



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale
- Pas de Modification 4.0 France (CC BY-NC-ND 4.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



Université Claude Bernard



Lyon 1

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LA READAPTATION

Directeur Professeur Jacques LUAUTE

L'EFFICACITÉ ET LA TOLÉRANCE DE LA MÉTHODE CAIRS DANS LE TRAITEMENT DU
KÉRATOCÔNE

MEMOIRE présenté pour l'obtention du

CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPTISTE

par

BOSLAND Lucie
KHECHANE Ihsène

Autorisation de reproduction

LYON, le 24/06/2025

Professeur Ph. DENIS
Responsable de l'Enseignement
Mme E. LAGEDAMONT
Directrice des Etudes

N° 2025/05

Président
Pr Bruno LINA

Vice-président CFVU
Mme Julie-Anne CHEMELLE

Vice-président CA
Mme Sandrine CHARLES

Vice-président Commission de
Recherche
M. Arnaud BRIOUDE

Directeur Général des Services par intérim
M. Gaël ASTIER

Secteur Santé

U.F.R. de Médecine Lyon Est
Directeur
Pr. RODE Gilles

U.F.R d'Odontologie
Directeur
Pr. MAURIN Jean-Christophe

U.F.R de Médecine Lyon-Sud
Charles Mérieux
Directeur
Pr PAPAREL Philippe

Institut des Sciences Pharmaceutiques
et Biologiques
Directeur
Pr DUSSART Claude

Comité de Coordination des
Etudes Médicales (CCEM)
Pr PAPAREL Philippe

Institut des Sciences et Techniques de
Réadaptation
Directeur
Pr LUAUTE Jacques

U.F.R. Des Sciences et
Techniques des Activités
Physiques et Sportives
(S.T.A.P.S.)
Directeur
M. BODET Guillaume

Secteur Sciences et Technologies

Institut des Sciences Financières et d'Assurance (I.S.F.A.)
M. ROBERT Christian

Institut National Supérieur du Professorat et de l'éducation (INSPé)
Directeur
M. CHAREYRON Pierre

UFR de Sciences
Directeur
M. DEZLUS Olivier

POLYTECH LYON
Directeur
Pr PERRIN Emmanuel

IUT LYON 1
Directeur
M. MASSENZIO Michel

Observatoire astronomique de Lyon
Directeur
M. GUIDERDONI Bruno

UFR Biosciences
Directrice
Mme GIESELER Kathrin

Département Génie Electrique et des procédés (GEP)
Directrice
Mme CAVASSILA Sophie

Département informatique
Directrice
Mme BOUAKAZ BRONDEL Saida

Département Mécanique
Directeur
M. BUFFAT Marc

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont aidées pour la rédaction de notre mémoire.

Nos plus grands remerciements sont adressés au Docteur Yazid BENYOUCEF, notre maître de mémoire, ophtalmologiste à l'Hôpital Edouard Herriot de Lyon. Nous te remercions de t'être rendu disponible tout le long de la réalisation de notre mémoire et de nous avoir partagé tes connaissances d'autant plus avec l'arrivée de ta petite fille. Ton implication et tes conseils ont été d'une aide précieuse.

Nous remercions particulièrement Madame Estelle LAGEDAMONT, orthoptiste et directrice de l'école d'orthoptie de Lyon. Nous la remercions de nous avoir partagé son savoir, d'avoir été à l'écoute pendant toutes ces années.

Nos remerciements s'adressent également à Madame Karen PONTON, orthoptiste à l'Hôpital Edouard Herriot de Lyon, pour ses conseils et son temps accordé pour notre mémoire.

Nous tenons également à remercier Madame DEROQUE Delphine, Madame PERRAUD PONCET Valérie, Madame RAFFIN Karine, Madame CHAMBARD Claudine et Monsieur GOUTAGNY Brice et toutes les personnes qui nous ont transmis leurs connaissances et pour leur investissement durant notre cursus.

Nous remercions Professeur DENIS, chef du service d'ophtalmologie de l'hôpital de la Croix Rousse et responsable de la formation en école d'orthoptie de Lyon.

Merci à tous les orthoptistes des hôpitaux des Hospices Civils de Lyon, aux centres privés et aux orthoptistes libéraux de nous avoir transmis leurs savoir-faire et d'avoir pris le temps de nous former.

Nous adressons nos remerciements à nos familles et amis respectifs pour leur soutien et leur accompagnement durant ces années d'études.

Pour finir, nous nous remercions mutuellement pour notre investissement, notre partage, notre persévérance ainsi que notre cohésion.

TABLE DES MATIERES

PARTIE 1 : THEORIQUE

INTRODUCTION GENERALE	7
I. RAPPELS ANATOMIQUES, HISTOLOGIQUES ET PHYSIOLOGIQUES SUR LA CORNEE [31 ; 32 ; 33]	8
1. STRUCTURE ANATOMIQUE DE LA CORNEE	8
2. STRUCTURE HISTOLOGIQUE DE LA CORNEE [21 ; 24 ; 27].....	8
a. <i>Epithélium de la cornée</i>	9
b. <i>Membrane de Bowman</i>	10
c. <i>Stroma</i>	10
d. <i>Couche de Dua</i>	10
e. <i>Membrane de Descemet</i>	11
f. <i>Endothélium de la cornée</i>	11
II. EXAMENS ET METHODES D'ANALYSE DE LA CORNEE	12
1. RAPPELS SUR L'ASTIGMATISME [6 ; 21 ; 22 ; 23].....	12
a. <i>Astigmatisme régulier et irrégulier</i>	13
b. <i>Astigmatisme direct et indirect</i>	13
c. <i>Astigmatisme cornéen et cristallinien</i>	13
2. LA REFRACTION [22]	14
3. LA TOPOGRAPHIE CORNEENNE [22 ; 33 ; 34]	14
4. OCT DE SEGMENT ANTERIEUR [8].....	16
5. LA MICROSCOPIE SPECULAIRE	17
III – LE KERATOCONE [30 ; 35]	18
1. DEFINITION [2].....	18
2. EPIDEMIOLOGIE ET PHYSIOPATHOLOGIE [31]	19
a. <i>Incidence, prévalence, âge d'apparition</i>	19
b. <i>Facteurs, favorisants le kératocône</i>	19
c. <i>Évolution de l'astigmatisme</i>	20
3. DIAGNOSTIC DU KERATOCONE	20
a. <i>Signes fonctionnels</i>	21
b. <i>Examens cliniques</i>	21
c. <i>Examens paracliniques</i>	23
d. <i>Classification</i>	25
4. DIAGNOSTICS DIFFERENTIELS	26
a. <i>La dégénérescence pellucide marginale</i>	26
b. <i>Ectasie cornéenne post-LASIK [1]</i>	27
c. <i>Le kératoglobe</i>	27
5. PRISE EN CHARGE DU KERATOCONE [3 ; 31].....	28
a. <i>Le cross-linking</i>	28
b. <i>Les lentilles [30]</i>	29
c. <i>Les anneaux intra-cornéens [31]</i>	30
d. <i>Les kératoplasties [21 ; 32]</i>	31
e. <i>La méthode CAIRS [28]</i>	32
IV. LA METHODE CAIRS	33
1. PRESENTATION DE LA TECHNIQUE [28]	33
2. PROCEDURE DE LA CHIRURGIE [4 ; 14].....	34
3. AVANTAGES [28]	35
4. LIMITES ET INCONVENIENTS.....	35
INTRODUCTION	37

1.	MATERIEL ET METHODE	38
a.	<i>Design de l'étude</i>	38
b.	<i>Critères d'inclusion</i>	38
c.	<i>Protocole chirurgical</i>	39
d.	<i>Evaluation pré et post-opératoire, analyse statistique</i>	39
2.	RESULTATS	40
a.	<i>Analyse globale</i>	40
b.	<i>Analyse au cas par cas</i>	43
3.	DISCUSSION.....	44
a.	<i>Description des résultats</i>	44
b.	<i>Force de l'étude</i>	45
c.	<i>Limites de l'étude</i>	45
	CONCLUSION	46
	ANNEXES	50

INTRODUCTION GENERALE

La cornée est située à la partie antérieure de l'œil, entourée de la sclère et recouvre la partie antérieure de l'iris et la pupille, délimitant la chambre antérieure de l'œil. Elle est le premier et principal dioptre de l'œil, permettant la transmission de la lumière au cristallin puis à la rétine. Lorsque la cornée perd sa courbure régulière et/ou son épaisseur normale, cela peut entraîner des troubles visuels significatifs.

Le kératocône est une pathologie ectasiante dégénérative de la cornée qui s'amincit, et se déforme en cône, induisant ainsi un astigmatisme irrégulier qui altère la qualité de vision. C'est une maladie évolutive favorisée par le frottement qui apparaît généralement chez l'adolescent voire le jeune adulte et se stabilise aux alentours de 35 ans.

Différents traitements sont utilisés avec différents objectifs. Le premier est de stabiliser la maladie par l'arrêt total des frottements oculaires et la réalisation du cross-linking du collagène cornéen si besoin. Le deuxième est de réhabiliter la vision avec des techniques différentes en fonction de l'avancée de la pathologie (contactologie, anneaux intra-cornéens, kératoplasties).

La méthode CAIRS est une méthode novatrice visant à augmenter l'acuité visuelle une fois que la maladie est stabilisée. Cette technique chirurgicale étant très récente, il y a peu d'études retrouvées à ce jour dans la littérature, c'est pourquoi nous allons étudier l'efficacité et la tolérance d'une technique innovante qu'est la méthode CAIRS dans le traitement du kératocône.

L'objectif principal sera donc d'étudier l'amélioration de l'acuité visuelle avant et après la chirurgie CAIRS. Les objectifs secondaires seront d'étudier l'évolution des différents examens paracliniques réalisés avant et après la chirurgie à différents temps clés, les avantages mais aussi les inconvénients de cette intervention chirurgicale pour la prise en charge d'un kératocône à un stade avancé.

PARTIE 1 – THEORIE

I. Rappels anatomiques, histologiques et physiologiques sur la cornée [31 ; 32 ; 33]

1. Structure anatomique de la cornée

La cornée est une structure transparente et avasculaire constituant la partie antérieure du globe oculaire. De forme convexe, elle mesure 10 à 11 mm de diamètre verticalement et 11 à 12 mm de diamètre horizontalement, possédant une épaisseur de 530 µm au centre et de 780 µm en périphérie. Ses fonctions sont essentielles dans la vision et la protection oculaire. Ce tissu est le premier et principal dioptre de l'œil, participant à la focalisation des images sur la rétine. Son pouvoir réfractif total, estimé à +42 D, est déterminé par la courbure de ses faces antérieure et postérieure. Composée de 80% d'eau, c'est l'organe le plus innervé (par le nerf naso-ciliaire et des fibres sympathiques) et résistant.

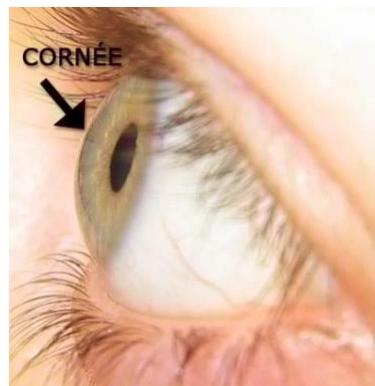
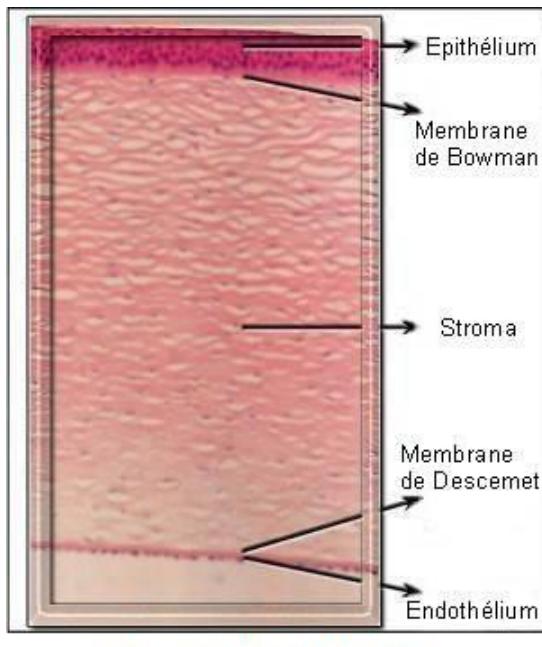


Figure 1 : photo d'une cornée saine [26]

2. Structure histologique de la cornée [21 ; 24 ; 27]

La cornée est composée de plusieurs couches aux caractéristiques distinctes et aux fonctions spécialisées, allant de la protection contre les agents pathogènes à la régulation de l'hydratation pour préserver sa transparence.



© VISYA - Clinique de la Vision

Figure 2 : schéma des couches de la cornée [9]

a. Epithélium de la cornée

L'épithélium cornéen constitue la couche la plus externe de la cornée et joue un rôle protecteur essentiel. Il est au contact du film lacrymal qui est la première interface rencontrée par la lumière incidente. Il est constitué de cellules épithéliales pavimenteuses stratifiées, organisées en trois couches principales :

- la couche superficielle : composée de 2 à 3 couches de cellules pavimenteuses et de microvillosités,
- la couche intermédiaire : composée de 2 à 3 couches de cellules convexes-concaves appelées aussi « wing cells »,
- la couche basale : appelée aussi couche germinative composée d'une couche de cellules cylindriques.

Son épaisseur est de 50 µm environ et représente à peu près 10% de l'épaisseur totale de la cornée. Ces cellules se renouvellent constamment grâce à un processus de migration.

Celui-ci constitue une barrière physique contre les agents pathogènes, les corps étrangers et les agressions physiques. Il possède des jonctions serrées empêchant les fluides venant de l'extérieur de pénétrer dans la cornée, contribuant ainsi au maintien de la transparence. Cet épithélium assure également une protection immunitaire grâce à des cellules de Langerhans présentes dans les couches basales.

b. Membrane de Bowman

Se situant sous l'épithélium, la membrane de Bowman est une couche acellulaire composée de fibres de collagène principalement de type I ; V et VII, mesurant entre 8 à 12 µm d'épaisseur. Les fibres de collagène sont disposées de manière anarchique et entre celles-ci, sont retrouvés les éléments de la matrice extracellulaire, notamment les glycosaminoglycanes. C'est une membrane dense et résistante permettant de fournir une certaine rigidité à la cornée.

Cette membrane n'a pas le pouvoir de se régénérer. Si elle est endommagée, elle est remplacée par du tissu cicatriciel avec des impacts potentiels sur la transparence de la cornée.

c. Stroma

Le stroma cornéen est la couche la plus épaisse de la cornée. Elle représente environ 90% de son épaisseur totale et mesure 450 µm en termes d'épaisseur. Il est constitué de 200 à 250 lamelles transparentes composés à la fois de collagène de type I et d'éléments de la matrice cellulaire notamment de kératocytes. Le stroma est organisé afin de permettre la transparence et la résistance de la cornée. En effet, tout événement qui modifie la régularité d'organisation des fibres de collagène provoque une perte de transparence.

Les fibres de collagène sont arrangées en un réseau tridimensionnel très régulier, permettant une transmission et une focalisation optimale de la lumière.

d. Couche de Dua

C'est une couche située entre le stroma et la membrane de Descemet. Cette dernière a été découverte en mai 2013 et pourrait avoir un intérêt dans la chirurgie de greffe profonde de la cornée.

Elle possède une épaisseur comprise entre 6 et 16 µm. Composée principalement de fibres de collagène de type I et VI, elle est également imperméable à l'air et presque acellulaire.

e. Membrane de Descemet

C'est un tissu située entre le stroma et l'endothélium cornéen. Il s'agit d'une membrane basale de l'endothélium assez fine à la naissance (entre 3 et 4 µm) qui va s'épaissir avec l'âge (entre 10 et 15 µm).

Comme il s'agit d'une membrane basale, elle est principalement constituée de fibre de collagène de type IV et également VIII. C'est une couche assez résistante en cas de perforation de la cornée.

f. Endothélium de la cornée

L'endothélium est la couche la plus interne de la cornée et va occuper toute la face postérieure de celle-ci. Elle est en contact direct avec l'humeur aqueuse contenue dans la chambre antérieure.

C'est une couche assez fine (5 µm d'épaisseur) constituée d'une seule couche de cellules aplatis avec une forme hexagonale. Cette dernière va former une barrière entre l'humeur aqueuse et la cornée. C'est donc une couche unicellulaire qui va limiter la diffusion d'eau entre les deux compartiments grâce un phénomène actif via des pompes Na⁺ / K⁺ ATP-ase.

Le nombre de cellules endothéliales à la naissance est > 4000 cellules /mm². Il existe une perte physiologique de 0,6 % par an avec, à l'âge adulte, une densité d'environ 3000 cellules /mm² et de 1000 cellules /mm² à l'âge de 100 ans.

II. Examens et méthodes d'analyse de la cornée

La cornée présente des propriétés géométriques particulières telles que l'épaisseur et la courbure, déterminant ainsi des caractéristiques réfractives qui influencent la qualité de la vision, comme l'astigmatisme. Mesurées respectivement par la pachymétrie et la kératométrie, ces éléments permettent de comprendre les variations physiologiques et les anomalies optiques liées à la cornée.

1. Rappels sur l'astigmatisme [6 ; 21 ; 22 ; 23]

L'astigmatisme correspond à un défaut optique de l'œil fréquent correspondant à une amétropie dite cylindrique. C'est un trouble de la réfraction de l'œil résultant de l'inégalité de puissance et donc de la distance focale des différents méridiens de l'œil. On peut classer l'astigmatisme en 3 degrés :

- léger (entre 0 et 1 dioptre),
- moyen (entre 1 et 3 dioptres),
- fort (supérieur à 3 dioptres).

Cet astigmatisme peut être associé aux amétropies dites sphériques (myopie ou hypermétropie).

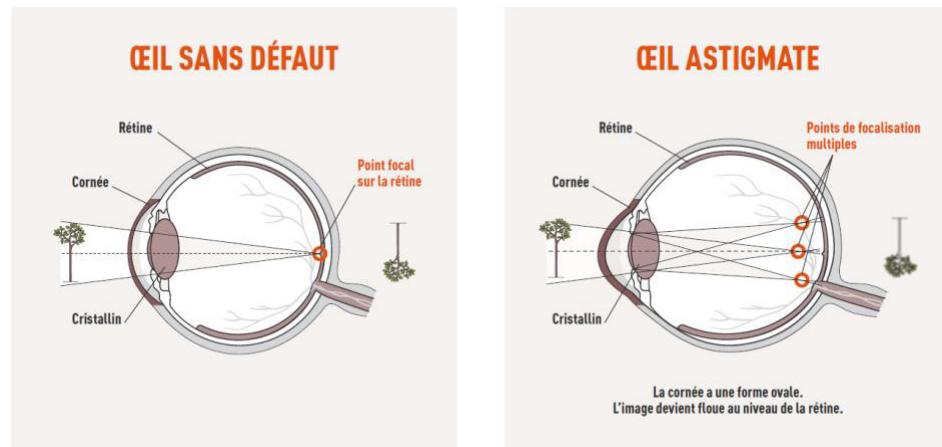


Figure 3 : schéma explicatif d'un œil astigmate [19]

On distingue plusieurs types d'astigmatisme en fonction des caractéristiques de ces irrégularités :

a. Astigmatisme régulier et irrégulier

L'astigmatisme est dit régulier lorsqu'il existe 2 méridiens principaux, perpendiculaires l'un à l'autre, ou irrégulier lorsqu'il n'existe pas de symétrie entre les deux méridiens principaux. Une cicatrice cornéenne peut ainsi provoquer un astigmatisme cornéen irrégulier. Dans ce cas-là, les deux méridiens principaux ne sont pas perpendiculaires et la courbure est plus complexe ou asymétrique.

b. Astigmatisme direct et indirect

Dans l'astigmatisme direct, le méridien vertical est plus courbé que le méridien horizontal. Ce type d'astigmatisme est le plus fréquent, notamment chez les jeunes, et il diminue souvent avec l'âge.

Quant à l'astigmatisme indirect, le méridien horizontal est plus courbé que le méridien vertical. Ce type d'astigmatisme est moins courant mais peut devenir plus fréquent avec l'âge.

Contrairement à l'astigmatisme régulier qui lui, est aligné selon les axes principaux (0° ou 90°), l'astigmatisme oblique est orienté sur des axes intermédiaires (comme 45° et 135°). L'axe de 45° signifie que l'orientation principale de la cornée est inclinée vers la droite (diagonale ascendante). L'axe de 135° signifie que l'orientation est inclinée vers la gauche (diagonale descendante).

c. Astigmatisme cornéen et cristallinien

L'astigmatisme cornéen est causé par des irrégularités dans la courbure de la cornée elle-même. Il est le plus fréquent et résulte souvent de la morphologie naturelle de la cornée ou de déformations causées par des pathologies ou des traumatismes.

Dans l'astigmatisme cristallinien, c'est l'irrégularité dans la forme ou l'alignement du cristallin qui provoque l'astigmatisme. Il peut être lié à l'âge, mais aussi suite à des conditions telles que la cataracte. Ce type d'astigmatisme peut être plus compliqué à corriger dû à sa fluctuation.

2. La réfraction [22]

Comme évoqué plus haut, deux éléments réfractifs, la cornée et le cristallin, permettent de faire converger les rayons lumineux sur la rétine pour un œil emmétrope afin d'obtenir une image nette. Cette focalisation se fait en avant de la rétine pour les myopes (œil trop long) et en arrière de la rétine pour les hypermétropes (œil trop court) ce qui entraîne alors une image de mauvaise qualité. Chez l'astigmate, la focalisation n'est pas régulière et varie selon la puissance et l'axe de l'astigmatisme cornéen ou cristallinien. Une correction optique adaptée, comme des lunettes ou des lentilles de contact, doivent alors être prescrites pour que le patient atteint d'amétropie ait la vision la plus optimale possible.

Après une mesure à l'auto-réfractomètre puis un calcul avec la règle de Swaine, un brouillard est réalisé pour mesurer l'acuité visuelle de loin (à 5 mètres) afin de trouver la correction optique adéquate. La sphère est d'abord adaptée, puis l'axe du cylindre correspondant à l'astigmatisme et sa puissance sont ensuite déterminés pour enfin terminer avec un réajustement de la sphère permettant le meilleur confort possible pour le patient. L'acuité visuelle est par la suite mesurée en vision de près avec la correction optique trouvée de loin. Une aide pour les patients presbytes est ajoutée à ce moment, cela concerne essentiellement les patients ayant plus de 45 ans. La presbytie est due à l'évolution normale de l'œil à la suite d'une perte d'élasticité progressive du cristallin pour effectuer la mise au point en vision rapprochée à cause de son vieillissement. Celle-ci débute à l'âge de 45 ans et se stabilise aux alentours des 60 ans.

3. La topographie cornéenne [22 ; 33 ; 34]

La topographie cornéenne est un examen permettant d'analyser la face antérieure et postérieure de la cornée à travers une représentation graphique cartographiée de ses paramètres géométriques. Elle est utilisée pour étudier la courbure, l'élévation et l'épaisseur cornéenne, notamment chez l'astigmate. Cet examen est particulièrement indiqué pour la détection et le suivi des patients atteints de kératocône.

L'épaisseur cornéenne joue un rôle essentiel dans le maintien de la forme de la cornée et dans la qualité de vision. Une épaisseur stable assure non seulement une barrière protectrice contre les agents extérieurs mais contribue également à la résistance mécanique de la cornée.

Une cornée trop fine ou présentant des variations anormales de l'épaisseur peut entraîner des fragilités structurelles, rendant l'œil plus susceptible aux pathologies telles que le kératocône.

Les images de la topographie cornéenne sont obtenues grâce à l'analyse des reflets lumineux projetés sur la cornée. Cette technique permet d'étudier le relief et la courbure de la cornée avec précision.

Nous obtenons une cartographie colorée mettant en évidence la kératométrie, c'est-à-dire le niveau de courbure de la cornée, ainsi que la pachymétrie, représentant l'épaisseur cornéenne qui est de 550µm en moyenne. Conventionnellement, plus les couleurs sont chaudes comme l'orange et le rouge plus la cornée a une courbure importante et plus la cornée est amincie. Inversement, plus les couleurs sont froides comme le bleu et vert, plus la cornée est épaisse et plutôt plate avec une courbure moins importante.

Chez l'astigmate régulier, une forme de « 8 » ou de sablier composé de couleurs chaudes est retrouvée (*Figure 4*) ; dans ce cas, la kératométrie est plus importante sur l'axe vertical et plus faible sur l'axe horizontal, ce qui correspond à un astigmatisme direct.

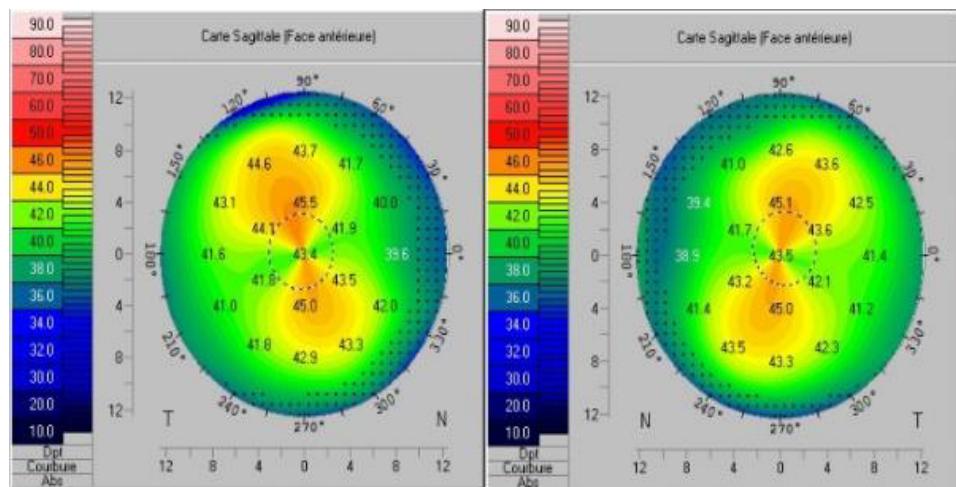


Figure 4 : topographie cornéenne d'un astigmatisme régulier [6]

4. OCT de segment antérieur [8]

La tomographie en cohérence optique (OCT) de segment antérieur sans contact est une technologie relativement nouvelle reposant sur le concept d'interférométrie optique. Elle permet d'obtenir des images ainsi qu'une analyse détaillée des structures du segment antérieur, telles que la cornée, la chambre antérieure, le cristallin et l'angle irido-cornéen.

Elle fournit ainsi des cartes de pachymétrie et de topographie cornéenne. Cette technique est particulièrement utilisée pour le bilan pré-opératoire et le suivi post opératoire comme par exemple une greffe lamellaire antérieure ou postérieure et l'implantation d'anneaux intra cornéens ou de CAIRS en ayant une image directe. Elle permet de visualiser la position du greffon, de localiser et d'évaluer la profondeur d'une atteinte cornéenne, de détecter une perforation ou un amincissement de la cornée.



Figure 5 : OCT de segment antérieur d'un patient d'Edouard Herriot opéré de CAIRS

5. La microscopie spéculaire

La microscopie spéculaire est un examen de la cornée servant à analyser qualitativement et quantitativement l'endothélium cornéen (couche interne et transparente de la cornée). Cet examen permet d'obtenir des informations sur la forme et la densité cellulaire de l'endothélium.

La densité cellulaire de l'endothélium diminue naturellement avec l'âge. Physiologiquement, on compte plus de 4 000 cellules endothéliales /mm² à la naissance, contre environ 3 000 vers 20 ans et 1000 à l'âge de 100 ans. En présence de certaines pathologies telles que la Dystrophie de Fuchs (ou Cornéa Guttata), la diminution est plus rapide et peut induire un œdème cornéen si la densité cellulaire diminue en dessous de 500 cellules /mm². Ce qui induit une baisse d'acuité visuelle à prédominance matinale.

La microscopie spéculaire est particulièrement utile pour :

- le diagnostic et le suivi des patients atteints de pathologies endothéliales,
- l'évaluation préopératoire d'interventions chirurgicales susceptibles de fragiliser ou d'endommager l'endothélium, telles qu'une implantation à visée réfractive, une cataracte ou une chirurgie de glaucome,
- le diagnostic de l'état de l'endothélium en pré-opératoire avant de choisir le type de greffe. Les greffes cornéennes antérieures (type KAP) épargnent l'endothélium, tandis que les greffes cornéennes postérieures ou totales le remplacent.

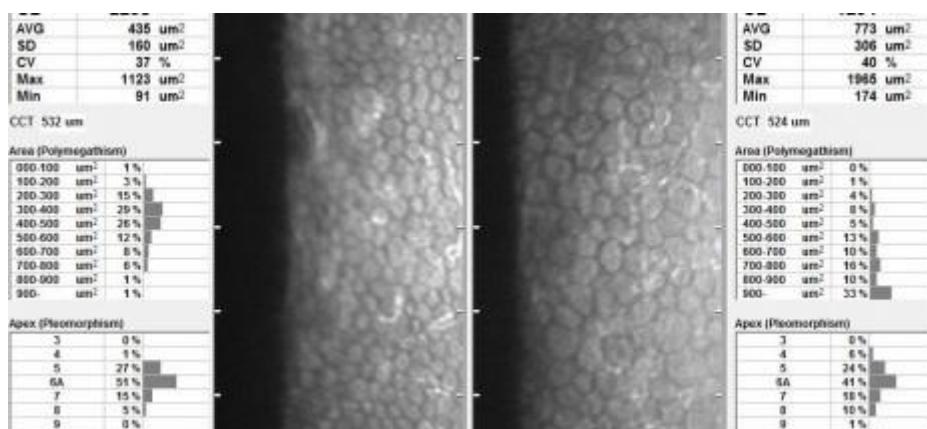


Figure 6 : microscopie spéculaire [16]

III – Le kératocône [30 ; 35]

1. Définition [2]

Les pathologies ectasiantes se manifestent par une déformation mécanique progressive et irréversible de la cornée. Elles induisent alors une irrégularité ainsi qu'un amincissement de la cornée, engendrant un astigmatisme irrégulier important provoquant alors une dégradation de la vision allant jusqu'à une perte de transparence de la cornée. L'ectasie est le plus souvent située dans le secteur inférieur de la cornée et une vision double en monoculaire peut être provoquée.

Le kératocône est la pathologie ectasante la plus courante. Il provoque un amincissement conique de la cornée et un bombement vers l'avant en secteur inférieur menant à un astigmatisme irrégulier évolutif. Cette pathologie est généralement bilatérale et asymétrique. Elle apparaît chez le jeune adolescent et se stabilise vers l'âge de 35 ans. Les patients décrivent une vision floue associée à une photophobie et des halos malgré le port de leur correction optique.

Le kératocône postérieur est rare et est considéré comme une anomalie de développement qui progresse sur la face postérieure de la cornée avec un amincissement et une courbure plus prononcée de cette dernière. Les symptômes sont similaires au kératocône « classique » mais son évolution est différente. La plupart du temps, il est associé à d'autres pathologies oculaires atteignant le segment antérieur.

Enfin, selon la définition de la SNOF, « Le kératocône est une dystrophie cornéenne se manifestant par une protrusion non inflammatoire de la cornée dans sa région axiale, apparaissant généralement dans l'adolescence et entraînant une diminution de l'acuité visuelle du fait d'un important astigmatisme irrégulier et souvent de la survenue d'opacités cornéennes. »

Une pression intra oculaire faussement basse est souvent retrouvée du fait d'une cornée fine. En vision de près, le patient aura tendance à beaucoup rapprocher le texte de ses yeux pour mieux voir (à environ 5 cm).

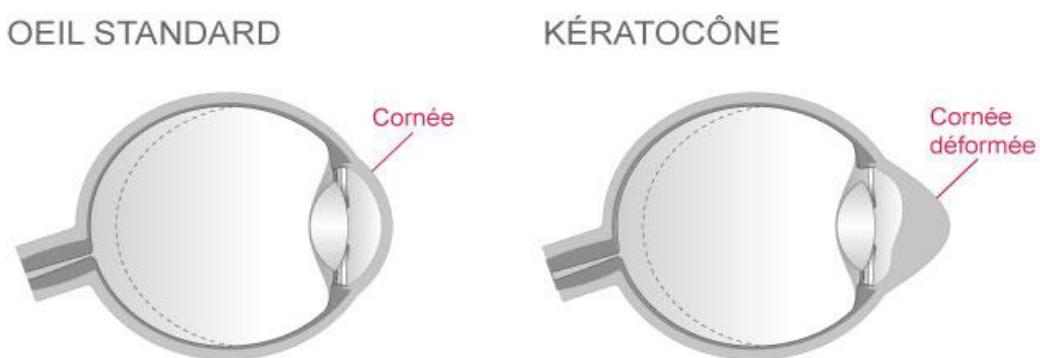


Figure 7 : schéma explicatif d'un œil atteint d'un kératocône [10]



Figure 8 : photo d'un oeil atteint d'un kératocône [20]

2. Epidémiologie et physiopathologie [31]

a. Incidence, prévalence, âge d'apparition

C'est une pathologie se développant souvent au cours de la deuxième et de la troisième décennie de vie et progresse jusqu'à la quatrième décennie. Il peut toucher les hommes comme les femmes peu importe l'ethnie. Les taux de prévalence et d'incidence du kératocône ont été estimés respectivement à 54,5 cas pour 100 000 habitants (soit 1/2000) et 50 à 230 cas pour 100 000 habitants par an.

b. Facteurs, favorisants le kératocône

Des antécédents familiaux de kératocône, de frottement des yeux, d'eczéma, d'asthme et d'allergie sont des facteurs de risque de développement du kératocône.

Plusieurs modes d'hérédité peuvent être évoqués, mais le plus probable est un mode dominant à pénétrance incomplète. Ceci signifie que la probabilité qu'un enfant d'une personne atteinte ait hérité du gène de susceptibilité est de 1 sur 2 (50 %). Mais la probabilité qu'il développe un kératocône n'est que de 1 sur 5 (20 %). Ainsi, **seulement 10 % des descendants de personnes atteintes développeront un jour un kératocône.**

Il est alors important de sensibiliser les parents porteurs de kératocône pour qu'ils puissent être vigilants envers leurs enfants et intervenir si ces derniers présentent des frottements oculaires. Un contrôle vers l'âge de 10 ans leur sera également recommandé pour vérifier la présence ou non d'un kératocône. Ils pourront être suivis et pris en charge le plus rapidement possible par la suite.

Le kératocône peut également survenir chez des patients atteints d'autres maladies génétiques ou ophtalmologiques telle que le syndrome de Marfan, la trisomie 21, la rétinite pigmentaire et bien d'autres ...

c. Évolution de l'astigmatisme

La progression concernant le kératocône est séparée en 4 stades :

- Stade I : un inconfort visuel associé à une baisse d'acuité visuelle avec astigmatisme.
- Stade II : une myopie s'associe à l'augmentation de l'astigmatisme présent au préalable. L'adaptation en lentille rigide est mise en place dès ce stade de kératocône pour le traiter et pour obtenir une meilleure qualité visuelle.
- Stade III : une aggravation des troubles visuels déjà présents se manifeste et seront associés à l'apparition d'une déformation protubérante bien visible de la cornée.
- Stade IV : risque de kératocône aigu (hydrops) avec un amincissement associé à une perte de transparence causé suite à une rupture de la membrane de Descemet, à des cicatrices ou à des opacités au sommet du cône. Une greffe de cornée pourra être proposée pour traiter ce stade du kératocône.

3. Diagnostic du kératocône

Au début de la maladie, les modifications visuelles sont peu importantes, on retrouve des troubles de la vision classique à type de vision floue surtout de loin en lien avec un astigmatisme et une myopie. Une topographie cornéenne doit alors être effectuée afin de déceler et confirmer la présence d'un kératocône. Les sujets atteints de kératocône doivent être régulièrement suivis par un ophtalmologiste car leur vision peut fluctuer en lien avec l'aggravation de la déformation.

a. Signes fonctionnels

Les patients atteints de kératocônes venant consulter pour la première fois sont généralement des adolescents présentant des allergies comme le pollen. Ces allergies provoquent des frottements oculaires favorisant la déformation de la cornée qui devient par la suite irrégulière, entraînant alors l'apparition du kératocône qui évoluera plus ou moins rapidement. Ils décrivent ainsi une photophobie, une sécheresse oculaire, une rougeur oculaire, des démangeaisons.

Leur première consultation porte principalement sur une sensation de flou et de baisse d'acuité visuelle allant de pair avec une déformation des images. Leur myopie et leur astigmatisme évoluent, et ils rapportent également une diplopie monulaire perçue associée à une évolution de la puissance de l'astigmatisme retrouvée lors de l'examen de vue.

Dans un premier temps, il est important d'interroger sur l'utilisation des collyres anti-allergiques et hydratants généralement prescrits par le médecin, ainsi que sur la fréquence des frottements oculaires et la position de sommeil adoptée. Cela permet de conseiller le patient sur de nouvelles habitudes visant à prévenir l'évolution du kératocône.

b. Examens cliniques

Chez les patients atteints de kératocône, une myopie ainsi qu'un astigmatisme irrégulier et évolutif sont présents. Le réfractomètre n'est pas fiable et fonctionne que très rarement ou donne des valeurs très fluctuantes, surtout chez les patients porteurs de lentilles.

De ce fait, les patients doivent souvent cesser de les porter pendant au moins trois jours avant la consultation afin d'obtenir des résultats fiables et comparables d'une visite à l'autre étant donné que les lentilles modifient et déforment temporairement la cornée.

Les patients atteints de kératocône montrent des difficultés à la lecture de près (habituellement testée à 33cm) et approchent le texte très près de leurs yeux (environ à 5cm) leur permettant d'obtenir une qualité de vision maximale.

Lors du suivi, l'acuité visuelle est systématiquement contrôlée afin de surveiller la progression de la myopie et de l'astigmatisme. L'examen de la cornée à la lampe à fente permet d'identifier les signes évocateurs du kératocône, notamment :

- L'anneau de Fleischer (*Figure 9*)
- Les stries de Vogt (*Figure 11*)
- Les opacités ou irrégularités

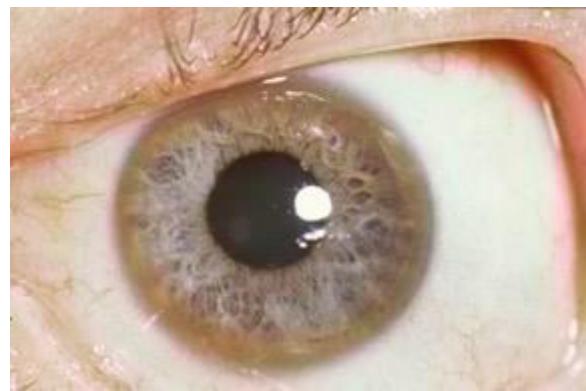


Figure 9 : anneau de Fleischer [25]

A l'œil nu, il est possible d'observer la déformation caractéristique en forme de cône de la cornée, en faisant regarder le patient vers le bas (signe de Munson).



Figure 10 : Signe de Munson d'un patient atteint de kératocône [31]

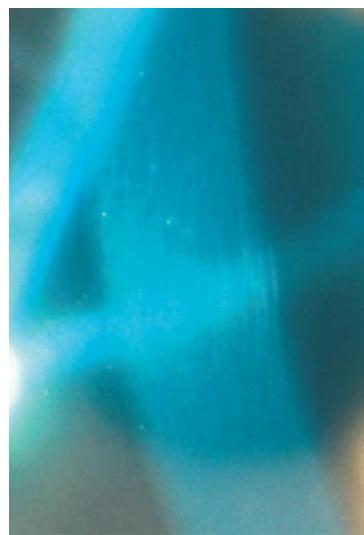


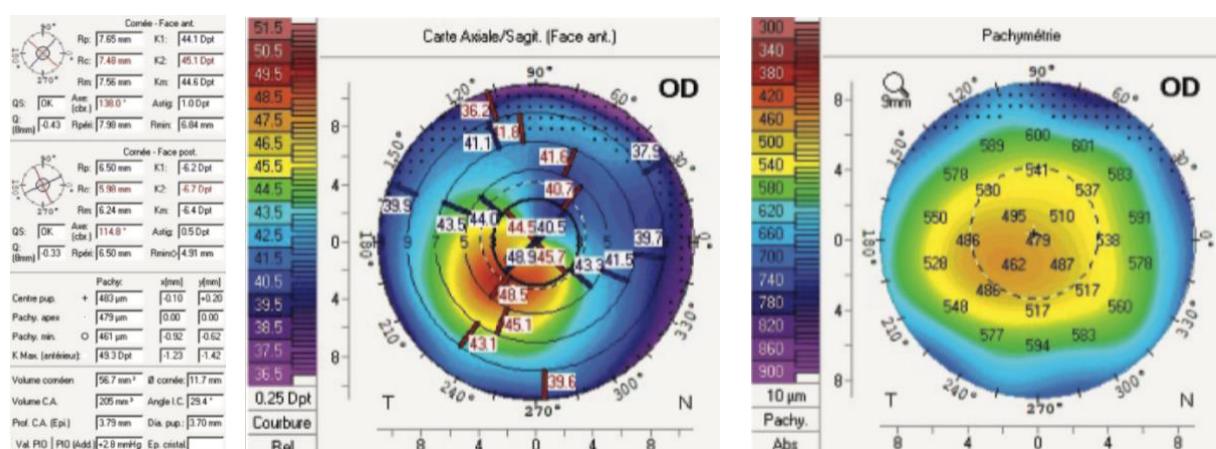
Figure 11 : Stries de Vogt [35]

c. Examens paracliniques

La topographie est l'examen complémentaire majeur réalisé à chaque consultation et permettant de comparer l'évolution d'une consultation à l'autre de la kératométrie ainsi que de la pachymétrie.

Chez le patient atteint de kératocône, il existe souvent un décentrement du point le plus fin ou de l'apex cornéen qui est décalé en temporal inférieur. Nous ne retrouvons plus la forme de sablier caractéristique de l'astigmatisme régulier ; des couleurs plus chaudes seront donc retrouvées en regard du sommet du cône. L'apex est le point de la cornée ayant la kératométrie maximale (Kmax), où la couleur sera la plus chaude de la carte.

Des valeurs plus importantes de la kératométrie maximale sont en général retrouvées au-dessus de la moyenne. L'augmentation du Kmax d'une dioptrie en un an associé à une diminution de la pachymétrie et d'une augmentation de l'astigmatisme confirme la présence d'un kératocône évolutif. Ce sont les principaux paramètres qui seront comparés d'une consultation à l'autre pour surveiller l'évolution du kératocône.



Certains indices automatisés pour le dépistage du kératocône ont été développés comme l'outil SCORE (Screening Corneal Objective Risk of Ectasia) que l'on peut retrouver sur le topographe cornéen Antérion. Plus le score sera élevé, plus la cornée sera suspectée de kératocône. Si le score est négatif, la cornée est normale et ne présente donc pas de kératocône, mais des scores positifs peuvent être présents sur des astigmatismes irréguliers qui ne sont pas des kératocônes.

D'autres outils existent pour le dépistage du kératocône comme les critères de Belin-Ambrósio présent sur le Pentacam où la pathologie est suspectée si le score BAD D est supérieur à 1,6.

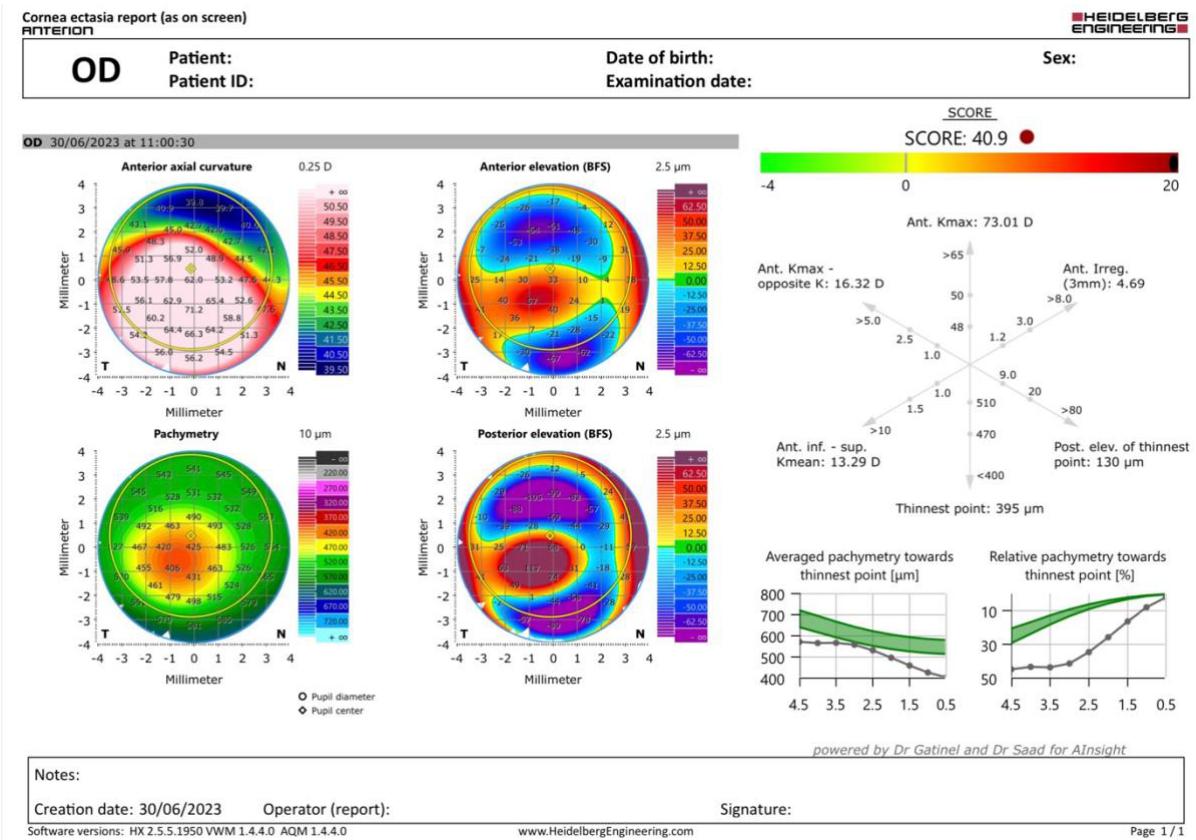


Figure 13 : topographie Antérieur avec score de dépistage indiquant une forte probabilité de kératocône chez un patient de l'hôpital Edouard Herriot de Lyon

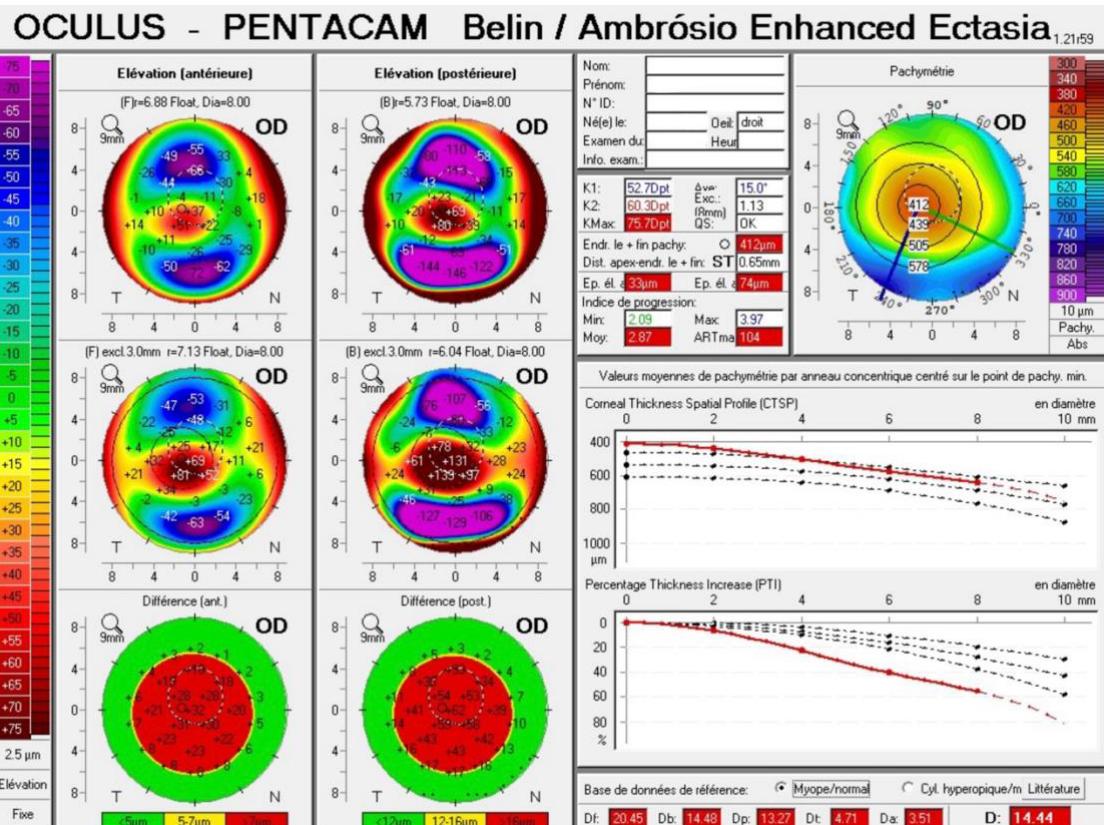


Figure 14 : topographie cornéenne Pentacam avec critères Belin-Ambrósio indiquant une forte probabilité de kératocône chez un patient de l'hôpital Edouard Herriot de Lyon

La tomographie par cohérence optique du segment antérieur est également réalisée mesurant et imageant la forme ainsi que les irrégularités ou opacités cornéennes.

d. Classification

STADE I	STADE II	STADE III	STADE IV
myopie et/ou astigmatisme < 5 D	myopie et/ou Astigmatisme entre 5D et 8D	Myopie et/ou Astigmatisme entre 8D et 18 D	réfraction non mesurable
Rayon ≤ 48 D	Rayon ≤ 53D	Rayon > 53 D	Rayon > 55 D
Bombement excentré stries Vogt	Pachy $400 \geq \mu$ pas d'opacités centrales	Pachy: 200- 400 μ pas d'opacités centrales	Pachy < 200 μ cicatrices centrales

Figure 15 : tableau des différents stades du kératocône selon Krummeich [5]

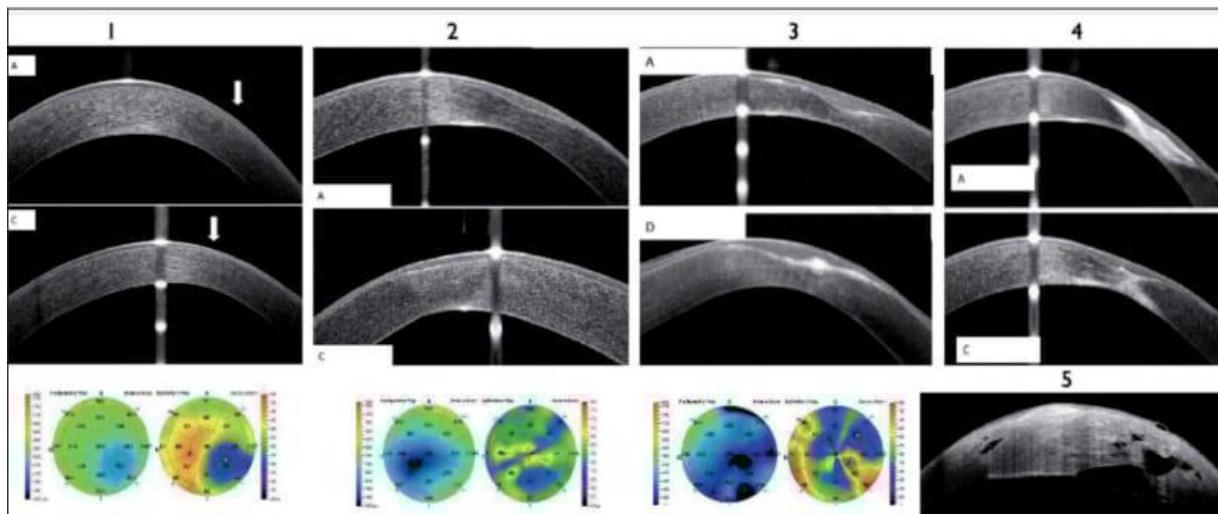


Figure 16 : classification histologique de Sandali [29]

Dans cette classification, l'examen permet de graduer en 5 stades les changements histologiques structurels liés au kératocône : [15]

- stade 1 : amincissement épithélial en regard du sommet du cône ;
- stade 2 : épaississement épithélial avec hyperréflectivité au niveau de la couche de Bowman ;

- stade 3 : amincissement stromal en regard de l'épaississement épithéial avec déplacement postérieur des structures hyperréflectives au niveau de la couche de Bowman ;
- stade 4 : cicatrice panstromale ;
- stade 5 : hydrops.

4. Diagnostics différentiels

a. La dégénérescence pellucide marginale

La dégénérescence pellucide marginale se manifeste par un amincissement périphérique de 1 à 3 millimètres de la cornée dans sa partie inférieure. Elle est bilatérale et plutôt asymétrique, la cornée centrale garde son épaississement initial.

Les patients se plaignent d'une vision floue associée à un inconfort visuel. Cette pathologie est idiopathique et évolue lentement.

Cela donne une forme de « C » refermée, de pince de crabe, ou encore une forme de croissant sur les cartographies axiales de topographies cornéennes d'élévation.

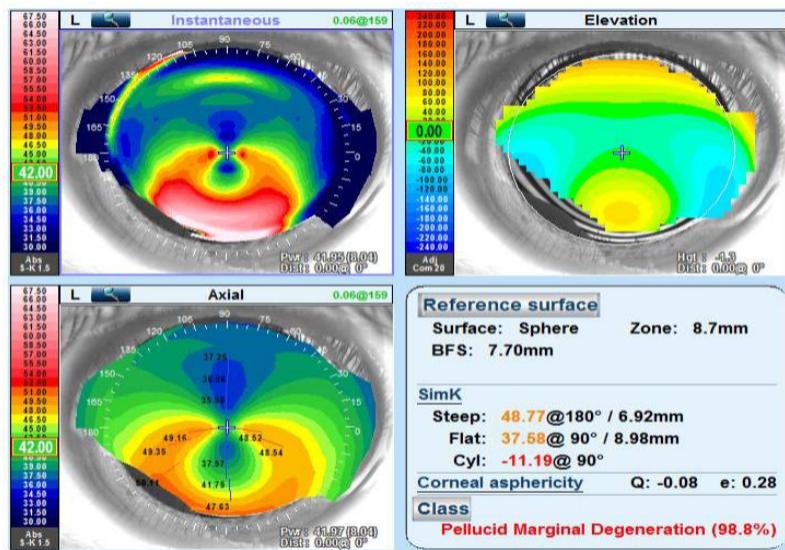


Figure 17 : topographie cornéenne d'une dégénérescence pellucide marginale [7]

Dans sa forme aiguë, elle peut aboutir à une cicatrice cornéenne qui, parfois, est vascularisée. Cette pathologie survient chez l'adulte, souvent myope, ayant entre 20 et 50 ans donc plus tardivement que le kératocône.

b. Ectasie cornéenne post-LASIK [1]

L'ectasie cornéenne post-LASIK est une complication rare de la chirurgie réfractive LASIK par laquelle la cornée devient instable, se déforme et s'amincit après l'intervention en raison de l'humeur aqueuse qui exerce une force contre la cornée amincie et fragilisée par la chirurgie.

L'atteinte peut être unilatérale et apparaître à partir de 6 mois et jusqu'à plusieurs années suivant la chirurgie réfractive réalisée. La présence en pré opératoire d'un kératocône fruste est le principal facteur de risque à cette ectasie cornéenne.

Cette pathologie se manifeste par une baisse de l'acuité visuelle, même sans correction, accompagnée par une majoration de la myopie et de l'astigmatisme irrégulier. Un bombement est retrouvé sur la moitié inférieure de la cornée.

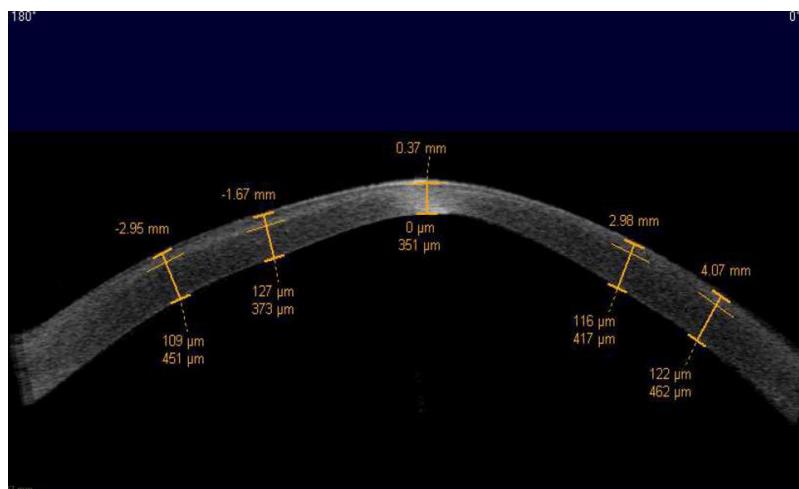


Figure 18 : coupe d'une ectasie cornéenne post-lasik à l'OCT de segment antérieur [17]

c. Le kératoglobe

Le kératoglobe est une pathologie rare et bilatérale, le plus souvent congénitale, et donc présente dès la naissance. Une forte myopie ainsi qu'un astigmatisme important sont retrouvés chez les patients atteints de cette pathologie.

Le diamètre cornéen reste normal malgré sa protrusion globuleuse induite ainsi que l'amincissement présent sur toute la cornée atteignant jusqu'à 20% de l'épaisseur cornéenne initiale.

L'acuité visuelle peut être plus ou moins conservée. Une photophobie ainsi qu'une vision floue est ressentie. Le risque majeur reste la perforation cornéenne notamment à la suite de traumatismes mineurs.

5. Prise en charge du kératocône [3 ; 31]

Le premier traitement conseillé n'en n'est pas vraiment un, il consiste à stopper tout frottement oculaire. En effet, ces derniers provoquent l'amincissement ainsi que la déformation de la cornée et favorisent l'évolution du kératocône. Pour les limiter, des larmes artificielles hydratantes sont prescrites par le médecin ainsi que des collyres anti-allergiques.

D'autres gestes de la vie quotidienne peuvent être conseillés pour ralentir l'évolution de cette pathologie en favorisant le sommeil en position couchée sur le dos par exemple. Il est déconseillé de dormir sur le ventre car cela favorise la déformation de la cornée dans la mesure où l'œil est appuyé sur l'oreiller pendant ce temps.

Plusieurs traitements peuvent être réalisés en fonction des différents stades de kératocône que le patient présente. Tous les traitements présentés ci-dessous sont réalisés sous réserve que le patient arrête tout frottement oculaire. Une correction optique par lunettes est généralement peu supportée, sauf pour les kératocônes frustes ou peu évolués correspondant généralement au stade I.

a. *Le cross-linking*

Le cross-linking est une méthode conseillée pour les jeunes patients ayant arrêté tout frottement oculaire et présentant malgré tout une évolution de leur kératométrie d'au moins une dioptrie en moins de douze mois. Cette technique permet de ralentir la progression du kératocône considérablement et donc de limiter l'évolution de l'astigmatisme chez ce type de patient.

Après avoir retiré l'épithélium de la cornée centrale, elle est imprégnée de vitamine B12 (la riboflavine) qui agit sous rayons ultraviolets de faible intensité pendant quelques minutes. Cette action vient renforcer chimiquement les fibres de collagène du stroma cornéen entre elles. Cela permet d'obtenir une rigidité cornéenne, ce qui retardera et stabilisera l'évolution du kératocône mais freinera également la myopie.

Généralement, une stabilisation voire une amélioration de la kératométrie maximale (Kmax), et même de l'acuité visuelle sont visibles après l'intervention. Une seule intervention est habituellement nécessaire par œil pour stabiliser la maladie mais si besoin, elle peut être répétée dans le temps en respectant un intervalle donné.

Le cross linking est contre-indiqué si l'épaisseur cornéenne est inférieure à 400 µm car des réactions toxiques sont possibles au niveau de l'endothélium cornéen. Il est également contre indiqué chez les patients présentant une opacité cornéenne centrale ainsi que pour les patientes allaitantes ou étant enceinte.

Les complications possibles pour cette méthode peu invasive sont rares et pour la plupart bénignes. La plus redoutée est la kératite infectieuse, généralement de nature bactérienne mais parfois de nature mycotique ou virale, notamment herpétique ou zostérienne. Il peut également avoir des infiltrats cornéens stériles, des hazes

fréquents (pour la plupart régressifs), des cicatrices cornéennes centrales ou encore des nécroses coréennes ainsi qu'une toxicité endothéliale si le traitement chimique est excessif.

b. *Les lentilles* [30]

Il s'agit du traitement le moins invasif pour réhabiliter la vision. Cette méthode aide à diminuer les aberrations optiques présentes avec le port de lunettes qui ne sont plus suffisantes en raison du fort et irrégulier astigmatisme induit. Cela nécessite une manipulation quotidienne minutieuse et rigoureuse pour les patients qui en sont généralement très satisfaits. Une hygiène irréprochable et un entretien spécifique sont nécessaires. Les lentilles rigides cornéennes, cornéo-sclérales et sclérales se présentent généralement pour les stades II et III du kératocône chez qui la correction par lunettes ne sont plus supportées.

Les lentilles rigides perméables au gaz (LRPG) sont des lentilles rigides de petit diamètre reposant sur la cornée dont l'adaptation est simple. Leur manipulation est facile et permet une bonne qualité optique avec très peu de risque infectieux. Leur utilisation est plus fréquente que les lentilles sclérales.

Les lentilles rigides sclérales sont de grand diamètre et réalisées sur mesure en fonction de la cornée du patient, reposant sur la sclère, et non sur la cornée comme les autres types de lentilles.

Du sérum physiologique est déposé dans le creux de la lentille, qui sera en contact avec la cornée et viendra s'appuyer sur le cône. Celui-ci viendra alors corriger l'irrégularité de la cornée ce qui permettra d'homogénéiser la surface cornéenne et donc d'obtenir une meilleure qualité optique qui favorisera l'augmentation de l'acuité visuelle du patient et son confort quotidien. Ces lentilles sont perméables au gaz et permettent à l'œil de s'oxygénérer et d'éviter diverses complications mais elles permettent également à l'œil de toujours rester hydraté grâce au liquide présent entre la lentille et la cornée.

Leur manipulation est plus complexe puisqu'elles sont très grandes et sont appliquées avec un liquide à l'intérieur, qui viendra au contact de l'œil. Elles sont généralement manipulées à l'aide de petites ventouses différentes en fonction de l'application ou du retrait de la lentille.



Figure 19 : retrait d'une lentille sclérale [12]

Le port de lentilles sclérales devient difficile pour les patients ayant un cône trop décentré par rapport au centre optique, ce qui ne donne pas une correction optimale.

Les lentilles sclérales peuvent également être utilisées en complément des diverses interventions chirurgicales du kératocône afin de parfaire la qualité visuelle ressentie par le patient.

c. Les anneaux intra-cornéens [31]

Les anneaux intra-cornéens se présentent sous la forme d'anneaux semi-circulaires en plastique rigide de puissance et de longueur d'arc de cercle variable qui est inséré dans le stroma cornéen afin de recentrer le cône. L'anneau circulaire rigide est fabriqué en PMMA, un plastique médical, et peut être placé par paire dans la cornée afin de reformer un anneau complet. Il permet d'avoir un effet de renforcement biomécanique en contraignant le stroma cornéen. Cela améliore la qualité de vision en corrigeant sur le long terme l'astigmatisme et les aberrations dues au kératocône afin d'éviter d'avoir recours à une greffe de cornée.

En pratique, cette intervention est proposée pour les patients présentant un kératocône ne supportant plus le port de lentilles rigides ou dont l'adaptation est impossible, mais souhaitant améliorer leur vision.

Des tunnels avec des incisions d'un diamètre d'environ 2 mm sont creusés dans l'épaisseur du stroma à l'aide d'un laser pour permettre la mise en place d'anneaux séparant les fibres de collagènes stromales. Ceux-ci assureront un aplatissement de la cornée tout en la soutenant et relevant le kératocône.

Cette intervention est réversible et moins invasive que la greffe cornéenne. Elle est contre-indiquée si la pachymétrie cornéenne est inférieure à 400 µm, si la kératométrie centrale est trop importante et dépasse 55 à 60 dioptries ou encore si une cicatrice est présente au centre de la cornée.

Une paire de lunettes ou de lentilles souples ou rigides peuvent compléter le gain de vision après cette intervention grâce à la réduction et la régularisation de

l'astigmatisme et des aberrations optiques. Si le résultat n'est pas concluant, l'anneau sera retiré et une greffe de cornée sera réalisée à la place.

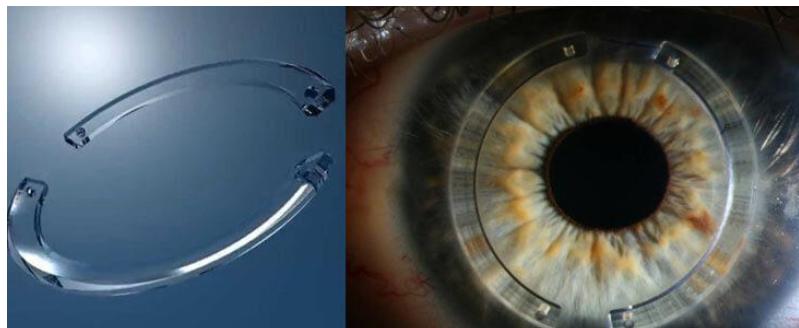


Figure 20 : image d'anneaux intra-cornéens [13]

d. Les kératoplasties [21 ; 32]

La greffe de cornée est réalisée en dernier recours car il s'agit d'un geste chirurgical invasif avec un risque de complications et dont l'espérance de vie est limitée (comprise entre 20 et 25 ans). Elle devient inévitable pour le traitement du kératocône avancé. Cette méthode est envisagée uniquement si le patient ne parvient pas à l'obtention d'une vision fonctionnelle avec les lentilles de contact suite à la présence d'une opacité cornéenne, en raison d'une cornée trop déformée ou encore en cas d'intolérance totale du port de lentilles. Le but de cette intervention est de corriger l'astigmatisme et de rendre la transparence à la cornée afin d'améliorer la qualité de vision du patient. Parfois, il est nécessaire de porter des lunettes ou une lentille sur l'œil ayant eu l'intervention pour obtenir une meilleure vision.

Deux méthodes peuvent être utilisées :

- La kératoplastie transfixante consiste au remplacement total de la cornée malade et endommagée du patient par une cornée saine prélevée sur un donneur décédé.
- La kératoplastie lamellaire antérieure profonde (KLAP) consiste à enlever l'endothélium du greffon prélevé sur un donneur décédé. Il remplace le stroma du patient présentant des opacités et gardera son endothélium initial sain. Cette technique est plus complexe et moins courante tout en diminuant le risque de rejet de greffe.

La cornée du patient est retirée avec un trépan sur 8 millimètres et est remplacée par le greffon. Il est suturé à l'aide d'un fil qui sera retiré plusieurs mois après l'intervention. Après l'opération, l'œil n'est que très peu douloureux et la vision est récupérée progressivement.

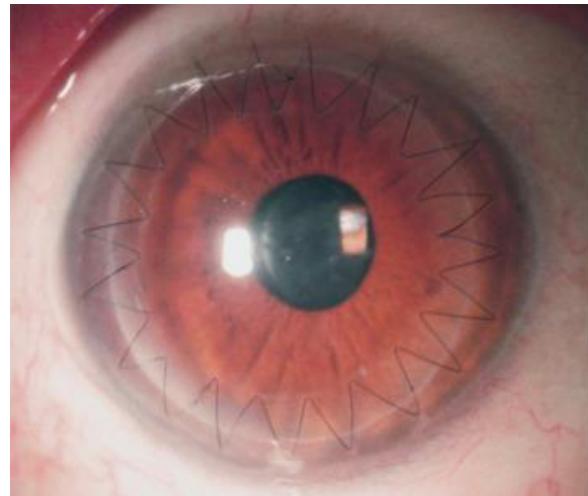


Figure 21 : photo d'une kératoplastie transfixante [18]

Une infection ou un rejet de greffe reste possible après la chirurgie et même jusqu'à plusieurs années suivant l'intervention. Des collyres anti-rejet et antibiotiques sont prescrits dans les semaines suivant l'opération puis les fils sont retirés quelques mois après la chirurgie. Une hypertonie oculaire voire un glaucome sont également possibles en raison de l'instillation de corticoïdes au long cours.

e. La méthode CAIRS [28]

La méthode CAIRS se présente comme une alternative prometteuse aux anneaux intra-cornéens, et pourrait, à terme, supplanter ces derniers en devenant la technique de référence dans le traitement du kératocône.

L'implantation d'anneaux cornéens allogéniques (CAIRS) consiste à prélever un greffon sur un donneur décédé après avoir retiré les cellules de l'épithélium, du stroma et de l'endothélium. Cela diminue alors le risque de rejet. Le greffon est par la suite coupé et implanté dans un tunnel formé dans la cornée. Cette technique s'adresse à un large éventail de patients atteints de kératocône, y compris ceux dont l'épaisseur cornéenne est inférieure à 400 µm.

IV. la méthode CAIRS

1. Présentation de la technique [28]

La technique CAIRS (Corneal Allogenic Intrastromal Ring Segments) est une chirurgie novatrice utilisée dans la prise en charge du kératocône. Elle consiste à planter dans le stroma cornéen des segments d'anneau intrastromal allogéniques cornéens, afin de renforcer sa structure et de corriger sa déformation.

Relativement simple et peu invasive, elle vise non seulement à atténuer les irrégularités cornéennes mais également à améliorer la vision tout en préservant la structure naturelle de la cornée. En moyenne, un gain de deux à trois lignes d'acuité visuelle est observé par rapport à celle mesurée en préopératoire.

Indiquée dans les formes modérées de kératocône, cette technique peut être proposée comme alternative aux anneaux intra-cornéens synthétiques ou aux lentilles sclérales. Elle peut également être envisagée avant une greffe de cornée, permettant de retarder cette dernière chez les patients présentant un kératocône très évolué.

En préopératoire, des examens complémentaires tels que la tomographie par cohérence optique (OCT) du segment antérieur, ainsi que la topographie cornéenne sont nécessaires afin d'évaluer la structure de la cornée et de déterminer l'emplacement, la taille et le nombre de segments. Toutes ces informations vont permettre de planifier l'intervention de manière optimale en s'assurant une meilleure adaptation des implants.

Après l'intervention, les signes d'amélioration de la qualité visuelle sont généralement observables dès les premiers jours avec une première amélioration significative à une semaine post-opératoire. Cependant, l'effet escompté se manifeste dès 1 à 3 mois après l'opération, le temps que la cornée se remodèle et cicatrice.

Pour suivre l'évolution et garantir le confort du patient, des contrôles réguliers sont préconisés. Une première visite doit être effectuée la première semaine suivant l'intervention. Ensuite, une seconde visite doit être réalisée un mois après la chirurgie puis une troisième visite, trois mois après cette dernière. En l'absence de complications, un suivi annuel est recommandé.

Des traitements topiques comprenant des larmes artificielles, collyres antibiotiques ainsi qu'anti-inflammatoires sont prescrits afin d'optimiser la cicatrisation et de prévenir les complications infectieuses ou inflammatoires.

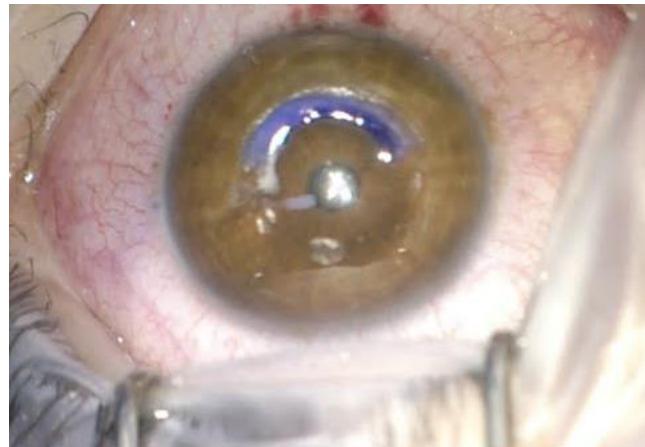


Figure 22 : photo d'un implant après la chirurgie CAIRS [11]

2. Procédure de la chirurgie^[4 ; 14]

La chirurgie est réalisée sous anesthésie topique, grâce à des gouttes anesthésiantes instillées dans l'œil du patient. Le déroulement de l'intervention est identique à celui des anneaux intra-cornéen.

Les segments CAIRS sont préparés à partir de cornées de donneurs, découpés en anneaux concentriques à l'aide d'un trépan. La cornée est au préalable séchée puis l'épithélium et l'endothélium sont retirés à l'aide d'une fléchette. Ensuite, la membrane de Bowmann est marquée à l'aide d'un feutre afin de repérer le sens. Puis, la cornée est découpée à l'aide d'un trépan à double lame créant un anneau de 1,5 mm de largeur. Le greffon est enfin mis à déshydrater à l'air libre pendant 45min afin qu'il soit plus rigide et maniable lors de la chirurgie. La découpe peut également être réalisée de manière automatique à l'aide du laser femtoseconde.

Les segments préparés sont implantés dans un ou plusieurs tunnels creusés à mi-profondeur de la cornée, dans le stroma, grâce au laser femtoseconde. L'axe horizontal de l'œil est préalablement marqué sur l'œil du patient avant la chirurgie pour que les segments soient insérés précisément selon l'axe déterminé en préopératoire. Le greffon acellulaire est ensuite inséré dans le tunnel. La position, la longueur ainsi que le nombre de CAIRS implantés se déterminent en fonction de l'aspect anatomique et de l'astigmatisme du kératocône déterminés grâce à la topographie cornéenne.

La procédure peut être associée à un cross-linking, en fonction de l'épaisseur minimale cornéenne et du risque d'évolutivité du kératocône. Un traitement complémentaire par lentilles pour optimiser la vision ou un laser de surface pour retirer tout port de lunettes ou de lentilles peuvent aussi être envisagés.

Cette chirurgie a l'avantage d'être totalement réversible.

3. Avantages [28]

La méthode CAIRS présente plusieurs avantages qui en font une alternative prometteuse dans la prise en charge du kératocône.

L'avantage essentiel de cette méthode est son taux réduit d'extrusions par rapport aux anneaux intra-cornéens (AIC) synthétiques. L'extrusion, correspondant à l'expulsion partielle ou totale de l'implant hors de la cornée, est une complication sérieuse des dispositifs intra-cornéens. Ce risque est fortement réduit grâce à leur nature allogénique et leur meilleure intégration dans le stroma cornéen.

Par ailleurs, les cellules épithéliales et endothéliales ayant été retirées, il ne persiste que quelques kératocytes dans le stroma cornéen du segment allogénique. Cette caractéristique leur confère une biocompatibilité remarquable et une tolérance immunologique améliorée ce qui limite considérablement le risque de rejet du greffon.

L'indication des CAIRS est plus large et peut être envisagée pour tous les stades de kératocône. En effet, contrairement aux anneaux intra-cornéens (AIC), elle peut être proposée pour les patients ayant une courbure maximale (Kmax) supérieure à 60 dioptries ainsi qu'une pachymétrie minimale inférieure à 400 µm. Cela constitue une avancée majeure pour les patients atteints de kératocône sévère, par rapport aux anneaux intra-cornéens synthétiques qui sont souvent contre-indiqués chez ces patients en raison du risque des effets indésirables.

Les segments allogéniques sont préparés sur-mesure au patient, ce qui permet d'obtenir des résultats personnalisés, adaptés et plus satisfaisants.

Enfin, les premiers signes d'amélioration pourraient être observables dès le premier jour suivant l'intervention, ce qui constituerait un avantage notable comparé aux anneaux intra cornéens synthétiques pour lesquels le délai de récupération visuelle est plus long.

4. Limites et inconvénients

Bien que la méthode CAIRS présente de grands avantages dans la prise en charge du kératocône, elle comporte également des inconvénients qu'il convient de considérer.

L'un des principaux défis techniques concerne la manipulation des segments. En raison de leur souplesse, ils peuvent être difficile à insérer correctement dans le tunnel stromal. Pour surmonter cette difficulté, une étape de déshydratation préalable du segment est nécessaire afin de le rendre plus rigide, rallongeant ainsi le temps opératoire.

Un autre point important est le risque de potentiel rejet immunologique. Bien que l'épithélium et l'endothélium cornéens soient retirés, l'introduction d'un tissu

allogénique dans la cornée reste associée à un certain risque de rejet en raison de la présence résiduelle de kératocytes dans le stroma.

Enfin, il est important de noter que, comme pour toute intervention chirurgicale, il existe des risques infectieux après l'opération, tels qu'un abcès de cornée entraînant des complications sérieuses et définitives s'il n'est pas traité rapidement.

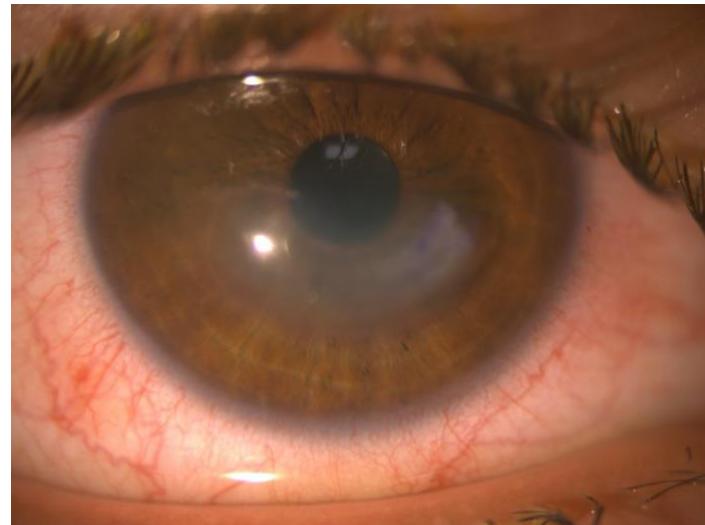


Figure 23 : photo d'un œil d'un patient de l'hôpital Edouard Herriot ; (CAIRS en inférieur)

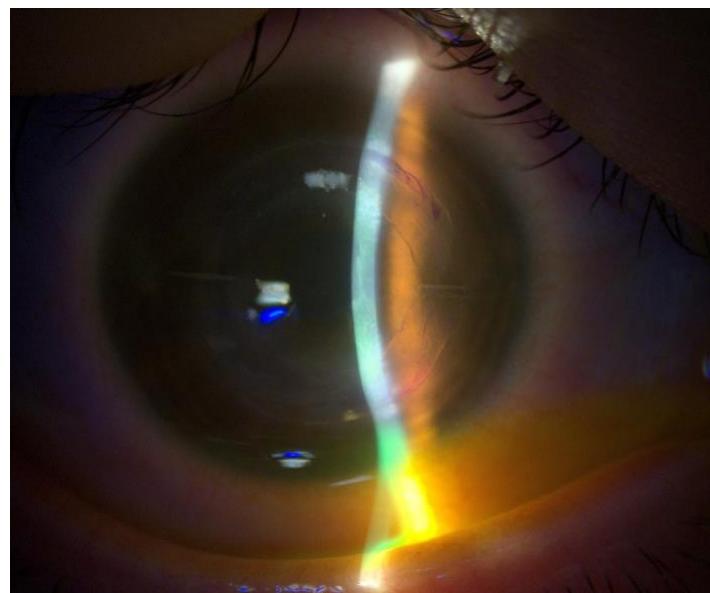


Figure 24 : observation d'implants CAIRS supérieurs et inférieurs à la lampe à fente d'un patient de l'hôpital Edouard Herriot

PARTIE 2 – PRATIQUE

INTRODUCTION

Le kératocône est une pathologie ectasiante de la cornée d'origine multifactorielle (génétique, environnementale et mécanique) et caractérisée par un amincissement progressif et une déformation en forme de cône de la cornée. Cette altération entraîne une baisse d'acuité visuelle en raison de la présence d'un astigmatisme irrégulier, difficilement corrigé par des verres correcteurs classique, rendant leur vision floue et déformée ce qui impacte leur qualité de vie.

Les prises en charge actuelles permettant d'améliorer la vision et de ralentir l'évolution de la maladie reposent sur l'utilisation des lentilles rigides ou sclérales. Mais aussi le cross-linking, connu pour rigidifier et stabiliser la cornée en renforçant les liaisons du collagène stromal, les anneaux intra-cornéens synthétiques qui permettent de remodeler la courbure de la cornée pour ainsi améliorer sa régularité, ainsi que la greffe de cornée pour les stades les plus avancés de cette pathologie.

Depuis quelques années, une technique innovante a émergé : l'implantation de segments intra-cornéens allogéniques (CAIRS). Cette méthode consiste à insérer dans le stroma des segments issus de tissus cornéens humains assurant une meilleure biocompatibilité, une meilleure tolérance et une plus grande personnalisation du traitement selon la morphologie cornéenne du patient, que les anneaux intra-cornéens synthétiques.

Peu d'études sont présentes dans la littérature scientifique concernant la méthode CAIRS comme alternative thérapeutique dans le traitement du kératocône.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'efficacité fonctionnelle et anatomique de l'implantation CAIRS dans le kératocône en analysant l'évolution de l'acuité visuelle et des paramètres topographiques cornéens. L'objectif secondaire est d'apprécier la tolérance post-opératoire de cette technique sur un suivi à court et moyen terme.

1. Matériel et méthode

a. Design de l'étude

Il s'agissait d'une étude rétrospective et monocentrique conduite à l'hôpital Edouard Herriot à Lyon, concernant les patients atteints de kératocône et ayant été implantés de segments intra-coréens allogéniques (CAIRS), entre décembre 2023 et mars 2025. L'ensemble des données cliniques avaient été recueillies à partir des dossiers informatisés de patients suivis dans cet hôpital.

Nous avons également pu assister à l'intervention chirurgicale et au suivi post-opératoire de quelques patients au cours de nos stages dans cet hôpital.

b. Critères d'inclusion

Les patients inclus dans notre étude devaient :

- Être atteints de kératocône confirmé à l'aide d'une topographie cornéenne
- Bénéficier d'un suivi topographique effectué avec un Oculus Pentacam et/ou Heidelberg Antérion
- Présenter une acuité visuelle inférieure ou égale à 5/10
- Présenter une pachymétrie minimale $\leq 451 \mu\text{m}$
- Présenter un Kmax > 56 dioptries

Les critères d'exclusions incluaient :

- Une autre pathologie oculaire responsable d'une baisse d'acuité visuelle
- Un antécédent de traitement chirurgical autre que le CAIRS ou le cross-linking
- La présence de contre-indications ophtalmologiques empêchant l'implantation des segments CAIRS (antécédant d'hydrops...)

c. Protocole chirurgical

Les segments intra-cornéens allogéniques (CAIRS) ont été préparés à partir de cornées de donneurs selon le protocole suivant :

- Désépithérialisation et désendothérialisation manuelles à la fléchette
- Marquage de la membrane de Bowman pour respecter le sens anatomique
- Préparation du segment CAIRS avec la découpe manuelle du greffon sous forme d'anneau de 1,5 mm de diamètre à l'aide d'un double trépan (ou de deux trépans successifs)
- Temps de déshydratation de 45 min environ

La procédure chirurgicale était réalisée sous anesthésie locale et incluait :

- Le marquage de l'axe horizontal
- Création d'un ou deux tunnels stromaux de 1,8 mm à l'aide du laser femtoseconde à une profondeur de 250 µm et à une distance de 5,2 mm de l'axe visuel
- Implantation du ou des segments selon la forme et l'astigmatisme du kératocône

d. Evaluation pré et post-opératoire, analyse statistique

Nous avions centré notre étude sur l'évaluation comparative en pré et post-chirurgie de plusieurs paramètres cliniques et paracliniques :

- L'acuité visuelle subjective dans différentes conditions, de loin (mesurée sur l'échelle de Monoyer) et de près (mesurée sur l'échelle de Parinaud), sans et avec correction.
- La topographie cornéenne à l'aide de l'Oculus Pentacam et / ou Heidelberg Anterion avec mesure et comparaison de différents paramètres incluant les valeurs kératométriques moyenne (Kmoy) et maximale (Kmax), la puissance et l'axe de l'astigmatisme, la pachymétrie cornéenne centrale et minimale ainsi que la régularité globale.
- L'OCT de segment antérieur Tomey Casia 2 en post-opératoire afin d'évaluer l'intégration et la stabilité des segments CAIRS, d'analyser des cartes topographiques et des valeurs de pachymétrie que l'OCT de segment antérieur nous renseignait.

Les visites post-opératoire étaient réalisées à 7 jours puis 1, 3, 6 et 12 mois en l'absence de complication. L'analyse statistique, incluant des moyennes, écarts-types et tests de significativité avaient été effectués à différents temps de notre étude : en pré-opératoire, à un mois de la chirurgie et lors de la consultation de suivi la plus tardive pour chaque patient.

2. Résultats

a. Analyse globale

Cette étude a inclus 5 yeux droits de 5 patients (1 femme et 4 hommes), âgés de 21 à 51 ans pour un âge moyen de 32 ans. Atteints de kératocônes modérés à sévères et opérés à l'Hôpital Edouard Herriot à Lyon entre décembre 2023 et mars 2025. A noter que 4 patients avaient bénéficié auparavant d'un traitement par cross-linking en raison d'un kératocône évolutif.

2 patients ont été implanté avec 2 segments (patient 1 et patient 4 sur la partie statistique) et 3 patients avec un seul segment (patients 2, 3 et 5 dans la partie statistique).

Acuité visuelle :

PATIENT	1 (OD)	2 (OD)	3 (OD)	4 (OD)	5 (OD)	MOYENNE ET ECART TYPE
Acuité visuelle pré-opératoire	1,4/10	3,2/10	5/10f P4	2,5/10 P	4/10 P2	3,22/10 +/- 1,379
Acuité visuelle M1	1/10	6,3/10	6,3/10	1,6/10 4/10 ATS*	4/10 P2	3,84/10 +/- 2,511 4,32/10 +/- 2,183 ATS*
Acuité visuelle dernier contrôle	5/10 (M5)	12/10 (M15)	6,3/10 (M1)	3,2/10 4/10 ATS* (M4)	6,3/10 (M3)	6,56/10 +/- 3,296 6,72/10 +/- 3,106 ATS*

*Améliorable au trou sténopéïque

Tableau 1 : évolution de l'acuité visuelle aux différents temps de l'étude (pré-opératoire, M1 et M3)

En pré-opératoire, l'acuité visuelle corrigée moyenne était de 3,22/10 +/- 1,38.

Un mois après l'opération, elle s'élevait à 3,84/10 +/- 2,51 ; soit un gain moyen de +0,62/10. A noter que pour un patient, l'acuité visuelle était nettement améliorée avec le trou sténopéïque (passait de 1,6/10 à 4/10), ce qui donnait une acuité visuelle moyenne de 4,32/10 +/- 2,18 soit un gain moyen de 1,1/10.

A la dernière consultation post-opératoire (allant de M1 à M15 selon les patients), l'acuité visuelle corrigée avait augmenté de 3,34/10 +/- 3,244 (3,5/10 ATS +/- 3,098) atteignant une moyenne de 6,56/10 +/- 3,296 (6,72/10 +/- 3,106 ATS) avec des valeurs allant de 5/10 à 12/10.

La statistique comparant les mesures d'acuité visuelle en pré-opératoire, au premier mois et au dernier temps de contrôle retrouvait une différence significative ($p=0,035$ et $p=0,033$ ATS).

Kmax :

PATIENT	1 (OD)	2 (OD)	3 (OD)	4 (OD)	5 (OD)	MOYENNE ET ECART TYPE
Kmax pré-opératoire	64,6D	56,3D	64D	78,7D	60,52D	64,824D +/- 8,433 D
Kmax M1	59,9D	52,7D	62,68D	70,49D	58,58D	60,87D +/- 6,495 D
Kmax dernier contrôle	57,34 D (M3)	57,2 D (M15)	62,68D (M1)	67,1D (M4)	55,69D (M3)	60,002 D +/- 4,772 D

Tableau 2 : comparaison de la variation et de l'évolution du Kmax (D) aux différents temps de contrôles opératoires

La moyenne du Kmax pré-opératoire était de 64,824 dioptries +/- 8,433.

Elle était à un mois post-opératoire de 60,87 dioptries +/- 6,495 ; soit une diminution moyenne de 3,974 dioptries +/- 2,729.

Pour la dernière consultation post chirurgicale, une diminution moyenne de 4,822 dioptries +/- 4,922 avait été noté donnant une moyenne de 60,002 dioptries +/- 4,772 avec des résultats allant de 55,69 à 67,1 dioptries.

La statistique comparant les mesures du Kmax à ces trois temps de contrôle retrouvait une différence significative (p=0,045).

Kmoyen :

PATIENT	1 (OD)	2 (OD)	3 (OD)	4 (OD)	5 (OD)	MOYENNE ET ECART TYPE
Kmoyen pré-opératoire	55 D	47 D	52,1 D	58,5 D	49,68 D	51,82 D +/- 5,156 D
Kmoyen M1	49,5D	44,1 D	50,28 D	42,21 D	46,13 D	46,444 D +/- 3,449 D
Kmoyen dernier contrôle	44,93D (M3)	45,1D (M15)	50,28 D (M1)	49,1 D (M4)	45,51D (M3)	46,984 D +/- 2,514 D

Tableau 3 : comparaison de la variation du Km (D) aux différents temps de contrôles opératoires

Le Kmoyen avant opération était de 51,82 dioptries +/- 5,156 en moyenne.

Nous obtenions un mois après la chirurgie une moyenne de 46,444 dioptries +/- 3,449 avec une diminution moyenne de 6,794 dioptries.

Concernant la dernière consultation, le Kmoyen était de 46,984 dioptries +/- 2,514 en moyenne qui donnait une diminution de 4,836 dioptries +/- 4,493 avec des données allant de 44,93 à 50,28 dioptries.

La statistique confrontant les mesures du Kmoyen après ces trois dates de contrôle ne retrouvait pas une différence significative mais tendait vers la significativité ($p=0,087$).

Pachymétrie vertex :

PATIENT	1 (OD)	2 (OD)	3 (OD)	4 (OD)	5 (OD)	MOYENNE ET ECART TYPE
Pachymétrie vertex pré-op	395µm	428µm	459 µm	403µm	452µm	427,4µm +/- 28,501µm
Pachymétrie vertex M1	391µm	431µm	469µm	400µm	440µm	426,2µm +/- 31,507 µm
Pachymétrie vertex dernier contrôle	389 µm (M3)	438µm (M15)	469µm (M1)	374µm (M4)	427µm (M3)	419,4 µm +/- 38,24 µm

Tableau 5 : évolution de la pachymétrie au vertex (μm) aux différents temps de l'étude

La pachymétrie moyenne précédent l'opération était de 427,4 μm +/- 28,501.

Un mois post opératoire, la moyenne était de 426,2 μm +/- 31,507 avec une diminution moyenne de 1,2 μm +/- 8,228.

Cette diminution était de 8 μm +/- 18,588 lors de la dernière consultation avec des valeurs allant de 374 à 469 μm , donnant 419,4 μm +/- 38,24 de moyenne.

La statistique opposant les mesures de la pachymétrie au vertex en pré opératoire, à un mois puis au dernier temps de contrôle ne retrouvait pas une différence significative ($p=0,422$).

Pachymétrie min :

PATIENT	1 (OD)	2 (OD)	3 (OD)	4 (OD)	5 (OD)	MOYENNE ET ECART TYPE
Pachymétrie min pré-op	387µm	422µm	451µm	399µm	444µm	420,6µm +/- 27,7µm
Pachymétrie min M1	386µm	428µm	424µm	390µm	439µm	413,4µm +/- 23,87µm
Pachymétrie min dernier contrôle	352µm	429µm (M15)	424µm (M1)	336µm (M4)	423µm	392,8 µm +/- 44,963 µm

Tableau 6 : évolution de la pachymétrie minimale (μm) à différents contrôles de l'étude

En pré opératoire, la pachymétrie minimale était en moyenne de 420,6 μm +/- 22,7.

Un mois après la chirurgie, la mesure était de 413,4 μm en moyenne +/- 23,87 avec une diminution de 7,2 μm +/- 12,377.

Lors du dernier contrôle, les données allaient de 336 à 429 μm avec une diminution de 27,8 μm +/- 25,243 et donnait 392,8 μm +/- 44,963 de moyenne.

La statistique comparant les mesures de la pachymétrie minimale à ces trois temps de contrôle retrouvait une différence significative ($p=0,046$).

Astigmatisme antérieur :

PATIENT	1 (OD)	2 (OD)	3 (OD)	4 (OD)	5 (OD)	MOYENNE ET ECART TYPE
Astigmatisme ant pré-op	4,6 D	4,2 D	1,9 D	7,6 D	6,83 D	5,026 D +/- 2,265 D
Astigmatisme ant M1	3,2 D	4,6 D	2,48 D	6,16 D	6,5 D	4,588 D +/- 1,768 D
Astigmatisme ant dernier contrôle	3,48 D	6,8 D (M15)	2,48 D (M1)	7 D (M4)	6,25 D (M3)	5,202 D +/- 2,077 D

Tableau 7 : évolution de l'astigmatisme antérieur

L'astigmatisme antérieur pré-opératoire était en moyenne de 5,026 +/- 2,265.

Un mois post chirurgical, il était en moyenne de 4,588 dioptries +/- 1,768 avec une diminution de 0,438 dioptries +/- 0,959.

Au dernier contrôle post opératoire, il était de 5,202 dioptries +/- 2,077 en moyenne avec une évolution 0,176 dioptrie +/- 1,491 avec des mesures allant de 2,48 à 7 dioptries.

L'étude statistique suite à ces valeurs au sujet de la diminution de l'astigmatisme antérieur ne prouvait pas une différence statistiquement significative avec $P=0,510$; valeur strictement supérieure à 0,05 obtenue au test ANOVA suivant une loi normale.

La statistique comparant les mesures d'astigmatisme antérieur en pré-opératoire, au premier mois et au dernier temps de contrôle ne retrouvait pas une différence significative ($p=0,510$).

b. Analyse au cas par cas

Concernant le patient 1, atteint de kératocône de stade IV avec opacité cornéenne préexistante, nous avions observé une diminution majeure de son Kmoy de 11,74 dioptries, traduisant une régularisation importante de la cornée.

Cependant, l'acuité visuelle corrigée moyenne est passée de 1,4/10 à 1,6/10 soit un gain total entre le post opératoire et 3 mois après la chirurgie de +0,2/10 restant un gain très limité. Par ailleurs, ce patient a présenté par la suite un ulcère surinfecté ayant nécessité une greffe de membrane amniotique, puis une greffe de cornée.

Le patient 2, atteint de kératocône de stade I et ayant bénéficié d'un cross linking 5 ans auparavant, est celui pour lequel nous avions le plus de recul avec une dernière consultation 15 mois après la pose d'anneaux CAIRS.

La régularisation cornéenne a été objectivée par une meilleure symétrie à la topographie avec un kératocône plus centré ainsi qu'une réduction de 1,9D du Kmoy. Par ailleurs, son acuité visuelle est passée de 3,2/10 à 12/10 ; soit une augmentation de 8,8/10 avec une correction optique nettement inférieure à celle portée en amont de l'intervention chirurgicale.

Le patient 3, dont nous possédions un recul post-opératoire de 1 mois seulement, était atteint d'un kératocône de stade II et avait eu recours à un cross linking 13 ans avant l'intervention.

Sur le plan topographique, il a présenté une légère augmentation du Kmoy de +0,17D, traduisant une persistance d'irrégularité cornéenne. Malgré cela, nous avons observé un gain d'acuité visuelle corrigée de +1,3/10, avec un passage de 5 à 6,3/10.

Le patient 4, atteint d'un kératocône de stade IV avec une petite opacité cornéenne temporale, avait également été traité par cross linking 12 ans avant la pose de CAIRS. Son suivi s'étend jusqu'à 3 mois post-opératoire.

Sur le plan fonctionnel, son acuité visuelle corrigée est passée de 2,5/10 à 3,2/10 et jusqu'à 4/10 au trou sténopéique.

Sur le plan topographique, le Kmoy a diminué de 9,4D, passant de 58,5D en pré-opératoire à 49,1D trois mois après la pose de CAIRS, témoignant d'une régularisation importante de la courbure cornéenne. A noter que la patiente a présenté une complication à type de kératite herpétique ayant retardé la récupération visuelle.

Le patient 5 a été traité par CAIRS associé à un cross-linking simultané. Il présentait un kératocône de stade I. Nous avions remarqué une diminution du Kmoy de -3,99D, passant de 46,5D à 42,6D associé à une augmentation de l'acuité visuelle de 2,3/10 avec correction optique le faisant passer de 4/10 à 6,3/10.

3. Discussion

a. Description des résultats

Notre hypothèse pour cette étude était de prouver l'efficacité et la tolérance de la méthode CAIRS dans le traitement du kératocône.

Grâce au suivi des patients, nous avons pu constater que c'est une chirurgie pour laquelle la récupération visuelle et anatomique se fait durablement dans le temps, avec une amélioration significative au troisième mois post-opératoire mais une qualité de vision impressionnante retrouvée plus d'un an après la réalisation de la chirurgie pour l'un des patients opérés.

Sur le plan topographique, une baisse de la kératométrie maximale et moyenne ont été remarqué chez la majorité des patients. Cela a permis d'obtenir une cornée à

la forme plus régulière, entraînant une amélioration de l'acuité visuelle grâce à un astigmatisme devenu plus stable et mieux corrigible.

Au vu de notre étude, nous avons remarqué que cette chirurgie semble efficace plutôt pour les kératocônes peu avancés et modérés. Il convient toutefois de souligner que chez certains patients atteints de kératocône plus avancé, l'amélioration de l'acuité visuelle était plus modérée, malgré des résultats kératométriques satisfaisants. Cela pourrait s'expliquer par la présence d'opacités cornéennes centrales, limitant les bénéfices visuels. Ce facteur doit être pris en compte dans la sélection des patients ou lors de l'information pré-opératoire.

Concernant la pachymétrie, une augmentation transitoire a été observée à sept jours post-opératoire. Celle-ci a été probablement liée à l'inflammation post-chirurgicale ainsi qu'à l'insertion du greffon. Au contraire, dès le premier mois opératoire et pour la majorité des patients, la pachymétrie avait progressivement diminué, souvent inférieure à celle mesurée initialement. Cette diminution n'a entraîné aucune répercussion fonctionnelle significative sur la vision.

b. Force de l'étude

Notre étude représente l'une des premières expériences française rapportée sur les CAIRS dans le traitement du kératocône. Tous les patients opérés durant cette période ont été inclus, ce qui confère à cette série un caractère représentatif de la réalité clinique.

Le suivi de cas variés, incluant des kératocônes à différents stades d'évolution et un recul allant jusqu'à quinze mois, constitue également un point fort. Ce suivi a permis d'apprécier l'évolution anatomique et fonctionnelle dans le temps et de relever les éventuelles complications post-opératoires.

c. Limites de l'étude

Notre étude a été conduite sur une petite taille de cohorte ($n=5$), ce qui a fortement restreint l'analyse statistique des résultats. Il s'agit en outre d'une étude rétrospective, non standardisée limitant donc la comparabilité des données.

La présence de plusieurs opérateurs a entraîné une hétérogénéité quant à la réalisation des différents examens complémentaires, tant dans les délais que dans les appareils utilisés.

Enfin, des limitations de techniques locales ont été observées notamment en l'absence de femto LASIK permettant la découpe et de double trépanage qui a donc nécessité l'utilisation de deux trépans successifs. Ces paramètres pourraient limiter la standardisation et la généralisation du protocole chirurgical.

CONCLUSION

Le kératocône est une pathologie ectasante de la cornée caractérisé par un amincissement progressif et une déformation en forme de cône de la cornée, entraînant une baisse d'acuité visuelle impactant la qualité de vie des patients.

Sa prise en charge repose sur l'utilisation de lentilles rigides ou sclérales qui permettent de corriger l'astigmatisme irrégulier. En cas de progression, le cross-linking est indiqué pour renforcer le tissu cornéen et ralentir l'évolution de la pathologie. D'autres options chirurgicales comme les anneaux intra-cornéens synthétiques classiques sont proposées pour régulariser la cornée. Enfin, une greffe de cornée peut s'avérer nécessaire pour les cas les plus sévères.

Dans ce contexte, la méthode CAIRS représente une alternative innovante. En utilisant du tissu cornéen allogénique, elle permet une meilleure biocompatibilité et limite certains effets secondaires associés aux anneaux synthétiques.

Notre étude a été réalisé sur un faible taux de personnes, limité à cinq patients. Ce faible échantillon correspond cependant à l'ensemble des patients ayant bénéficié de cette chirurgie à l'hôpital Edouard Herriot de Lyon.

Cette procédure représente une technique novatrice dans la prise en charge du kératocône qui est encore peu connue en France. Les cas opérés de cette étude font alors parti des premières expériences lyonnaises concernant la méthode CAIRS dans le traitement des kératocônes.

Malgré le recul limité, les résultats initiaux observés sont encourageants, tant sur le plan topographique que fonctionnel. C'est une chirurgie qui a été bien tolérée chez la majorité des patients, avec une amélioration visible de la régularité cornéenne et, dans certains cas, un gain notable en acuité visuelle.

En revanche, aucune conclusion définitive ne peut être formulée concernant cette méthode. Des études complémentaires, incluant un plus grand nombre de patients et des suivis au long terme seront nécessaires afin de confirmer les bénéfices de cette chirurgie innovante dans le traitement du kératocône.

BIBLIOGRAPHIE

1. Ectasies cornéennes [Internet]. 2020 [cité 6 déc 2024]. Disponible sur: <https://www.cliniquedelavision.com/fr/ectasies-corneennes>
2. Kératocône [Internet]. 2012 [cité 1 déc 2024]. Disponible sur: <https://www.snof.org/encyclopedie/k%C3%A9ratoc%C3%B4ne>
3. VisionKeratocône.ch - Traitements contre la progression du Kératocône [Internet]. [cité 1 déc 2024]. Disponible sur: <https://www.visionkeratocone.ch/fr/>
4. A MN Gatinel D, Saad. Nouvelle prise en charge chirurgicale du kératocône : implantation d'anneaux cornéens allogéniques (CAIRS) [Internet]. 2023 [cité 12 déc 2024]. Disponible sur: <https://www.realites-ophtalmologiques.com/2023/11/06/nouvelle-prise-en-charge-chirurgicale-du-keratocone-implantation-danneaux-corneens-allogeniques-cairs/>
5. Merieme HAROUCH : Kératocône du diagnostic au traitement [Internet]. 2016 [cité 2 déc 2024]. Disponible sur: <https://fr.slideshare.net/merieme-harouche-kratocne-du-diagnostic-au-traitement/57047596>
6. L'astigmatisme [Internet]. 2015 [cité 1 déc 2024]. Disponible sur: <https://www.pjtoulemont.fr/oeil-normal-et-anomalies/le-oeil-optiquement-anormal/lastigmatisme>
7. CASSETTE NB Studio. Dégénérescence pellucide [Internet]. 2011 [cité 6 déc 2024]. Disponible sur: <https://www.gatinel.com/recherche-formation/aberrometrie/aberrometrie-et-degenerescence-pellucide-marginale/>
8. SFO | Rapport 2019 - OCT EN OPHTALMOLOGIE [Internet]. [cité 13 déc 2024]. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/em/SFO/2019/HTML/sforender/B9782294760846500116.html>
9. La cornée [Internet]. 2020 [cité 1 déc 2024]. Disponible sur: <https://www.cliniquedelavision.com/fr/la-cornee>
10. Kératocône, définition du trouble visuel et de la maladie de la cornée. [Internet]. [cité 2 déc 2024]. Disponible sur: <https://www.visionkeratocone.ch/fr/definition/definition>
11. YouTube [Internet]. [cité 23 déc 2024]. Disponible sur: <https://youtube.com/watch?v=-xp5h9UaDZM&si=C8VynL4GtL6t-3Y4>
12. scleral-into-eye-1-768x510.jpg.optimal.jpg 768 × 510 pixels [Internet]. [cité 23 déc 2024]. Disponible sur: <https://mydryeye.ca/wp-content/uploads/2021/05/scleral-into-eye-1-768x510.jpg.optimal.jpg>
13. Anneaux intra-cornéens - Intacts | LASIK TUNISIE [Internet]. [cité 20 déc 2024]. Disponible sur: <https://www.lasiktunisie.com/anneaux-intra-corneens-tunisie.php>

14. Jacob S, Patel SR, Agarwal A, Ramalingam A, Saijimol AI, Raj JM. Corneal Allogenic Intrastromal Ring Segments (CAIRS) Combined With Corneal Cross-linking for Keratoconus. *J Refract Surg.* 1 mai 2018;34(5):296-303.
15. Protocole National de Diagnostic et de Soins PNDS 2021 – Kératocône - https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2021-11/pnds_keratocone_sensgene__15_nov_2021_vfinale.pdf
16. Microscopie spéculaire.jpg 465 × 210 pixels [Internet]. [cité 16 déc 2024]. Disponible sur: https://www.aesiosante.fr/sites/default/files/styles/visual_article/public/2019-12/Microscopie%20spe%CC%81culaire.jpg?itok=UKa7z3Cn
17. Ectasie-cornéenne-en-coupe-OCT.png 960 × 720 pixels [Internet]. [cité 6 déc 2024]. Disponible sur: <https://www.gatinel.com/wp-content/uploads/2010/01/Ectasie-corn%C3%A9enne-en-coupe-OCT.png>
18. Kératoplastie transfixiante - ScienceDirect [Internet]. [cité 6 déc 2024]. Disponible sur: <https://www.google.com/imgres?imgurl=https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0181551221005830-gr1.jpg&tbnid=YeVvC14pBshXDM&vet=1&imgrefurl=https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0181551221005830&docid=5FAH8c7ellC6LM&w=357&h=303&itg=1&source=sh/x/im/can/1&kgs=6e6040ba5b9c4522&sfr=vfe>
19. oeil sans et avec.PNG 1 312 × 646 pixels [Internet]. [cité 13 déc 2024]. Disponible sur: <https://www.jevisbienetre.fr/sites/default/files/inline-images/oeil%20sans%20et%20avec.PNG>
20. Reddit - <https://preview.redd.it/1-year-post-op-full-corneal-transplant-v0-vb8h1w352sf91.jpg?width=1080&crop=smart&auto=webp&s=690ca6cd4b1fd51d5e58aa80e9de0af58cd5f0d5> [Internet]. [cité 13 déc 2024]. Disponible sur: <http://surl.li/ghhpdf>
21. Collège des ophtalmologistes universitaires de France, éditeur. Ophtalmologie. 5e éd. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2021. (Les référentiels des collèges).
22. Al-Bayatti A. Ophtalmologie: fiches. Versailles: S-éditions; 2022. (Les grimoires d'Anaïs).
23. CASSETTE NB Studio. Astigmatisme [Internet]. 2011 [cité 7 févr 2025]. Disponible sur: <https://www.gatinel.com/chirurgie-refractive/astigmatisme/>
24. La cornée | C.C.K. Paris - Centre de la Cornée et du Kératocône [Internet]. [cité 1 déc 2024]. Disponible sur: <https://www.centre-cornee-keratocone.com/content/la-corn%C3%A9e>
25. Kayser-Fleischer_ring.jpg 288 × 191 pixels [Internet]. [cité 7 févr 2025]. Disponible sur: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/00/Kayser-Fleischer_ring.jpg

26. cornee-saine.jpg 400 × 416 pixels [Internet]. [cité 7 févr 2025]. Disponible sur: <https://dr-leininger.fr/wp-content/uploads/cornee-saine.jpg>
27. Domart A, Librairie Larousse, éditeurs. Nouveau larousse médicale. Paris: Larousse; 1991. 1142 p.
28. Customized corneal allogenic intrastromal ring segments (CAIRS) for keratoconus with decentered asymmetric cone. Disponible sur : <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10788746/pdf/IJO-71-3723.pdf>
- 29 . Imagerie : vers de nouvelles stratégies de classification / Classification « histologique » de Sandali. Disponible sur : <https://www.cahiers-ophtalmologie.fr/media/52b/cdo239-dossier-keratocone-v-saunier.pdf>
30. Kératocône et lentilles de contact. Marseille: SFOALC; 2003.
31. Bourges JL. La cornée en pratique clinique. Montpellier: Sauramps médical; 2021. (Focus en ophtalmologie).
32. Renard G. La cornée. Paris: Éd. scientifiques et médicales Elsevier; 2001.
33. Bourges JL. La cornée. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2020. (Atlas en ophtalmologie).
34. Gatinel D. Topographie cornéenne. 2e éd. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2014. (Atlas en ophtalmologie).

ANNEXES

	PATIENT 1	PATIENT 2	PATIENT 3	PATIENT 4	PATIENT 5
Date opération CAIRS	26/01/2024	19/12/2023	21/03/2025	09/01/2025	19/12/2024
Oeil opéré	OD	OD	OD	OD	OD
Nombre greffons	2	1 (EN INF2RIEUR)	1 (en inférieur)	2	1 (inférieur)
Stade KC	Stade IV	Stade I	Stade II	Stade IV	Stade I
Correction optique	Pré op subjectif : OD : -6 (-6 à 15°) OG : -3 (-6 à 155°) ADD +1,50	CO portée pré op : OD : -4,50 (-3,5 à 165°) OG : -2,00 (-2 à 160°) CO (M3) : OD : +3 (-1 à 180°)	CO portée pré op : OD +2 (-5,5 à 60°) OG -0,25 (-1,50 à 35°)	Rien	CO portée pré op : OD -1,50 (-4,50 à 50°) OG +0,50 (-1,25 à 110°)
Commentaires	Novembre 2022/2023 : Frotte malgré les gouttes Ne met plus ses lunettes SPOT depuis 8% au moins car inconfort porté irrégulier de LR depuis le début. Pas de lunettes M15 : majoration Kmax	OG : +KP 2019 Tunisie Portée CO de pré op, ne met pas les CO prescrites après l'op et pense que ses lunettes sont mal adaptées (normal s'il porte du -4,50 alors qu'il est hypermétrope)	2019 : lentille rigide arrêtée suite à un accident de travail (lentilles collées), acétylation lentille faite en 2013 Frottements +++ en pré op, se frotte moins les yeux depuis op.	KC OD stade III 2021 : frottement intensif et position de sommeil avec appui oculaire +++ donc port de chaque nocturne et depuis plus de frottements. K max élevé ++ OD J12 inflammation de surface	Frottement oculaire suite à une probable allergie à son chien (vu en ville). Moins de frottements depuis GRWKA HEX max élevé ++ OD Pachy : 457 µm [04/2024]
Traitements KC	Zaleng, PV/A, thealose	+/-Larmes artificielles	Larmes artificielles	Patientne satisfait(e) en M1,5	X
Découverte KC	2010	X	2010	2019	2023
Cross-linking	NON	OUI 2018	OUI ODG 2011	OUI avril 2022	OUI (même tps que CAIRS)
Acurité visuelle ASC/SC ?	Pré op OD = 1,4/10 P14 OG = 1,4/10 P14	OD = 3,2/10 P3f OG = 10/10 P2	OD = 5f/10 P4 OG = 7/10 P2	OD = 2,5/10 P8 OG = 10/10 P2	OD = 4/10 P2 OG = 10/10 P2
M1	OD = 1/10 PX	OD = 6,3/10 P2	OD = 6,3/10 P2 OG = 8/10 P3	OD = 1,6/10 ATS 4/10 P6 OG = 10/10 P2	OD = 4/10 P2 OG = 10/10 P2
	OD : 1,75 (-4 à 40°)	OD +1,25 (-1,50 à 15°)			
	-0,4/10	+3,1/10			
			-0,9/10 +1,5/10 ATS		+0/10

M3	OD = 1,6/10 P20 OG = 0,5/10 P OD : +0,50 (-3 à 50°) +0,2/10	OD = 7/10 P2 OG = 10/10 P2 +3,7/10	X	OD = 3,2/10 ATS 4/10	OD = 6,3/10 P3
M5 : 5/10	+ 3,6/10	04/04/2025	M15 :	Kmax OD = 64 D Astigmatism ant = 4,6 D à à 107,3°	Kmax OD = 56,3 D Astigmatism ant = 4,2 D à 74,2°
→ Aux urgences, ulcère légèrement sur infecté → GMA OKP →	→			Kmoy = 55 D Kmax OD = 59,9 D Astigmatism ant = 3,2 D à 123°	Kmoy = 47 D Kmax OD = 52,7 D Astigmatism ant = 4,6 D à 70,2°
M3	Kmax OD = 57,34 D Astigmatism (flat) = - 3,48 D à 20°	Kmoy = 49,5D	M15	Kmax OD = 54,6 D Astigmatism ant = 5,7 D à 74,9°	Kmoy = 44,1D
					Kmoy = 49,07D → +0,17D
					x
M3	Kmoy = 43,26D → - 11,74 D	Kmoy = 44,3D	M15	Kmax = 57,2 D Kmoy = 45,1D → -1,9 D	M15
Pachymétrie	Pré op				
J7	vertex = 395 µm pachy min : 387 µm	vertex = 428 µm pachy min : 422 µm		vertex = 459 µm pachy min : 451 µm	vertex = 403 µm pachy min : 399 µm
M1	vertex = 582 µm pachy min : 535 µm	430 µm thinnest / 437 µm apex		vertex = 564 µm pachy min : 561 µm	J12 529 thinnest 553 apex (casie)
M3	vertex = 391 µm pachy min : 386 µm	vertex = 431 µm pachy min : 428 µm		vertex = 469 µm pachy min : 424 µm	390 thinnest 400 apex (casie)
	thinnest 352 µm / apex 389 µm			vertex = 436 µm pachy min : 428 µm	vertex = 374 µm pachy min : 336 µm
					vertex = 427 µm pachy min : 423 µm

PATIENT VARIATION	1 (OD)	2 (OD)	3 (OD)	4 (OD)	5 (OD)	MOYENNE ET ECART TYPE
AV pré-op / M1	-0,4/10	+3,1/10	+1,3/10	-0,9/10 +1,5/10 ATS	+0/10	+0,62/10 +/- 1.608 +1,1/10 ATS +/- 1.384
AV pré-op / dernière mesure	+3,6/10 (M5)	+8,8/10 (M15)	+1,3/10	+0,7/10 +1,5/10 ATS	+2,3/10	+3,34/10 +/- 3.244 +3,5/10 ATS +/- 3.098
Kmax pré-op / M1	-4,7 D	-3,6 D	-1,32 D	-8,21 D	-3,97 D	-3,954 D +/- 2.729
Kmax pré-op / dernier contrôle	-7,26 D (M3)	+0,9 D (M15)	-1,32 D (M1)	-11,6 D (M4)	-4,83 D (M3)	-4,822 D +/- 4.922
Kmoyen M1 / pré-op	-5,5D	-2,9 D	-1,82 D	-16,29 D	-0,37 D	-5,376 D +/- 6.383
Kmoy pré-op / dernier contrôle	-10,07 D (M3)	-1,9D (M15)	-1,82 D (M1)	-9,4D (M4)	-0,99D (M3)	-4,836D +/- 4.493
pachymétrie vertex M1 / pré-op	-4 µm	+3 µm	+10µm	- 3µm	- 12µm	- 1,2µm +/- 8.228
pachymétrie vertex pré-op / dernier contrôle	-6 µm	+10µm (M15)	+10µm (M1)	-29µm (M4)	-25µm (M3)	-8 µm +/- 18.588
pachymétrie min M1 / pré-op	-1 µm	+6 µm	-27 µm	-9 µm	-5 µm	-7,2 µm +/- 12.377
pachymétrie min dernier contrôle/pré-op	-35µm	+7 µm (M15)	-27µm (M1)	-63µm (M4)	-21µm (M3)	-27,8 µm +/- 25.243
astigmatisme ant pré-op/M1	-1,4 D	+0,4 D	+0,58 D	-1,44 D	-0,33 D	-0,438 D +/- 0.959
astigmatisme ant pré-op / dernier contrôle	-1,12 D	+2,6D	+0,58 D (M1)	-0,6 D (M4)	-0,58D (M3)	0,176 D +/- 1.491