

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
Université Oran 1, Ahmed Ben Bella
Institut des Sciences et Techniques Appliquées

Projet de Fin d'Etudes

Présenté par :

Bezza Rihab

Belkadi Meriem

En vue de l'obtention du diplôme de

Master Professionnel

Spécialité : Optométrie

Thème :

« L'empreinte cornéenne induite par les lentilles de contact »

Soutenu le 22 juin 2026 devant le jury composé de :

Dr.Boulezazen Assia

ISTA, UNIVERSITE ORAN 1

Présidente

Pr.Kail Fatiha

ISTA, UNIVERSITE ORAN 1

Examinatrice

Dr.Korichi Meriem

Faculté de médecine ORAN 1

Encadrante

Dr.Ouzzani Mhamed

ISTA, UNIVERSITE ORAN 1

Co encadrant

Année universitaire 2025-2026

Remerciement

Avant tout, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail.

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadreure **Dr. KORICHI**, pour son accompagnement, ses précieux conseils, sa disponibilité et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à **Dr. Ouzzani** pour ses orientations et son accompagnement tout au long de la phase de terrain de cette étude. Nous remercions également **Mr. Lazzouni** pour son soutien et sa précieuse contribution concernant les lentilles de contact, qui ont permis le bon déroulement de notre travail de recherche.*

*Nos sincères remerciements s'adressent également aux membres du jury **Dr. Boulezazen** et **Pr. Kaïl** qui ont accepté d'évaluer ce mémoire et de consacrer leur temps à son examen.*

Enfin, nous souhaitons exprimer toute notre reconnaissance à nos familles, particulièrement à nos parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien moral ainsi que pour les sacrifices consentis tout au long de nos études. Nous remercions également nos frères, nos sœurs et nos amis pour leur présence, leur confiance et leurs encouragements constants.

Résumé

Objectif : Cette étude visait à évaluer et à comparer les modifications topographiques cornéennes à court terme induites par le port de lentilles de contact souples en hydrogel et en hydrogel siliconé, en mettant particulièrement l'accent sur l'empreinte cornéenne (corneal warpage) et les modifications des paramètres topographiques de surface cornéenne.

Méthodes : Une étude prospective, comparative et observationnelle a été menée sur 15 étudiants universitaires (30 yeux). Les participants, âgés de 18 à 25 ans, ne présentaient antécédent ophtalmologique de chirurgie oculaire. Ils ont été équipés de lentilles de contact souples de deux matériaux distincts : hydrogel et hydrogel siliconé. La topographie cornéenne a été réalisée à l'aide d'un topographe cornéen à disques de Placido à trois moments distincts : avant le port (mesure de référence), immédiatement après 30 minutes de port, et 30 minutes après le retrait des lentilles. Les paramètres évalués comprenaient les valeurs kératométriques (K1, K2), l'asphéricité cornéenne (Q), l'excentricité (e), le facteur de forme (P), ainsi que les indices d'irrégularité cornéenne (KPI).

Résultats : Le port de lentilles de contact a induit des modifications topographiques cornéennes transitoires et détectables pour les deux types de matériaux. Une empreinte cornéenne (corneal warpage) a été observée dans la quasi-totalité des yeux après le port, avec une intensité plus élevée et une localisation plus centrale dans le groupe hydrogel comparativement au groupe hydrogel siliconé. Les lentilles en silicone hydrogel ont induit des modifications plus légères et plus homogènes. Les valeurs kératométriques centrales sont demeurées relativement stables au fil des mesures, tandis que les paramètres liés à la périphérie cornéenne notamment l'excentricité (e), le KPI et l'asphéricité (Q) ont présenté une variabilité plus marquée. Une récupération partielle de la forme cornéenne a été observée 30 minutes après le retrait des lentilles. Dans l'ensemble, les lentilles en hydrogel ont démontré une amplitude de déformation cornéenne plus importante comparativement aux lentilles en hydrogel siliconé.

Conclusion : Le port à court terme de lentilles de contact souples induit des modifications topographiques cornéennes réversibles, affectant principalement la géométrie cornéenne périphérique. Les lentilles en hydrogel exercent un impact biomécanique plus important que les lentilles en silicone hydrogel. La topographie cornéenne constitue un outil sensible pour détecter précocement les modifications subtiles et le warpage cornéen induit par les lentilles de contact, même après de courtes durées de port.

Mots-clés : lentilles de contact, hydrogel, silicone hydrogel, topographie cornéenne, empreinte cornéenne, asphéricité,

Abstract

Purpose: This study aimed to evaluate and compare the short-term corneal topographic changes induced by soft contact lens wear in hydrogel and silicone hydrogel materials, with a particular focus on corneal warpage and surface parameter modifications.

Methods: A prospective, comparative, observational study was conducted on 15 healthy university students (30 eyes). Participants aged 18–25 years, with no ocular pathology or prior ocular surgery, were fitted with soft contact lenses of two materials: hydrogel and silicone hydrogel. Corneal topography was performed using a Placido-based corneal topographer at three time points: baseline (pre-lens wear), immediately after 30 minutes of lens wear, and 30 minutes after lens removal. Evaluated parameters included keratometric values (K1, K2), corneal asphericity (Q), eccentricity (e), shape factor (P), and corneal irregularity indices (KPI).

Results: Contact lens wear induced detectable transient corneal topographic changes in both lens materials. A corneal imprint was observed in nearly all eyes after lens wear, with a higher intensity and more central localization in the hydrogel group compared with the silicone hydrogel group. Silicone hydrogel lenses induced milder and more homogeneous changes. Central keratometric values remained relatively stable across measurements, whereas peripheral-related parameters, particularly eccentricity (e), KPI, and asphericity (Q), showed greater variability. Partial recovery of corneal shape was observed 30 minutes after lens removal. Overall, hydrogel lenses demonstrated a greater magnitude of corneal deformation compared with silicone hydrogel lenses.

Conclusion: Short-term soft contact lens wear induces reversible corneal topographic modifications predominantly affecting peripheral corneal geometry. Hydrogel lenses appear to exert a greater biomechanical impact than silicone hydrogel lenses. Corneal topography is a sensitive tool for detecting early and subtle contact lens-induced corneal warpage, even after brief wear periods. Keywords: contact lenses, hydrogel, silicone hydrogel, corneal topography, corneal warpage, asphericity, Placido system.

الملخص

الهدف: هدفت هذه الدراسة إلى تقييم التغيرات الطبوغرافية القرنية قصيرة المدى الناجمة عن ارتداء العدسات اللاصقة اللينة من مادتي الهيدروجيل والسيليكون هيدروجيل ، ومقارنتها، مع التركيز بصفة خاصة على الانحراف القرني (Corneal Warpage) وتعديلات معاملات السطح القرني.

المنهجية: أجريت دراسة استطلاعية، مقارنة ورصدية على 15 طالباً جامعياً سليماً (30 عيناً). وشملت العينة أفراداً تتراوح أعمارهم بين 18 و25 سنة، لا يشتكون من أي أمراض على مستوى العين أو تدخلات جراحية سابقة، وقد جرى تزويدهم بعدسات لاصقة لينة من نوعين: هيدروجيل والسيليكون هيدروجيل. تم إجراء الطبوغرافيا القرنية باستخدام جهاز طبوغرافيا قرنية مبني على نظام بلاسيديو (Placido-based Corneal) في ثلاث قياسات زمنية: قبل الارتداء (القياس الأساسي)، مباشرة بعد 30 دقيقة من ارتداء العدسة، وبعد 30 دقيقة من خلعه. وشملت المعاملات المُقيّمة: القيم القياسية للقرنية (K1)، ((K2)، والكروية اللاقطعية (Q)، والانحراف المركزي (e)، ومعامل الشكل (P)، ومؤشرات عدم انتظام القرنية (KPI)

النتائج: أحدث ارتداء العدسات اللاصقة تغيرات طبوغرافية قرنية مؤقتة وقابلة للكشف في كلا نوعي العدسات. لوحظت بصمة القرنية (Corneal Imprint) في معظم العيون عقب الارتداء، بكثافة أعلى وتمركز أوضح في مجموعة الهيدروجيل مقارنة بمجموعة السيليكون هيدروجيل. في المقابل، أحدثت هذه الأخيرة تغيرات أخف حدة وأكثر تجانساً. ظلت القيم القياسية المركزية للقرنية مستقرة نسبياً عبر القياسات المختلفة، في حين أبدت المعاملات المرتبطة بالمنطقة المحيطية ولا سيما الانحراف المركزي (e)، ومؤشر KPI، والكروية اللاقطعية (Q) تبايناً أكبر. كما لوحظ استعادة جزئية لشكل القرنية بعد 30 دقيقة من خلع العدسة. وبوجه عام، أظهرت عدسات الهيدروجيل درجة أعلى من التشوه القرني مقارنةً بعدسات السيليكون هيدروجيل.

الخلاصة: يُحدث ارتداء العدسات اللاصقة اللينة قصير المدى تعديلات طبوغرافية قرنية متقلبة، تطال الهندسة المحيطية للقرنية تحديداً. ويبدو أن عدسات الهيدروجيل تُمارس تأثيراً ميكانيكياً حيوياً أكبر مقارنةً بعدسات السيليكون هيدروجيل. وتُعد الطبوغرافيا القرنية أداة حساسة للكشف المبكر عن الانحراف القرني الطفيف الناجم عن العدسات اللاصقة، حتى في حالات الارتداء في مدة قصيرة. الكلمات المفتاحية: العدسات اللاصقة، الهيدروجيل، والسيليكون هيدروجيل، الطبوغرافيا القرنية، الانحراف القرني، الكروية اللاقطعية، نظام بلاسيديو.

Table des matières

<i>Remerciement</i>	2
Résumé.....	3
Table des matières.....	6
Liste des figures	9
Liste des tableaux.....	11
Liste des graphes.....	11
Liste des abréviations.....	12
Introduction générale	1
Problématique.....	1
I Chapitre I : La cornée	3
I.1 Anatomie macroscopique.....	4
I.2 Structure histologique de la cornée.....	5
I.3 Physiologie de la cornée	6
I.4 La surface cornéenne	7
I.5 Géométrie de la cornée	8
II Chapitre II : Les lentilles de contact.....	9
II.1 Description des matériaux des lentilles de contact	10
II.2 Les types de lentilles de contact souples.....	11
II.2.1 Les lentilles de contact hydrogel.....	11
II.2.2 Les lentilles silicone hydrogel	11
II.3 Les propriétés des lentilles de contactes	12
II.3.1 Propriétés mécaniques	12
II.3.2 Propriétés chimiques.....	13
II.3.3 Propriétés de la surface	14
II.3.4 Les indications de prescription des lentilles de contact	16
II.4 Comparaison de l'inconfort oculaire entre les deux types de lentilles de contact souples	16
II.5 Type de port et de renouvellement.....	16
II.5.1 Durée de port.....	16
II.5.2 Durée de renouvellement :	17
II.6 Les modifications physiologiques due au port de lentille.....	17

II.6.1	Impact à court terme	17
II.6.2	Impact à moyen terme (semaines → mois).....	17
II.6.3	Impact à long terme (années).....	18
III	Chapitre III : La topographie cornéenne.....	20
III.1	Principe	21
III.2	Les aspects topographiques.....	22
III.3	Les cartes topographiques cornéennes.....	22
III.3.1	Carte axiale (sagittale)	23
III.3.2	Carte tangentielle (locale)	23
III.4	Topographie des cornées normales.....	24
III.5	Modifications topographiques secondaires au port de lentille de contact	25
III.5.1	Le Corneal Warpage (empreinte cornéen) et l'astigmatisme induit	25
III.5.2	Le bombement de la cornée	25
III.5.3	L'augmentation de la kératométrie	26
III.6	Les paramètres topographiques.....	26
III.6.1	L'excentricité e	26
III.6.2	Asphéricité Q	26
III.6.3	Facteur de forme P	27
IV	Chapitre IV : Approche Pratique et Méthodologie de l'Étude	29
IV.1	Matériel et Méthodes	30
IV.1.1	Type de l'étude	30
IV.1.2	Population de l'étude	30
IV.1.3	Paramètres étudiés	30
IV.1.4	Matériel	31
IV.1.5	Méthode	31
IV.2	Recueil des données.....	32
IV.3	Résultats.....	36
IV.4	Répartition des résultats.....	37
IV.4.1	Selon Age.....	37
IV.4.2	Selon le Sexe.....	37
IV.4.3	Selon la zone de l'empreinte.....	38
IV.4.4	4.Selon le type de matériau :.....	38

IV.4.5	Selon l'intensité de l'empreinte	39
IV.4.6	Les graphes et les tableaux	39
IV.5	Présentation des cas cliniques :	42
IV.5.1	CAS n°01 :	42
IV.5.2	CAS n°02 :	44
IV.5.3	CAS n°03	45
IV.5.4	CAS n°04 :	46
IV.6	Les valeurs descriptives	48
IV.7	Discussion	49
IV.8	Limite de l'étude	52
Conclusion :		53
Références bibliographiques:		54

Liste des figures

Figure I.1: Diamètre et l'épaisseur de la cornée(https://www.gatinel.com/recherche-formation/la-cornee).....	4
Figure I.2: Les couches de la cornée(https://www.gatinel.com/recherche-formation/la-cornee)...	5
Figure I.3: Les kératocytes situées au contact étroit avec les fibres collagènes du stroma cornéen(https://www.gatinel.com/recherche-formation/la-cornee).....	6
Figure I.4: La surface de la cornée (Cours de Pr.Derdour).....	7
Figure II.1: Le mécanisme de diffusion de l'oxygène à travers une lentille en silicone-hydrogel (cours de Dr.Ouzzani adaptation des lentilles souples)	13
Figure II.2: Diagramme des lentilles de contact en fonction de leur teneur en eau et de leur transmissibilité de l'oxygène (Dk/t) (https://www.lentiamo.fr/blog/pour-contre-hydrogel-silicone.html).....	14
Figure II.3:La mouillabilité de différentes lentilles de contact souples en silicone hydrogel, évaluée par la mesure de l'angle de contact à deux moments : immédiatement après l'ouverture (Hour 0) et après 16 heures (Hour 16). (Cours de Dr.Ouzzani adaptation des lentilles souples). 15	
Figure II.4:Mouvement à l'interface entre la lentille de contact et le film lacrymal (https://www.researchgate.net/publication/389146783_Contact_Lens_Materials_and_Their_Modification_Methods).....	15
Figure II.5:Dépôts sur lentilles souples trimestrielles (https://www.em-consulte.com/em/SFO/2015/html/file_100022.html)	18
Figure II.6:Néovaisseaux cornéens périphériques signes d'hypoxie chronique et/ou d'inflammation sous lentille souple(https://www.em-consulte.com/em/SFO/2015/html/file_100022.html)	19
FigureIII.1: Image kératoscopique obtenue par projection des anneaux de Placido sur la cornée (https://www.elsevier.com/fr-fr/connect/la-cornee-presentee-par-jean-louis-bourges)	21
FigureIII.2:Les schémas illustrent les profils correspondants au méridien le plus plat et au méridien le plus cambré, responsables de l'astigmatisme cornéen observé (https://link.springer.com/article/10.1186/s40662-016-0036-8).....	22
FigureIII.3:Image composite représentative des anneaux de Placido d'un œil sans antécédent de chirurgie réfractive, illustrant le profil de courbure de la cornée antérieure à travers les cartes topographiques axiale et tangentielle[28]	23
FigureIII.4:Astigmatisme irrégulier (https://www.gatinel.com/chirurgie-refractive/bilan-preoperatoire/score-analyzer/)	24
FigureIII.5:Topographie des cornées normales(https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-10696-6).....	Error! Bookmark not defined.
FigureIII.6: Corneal Warpage induite par le port de L.C Hydrogel[33].....	25
FigureIII.7:Représentation dans un repère orthonormé des différents sections coniques dont le rayon de courbure apical est constant [39]	27
Figure IV.1: Les lentilles de contact souples : pose, matériaux (hydrogel et silicone-hydrogel) et produit d'entretien (Photo de l'auteur à LPCMME).....	31
Figure IV.2:Mesure topographique (Photo de l'auteur à LPCMME).....	32

Figure IV.3: Topographie du patient avant le port de lentille OD et OG (Photo de l'auteur à LPCMME)	43
Figure IV.4: Carte axiale et tangentielle de L'OD et OG (<i>Photo de l'auteur à LPCMME</i>)	43
Figure IV.5: Carte axiale et tangentielle après 30 min d'enlèvement des lentilles	44
Figure IV.6: Carte axiale du patient de l'OD et OG (photo de l'auteur à LPCMME)	45
Figure IV.7: Topographie avant le port des lentilles (Photo de l'auteur à LPCMME)	45
Figure IV.8: Carte axiale et tangentielle de L'OD et OG (Photo de l'auteur à LPCMME)	46
Figure IV.9: Topographie avant le port des lentilles de contact (Photo de l'auteur à LPCMME) ..	47
Figure IV.10: Carte axiale et tangentielle après 30 min du port (Photo de l'auteur à LPCMME) ..	48

Liste des tableaux

Tableau III.1: Valeur des paramètres e, p et Q pour chaque type de section conique[39]	26
Tableau IV.1: La moyenne de chaque matériau pendant 3 mesures	39
Tableau IV.2: La moyenne de chaque matériau pendant 3 mesures	40
Tableau IV.3: La moyenne de chaque matériau pendant 3 mesures	40
Tableau IV.4: La moyenne de chaque matériau pendant 3 mesures	41
Tableau IV.5: La moyenne de chaque matériau pendant 3 mesures	41
Tableau IV.6: La moyenne de chaque matériau pendant 3 mesures	42
Tableau IV.7: la moyenne et l'écart types (Hyd et S.Hyd) pour chaque mesure	49

Liste des graphes

Graphe IV-1: Répartition des participants selon l'âge	37
Graphe IV-2: Répartition selon le sexe	37
Graphe IV-3: Répartition selon la zone de l'empreinte cornéenne	38
Graphe IV-4: Répartition selon la localisation d'empreinte	38
Graphe IV-5: Répartition selon l'intensité d'empreinte	39
Graphe IV-6: K1 en fonction de 3 mesures	39
Graphe IV-7 : K2 en fonction de 3 mesures	40
Graphe IV-8: P en fonction de 3 mesures	40
Graphe IV-9: Q en fonction de 3 mesures	41
Graphe IV-10: e en fonction de 3 mesures	41
Graphe IV-11: KPI en fonction de 3 mesures	42

Liste des abréviations

OD : œil droit

OG : œil gauche

HYD : hydrogel

S.HYD : silicone hydrogel

K1, K2 : kératométrie

e : excentricité

P : factor shape

Q : Asphéricité

KPI : Indice de kératocône

LSH : Lentille souple hydrogel

LSSH : Lentille souple silicone hydrogel

LC : Lentille de contact

Introduction générale

La topographie cornéenne est passée d'un outil de diagnostic de luxe à un standard clinique indispensable pour assurer la sécurité oculaire des porteurs de Lentilles.

Les progrès de la topographie cornéenne offrent une étude fine de la cornée, permettant d'objectiver l'empreinte cornéenne et d'apprécier l'influence des lentilles de contact sur la morphologie cornéenne.

En 1965, Hartstein[1] a introduit pour la première fois le terme de « corneal warpage » qu'il a défini comme une modification de la forme de la cornée survenant après un port de lentilles de contact. Des modifications significatives de la topographie cornéenne peuvent survenir avec le port de lentilles rigides (en poly méthacrylate de méthyle [PMMA]), de lentilles rigides perméables aux gaz (RGP), ou de lentilles souples portées en usage quotidien ou en port prolongé.[2]

Plusieurs études ont examiné la relation entre les caractéristiques d'adaptation des lentilles de contact et le développement de « corneal warpage » .[2]

Avec les travaux de Arranz et al. (2003), qui ont rapporté que les lentilles souples en hydrogel à faible teneur en eau peuvent induire des irrégularités cornéennes détectables à la topographie cornéenne. Les auteurs ont notamment observé un aplatissement supérieur et un bombement inférieur des rayons sagittaux et tangentiels, traduisant une modification de la géométrie cornéenne liée au port lentille oculaire.[3]

➤ **Problématique :** Bien que les lentilles de contact souples soient conçues pour être biocompatibles, leur présence sur la cornée constitue une barrière physique et métabolique pouvant altérer l'homéostasie oculaire.

Alors que les matériaux en Silicone Hydrogel ont été introduits pour pallier les carences en oxygène des matériaux Hydrogel classiques, il convient de se demander : dans quelle mesure la topographie cornéenne permet-elle d'objectiver et de quantifier les modifications morphologiques induites par ces différents matériaux ? Plus précisément, l'impact sur la courbure et la régularité de la surface cornéenne est-il significativement réduit par la haute transmissibilité d'oxygène du Silicone Hydrogel, et un repos de 30 minutes est-il suffisant pour permettre la réversibilité du corneal warpage et le retour des mesures topographiques à l'état initial ?

➤ **L'objectif principal :**

L'objectif de cette étude est d'analyser l'empreinte cornéenne induite par le port de lentilles de contact, en évaluant les modifications morphologiques et topographiques de la cornée après un port de 30 minutes. Cette étude vise à mettre en évidence les changements pouvant apparaître au niveau de la courbure cornéenne, de la régularité de la surface ainsi que des paramètres topographiques mesurés avant et après le port des lentilles. Elle a également pour objectif d'étudier l'influence des lentilles de contact sur la surface cornéenne selon les caractéristiques propres à chaque sujet et au type de lentille utilisé. Les résultats obtenus permettront d'évaluer l'importance des modifications induites par le port des lentilles et de mieux comprendre leur impact sur la physiologie cornéenne. Enfin, cette étude a pour but de souligner l'intérêt de l'examen topographique dans le suivi des porteurs de lentilles de contact, afin de détecter précocement d'éventuelles altérations cornéennes et d'assurer une adaptation optimale des lentilles.

➤ **Les objectifs de l'étude :**

- Analyser les modifications topographiques de la cornée après le port des lentilles souples hydrogel et silicone hydrogel.
- Etudier et comparer les modifications cornéennes liées au port de LC souples hydrogels et celles liées au port de LC souples silicone-hydrogels
- Voir la possibilité de faire une réfraction ou une analyse topographique avec des résultats fiables après une 30 minutes de repos sans lentille.

Chapitre I

La cornée

I.1 Anatomie macroscopique

La cornée se caractérise par une morphologie ovale, plus étendue dans le sens horizontal que vertical. Son diamètre horizontal varie généralement entre 11 et 12 mm, tandis que le diamètre vertical se situe entre 9 et 11 mm. La mesure du diamètre « white to white », obtenue par le système ORBSCAN II, montre une moyenne de $11,71 \pm 0,42$ mm. Une légère différence selon le sexe est observée, avec des valeurs moyennes de $11,77 \pm 0,37$ mm chez l'homme et de $11,64 \pm 0,47$ mm chez la femme[4].

Le limbe cornéen est plus développé au niveau supérieur et inférieur. Sur le plan morphologique, la cornée est une structure convexe présentant une forme asphérique. Le rayon de courbure de la face antérieure est estimé à environ 7,8 mm, alors que celui de la face postérieure est d'environ 6,5 mm[5].

D'un point de vue optique, la cornée représente l'élément réfractif principal de l'œil, assurant une puissance comprise entre 40 et 44 dioptries, soit près de 70 % de la réfraction totale. Son indice de réfraction est évalué à 1,376[6].

L'épaisseur cornéenne n'est pas uniforme : elle augmente progressivement du centre vers la périphérie. Cette différence est attribuée à une concentration plus importante de fibres collagéniques au sein du stroma périphérique. Chez l'œil normal, l'épaisseur centrale varie entre 551 et 565 μm , tandis que l'épaisseur périphérique se situe entre 612 et 640 μm [7].

Par ailleurs, une diminution progressive de l'épaisseur cornéenne est observée avec l'avancée en âge. La rigidité du stroma antérieur joue un rôle déterminant dans la stabilité de la courbure cornéenne, la face antérieure montrant une plus grande résistance aux modifications de l'hydratation stromale que la face postérieure[4].

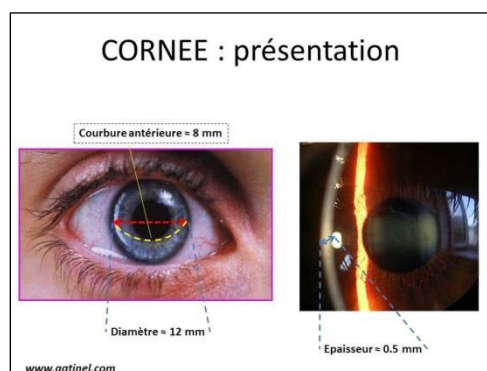


Figure I.1: Diamètre et l'épaisseur de la cornée(<https://www.gatinel.com/recherche-formation/la-cornee>)

I.2 Structure histologique de la cornée

La cornée est composée d'éléments cellulaires et non cellulaires assurant sa transparence et sa fonction optique.

Les constituants cellulaires regroupent les cellules épithéliales, les kératocytes du stroma ainsi que les cellules endothéliales. Les composants acellulaires sont principalement représentés par les fibres de collagène et les glycosaminoglycanes, qui participent à l'organisation structurale et à la résistance mécanique du tissu cornéen[8].

Sur le plan embryologique, les cellules épithéliales proviennent de l'ectoderme de surface, tandis que les kératocytes et les cellules endothéliales dérivent de la crête neurale.

Anatomiquement, la cornée est constituée de cinq couches principales : l'épithélium, la membrane de Bowman, le stroma, la membrane de Descemet et l'endothélium. Plus récemment, une couche acellulaire distincte située en avant de la membrane de Descemet a été décrite, suscitant un intérêt particulier dans le contexte du développement des techniques de chirurgie lamellaire.[4]

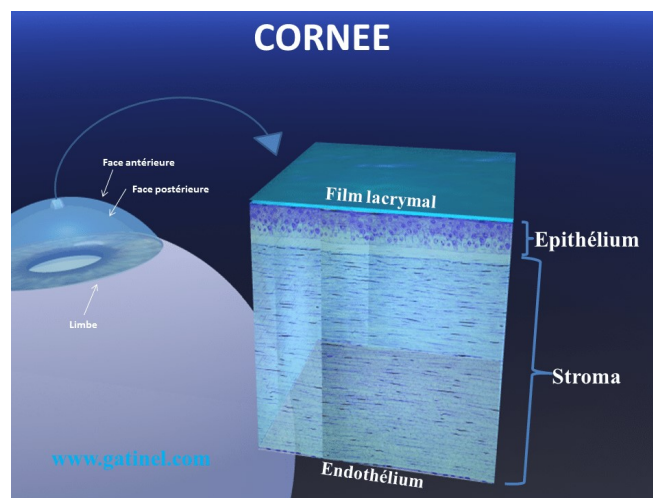


Figure I.2: Les couches de la cornée(<https://www.gatinel.com/recherche-formation/la-cornee>)

I.3 Physiologie de la cornée

La transparence de la cornée constitue sa propriété essentielle et repose sur plusieurs facteurs complémentaires.[9]

Tout d'abord, les fibres de collagène du stroma sont organisées de manière très régulière : leur diamètre ainsi que l'espacement entre elles sont constants et inférieurs à la moitié de la longueur d'onde de la lumière visible (400–700 nm). Toute modification de cette organisation entraîne une perte de transparence.[9]

Ensuite, l'état d'hydratation du stroma joue un rôle fondamental. En conditions normales, la cornée contient environ 78 % d'eau. Cet équilibre est maintenu grâce à plusieurs mécanismes : la pompe endothéliale, la barrière épithéliale, la pression intraoculaire et la pression de gonflement du stroma. Les glycosaminoglycanes, très hydrophiles et chargés négativement, se repoussent entre eux lorsqu'ils sont hydratés, générant une pression qui limite l'entrée excessive d'eau dans le stroma. Cette pression de gonflement est d'environ 50 mmHg et s'oppose à la pression intraoculaire. Lorsque cette dernière devient trop élevée, notamment autour de 50 mmHg, un déséquilibre apparaît et peut conduire à un œdème cornéen. Enfin, l'absence de vascularisation ainsi que la faible densité cellulaire participent également au maintien de la transparence.[9]



Figure I.3: Les kératocytes situées au contact étroit avec les fibres collagènes du stroma cornéen(<https://www.gatinel.com/recherche-formation/la-cornee>)

I.4 La surface cornéenne

La cornée présente deux faces, antérieure et postérieure, limitées par le limbe cornéo-conjonctival. Elles définissent un volume cornéen dont la répartition est illustrée par les cartes pachymétriques.[10]

- **La face antérieure** est convexe et elliptique son rayon de courbure 7,7 mm recouverte par le film lacrymal. Malgré sa faible épaisseur, de l'ordre de quelques microns, négligeable par rapport à celle de l'épithélium, celui-ci épouse fidèlement la surface cornéenne et permet une réflexion spéculaire de la lumière en l'absence de sécheresse oculaire sévère. Cette réflexion résulte notamment de la différence d'indice de réfraction entre les milieux, environ 5 % de la lumière incidente étant réfléchi par le film lacrymal. On parle de réflexion spéculaire lorsque la direction du rayon réfléchi dépend de l'angle d'incidence. Ces propriétés sont exploitées en topographie spéculaire. Toutefois, une altération du film lacrymal ou la présence de cils peut dégrader la qualité de l'image obtenue et donc la fiabilité de l'examen.[11]
- **La face postérieure** est concave et circulaire son rayon de courbure 6,5 mm constituée de l'endothélium et de la membrane de Descemet, ne peut pas être analysée par réflexion spéculaire en raison de la faible différence d'indice entre le stroma cornéen et l'humeur aqueuse.

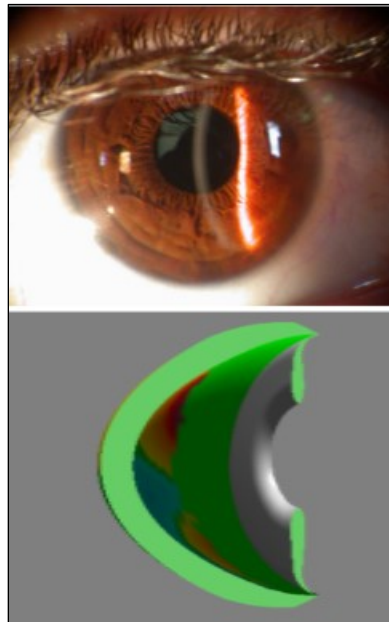


Figure I.4: La surface de la cornée (Cours de Pr.Derdour)

I.5 Géométrie de la cornée

La cornée présente une géométrie asphérique, caractérisée par une variation progressive de son rayon de courbure du centre vers la périphérie. Dans environ 80 % des cas, la cornée normale adopte un profil prolata, marqué par une augmentation du rayon de courbure en périphérie. Dans les autres cas, elle peut présenter un profil oblate, voire des formes parabolique ou hyperbolique.[12]

Le coefficient moyen d'asphéricité (facteur Q) de la face antérieure cornéenne est estimé à -0,26. Il est à noter que la cornée tend à devenir plus sphérique avec l'avancée en âge, et que son asphéricité peut varier selon les différents méridiens.[12]

Sur le plan optique, l'asphéricité cornéenne joue un rôle fondamental dans la réduction des aberrations sphériques. En effet, une cornée parfaitement sphérique entraînerait une focalisation des rayons lumineux périphériques en avant de la rétine, altérant ainsi la qualité de l'image rétinienne. Les aberrations sphériques augmentent proportionnellement au carré du diamètre pupillaire et restent généralement inférieures à 1 dioptrie pour un diamètre pupillaire de 4 mm.[12]

Une cornée de profil prolata, avec un facteur Q d'environ -0,26, permet de compenser près de 50% des aberrations sphériques par rapport à une cornée sphérique. Le cristallin participe également à cette compensation, contribuant à l'amélioration globale de la qualité optique de l'œil.[12]

Chapitre II

Les lentilles de contact

Les lentilles de contact constituent aujourd'hui une solution optique largement utilisée pour la correction des amétropies telles que la myopie, l'hypermétropie, l'astigmatisme et la presbytie. Placées directement sur la surface de la cornée, elles offrent un champ visuel plus large et une meilleure qualité optique comparativement aux lunettes, tout en répondant à des exigences esthétiques et fonctionnelles.

Depuis leur développement initial, les matériaux des lentilles de contact ont connu une évolution remarquable, Cette évolution a permis d'améliorer considérablement le confort, la tolérance oculaire et la sécurité du port.[13]

II.1 Description des matériaux des lentilles de contact

Les premières lentilles de contact ont été fabriquées à la fin des années 1800 à partir de verre poli, un matériau imperméable à l'oxygène. Cette faible perméabilité entraînait une hypoxie sévère, limitant considérablement la durée de port (Jacob, 2013).

Les innovations développées au cours des cent dernières années ont permis la mise au point de lentilles de contact perméables aux gaz ainsi que de lentilles de contact souples réutilisables et à usage journalier. Ces lentilles sont principalement fabriquées à partir de polymères d'hydrogel ou de silicone hydrogel).[13]

Les LCS en hydrogel présentent généralement une teneur en eau plus élevée mais une perméabilité à l'oxygène beaucoup plus faible que les LCS en silicone hydrogel. Une faible transmissibilité à l'oxygène constitue un facteur majeur des complications liées au port des lentilles de contact, telles que l'inflammation cornéenne ou la néovascularisation.

Les premières études ont suggéré que les matériaux des lentilles de contact nécessitaient une transmissibilité à l'oxygène de $24,1 \times 10^{-9}$ (Dk/L) pour éviter l'œdème cornéen lors du port journalier, et de $87,0 \times 10^{-9}$ (Dk/L) pour le port nocturne (Holden, 1984). Aucune lentille de contact en hydrogel ne répond à ces exigences pour le port nocturne, et certaines ne satisfont même pas aux besoins en oxygène pour le port journalier.[13]

Les tendances de prescription montrent une augmentation de l'utilisation des LCS en silicone hydrogel, tandis que les prescriptions de LCS en hydrogel ont diminué (Efron, 2015). Depuis 2010, la répartition entre les matériaux des LCS est restée relativement stable, les LCS en silicone hydrogel et en hydrogel représentant respectivement environ 70 % et 30 % des parts du marché.

II.2 Les types de lentilles de contact souples

Contrairement aux lunettes, les lentilles de contact sont placées directement sur la surface de l'œil. Les lentilles de contact souples (LCS) sont fabriquées à partir de plastiques flexibles, généralement constitués soit de silicone hydrogel, soit d'hydrogel.

Ces matériaux sont poreux et comportent de minuscules espaces ou pores qui permettent le passage des liquides et de l'air vers la surface de l'œil. Les matériaux en silicone hydrogel sont plus perméables à l'oxygène et contiennent moins d'eau que les lentilles souples en hydrogel.[13]

Les lentilles de contact hydrogel

Introduites à la fin des années 1950, les lentilles en hydrogel figurent parmi les premières lentilles souples commercialisées, remplaçant les anciens matériaux plastiques rigides. Grâce à leur structure spécifique, elles épousent facilement la forme de l'œil, ce qui améliore nettement le confort au quotidien.

Les utilisateurs savent qu'à l'état sec, ces lentilles sont relativement rigides, mais qu'elles deviennent souples et agréables une fois hydratées. Leur forte teneur en eau favorise le passage de l'oxygène et contribue à maintenir des yeux clairs et en bonne santé..[14]

Cependant, malgré leur capacité à retenir l'humidité, les lentilles en hydrogel peuvent se déshydrater progressivement au fil de la journée, entraînant une sensation de sécheresse en fin de port. Elles ont également tendance à accumuler davantage de dépôts protéiques, pouvant provoquer une gêne. Un entretien rigoureux — en frottant et rinçant les lentilles réutilisables avec une solution appropriée et en respectant les délais de remplacement permet de limiter ces dépôts.

Les lentilles silicone hydrogel

II.2.1.1 L'émergence des silicone-hydrogels :

L'émergence des silicone-hydrogels remonte à 1984, lorsque Baush et Lomb ont introduit ces lentilles. Leur développement repose sur le rôle de l'eau dans les hydrogels conventionnels : l'eau dissout l'oxygène, et plus sa teneur est élevée, plus la perméabilité à l'oxygène augmente.[14]

Les chercheurs ont donc envisagé d'incorporer une substance ayant une solubilité en oxygène supérieure à celle de l'eau afin d'augmenter davantage la perméabilité. Le caoutchouc de silicone, qui possède une solubilité et une perméabilité à l'oxygène (Dk) beaucoup plus élevées que l'eau, le PMMA ou le polyHEMA déshydraté, s'est révélé idéal. Son intégration dans un hydrogel permet ainsi une augmentation importante de la perméabilité à l'oxygène, tout en conservant certains avantages liés à la présence d'eau.

II.2.1.2 Définitions des lentilles silicone hydrogel :

Les lentilles en silicone hydrogel représentent une version avancée des lentilles souples, combinant une perméabilité à l'oxygène élevée avec une forte teneur en eau, offrant ainsi un confort et une santé oculaire optimaux.

L'un des principaux avantages des lentilles en silicone hydrogel est leur capacité à permettre une perméabilité à l'air jusqu'à cinq fois supérieure à celle des lentilles en hydrogel. Cette amélioration est cruciale, car un apport insuffisant d'oxygène peut entraîner une dégradation progressive de la cornée, appelée hypoxie. Grâce à leur meilleure perméabilité, ces lentilles offrent un confort prolongé et contribuent à maintenir la santé des yeux tout au long de la journée.[14]

Les lentilles en silicone hydrogel sont également légèrement plus rigides que les lentilles en hydrogel, ce qui facilite leur manipulation tout en restant confortables pour les yeux. Toutefois, l'ajout de silicone dans la composition du matériau peut entraîner une accumulation accrue de dépôts lipidiques et réduire la quantité d'eau présente dans la lentille. Pour remédier à ce problème, de nombreux fabricants ont intégré des agents hydratants qui aident à maintenir l'hydratation de la lentille plus longtemps.

Certaines des technologies récentes permettent d'atteindre une perméabilité à l'air encore plus efficace, réduisant ainsi la quantité de silicone brut nécessaire. Cela permet d'augmenter l'espace dans la lentille pour les matériaux qui attirent l'eau, garantissant ainsi une meilleure hydratation des yeux.[14]

II.3 Les propriétés des lentilles de contacts

Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques ont toujours un effet significatif sur le confort du port des lentilles de, car les lentilles couvrent et déforment la forme de la cornée.[15]

II.3.1.1 La déformabilité

Les lentilles de contact jouent un rôle clé dans le confort et l'efficacité optique. Une lentille très déformable offre un meilleur confort, mais elle peut être moins efficace sur le plan optique, notamment lorsque la cornée est irrégulière.

II.3.1.2 La force de tension

Influence la résistance des lentilles une force plus élevée rend la lentille moins fragile et donc plus durable.

II.3.1.3 Le module d'élasticité ou module de Young

Il détermine la rigidité de la lentille plus le module est élevé, moins la lentille est déformable, ce qui assure une bonne qualité optique, tandis que le confort peut être plus ou moins bon selon le matériau.[15]

Si le matériau a un module faible, la lentille de contact sera plus déformable et offrira moins de résistance. En revanche, lorsque le module de compression est élevé, il y a plus de friction. Par exemple, bien que les hydrogels de silicone aient une perméabilité à l'oxygène plus élevée, ils présentent toujours des valeurs de module plus élevées comparées aux autres hydrogels.

Propriétés chimiques

II.3.1.4 La perméabilité à l'oxygène (O_2) dk

Est une propriété essentielle des lentilles de contact, car elle influence directement la santé cornéenne.[15] Une bonne perméabilité permet à la cornée de recevoir suffisamment d'oxygène, ce qui réduit les risques d'hypoxie cornéenne, d'œdème et d'irritation. Les lentilles en silicone hydrogel se distinguent par leur perméabilité élevée à l'oxygène, ce qui constitue un avantage majeur par rapport aux hydrogels classiques, même si elles présentent souvent un module plus élevé, entraînant parfois plus de friction avec la cornée.

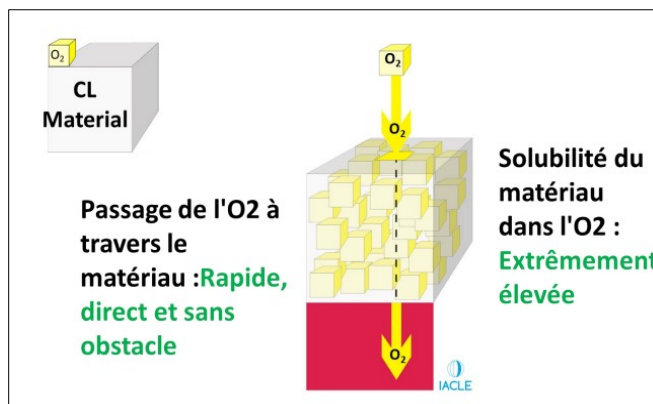


Figure II.1: Le mécanisme de diffusion de l'oxygène à travers une lentille en silicone-hydrogel (cours de Dr.Ouzzani adaptation des lentilles souples)

II.3.1.5 Transmissibilité à $O_2 = DK/e$

La transmissibilité à l'oxygène est la potentialité de la lentille à autoriser le passage de O_2 d'une face à l'autre.

- Plus Dk est élevé, plus le matériau laisse passer l'oxygène.
- Plus e est faible plus l'oxygène traverse facilement

- Donc plus Dk/e est élevé, meilleure est l'oxygénation cornéenne.[14]

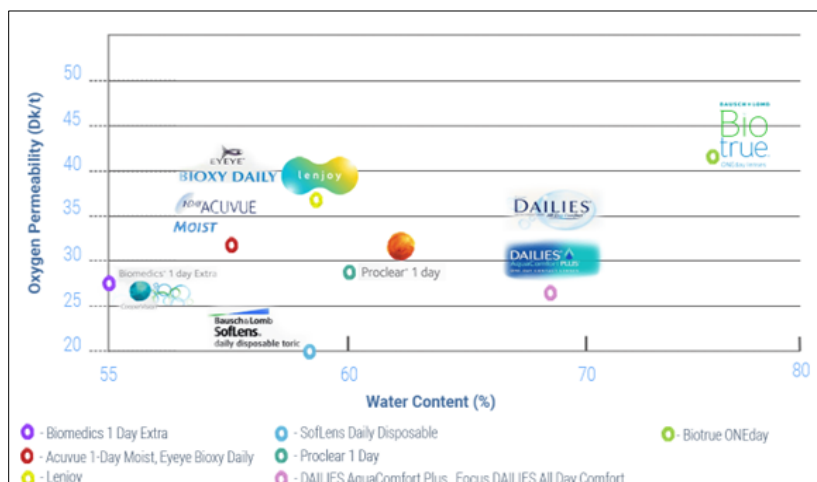


Figure II.2: Diagramme des lentilles de contact en fonction de leur teneur en eau et de leur transmissibilité de l'oxygène (Dk/t) (<https://www.lentiamo.fr/blog/pour-contre-hydrogel-silicone.html>)

Propriétés de la surface

Les propriétés de surface du matériau influencent toujours le contact entre une lentille hydrogel et la cornée. Des bonnes propriétés de surface permettent de maintenir la stabilité du film lacrymal, ce qui réduit l'inconfort, notamment la sécheresse oculaire, et augmente le temps de port des lentilles.[15]

II.3.1.6 La mouillabilité :

La mouillabilité est l'une des propriétés de surface les plus importantes. Elle décrit la capacité d'un liquide à s'étaler sur la surface de la lentille. De petits angles de contact indiquent toujours une mouillabilité élevée du matériau. Fait intéressant, la mouillabilité dépend du matériau, et il n'existe pas de différence évidente entre les lentilles en silicone hydrogel et les lentilles hydrogel traditionnelles.

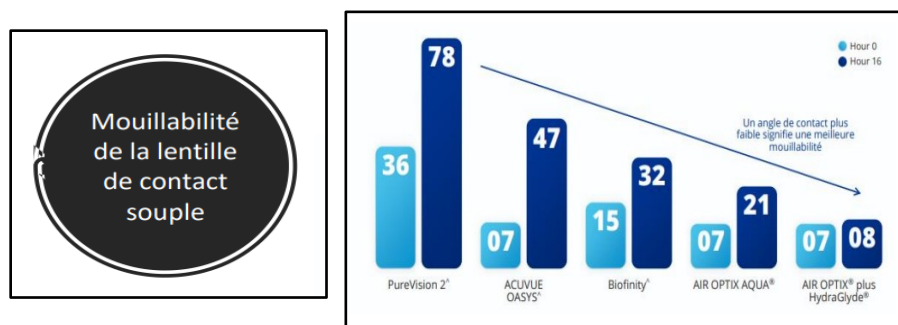


Figure II.3: La mouillabilité de différentes lentilles de contact souples en silicone hydrogel, évaluée par la mesure de l'angle de contact à deux moments : immédiatement après l'ouverture (Hour 0) et après 16 heures (Hour 16). (Cours de Dr.Ouzzani adaptation des lentilles souples)

II.3.1.7 Le caractère de friction :

Une autre propriété de surface importante est le caractère de friction. La lentille glisse lors du clignement, ce qui crée des forces de friction entre la lentille et la cornée (comme illustré à la

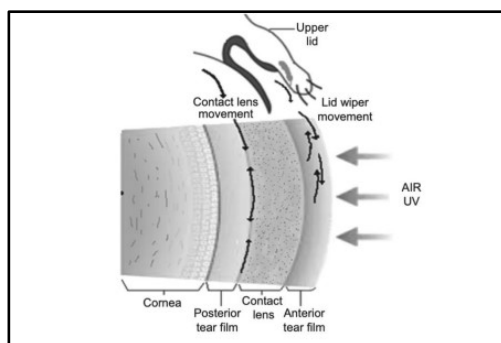


Figure II.4: Mouvement à l'interface entre la lentille de contact et le film lacrymal (https://www.researchgate.net/publication/389146783_Contact_Lens_Materials_and_Their_Modifi)

Le coefficient de friction (COF) est utilisé pour décrire la friction entre deux surfaces (Figure 8). Il n'existe cependant pas de technique acceptée pour mesurer une valeur exacte de COF, car il est difficile de reproduire le mouvement dynamique des lentilles sous la pression des paupières. Par exemple, un montage avec micro tribomètre a été utilisé pour mesurer le COF de différents matériaux commerciaux de lentilles de contact. Ce montage a permis de mesurer une distance de glissement insuffisante et il reste incertain de déterminer si la friction est statique ou dynamique. Selon les expériences et statistiques existantes, les lentilles en silicone hydrogel présentent toujours un COF plus élevé.[15]

Les indications de prescription des lentilles de contact

II.3.1.8 Indications réfractives

- Les amétropie sphérique jusqu'à 30 D [16]
- Amétropie sphérocyindre : disponible sur peu de modèles
- Astigmatisme jusqu'à 11 cylindre négatif
- Correction par LC Multifocal VP+VL
- Amétropie sphérique addition jusqu'à +2,50D

II.3.1.9 Indications thérapeutiques

- Visé antalgiques : ulcère cornéen
- Décompensation cornnén
- Cicatrisantes

L'indication thérapeutique médicale des LSH nécessite un port prolongé d'où le recours à LSH hydrogel à très haute hydrophilie ou LSH silicone hydrogel Une surveillance étroite.[16]

II.3.1.10 Indications cosmétologiques

- Indication médicale : œil inesthétique[16]
- Indication non réfractive prescrite et suivie par contactologue
- Port sauvage dépourvu de contrôle ophtalmologique

II.3.1.11 Piggy-back

- Améliorer le confort et ou la stabilité d'une LRPG adaptée sur une cornée très déformée[16]
- Indication de seconde intention

II.4 Comparaison de l'inconfort oculaire entre les deux types de lentilles de contact souples

Les lentilles de contact peuvent bloquer l'apport en oxygène et modifier le film lacrymal à la surface de l'œil. Cela peut entraîner une irritation oculaire, une gêne, voire des lésions de la surface oculaire (telles que des éraflures ou des infections). Les différences entre les matériaux des lentilles peuvent donc provoquer un inconfort et des effets nocifs pour l'œil.[13]

II.5 Type de port et de renouvellement

Durée de port

- ❖ **Journalier** : (Daily wear) port uniquement pendant la journée et les retirée chaque soir [16]
- ❖ **Prolongé** : Peuvent être portées jour et nuit, Jusqu'à 6 nuits / 7 jours (parfois plus selon le matériau). Mais le risque d'infection est élevé
- ❖ **Port continu** : Port sans retrait pendant une période définie (jusqu'à 30 jours pour certaines lentilles silicone hydrogel)

- ❖ **Port occasionnel** : portées de temps en temps seulement (sport, sorties...)[16]

Durée de renouvellement :

- ❖ **Lentilles journalières** : Ces lentilles sont à usage unique et doivent être jetées après chaque journée de port. Elles offrent une excellente hygiène et ne nécessitent aucun entretien.
- ❖ **Lentilles bi-mensuelles** Elles sont remplacées toutes les deux semaines.
- ❖ **Lentilles mensuelles** Ces lentilles sont renouvelées tous les mois. Elles sont très répandues et nécessitent un nettoyage régulier après chaque utilisation.[16]
- ❖ **Lentilles trimestrielles** : Elles sont changées tous les trois mois.
- ❖ **Lentilles annuelles** : Principalement rigides, ces lentilles ont une durée de vie d'environ un an. Elles demandent un suivi et un entretien spécifiques.

II.6 Les modifications physiologiques due au port de lentille

Impact à court terme

II.6.1.1 Hypoxie

Le port de lentilles de contact constitue un facteur majeur d'hypoxie cornéenne, en raison de la réduction de la diffusion de l'oxygène vers la surface oculaire. L'intensité de cette hypoxie dépend principalement de la transmissibilité de la lentille et de la durée de port, pouvant entraîner des modifications fonctionnelles et structurelles de la cornée.[17]

II.6.1.2 Sècheresse

La sécheresse oculaire est une complication fréquente chez les porteurs de lentilles de contact. Elle résulte principalement de la perturbation du film lacrymal, la lentille agissant comme une interface qui divise ce film en deux couches et en altère la stabilité. Cette modification favorise une évaporation accrue des larmes et une diminution du temps de rupture du film lacrymal (BUT). Par ailleurs, le port prolongé des lentilles peut aggraver cette situation en réduisant l'oxygénation cornéenne[17]

Impact à moyen terme (semaines → mois)

II.6.1.3 Modifications épithéliales

Le rôle de l'épithélium cornéen est de former une barrière défensive entre le milieu extérieur et le stroma cornée[18]. Les lentilles en hydrogel à faible coefficient de perméabilité en oxygène étaient connues pour leurs effets hypoxiques sur l'épithélium cornéen : hypercapnie, diminution de métabolisme épithélial, altération de la barrière épithéliale, modifications morphologiques des cellules épithéliales, acidose lactique pouvant provoquer un œdème épithélial microkystique et une

néovascularisation cornéenne. L'essor des lentilles souples à haute perméabilité à l'oxygène, les lentilles en silicone hydrogel, a permis de s'affranchir des effets de l'hypoxie sur l'épithélium cornéen[18]

II.6.1.4 Dépôts sur les lentilles

Ces dépôts à la surface des lentilles sont source de flou visuel et d'inconfort, notamment en fin de journée, car ils majorent l'hydrophobie de la lentille et diminuent donc sa mouillabilité. Ils peuvent induire des réactions inflammatoires immuno-allergiques provoquées par les protéines dénaturées fixées à la surface des lentilles, source d'intolérance aux lentilles. Parfois cependant, ces dépôts restent asymptomatiques. Il faut savoir les traiter car ceux-ci sont un substrat à l'adhésion bactérienne sur les lentilles, notamment au *Pseudomonas aeruginosa*. [18].

Concernant les lentilles souples, les lentilles en hydrogel sont plus pourvoyeuses de dépôts protéiques alors que les lentilles en silicone hydrogel entraînent plus de dépôts lipidiques.

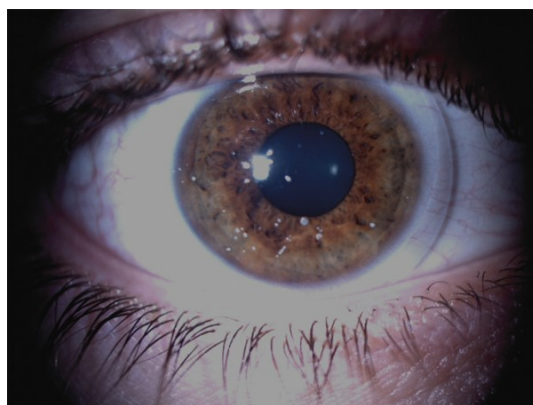


Figure II.5: Dépôts sur lentilles souples trimestrielles (https://www.em-consulte.com/em/SFO/2015/html/file_100022.html)

Impact à long terme (années)

II.6.1.5 Néovascularisation cornéenne Due à hypoxie chronique

Actuellement, les néovaisseaux cornéens périphériques sont le plus souvent retrouvés chez des porteurs de lentilles en hydrogel de bas Dk/e depuis plus de 15 ans, notamment chez les patients forts myopes équipés en lentilles souples peu perméables à l'oxygène. Les bords épais de ces lentilles de myope fort limitent la transmission de l'oxygène au niveau du limbe. Un facteur de risque supplémentaire est le port extensif voire continu car il aggrave l'hypoxie. Si la néovascularisation cornéenne progresse, une baisse d'acuité visuelle est possible par perte de la transparence cornéenne.

Des cas de déficits en cellules souches limbiques ont été décrits par le passé, uniquement avec des lentilles souples, mais sont aujourd'hui très rares.[19]



Figure II.6: Néovaisseaux cornéens périphériques signes d'hypoxie chronique et/ou d'inflammation sous lentille souple(https://www.em-consulte.com/em/SFO/2015/html/file_100022.html)

À l'inverse, les lentilles en silicone hydrogel, grâce à leurs Dk/e plus élevés, assurent une oxygénation limbique bien supérieure et n'induisent donc pas de néovascularisation cornéenne périphérique. À noter qu'en plus de l'hypoxie chronique, une réaction inflammatoire au niveau du limbe est souvent en cause dans l'apparition des néovaisseaux cornéens périphériques. En effet, l'augmentation des lentilles souples à renouvellement fréquent a permis de faire diminuer de façon importante les cas de néovaisseaux cornéens périphériques. Il est probable qu'en augmentant la fréquence de renouvellement des lentilles, cela diminue l'inflammation réactionnelle aux dépôts de protéines dénaturées sur les lentilles.[19]

On conclusion, les lentilles de contact souples, qu'elles soient en hydrogel ou en silicone hydrogel, se distinguent par leurs propriétés physicochimiques, leurs indications cliniques et leurs modalités de port. La compréhension de leurs caractéristiques et des modifications physiologiques qu'elles peuvent induire à court, moyen et long terme est essentielle pour optimiser l'adaptation, le confort du porteur et la préservation de l'intégrité cornéenne.

Chapitre III

La topographie cornéenne

L'évolution des technologies de topographie cornéenne a considérablement amélioré la précision et la finesse de l'analyse de la surface cornéenne. Cet examen s'impose désormais comme un outil incontournable dans la prise en charge des cornées complexes, telles que le kératocône, les cornées greffées ou encore dans le cadre de l'orthokératologie.[20]

Ainsi, la topographie cornéenne représente un examen fondamental pour l'évaluation, la surveillance et la compréhension des pathologies cornéennes, en fournissant des informations précises sur la morphologie et la qualité optique de la cornée.[20]

III.1 Principe

L'analyse de la topographie de la face antérieure de la cornée est réalisée à l'aide de systèmes de topographie spéculaire, également appelés vidéokératoscopie.[21]

La topographie cornéenne repose sur la projection d'une lumière sur la surface cornéenne et l'analyse de la réflexion qui en résulte. Cette technique permet d'étudier avec précision le relief ainsi que la courbure de la cornée. [9]

La topographie par disque de Placido est une technique largement utilisée pour étudier la surface antérieure de la cornée. Elle repose sur la projection de cercles concentriques noirs et blancs sur la cornée et l'analyse de la réflexion de ces cercles. Suivie de la capture de l'image réfléchie par le film lacrymal à l'aide d'une caméra. Selon les dispositifs utilisés, entre 9 et 34 anneaux concentriques peuvent être projetés, avec l'analyse de 180 à 360 points par anneau. Un logiciel calcule ensuite le rayon de courbure pour chacun des points mesurés.[9]

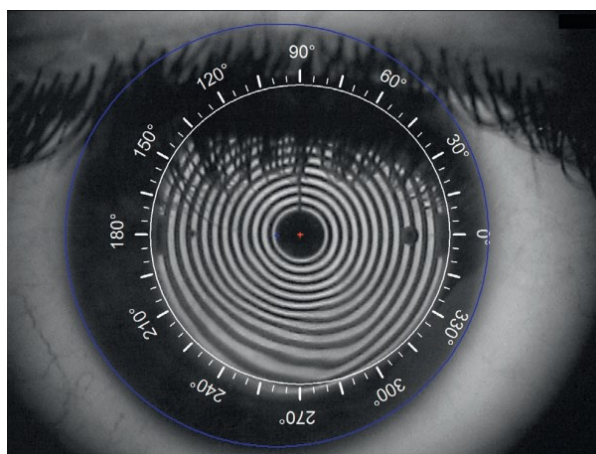


Figure III.1: Image kératoscopique obtenue par projection des anneaux de Placido sur la cornée
(<https://www.elsevier.com/fr-fr/connect/la-cornee-presentee-par-jean-louis-bourges>)

III.2 Les aspects topographiques

En topographie cornéenne, les cartes peuvent être exprimées selon deux types d'échelles : millimétrique ou dioptrique. Chacune apporte une interprétation différente de la courbure cornéenne.[22]

Les cartes exprimées en échelle millimétrique utilisent généralement un code couleur où les teintes deviennent d'autant plus chaudes que le rayon de courbure est faible. Lorsque l'échelle est donnée en dioptries, il est important de préciser qu'il s'agit de dioptries de courbure et non de puissance optique. Ces valeurs sont obtenues en calculant l'inverse du rayon de courbure (exprimé en mètres), multiplié par la différence entre l'indice kératométrique (1,33) et celui de l'air (1).[22]

La réflexion spéculaire obtenue fournit des informations sur la courbure cornéenne. Les résultats sont représentés sous forme de cartes colorées, où chaque couleur correspond à un intervalle de puissance dioptrique, généralement de 0,5 dioptrie, inversement proportionnel au rayon de courbure. Les teintes chaudes (jaune, orange, rouge) traduisent des puissances dioptriques élevées, correspondant à des zones plus cambrées (épaississement de la cornée), tandis que les teintes froides (vert, bleu) indiquent des puissances plus faibles, associées à des zones plus plates (aplatissement). [9]

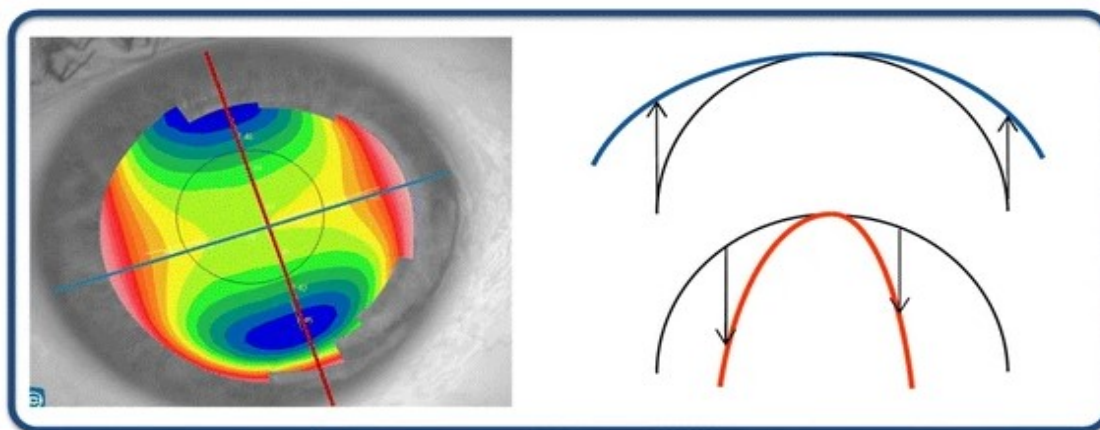


Figure III.2: Les schémas illustrent les profils correspondants au méridien le plus plat et au méridien le plus cambré, responsables de l'astigmatisme cornéen observé (<https://link.springer.com/article/10.1186/s40662-016-0036-8>)

III.3 Les cartes topographiques cornéennes

La topographie cornéenne permet d'obtenir une représentation détaillée de la surface de la cornée sous forme de cartes colorées. Ces cartes sont essentielles pour l'analyse de la courbure, de la régularité et de l'épaisseur cornéenne, notamment dans le diagnostic et le suivi de diverses pathologies ainsi que dans l'évaluation préopératoire en chirurgie réfractive.[23]

Carte axiale (sagittale)

La carte axiale, également appelée carte sagittale[24]. La carte axiale calcule les rayons de courbure de la cornée en prenant comme référence l'axe optique ou anatomique de l'œil. Ainsi, les valeurs obtenues en périphérie correspondent à une estimation approximative du rayon de courbure réel. Ce type de carte offre une vision globale et rapide de la surface cornéenne, ce qui facilite le dépistage simple des anomalies pouvant affecter la qualité visuelle[25]. Ainsi les cartes axiales fournissent des images de plus grande taille, avec des courbures fortes apparaissant plus plates et des courbures faibles apparaissant plus cambrées par rapport aux cartes tangentielles. Elles sont utiles pour l'analyse des détails de la courbure centrale, mais moins adaptées à l'étude des détails périphérique[26].

Elle est particulièrement utile pour :[27]

- L'évaluation générale de la forme de la cornée
- La visualisation de l'astigmatisme régulier
- Le dépistage initial des anomalies cornéennes

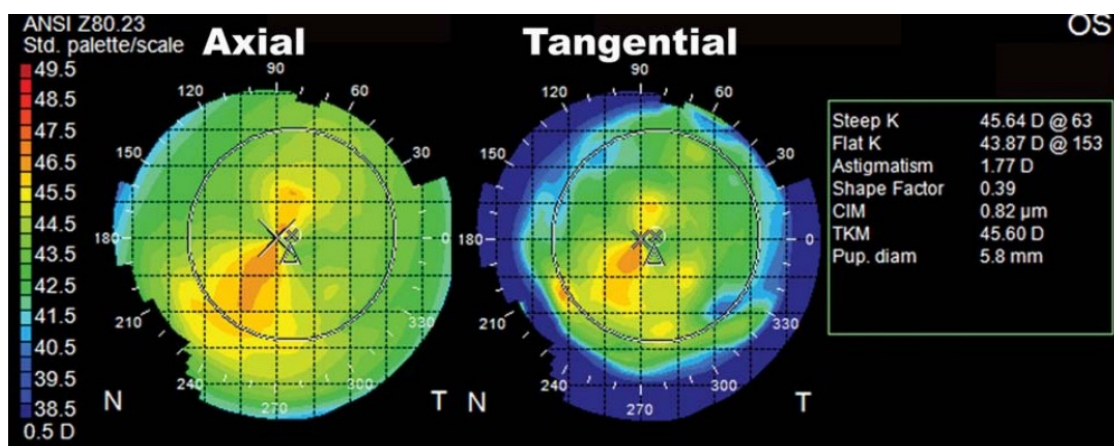


Figure III.3: Image composite représentative des anneaux de Placido d'un œil sans antécédent de chirurgie réfractive, illustrant le profil de courbure de la cornée antérieure à travers les cartes topographiques axiale et tangentielle[28]

Carte tangentielle (locale)

La carte tangentielle, offre une analyse locale plus précise et plus sensible aux irrégularités cornéennes induites par le port de lentilles de contact[24]. Cette méthode repose sur l'utilisation des rayons des cercles tangents à chaque point de la cornée, le rayon tangent étant assimilé au rayon de courbure local. Contrairement à la carte axiale, elle ne se réfère à aucun axe de référence, ce qui permet d'obtenir des mesures plus précises et plus sensibles aux faibles variations de courbure.[25] Les cartes tangentielles montrent plus de détails et de variations colorées, ce qui permet une localisation plus précise des modifications cornéennes.[29]

Elle est indiquée pour :[27]

- La détection précoce du kératocône
- L'analyse des irrégularités cornéennes
- L'évaluation du corneal warpage (empreinte cornéen)
- L'étude de l'astigmatisme irrégulier

III.4 Topographie des cornées normales

Les cornées normales ont été classées en cinq types de motifs :[30]

- Rond** : le bombement localisé inférieur est dû au ménisque lacrymal inférieur.
- Ovale**.
- Nœud papillon symétrique**.
- Nœud papillon asymétrique** : les motifs en nœud papillon sont associés à des degrés plus élevés d'astigmatisme.

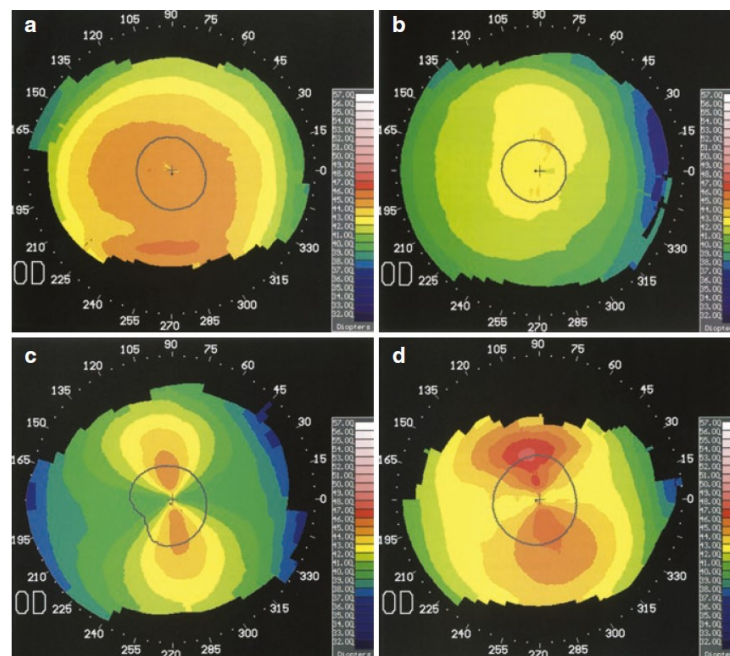


Figure III.4: Topographie des cornées normales(<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-10696-6>)

III.5 Modifications topographiques secondaires au port de lentille de contact

Le Corneal Warpage (empreinte cornéen) et l'astigmatisme induit

Le Corneal warpage désigne l'ensemble des modifications de la forme cornéenne induites par le port de lentilles de contact.[31]

Sur le plan clinique, plusieurs altérations caractéristiques peuvent être observées. Tout d'abord, le statut réfractif est modifié, avec un aplatissement de la cornée. Celui-ci peut être de type sphérique, mais il s'accompagne le plus souvent d'une augmentation notable de l'astigmatisme régulier direct (« with-the-rule »), pouvant atteindre jusqu'à 6 dioptries.[32]

Par ailleurs, une composante irrégulière est fréquemment associée, ce qui entraîne une diminution de la qualité de la vision avec correction optique, indépendamment de la précision de celle-ci.[32]

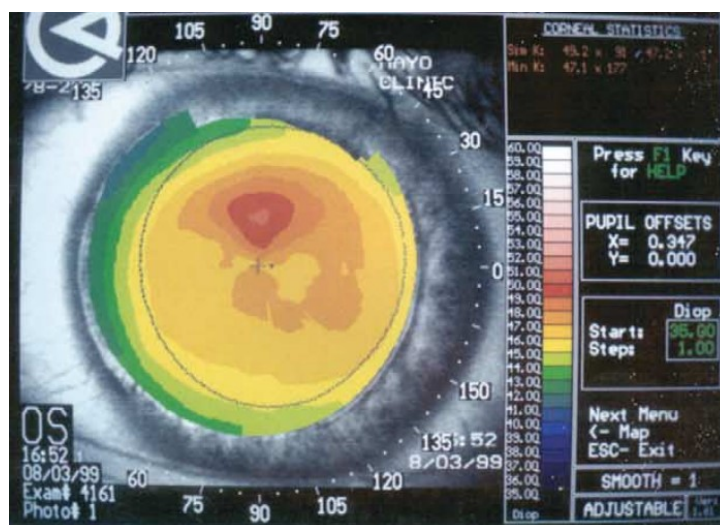


Figure III.5: Corneal Warpage induite par le port de L.C Hydrogel[33]

Le bombement de la cornée

Les lentilles souples, grâce à leur flexibilité, épousent la forme de la cornée sans exercer de pression importante. Ainsi, elles n'entraînent que des modifications cornéennes faibles, temporaires et rapidement réversibles.[34]

Une étude portant sur le port de lentilles souples pendant 8 heures a montré l'existence de modifications légères de l'épaisseur cornéenne, traduisant une réponse physiologique transitoire,

sans altération significative de la courbure cornéenne. Ces résultats confirment le caractère faible et réversible de l'impact des lentilles souples sur la forme cornéenne.[34]

L'augmentation de la kératométrie

De nombreuses études réalisées à l'aide du kératomètre ont montré des modifications de la topographie cornéenne induites par le port de lentilles de contact. Les résultats de ces études ont varié : dans certains cas, une bombement (steepening) relative de la courbure cornéenne a été observée, tandis que dans d'autres, un aplatissement (flattening) a été noté.[35]

Hill et Rengstorff [36] ont étudié les mesures kératométriques effectuées avant et après le retrait des lentilles de contact sur des yeux ayant été adaptés de manière serrée (steep fit), avec un excès de courbure allant de 0,25 à 1,50 dioptries.[2]

III.6 Les paramètres topographiques

La surface cornéenne antérieure est asphérique et est souvent modélisée comme une section conique.[37]

L'excentricité e

La variation de la courbure cornéenne du centre vers la périphérie.[38]

	e^2	$p = (1 - e^2)$	$Q = -e^2$
Hyperbole	> 1	< 0	< -1
Parabole	1	0	-1
Ellipse prolata ^a	$0 < e^2 < 1$	$0 < p < 1$	$-1 < Q < 0$
Cercle ^b	1	1	0
Ellipse oblate ^c	< 1	> 1	> 0

Tableau III.1: Valeur des paramètres e , p et Q pour chaque type de section conique[39]

Asphéricité Q

En topographie par réflexion spéculaire d'un disque de Placido, l'asphéricité cornéenne se traduit

Par une variation de ces rayons de courbure locaux mesurés du centre (apex) vers la périphérie [39].

L'asphéricité de la cornée permet d'améliorer sa qualité optique.

En général, la cornée est **prolate**, ce qui signifie qu'elle est plus cambrée au centre et plus plate en périphérie. En moyenne, selon les études réalisées dans le passé, la valeur Q d'une cornée typique est d'environ **0,26**. Cela représente une cornée prolate qui contribue légèrement [40]

Idéalement, une personne ayant une valeur Q de **0,50** présenterait une absence d'aberrations sphériques dans l'œil. Cependant, une cornée parfaitement parabolique de ce type est très rarement observée. Habituellement, la majorité des cornées ont une valeur Q comprise entre **0,2 et 0,4**. [40]

Une cornée de forme plus **oblate** est une cornée dont la valeur Q passe d'un nombre négatif à 0, puis devient positive. Dans une cornée oblate, la cornée est plus cambrée en périphérie et plus plate au centre, ce qui entraîne une augmentation des aberrations sphériques positives. [40]

Facteur de forme P

Lorsque $p < 1$ ($Q < 0$), la cornée présente une forme prolate avec un aplatissement progressif vers la périphérie. À l'inverse, lorsque $p > 1$ ($Q > 0$), la cornée adopte une forme oblate caractérisée par une augmentation de la cambrure périphérique. Le cas $p = 1$ ($Q = 0$) correspond à une surface sphérique parfaite de courbure constante. [39]

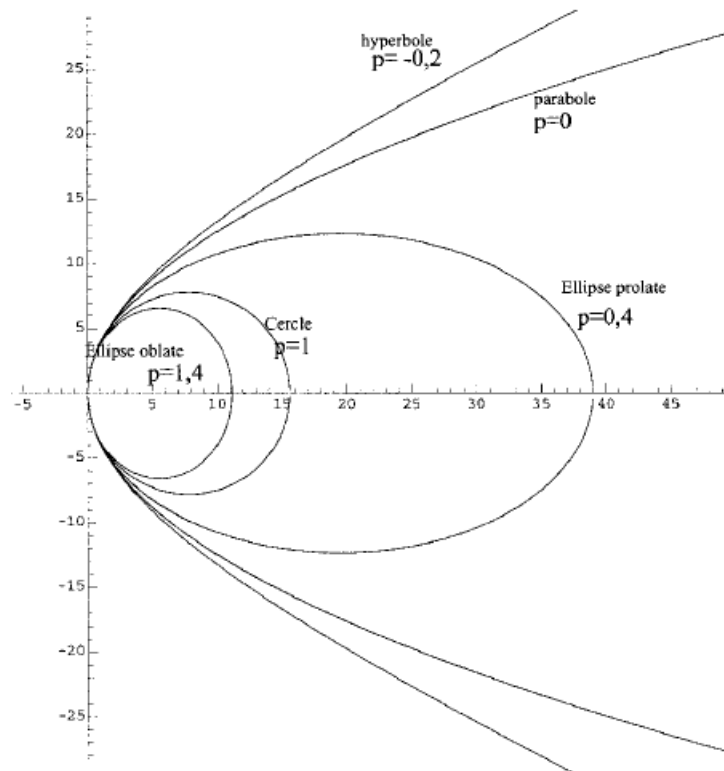


Figure III.6: Représentation dans un repère orthonormé des différentes sections coniques dont le rayon de courbure apical est constant [39]

En conclusion, La topographie cornéenne spéculaire constitue un outil essentiel pour le dépistage du corneal warpage, en permettant une analyse précise des modifications de la courbure cornéenne. Les cartes axiales offrent une vue globale des variations de courbure, tandis que les cartes tangentielles mettent en évidence les irrégularités locales, contribuant ainsi à une évaluation plus sensible des déformations cornéennes.

Chapitre IV
Approche Pratique
& Méthodologie de l'Étude

IV.1 Matériel et Méthodes

Type de l'étude

Il s'agit d'une étude prospective, comparative, observationnelle et participative réalisée au sein du laboratoire universitaire LPCMME sur 15 étudiants (30 yeux) ayant porté des lentilles de contact souples, les participants ont été répartis en deux groupes en fonction du matériau des lentilles utilisées : hydrogel et silicone hydrogel.

Population de l'étude

IV.1.1.1 Critères d'inclusion

- Sujets âgés de 18 à 25ans.
- Emmétrope.
- Amétropie sphérique ou torique.
- Absence de pathologies cornéennes préexistantes.
- Absence de pathologie général.
- Des sujets coopérants avec le port de lentilles

IV.1.1.2 Critère d'exclusion

- Antécédents de chirurgie réfractive
- Présence de pathologies oculaires
- Traitements médicamenteux pouvant affecter la surface oculaire.
- Patients non coopérants
- Astigmatisme irrégulier
- Les enfants
- Patient a risque infectieux

IV.1.1.3 Protocole expérimental

Un examen topographique cornéen initial a été réalisé à l'aide d'un topographe cornéen de type Placido (i-Optik) avant le port des lentilles de contact.

Paramètres étudiés

- Nous avons réalisé une anamnèse complète pour chaque participant afin de recueillir les informations nécessaires à l'étude. Cette étape comprenait le nom et le prénom du sujet, la date de naissance, les antécédents ophtalmologiques personnel et familiaux, les traitements médicamenteux en cours ainsi que les antécédents médicaux généraux pouvant influencer l'état de la surface oculaire ou le port des lentilles de contact.

Matériel

- 6 Lentilles de contact souples en hydrogel : Ophtalens®, teneur en eau de 38 %, remplacement annuel, diamètre de 14,0 mm, rayon de courbure de 8,60 mm et puissance sphérique de $-0,50$ D et une de -5.00
- 6 Lentilles de contact souples en silicone-hydrogel : Ophtalens®, teneur en eau de 47 %, remplacement mensuel, diamètre de 14,0 mm, rayon de courbure de 8,60 mm et puissance sphérique de $-0,50$ D et une de -5.00
- Topographe cornéen utilisé pour l'évaluation et l'analyse des paramètres topographiques cornéens.
Solution d'entretien : Opti-Lens®, utilisée pour le nettoyage, la désinfection et la conservation des lentilles de contact.
- Solution d'entretien multifonction de marque ESO.
- Gel désinfectant.

Méthode

- Tous les participants ont bénéficié d'un examen à la lampe à fente avant le port de la lentille de contact afin de détecter toute pathologie oculaire : infection, sécheresse.....
- Une première analyse cornéenne topographique sans lentille de contact a été réalisée.
- Mise en place des lentilles qui sont fourni par le laboratoire après l'entretien des lentilles (Hydrogel et Silicone Hydrogel), et désinfection des mains.

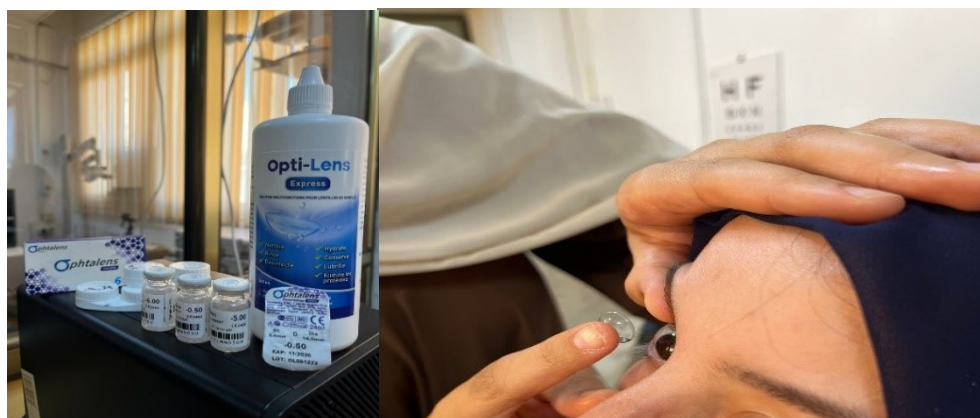


Figure IV.1: Les lentilles de contact souples : pose, matériaux (hydrogel et silicone-hydrogel) et produit d'entretien (Photo de l'auteur à LPCMME)

- Un port de LC de 30 minutes a été établi chez tous les candidats. Avec une LC hydrogel sur l'œil OD et LC silicone hydrogel sur l'œil gauche
- Une 2eme mesure topographique a été réalisée juste après le retrait de la lentille.
- Une troisième mesure topographie a ensuite été réalisée après 30 min d'enlèvement de la lentille.



Figure IV.2: Mesure topographique (Photo de l'auteur à LPCMME)

IV.2 Recueil des données

- Nous avons consigné l'ensemble des données cliniques et topographiques dans une fiche de recueil prévue conçue à cet effet.

Cette fiche comprenait les informations relatives au sujet et à l'examen (type et puissance de lentille utilisée), la présence ou l'absence d'une empreinte cornéenne ainsi que sa localisation, les valeurs kératométriques avant et après le port des lentilles de contact.

- | | |
|---------------|---------------------|
| -K1 | -Excentricité e |
| -K2 | -Asphéricité Q |
| -Km | -Facteur de forme P |
| -Astigmatisme | |
| -Axe | |

FICHE DE RECUEIL DES DONNÉES

1. Identification du patient:

- Nom et prénom:
- Code patient:
- Date:
- Age: ans
- Sexe: ☐ Homme ☐ Femme
- ATCD ophtalmologique:
- ATCD Générale:

Optique : OD : OG :

Contactologie : Port de la lentille : ☐Oui ☐Non

Type de renouvellement : ☐ Conventiionnelle ☐ Mensuelle ☐ Journalière

Médicaux : ☐ Oui ☐ Non

Sécheresse oculaire : ☐ Oui ☐ Non

Chirurgicaux : Noter tout acte chirurgical

2. Lentilles portées :

OD :

OG:

Matériau :

Matériau :

- ☐ LSHH hydrogel
- ☐ LSHH silicone hydrogel

- ☐ LSHH hydrogel
☐ LSHH silicone hydrogel

Puissance:

Puissance:

Durée du port : - ☐ 30 min - ☐ 1 heure - ☐ 5 heures

3.Examen réalisé :

Topographie cornéenne :

☐ Placido ☐ Scheimpflug

- **Kératométrie** : (avant le port de la L.C)

OD:

K1: mm

K2: mm

Km: mm

OG:

K1: mmK2: mmKm: mm

Astigmatisme : ☐ DAxe : ☐ °e : ☐ Q : ☐ P : ☐ KPI : ☐

- Aspect cornéen :

OD :

☐ Normal☐ Astigmatisme régulier☐ Astigmatisme irrégulier☐ Kératocône suspect☐ Kératocône avéréAstigmatisme : ☐ DAxe : ☐ °e : ☐ Q : ☐ P : ☐ KPI : ☐

OG :

☐ Normal☐ Astigmatisme régulier☐ Astigmatisme irrégulier☐ Kératocône suspect☐ Kératocône avéré

Type de carte utilisée :

OD :

☐ Carte axiale☐ Carte tangentielle

OG :

☐ Carte axiale☐ Carte tangentielle

4. Empreinte cornéenne :

OD :

☐ Présence☐ Absence d'empreinte

- Localisation :

☐ Centrale ☐ Inférieure ☐ Périphérique

- Intensité ☐ Légère ☐ Modérée

OG :

☐ Présence☐ Absence d'empreinte

- Localisation :

☐ Centrale ☐ Inférieure ☐ Périphérique

- Intensité ☐ Légère ☐ Modéré

- Kératométrie après le port de la lentille : (30 min)

OD :

K1 : ☐ mmK2 : ☐ mmKm : ☐ mmAstigmatisme : ☐ D

OG :

K1 : ☐ mmK2 : ☐ mmKm : ☐ mmAstigmatisme : ☐ D

Axe : ☐ °

e : ☐

Q : ☐

P : ☐

KPI : ☐

• Kératométrie après 30 min : (sans L.C)

OD :

K1 : ☐ mm

K2 : ☐ mm

Km : ☐ mm

Astigmatisme : ☐ D

Axe : ☐ °

e : ☐

Q : ☐

P : ☐

KPI : ☐

Axe : ☐

e : ☐

Q : ☐

P : ☐

KPI : ☐

OG :

K1 : ☐ mm

K2 : ☐ mm

Km : ☐ mm

Astigmatisme : ☐ D

Axe : ☐ °

e : ☐

Q : ☐

P : ☐

KPI : ☐

IV.3 Résultats

Toutes les données rapportées dans cette section ont été obtenues à partir de lentilles de contact souples correctement adaptées, n'ayant induit aucun signe physiopathologique décelable à l'examen à la lampe à fente initial. Les sujets présentant une sécheresse oculaire, une suspicion d'infection, une inflammation ou toute autre anomalie susceptible d'influencer les paramètres cornéens ont été exclus de l'étude.

Notre échantillon était constitué de 15 étudiants (30 yeux), d'un âge moyen de 23 ± 2 ans (graphe 1) avec une dominance féminine de 69.2% (graphe 2). Les yeux ont été répartis en deux groupes selon le matériau des lentilles portées : 15 yeux portaient des lentilles en hydrogel (par convention les yeux droits) et 15 yeux des lentilles en silicone hydrogel (les yeux gauches).

Aucune anomalie topographique n'a été détectée lors de la mesure initiale. Après le port des lentilles de contact, une modification topographique caractérisée par l'apparition d'une empreinte cornéenne a été observée. L'analyse statistique a mis en évidence une différence non significative entre les mesures réalisées avant et après le port des lentilles ($p \geq 0,05$). La présence de l'empreinte cornéenne a été observée chez 100% des yeux du groupe (1) hydrogel et chez 99 % des yeux du groupe (2) silicone hydrogel. La localisation et l'intensité de l'empreinte cornéenne se sont révélées variables en fonction du matériau lenticulaire utilisé.

Les résultats montrent une prédominance des empreintes cornéennes de faible intensité chez les porteurs de lentilles en silicone hydrogel (S.HYD). En effet, 69,23 % des cas observés dans ce groupe présentaient une empreinte légère, contre seulement 36,7 % chez les porteurs de lentilles en hydrogel conventionnel (HYD). Par ailleurs, aucune empreinte classée comme modérée n'a été enregistrée dans le groupe S.HYD, les cas restants étant limités à une intensité moyenne « médium ».

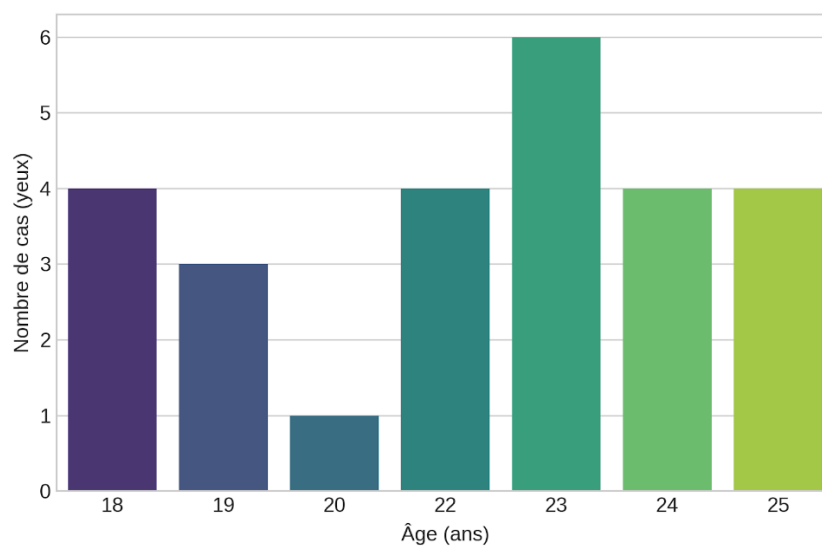
À l'inverse, les lentilles en hydrogel conventionnel étaient associées à des empreintes cornéennes plus marquées. Les empreintes de sévérité moyenne à modérée représentaient au total 64,3 % des observations, dont 35,7 % de cas modérés et 28,6 % de cas de niveau moyen (graphe 5). Ces résultats suggèrent que les lentilles en hydrogel classique exercent un impact plus important sur la surface cornéenne que les lentilles en silicone hydrogel.

Dans le groupe HYD, l'empreinte est principalement centrale (50 %), tandis que les zones paracentrale et périphérique représentent chacune 25 %. Dans le groupe S.HYD, la répartition est plus homogène : 40 % centrale, 30 % para- Centrale et 30 % périphérique (graphe 4).

Concernant la récupération cornéenne après le retrait des lentilles, l'évaluation réalisée 30 minutes après leur dépose a montré que la majorité des yeux retrouvaient un aspect topographique proche de celui observé avant le port des lentilles. Cependant, certains sujets présentaient encore des modifications résiduelles traduisant la persistance partielle de l'empreinte cornéenne.

IV.4 Répartition des résultats

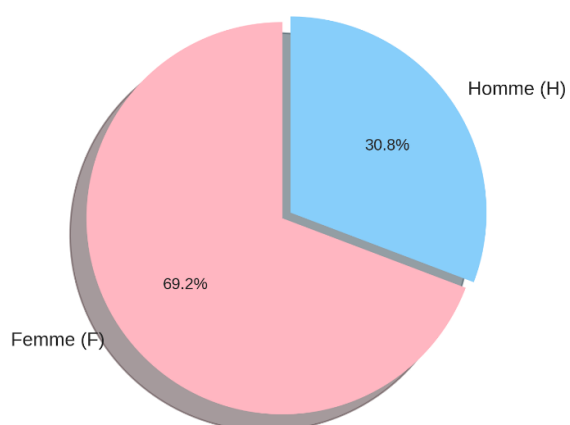
Selon Age



Graphe IV-1: Répartition des participants selon l'âge

Selon le Sexe

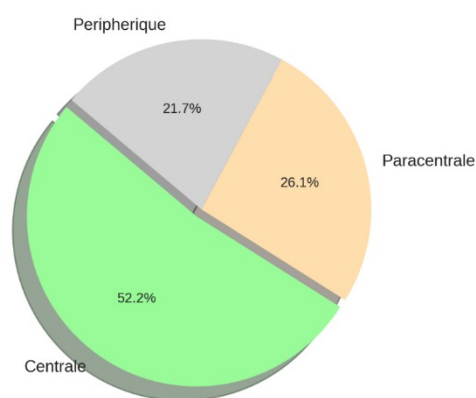
Le graphique montre une dominance de la population féminine au sein de l'échantillon d'étude.



Graphe IV-2: Répartition selon le sexe

Selon la zone de l'empreinte

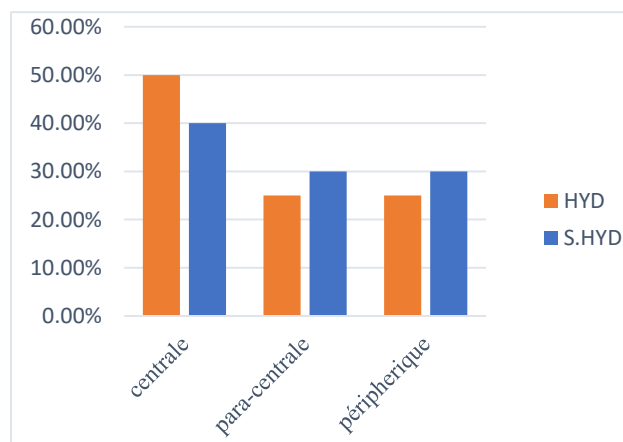
➤ Pour les 2 types de LC



Graphique IV-3: Répartition selon la zone de l'empreinte cornéenne

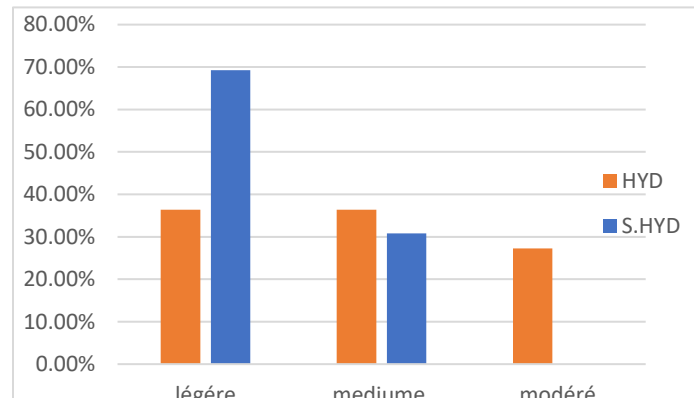
- **Centrale** : 15.66 cas (52,2 %)
- **Paracentrale** : 7.83 cas (26,1 %)
- **Périphérique** : 6.51 cas (21,7 %)

4. Selon le type de matériau :



Graphique IV-4: Répartition selon la localisation d'empreinte

Selon l'intensité de l'empreinte

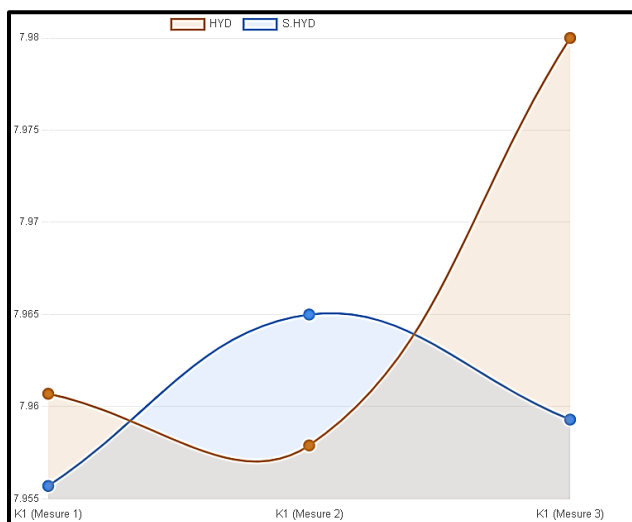


Graphe IV-5: Répartition selon l'intensité d'empreinte

L'analyse comparative des données met en évidence une différence hautement significative entre le comportement des deux matériaux vis-à-vis de la surface cornéenne

Les graphes et les tableaux

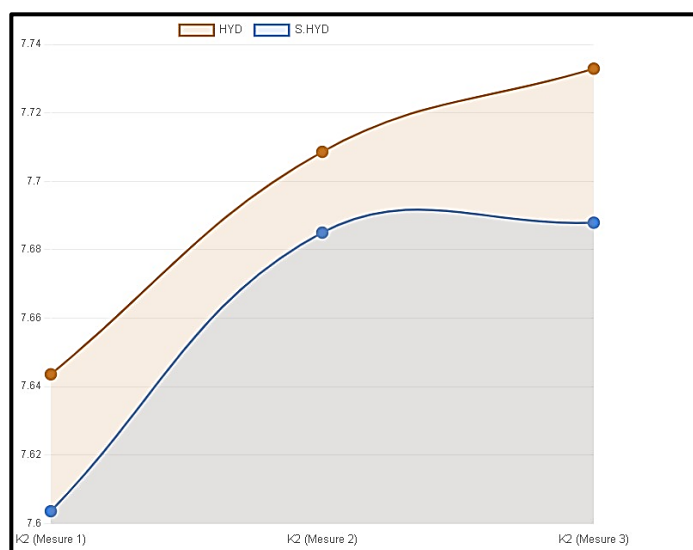
Les graphiques ci-dessous présentent l'évolution des indices topographiques (K1, K2, KPI, e, p, Q) mesurés à trois reprises sur deux types de lentilles (HYD et S.HYD). Chaque graphique illustre la moyenne des valeurs pour chaque groupe aux trois mesures. (Par l'utilisation de SPSS)



Graphe IV-6: K1 en fonction de 3 mesures

Type	Mesure	Moyenne K1
Hydrogel	1	7,961
	2	7,958
	3	7,980
Silicone Hydrogel	1	7,952
	2	7,965
	3	7,959

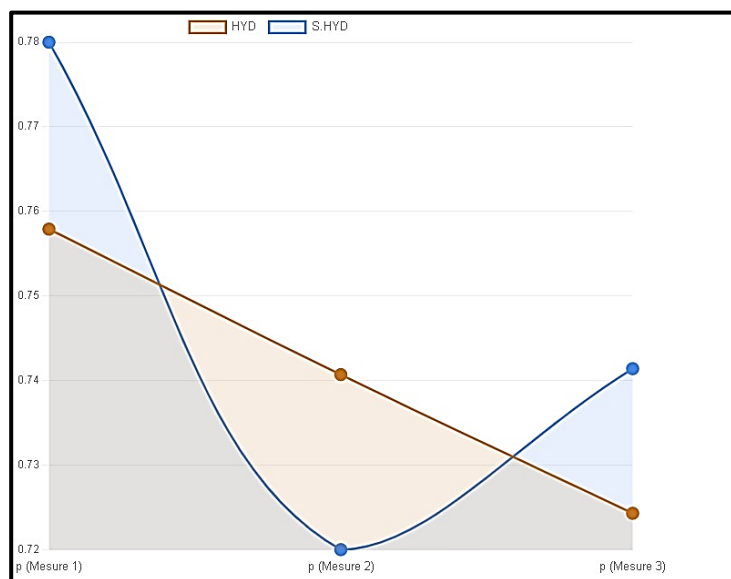
Tableau IV.1: La moyenne de chaque matériau pendant 3 mesures



Graphe IV-7 : K2 en fonction de 3 mesures

Type	Mesure	Moyenne K2
Hydrogel	1	7,644
	2	7,709
	3	7,733
Silicone hydrogel	1	7,604
	2	7,685
	3	7,688

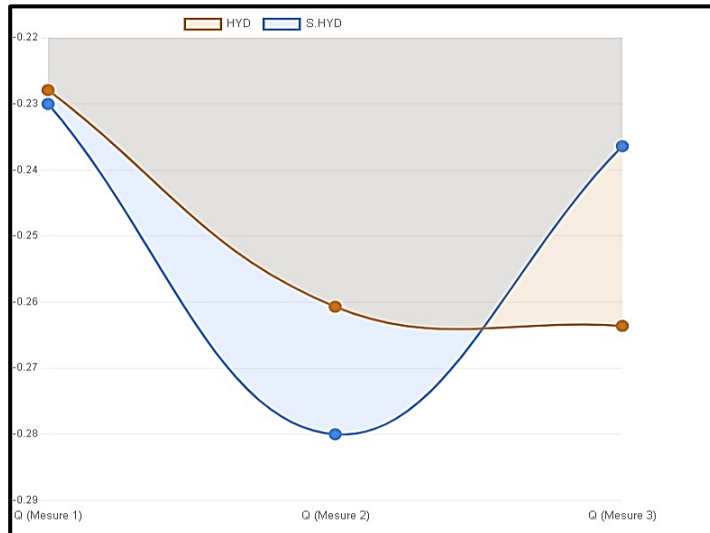
Tableau IV.2: La moyenne de chaque matériau pendant 3 mesures



Graphe IV-8: P en fonction de 3 mesures

Type	Mesure	Moyenne P
Hydrogel	1	0,758
	2	0,741
	3	0,724
Silicone hydrogel	1	0,780
	2	0,720
	3	0,741

Tableau IV.3: La moyenne de chaque matériau pendant 3 mesures

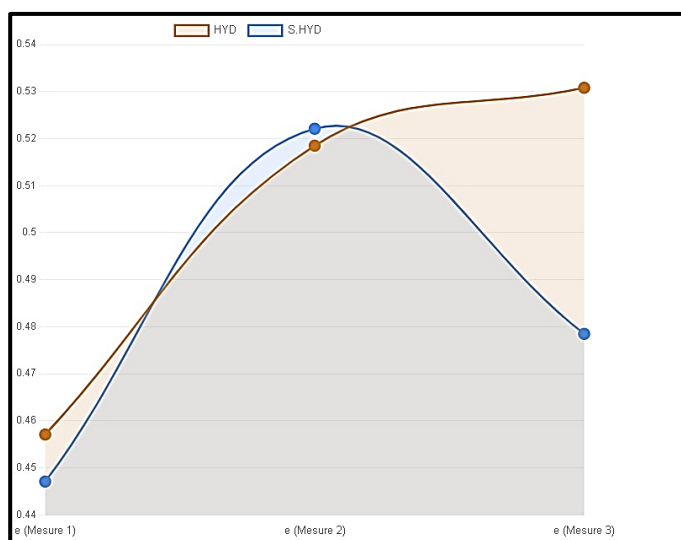


Graphe IV-9: Q en fonction de 3 mesures

Type	Mesure	Moyenne Q
Hydrogel	1	-0,228
	2	-0,261
	3	-0,264
Silicone hydrogel	1	-0,230
	2	-0,280
	3	-0,236

Tableau IV.4: La moyenne de chaque matériau pendant 3 mesures

- Dans le groupe HYD, le facteur Q tend vers des valeurs négatives croissantes (accentuation de la forme prolate : $-0,228 \rightarrow -0,264$), pour la comparaison M1 vs M2 présente néanmoins une tendance cliniquement observable à l'augmentation de l'asphéricité cornéenne au fil du temps.
- Le groupe S.HYD présente une augmentation statistiquement significative de l'asphéricité cornéenne entre M1 ($-0,2300$) et M2 ($-0,2800$). Cette accentuation de la prolatité cornéenne est cohérente avec les modifications observées pour les paramètres e et p dans le même groupe. Le retour aux valeurs proches de la Baseline en M3 ($-0,236$) confirme le caractère transitoire de cette modification



Graphe IV-10: e en fonction de 3 mesures

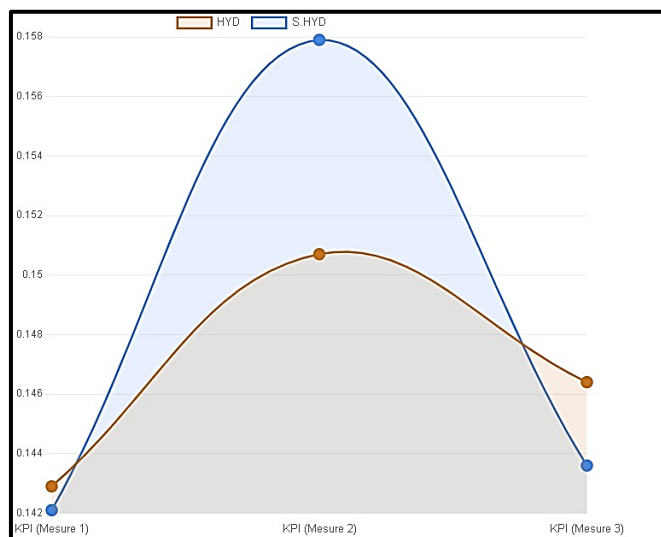
Type	Mesure	Moyenne e
Hydrogel	1	0,482
	2	0,518
	3	0,531
Silicone hydrogel	1	0,455
	2	0,523
	3	0,478

Tableau IV.5: La moyenne de chaque matériau pendant 3 mesures

Les deux matériaux entraînent une augmentation de l'excentricité (valeur e) entre M1 et M2, indiquant que la cornée devient plus asphérique (plus aplatie en périphérie), ce qui est le comportement typique attendu lors du port de lentilles souples.

À M3, les profils divergent :

- HYD continue d'augmenter $\rightarrow e \approx 0,531$ (cornée toujours plus oblate/asphérique)
- S.HYD redescend $\rightarrow e \approx 0,478$: la cornée tend à retourner à une forme plus proche de la normale (état initial),



Graph IV-11: KPI en fonction de 3 mesures

Type	Mesure	Moyenne KPI
Hydrogel	1	0,143
	2	0,151
	3	0,146
Silicone hydrogel	1	0,142
	2	0,158
	3	0,144

Tableau IV.6: La moyenne de chaque matériau pendant 3 mesures

IV.5 Présentation des cas cliniques :

CAS n°01 :

Une étudiante âgée de 20 ans.

Avec une correction optimale : OD : pl OG : pl (-0.50)75°

- Œil droit (OD) : Port d'une lentille souple hydrogel sphérique de puissance -0,50 D
- Œil gauche (OG) : Port d'une lentille souple silicone hydrogel sphérique de puissance -0,50 D

*IV.5.1.1 Mesure 1***OD:**

K1: 8.28mm

K2: 8.28 mm

e: 0.38

Q: -0.28

P: 0.72

KPI :0.14

OG:

K1: 8.31

K2 :8.25

e :0.60

Q: -0.37

P :0.63

KPI:0.14

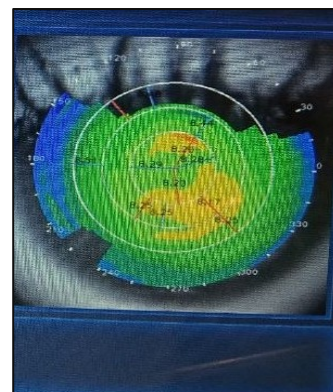


Figure IV.3: Topographie du patient avant le port de lentille OD et OG (Photo de l'auteur à LPCMME)

IV.5.1.2 Mesure 2

K1 :8.34 mm

K2 : 8.25mm

e: 0.63

Q : -0.4

P : 0.6

KPI : 0.14

K1 :8.45

K2 : 8.39

e:0.57

Q : -0.33

P : 0.67

KPI : 0.2

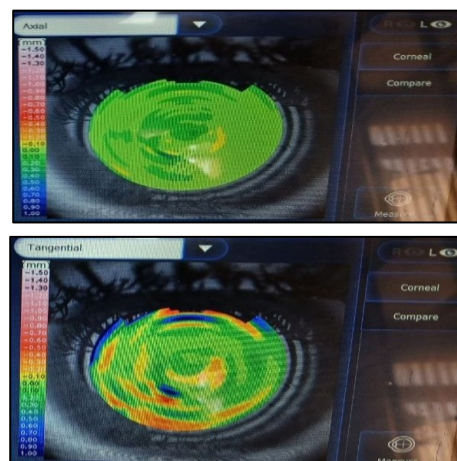
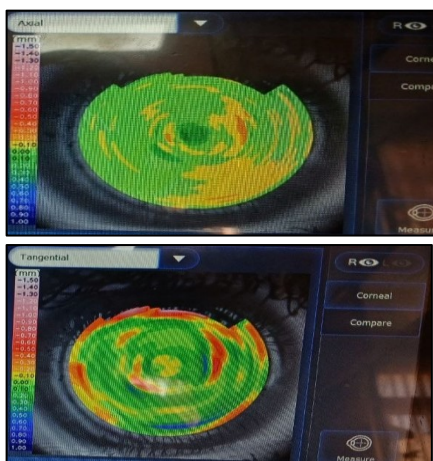


Figure IV.4: Carte axiale et tangentielle de L'OD et OG (Photo de l'auteur à LPCMME)

Mesure 3 :**OD:**

K1: 8.36 mm

K2: 8.29mm

e :0.65

Q: -0.42

P :0.58

KPI: 0.13

OG:

K1: 8.3 mm

K2: 8.24 mm

e :0.63

Q: -0.4

P: 0.6

KPI: 0.14

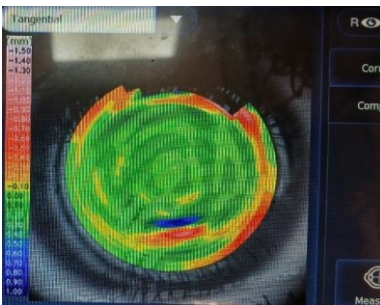
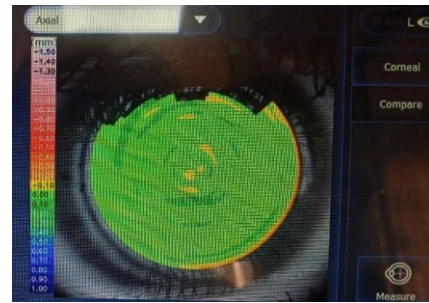


Figure IV.5: Carte axiale et tangentielle après 30 min d'enlèvement les lentilles

CAS n°02 :

Un étudiant emmétrope âgé de 21 ans.

- Œil droit (OD) : Port d'une lentille souple silicone hydrogel sphérique de puissance -0,50 D
- Œil gauche (OG) : Port d'une lentille souple hydrogel sphérique de puissance -0,50 D



Figure IV.6:: Carte axiale du patient de l'OD et OG (photo de l'auteur à LPCMME)

CAS n°03

Une étudiante âgée de 18 ans, présentant un astigmatisme bilatéral, Sa correction optimal est la suivante : ODG : $-0.25(-0.50)83^\circ$

- Œil droit (OD) : Port de LC hydrogel sphérique de puissance $-0,50$ D
- Œil gauche (OG) : Port de LC souple silicone hydrogel sphérique de puissance $-0,50$

IV.5.1.3 Mesure 1

OD :

K1: 8.08 mm
K2: 7.65 mm
e: 0.58
Q: -0.34
P: 0.66
KPI: 0.13

OG :

K1: 8.04mm
K2: 7.75 mm
e: 0.55
Q: -0.30
P: 0.70
KPI: 0.14



Figure IV.7: Topography avant le port des lentilles (Photo de l'auteur à LPCMME)

IV.5.1.4 Mesure 2

K1 : 8.02 mm

K2 : 7.62mm

e : 0.42

Q : -0.17

P : 0.83

KPI : 0.14

K1 : 8.08 mm

K2 : 7.65 mm

e : 0.66

Q : -0.34

P : 0.66

KPI : 0.20

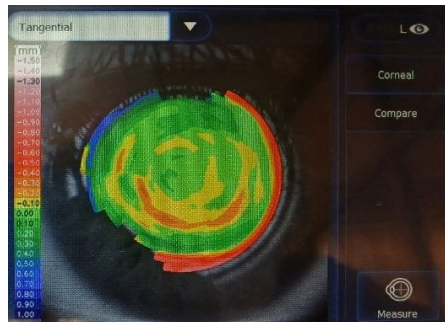
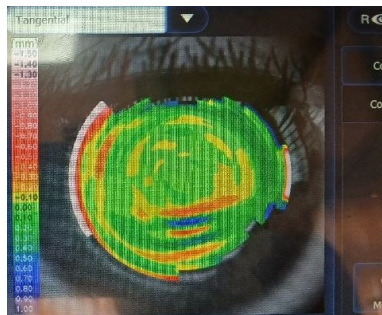
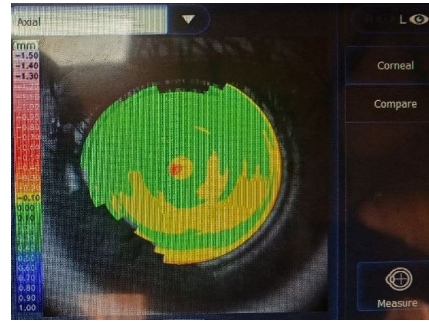


Figure IV.8: Carte axiale et tangentielle de L'OD et OG (Photo de l'auteur à LPCMME)

CAS n°04 :

Une étudiante âgée de 23 ans, présentant un astigmatisme bilatéral, Sa correction optimal est la suivante : OD : -3.50(-2.75) 180° OG : -3.75(-2.75) 7°

- Œil droit (OD) : Port d'une lentille souple hydrogel sphérique de puissance -5.00 D
- Œil gauche (OG) : Port d'une lentille souple silicone hydrogel sphérique de puissance -5.00 D

*IV.5.1.5 Mesure 1 :***OD :**

K1: 8.19 mm
 K2 : 7.67 mm
 e : 0.57
 Q : -0.33
 P: 0.64
 KPI: 0.13

OG :

K1: 8.26 mm
 K2 : 7.73 mm
 e : 0.54
 Q : -0.29
 P: 0.71
 KPI: 0.13

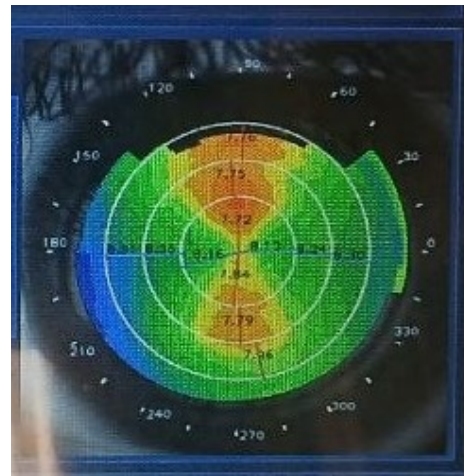
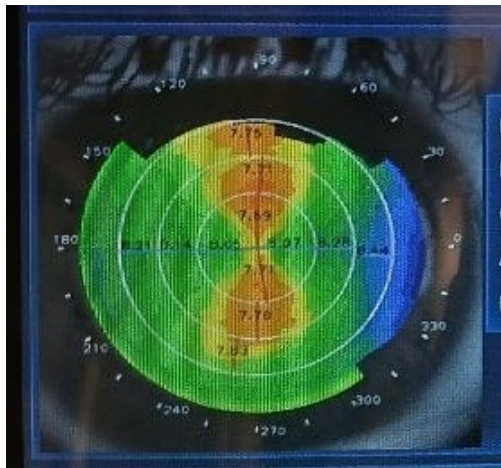


Figure IV.9: Topography avant le port des lentilles de contact (Photo de l'auteur à LPCMME)

*IV.5.1.6 Mesure 2 :***OD :**

K1: 8.24 mm
 K2: 7.71 mm
 e: 0.57
 Q: -0.32
 P: 0.68
 KPI: 0.16

OG :

K1: 8.25 mm
 K2: 7.75 mm
 e: 0.56
 Q: -0.31
 P: 0.69
 KPI: 0.14

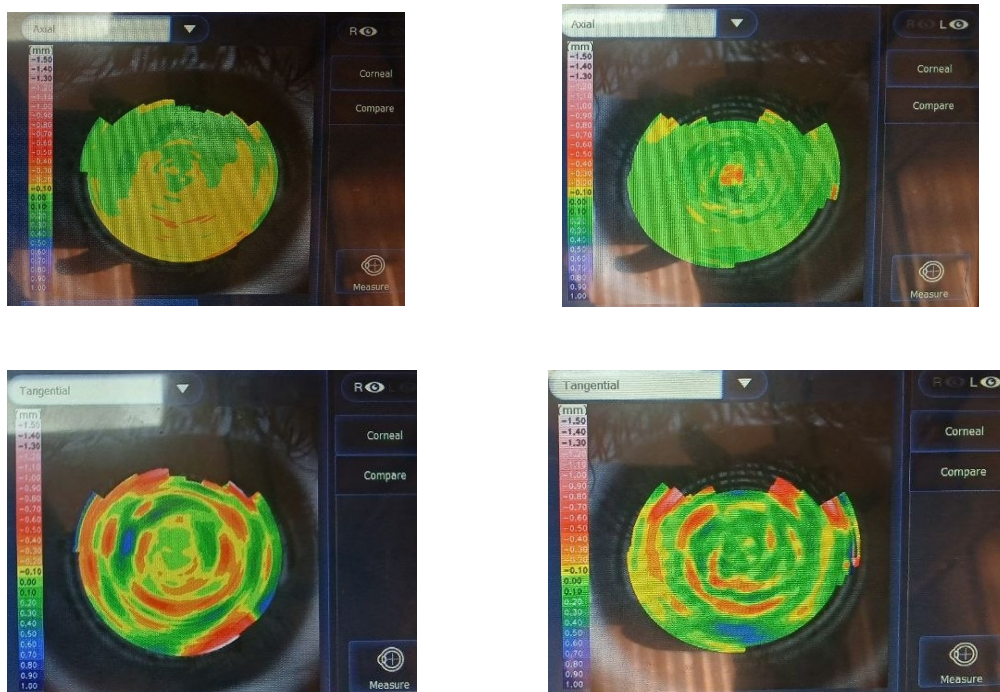


Figure IV.10: Carte axiale et tangentielle après 30 min du port (Photo de l'auteur à LPCMME)

IV.6 Les valeurs descriptives

Ces résultats représentent la moyenne et l'écart types de deux matériaux Hyd et S.Hyd

Mesure 1						
Les valeurs	K1	K2	KPI	e	P	Q
La moyenne	7.975	7.7	0.14	0.47	0.75	-0.235
L'écart type	0.37239	0.421252	0.012656	0.1432	0.129023	0.120718
Valeur minimum	7.06	6.8	0.13	0.14	0.53	-0.47
Valeur maximum	8.55	8.28	0.18	0.68	0.98	-0.02

Mesure 2						
Les valeurs	K1	K2	e	P	Q	KPI
La moyenne	7.985	7.75	0.51	0.74	-0.26	0.145
L'écart type	0.376806	0.36828	0.090659	0.105074	0.105286	0.024103
Valeur minimum	7.09	6.91	0.36	0.51	-0.49	0.12
Valeur maximum	8.5	8.39	0.7	0.97	-0.03	0.22
Mesure 3						
Les valeurs	K1	K2	e	P	Q	KPI
La moyenne	7.979	7.78	0.52	0.725	-0.235	0.14
L'écart type	0.419554	0.439777	0.170631	0.134519	0.13784	0.015753
Valeur minimum	7.13	6.83	-0.05	0.4	-0.6	0.12
Valeur maximum	8.91	8.76	0.77	1	0	0.18

Tableau IV.7: la moyenne et l'écart types de deux matériaux Hyd et S.Hyd pour chaque mesure

IV.7 Discussion

La localisation centrale a été retrouvée de 50 % pour le groupe HYD est en accord avec Wilson et al. (1990) [41] qui ont rapporté que les principales manifestations topographiques du corneal warpage incluaient une altération de la géométrie cornéenne centrale.

La sévérité plus importante des empreintes cornéennes observée dans le groupe HYD par rapport au groupe S.HYD est cohérente avec les travaux de Deborah F. Sweeney[42] qui ont montré que les lentilles en silicone hydrogel assurent une meilleure oxygénation cornéenne et sont associées à une réduction des complications liées à l'hypoxie, limitant ainsi l'apparition de modifications cornéennes sévères.

L'analyse de K1 dans notre étude révèle des profils d'évolution distincts selon le matériau utilisé. Pour la lentille en hydrogel (HYD), on observe une légère diminution entre la mesure 1 (M1) et la mesure 2 (M2), suivi d'une augmentation significative à la mesure 3 (M3). Pour la lentille en silicone hydrogel (S.HYD), la courbe présente un profil inverse : une augmentation progressive entre M1 et M2 avec une valeur maximale de $\sim 7,965$ mm), puis une réversibilité à l'état initial vers M3. En ce qui concerne K2, les deux matériaux présentent une tendance commune : une augmentation progressive du rayon de courbure sur l'ensemble des trois mesures.

Ces résultats peuvent être rapprochés de ceux rapportés dans l'étude Amir M Moezz et al. (2004)[43] Les auteurs ont montré que le port de lentilles souples journalières pouvait induire des modifications mesurables de la courbure cornéenne. Les lentilles hydrogel à bas Dk/t induisent un steepening de la cornée. En revanche, les lentilles silicone-hydrogel à haut Dk/t, bien qu'elles réduisent les complications hypoxiques, peuvent provoquer un aplatissement de la cornée.

On a trouvé que HYD présente une tendance à la diminution du facteur p au fil des mesures ($0,7579 \rightarrow 0,7243$), cohérente avec l'augmentation d'excentricité observée (p et e étant inversement liés).

Dans le groupe S.HYD P et Q va retourner aux valeurs proches de la Baseline en M3.

Francisco Alba-Bueno et al[44] démontre dans leur étude que les lentilles hydrogel induisent des modifications progressives et persistantes de l'asphéricité cornéenne (p et Q), compatibles avec un remodelage lent d'origine hypoxique et mécanique. À l'inverse, les lentilles en silicone-hydrogel provoquent des déformations plus rapides mais largement réversibles.

« Aucune étude accessible n'a évalué les modifications du KPI induites par le port de lentilles de contact. »

Discussion des cas

IV.7.1.1 Concernant le premier cas

Dans la 2 -ème mesure la carte axiale de l'œil droit montre un profil topographique compatible avec une empreinte d'une lentille en hydrogel, caractérisé par un aplatissement central relatif lié à un appui central de la lentille. À l'inverse, l'œil gauche présente une topographie plus homogène

La carte tangentielle de l'œil droit met en évidence une topographie avec des transitions colorimétriques plus progressives, bien que de légères déformations périphériques compatible avec un warpage cornéen. En comparaison, l'œil gauche présente une organisation topographique bien marqué.

IV.7.1.2 Le deuxième cas

Aucune zone significative de bombement ou d'aplatissement anormal n'a été observée. Ces résultats suggèrent une absence d'empreinte cornéenne induite par le port des LC, témoignant d'une bonne stabilité morphologique et topographique de la cornée dans ce cas.

IV.7.1.3 Le troisième cas :

Dans ce cas le warpage cornéen est présent de manière bilatérale, mais il apparaît plus important à l'œil droit qu'à l'œil gauche.

IV.7.1.4 Le quatrième cas :

Les cartes topographiques axiales et tangentielles montrent des modifications cornéennes bilatérales compatibles avec une warpage induit par le port de lentilles en HYD et S-HYD de forte puissance. Ces altérations étaient plus marquées au niveau de l'OD avec une intensité supérieure à celle dans tous les cas

Dans tous les cas étudiés, un repos de 30 minutes a permis à la cornée de retourner un aspect topographique similaire à celui de l'état basal, indiquant le caractère réversible du warpage cornéen observé.

A. Lloyd McKernan et al ont été proposé que ces modifications puissent s'expliquer par un amincissement cornéen associé à l'hypoxie chez les porteurs de lentilles en hydrogel à faible transmissibilité à l'oxygène (faible DK/t).[45]

Selon les 3 mesures :

- Les valeurs moyennes de K1 augmentent légèrement au cours des trois mesures, passant de 7.975 mm lors de la première mesure à 7.985 mm dans la deuxième puis 7.979 mm dans la troisième mesure. Une tendance similaire est observée pour K2, avec des valeurs moyennes de 7.70 mm, 7.75 mm puis 7.78 mm respectivement. Cette faible variation des kératométries suggère une relative stabilité de la courbure cornéenne centrale dans notre échantillon

- Concernant le KPI, une modification minimale est observée entre les trois mesures, avec des moyennes de 0.14, 0.145 et 0.14 respectivement.
- L'excentricité moyenne (e) montre également une légère augmentation entre les mesures, passant de 0.47 dans la première mesure à 0.51 dans la deuxième puis 0.52 dans la troisième mesure.
- Les valeurs négatives de Q confirment le maintien d'un profil cornéen prolé, caractérisé par une cornée plus cambrée au centre et plus plate en périphérie. Toutefois, les variations observées entre les trois mesures pourraient refléter une modification légère de l'asphéricité cornéenne liée au port des lentilles avec une réversibilité vers l'état initial.

IV.8 Limite de l'étude

Malgré l'intérêt des résultats obtenus, cette étude présente certaines limites méthodologiques qui doivent être prises en considération lors de l'interprétation des données. Ces limites peuvent influencer la portée des conclusions et la généralisation des résultats.

- **Disponibilité restreinte des lentilles de contact :** Le nombre limité des lentilles disponibles au cours de l'étude.
- **Accès limité au topographe cornéen :** L'utilisation du topographe cornéen a été limitée en raison de son partage avec d'autres étudiants et projets de recherche, ce qui a réduit les plages horaires disponibles pour la réalisation des examens topographiques.
- **Taille d'échantillons :** Certains participants se sont montrés peu disposés à rester au laboratoire pendant toute la durée requise par le protocole d'étude, notamment au-delà d'une heure, ce qui a parfois compliqué la réalisation complète des mesures prévues.

Conclusion :

La présente étude avait pour objectif d'évaluer l'empreinte cornéenne induite par le port de lentilles de contact souples et d'analyser ses caractéristiques en fonction du matériau des lentilles. Les résultats obtenus montrent que cette empreinte peut se manifester à différents niveaux d'intensité et selon des localisations variables sur la surface cornéenne. Ces observations confirment que le port de lentilles de contact influence la morphologie cornéenne, même après leur retrait.

La comparaison entre les lentilles Hydrogel et Silicone Hydrogel met en évidence une tendance à des modifications cornéennes moins marquées chez les porteurs de lentilles S.HYD.

Cette différence peut être expliquée par leur transmissibilité à l'oxygène (Dk/t) plus élevée. En assurant un meilleur apport en oxygène à la cornée, les lentilles Silicone Hydrogel réduisent les phénomènes d'hypoxie cornéenne, préservent davantage l'intégrité de l'épithélium et limitent ainsi les déformations ou les empreintes structurelles induites par le port des lentilles.

Par ailleurs, les résultats soulignent l'importance de prendre en considération ces modifications lors des examens cliniques. Le délai de 30 minutes après le retrait des lentilles peut ne pas être suffisant pour permettre à la cornée de retrouver complètement sa forme initiale, ce qui peut influencer certaines mesures optiques et topographiques.

Enfin, l'utilisation du topographe cornéen à disque de Placido s'est révélée utile pour détecter et analyser les modifications de la surface cornéenne liées au port de lentilles. Cette évaluation est particulièrement importante pour l'identification du corneal warpage, caractérisé par une altération temporaire de la forme cornéenne pouvant entraîner des variations topographiques et réfractives. Une bonne compréhension de ce phénomène permet d'améliorer l'interprétation des examens cornéens et d'optimiser la prise en charge des porteurs de lentilles de contact.

Références bibliographiques:

- [1] J. Hartstein, "Corneal warping due to wearing of corneal contact lenses. A report of 12 cases," *Am. J. Ophthalmol.*, vol. 60, no. 6, pp. 1103–1104, Dec. 1965.
- [2] P. A. Asbell and D. Wasserman, "Contact Lens-Induced Corneal Warpage," *Int. Ophthalmol. Clin.*, 1991, doi: 10.1097/00004397-199103120-00013.
- [3] I. Arranz, M. J. Gonzalez-Garcia, D. J. Galarreta, A. B. Cisneros, M. Calonge, and J. M. Herreras, "Low Water Content Hydrogel Contact Lenses (HCL) Induce Corneal Irregularity," *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, vol. 44, no. 13, pp. 3701–3701, May 2003.
- [4] M. S. Sridhar, "Anatomy of cornea and ocular surface," *Indian J. Ophthalmol.*, vol. 66, no. 2, 2018, [Online]. Available: https://journals.lww.com/ijo/fulltext/2018/66020/anatomy_of_cornea_and_ocular_surface.4.aspx
- [5] D. W. DelMonte and T. Kim, "Anatomy and physiology of the cornea," *J. Cataract Refract. Surg.*, vol. 37, no. 3, 2011, [Online]. Available: https://journals.lww.com/jcrs/fulltext/2011/03000/anatomy_and_physiology_of_the_cornea.24.aspx
- [6] S. Feizi, M. R. Jafarinasab, F. Karimian, H. Hasanpour, and A. Masudi, "Central and Peripheral Corneal Thickness Measurement in Normal and Keratoconic Eyes Using Three Corneal Pachymeters," *J. Ophthalmic Vis. Res.*, vol. 9, no. 3, pp. 296–304, 2014, doi: 10.4103/2008-322X.143356.
- [7] U. Fares, A. M. Otri, M. A. Al-Aqaba, and H. S. Dua, "Correlation of central and peripheral corneal thickness in healthy corneas," *Contact Lens Anterior Eye*, vol. 35, no. 1, pp. 39–45, Feb. 2012, doi: 10.1016/j.clae.2011.07.004.
- [8] D. W. DelMonte and T. Kim, "Anatomy and physiology of the cornea," *J. Cataract Refract. Surg.*, vol. 37, no. 3, 2011, [Online]. Available: https://journals.lww.com/jcrs/fulltext/2011/03000/anatomy_and_physiology_of_the_cornea.24.aspx
- [9] Jean-Louis Bourges, *La cornée*, 1st ed., vol. 240. Elsevier Masson, 2020.
- [10] G. Damien, *Topographie cornéenne*, 2nd Edition. Elsevier Masson, 2014.
- [11] E. Goto, "The Brilliant Beauty of the Eye: Light Reflex From the Cornea and Tear Film," *Cornea*, vol. 25, 2006, [Online]. Available: https://journals.lww.com/corneajrnl/fulltext/2006/12001/the_brilliant_beauty_of_the_eye_light_reflex_from.15.aspx
- [12] V. Borderie, O. Touzeau, T. Bourcier, and L. Laroche, "Physiologie de la cornée," *EMC - Ophtalmol.*, vol. 2, no. 2, pp. 103–117, May 2005, doi: 10.1016/j.emcop.2004.11.001.

- [13] K. Haworth, D. Travis, L. Leslie, D. Fuller, and A. D. Pucker, “Silicone hydrogel versus hydrogel soft contact lenses for differences in patient-reported eye comfort and safety,” *Cochrane Database Syst. Rev.*, vol. 9, no. 9, p. CD014791, Sep. 2023, doi: 10.1002/14651858.CD014791.pub2.
- [14] G. Young, J. Veys, N. Pritchard, and S. Coleman, “A multi-centre study of lapsed contact lens wearers,” *Ophthalmic Physiol. Opt. J. Br. Coll. Ophthalmic Opt.*, vol. 22, no. 6, pp. 516–527, Nov. 2002, doi: 10.1046/j.1475-1313.2002.00066.x.
- [15] K. Xu, “Contact Lens Materials and Their Modification Methods,” *Highlights Sci. Eng. Technol.*, vol. 125, pp. 197–202, Feb. 2025, doi: 10.54097/5yr61b74.
- [16] Pr Taleb, “Cours Adaptation en lentilles souples.”
- [17] L. C. Thai, A. Tomlinson, and M. G. Doane, “Effect of contact lens materials on tear physiology,” *Optom. Vis. Sci. Off. Publ. Am. Acad. Optom.*, vol. 81, no. 3, pp. 194–204, Mar. 2004, doi: 10.1097/00006324-200403000-00012.
- [18] D. Fonn, K. E. MacDonald, D. Richter, and N. Pritchard, “The ocular response to extended wear of a high Dk silicone hydrogel contact lens,” *Clin. Exp. Optom.*, vol. 85, no. 3, pp. 176–182, May 2002, doi: 10.1111/j.1444-0938.2002.tb03032.x.
- [19] J. G. Hoddenbach, S. S. Boekhoorn, R. Wubbels, W. Vreugdenhil, J. Van Rooij, and A. J. M. Geerards, “Clinical presentation and morbidity of contact lens-associated microbial keratitis: a retrospective study,” *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.*, vol. 252, no. 2, pp. 299–306, Feb. 2014, doi: 10.1007/s00417-013-2514-1.
- [20] M. Ghemame, P. Charpentier, and F. Mouriaux, “Corneal topography in clinical practice,” *J. Fr. Ophthalmol.*, vol. 42, no. 10, pp. e439–e451, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.jfo.2019.09.001.
- [21] D. Pinero, “Corneal Topography from Theory to Practice (2013). Eds: Aylin Kiliç and Cynthia J. Roberts. Kugler Publications. ISBN: 978-90-6299-230-0,” *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.*, vol. 254, Feb. 2015, doi: 10.1007/s00417-015-2942-1.
- [22] Damien Gatinel, “Les principales cartes topographiques cornéennes,” vol. 4, 2010, [Online]. Available: <https://www.gatinel.com/wp-content/uploads/2011/02/Les-principales-cartes-topographiques-corn%C3%A9ennes.pdf>
- [23] Damien Gatinel, *Topographie cornéenne*. 2014. Accessed: Mar. 30, 2026. [Online]. Available: <https://shop.elsevier.com/books/topographie-corneenne/gatinel/978-2-294-74122-7>
- [24] M. Ghemame, P. Charpentier, and F. Mouriaux, “Corneal topography in clinical practice,” *J. Fr. Ophthalmol.*, vol. 42, no. 10, pp. e439–e451, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.jfo.2019.09.001.
- [25] langis michaud, remy marcotte patrick simard, and MhamedOuzzani, *Gérer la myopie un enfant a la fois*. 2021.

- [26] “Learning the Intricacies of Axial and Tangential Maps,” PentaVision. Accessed: May 20, 2026. [Online]. Available: <https://clspectrum.com/issues/1999/september/learning-the-intricacies-of-axial-and-tangential-maps>
- [27] Melanie Corbett, Nicholas Maycock, Emanuel Rosen, and , David O’Brart, *Corneal topography*, vol. 288. Springer, 2019.
- [28] R. S. Shah, S. S. Khandelwal, J. M. Goshe, I. D. Haberman, and A. Et., “Comparative postoperative topography pattern recognition analysis using axial vs tangential curvature maps,” *J. Cataract Refract. Surg.*, 2020, doi: 10.1097/j.jcrs.0000000000000264.
- [29] F. Cavas-Martínez, E. De la Cruz Sánchez, J. Nieto Martínez, F. J. Fernández Cañavate, and D. G. Fernández-Pacheco, “Corneal topography in keratoconus: state of the art,” *Eye Vis.*, vol. 3, no. 1, p. 5, Feb. 2016, doi: 10.1186/s40662-016-0036-8.
- [30] Melanie Corbett, Nicholas Maycock, Emanuel Rosen, and David O’Brart, *Corneal topography principles and applications*, Second., vol. 288. Springer.
- [31] S. E. Wilson, D. T. C. Lin, S. D. Klyce, J. J. Reidy, and A. Et., “Topographic Changes in Contact Lens-induced Corneal Warpage,” *Ophthalmology*, 1990, doi: 10.1016/s0161-6420(90)32516-2.
- [32] E. F. Mobilia and K. R. Kenyon, “Contact Lens-Induced Corneal Warpage,” *Int. Ophthalmol. Clin.*, 1986, doi: 10.1097/00004397-198602610-00008.
- [33] M. Schornack, “Hydrogel contact lens-induced corneal warpage,” *Contact Lens Anterior Eye*, 2003, doi: 10.1016/S1367-0484(03)00026-2.
- [34] G. Tyagi, M. Collins, S. Read, and B. Davis, “Regional changes in corneal thickness and shape with soft contact lenses,” *Optom. Vis. Sci. Off. Publ. Am. Acad. Optom.*, vol. 87, no. 8, pp. 567–575, Aug. 2010, doi: 10.1097/OPX.0b013e3181e61b78.
- [35] J. Ruiz-Montenegro, C. H. Mafra, S. E. Wilson, J. M. Jumper, and A. Et., “Corneal Topographic Alterations in Normal Contact Lens Wearers,” *Ophthalmology*, 1993, doi: 10.1016/s0161-6420(93)31704-5.
- [36] J. F. Hill and R. H. Rengstorff, “Relationship between steeply fitted contact lens base curve and corneal curvature changes,” *Am. J. Optom. Physiol. Opt.*, vol. 51, no. 5, pp. 340–342, May 1974, doi: 10.1097/00006324-197405000-00007.
- [37] R. Lindsay, G. Smith, and D. Atchison, “Descriptors of Corneal Shape,” *Optom. Vis. Sci.*, 1998, doi: 10.1097/00006324-199802000-00019.
- [38] L. Zhou *et al.*, “Corneal eccentricity and related factors in Chinese children and adolescents with astigmatism,” *BMC Ophthalmol.*, vol. 25, no. 1, p. 550, Oct. 2025, doi: 10.1186/s12886-025-04402-3.
- [39] D. Gatinel, M. Haouat, and T. Hoang-Xuan, “Étude des paramètres permettant la description mathématique de l’asphéricité cornéenne,” vol. 25, 2002.

- [40] A. Calossi, “Corneal asphericity and spherical aberration,” *J. Refract. Surg.*, vol. 23, no. 5, pp. 505–514, May 2007, doi: 10.3928/1081-597X-20070501-15.
- [41] S. E. Wilson, D. T. Lin, S. D. Klyce, J. J. Reidy, and M. S. Insler, “Topographic changes in contact lens-induced corneal warpage,” *Ophthalmology*, vol. 97, no. 6, pp. 734–744, Jun. 1990, doi: 10.1016/s0161-6420(90)32516-2.
- [42] D. F. Sweeney, L. Keay, N. Carnt, and B. A. Holden, “Practitioner guidelines for continuous wear with high Dk silicone hydrogel contact lenses,” *Clin. Exp. Optom.*, vol. 85, no. 3, pp. 161–167, May 2002, doi: 10.1111/j.1444-0938.2002.tb03029.x.
- [43] A. M. Moezzi, D. Fonn, T. L. Simpson, and L. Sorbara, “Contact lens-induced corneal swelling and surface changes measured with the Orbscan II corneal topographer,” *Optom. Vis. Sci. Off. Publ. Am. Acad. Optom.*, vol. 81, no. 3, pp. 189–193, Mar. 2004, doi: 10.1097/00006324-200403000-00011.
- [44] F. Alba-Bueno, A. Beltran-Masgoret, C. Sanjuan, M. Biarnés, and J. Marín, “Corneal shape changes induced by first and second generation silicone hydrogel contact lenses in daily wear,” *Contact Lens Anterior Eye J. Br. Contact Lens Assoc.*, vol. 32, no. 2, pp. 88–92, Apr. 2009, doi: 10.1016/j.clae.2008.11.002.
- [45] A. Lloyd McKernan, V. O’Dwyer, and L. Simo Mannion, “The influence of soft contact lens wear and two weeks cessation of lens wear on corneal curvature,” *Contact Lens Anterior Eye*, vol. 37, no. 1, pp. 31–37, Feb. 2014, doi: 10.1016/j.clae.2013.07.014.