



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

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>



Université Claude Bernard  Lyon 1

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LA READAPTATION

Directeur Professeur Jacques LUAUTE

**Étude rétrospective comparant l'efficacité de trois
traitements du kératocône : anneaux intra-cornéens,
cross-linking et lentilles sclérales**

MEMOIRE présenté pour l'obtention du

CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPTISTE

Par

**CHAUMIN Mariève
&
GAUTREAU Léa**

Sous la direction du Dr Maxime KERN

Autorisation de reproduction

LYON, le
14/06/2022

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

N° 2022-02

Président
Pr Frédéric FLEURY

Vice-président CFVU
M. CHEVALIER Philippe

Vice-président CA
M. REVEL Didier

Vice-président CS
M. VALLEE Fabrice

Directeur Général des Services
M. ROLLAND Pierre

Secteur Santé

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

U.F.R d'Odontologie
Directeur
Pr. SEUX Dominique

U.F.R de Médecine Lyon-Sud
Charles Mérieux
Directrice
Pr BURILLON Carole

Institut des Sciences Pharmaceutiques
et Biologiques
Directrice
Pr VINCIGUERRA Christine

Département de Formation et
Centre de Recherche en Biologie
Humaine
Directeur
Pr SCHOTT Anne-Marie

Institut des Sciences et Techniques de
Réadaptation
Directeur
Pr Jacques LUAUTE

Comité de Coordination des
Etudes Médicales (CCEM)
Pr COCHAT Pierre



Secteur Sciences et Technologies

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

Directeur

M. VANPOULLE Yannick

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

Directeur

M. LEBOISNE Nicolas

Institut National Supérieur du Professorat et de l'éducation (INSPé)

Directeur

M. CHAREYRON Pierre

UFR de Sciences et Technologies

Directeur

M. ANDRIOLETTI Bruno

POLYTECH LYON

Directeur

Pr PERRIN Emmanuel

IUT LYON 1

Directeur

M. VITON Christophe

Ecole Supérieure de Chimie Physique Electronique de Lyon (ESCPE)

Directeur

M. PIGNAULT Gérard

Observatoire astronomique de Lyon

Directeur

Mme DANIEL Isabelle

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 Maxime KERN, notre maître de mémoire, ophtalmologiste et assistant chef de clinique à l'Hôpital Edouard Herriot et à l'Hôpital Lyon Sud. Ta disponibilité et tes conseils ont été une aide précieuse pour notre étude. Merci pour ton implication à la fois pour ce mémoire mais aussi sur nos lieux de stages, pour nous avoir partagé tes connaissances.

Nous remercions particulièrement Madame Estelle LAGEDAMONT, orthoptiste et directrice des études au sein du département d'orthoptie pour son enseignement, son immense dévouement pour le département et surtout pour son aide et son écoute pendant toutes ces années.

Nous remercions M. GOUTAGNY, Mme DEROQUE, Mme PONTON, Mme STALDER, Mme PERRAUD-PONCET et toutes les personnes qui nous ont transmis leurs connaissances en orthoptie et en ophtalmologie au cours de ces trois années au sein de l'école.

Nous tenons à vous remercier pour votre implication dans notre vie étudiante et dans nos stages.

Nous remercions Monsieur le 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 Madame Karen PONTON pour votre aide précieuse et vos conseils quant à l'écriture de notre mémoire. Merci également pour votre bienveillance en stage. Et enfin merci spécialement à vous pour la transmission de votre passion pour cette pathologie qu'est le kératocône, vous nous avez amenées à l'étudier dans ce mémoire.

Nous tenons à remercier Thierry CAILLAT et Delphine CASEIRO pour leur aide précieuse. Merci de nous avoir transmis généreusement les informations nécessaires pour notre étude sur les lentilles SPOT®.

Merci au Dr. BOUZ et à ses optométristes pour nous avoir transmis des données sur les anneaux intra-cornéens alors que nous n'en avons pas assez.

Merci à Madame le Professeur Carole BURILLON, chef du service d'ophtalmologie de l'Hôpital Edouard Herriot pour nous avoir permis de collecter les données de notre mémoire dans votre service et également d'y avoir effectué nos stages pendant tout notre cursus.

Merci aux encadrants de stages que nous avons pu rencontrer lors de notre cursus universitaire, pour votre accueil, vos conseils et votre participation dans notre apprentissage du métier d'orthoptiste.

Merci à tous les Docteurs et internes avec lesquels nous avons pu collaborer pendant nos stages pour toute votre aide et vos connaissances en ophtalmologie.

Nous tenons à remercier nos familles pour leur aide et leur soutien tout au long de ces années d'étude.

Un grand merci à Eloïse, Alanah, Lilou et Eva pour leurs soutiens et toutes les heures de travail, mais aussi les week-ends et tous les bons moments que nous avons partagés pendant ces trois années.

Nous tenons aussi à nous remercier mutuellement,

Merci à toi Mariève pour avoir été mon binôme de travail pendant 3 ans, grâce à toi ça a toujours été facile et dans la bonne humeur. Je te souhaite le meilleur dans ta vie professionnelle et personnelle bien évidemment. Je sais bien que tu es pressée de rentrer chez toi à l'autre bout de la France mais tu vas manquer à beaucoup de personnes ici !

Un énorme merci à toi Léa qui a su faire preuve de patience pour me supporter pendant ces trois ans de travail ensemble, avec une charge pas toujours très bien répartie ... Au fil du temps on a appris à se servir des points forts de chacune et écrire ce mémoire dans la bonne humeur ! A nos soirées, toi ma quasi voisine avec qui les mots "tacos" ou "sushis" étaient des mots magiques pour remettre de la joie dans les moments de tristesse. J'espère que tu pourras t'envoler comme tu le souhaites vers tes projets professionnels. Je compte sur toi pour passer me voir quand tu iras dans le Maine et Loire ! Et surtout ne perce jamais ta bulle, elle est précieuse !

Sommaire

Remerciements

Abréviations

Introduction :	1
I. Partie Théorique	2
1. La cornée	2
1.1. Généralités et anatomie	2
1.2. Histologie	2
1.2.1. Film lacrymal	3
1.2.2. Épithélium Cornéen	3
1.2.3. Couche de Bowman	4
1.2.4. Stroma	4
1.2.5. Membrane de Descemet	4
1.2.6. Endothélium	5
1.3. Physiologie	5
1.3.1. Caractéristiques de la cornée	5
1.3.1. Fonctions de la cornée	6
2. Le kératocône	7
2.1. Généralités	7
2.1.1. Définition et historique	7
2.1.2. Épidémiologie	8
2.1.3. Étiologie/Facteurs de risques	8
2.1.4. Signes fonctionnels	9
2.1.5. Physiopathologie	10
2.1.6. Histologie et anatomo-pathologie	10
2.2. Diagnostic	11
2.2.1. Examen biomicroscopique	11
2.2.2. Réfractométrie	14
2.2.3. Topographie d'élevation	15
2.2.4. Le mapping épithélial	16
2.3. Classification	17
3. Les différents types de traitements	21
3.1. Lentilles de contact	21

3.1.1.	Lentilles rigides perméables au gaz (LRPG).....	21
3.1.2.	Lentilles sclérales	22
3.1.2.1.	Composition.....	22
3.1.2.2.	Indications et contre-indications.....	23
3.1.2.3.	Adaptation	23
3.1.2.4.	Manipulation.....	26
3.1.2.5.	Entretien.....	27
3.1.2.6.	Intérêt thérapeutique	27
3.2.	Les anneaux intra-cornéens (AIC).....	29
3.2.1.	Historique	29
3.2.2.	Matériaux et forme	29
3.2.3.	L'opération	31
3.2.3.1.	But	31
3.2.3.2.	Technique chirurgicale	31
3.2.3.3.	Indications et contre-indications.....	32
3.2.3.4.	Complications.....	32
3.3.	Le Cross-Linking (CXL).....	34
3.3.1.	Technique du cross-linking	34
3.3.1.1.	Principe.....	34
3.3.1.2.	Objectifs.....	35
3.3.1.3.	Indications et contre-indications.....	35
3.3.2.	Protocole.....	35
3.3.2.1.	La désépithélialisation	35
3.3.2.2.	Imprégnation par la riboflavine	36
3.3.2.3.	Irradiation par rayons ultras violets (UVA).....	36
3.3.2.4.	Technique chirurgicale	36
3.3.3.	Complications.....	37
3.4.	La greffe de cornée	39
	Conclusion de la partie théorique.....	40
II.	Partie pratique	41
1.	Introduction	41
2.	Matériel et méthode.....	42
2.1.	Groupe d'étude.....	42

2.2. Critères de sélection	42
2.3. Données recueillies	43
2.3.1. Données épidémiologiques :.....	43
2.3.2. Données cliniques :.....	43
2.3.3. Données topographiques.....	43
3. Statistiques	44
4. Discussion	49
Conclusion.....	51
Bibliographie.....	53
Annexes.....	55

Abréviations :

AIC : Anneaux intra-cornéens

AV : Acuité Visuelle

CXL : Cross-linking

Dpt : Dioptries

KC : Kératocône

KLAP : Kératoplastie lamellaire antérieure profonde

Kmax : Kératométrie Maximale

KP/KT : kératoplastie transfixiante

LIO : Lentille intra oculaire

LRPG : Lentille Rigide Perméable au Gaz

MAVC : Meilleure Acuité Visuelle Corrigée

OCT : Tomographie à cohérence optique

Pachy : Pachymétrie

SE : Sphère Equivalente

SPOT : Sclérale perméable à l'oxygène de Thonon

Topo : topographie

UVA : Rayons Ultra-Violets de type A

Introduction :

La cornée est une coupole globalement hémisphérique, située à l'avant de l'œil. Comme un verre de montre préservant le mécanisme, elle protège les structures les plus antérieures du globe oculaire : l'iris et le cristallin. Elle possède la particularité d'être entièrement transparente ce qui permet la transmission de la lumière au cristallin et à la rétine.

Le kératocône est une pathologie cornéenne qui touche majoritairement les adolescents et les jeunes adultes. Dans cette pathologie, la cornée va progressivement perdre son aspect sphérique pour prendre une forme conique très irrégulière. La cornée va se déformer et bomber vers l'avant. Les patients vont alors voir leur vision se dégrader progressivement malgré le port de leur correction optique.

A ce jour, différents types de traitements existent. Notamment l'adaptation en lentilles sclérales, perméables à l'oxygène de Thonon (SPOT®). Ces lentilles sont taillées sur mesure pour lisser et régulariser la surface de l'œil malade. Elles représentent une alternative non chirurgicale notamment dans le cas de kératocônes non évolutifs. D'autres patients sont traités par Cross Linking. Cette technique permet de freiner la progression de la maladie dans les kératocônes évolutifs. Elle possède une bonne efficacité avec peu de complications post-opératoires. Le chirurgien procède à une photopolymérisation par UVA potentialisés par un photosensibilisant, la riboflavine (vitamine B2) après le retrait de l'épithélium. Cette intervention permet dans 90% des cas de figer et de ralentir l'évolution du kératocône. Une autre technique peu utilisée jusqu'ici fait son retour après amélioration des matériaux : les anneaux intra-cornéens. Ces petits anneaux en plastique rigide sont implantés dans la cornée pour améliorer au mieux ses propriétés réfractives. Il en existe plusieurs sortes afin de s'adapter le plus précisément au kératocône et pour corriger le plus possible la déformation cornéenne dans le but de restituer au patient une acuité visuelle satisfaisante. Ainsi notre étude portera sur une comparaison des résultats post-opératoires et post-adaptations de différents traitements : le cross linking, les anneaux intra-cornéens et les lentilles sclérales.

Dans la première partie de notre travail nous rappellerons les différentes structures anatomiques de la cornée et nous détaillerons la maladie du kératocône notamment sa définition, son étiologie, ses signes fonctionnels ou encore son histologie. Dans un second temps nous décrirons les différents traitements disponibles en commençant par le moins invasif : les lentilles. Pour les kératocônes plus avancés des traitements chirurgicaux sont possibles : l'implantation d'anneaux intra-cornéens dans un but réfractif et/ou le cross linking pour ralentir la progression de la maladie.

I. Partie Théorique

1. La cornée

1.1. Généralités et anatomie

La cornée est un tissu transparent qui appartient à la tunique externe de l'œil et constitue le prolongement de la sclère par l'intermédiaire du limbe scléro-cornéen. Elle est située à l'avant de l'œil, lorsque les rayons lumineux pénètrent dans l'œil, c'est donc la structure qu'ils traversent en premier. (Figure 1)

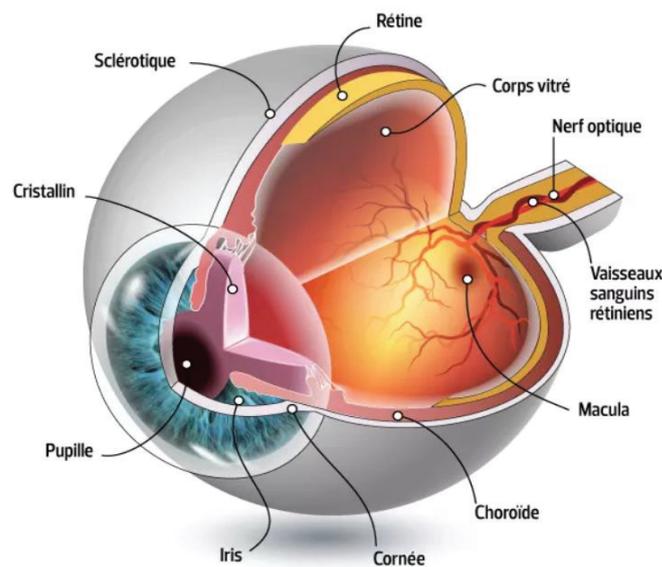


Figure 1 : Coupe schématique de l'œil (1).

La face avant et la face arrière de la cornée n'ayant pas le même rayon de courbure, elle forme le premier dioptré oculaire et a pour fonction de réfracter la lumière et de protéger les structures internes du globe oculaire. Elle est elle-même protégée par le film lacrymal.

1.2. Histologie

La cornée est composée de cinq couches histologiques différentes d'avant en arrière (Figure 2) :

- L'épithélium
- La couche de Bowman
- Le stroma
- La membrane de Descemet
- L'endothélium

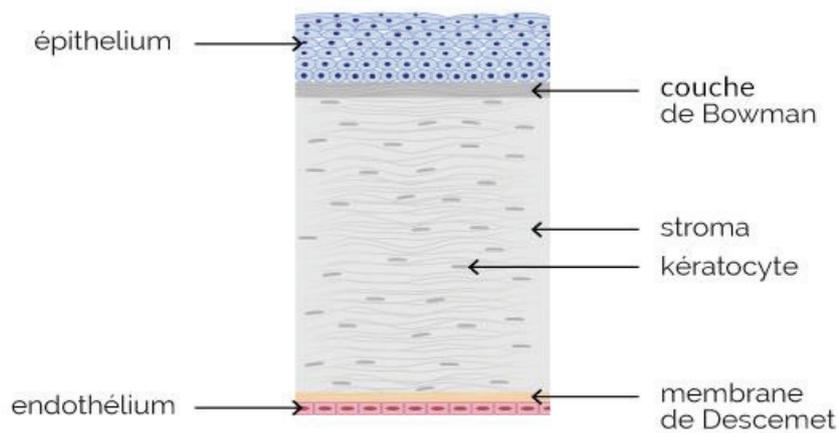


Figure 2 : Coupe schématique de la cornée.

1.2.1. Film lacrymal

La cornée est recouverte par le film lacrymal. Il a pour rôle de garantir une certaine qualité réfractive et une protection de la surface oculaire. Le film lacrymal est composé de trois couches différentes. La couche la plus superficielle est la couche lipidique, elle est produite par les glandes de Meibomius. Ces glandes sont situées dans les paupières supérieures et inférieures. La couche lipidique a pour but de retarder l'évaporation des larmes et de lubrifier la surface de l'œil. La seconde couche est la couche aqueuse, c'est la plus épaisse du film lacrymal ; celle qui hydrate l'œil, repousse les bactéries et protège la cornée. La couche la plus interne est la couche mucineuse qui est en contact direct avec la cornée, elle permet l'adhésion du film lacrymal à la cornée. (1,2)

1.2.2. Épithélium Cornéen

L'épithélium cornéen est directement en contact avec le film lacrymal. C'est un épithélium pavimenteux stratifié composé de cellules différenciées en 3 couches :

- Les cellules superficielles : ce sont les plus différenciées, leur membrane cellulaire est tapissée de multiples microvillosités qui assurent l'adhésion du film lacrymal et la cohésion mécanique dans le cadre d'échanges métaboliques avec le film lacrymal et d'échanges moléculaires avec les autres cellules.
- Les cellules intermédiaires : ce sont des cellules de transition entre les cellules superficielles et les cellules basales.

- Les cellules basales : elles sont capables de mitoses et représentent ainsi la couche germinative de l'épithélium. Ces cellules assurent un renouvellement de l'épithélium cornéen et une cicatrisation en migrant au fur et à mesure des mitoses vers la couche superficielle. (1,3).

1.2.3. Couche de Bowman

La couche de Bowman se situe entre la couche basale de l'épithélium et le stroma, ce qui permet l'adhésion de l'épithélium cornéen. C'est une couche dépourvue de cellule. Elle est composée essentiellement de fibres de collagène de type V organisées de façon anarchique et entre lesquelles on trouve des glyco-amino-glycanes qui forment la substance fondamentale. Cette couche n'ayant pas la capacité de se régénérer, toute lésion entraîne le remplacement par du tissu cicatriciel.

1.2.4. Stroma

C'est la couche la plus épaisse de la cornée, elle représente environ 90% du volume cornéen total. C'est une structure agencée en lamelles superposées de manière extrêmement précise ce qui conditionne la transparence de la cornée. En effet, les fibres de collagènes d'une lamelle sont toutes orientées dans la même direction, les unes sur les autres parallèlement à la surface de la cornée. Les lamelles sont, elles, disposées perpendiculairement les unes aux autres. Entre les lamelles on trouve des fibrocytes cornéens, appelés kératocytes. Ces kératocytes permettent la synthèse des fibres de collagène et de la matrice extracellulaire. En cas de traumatisme, ils s'activent et se transforment en fibroblastes, ce qui leur donne la capacité de migrer au sein des berges de la lésion pour en assurer la cicatrisation (1). La transparence d'une structure dépend de la façon dont la lumière incidente va interagir avec les molécules, d'où la taille uniforme et l'espacement régulier entre les fibres de collagène de type I. Tout événement qui modifierait cette régularité d'organisation provoquerait une perte de transparence.

1.2.5. Membrane de Descemet

La membrane de Descemet est la membrane postérieure du stroma. C'est une membrane basale qui correspond à la membrane basale de l'endothélium cornéen. Elle est composée essentiellement de fibres de collagène de type IV, VIII, et de matrice extra-cellulaire. Elle est très résistante en cas de perforation de la cornée et est également perméable à l'eau. Cette

membrane s'épaissit au cours de la vie, en effet elle est d'environ 3 à 4 μm à la naissance et peut mesurer jusqu'à 15 μm à l'âge adulte. Sa partie postérieure est sécrétée par les cellules endothéliales après la naissance, d'où sa croissance.

1.2.6. Endothélium

C'est la structure la plus postérieure de la cornée, elle est en contact avec l'humeur aqueuse de la chambre antérieure. Elle mesure environ 5 μm . Elle est formée d'une seule couche de cellules pavimenteuses, ce sont des cellules aplaties de forme hexagonale, formant une représentation en nid d'abeille. La quantité de cellules diminue tout au long de la vie, à la naissance on trouve environ 6000 cellules/ mm^2 et chez un jeune adulte non pathologique, autour de 3500 cellules/ mm^2 . L'endothélium est responsable du degré d'hydratation de la cornée, le degré d'hydratation optimal est de 75%, il s'agit d'un facteur responsable de la transparence de la cornée.

1.3. Physiologie

1.3.1. Caractéristiques de la cornée

La cornée est de forme elliptique avec l'axe horizontal plus long que l'axe vertical. La pachymétrie, ou épaisseur de la cornée, augmente en périphérie, ceci est dû au fait que les rayons de courbure antérieur et postérieur soient différents (Figures 3). La pachymétrie centrale varie entre 500 et 540 μm et entre 650 et 700 μm en périphérie. (Figure 4)

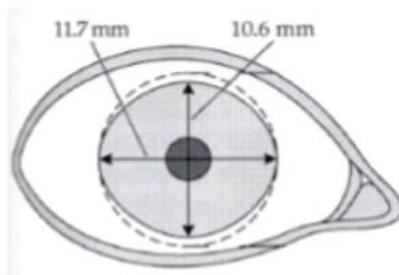


Figure 3 : Schéma des dimensions de la cornée

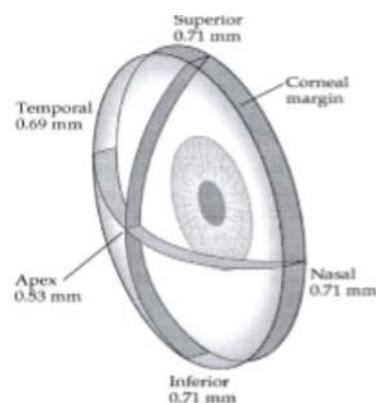


Figure 4 : Schéma de la pachymétrie cornéenne.

La principale caractéristique de la cornée est sa transparence. Elle est régie par :

- l'architecture spécifique des fibres de collagène dans le stroma grâce aux fibroblastes (Figure 5) et aux glyco-aminos-glycanes présents à la jonction du stroma et de la couche de Bowman
- la faible proportion de cellules dans le stroma
- le renouvellement de l'épithélium cornéen tous les 7 à 14 jours
- la régulation de l'hydratation de la cornée
- l'absence de vascularisation ; en effet les éléments nutritifs arrivent par les larmes et traversent l'épithélium jusqu'aux couches postérieures.



Figure 5 : Organisation du stroma cornéen.

1.3.1. Fonctions de la cornée

La cornée possède deux fonctions principales :

- Étant la structure la plus antérieure, elle protège les structures internes des traumatismes extérieurs
- La réfraction des rayons lumineux incidents : la cornée détermine à elle seule 2/3 du pouvoir réfractif total, soit environ 40 dioptries (δ), le reste du pouvoir réfractif revient au cristallin.

2. Le kératocône

2.1. Généralités

2.1.1. Définition et historique

Le kératocône (du grec *kerato*, « cornée » et *konos*, « cône ») est une maladie progressive et non-inflammatoire. Elle se manifeste par une protrusion de la cornée dans sa région axiale. Celle-ci va progressivement perdre sa sphéricité pour prendre la forme d'un cône entraînant un astigmatisme irrégulier et une diminution considérable de l'acuité visuelle qui ne peut être compensée par des lunettes. L'amincissement de la cornée précède souvent l'ectasie. Cette maladie touche les deux yeux dans 90% des cas, souvent de façon asymétrique. Il existe cependant quelques formes unilatérales.



Figure 6 : Photographie d'une cornée atteinte de kératocône.

La maladie est décrite pour la première fois dans la première moitié du XVIIIème siècle par John Nottingham qui en fait la distinction parmi d'autres ectasies de la cornée. Ce n'est qu'en mai 1909, qu'un important rapport sur le sujet a été présenté par le Professeur Parisotti de Rome à la Société Française d'ophtalmologie (1).

Depuis, la recherche s'est développée grâce à des chercheurs comme Marc Amsler, un professeur en ophtalmologie, qui a rédigé de nombreux travaux sur le kératocône et qui a créé la classification d'Amsler-Krumeich pour différencier les différents stades de cette maladie.

2.1.2. Épidémiologie

La prévalence du kératocône estimée dans la population générale est de 54 pour 100 000 habitants (4). La prévalence varie selon les études et les pays. Elle est de 0,3 pour 100 000 en Russie et de 23 000 pour 100 000 en Inde centrale (5). Les différents critères de diagnostic expliquent cette différence. Par exemple, en Inde centrale, la prévalence du kératocône a été étudiée uniquement en fonction de la puissance cornéenne antérieure obtenue par kératométrie (5). Tandis qu'au Minnesota, aux Etats-Unis, ils se sont basés sur la rétinoscopie et la kératométrie pour le diagnostic.

De même entrent en compte les facteurs environnementaux. Les endroits géographiques où le soleil et le temps chaud sont abondants, comme l'Inde et le Moyen-Orient, ont une prévalence plus élevée que les endroits où le climat est plus frais et où l'ensoleillement est réduit, comme la Finlande, le Danemark ou le Japon (5).

Aucune étude n'a relevé de différence de prévalence entre les deux sexes. Le kératocône touche aussi bien les hommes que les femmes. L'âge d'apparition se fait généralement au moment de la puberté avec une progression de la maladie sur une période de 10 à 20 ans. La gravité du trouble au moment où la progression s'arrête peut varier de l'astigmatisme irrégulier très léger à l'amincissement sévère, protrusion, et cicatrisation nécessitant une kératoplastie (5).

2.1.3. Étiologie/Facteurs de risques

Les chercheurs ont étudié de nombreux facteurs de risques, tant génétiques qu'environnementaux, qui pourraient influencer sur le risque de développer cette pathologie (6). On retrouve le facteur héréditaire dans 40% des cas. Bien qu'aucun gène n'ait été distingué précisément dans la transmission du kératocône, il est fréquent que plusieurs membres d'une même famille soient atteints de la maladie.

Par ailleurs, le kératocône survient souvent chez des personnes atteintes d'une autre maladie, génétique (avec une atteinte du tissu conjonctif) ou ophtalmologique, comme par exemple le syndrome de Marfan, la trisomie 21, la rétinite pigmentaire ou l'amaurose congénitale de Leber (7). Ainsi, 5 à 6 % des personnes trisomiques présentent un kératocône (7).

Les facteurs environnementaux entrent aussi en compte. On retrouve chez la plupart des patients atteints du kératocône un terrain allergique (asthme, eczéma) et un frottement excessif et vigoureux des yeux. Ces frottements peuvent être associés à un terrain atopique avec des allergies oculaires, de l'eczéma, de l'asthme...

Une étude montre que la déformation de la cornée est plus accentuée du côté de la main dominante (8). Cela confirme le rôle probablement très important des frottements oculaire dans la genèse et la progression des kératocônes.

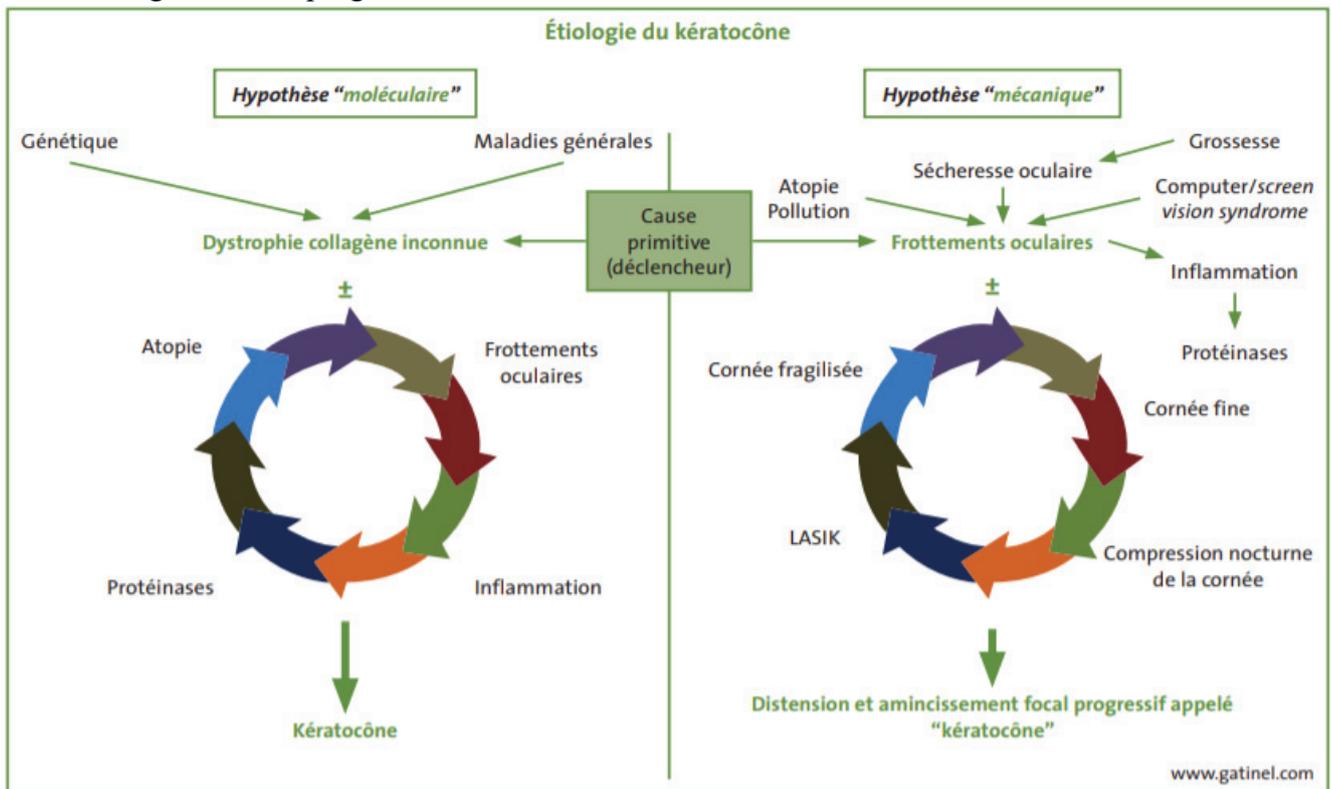


Figure 7 : Étiologie du kératocône.

Chez la plupart des personnes atteintes de kératocône, une combinaison de facteurs génétiques et environnementaux est nécessaire pour que la pathologie se développe (6).

2.1.4. Signes fonctionnels

Dans les signes et les symptômes communs du kératocône on retrouve une baisse d'acuité visuelle, majoritairement en vision de loin, ainsi qu'une déformation des images due à l'astigmatisme et à la myopie engendrés par la déformation de la cornée. Les patients se plaignent d'un brouillard visuel progressif malgré un changement récurrent de correction optique. Ils sont aussi plus susceptibles de présenter une dégradation précoce de la vision des contrastes, une photophobie et une irritation oculaire.

A un stade plus avancé, lorsque l'amincissement de la cornée a déjà évolué, le patient peut ressentir une vision "pulsatile", voire présenter une diplopie (3). Certaines personnes rapportent une amélioration de l'acuité visuelle au plissement palpébral et à l'exercice d'une pression oculaire avec un doigt sur le globe.

2.1.5. Physiopathologie

L'origine de l'apparition du kératocône n'a, pour l'instant, pas été complètement identifiée. Nous ne savons pas si l'amincissement du tissu cornéen est lié à un défaut d'ancrage du collagène à la surface cornéenne ou plutôt à un déficit d'interaction entre le collagène et la substance fondamentale du stroma.

Les deux hypothèses principales sont :

- **La théorie biomécanique**, selon laquelle le kératocône serait secondaire à une altération de l'arrangement orthogonal des fibres du collagène, contribuant à une instabilité biomécanique (9).
- **La théorie biologique**, où les anomalies biologiques seraient l'élément majeur à l'origine du déséquilibre biomécanique (9). Il existerait une augmentation de l'action des enzymes protéolytiques et une altération des inhibiteurs enzymatiques, à l'origine de l'amincissement stromal (9).

2.1.6. Histologie et anatomo-pathologie

Les cellules responsables du maintien de la matrice extracellulaire dans le stroma sont une forme spécialisée de fibroblastes appelés kératocytes (10). Dans le cas d'un kératocône leur comportement est anormal : ils présentent une quantité plus importante de réticulum endoplasmique et une apoptose (mort des cellules) accrue. On observe une migration de ces kératocytes dans la couche de Bowman. L'appauvrissement en kératocytes rend le stroma plus vulnérable au stress externe.

Les cellules épithéliales dégèrent également, ce qui crée une diminution de leur densité et un amincissement cellulaire accru. La perte de protection épithéliale devra ensuite être compensée par mitoses de kératocytes adjacents et la migration des cellules nouvellement activées vers la zone de la plaie (10). Cette perte de cellules épithéliales contribue donc à la

vulnérabilité du stroma, à la perte de l'organisation parallélique des fibres de collagène et à l'augmentation de la sévérité du kératocône.

La couche de Bowman va peu à peu prendre un aspect fibrillaire avec des épaisissements localisés, des plicatures et des ruptures qui seront alors comblés par des cellules épithéliales ou des cellules du collagène stromal (11). Les multiples ruptures de la couche de Bowman peuvent être à l'origine de la déformation de la cornée et de son apparence conique.

Le stroma postérieur peut, quant à lui, être affecté par des ruptures de la membrane de Descemet, qui provoque des infiltrations d'humeur aqueuse dans la cornée (processus appelé hydrops). Un hydrops entraîne donc un œdème cornéen localisé. Ces œdèmes se résorbent généralement en 2 à 3 mois mais peuvent laisser une cicatrice. Dans ce cas, le recours à une greffe cornéenne s'avère nécessaire pour rétablir la vision.

Enfin, la mosaïque et la densité cellulaire de l'endothélium restent conservées. Néanmoins la déformation des cellules, due à l'étirement de la cornée vers l'avant, peut engendrer une disposition irrégulière de l'endothélium.

2.2.Diagnostic

2.2.1. Examen biomicroscopique

L'examen biomicroscopique se fait avec une lampe à fente par le médecin ophtalmologiste, il permet de mettre en évidence différents signes caractéristiques d'un kératocône avancé :

- **L'anneau de Fleischer** : c'est un anneau brun situé à la base du cône. Sa pigmentation s'intensifie au fur et à mesure de l'avancée de la maladie. Il est présent dans environ 50% des kératocônes.

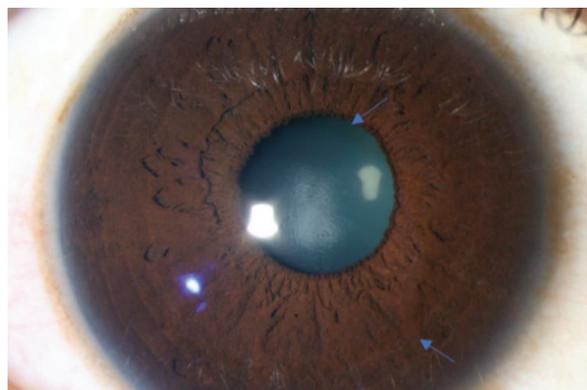


Figure 8 : Photographie d'un anneau de Fleischer.

- **L'hypertrophie des nerfs cornéens** : Les nerfs cornéens deviennent anormalement visibles à un âge très précoce.



Figure 9 : Photographie de Nerfs cornéens, vus en lampe à fente.

- **Les stries de Vogt** : Ce sont des fines striations verticales, dues à des plis anormaux de la cornée. Elles sont soit superficielles, parfois par frottement contre une lentille de contact, ou par ruptures de la couche de Bowman, soit profondes en cas de kératocône (12). Elles disparaissent quand on appuie sur le globe (3)

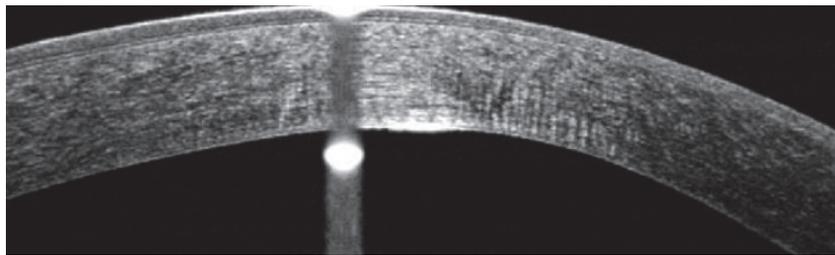


Figure 10 : OCT du segment antérieur de la cornée montrant des Stries de Vogt.

- **Les lignes cicatricielles superficielles** : Elles ont souvent un aspect réticulaire et représentent des ruptures de la couche de Bowman remplies par du tissu cicatriciel (cellules épithéliales ou des cellules du collagène stromal). Elles sont assez peu visibles en général.



Figure 11 : Photographie en lampe à fente de lignes cicatricielles superficielles.

- **Les cicatrices profondes** : résultent de la cicatrisation des ruptures de la membrane de Descemet. Leur présence traduit un stade avancé de la pathologie (1).

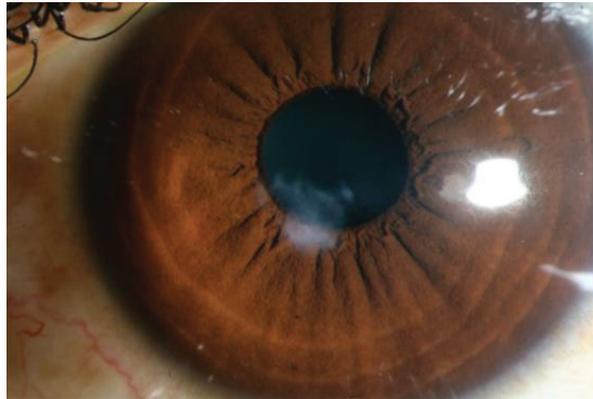


Figure 12 : Photographie en lampe à fente d'une cicatrice stromale centrale.

- **Signe de Munson Rizzuti** : Présent à un stade avancé du kératocône. La protrusion de la cornée provoque une angulation de la paupière inférieure lorsque le patient regarde vers le bas.



Figure 13 : Photographie du Signe de Munson Rizzuti.

- **Le kératocône aigu ou hydrops cornéen** : Dans les kératocônes à un stade très avancé, l'humeur aqueuse fait irruption à l'intérieur de la cornée. Cela provoque un œdème épithélial et stromal brutal et l'apparition d'une opacité diffuse.



Figure 14 : Photo en lampe à fente d'un hydrops cornéen.

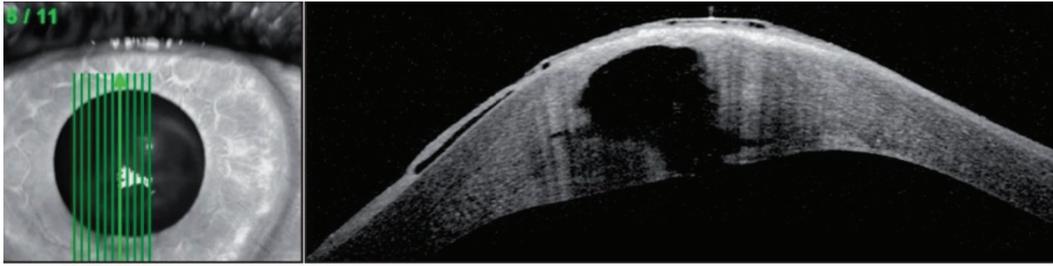


Figure 15 : OCT du segment antérieur de la cornéen avec un hydrops cornéen.

2.2.2. Réfractométrie

La plupart du temps, chez les patients présentant un kératocône, le port d'une simple correction optique ne permet pas un confort visuel suffisant. La myopie augmente au fur et à mesure de la progression du kératocône. Elle est le plus souvent d'origine cornéenne, la longueur axiale de l'œil n'est pas modifiée. C'est l'ectasie de la cornée qui procure un surcroît de vergence au dioptre cornéen.

L'astigmatisme étant très irrégulier, l'examen de la réfraction de ces patients demande une plus grande rigueur. Contrairement à un sujet sain, la puissance et l'axe de l'astigmatisme fluctuent rapidement. Il n'est pas recommandé de se baser sur les mesures de l'auto-réfractomètre pour effectuer l'acuité visuelle car les mesures ne sont pas fiables à cause de la déformation cornéenne. On peut en revanche souvent s'appuyer sur l'axe calculé par la topographie cornéenne.

On commence par faire lire le patient sans correction optique et en le laissant adopter une position de tête compensatrice. Pour la réfraction avec correction optique il est préférable d'utiliser des lunettes d'essais. On effectue un léger brouillard avec la moitié de la puissance du cylindre trouvé à l'auto-réfractomètre. Pour définir l'axe, on cherche à l'affiner de 25 en 25, de 10 en 10 puis de 5 en 5.

La sphère n'est pas fiable non plus. Pour la chercher, on ajoute ou on soustrait 1 dioptrie en se basant sur la préférence du patient. Quand l'acuité n'est plus améliorable en modifiant la sphère, on effectue le cylindre croisé de Jackson avec le nuage de point comme support optique. On finit par affiner la sphère de +/- 0,25.

La réfraction trouvée peut être totalement différente d'une consultation à l'autre.

2.2.3. Topographie d'élévation

La cornée est comparable à un dioptre convexe dont il est possible de calculer la courbure. La topographie cornéenne d'élévation consiste en la projection et l'analyse d'un reflet lumineux balayant la surface de la cornée. Elle permet la reconstruction tridimensionnelle du volume cornéen et l'étude des variations antérieures et postérieures du relief de la cornée.

Les résultats sont donnés sous la forme de coupes et de cartographies bidimensionnelles de puissances et d'élévations des faces antérieures et postérieures avec une analyse de la carte pachymétrique associée (1).

Pour la cartographie de la courbure, les rayons de courbures les plus petits sont représentés par une couleur chaude (orange, rouge), ils représentent les endroits où la cornée est la plus courbée localement. A l'inverse, les couleurs froides (bleu) représentent des grands rayons de courbures (zone où la cornée est moins courbée).

Pour la cartographie d'élévation, la couleur verte correspond au "niveau 0", c'est le niveau de référence. Une couleur est attribuée à chaque point en fonction de sa distance à la sphère de référence. Les couleurs chaudes (rouge/orange) représentent une élévation de la cornée. Les couleurs froides (bleu/violet) représentent une dépression :

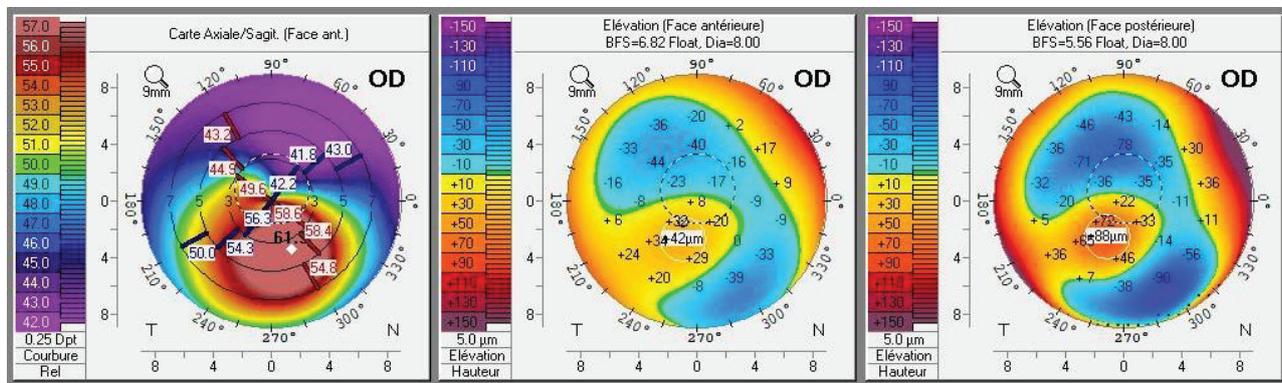


Figure 16 : Topographie cornéenne avec la cartographie de la courbure à gauche, et les cartes d'élévations de la face antérieure et postérieure de la cornée au milieu et à droite. Il s'agit d'un patient présentant un kératocône (Pentacam®, Hôpital Edouard Herriot, Lyon).

La pachymétrie cornéenne (l'épaisseur de la cornée) est aussi calculée en mesurant la distance point par point entre la face antérieure et postérieure de la cornée. Pour une cornée atteinte de kératocône le point cornéen le plus fin est souvent situé en inféro-temporal (représenté par des couleurs chaudes : rouge/orange). Une forte différence d'épaisseur (à partir de 85 microns) entre la cornée centrale et périphérique est évocatrice d'un kératocône.

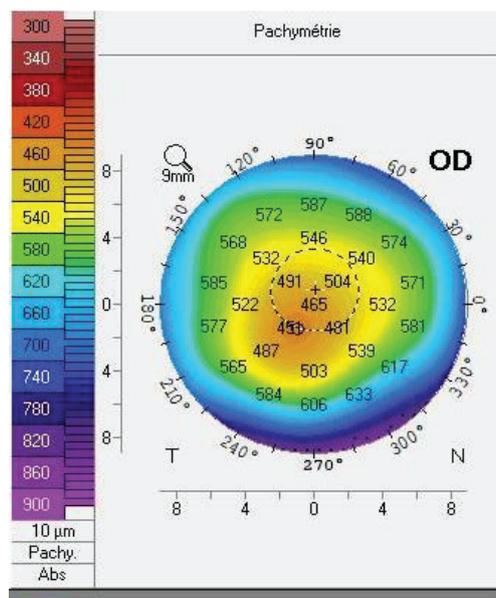


Figure 17 : Carte pachymétrique d'un patient présentant un kératocône (Pentacam®, Hôpital Edouard Herriot).

A partir de cette topographie est calculée la kératométrie et l'astigmatisme. La kératométrie permet d'étudier seuls les paramètres cornéens intervenant dans la réfraction du sujet en mesurant le rayon de courbure de la cornée.

La topographie calcule aussi l'astigmatisme en fonction des variations de courbure des méridiens cornéens. Le résultat est donné en dioptries. Attention ici on parle de dioptries de courbures et non de dioptries de puissances optiques.

2.2.4. Le mapping épithélial

En 2009, Reinstein et al. introduisent l'importance de la cartographie de l'épaisseur épithéliale de la cornée pour le diagnostic rapide et le dépistage des kératocônes frustes. En pratique, cela peut se mesurer avec une topographie dite "classique" ou avec la pachymétrie. Dans un kératocône débutant l'épithélium compense les irrégularités du stroma afin que la cornée semble "normale" sur la face antérieure alors que les irrégularités sous-jacentes échappent à l'examen (13). La présence d'une épaisseur épithéliale plus fine que les valeurs moyennes normales au niveau du point cornéen le plus fin est suspecte de kératocône (1). On retrouve aussi une asymétrie dans la distribution de l'épaisseur des cellules épithéliales. Cette asymétrie est d'autant plus prononcée que le kératocône est à un stade avancé. Une cornée saine possède une épaisseur épithéliale uniforme d'environ 50 microns. Une cornée atteinte d'un kératocône stable possède un épithélium plus mince dans sa zone inféro-temporale.

Grades	Characteristics
Stage 1	Eccentric steeping Myopia and astigmatism <5.00 D Mean central K readings <48.00 D
Stage 2	Myopia and astigmatism from 5.00 to 8.00 D Mean central K readings <53.00 D Absence of scarring Minimum corneal thickness >400 µm
Stage 3	Myopia and astigmatism from 8.00 to 10.00 D Mean central K readings >53.00 D Absence of scarring Minimum corneal thickness from 300 to 400 µm
Stage 4	Refraction not measurable Mean central K readings >55.00 D Central corneal scarring Minimum corneal thickness 200 µm

Stage is determined if one of the characteristics applies. D: Diopter;
K: Keratometry.

Figure 19 : Classification d'Amsler.

L'hôpital des XV-XX à Paris (Centre Hospitalier National d'Ophtalmologie) a récemment créé une nouvelle classification anatomique basée sur l'OCT, qui comprend cinq stades (figure 21) :

- **stade 1** : amincissement des couches épithéliales et stromales d'apparence normale au niveau du cône cornéen,
- **stade 2** : hyper-réflexivité au niveau de la couche de Bowman et épaissement épithélial en regard au niveau du cône,
- **stade 3** : invagination postérieure de structures hyper réfléchives au niveau de la couche de Bowman, avec accentuation de l'épaississement épithélial et de l'amincissement stromal,
- **stade 4** : cicatrice pan-stromale au niveau du cône,
- **stade 5** : hydrops cornéen.

Stade aigu 5a : rupture de la membrane de Descemet avec œdème cornéen important, dilacération des lamelles de collagène et formation de kystes intra stromaux et intraépithéliaux (14).

Stade cicatriciel 5b : cicatrice pan-stromale et aspect résiduel de rupture de la membrane de Descemet (14).

En effet, l'OCT est aussi un examen majeur dans le dépistage du kératocône et notamment pour le dépistage des formes débutantes. Il fournit avec précision les informations sur les changements des différentes couches anatomiques de la cornée.



Figure 20 : Classification OCT du kératocône.

Pour ce mémoire nous nous basons sur une classification scientifique, dérivée de celle d'Amsler, qui est utilisée dans les études scientifiques internationales.

CLASSIFICATION MORPHOLOGIQUE	
(AU MOINS DEUX DES TROIS CRITERES COMPLETES PAR STADE)	
STADES	CARACTERISTIQUES
<u>Stade I</u>	K max antérieur ≤ 48 D Pachymétrie au point le plus fin > 500 μm 2 D $<$ Asymétrie KC antérieure 10 mm < 5 D
<u>Stade II</u>	48 D $<$ K max antérieur ≤ 52 D 500 $\mu\text{m} \leq$ Pachymétrie au point le plus fin < 450 μm 5 D \leq Asymétrie KC antérieure 10 mm < 8 D
<u>Stade III</u>	52 D $<$ K max antérieur ≤ 56 D 450 $\mu\text{m} \leq$ Pachymétrie au point le plus fin < 400 μm 8 D \leq Asymétrie KC antérieure 10 mm < 11 D
<u>Stade IV</u>	56 D $<$ K max antérieur ≤ 60 D 400 $\mu\text{m} \leq$ Pachymétrie au point le plus fin < 350 μm 11 D \leq Asymétrie KC antérieure 10 mm < 14 D
<u>Stade V</u>	K max antérieur > 60 D Pachymétrie au point le plus fin ≤ 350 μm Asymétrie KC antérieure 10 mm ≥ 14 D

Figure 21 : Classification scientifique du kératocône, tirée de l'étude sur le kératocône menée par le Professeur Touboul.

3. Les différents types de traitements

3.1. Lentilles de contact

3.1.1. Lentilles rigides perméables au gaz (LRPG)

Les lentilles permettent de corriger les erreurs de réfraction de l'œil, elles se combinent alors à la cornée et deviennent un élément optique majeur de l'œil.

Il existe différents types de lentilles rigides, on les classe selon leurs zones d'appui :

	Diamètre	Appui	Réservoir de larmes
Cornéenne	8.0 à 12.5 mm	La lentille s'appuie entièrement sur la cornée	Pas de réservoir de larmes
Cornéo-sclérale ou semi sclérale limbique	12.5 à 15 mm	Les lentilles s'appuient en partie sur la cornée, en partie sur la sclère	Réservoir de larmes de capacité limitée
Sclérale (complète)	Mini- sclérale : 15.0 à 18.0 mm	Tout l'appui de la lentille se fait sur la sclère	Réservoir de larmes de capacité peu limitée
	Grande sclérale : 18.0 à 25.0 mm		Réservoir de larmes de capacité presque illimitée

Figure 22 : Résumé des différents types de lentilles rigides.

Les lentilles mini-sclérales (15.0 à 18.0 mm), sont les plus utilisées dans le cadre du kératocône.

Les LRPG ont un plus petit diamètre que les lentilles souples. Elles corrigent la plupart des astigmatismes cornéens. Contrairement aux lentilles souples faites en silicone d'hydrogel, les LRPG sont créées à partir de fluoro-silicone /acrylate. Comme leur nom l'indique, elles possèdent une plus grande perméabilité au gaz et laissent pénétrer l'oxygène. Un manque d'oxygène peut provoquer des complications comme des œdèmes ou une hypoxie aiguë.

Le calcul de l'oxygénation de la lentille (Dk/e) est fait en fonction de la perméabilité à l'oxygène du matériau (Dk) et de l'épaisseur de la lentille (e). Plus le Dk/e est élevé, plus l'oxygénation de la lentille est élevée. Il faut tenir compte de ce critère en fonction du type de port (journalier ou permanent) pour éviter des complications.

Les LRPG sont notamment indiquées pour les kératocônes à un stade peu élevé et pour qui la correction optique seule devient insuffisante. Elles sont aussi indiquées après une chirurgie de la cornée, en cas de fortes amétropies et pour les syndromes de l'œil sec.

Cependant son adaptation peut échouer à cause de la sensation de corps étranger. En effet, les bords de la lentille se situent sur le trajet de la paupière lors du clignement.

3.1.2. Lentilles sclérales

Les lentilles SPOT® sont un type de lentilles sclérales. Dans ce mémoire nous nous intéressons uniquement aux patients traités par lentilles SPOT®. Ce sont des lentilles thérapeutiques proposées pour des patients présentant un kératocône à un stade intermédiaire ou avancé. Ces lentilles sont souvent proposées en cas d'échec au LRGP et sont remboursées à 100% par la sécurité sociale. Elles se renouvellent tous les 2 ans.

Comme toutes les lentilles sclérales, elles passent en pont au-dessus de la cornée et prennent appui sur la sclère péri-limbique sans contact cornéen ce qui a pour avantage de la rendre plus confortable. La vision est corrigée en créant une surface uniforme au-dessus de la cornée. Elles mesurent entre 16 et 18 mm. Elles sont aussi destinées à des patients atteints d'une destruction cornéenne ou d'une déformation de la cornée, qui ne peuvent pas être traités par les solutions traditionnelles (lubrifiants ou lentilles rigides) (15). Ces lentilles ont une forte transmissibilité à l'oxygène avec un Dk/e supérieur à 100. En comparaison, les premières lentilles créées dans les années 60 possédaient un Dk/e inférieur à 20 mais elles ne sont plus produites.

3.1.2.1. Composition

Les lentilles SPOT® sont fabriquées par le Laboratoire d'Appareillage Oculaire (LAO®). Ce sont des verres scléraux, perméables à l'oxygène de Thonon. Il s'agit d'un dispositif médical de classe IIA avec marquage CE (Conformité Européenne) (15). Elles sont conçues pour avoir une forte perméabilité à l'oxygène, les Dk vont de 100 à 161. (Rappel : Dk = mesure de la perméabilité à l'oxygène d'un matériau). Le choix du matériau varie en fonction de la pathologie. Actuellement le laboratoire propose 3 types de matériaux :

- L'Optimum Extra®, par le laboratoire Contamac (Etats-Unis).

Le Dk est égale à 100 ISO (norme de fabrication des lentilles). Il est utilisé en cas de sécheresses oculaires car il s'encrasse peu.

- L'Extrem®, par le laboratoire Contamac (Etats-Unis). Le Dk est égale à 125 ISO. C'est un matériau présentant une légère hydrophilie en surface (2%) pour apporter plus de confort. On l'utilise dans le cas où la qualité de larmes est normale.
- Le Boston® XO2, par le laboratoire Bausch et Lomb (Etats-Unis). Le Dk se situe entre 161 (au maximum) et 141 ISO avec les bords corrigés. On l'utilise dans les risques d'hypoxie pour les greffes et les cornées très vascularisées.

3.1.2.2. Indications et contre-indications

Les principales indications aux lentilles SPOT® sont :

- **Les kératocônes**, à un stade intermédiaire ou évolué, et gardant une cornée transparente,
- **Les greffes de cornées**,
- **Les échecs aux LRGP**, (par exemple pour les patients se plaignant d'inconfort),
- **Les syndromes de l'œil sec sévères**,
- **Le travail en milieu poussiéreux**, car rien ne peut passer sous la lentille,
- **Les astigmatismes importants après kératoplastie transfixiante**,
- **Les dystrophies cornéennes**,
- **La dégénérescence marginale pellucide**,

Il y a peu de contre-indications aux lentilles SPOT®, cependant elle n'est pas recommandée aux patients avec une PIO élevée car elle peut l'augmenter d'environ 5 mm Hg. Il est important d'évaluer le bénéfice/risque.

3.1.2.3. Adaptation

L'adaptation des lentilles SPOT® se réalise chez un opticien ou un ophtalmologue spécialisé en lentilles sclérales. L'adaptation se fait sur 3 rendez-vous. La première fois, les lentilles SPOT® sont présentées dans une boîte standard d'essai qui comporte trois diamètres (16,17 ou 18 mm) et huit flèches. La flèche représente l'élévation de la lentille par rapport à un plan horizontal. La hauteur de la flèche conditionne l'espace liquidien entre la cornée et la lentille, elle est choisie pour que cet espace soit d'environ une demi-épaisseur cornéenne (250 à 300 microns) (16). En effet, un espace trop important entre la cornée et la lentille serait responsable d'une pression négative avec des phénomènes de succion peu confortables en

particulier au retrait (loi de Pascal) (26). La différence entre deux flèches successives est de 200 microns, il existe des flèches de -2 à +18.

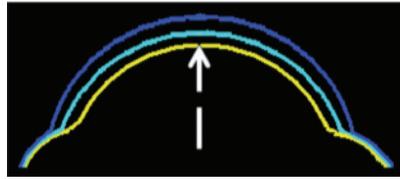


Figure 23 : Hauteur de flèches. (16)

Les lentilles sont fabriquées sur-mesure et adaptées à chaque patient. Pour le premier rendez-vous, le patient effectue un essai de lentille pendant 4 heures (le temps que la lentille se positionne définitivement sur la conjonctive), cet essai permet d'évaluer différents paramètres : le diamètre, le choix de la flèche et de définir les appuis scléraux. La réalisation de canaux est aussi importante afin d'accélérer les échanges et de limiter les débris lacrymaux. Il est conseillé de demander au fabricant la réalisation de canaux dont la disposition est le plus souvent en « Y incliné » sans atteindre le bord pour éviter l'introduction de bulles d'air (17). Le passage des larmes se fait sur une largeur de 40 microns.



Figure 24 : Coupe OCT (à 90° en haut et 180° en bas) de la cornée avec une lentille SPOT® en place.

L'objectif étant d'obtenir un aplatissement de la cornée déformée et la correction de l'astigmatisme cornéen grâce au film lacrymal (11).

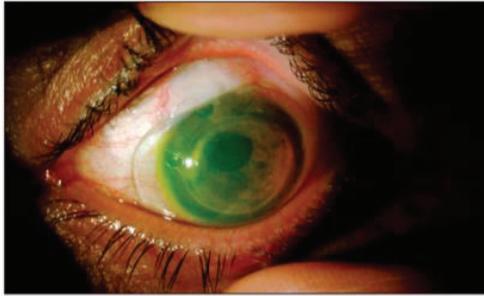


Figure 25 : Fabrications d'encoches sur la lentille pour éviter l'appui sur la bulle de filtration.

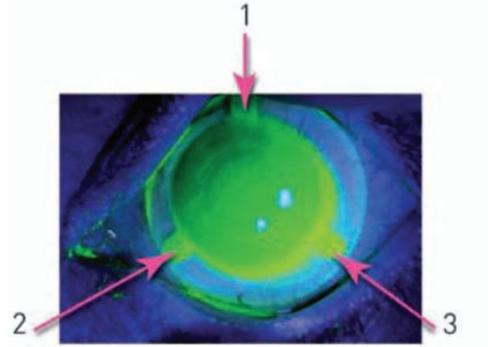


Figure 26 : Canaux de filtrations.

Après le premier essai, on vérifie l'aspect de la face antérieure du globe oculaire en position primaire du regard et les paupières soulevées (15). On ne doit pas retrouver de blanchiment conjonctival, pas d'interruption vasculaire des petits ou gros vaisseaux, ni d'empreintes conjonctivales ou de bourrelets (15). On vérifie que la circulation lacrymale est correcte avec une instillation de fluorescéine.

À la suite de ce rendez-vous le patient fera un essai de lentilles 2 à 4 heures par jour pendant 1 mois. Cette étape a pour objectif de vérifier la réfraction de l'œil, de valider la tolérance du patient et de se familiariser avec la manipulation du verre. Si le patient a des difficultés pour le retrait, l'opticien peut ajouter des perforations à la lentille pour faciliter la manipulation.

Le dernier rendez-vous a pour objectif la fabrication définitive du verre scléral avec les différentes adaptations personnalisées. Les contrôles sont effectués tous les 6 mois avec un changement des verres après 2 ans maximum.

3.1.2.4. Manipulation

Pour la pose, la lentille SPOT® est remplie de sérum physiologique à ras bord pour éviter une sécheresse de la cornée. Le patient vient positionner la lentille à l'aide d'une ventouse adaptée. L'une des principales difficultés est de ne surtout pas laisser de bulles d'air s'infiltrer entre la cornée et la lentille. Cela risque de comprimer la cornée et la vision ne sera pas bonne. Il est aussi important de vérifier l'absence d'appui central notamment pour un patient avec un kératocône. Et vérifier l'absence de serrage ou de bâillements des bords de la lentille sur la sclère.

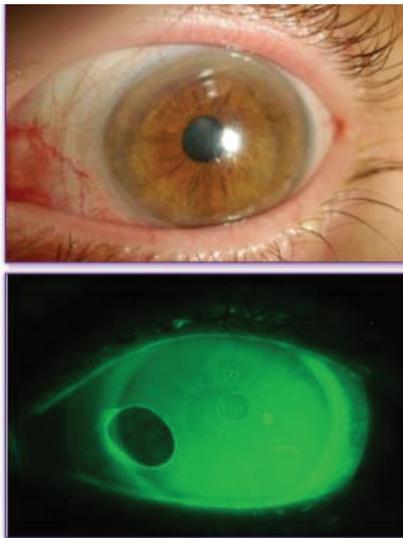


Figure 27 : Adaptation d'une lentille sclérale. On vérifie à la fluorescéine l'absence de bulles à la pose.

De même pour le retrait, l'utilisation d'une ventouse adaptée est obligatoire. Elle est différente de celle pour la pose car plus petite. Le patient vient ventouser le bord de la lentille en inférieur ou latéral externe pour plus de facilité. Il retire la lentille en tirant du côté opposé.



Figure 28 : Matériel pour la manipulation d'une lentille sclérale SPOT®. (18)

3.1.2.5. Entretien

Pour entretenir ses lentilles, le patient doit effectuer un trempage quotidien dans un produit spécial (Exemple : le MENICARE PUR®) et effectuer un massage de la lentille avec ses doigts. Le but est de décontaminer la lentille des agents infectieux potentiels. Une fois ces manipulations faites, le patient doit placer la lentille dans l'étui fourni rempli de solution d'entretien (15). Il est aussi important d'effectuer une déprotéinisation hebdomadaire afin d'éliminer les dépôts de protéines qui peuvent être sources d'une baisse d'acuité visuelle. Cela permet aussi d'empêcher la prolifération bactérienne et de désinfecter les lentilles. Si la lentille est trop encrassée, un savonnage peut être nécessaire.

3.1.2.6. Intérêt thérapeutique

Les lentilles sclérales SPOT® ont plusieurs intérêts thérapeutiques. Il s'agit d'équiper des patients demandeurs mais dont les cornées sont fragiles et nécessitent une adaptation sur mesure (16). C'est un atout pour les patients avec des sécheresses oculaires majeures et invalidantes ou bien des patients avec des altérations de la surface oculaire car les lentilles assurent une bonne hydratation et une bonne oxygénation cornéenne. Elles possèdent un bon confort pour le patient du fait de l'absence de contact direct avec la cornée.

Le centrage de la lentille, effectué indépendamment des déformations cornéennes, permet une bonne correction de l'astigmatisme pour les patients atteints de kératocône. L'utilisation de matériaux perméables à l'oxygène et hydrophiles permet le respect de la physiologie de la cornée. C'est un atout majeur pour l'augmentation de la qualité de vie des personnes atteintes de kératocône. La stabilité de la lentille apporte au patient une meilleure tolérance et une bonne récupération visuelle.

Le port de ces lentilles SPOT® permet également de retarder, voire d'éviter dans certains cas une kératoplastie ou des chirurgies plus lourdes (11).

3.2. Les anneaux intra-cornéens (AIC)

3.2.1. Historique

Les premiers anneaux furent posés en 1949 pour corriger la myopie, mais, les résultats étant peu concluants, la technique avait été abandonnée. Reynolds reprit le concept pour traiter la myopie avec des anneaux circulaires. Il fallut attendre 1997 pour que Colin soit le premier à proposer l'usage des anneaux intra-cornéens pour la prise en charge des ectasies cornéennes (19). Pour ces ectasies, le concept d'hémicycles est repris, et non de cercles complets comme chez Reynolds. Cette technique revient actuellement dans la pratique grâce au laser femtoseconde et au développement d'une multitude d'anneaux s'adaptant chacun à un kératocône différent. C'est une autre alternative pour retarder ou éviter une greffe de la cornée, chez des patients atteints de KC.

3.2.2. Matériaux et forme

Un anneau intra-cornéen est un demi-cercle rigide en PMMA (Polyméthacrylate de méthyle). C'est un polymère thermoplastique transparent plus connu sous le nom d'une marque déposée : Plexiglas®. Sa transparence, son aspect visuel et sa résistance aux rayures lui permettent d'être considéré comme une alternative au verre scléral. Les anneaux sont toujours de forme semi-circulaire mais l'épaisseur, la longueur d'arc et le diamètre sont variables selon les kératocônes. La diamètre ou zone optique peut être de 5, 6 ou 7 mm. Différentes formes d'anneaux existent : les anneaux prismatiques, hexagonaux, elliptiques ou triangulaires. (Figure 28 et 29) Le chirurgien peut choisir, grâce à des calculs et selon le kératocône, d'implanter un seul anneau, deux anneaux symétriques ou deux anneaux de longueur d'arc et/ou d'épaisseur différentes.

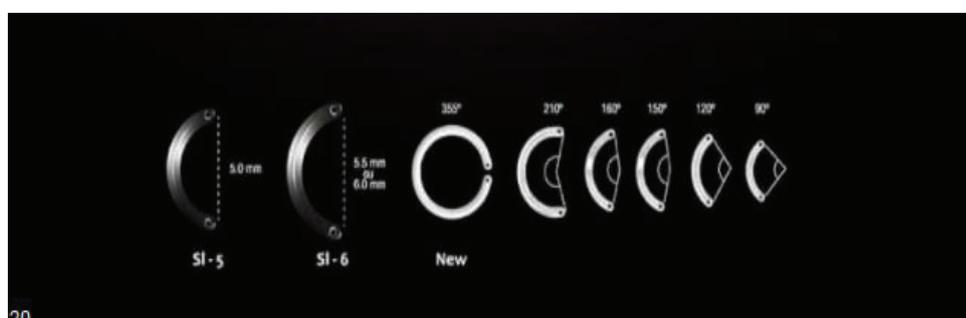


Figure 29 : Présentation des différentes formes, diamètres et longueur axiale d'AIC.
Kératocône. Centre médical de l'alliance.

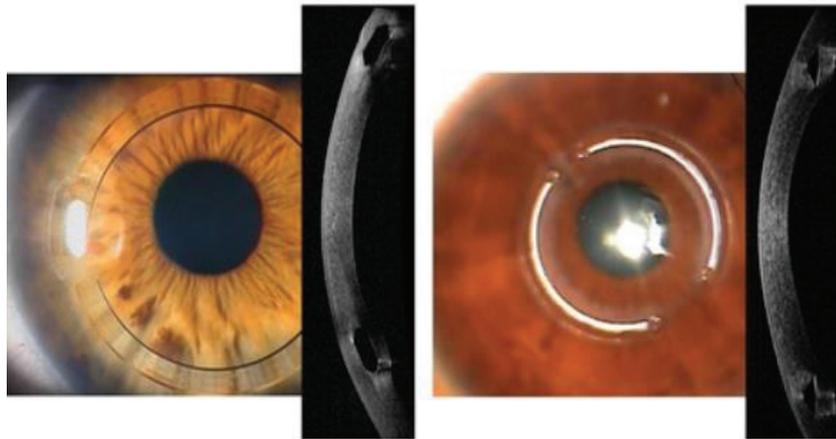


Figure 30 : Anneaux intra-cornéens avec section cornéenne en OCT montrant leur profondeur d'implantation. Les anneaux intra-cornéens - Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de Toulouse.

Design	Keraring ± AS	Keraring SG	Intacs ± Sk	Ferrara	Myoring
Longueur d'arc	SI-5 : 90, 120, 160, 210, 340° SI-6 : 90, 120, 150, 210, 340° AS : 160°	SI-5 : 160, 330°	SI-5 : 90. 130. 150°	SI-5 : 90, 120, 140, 150, 160, 180, 210, 320°	SI-5 : 360°
Forme	Prismatique	Double arc. base incurvée	Hexagonale/ Elliptique (Sk)	Triangulaire	Triangulaire
Épaisseur (µm)	150 à 350 µm (palier de 50 µm) AS : Variable dans le sens horaire ou anti horaire 150 à 250 et 200 à 300 µm	NA Courbure entre les deux arcs : 30. 35. 40 ou 45D	210, 250 à 400 palier de 50 µm +500 (Sk)	150 à 350 palier de 50 µm	150 à 400 palier de 20 µm
Progressif	Si AS : oui	—	—	—	—
Fabricant	Mediphacos (Belo Horizonte ; Brésil)	Mediphacos (Belo Horizonte ; Brésil)	Addition Technology (Sunnyvale ; Californie USA)	Ferrara Ophthalmics (Belo Horizonte ; Brésil)	Dioptex (Linz ; Autriche)

AS : asymétrique ; SI : zone optique ; Sk : kératocône sévère ; SG : seconde génération ; NA : Non applicable.

Figure 31 : Tableau caractéristique des segments d'anneaux intra-cornéens les plus couramment utilisés.

3.2.3. L'opération

3.2.3.1. But

Le but de cette chirurgie est de remodeler la cornée pour réduire l'astigmatisme irrégulier engendré par le kératocône et modifier sa réfraction. Le chirurgien vient poser les anneaux dans la périphérie cornéenne afin qu'ils exercent une force de traction sur la cornée et qu'ils aplatissent la partie centrale. La diminution de l'ectasie sur l'axe visuel limite les aberrations cornéennes.

3.2.3.2. Technique chirurgicale

La pose d'un anneau intra cornéen se déroule en ambulatoire. Avant de commencer l'opération, le chirurgien s'assure qu'il n'y a pas de cyclotorsion, c'est-à-dire qu'il n'y a pas une modification de l'axe de l'astigmatisme lorsque le patient passe d'une position debout à une position couchée. Il réalise un marquage de 0° à 180°, bien centré au niveau de la pupille et vérifie la position du marquage une fois le patient allongé. En cas de cyclotorsion, le FEMTOlaser ajuste ses réglages. Le chirurgien procède à une anesthésie locale grâce à de l'Oxybuprocaine en collyres ; l'œil est nettoyé avec un antiseptique (de la bétadine le plus souvent) ; puis le chirurgien met en place un champ stérile. Le patient est allongé, conscient et fixe une lumière rouge à l'intérieur de l'appareil.

Le laser FEMTOseconde est programmé pour réaliser l'incision et le/les tunnel(s) où l'anneau est inséré, de taille correspondant à l'anneau utilisé. Le site d'incision est différent pour chaque patient et est calculé à partir de la topographie cornéenne effectuée en consultation pré-opératoire. La profondeur du tunnel est mesurée en fonction de l'épaisseur cornéenne du patient (75% de la pachymétrie). Le rôle de l'orthoptiste peut être de paramétrer le FEMTOlaser au début de l'opération, en coopération avec l'ophtalmologue.

Le bout de l'anneau se présente sous forme de flèche en son point d'insertion. Le médecin insère manuellement, à l'aide de pinces de microchirurgies spécifiques, l'anneau dans le tunnel cornéen. En cas d'astigmatisme irrégulier, l'anneau peut être plus épais sur certains côtés pour augmenter la correction. En cas d'échec de l'implantation, la cornée cicatrise et l'implantation est de nouveau possible au même endroit, quelques mois plus tard. L'intervention est rapide (environ 15 min) en l'absence de complications.

En post-opératoire les patients doivent mettre des collyres : association d'un antibiotique et d'un anti inflammatoire (par exemple TOBRADEX) pour la prévention des

complications post-opératoires. De plus, il est préconisé d'appliquer des larmes artificielles plusieurs fois par jour afin de lubrifier la surface oculaire. Les suites post-opératoires sont le plus souvent simples avec une récupération visuelle plus ou moins rapide en quelques semaines. L'acuité visuelle peut mettre plusieurs mois à se stabiliser. La pose d'anneaux peut être complétée avec une adaptation lunettes ou lentilles dans les suites opératoires. Si au contraire le résultat n'est pas satisfaisant il est possible de retirer les anneaux.

3.2.3.3. Indications et contre-indications

Les anneaux intra-cornéens sont proposés aux patients dont les kératocônes sont peu évolutifs et pour lesquels les adaptations lunettes et lentilles n'ont pas été satisfaisantes. La meilleure indication d'implantation d'après la plupart des études correspondrait aux stades II et III de la classification de Amsler-Krumeich. (20). L'acuité visuelle pré-implantation idéale est comprise entre 3 et 6/10^{èmes} (21).

Pour pouvoir poser un AIC, il faut cependant que la pachymétrie centrale de la cornée soit d'au moins 400µm et que celle-ci soit dépourvue d'opacité cornéenne significative limitant la vision (22). Ceci varie selon les études, on trouve également que la pachymétrie doit être de 400µm mais au niveau de l'insertion de l'anneau et non au centre de la cornée (20). Il est généralement déconseillé de poser des AIC si la kératométrie maximale (Kmax) est supérieure à 60 dioptries. Effectivement, il a été démontré que dans ces cas de kératocônes trop bombés, les AIC ne sont pas assez puissants pour diminuer la kératométrie et donc corriger l'extasie cornéenne. (23).

3.2.3.4. Complications

La pose d'AIC peut poser de multiples complications, mais rarement graves, étant donné le caractère réversible et peu invasif de cette chirurgie (20). Les rares complications décrites sont l'invasion épithéliale, l'infection, l'extrusion et la perforation cornéenne par exemple (23). Certains patients peuvent parfois percevoir des halos lumineux, c'est le principal désagrément rencontré chez les patients implantés en AIC.

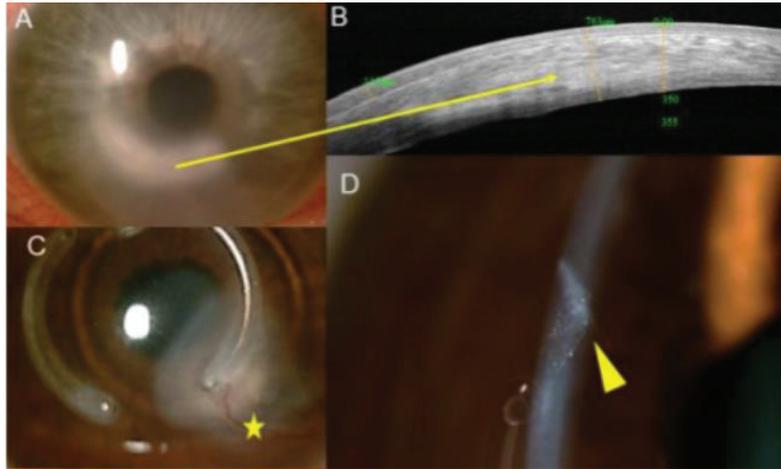


Figure 32 : Complications des anneaux intra-cornéens : (A et B) : abcès sur anneaux intra-cornéens (après extraction) à *Aspergillus Fumigatus* visible en lampe à fente (A) et infiltrat stromal visible en OCT (B) ; (C) fonte stromale avec néovascularisation secondaire à une extrusion ; (D) dépôts au niveau du tunnel. (5)

3.3. Le Cross-Linking (CXL)

3.3.1. Technique du cross-linking

3.3.1.1. Principe

Le Cross Linking du collagène cornéen est une technique datant de 1997 qui consiste à polymériser le collagène cornéen du stroma antérieur de manière à ralentir ou stopper l'évolutivité du kératocône (24,25). Le terme cross-linking signifie réticulation. La réticulation est la transformation d'un polymère linéaire en polymère tridimensionnel par création de liaisons transversales(26). Cette rigidification de la cornée centrale est possible grâce à l'action de la Riboflavine couplée à une irradiation par des rayons ultra-violet. En effet cette association va permettre de créer des ponts (« cross-links ») entre les lamelles de collagène (27) (Figure 33).

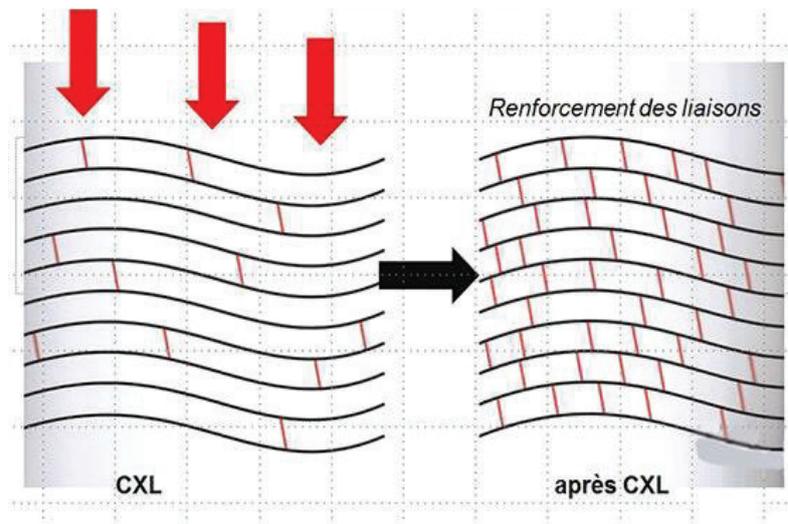


Figure 33 : Schéma de réticulation du collagène cornéen par cross-linking (3).

Dans la technique du cross-linking, la riboflavine a une double fonction : elle joue un rôle de photosensibilisant et de filtre ultra-violet afin de préserver les structures postérieures de la cornée à cette exposition aux UVA. En post-opératoire, on constate une augmentation d'environ 12% de fibres de collagène dans le stroma(3). Cette intervention permet dans 90% des cas de stabiliser le kératocône en ralentissant son évolution. Cependant il n'engendre que très rarement une amélioration de la vision (3).

3.3.1.2. Objectifs

La finalité du *cross-linking* est la stabilisation du kératocône. Ceci passe par 3 objectifs intermédiaires (28) :

- La stabilisation de la kératométrie.
- La conservation de la transparence de la cornée.
- La conservation de la meilleure acuité visuelle corrigée.

3.3.1.3. Indications et contre-indications

L'indication principale d'un CXL est un kératocône évolutif prouvé. D'après la HAS, les critères définissant l'évolution du kératocône sont, sur un intervalle entre 6 mois et 1 an (1):

- Une augmentation de la kératométrie maximale de 0,5 dioptrie (en 6mois) à 1 dioptrie (en 12 mois)
- Une baisse d'acuité visuelle même avec correction
- Une augmentation de la correction optique en équivalent sphérique $\geq 0,5$ dioptrie en 6 mois
- Une augmentation du cylindre ≥ 1 dioptrie en 6 mois

Au contraire, les contre-indications principales à un CXL sont une cornée dont la pachymétrie est inférieure à 400 μm ou dont la transparence est altérée. On trouve aussi des contre-indications relatives, plus rarement rencontrées, comme la présence d'une maculopathie, une densité endothéliale inférieure à 2 000 cellules/ mm^2 , une sécheresse oculaire grave ou une grossesse/allaitement (1). Le CXL est peu indiqué aux patients de 35 ans ou plus car leur kératocône est souvent considéré comme peu ou non évolutif (29).

3.3.2. Protocole

3.3.2.1. La désépithélialisation

On effectue d'abord le retrait de l'épithélium sur un diamètre de 7-9 mm, par un débridage mécanique à la spatule de Desmares. Le chirurgien utilise parfois de l'alcool pour casser les liaisons entre les cellules épithéliales et pour favoriser l'ablation de l'épithélium.

Le CXL est dit « EPI-OFF » quand il est réalisé après retrait de l'épithélium.

3.3.2.2. Imprégnation par la riboflavine

La riboflavine (aussi appelée vitamine B2) est un produit photosensible utilisé pour la chirurgie du cross linking. Elle est le photosensibilisant nécessaire à la réaction oxydative et elle joue un rôle de filtre ultra-violet. Elle est appliquée sur la cornée kératocônique par le chirurgien. Le dosage de la riboflavine (0,1%) permet un compromis entre efficacité et sécurité. Cette concentration lui confère une osmolarité de 400 mosmol/L, proche de celle du stroma permettant d'éviter l'apparition d'un œdème cornéen lors de l'intervention (3). La riboflavine doit pénétrer suffisamment dans le stroma afin d'avoir l'effet biomécanique escompté, mais elle est limitée par les jonctions serrées du tissu épithélial. C'est la raison pour laquelle on procède d'abord à une désépithélialisation.

3.3.2.3. Irradiation par rayons ultraviolets (UVA)

Après avoir appliqué la riboflavine, le chirurgien utilise des UVA qu'il va projeter sur la cornée. La riboflavine possède deux pics d'absorption maximale : à 430 nm et 365 nm. La deuxième longueur d'onde est choisie en raison du peu de fréquence des effets iatrogènes comparativement à la longueur d'onde de 430 nm qui peut endommager les structures oculaires (3). La dose d'UVA délivrée est ainsi calculée afin d'éviter tout phénomène cytotoxique. Une pachymétrie minimale de 400 μm est recommandée afin d'éviter des lésions endothéliales. L'action des UVA permet ainsi la photopolymérisation du collagène.

3.3.2.4. Technique chirurgicale

Plusieurs protocoles de CXL existent :

Le protocole classique "DRESDEN" : Le chirurgien commence par le retrait de l'épithélium sur un diamètre cornéen de 7 à 9 mm. Puis, il imprègne la cornée pendant 20 à 30 minutes en appliquant de la riboflavine (à 0,1%) toutes les 1 à 2 minutes puis toutes les 5 minutes pendant la phase d'irradiation. Il expose ensuite la cornée à des UVA à 365 nm (370 +/- 5 nm) à 3mW/cm² pendant 30 minutes. L'énergie totale transmise à la cornée est de 5,4 J/cm². C'est la même quantité d'énergie utilisée pour tous les protocoles. Pendant l'exposition le limbe est protégé par le placement d'un anneau d'éponge. A la fin de la procédure, on applique une

goutte d'antibiotique. Ensuite, une lentille de contact souple, faisant office de pansement, est posée pour environ 3 jours.

Le protocole accéléré ou très accéléré : La technique classique est une intervention plutôt longue et inconfortable pour le patient. Plusieurs protocoles visant à accélérer la procédure sont en cours d'essai. Le but est de diminuer le temps d'imprégnation de la riboflavine et le temps d'exposition aux UVA. L'irradiation en UV est plus intense mais plus brève et l'efficacité est similaire au protocole classique. Les protocoles très accélérés sont pour l'instant peu efficace. Exemple de protocole accéléré, (appliqué à l'hôpital Édouard Herriot à Lyon) : 10 minutes d'imprégnation par Riboflavine 0,1% puis exposition aux UVA pendant 9 minutes.

Le protocole transépithélial ou "EPI-ON" : C'est une procédure permettant de laisser en place l'épithélium. Le but étant de rendre la procédure plus sûre et moins douloureuse pour le patient. Pour cela on ajoute des molécules à la riboflavine (EDTA, Chlorure de Benzalkonium), ce qui permet d'augmenter la pénétration de la riboflavine dans le stroma. L'imprégnation dure 6 minutes et les UVA sont appliqués pendant 9 minutes à 10 mW/cm². Ainsi on évite de détériorer la surface oculaire et donc on réduit le risque d'infections cornéennes. Malheureusement l'efficacité de ce protocole n'a pas été prouvée, certaines études montrent même son inefficacité. C'est une technique de moins en moins utilisée.

La iontophorèse : C'est un protocole « EPI-ON » amélioré. Il consiste en la pénétration d'une molécule de riboflavine chargée grâce à un courant électrique de très faible intensité pendant le cross linking. Cela permet à la riboflavine de pénétrer de façon homogène dans l'épithélium.

3.3.3. Complications

À la suite de la chirurgie du CXL, on observe peu d'effets secondaires. En effet, le plus souvent la densité cellulaire de l'endothélium et la transparence de la cornée sont préservées. Cependant, on retrouve parfois des cicatrices cornéennes centrales se situant au niveau du stroma. Les facteurs de risques d'apparition de ces cicatrices sont une pachymétrie cornéenne relativement fine (moyenne pachymétrie de 420 µm ou moins) et une cornée très conique (30). L'ablation épithéliale entraîne une douleur post-opératoire plus ou moins importante, auquel le chirurgien doit préparer ses patients, elle est la plus importante le jour de la chirurgie (quand l'anesthésie topique prend fin) et le lendemain de l'intervention. Cette ablation peut

parfois engendrer une kératite infectieuse ou encore un défaut de cicatrisation de l'épithélium cornéen (31) . On retrouve parfois une inflammation locale (sous forme de haze cornéen). L'effet indésirable le plus courant est la persistance de l'instabilité du kératocône, le CXL pourra alors être réitéré. Un délai de 1 ou 2 ans minimal est généralement nécessaire entre deux CXL.

3.4. La greffe de cornée

La greffe de cornée est proposée en dernier recours aux patients présentant un kératocône avancé. Ce sont des patients avec des opacités cornéennes et une baisse de vision profonde non améliorables par d'autres techniques. C'est une chirurgie beaucoup plus lourde que le cross linking ou les anneaux intra-cornéens car elle nécessite très souvent une hospitalisation. Deux types de greffes sont pratiquées dans le cadre du kératocône : la kératoplastie transfixiante/pénétrante (KT/KP) et/ou la kératoplastie lamellaire antérieure profonde (KLAP).

La kératoplastie transfixiante est la technique de référence. Le chirurgien procède au retrait de la cornée malade et vient suturer un greffon comprenant un endothélium, un stroma et un épithélium. C'est une technique qui a prouvé son efficacité et qui est rapide (environ 60 minutes). La plupart des résultats sont bons mais un rejet du greffon est la principale cause d'échec de cette méthode.

Pour la réalisation de la KLAP, le chirurgien vient greffer le stroma et l'épithélium du greffon tout en laissant en place la membrane de Descemet et l'endothélium du receveur. C'est une technique très complexe. Après l'opération le patient doit être suivi régulièrement pour dépister d'éventuelles complications comme une hypertonie oculaire, des complications épithéliales, un rejet stromal ou épithélial. La KLAP présente plusieurs avantages : elle est préférable car elle expose le patient à un plus faible risque de rejet de greffe. Le greffon est clair dès le lendemain de l'intervention, la perte cellulaire endothéliale postopératoire est très faible, il y a une faible incidence des réactions de rejet et une espérance de vie du greffon très allongée (32). Elle permet d'espérer une réhabilitation cornéenne et un certain degré de vision. En cas d'échec de KLAP, il est possible de convertir l'intervention en KT.

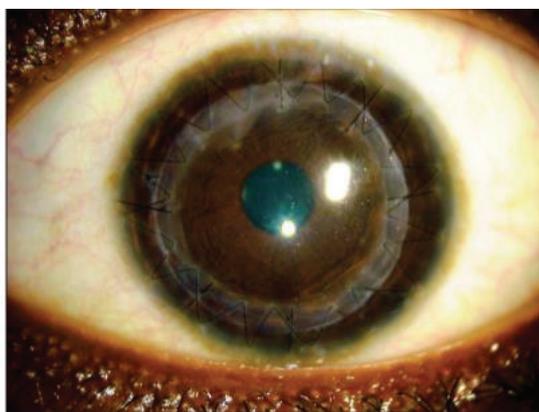


Figure 34 : Photographie d'un œil ayant subi une kératoplastie lamellaire antérieure profonde.

Conclusion de la partie théorique

La cornée est l'élément le plus antérieur de l'œil humain. Des pathologies comme le kératocône peuvent toucher la cornée. Dans la prise en charge d'un kératocône, il existe différents traitements. Nous avons choisis de vous en présenter quatre : les lentilles sclérales, les anneaux intra-cornéens, le cross-linking et succinctement la greffe de cornée pour son caractère « dernier recours ».

Voici l'arbre décisionnel utilisé par la plupart des ophtalmologistes dans la prise en charge des patients atteints de kératocône. Sur celui-ci, on voit la place des différents traitements tels que le cross-linking, la pose d'anneau intra-cornéen ou l'implantation de lentilles intra-oculaires (LIO) par exemple. L'adaptation en lentilles sclérales n'est pas indiquée sur cet arbre, on peut la placer sur différentes branches indiquant une acuité visuelle non satisfaisante sans opacité cornéenne. En revanche, on peut voir que le cross-linking est indiqué en cas de kératocône évolutif. On peut voir également que la pose d'anneau intra-cornéen est préconisée en cas d'acuité visuelle non satisfaisante en présence d'une cornée claire.

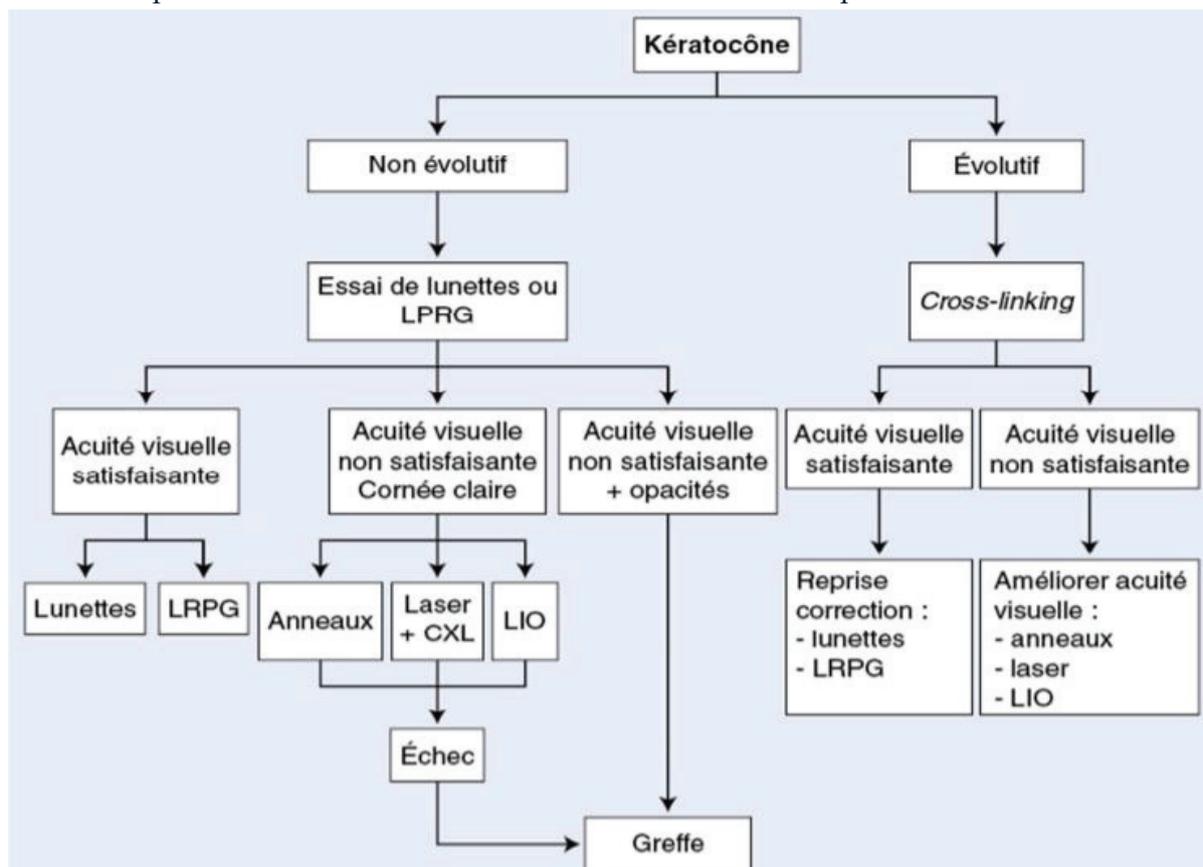


Figure 35 : Arbre décisionnel de la prise en charge du kératocône.

Notre partie pratique aura pour but de mener une étude rétrospective comparant les lentilles sclérales, les anneaux intra-cornéens et le cross-linking afin de vérifier et de préciser leur place dans cet arbre décisionnel.

II. Partie pratique

1. Introduction

L'ectasie cornéenne induite par le kératocône entraîne un inconfort visuel non négligeable chez les patients porteurs de la maladie. L'acuité visuelle a tendance à diminuer au fil du temps et cela impacte lourdement la qualité de vie. L'objectif du suivi de ces patients est de conserver la meilleure acuité visuelle, de stopper la progression du kératocône et surtout d'éviter la greffe de cornée notamment chez les jeunes. Pour cela, différents traitements leur sont proposés en fonction du stade du kératocône et des signes fonctionnels présents. Avec comme première intention réfractive, l'adaptation en lentilles SPOT® pour corriger au mieux l'irrégularité de l'astigmatisme et en cas d'inefficacité d'une correction optique par lunettes. La pose d'anneaux intra-cornéens est une chirurgie de plus en plus suggérée aux patients pour améliorer leur réfraction. Cependant cette technique manque encore de recul quant à ses résultats car jusqu'à présent elle a été peu pratiquée. Le cross linking est proposé pour ralentir la progression de la maladie et son efficacité a déjà été prouvée.

L'association de ces méthodes permet aussi de meilleurs résultats. Jusqu'à maintenant on associait le cross-linking avec le port de lentilles SPOT®. Certains chirurgiens commencent à combiner la pose d'un anneau intra-cornéen avec le cross-linking.

L'objectif de notre étude était de comparer ces trois traitements (signes fonctionnels, protocoles adaptatifs ou chirurgicaux et résultats épidémiologiques, cliniques et topographiques) afin de déterminer le plus précisément leur place dans l'arbre décisionnel des différents traitements du kératocône. Nous avons également choisi de réaliser cette étude pour prouver l'efficacité des anneaux intra-cornéens, jusqu'ici peu utilisés et qui représentent d'après nous un excellent potentiel réfractif dans le but de l'amélioration de l'acuité visuelle.

2. Matériel et méthode

Nous avons réalisé une étude multicentrique rétrospective sur 59 yeux, dont les patients étaient pour la plupart suivis en ophtalmologie à l'Hôpital Edouard Herriot et quelques-uns au cabinet du Dr Bouz. Nous avons recueilli les données via un tableau Excel®. Les données provenaient du dossier médical du patient et les résultats topographiques venaient de l'appareil Oculus Pentacam® présent à l'Hôpital Edouard Herriot et dont dispose également le cabinet où exerce le Dr Bouz.

2.1. Groupe d'étude

La majorité des données ont été recueillies à l'Hôpital Edouard Herriot, et 4 dossiers patients opérés d'anneaux intra-cornéens viennent du cabinet du Dr Bouz (Lyon 6^e). Cette étude a inclus 59 yeux de patients âgés de 12 à 69 ans.

Nous avons divisé cette étude en 3 groupes :

- 20 yeux atteints de kératocône et adaptés en lentilles SPOT®.
- 20 yeux atteints de kératocône et traités par cross linking.
- 19 yeux atteints de kératocône et traités par anneaux intra-cornéens.

2.2. Critères de sélection

Les patients inclus dans notre étude devaient présenter un kératocône quantifiable d'après la classification du Professeur Touboul. Ils devaient également avoir bénéficié d'un suivi topographique fait avec un Oculus Pentacam®.

Nous avons utilisé la base de données des patients adaptés en lentilles sclérales SPOT® de l'Hôpital Edouard Herriot de Lyon, en collaboration avec un optométriste habilité (M. Thierry Caillat et son équipe) qui nous a fourni les acuités visuelles avec lentilles SPOT® des patients que nous recevons sans les lentilles à l'hôpital.

Nous avons exclu de notre étude les patients porteurs d'une autre anomalie oculaire que le kératocône. Nous avons également exclu les patients ayant bénéficié de chirurgie malgré les contres indications présentées dans la partie théorique.

2.3. Données recueillies

Toutes les données cliniques et topographiques quantitatives ont été collectées en pré-opératoire et en post-opératoire ; ou pré-adaptation et post-adaptation pour le groupe adapté en lentilles SPOT®.

Devant la complexité d'obtenir des données opératoires sur la pose d'anneaux intra-cornéens, certaines données des yeux implantés en anneaux ont été récoltées à 7 jours post-chirurgie et non à 3 mois.

2.3.1. Données épidémiologiques :

Pour chaque patient nous avons relevé le sexe, la date de naissance, ainsi que la date de l'opération afin de connaître l'âge du patient lors de l'intervention.

2.3.2. Données cliniques :

Nous avons relevé la meilleure acuité visuelle corrigée (MAVC) en dixièmes, mesurée sur l'échelle de Monoyer, ainsi que la réfraction en dioptrie correspondant à cette acuité. Concernant la réfraction, nous avons exploité les résultats de notre réfraction en sphère équivalente (SE) et nous avons également étudié la puissance du cylindre.

Nous avons par ailleurs pris en compte certaines données qualitatives telles que la présence d'un anneau de Fleischer, de stries de Vogt et le complément post chirurgical par un autre traitement.

2.3.3. Données topographiques

Les données topographiques ont été recueillies 1 mois avant l'opération ou l'adaptation en lentilles (Topo 1) et de 3 à 6 mois après (Topo 2), dont :

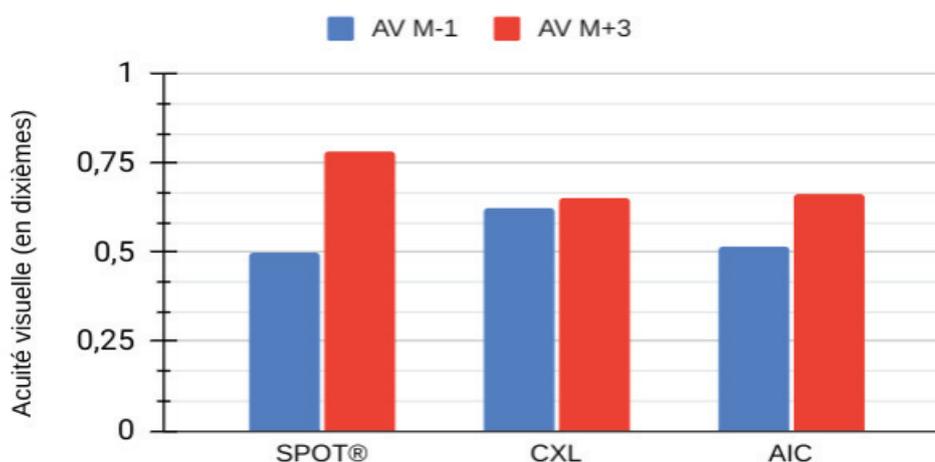
- La kératométrie maximale (Kmax).
- L'astigmatisme de la face cornéenne antérieure en dioptries (dpt).
- La pachymétrie minimale en micromètres (μm).
- La pachymétrie à l'apex en micromètres (μm).

3. Statistiques

Tableau 1 : Caractéristiques cliniques et valeurs moyennes des caractéristiques épidémiologiques des patients pour chaque traitement

	Lentilles SPOT®	Cross Linking	Anneaux intra-cornéens
Effectif	20	20	19
Age moyen	25 ans	26 ans	40 ans
Pourcentage homme/femme	60% Masculin 40% Féminin	65% Masculin 35% Féminin	74% Masculin 26% Féminin
Patients présentant un anneau de Fleischer	90%	50%	77,7%
Patients présentant des Stries de Vogt	45%	30%	33,3%
Stades du kératocône (d'après la classification du Dr.TOUBOUL) :			
1	0%	10%	11%
2	30%	25%	63%
3	30%	40%	26%
4	15%	15%	0%
5	25%	10%	0%
MAVC M-1	5,0/10	6,2/10	5,2/10
MAVC M+3	7,9/10	6,5/10	6,6/10
SE à M-1	-4,35	-1,98	-3,63
SE à M+3	-3,25	-1,84	-2,45
Cylindre à M-1	-3,7	-2,7	-3,2
Cylindre à M+3	-3,3	-2,5	-2,3

Figure 36 : Graphique représentant l'évolution de l'acuité visuelle avant et après l'application de chaque traitement

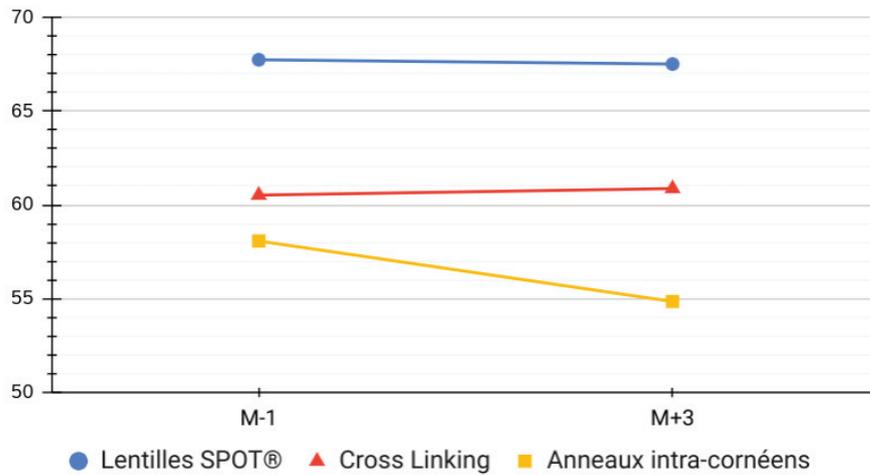


L'acuité visuelle a fortement augmenté chez les patients porteurs de lentilles SPOT®. Les anneaux intra-cornéens ont augmenté l'AV de 5,2/10 à 6,6/10 en moyenne. Très peu d'amélioration de l'AV a été observé en post-opératoire pour le CXL.

Tableau 2 : Valeurs moyennes des caractéristiques topographiques entre les 3 traitements :

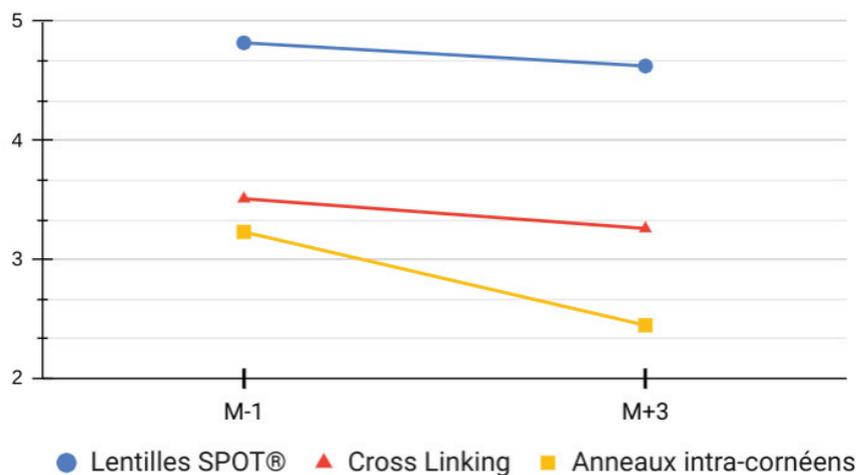
	Lentilles SPOT®	Cross linking	Anneaux intra-cornéens
Kmax Topo 1	67,7	60,5	58,1
Kmax Topo 2	67,5	60,9	54,8
Astigmatisme Topo 1	4,8	3,5	3,2
Astigmatisme Topo 2	4,6	3,3	2,5
Pachymétrie à l'apex Topo 1	415	459	476
Pachymétrie à l'apex Topo 2	404	458	483
Pachymétrie minimale Topo 1	397	438	446
Pachymétrie minimale Topo 2	389	436	466

Figure 37 : Graphique représentant l'évolution du Kmax moyen à M-1 puis à M+3 pour le cross linking, les lentilles SPOT® et les anneaux intra-cornéens



La kératométrie maximale de départ était quasiment identique à celle à M+3 pour le cross linking et les lentilles SPOT®. Cependant une forte diminution de ce paramètre a été constatée en post-opératoire pour les anneaux intra-cornéens.

Figure 38 : Graphique représentant l'évolution de l'astigmatisme cornéen antérieur moyen à M-1 puis M+3



L'astigmatisme a diminué avec les 3 traitements entre M-1 et M+3. La réduction a été plus remarquable pour les anneaux qui ont affaibli l'astigmatisme de 0,8 dpt en moyenne.

Figure 39 : Graphique représentant l'évolution de la pachymétrie cornéenne moyenne à l'apex à M-1 puis M+3

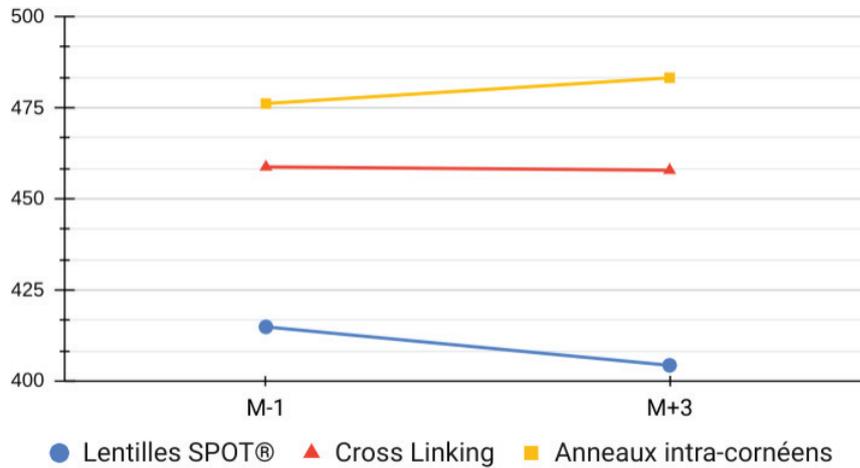
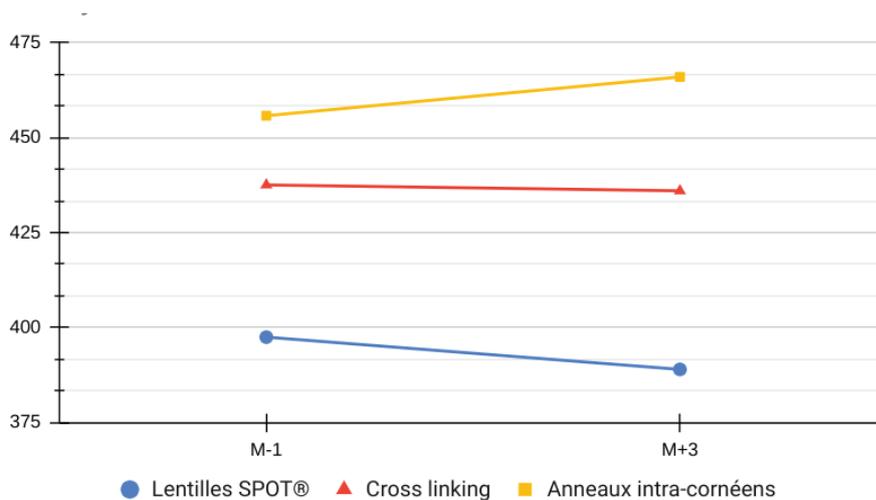


Figure 40 : Graphique représentant l'évolution de la pachymétrie minimale en moyenne à M-1 puis M+3



La pachymétrie moyenne à M-1 et M+3 a légèrement diminué pour les lentilles SPOT® et le cross-linking. Les AIC ont cependant fait augmenter ce paramètre que ce soit pour la pachymétrie minimale et la pachymétrie à l'apex.

Nous nous sommes interrogées sur les patients ayant reçu plusieurs des traitements étudiés :

- Pourcentage de patients implantés avec un anneau qui ont eu un complément de Cross linking : 5%
- Pourcentage de patients ayant déjà subi un cross linking qui ont eu une adaptation lentilles SPOT® : 65%
- Pourcentage de patients adaptés en lentilles SPOT® qui ont eu un cross linking par la suite : 20 %
- Pourcentage de patients adaptés en lentilles SPOT® à qui on a posé un anneau par la suite : 10%

4. Discussion

D'après la classification du kératocône du Pr TOUBOUL, la majorité des patients avec des lentilles SPOT® présentent un kératocône de stade 2 ou 3, tout comme les patients opérés de cross linking. Les patients implantés en anneaux intra-cornéens ont pour la majorité un kératocône de stade 2.

Les lentilles permettent une franche amélioration de la MAVC (de 5,0/10 en moyenne à 7,9/10), et en revanche, plus modérée pour les anneaux intra cornéens (de 5,2/10 en moyenne à 6,6/10). Pour les cross-linking la variation d'acuité visuelle est pratiquement nulle mais cela confirme son rôle dans la stabilisation du kératocône, et non dans un rôle d'amélioration de la vision. La sphère équivalente et le cylindre diminuent pour les trois traitements étudiés mais la plus nette diminution est observée avec l'implantation d'anneaux.

Les anneaux intra-cornéens donnent en général de bons résultats avec une augmentation générale de la pachymétrie (minimale et à l'apex) et également une diminution significative du Kmax. De plus, les trois traitements étudiés permettent une diminution de l'astigmatisme cornéen antérieur. Ceci concorde avec les données réfractives remarquées ci-dessus (diminution du cylindre et de la sphère équivalente pour chaque traitement mais plus nette avec l'implantation d'anneaux). Lors de la chirurgie de cross-linking et de l'adaptation en lentilles SPOT® on observe une évolution quasiment nulle du Kmax.

Les lentilles SPOT® restent la meilleure option pour augmenter l'acuité visuelle cependant elles ne permettent pas de diminuer la kératométrie maximale. Elles ne permettent pas non plus de stopper l'amincissement de la cornée.

Compte tenu des pourcentages de compléments d'un traitement par un autre, on s'aperçoit que la seule combinaison souvent pratiquée est un cross-linking associé à une adaptation en lentilles SPOT®. Ceci est probablement dû au fait que les anneaux intra-cornéens n'aient pas encore une place bien définie dans l'arbre décisionnel des traitements réfractifs du kératocône.

Cependant il faut bien prendre en compte la cohorte réduite de cette étude et un recul post-opératoire de seulement 3 mois voire parfois moins pour les anneaux intra-cornéens. Il faut

donc prendre de la distance avec les résultats présentés car ils sont potentiellement contestables. Pour les anneaux intra-cornéens il faudrait dans l'idéal avoir un recul de 6 mois post-opératoire car l'AV augmente progressivement pendant cette période.

Conclusion

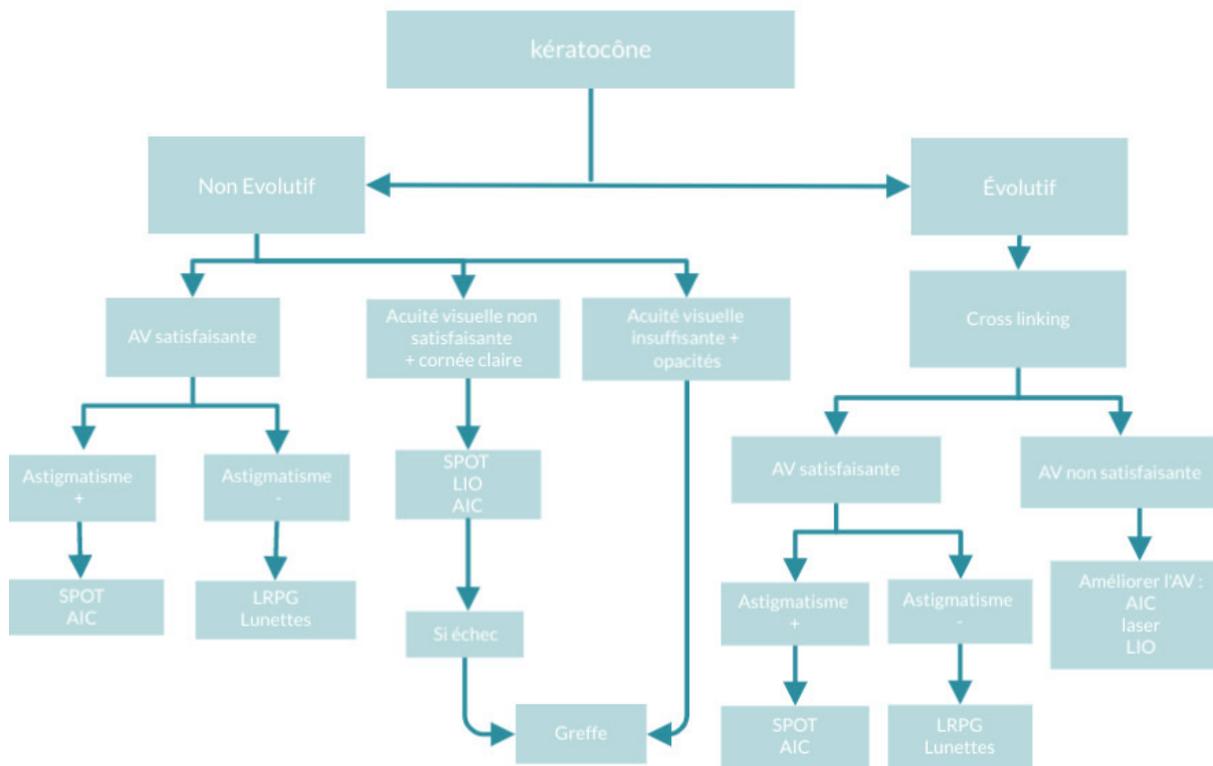
La bonne prise en charge du kératocône est un enjeu majeur quant au pronostic visuel des patients. Le choix d'un traitement adapté est primordial pour préserver au mieux l'acuité visuelle et stopper la progression de la maladie.

La place des anneaux intra-cornéens était jusqu'à présent très limitée, les patients sont pour la plupart traités par cross linking et/ou lentilles SPOT® dans des objectifs respectivement différents. Ces traitements sont utilisés depuis des années et ont fait leurs preuves quant au maintien de l'acuité visuelle et à la diminution de la progression du cône. Cependant ces traitements possèdent des limites. Ils n'empêchent pas l'amincissement de la cornée et l'augmentation de l'astigmatisme.

A travers notre étude nous avons voulu démontrer l'impact positif des anneaux intra-cornéens sur les topographies cornéennes et donc sur l'acuité visuelle. En effet, ils permettent une réduction importante de l'astigmatisme et de la kératométrie maximale. Cela reste aussi une bonne méthode pour augmenter l'acuité visuelle, sachant que l'acuité maximale post AIC est souvent obtenue à 6 mois après l'opération. C'est aussi le seul traitement qui permet une augmentation de la pachymétrie minimale et à l'apex. Le but réfractif de l'anneau est respecté. Cela reconsidère sa place dans la prise en charge des patients. Pourquoi ne pas proposer la pose d'un anneau pour éviter une correction optique trop importante ou pour éviter les contraintes d'une adaptation en lentille parfois mal supportée et compliquée en raison des multiples contraintes quotidiennes.

Il est important de dire que pour certains patients l'adaptation en lentilles SPOT® est préférable à l'implantation d'un anneau même s'il ne modifie pas de façon durable la cornée. Le choix du traitement réfractif est une décision du médecin à prendre au cas par cas, en fonction du patient, de ses besoins. De nombreuses personnes adaptées en lentilles SPOT® vantent ses qualités réfractives. Le cross-linking lui n'a pour l'instant aucun traitement égal pour stopper la progression du kératocône.

Figure 41 : Suggestion d’arbre décisionnel pour la prise en charge du kératocône



Astigmatisme + = Astigmatisme conséquent

Astigmatisme - = Astigmatisme peu conséquent

Nous proposons avec ce nouvel arbre décisionnel une place légitime pour les anneaux intra-cornéens dans la prise en charge du kératocône. Aujourd’hui certains chirurgiens envisagent la pose d’un anneau puis un cross-linking afin de stopper la progression du cône, augmenter la pachymétrie et diminuer, par la même occasion, l’astigmatisme tout en augmentant l’acuité visuelle.

Comme nous l’avons rappelé précédemment, les résultats de notre étude sont contestables, car il faudrait réaliser une étude sur un nombre plus importants de patients et récolter les résultats sur une période plus longue. Un recul plus important sur la méthode d’implantation d’un anneau intra-cornéen est donc essentiel pour confirmer son efficacité sur le long terme.

Bibliographie

1. Wuacquier L. EFFICACITE ET TOLERANCE AU LONG COURS DU CROSS-LINKING CORNEEN CHEZ LES PATIENTS PRESENTANT UN KERATOCONE EVOLUTIF TRAITES AU CENTRE HOSPITALO-UNIVERSITAIRE DE LYON DEPUIS 2012. :152.
2. Cabrera E. Qu'est-ce que le film lacrymal, importance et entretien - Equilibrium, The Natural as a lifestyle [Internet]. 2019 [cité 23 nov 2021]. Disponible sur: <https://www.equilibriumx.com/fr/est/Quelle-est-l%27importance-et-le-soin-du-film-lacrymal>
3. Fatima A, Solene C, Camille M. ETUDE RETROSPECTIVE SUR LE KERATOCONE DE L ENFANT FAUT-IL REALISER UN CROSS LINKING EN PREMIERE INTENTION. :58.
4. Romero-Jiménez M, Santodomingo-Rubido J, Wolffsohn JS. Keratoconus: A review. Contact Lens Anterior Eye. 1 août 2010;33(4):157-66.
5. Gokhale N. Epidemiology of keratoconus. Indian J Ophthalmol. 2013;61(8):382.
6. 19912-AOQ-Revue_Optometrise_janvier-fevrier-2020-ART1.pdf.
7. Le kératocône [Internet]. Institut Ophtalmique. [cité 18 déc 2021]. Disponible sur: <https://www.institut-ophtalmique.fr/chirurgie-et-pathologies/cornee/le-keratocone/>
8. Kératocône [Internet]. SNOF. [cité 18 déc 2021]. Disponible sur: <https://www.snof.org/encyclopedie/k%C3%A9ratoc%C3%B4ne>
9. Qu'est-ce que le kératocône ? | AP-HM [Internet]. [cité 18 déc 2021]. Disponible sur: <http://fr.ap-hm.fr/site/centre-reference-keratocone/le-keratocone>
10. Volatier TLA, Figueiredo FC, Connon CJ. Keratoconus at a Molecular Level: A Review. Anat Rec. juin 2020;303(6):1680-8.
11. Salome D, Justine P, Laurane S-B. Impact de la lentille sclerale sur la topographie corneenne dans le cadre du keratocone. :63.
12. Les moyens d'exploration d'un kératocône - Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de Toulouse [Internet]. [cité 18 déc 2021]. Disponible sur: <https://www.chu-toulouse.fr/-les-moyens-d-evaluation-d-un->
13. Le 'mapping' de l'épithélium cornéen facilite le diagnostic du kératocône [Internet]. Simovision. 2018 [cité 18 déc 2021]. Disponible sur: <https://blog.simovision.com/2018/08/31/epaisseur-epitheliale-facilite-diagnose-keratocone/>
14. Sandali O, Borderie V, Laroche L. Comment diagnostiquer et évaluer un kératocône en 2014. 2014;3.
15. Maxime PCG. Etude de la qualite de vie des patients adaptes en lentilles spot depuis 1 an ou plus. :65.

16. Delcampe A. Lentilles sclérales et Spot®. 2014;3.
17. Greffe de cornée - Association kératocône - Le site des cornées KC ... [Internet]. [cité 29 déc 2021]. Disponible sur: https://www.keratocone.net/traitements_scleraux.html
18. rapport_les_avancees_en_contactologie.pdf.
19. Gaujoux DT. Les différents types d'anneaux. 2014;8:3.
20. Les anneaux intra-cornéens dans la prise en charge du kératocône. J Fr Ophtalmol. 1 juin 2021;44(6):882-98.
21. La pose des anneaux intracornéens [Internet]. operation-des-yeux.com. 2019 [cité 5 déc 2021]. Disponible sur: <https://operation-des-yeux.com/pose-anneaux-intracorneens>
22. Kératocône - les traitements - anneau intra cornéen [Internet]. [cité 4 déc 2021]. Disponible sur: <https://www.visionkeratocone.ch/fr/traitements/anneau-intracorneen>
23. Anneaux intracornéens - Association kératocône - Le site des cornées KC ... [Internet]. [cité 5 déc 2021]. Disponible sur: https://www.keratocone.net/traitements_anneaux.html
24. Canevet J, Cochener B. 404 Cross linking cornéen par UVA-Riboflavine pour la stabilisation des kératocônes primitifs et induits. J Fr Ophtalmol. avr 2009;32:1S128.
25. Un peu d'histoire [Internet]. Cross-linking.fr. [cité 14 déc 2021]. Disponible sur: <https://cross-linking.fr/le-cross-linking/un-peu-dhistoire/>
26. réticulation - Définitions, synonymes, conjugaison, exemples | Dico en ligne Le Robert [Internet]. Le Robert - Dico en ligne. [cité 13 déc 2021]. Disponible sur: <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/reticulation>
27. Atia R, Jouve L, Knoeri J, Georgeon C, Laroche L, Borderie V, et al. Le cross-linking du collagène dans le traitement des infections cornéennes. J Fr Ophtalmol. juin 2018;41(6):560-8.
28. PIETRINI D, GUEDJ T. Le crosslinking du collagène cornéen dans le traitement du kératocône : où en sommes-nous ? Supplément À Réal Ophtalmol. avr 2016;231(8):151-62.
29. CASSETTE NB Studio. Crosslinking (CXL) - Docteur Damien Gatinel [Internet]. [cité 14 déc 2021]. Disponible sur: <https://www.gatinel.com/recherche-formation/keratocone-2/cross-linking-cxl/>
30. Jouve L, Borderie V, Temstet C, Labbé A, Trinh L, Sandali O, et al. Le crosslinking du collagène dans le kératocône. J Fr Ophtalmol. 1 mai 2015;38(5):445-62.
31. Evangelista CB, Hatch KM. Corneal Collagen Cross-Linking Complications. Semin Ophthalmol. 2 janv 2018;33(1):29-35.
32. Borderie V. Les greffes lamellaires : quelle greffe pour quel patient ? 2014;3.

Annexes

Annexe 1 : Tableau de données anneaux intra-cornéens

Anneaux intra cornéens :										
	Oeil 1	Oeil 2	Oeil 3	Oeil 4	Oeil 5	Oeil 6	Oeil 7	Oeil 8	Oeil 9	Oeil 10
Date de naissance :	17/06/1974	17/06/1974	15/09/1981	10/06/1986	25/06/1987	25/06/1987	11/08/1953	18/07/1967	10/01/1982	23/12/199
Date de l'opération :	08/01/2021	08/01/2021	26/11/2021	07/01/2021	23/11/2021	25/03/2022	03/02/2022	17/06/2021	17/06/2021	07/01/202
Age lors de l'opération : (années)	48	48	40	35	34	34	69	54	39	2
Sexe :	Masculin	Masculin	Masculin	Féminin	Masculin	Masculin	Féminin	Masculin	Masculin	Masculin
Acuité visuelle corrigée (lunettes) pré-opératoire M-1 (Monoyer) :	0,5	0,2	0,7	0,8	0,4	0,2	0,5	0,5	1	0,
Acuité visuelle corrigée (lunettes) post-opératoire M+3 (Monoyer) :	0,6	0,2	0,9	0,9	0,8	0,7	0,8	0,7	0,4	0,
Réfraction pré-opératoire M-1 :	-6.50 (-1 à 65°)	-9.75 (-4 à 45°)	(-2 à 110°)	-1 (-4.5 à 105°)	-4(-6,25)60	-3,25(-4) 135	-1(-4)85	-3,5(-1,5)80	-0,5(-2)108°	(+0,50)(-1,50)15
Sphère équivalente M-1 :	-7	-11,75	-1	-3,25	-7,125	-5,25	-3	-4,25	-1,5	-0,2
Valeur cylindre M-1 :	-1	-4	-2	-4,5	-6,25	-4	-4	-1,5	-2	-1,
Réfraction post-opératoire M+3 :	-5 (-2 à 15°)	-7.75 (-3.25 à 25°)	(+0.75)	-1 (-2.25 à 140°)	-1,75(-3,75)56	(+1)(-1,75)145	(+1,25)(-1)120	(+2,25)(-2,75)55	-0,50 (-0,75) 60	-7(-1,75)160
Sphère équivalente M+3 :	-6	-9,375	0,75	-2,125	-3,625	0,125	0,75	0,875	-0,875	-7,87
Valeur cylindre M+3 :	-2	-3,25	0	-2,25	-3,75	-1,75	-1	-2,75	-0,75	-1,7
Kmax antérieur pré-opératoire M-1 (Dpt) :	60	59	51,4	55,6	61,3	62,7	51,5	63	55,8	5
Kmax antérieur post-opératoire M+3 (Dpt) :	54,9	61,4	48,4	50,3	56	59,3	51,7	58,6	50,2	50,
Astigmatisme cornéen face antérieure pré-opératoire M-1 (Dpt) :	1,8	2,8	3	4,4	5,4	5	2,2	1,3	0,6	3,
Astigmatisme cornéen face antérieure post-opératoire M+3 (Dpt) :	0,3	0,8	2	4,3	4,9	3,8	4	2,2	0,2	2,
Pachymétrie minimale pré-opératoire M-1 (µm) :	482	444	497	443	449	471	467	438	486	45
Pachymétrie minimale post-opératoire M+3 (µm) :	506	460	501	448	467	456	455	456	473	44
Pachymétrie à l'apex pré-opératoire M-1 (µm) :	500	477	517	459	529	500	470	441	506	47
Pachymétrie à l'apex post-opératoire M+3 (µm) :	526	485	531	466	489	503	460	461	502	47
Présence d'anneau de Fleischer	NON	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Présence de stries de Vogt	NON	NON	NON	NON	OUI	OUI	OUI	NON	NON	OUI
Complément Cross linking?	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	OUI
Complément Lentilles spot?	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON
Complément Greffe?	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON
Stade du kératocône selon la classification du Pr Touboul	1	2	2	3	3	2	2	3	2	

												Moyennes
Oeil 9	Oeil 10	Oeil 11	Oeil 12	Oeil 13	Oeil 14	Oeil 15	Oeil 16	Oeil 17	Oeil 18	Oeil 19		
10/01/1982	23/12/1998	24/10/1991	29/03/1995	24/05/1981	01/03/1956	25/06/1987	24/11/1982.	24/10/1991	17/03/1982	23/06/1983		
17/06/2021	07/01/2022	17/01/2021	25/03/2022	25/03/2022	25/03/2022	25/03/2022	25/03/2022	18/03/22	29/04/2022	29/04/2022		
39	24	30	27	40	66	34	39	30	40	38		40,47368421
Masculin	Masculin	Masculin	Féminin	Masculin	Masculin	Masculin	Masculin	Masculin	Féminin	Féminin		
1	0,3	0,3	0,6	1	0,5	0,3	0,7	1	0,1	0,2		0,5157894737
0,4	0,3	0,6	1	1	0,9	0,8f	1	0,8	0,1	0,2		0,6611111111
-0,5(-2)108°	(+0,50)(-1,50)150	00(-6)10	-4,25(-1,75)175	-1,5(-2)25	(-2,25)120	-3,25(-4)135	(+1)(-2,75)85	-2(-1,25)180	-5,5(-6,5)50	-13,25(-3,75)125°		
-1,5	-0,25	-3	-5,125	-2,5	-1,125	-5,25	-0,375	-1,375	-2,25	-15,125		-3,631944444
-2	-1,5	-6	-1,75	-2	-2,25	-4	-2,75	-1,25	-6,5	-3,75		-3,210526316
-0,50 (-0,75) 60	-7(-1,75)160	-0,75(-2)10	(+1,5)(-3)130	-2(-1)110	(+1,25)	(+0,75)(-3)130	(+0,75)(-0,75)35	-0,50(-2,50)60	00(-6)60	-12,75(-3,50)120°		
-0,875	-7,875	-1,75	0	-2,5	1,25	-0,75	0,375	-1,75	-3	-11		-2,447368421
-0,75	-1,75	-2	-3	-1	0	-3	-2,75	-2,5	-6	-3,5		-2,263157895
55,8	50	63,6	58,6	57,3	50,5	62,7	50,3	62	62,9	65,1		58,06842105
50,2	50,4	56,8	54,5	49,3	51,4	56,4	45	58,1	60,2	69,1		54,84210526
0,6	3,4	8,6	2,4	4,1	0,2	5,5	2,3	4	2,3	2,1		3,231578947
0,2	2,5	5,2	3,4	0,1	0,7	4	1,2	2,2	2,5	2,2		2,447368421
486	454	423	455	434	533	456	409	430	454	435		455,7894737
473	446	412	462	458	551	484	419	456	486	458		466
506	470	428	470	468	552	470	419	467	459	445		476,1578947
502	471	417	488	469	572	500	425	489	456	471		483,2105263
OUI	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	NON	OUI	OUI		33,333% NON
NON	OUI	NON	OUI	NON	NON	OUI	NON	NON	NON	OUI		77,7% NON
NON	OUI	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON		95% NON
NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON		100% NON
NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON		100% NON
2	2	3	2	3	1	2	2	2	2	2		2,157894737

Annexe 2 : Tableau de données cross-linking

Cross linking								
	Oeil 1	Oeil 2	Oeil 3	Oeil 4	Oeil 5	Oeil 6	Oeil 7	Oeil 8
Oeil droit ou gauche	OD	OG	OG	OD	OD	OG	OG	OD
Date de naissance :	28/08/2001	03/01/2008	23/02/1958	23/02/1958	11/04/2004	11/04/2004	31/12/1994	04/10/2003
Date de l'opération :	15/07/19	08/07/21	08/07/21	18/02/2021	23/07/20	09/09/21	01/07/21	28/05/20
Age lors de l'opération (année)	20	14	63	63	16	17	26	18
Sexe :	Masculin	Masculin	Feminin	Feminin	Masculin	Masculin	Feminin	Féminin
Acuité visuelle corrigée (lunettes) pré-opératoire M-1 (Monoyer) :	0,5	0,5	0,4	0,3	0,7	1	0,02	0,3
Acuité visuelle corrigée (lunettes) post-opératoire M+3 (Monoyer) :	0,4	0,4	0,5	0,6	0,8	1	0,4	0,3
Réfraction pré-opératoire M-1 :	0.00 (-1.25) 170°	-0.25 (-0.50) 110°	-3 (-1.75) 110°	-2.75(-2.75)70°	(+0.50(-1)10°)	-0.50(-1.00)75°	0.00(-5) 156°	-2(-4) 50°
Sphère équivalente M-1 :	-0,625	-0,5	-3,875	-4,125	0	-1	-2,5	-4
Valeur cylindre M-1 :	-1,25	-0,5	-1,75	-2,75	-1	-1	-5	-4
Réfraction post-opératoire M+3 :	(+0.25(-2.25) 180°)	-1.50 (-0.75) 115°	-1.50(-1.75)110°	(+2(-5.50)90°)	-0.50(-0.75)10°	-0.50(-1.00)75°	(+0.75)	-2(-3,75) 65°
Sphère équivalente M+3 :	-0,875	-1,875	-2,375	-0,75	-0,875	-1	0,75	-3,875
Valeur cylindre M+3 :	-2,25	-0,75	-1,75	-5,5	-0,75	-1	0	-3,75
Kmax antérieur pré-opératoire M-1 (Dpt) :	60,7	62,2	67,4	70	51,9	45,5	73,6	71,9
Kmax antérieur post-opératoire M+3 (Dpt) :	58,5	54,68	67,6	70	53,7	45	80	82,9
Astigmatisme cornéen face antérieure pré-opératoire M-1 (Dpt) :	6,9	1,9	7,2	9,6	6	0,7	4,3	2,2
Astigmatisme cornéen face antérieure post-opératoire M+3 (Dpt) :	6,3	2,7	4	9,2	5,6	1,1	3,2	2,4
Pachymétrie minimale pré-opératoire M-1 (µm) :	436	484	311	337	479	500	419	457
Pachymétrie minimale post-opératoire M+3 (µm) :	433	469	295	400	467	500	473	424
Pachymétrie à l'apex pré-opératoire M-1 (µm) :	451	489	467	397	486	509	420	469
Pachymétrie à l'apex post-opératoire M+3 (µm) :	442	489	455	440	474	503	474	463
Présence d'anneau de Fischer ?	OUI	NON	NON	NON	OUI	NON	OUI	OUI
Présence de stries de Vogt ?	NON	NON	NON	NON	NON	NON	OUI	NON
Complément Anneau Intra-Cornéen ?	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON
Complément Lentilles spot ?	NON	NON	OUI	OUI	NON	NON	OUI	OUI
Complément Greffe?	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON
Stade du kératocône selon la classification du Pr Touboul	3	2	5	5	2	1	3	3

Oeil 9	Oeil 10	Oeil 11	Oeil 12	Oeil 13	Oeil 14	Oeil 15	Oeil 16	Oeil 17	Oeil 18	Oeil 19	Oeil 20	Moyennes
OG	OG	OG	OD	OD	OD	OD	OD	OG	OG	OD	OG	
26/02/1979	23/05/2003	14/02/2005	15/02/2005	09/04/2004	19/09/1984	13/06/1994	01/01/1995	22/11/1979	16/01/1994	23/03/1998	16/09/2000	
08/07/21	12/12/2019	12/02/2021	19/08/2021	04/03/2021	05/04/2019	19/04/2019	26/04/2019	26/04/2019	26/04/2019	16/05/2019	24/05/2019	
42	16	16	16	17	35	25	24	40	25	21	19	26,65
Feminin	Masculin	Masculin	Masculin	Masculin	Masculin	Masculin	Masculin	Feminin	Feminin	Masculin	Masculin	Masculin 65%
0,8	0,6	0,5	0,9	0,5	0,9	1	0,7	0,7	0,4	0,9	0,8	0,621
0,8	0,6	0,6	1	0,5	1	0,9	0,4	0,5	0,6	0,8	0,8	0,645
(+5)(-5) 120°	(-2 à 135°)	-2(-1,50)à90°	-1,25(-1,75) à 5°	-3,50 (-2,00) à 30°	(+1.5) (-4)80	-1(-4)70	-3.75(-4)60	(+2,50)(-6,50)95	-1,75(-2,25) 150	-0,75(-1,25)25	-0.25(-2.50)0	
2,5	-1	-2,25	-2,125	-4,5	-0,5	-3	-5,75	-0,75	-2,875	-1,375	-1,5	-1,9875
-5	-2	-1,5	-1,75	-2	-4	-4	-4	-6,5	-2,25	-1,25	-2,5	-2,7
(+5.75)(-5.50) 110°	-3(-3) à 135°	-2(-1,50)à90°	-1,25(-0,25) à 10°	-3,75 (-2,00) à 60°	(+1.25(-1.50) 85	-1(-3)65	-3(-4,5)55	(-0,50)(-6)90	-1.50(-2.25)95	-0.50(-1.75)25	-0.50(-2,50)165	
3	-4,5	-2,75	-1,375	-4,75	0,5	-2,5	-5,25	-3,5	-1,625	-1,375	-1,75	-1,8375
-5,5	-3	-1,5	-0,25	-2	-1,5	-3	-4,5	-6	-2,25	-1,75	-2,5	-2,475
59,6	70,7	64,6	49,5	64,5	65,3	52,3	53,1	53,2	61	48,3	65,1	60,52
59,4	72,4	63,5	49,7	62,9	64,4	51,8	53,1	54,4	60,9	47,7	64,8	60,869
1,6	1,1	1,2	1,1	1	7,3	3	3,4	1,3	3,1	2,4	4,9	3,51
3,8	1	1,3	1,1	1,1	4,1	3	3	1,6	4,3	2,8	3,6	3,26
442	381	415	486	418	382	484	500	450	444	522	404	437,55
457	380	412	475	396	387	492	482	440	436	501	401	436
485	393	419	491	429	396	499	488	481	441	547	418	458,75
479	397	416	480	406	405	487	491	466	447	532	411	457,85
NON	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	NON	NON	NON	NON	OUI	NON	50%
NON	OUI	OUI	OUI	OUI	NON	NON	NON	NON	NON	NON	OUI	NON 70%
NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON 100%
OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	NON	OUI	NON	NON	NON 35%
NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON 100%
3	4	3	2	4	4	2	2	3	3	1	3	2,9

Annexe 3 : Tableau de données lentilles SPOT®

Lentilles Spot	Oeil 1	Oeil 2	Oeil 3	Oeil 4	Oeil 5	Oeil 6	Oeil 7
Date de naissance :	23/5/03	23/5/03	22/11/1970	23/11/1970	09/04/2004	10/04/2004	
Date de l'adaptation en lentilles SPOT :	12/06/2020	13/06/2020	entre 11/02/20 et 11/02/21	entre 11/02/20 et 11/02/22	21/05/21	22/05/21	entre 18/09/2020 et
Age lors de l'adaptation en lentilles SPOT : (années)	17	17	51	51	17	17	
Sexe :	Masculin	Masculin	Féminin	Féminin	Masculin	Masculin	féminin
Acuité visuelle pré-adaptation M-1 (Monoyer) :	0,2	0,6	0,9	0,4	0,5	0,033	
Acuité visuelle avec lentilles :	0,4	0,9	0,7	1	0,6	0,6	
Réfraction pré-adaptation M-1 :	-0.75(-0.75) 65°	00(-1.25à 140°)	-1.25(-4,50) à 55°	-5(-7) à 150°	-3,50 (-2,00) à 30°	-2,50 (-1,50) à 135°	-2 (-3,75 à 65°)
Sphère équivalente M-1 :	-1,125	-0,625	-3,5	-8,5	-4,5	-3,25	
Valeur cylindre M-1 :	-0,75	-1,25	-4,5	-7	-2	-1,5	
Réfraction post-adaptation M+3 :	plan	-3(-3) 135°	-1(-5,25) à 45°	-5,00 (-7,50) à 145°	-3,75 (-2,00) à 60°	(+0,75)(-1,50) à 80°	-2 (-3,75 à 65°)
Sphère équivalente M+3 :	0	-4,5	-3,625	-8,75	-4,75	-0,75	
Valeur cylindre M+3 :	0	-3	-5,25	-7,5	-2	-1,5	
Kmax antérieur pré-adaptation M-1 (Dpt) :	84,4	71,3	54,9	57,9	64,4	78,7	
Kmax antérieur post-adaptation M+3 (Dpt) :	81,8	72,3	54,3	59,5	66,6	82,6	
Astigmatisme cornéen antérieur pré-adaptation M-1 (Dpt) :	4	2,5	6,1	4,2	2,9	5,1	
Astigmatisme cornéen antérieur post-adaptation M+3 (Dpt) :	3,9	3	5,4	3,4	2,1	4,4	
Pachymétrie minimale pré-adaptation M-1 (µm) :	278	383	478	439	425	301	
Pachymétrie minimale post adaptation M+3 (µm) :	247	381	472	441	411	240	
Pachymétrie à l'apex pré-adaptation M-1 (µm) :	280	398	486	449	434	301	
Pachymétrie à l'apex post-adaptation M+3 (µm) :	250	393	478	451	416	248	
Présence d'anneau de Fischer ?	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Présence de stries de Vogt ?	OUI	OUI	NON	NON	OUI	OUI	OUI
Complément Anneau Intra-Cornéen ?	NON	NON	NON	NON	OUI	OUI	NON
Complément Cross linking?	NON	NON	NON	NON	OUI	NON	OUI
Complément Greffe?	NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON
Stade du kératocône selon la classification du Pr Touboul	5	4	2	3	3	5	3

Oeil 8	Oeil 9	Oeil 10	Oeil 11	Oeil 12	Oeil 13	Oeil 14
04/10/2003	09/11/1990	09/11/1990	07/03/2003	07/03/2003	03/04/1997	17/01/2001
entre 18/09/2020 et 19/03/2021	entre 11/05/2020 et 20/11/2020	entre 11/05/2020 et 20/11/2020	Mars/Avril 2018	Mars/Avril 2018	janvier 2020	entre juillet et decembre 2019
18	30	30	15	15	23	18
féminin	Féminin	Féminin	Masculin	Masculin	Masculin	Masculin
0,04	0,7	0,9	0,32	0,4	0,04	1
0,3	0,7	1	0,9	0,9	0,6	1
-4,5	-4 (-5,25 à 60°)	(+2 (-2 à 100°))	-6 (-5 à 110°)	-16.75 (-8.75 à 180°)	-1 (-4 à 0°)	-5.50 (-4.50 à 25°)
-4,5	-6,625	1	-8,5	-21,125	-3	-7,75
0	-5,25	-2	-5	-8,75	-4	-4,5
-4,5	-3.50 (-5 à 55°)	(+2 (-2 à 100°))	-7 (-8.75 à 10°)	0	0	-5.75 (-4.50 à 30°)
-4,5	-6	1	-11,375	0	0	-8
0	-5	-2	-8,75	0	0	-4,5
88,2	64,1	61,1	61,8	67,8	83,7	64
84,6	64,1	57,5	62,2	67,8	82,6	62,8
4,3	6,5	5	7,2	5,9	3,2	4,9
6	6,4	4,1	6,7	6,5	3	1,4
304	437	477	423	403	335	380
262	428	473	441	417	329	383
316	444	480	439	413	349	393
270	435	479	452	424	343	404
OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
OUI	NON	NON	NON	NON	OUI	OUI
NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON
OUI	NON	NON	NON	NON	NON	OUI
NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON
5	3	2	3	3	5	4

Oeil 15	Oeil 16	Oeil 17	Oeil 18	Oeil 19	Oeil 20	Moyennes
17/01/2001	08/09/1981	26/02/1979	26/02/1979	10/03/2006	30/10/1988	
entre juillet et decembre 2019	mai 2019	Janvier/Février 2019	Janvier/Février 2019	entre juillet et octobre 2018	entre septembre 2020 et mars 2021	
18	38	40	40	12	33	25,9
Masculin	Maculin	Féminin	Féminin	Masculin	Masculin	Masculin 60%
0,14	0,9	0,9	0,8	0,4	0,6	0,49865
0,5	1	1	0,9	0,9	1	0,78
-7.50 (-7 à 175°)	(+3.25 (-6 à 95°)	(+4 (-3 à 35°)	(+4 (-4 à 135°)	-3.5 (-3 à 30°)	(+0.5 (-0.75 à 125°)	
-11	0,25	2,5	2	-5	0,125	-4,35
-7	-6	-3	-4	-3	-0,75	-3,7
-7.50 (-7.25 à 175°)	(+3.25 (-6 à 100°)	(+4.25 (-3.25 à 40°)	(+4.25 (-4 à 125°)	-2.75 (-2.75 à 60°)	-0.25	
-11,125	0,25	2,625	2,25	-4,125	-0,25	-3,275
-7,25	-6	-3,25	-4	-2,75	0	-3,325
77,5	51,7	55,3	54,2	57,7	73,3	67,745
73,5	52,2	58	56,7	57,1	73,7	67,515
5,3	5,5	5,3	4,1	2,8	6,8	4,82
4,5	5,3	6,6	4,3	2,1	6,7	4,625
202	434	477	461	485	403	397,45
181	434	446	458	491	394	388,95
277	449	519	510	489	408	414,85
232	445	505	502	493	399	404,3
OUI	OUI	NON	NON	OUI	OUI	NON 10%
NON	NON	NON	NON	NON	OUI	NON 55%
NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON 90%
NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON 80%
NON	NON	NON	NON	NON	NON	NON 100%
5	2	2	2	2	4	3,35