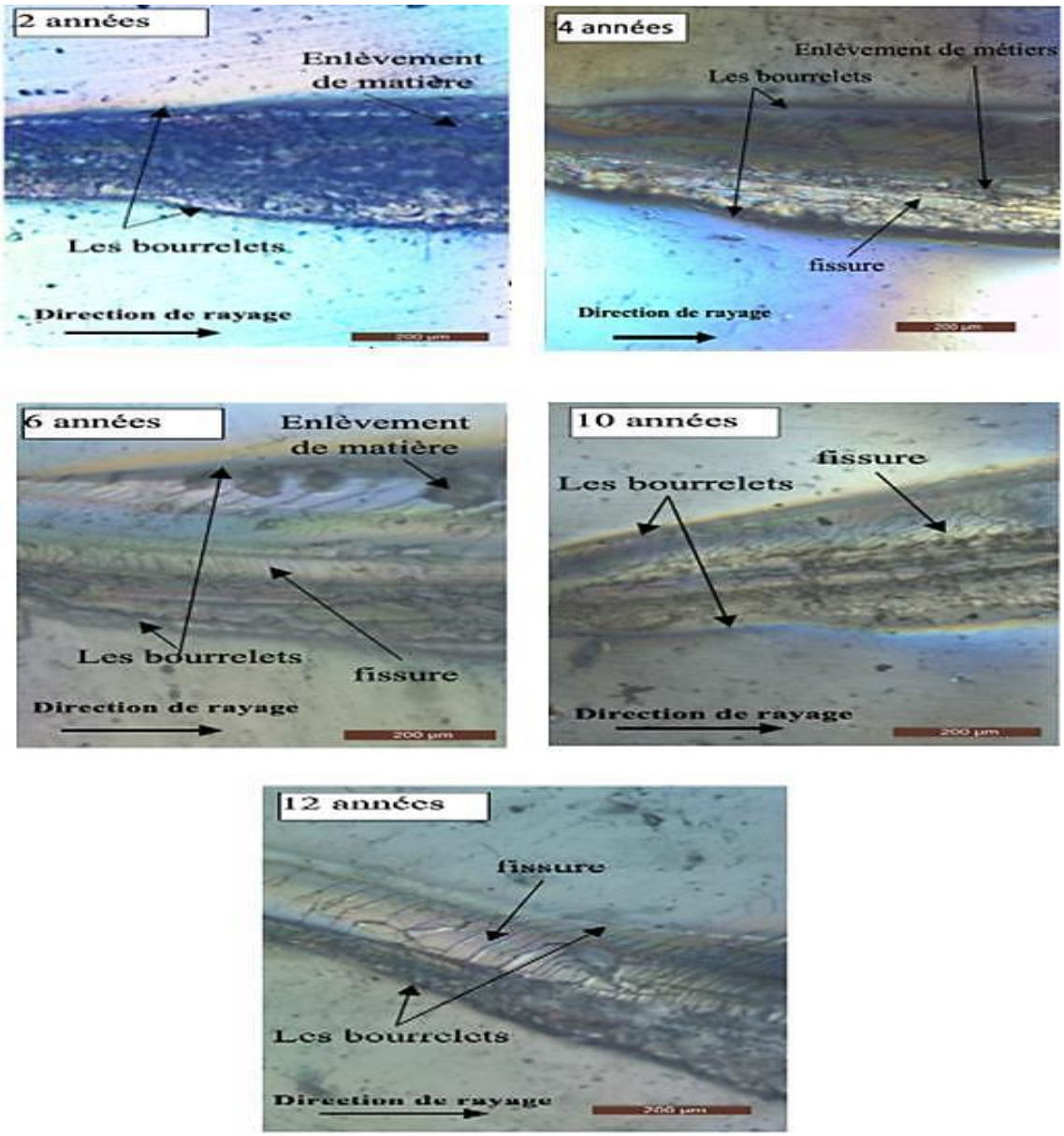


Figure III-5 Images microscopique optique du deuxième stade d'endommagement (Lc2), utilisant la pointe conique, vitesse de rayage de 8 mm/mn.

Lorsque la charge normale appliquée augmente, l'accumulation du matériau devant la pointe conique augmente, dans ce stade des déformations radiales considérables sont observées. La figure **III-5** montre les observations par microscopique du deuxième stade d'endommagement, les échantillons de 4, 6, 10 et 12 années ont montré un déchirement suivi par un enlèvement mineure de la matière dans l'un des côtés

de rayure, les fissurations reste toujours visible dans le l'autre côté de la rayure. Tandis que l'échantillon de 2 années d'utilisation a montré un enlèvement catastrophique de la matière au deuxième stade de la zone rayé.

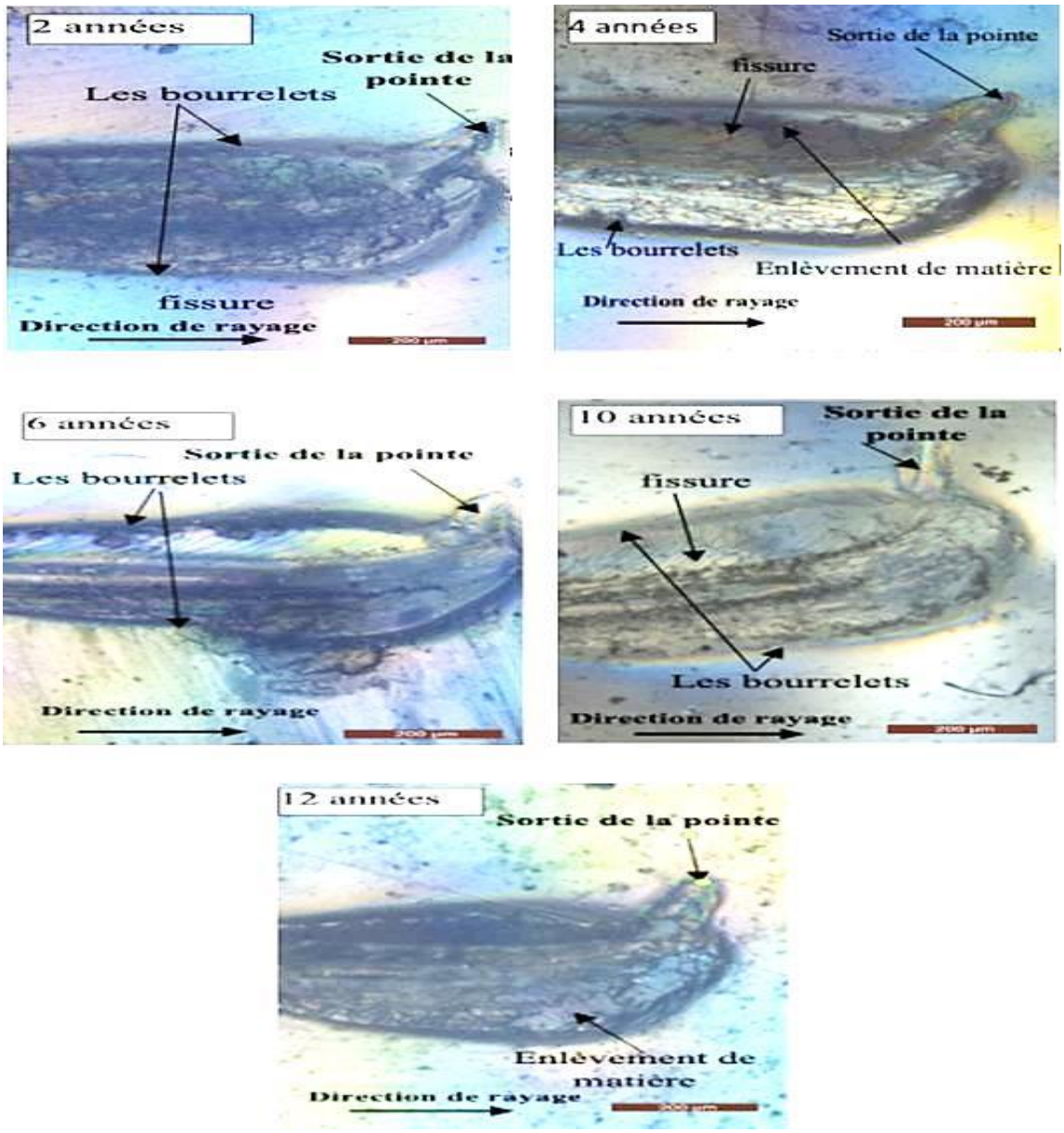


Figure III-6 Images microscopique du troisième stade d'endommagement (Lc3), utilisant la pointe conique, vitesse de rayage de 8 mm/mn.

La charge normale augmente de plus en plus et l'indenteur continue à pénétrer dans la surface des échantillons testés. La figure **III-6** présente l'endommagement observé par la microscopique optique dans le troisième stade de la rayure, un décollement catastrophique de la matière est clairement visible pour tous les échantillons testés. Quelque fissures sont encore existe dans la rayure des échantillons de 4 et 6 années d'utilisation.

III-7-Interprétations des résultats :

D'après les résultats obtenus, on remarque que l'utilisation des matériaux polymères dans des endroits agressifs tel que le sahara algérien, a une grande influence sur la résistance au rayage, cet environnement est caractériser par une intensité des UV élevé, température et gradient de température très importants. Il a été noté une amélioration de la résistance au rayage des échantillons en polycarbonate testés dans les premières années d'utilisation, ce résultat est observer pour les échantillons de 2, 4 et 6 années d'utilisation, ceci est dû à l'augmentation de la résistance des revêtements polymère en raison de l'amélioration de la densité de réticulation après exposition aux UV [39, 40], ainsi l'amélioration dans la microdureté jusqu'à un optimum de 5années d'utilisation selon l'étude menée par zakarya et al [40]. Au-delà de cette années optimale, la résistance au rayage diminue, cela est constater pour les échantillons de 10 et 12 années d'utilisation. Ceci est dû à la fragilité des matériaux polymère après une durée d'exposition importante dans l'environnement caractérisé par une intensité des UVs élevée et un gradient de température important [40].

III-8-Conclusion:

Cette étude vise à analyser l'impact des rayonnements UV et des températures élevées, caractéristiques du climat saharien en Algérie, sur la résistance au rayage de lunettes optiques en polycarbonate. Cinq échantillons d'optiques ayant respectivement 2, 4, 6, 10 et 12 années d'utilisation ont été testés.

Les résultats montrent que l'échantillon de 6 années d'utilisation présente la meilleure résistance au rayage. Au-delà de cette durée, la résistance diminue en raison de la perte de microdureté du matériau, provoquée par le vieillissement sous l'effet de haute intensité d'UV et de la haute température. Le coefficient de frottement le plus élevé a été observé pour l'échantillon de 2 années d'utilisation, tandis que le plus bas a été noté pour celui de 6 années.

Des fluctuations importantes dans les courbes obtenues ont été relevées, attribuées à la fissuration sous la pointe de l'indenteur et à l'effet répétitif d'accumulation et d'enlèvement de matière. L'observation par microscopie optique a révélé des dégâts sévères, notamment un enlèvement complet de la matière dans certaines zones de rayure, en particulier dans la deuxième et troisième zone de la rayure pour l'échantillon de 12 années d'utilisation, ce qui confirme une faible résistance au rayage.

Conclusion générale:

Les lunettes optiques automobiles sont des composants essentiels des systèmes d'éclairage des véhicules. Elles protègent les éléments lumineux (ampoules, LED, réflecteurs) tout en assurant la transmission de la lumière nécessaire à la conduite de nuit ou par mauvaise visibilité. En raison de leur position à l'avant du véhicule, ces éléments sont constamment exposés à des agressions extérieures : frottements, projections de particules, produits chimiques, UV, variations thermiques, etc. Parmi les propriétés les plus critiques pour leur durabilité figure la résistance au rayage.

Les résultats obtenus montrent l'importance d'étudier l'influence des rayonnements ultraviolets (UV) et des températures élevées sur la résistance au rayage des optiques automobiles.

Cinq échantillons de lunette d'optique de différentes années d'utilisation de 2, 4, 6, 10 et 12 années, sont testés expérimentalement afin de déterminer l'influence du milieu aride saharien en Algérie sur la résistance au rayage.

Les résultats obtenu montre une bonne résistance au rayage de l'échantillon de 6 années d'utilisation au-delà de cette durée, l'échantillon commence à perdre sa résistance, ceci est la cause de la perte de microdureté des matériaux polymère utilisé dans le milieu caractérisé par haute UV et haute température.

Le coefficient de frottement le plus élevé est note pour l'échantillon de 2 années d'utilisation, tandis que le plus faible est noté pour l'échantillon de 6 années d'utilisation. Beaucoup de fluctuation sont constater le long des allures, ceci est dû à la fissuration au-dessous de la pointe conique, ainsi le phénomène répétitifs de l'accumulation suivi par l'enlèvement de la matière devant l'indenteur au cours de l'essai.

Les observations par microscopie optique ont montré un endommagement catastrophique et un enlèvement complet de la matière le long de la rayure et surtout au deuxième et troisième stade de la rayure pour l'échantillon de 12 années, ceci est la cause de sa faible résistance au rayage.

Les références

[1] Gud Mould, Application of polycarbonate in automotive lamps, June 19, 2025

[2] CN PolyChemer, Applications du polycarbonate (PC) dans l'industrie automobile. June 19, 2025

[3] https://fr.wikipedia.org/wiki/Phare_(automobile)

[4] https://www.polypiu.it/fr/l-histoire-du-polycarbonate/

[5] Auto Proto Way. (2023, October 13). Headlight Lens: A Guide for Custom and Manufacturing a Car Lens. Retrieved June 19, 202

[6] https://images.app.goo.gl/EeYPs58ohJub6yVt7

[7] https://en.m.wikipedia.org/wiki/Polycarbonate.

[8] Mc Cover, Qu'est-ce que le polycarbonate, June 19, 2025

[9] GNANARANGA, Jeewantha. Projector vs Reflector Headlights - Which one is better, 26 août 2024

[10] https://images.app.goo.gl/fnAF2rst2MyNsurD8

[11] https://images.app.goo.gl/8jNqo1CFzqRENEY8A

[12] https://images.app.goo.gl/wJQ66xx3Vh1XXsXF7

[13] https://images.app.goo.gl/hAdNvUirrGcdYhkY8

[14] Groupe DMD. (2025, February 10). Technologies et performances des phares de véhicules : un guide complet. June 19, 2025

[15] Brightman Vehicle Care, Learn about 8 types of headlight lens damage that we restore. June 19, 2025

[16] BY my CAR Nettoyer ses phares de voiture : astuces et conseils pratiques. . (2024, August 13). Retrieved June 19, 2025

[17] https://images.app.goo.gl/tqoaxywW3bF7Mfim8

[18] https://images.app.goo.gl/QgG693Nyyq1QfxtK6

[19] https://images.app.goo.gl/RyQuNz8i8PidtFxq6

[20] https://images.app.goo.gl/8CTbg4cUq8fmcdXF9

[21] https://images.app.goo.gl/aoCqdNcL5Ew5DMhV7

[22] GASMI Bouthayna, Influence du vieillissement naturel et artificiel sur les propriétés mécaniques du polyamide PA 6-6, Mémoire de fin d'étude, Master, 2020, Université du 8 mai 1945 Guelma.

[23] V. Jardret, H. Zahouani, J.L. Loubet, and T.G. Mathia, 'Understanding and Quantification of elastic and plastic deformation during a scratch test', Wear, 218 (1998) 8-14.

[24] Briscoe, B. J., Evans, P. D., Pelillo, E. and Sinha, S. K. 'Scratching Maps for Polymers', Wear, 200 (1996) 137-147.

[25] S.J. Bull, 'Failure modes in scratch adhesion testing', Surf: Coat. Tech. 50 (1991) 25- 32

[26] LM. Hutchings, Tribolugy, 'Friction and Wear of Engineering Materials', Edward Arnold, London, UK, (1996).

[27] A. W. Adamson, 'Physical Chemistry of Surfaces', 3rd Ed., John Wiley and Som, USA, (1976)

[28] F.P Bowden, D. Tabor, 'The Friction and Lubrication of Solids Part II', Oxford University Press, Oxford, (1964)

[29] N. Conte, Nano Scratch Tester (NST), (2007)

[30] D. Tabor, The hardness of metals. Oxford: Clarendon Press, éditions. 1951.

[31] F. Ramsteiner, T. Jaworek, M. Weber, S. Forster, 'Scratch resistance and embrittlement of coated polymers', Polym. Test. 22 (2003) 439-451.

[32] S. B. Djelloul Saiah and A. B. Stambouli, 'Prospective analysis for a long-term optimal energy mix planning in Algeria: Towards high electricity generation security, in 2062', Renewable and Sustainable Energy Reviews, 73 (2017) 26–43

[33] S. B. Djelloul Saiah and A. B. Stambouli, 'Prospective analysis for a long-term Optimal energy mix planning in Algeria: Towards high electricity generation security in 2062', Renewable and Sustainable Energy Reviews, 73 (2017) 26–43

[34] J. Lange, A. Luiser, A. Hult, ''Influence of Crosslink Density, Glass Transition Temperature and Addition of Pigment and Wax on the Scratch Resistance of an Epoxy Coating'' J. Coat. Technol., 69 77–82 (1997)

[35] Seung M. Noh, Jae W. Lee, Joon H. Nam, Ki H. Byun, Jong M. Park, Hyun W. Jung, 'Dual-curing behavior and scratch characteristics of hydroxyl functionalized Urethane methacrylate oligomer for automotive clearcoats'. Progress in Organic, Coatings 74 (2012) 257– 269

[36] StudySmarter, Dégradation des polymères: Causes, Effets. June 19, 2025

[37] U. Schulz, V. Wachtendorf, T. Klimmasch, P. Alers, 'The influences of weathering on scratches and on scratch and mar resistance of automotive coatings'. Progress in Organic Coatings, 42 (2001) 38–48.

[38] Jones FN, Shen W, Smith SM, Huang Z, Ryntz RA. 'Studies of microhardness and Mar resistance using a scanning probe microscope'. Pro Org Coat, 34 (1998) 119–129.

[39] Tae-Woo Seo, Jong-Il We on. 'Influence of weathering and substrate roughness on the Interfacial adhesion of acrylic coating based on an increasing load scratch test'. J. Mater. Sci., 47 (2012) 2234–2240.

[40] Z. Madaoui, M. Mendas, H. Zahloul, S. Benayoun, 'Scratch Resistance of Paints Degraded by Arid Saharan Environment's. Prog. Color Colorants Coat, 11 (2018), 233-240.