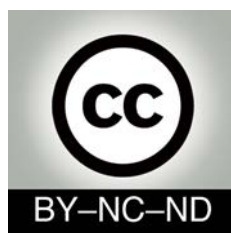


Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



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



Université Claude Bernard



Lyon 1

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LA READAPTATION

Directeur Docteur Xavier PERROT

Comparaison des données topographiques de l'Oculus Pentacam[®] et du Schwind Sirius[®] pour différents profils cornéens

MEMOIRE présenté pour l'obtention du

CERTIFICAT DE CAPACITE D'ORTHOPTISTE

par

PORADA Chloé et RENAULT Alexane

Autorisation de reproduction

LYON, soutenance en distanciel

Professeur Ph. DENIS

Responsable de l'Enseignement

Mme C. CHAMBARD

Directrice des Etudes

N° 2020/17



Université Claude Bernard Lyon 1



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. Pierre ROLLAND

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
Dr Xavier PERROT

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



Université Claude Bernard



Lyon 1

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

École Supérieure du Professorat et de l'Éducation

Directeur

M. CHAREYRON Pierre

UFR de Sciences et Technologies

Directeur

M. DE MARCHI Fabien

POLYTECH LYON

Directeur

Pr PERRIN Emmanuel

IUT LYON 1

Directeur

M. VITON Christophe

École Supérieure de Chimie Physique Électronique de Lyon (ESCPE)

Directeur

M. PIGNAULT Gérard

Observatoire astronomique de Lyon

Directeur

Mme DANIEL Isabelle

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons tout d'abord remercier Monsieur le Professeur Philippe DENIS, responsable de l'enseignement de l'école d'Orthoptie de Lyon et chef du service d'ophtalmologie de l'hôpital de la Croix-Rousse, de nous avoir permis d'intégrer cette école et d'avoir eu ce parcours enrichissant.

Merci également à Mme Claudine CHAMBARD, directrice de l'école d'Orthoptie de Lyon, pour sa pédagogie et son soutien durant nos 3 années d'études.

Un grand merci à Karen PONTON, Orthoptiste à l'Hôpital Edouard Herriot, notre maître de mémoire pour son aide précieuse dans la rédaction de ce projet de fin d'étude. Elle a su se rendre disponible en présentiel comme en virtuel à travers des visio, des mails et même des Whatsapp®. Merci de nous avoir accompagné du début à la fin et de nous avoir enrichi humainement et professionnellement de toutes vos connaissances. Sans vous, rien n'aurait été pareil.

Merci également à nos professeurs, Mme Estelle LAGEDAMONT, M. Brice GOUTAGNY et aux autres intervenants pour tout ce qu'ils nous ont appris lors de leurs enseignements au cours de nos 3 années de formation.

Merci à notre professeur de statistiques, M. Eric CHABANAT qui nous a orienté dans le choix et l'élaboration de notre méthode d'analyse statistique.

Merci aux orthoptistes, médecins et internes, que nous avons côtoyé lors de nos stages dans les différents hôpitaux, d'avoir su enrichir nos connaissances théoriques et pratiques et de nous avoir prodiguer de précieux conseils pour notre future profession. Merci de votre confiance et de votre soutien. Et un merci particulier à l'interne Maxime KERN de nous avoir transmis son expérience et ses conseils pour l'organisation de notre mémoire.

Merci à Madame la Professeure Carole BURILLON, chef du service d'ophtalmologie de l'hôpital Edouard Herriot, d'avoir acceptée que nous utilisions les données des patients de son service pour notre étude. Merci également au Dr Romain MOUCHEL de nous avoir conduit sur ce sujet de mémoire après diverses discussions.

Nous remercions également les personnes ayant acceptés de prendre part à notre étude, et qui nous ont permis d'avoir une population suffisante pour obtenir les résultats le plus fiable possible.

Merci à nos familles et amis pour leur soutien pendant nos 3 années d'études, ainsi qu'à notre promotion pour toutes les belles expériences et moments que nous avons partagés.

Et finalement remerciements mutuels pour ce mémoire et tous ces bons moments passés toutes les deux.

TABLE DES MATIERES

Introduction	7
Partie théorique	
1. Anatomie et physiologie cornéenne	9
1. 1. Généralités sur la cornée	9
1. 2. Histologie de la cornée	10
1. 2. 1. Épithélium cornéen	10
1. 2. 2. Membrane de Bowman	11
1. 2. 3. Stroma cornéen	11
1. 2. 4. Membrane de Descemet	11
1. 2. 5. Endothélium cornéen	11
2. La topographie cornéenne	12
2. 1. Généralités et paramètres étudiés	12
2. 1. 1. Généralités	12
2. 1. 2. Paramètres mesurés	13
2. 1. 2. 1. Valeurs cornéennes	13
2. 1. 2. 2. Analyse de la chambre antérieure	14
2. 2. Oculus Pentacam®	16
2. 3. Schwind Sirius®	18
3. Pathologies cornéennes	21
3. 1. Kératocône	21
3. 2. Dystrophie de Fuchs	23

Partie pratique

Matériel et méthode	26
Résultats	29
Discussion	32
Conclusion	35
Bibliographie	36
Annexes	38

INTRODUCTION

La cornée est le premier élément réfractif de l'œil et forme une barrière avec l'extérieur. Elle peut parfois présenter des déformations pathologiques responsable de trouble de la vision comme le kératocône ou la dystrophie de Fuchs.

Le kératocône est une dystrophie cornéenne entraînant une déformation et un amincissement progressif de la cornée.

La dystrophie de Fuchs est une décompensation endothéliale provoquant une augmentation de l'épaisseur cornéenne.

Le topographe est un appareil d'exploration visuelle qui analyse précisément la cornée et le segment antérieur de l'œil. Il permet de réaliser une cartographie spécialisée de la morphologie et du relief de la cornée, et d'avoir accès aux structures antérieures de l'œil grâce à de multiples paramètres mesurés. Ainsi le topographe est un outil essentiel et indispensable dans le diagnostic et le suivi de ces pathologies cornéennes.

L'Hôpital Edouard Herriot de Lyon possède deux topographes de fabricant distincts : l'Oculus Pentacam® et le Schwind Sirius®, et il nous semble intéressant d'étudier ces deux appareils afin de connaître le fonctionnement de chacun et de voir si les données recueillies sont identiques et interchangeables.

La problématique qui se pose est donc de savoir s'il existe une variation entre les données mesurées par ces deux topographes, mais également de constater si un profil cornéen particulier entraîne des répercussions sur l'analyse de cette variation.

L'objectif est de voir s'il y a une différence et si celle-ci est significative selon un calcul de probabilité. Nous avons pour hypothèse de ne retrouver aucune différence significative entre les données de ces deux topographes.

Pour cette étude nous avons sélectionnés trois profils cornéens : des patients ayant une cornée saine et non porteurs de correction optique (groupe témoin), des patients présentant un kératocône et des patients ayant subi une greffe endothéliale à la suite d'une dystrophie de Fuchs.

Notre étude porte sur une cohorte de patients de la consultation cornée de l'Hôpital Édouard Herriot de Lyon ayant eu l'examen de topographie sur les deux appareils.

Nous aborderons dans un premier temps l'anatomie et la physiologie de la cornée avec la description des différentes couches la composant.

Nous détaillerons ensuite le fonctionnement de la topographie cornéenne d'élévation de façon générale et plus précisément celui de l'Oculus Pentacam® et du Schwind Sirius®, ainsi que les principaux paramètres mesurés.

Enfin, dans un dernier temps, nous décrirons les pathologies cornéennes choisies pour notre étude.

PARTIE THEORIQUE

1. Anatomie et physiologie cornéenne ^{(1) (2)}

1. 1. Généralités sur la cornée

La tunique externe de l'œil appelée aussi couche fibreuse, se compose d'une partie postérieure opaque : la sclérotique (85%) et d'une partie antérieure transparente : la cornée (15%). La jonction anatomique entre ces deux structures se nomme le limbe scléro-cornéen.

La cornée forme une barrière entre les structures internes de l'œil et l'extérieur. Elle est en contact avec le film lacrymal et la conjonctive palpébrale, en avant, et avec l'humeur aqueuse, en arrière.

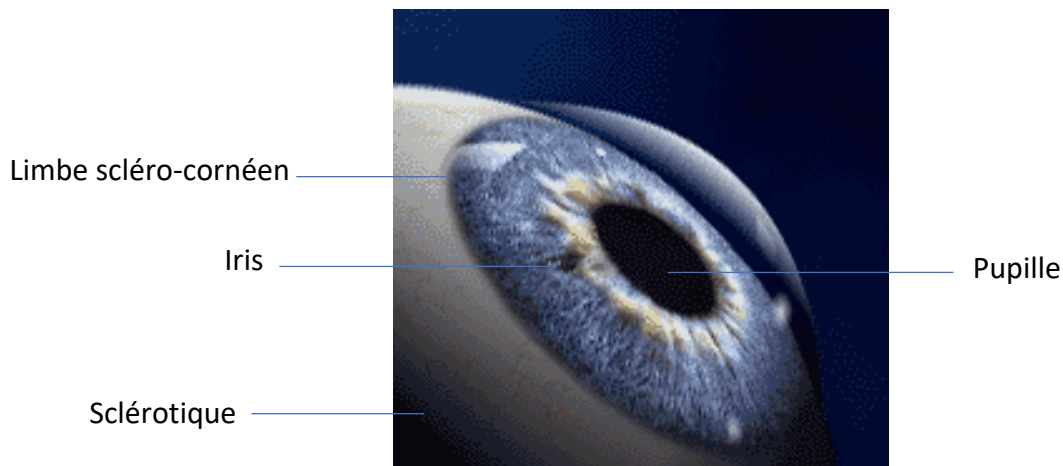


Figure n°1 : Représentation d'une cornée humaine - Image provenant du cours d'anatomie de Mme Avillac

La cornée est le premier élément réfractif de l'œil, son pouvoir dioptrique est d'en moyenne 40dp, cela équivaut au 2/3 du pouvoir optique de l'œil qui est de 60dp.

La cornée est un milieu transparent, il n'y a pas de dispersion de la lumière, les rayons lumineux ne sont pas réfléchis mais réfractés pour converger sur la rétine.

La cornée est richement innervée, on y trouve des fibres nerveuses cornéennes provenant des branches des nerfs ciliaires et pénétrant dans le stroma, constituant un plexus sous-épithélial, envoyant des branches entre les cellules de l'épithélium cornéen. ⁽³⁾

C'est aussi un milieu avasculaire qui permet de conserver la transparence.

La cornée apparaît sous une forme légèrement elliptique et mesure environ 11,7mm de diamètre horizontal et 10,6mm de diamètre vertical.

Son épaisseur est plus fine au centre qu'en périphérie, elle mesure environ 530 μm au centre et jusqu'à 800 μm en périphérie, proche du limbe.

Le rayon de courbure de la surface antérieure de la cornée est de 7,7mm et celle de la surface postérieure est de 6,9 mm.

La cornée est composée de 5 couches, de la plus externe à la plus interne : l'épithélium cornéen, la membrane de Bowman, le stroma, la membrane de Descemet et l'endothélium.

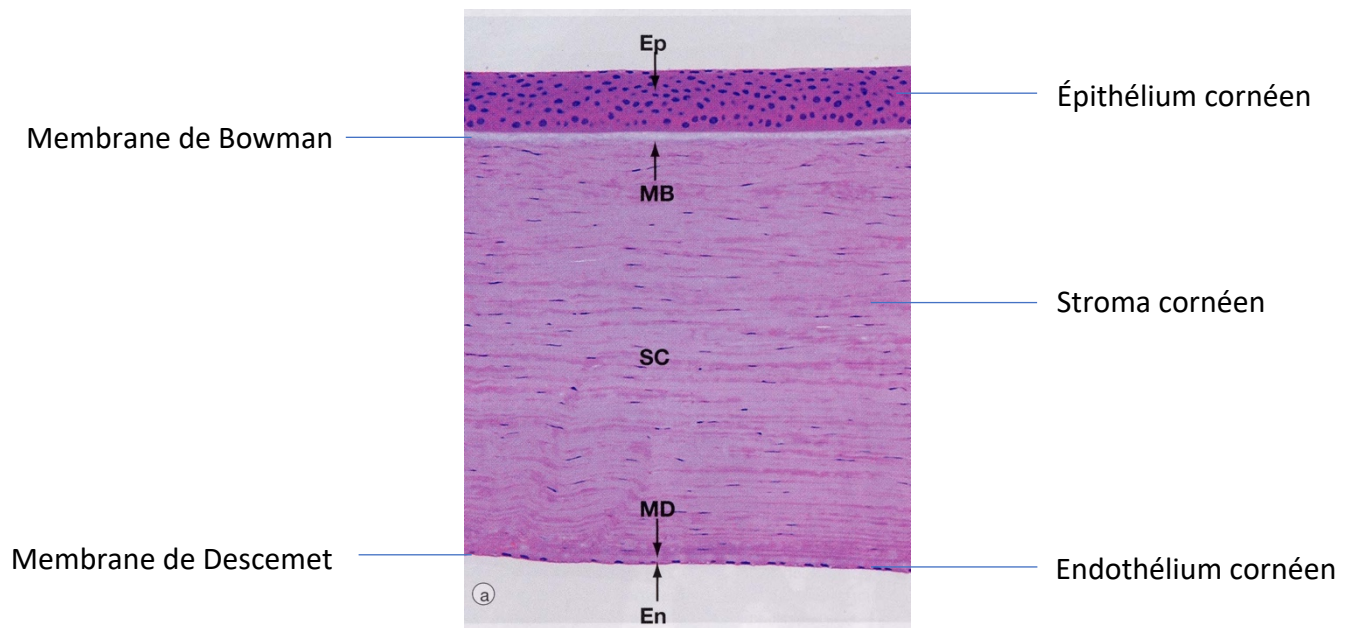


Figure n°2 : Coupe histologique des 5 couches de la cornée – Image provenant du cours d'anatomie de Mme Avillac

1. 2. Histologie de la cornée

1. 2. 1. Épithélium cornéen

C'est un épithélium pavimenteux stratifié non kératinisé ayant une épaisseur d'environ 50µm.

Il est globalement constitué de 5 à 7 couches de cellules, les 3 principales étant :

- la couche superficielle, composée de cellules pavimenteuses aplaties avec des microvillosités qui accrochent le film lacrymal
- la couche intermédiaire, composée de cellules polyédriques ou cellules ailées appelées « wing cells »
- la couche basale, germinative et monostratifiée constituée de cellules cylindriques qui reposent sur la membrane basale. Dans cette couche se trouvent des cellules souches épithéliales, davantage au niveau du limbe, qui donnent naissance à des cellules amplificatrices transitoires qui produiront à leur tour les différentes cellules de l'épithélium cornéen.

Cet épithélium est hautement régénératif, avec un renouvellement complet en 8 à 10 jours, et cicatriciel en cas de pathologies (24H).

En effet les cellules les plus superficielles disparaissent par desquamation, et celles-ci sont remplacées par de nouvelles cellules formées dans la couche basale.

Cette organisation régulière minimise les phénomènes de dispersion de la lumière.

Dans cet épithélium on trouve également des fibres nerveuses amyéliniques sensibles à la pression, au froid, et à certaines molécules. Elles véhiculent l'information responsable de la douleur.

A chaque clignement d'œil, l'épithélium se recouvre d'un film lacrymal qui a pour fonction de donner une surface réfractive lisse et d'éviter les traumatismes cornéens.

1. 2. 2. Membrane de Bowman

Cette membrane se situe en dessous de la membrane basale, et a une épaisseur d'environ 10 μm . C'est une couche acellulaire composée de fibres de collagène de type V d'organisation aléatoire. Entre ces fibres on trouve de la matrice extracellulaire composé de glycosaminoglycanes (GAG).

Cette couche n'a pas la capacité de se régénérer, et toutes les lésions de celle-ci seront remplacées par un tissu cicatriciel qui formera des opacités cornéennes séquellaires.

1. 2. 3. Stroma cornéen

C'est la couche la plus épaisse, environ 400 μm , constituant 90% du volume de la cornée.

Le stroma est constitué d'environ 200 à 250 lamelles transparentes de collagène de type I, de matrice extracellulaire et de kératocytes.

L'organisation très précise de ces lamelles conditionne la transparence.

En effet, elles sont perpendiculaires les unes par rapport aux autres, et au sein d'une lamelle toutes les fibres sont orientées dans la même direction, sont empilées les unes sur les autres et sont parallèles à la surface de la cornée.

Les GAG de cette matrice extracellulaire permettent un espacement régulier entre les fibres qui s'organisent autour.

Ainsi tout évènement qui modifie la régularité d'organisation des fibres de collagène va provoquer la perte de transparence de la cornée.

Les kératocytes, disposés parallèlement aux lamelles, ont pour fonction de synthétiser les fibres de collagène et la matrice extracellulaire. (2)

1. 2. 4. Membrane de Descemet

La membrane de Descemet est fine à la naissance, autour de 3,4 μm , puis s'épaissit jusqu'à 10 à 15 μm chez l'adulte.

C'est la membrane basale transparente de l'endothélium.

Elle est acellulaire, principalement composée de fibres de collagène de type IV organisées de manière hexagonale et enrobées de matrice extracellulaire.

Elle est relativement résistante et constitue ainsi une barrière en cas de perforation de la cornée.

1. 2. 5. Endothélium cornéen

L'endothélium a une épaisseur d'environ 5 μm , avec une densité de cellules d'environ 3000 cellules/ mm^2 chez l'adulte de 20 ans et de 1500 cellules/ mm^2 après l'âge de 80 ans. Ces cellules ne se régénèrent pas, leur densité décline au fil du temps.

C'est une couche unicellulaire de cellules à forme hexagonale, plates ayant une disposition régulière en nid d'abeille. Elle joue un rôle de barrière entre le stroma et l'humeur aqueuse.

On y trouve des microvillosités du côté du pôle apical qui vont se projeter dans l'humeur aqueuse.



Figure n°3 : Représentation des cellules hexagonale d'une cornée saine – Image provenant du cours d'anatomie de Mme Avillac

L'endothélium est responsable du degré d'hydratation de la cornée et donc de la limitation de la diffusion d'eau entre la cornée et l'humeur aqueuse.

Le taux d'hydratation de la cornée est de 75%.

En effet, les cellules endothéliales sont munies d'un système de pompes qui assurent le transport d'ions Na^+/K^+ et l'expulsion de l'eau de la cornée vers l'humeur aqueuse de manière passive par osmose.

Cela constitue un autre facteur de transparence, et optimise ainsi le passage des rayons lumineux. ⁽³⁾

Ainsi quand le nombre de cellule décroît fortement, il y a perte de transparence par augmentation de l'hydratation cornéenne.

2. La topographie cornéenne ⁽⁴⁾

Le topographe est un appareil permettant de réaliser une cartographie spécialisée du segment antérieur, c'est-à-dire une représentation graphique de la morphologie et du relief de la cornée de part un recueil d'informations.

La topographie cornéenne d'élévation permet d'accéder à l'étude des faces antérieures et postérieures de la cornée.

C'est un outil indispensable pour le diagnostic, le dépistage et le suivi de certaines anomalies cornéennes.

2. 1. Généralités et paramètres mesurés

2. 1. 1. Généralités

Il existe à ce jour divers topographes élaborés par différents fabricants de matériel médical. C'est notamment de par leur fonctionnement qu'ils se distinguent les uns des autres.

Par exemple, certains utilisent la réflexion spéculaire avec les disques de Placido comme l'OPD Scan de Nidek[®] ; d'autres des fentes lumineuses comme l'Orbscan de Bausch and Lomb[®] ; ou encore une caméra rotative Scheimpflug comme l'Oculus Pentacam.[®]

Certains, comme le Galilei de Ziemer[®] et le Schwind Sirius[®], combinent la caméra Scheimpflug avec les disques de Placido.

Les topographes permettent de recueillir les mesures nécessaires à l'analyse du segment antérieur à savoir : l'épaisseur cornéenne, le volume et la profondeur de la chambre antérieure, ainsi que le volume cornéen.

Ils permettent aussi d'obtenir des valeurs kératométriques à savoir les rayons de courbures de la cornée, l'astigmatisme et l'axe correspondant.

Ces appareils permettent également d'obtenir le diamètre pupillaire, la densitométrie cristallinienne, l'ouverture de l'angle irido-cornéen, le facteur d'asphéricité Q, le facteur KPD et bien d'autres paramètres encore.

Les topographes permettent aussi le dépistage du kératocône grâce à une sélection d'indices.

Les mouvements de l'œil durant l'examen sont enregistrés et permettent d'obtenir un indice de qualité.

Les mesures sont réalisées sans contact et sans dilatation, et sont effectuées en différents points ce qui permet d'avoir un relevé complet du mur cornéen.

Les données sont généralement rapportées sous forme de cartes réfractives de plusieurs types respectant un code couleur :

- pour la kératométrie, les couleurs chaudes représentent ce qui est bombé, les couleurs froides ce qui est plat, et le vert définit les valeurs moyennes
- pour la pachymétrie, les couleurs chaudes indiquent une cornée fine, les couleurs froides une cornée épaisse, et le vert définit l'épaisseur cornéenne moyenne.

2. 1. 2. Paramètres mesurés

Nous détaillerons ici les principaux paramètres mesurés par les différents appareils topographiques.

2. 1. 2. 1. Valeurs cornéennes

- K1 : Correspond à la réfringence, en dioptrie, du rayon de courbure le plus plat dans les 3mm centraux.
- K2 : Correspond à la réfringence, en dioptrie, du rayon de courbure raide dans les 3mm centraux, soit à 90° du plus plat.
- Kmoyen : Correspond à la réfringence moyenne obtenue grâce au K1 et au K2, en dioptries. On notera d'ailleurs que $K = (n_1 - n_0 / r \text{ antérieur}) \times 1000$ avec $n_1 = 1,3375$ et $n_0 = 1$.
- Astigmatisme : Correspond à l'anomalie de la courbure cornéenne au centre. Il s'exprime en dioptries.
- Axe : Correspond à l'axe de l'astigmatisme du rayon plat ou du rayon raide selon les réglages choisis. Il s'exprime en degrés.

Il s'agit des relevés kératométriques de la face antérieure pour un diamètre de 3mm. La kératométrie a pour objectif de mesurer le pouvoir de réfraction de la cornée, grâce aux différents rayons de courbures, afin de détecter d'éventuels défauts tels que l'astigmatisme cornéen.

- Facteur Q : Il s'agit de la variable d'asphéricité c'est-à-dire le facteur de forme de la cornée moyenne. La valeur moyenne de ce facteur Q est -0,24.
Si Q est inférieur au Q moyen, cela correspond à une réduction de la courbure du centre vers la périphérie et si Q est supérieur au Q moyen, cela correspond à une augmentation de la courbure du centre vers la périphérie. ⁽⁵⁾

- Pachymétrie : Il s'agit de l'épaisseur de la cornée au centre. Elle s'exprime en μm . Elle est calculée en fonction de la distance entre la face cornéenne antérieure et postérieure. En moyenne, la pachymétrie est de 530 μm au centre et 800 μm en périphérie. ⁽⁶⁾

Physiologiquement son épaisseur n'évolue pas, et ainsi une variation témoigne d'une pathologie ou d'une chirurgie cornéenne.

La valeur de la pachymétrie cornéenne est nécessaire en vue :

- d'une chirurgie réfractive
- des traitements du kératocône
- d'un glaucome : la mesure de la pression intraoculaire (PIO) est corrélée à la pachymétrie, en effet pour une cornée épaisse, la valeur de la PIO est artificiellement augmentée et à l'inverse une cornée fine sous-estime la valeur de la PIO
- d'une greffe de cornée en per-opératoire et en suivi

2. 1. 2. 2. L'analyse de la chambre antérieure ⁽⁷⁾

- Angle irido-cornéen (AIC) : L'AIC est situé à la jonction cornéo-sclérale en avant, et à la jonction irido-ciliaire en arrière.

L'AIC est la principale voie d'élimination de l'humeur aqueuse au travers du trabéculum. Si l'évacuation est ralentie voire rendue impossible, la pression intraoculaire s'élève anormalement et provoque ainsi une souffrance du nerf optique. Cette mesure est donc importante pour vérifier le bon déroulement de l'évacuation et ainsi juger de la nécessité d'une iridotomie. Elle permet de savoir s'il est possible de dilater le patient sans risque de provoquer une crise aiguë de fermeture de l'angle. L'angle est dit « ouvert » quand il est compris entre 20° et 45°. En dessous de 20° il y a un risque de fermeture de l'angle.

- Profondeur de chambre antérieure : La mesure de la profondeur de la chambre antérieure est prise du sommet cornéen jusqu'au sommet de la face antérieure du cristallin. Elle s'exprime en mm.

Cette mesure est nécessaire :

- en cas d'hypermétropie > 2,5dp afin de s'assurer que la profondeur de chambre antérieure soit suffisante et ainsi de permettre une dilatation sans risque de provoquer un glaucome aigu par fermeture de l'angle
- en pré-opératoire d'implantation du phake afin de s'assurer qu'il y ait l'espace nécessaire.

- Volume de chambre antérieure : Il s'agit du volume de la chambre qui s'étend de la surface postérieure de la cornée jusqu'à l'iris/cristallin, dans un diamètre de 12 mm autour de l'apex. Il s'exprime en mm^3 .

On retrouve environ 0,25mL d'humeur aqueuse dans la chambre antérieure. Ce volume diminue avec l'âge en raison de l'augmentation de la taille du cristallin.

- Volume cornéen : Il s'agit du volume de la cornée dans un diamètre de 10 mm autour de l'apex. Il s'exprime en mm³.
- Diamètre pupillaire : Il s'agit du diamètre moyen de la pupille pendant la mesure effectuée. Il s'exprime en mm. D'une personne à une autre, la pupille change de forme en fonction de la sensibilité rétinienne et des conditions environnementales notamment la luminosité de l'appareil, le temps d'examen...
Une pupille dilatée va donc avoir une influence sur l'évaluation de la chambre antérieure et peut ainsi faire varier les résultats.
- Indices de dépistage du kératocône : Le kératocône se caractérise par la survenue d'une déformation cornéenne. La topographie permet ainsi de quantifier et qualifier la déformation irrégulière de la cornée. Plusieurs indices tel que le Belin Ambrosio ou le BCV sont mesurés par l'appareil et sont associés à un seuil qui sépare en trois catégories : « douteux », « compatible » et « normal ».

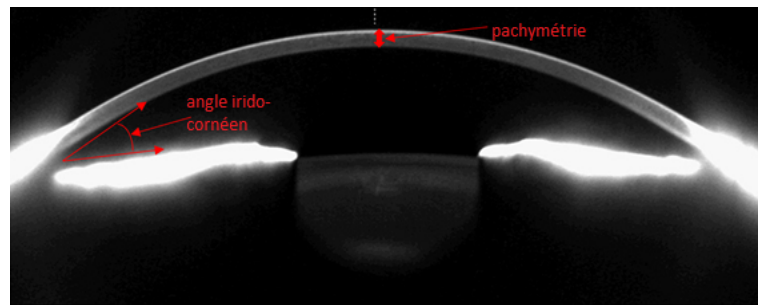


Figure n°4 : Coupe 2D du segment antérieur obtenue avec l'Oculus Pentacam®

Dans le cadre de notre mémoire nous étudierons uniquement les topographes Oculus Pentacam® et Schwind Sirius®.

Tous deux étudient les mêmes fonctionnalités de la cornée, mais possèdent des différences : « alors que l'Oculus Pentacam® utilise uniquement une caméra Scheimpflug rotative, le système Schwind Sirius® combine une caméra Scheimpflug rotative avec un topographe cornéen à disque de Placido à 22 anneaux afin de mieux analyser la courbure antérieure de la cornée ». (8)

2. 2. Oculus Pentacam[®] (9) (10) (11)



Figure n°5 : Photo d'un Oculus Pentacam[®] - Hôpital Edouard Herriot

L'Oculus Pentacam[®] est équipé d'une caméra Scheimpflug de haute résolution qui permet l'acquisition de 100 images de fente en 2 secondes.

Cette caméra effectue un balayage rotatif autour de l'œil, de par l'émission d'une fente lumineuse bleue à 475nm, avec 500 points d'élévation distincts et réalise les différentes mesures.

Elle permet d'augmenter la profondeur de champ pour fournir une représentation des faces antérieures et postérieures de la cornée, de l'iris et du cristallin.

Les images de cette rotation servent de base au calcul des données « de hauteur », dont découlent tous les résultats et à la création du modèle en 3D.

Au cours de cette opération, jusqu'à 25000 valeurs de hauteur effective sont mesurées et analysées. L'alignement de l'œil et les possibles mouvements de celui-ci durant l'examen sont aussi enregistrés et pris en compte pour l'élaboration du modèle en 3D.

La caméra Scheimpflug permet ainsi l'analyse :

- de la cornée
- de la chambre antérieure
- du segment antérieur
- de l'épaisseur cornéenne jusqu'à 12mm de diamètre
- de la topographie cornéenne postérieure
- de la courbure tangentielle et axiale de la face postérieure de la cornée

Cette caméra peut s'utiliser selon 3 modes :

- « 3D scan » : C'est le mode le plus utilisé, et c'est celui choisi pour notre étude.

Il permet de sélectionner le nombre d'image que l'on souhaite que la caméra enregistre par numérisation. La différence réside dans la durée de l'examen et le nombre de points de mesure évalués. En supposant une bonne fixation préalable du patient, la numérisation prendra plus de temps mais sera plus précise.

- « Scheimpflug image » : Ce mode permet de ne prendre qu'une seule image, pour une position de la caméra qui est libre au choix.
- « Enhanced Dynamic Scheimpflug Image » : Ce mode prend 5, 10 ou 15 images avec la caméra qui reste dans la même position. Pour minimiser les aberrations, la moyenne des images est calculée afin d'obtenir une seule image finale.

Il est également possible, sur l'Oculus Pentacam®, d'utiliser des options pour plus de précision :

- « Cornea fine » : 50 à 100 images sont prises pour un enregistrement concentré de la cornée, les couches les plus profondes de la chambre antérieure n'étant pas prises.
- « Multi-rotation » : La caméra prend en photo dans 50 positions différentes tout en effectuant une rotation complète 2 fois autour de l'œil.
- la « Fixation target » : Elle permet une meilleure fixation du patient quand celle-ci n'est pas stable.
- « Accomodation group box » : 50 images sont prises, et pendant l'enregistrement, la « fixation target » est décalée constamment de -5dp jusqu'à +2dp. Les images sont enregistrées à partir d'une position de caméra sélectionné au préalable.
- « Cliché dyn » : Ici le temps d'exposition par image est allongé. L'avantage est la bonne représentation des lentilles Phake IOL. Ce mode d'enregistrement ne calcule et ne propose aucune représentation en couleur ou d'évaluation.

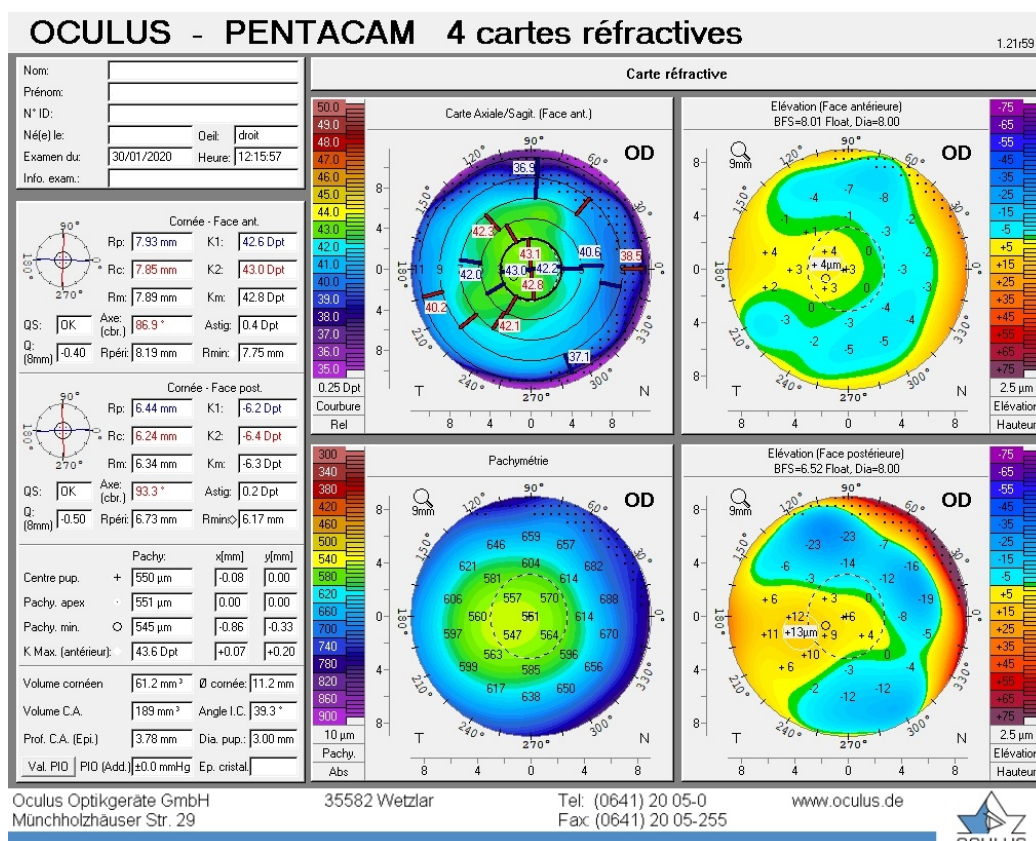


Figure n°6 : Exemple type d'une carte réfractive de l'Oculus Pentacam®

Sur cette carte réfractive nous retrouvons les principaux paramètres énoncés précédemment :

- Le K1
- Le K2
- Le Kmoyen noté « Km »
- L'astigmatisme au centre noté « astig »
- L'axe
- Le facteur Q
- La pachymétrie notée « Pachy min »
- L'angle irido-cornéen noté « Angle I.C »
- La profondeur de chambre antérieure notée « Prof. C.A (Epi) »
- Le volume de chambre antérieure noté « Volume C.A »
- Le volume cornéen
- Le diamètre pupillaire noté « Dia. pup. »

On retrouve aussi le QS « Quality Specification » qui décrit la qualité des données de l'image Scheimpflug.

L'Oculus Pentacam® dépiste les kératocônes grâce aux différents indices, dont le plus connu est celui du Belin Ambrosio. Ces indices sont visibles sur un autre type de carte.

Cornée - Face ant.			
Rp:	K1:		
Rc:	K2:		
Rm:	Km:		
QS:	Axe:	Astig:	
Q:	Rpér:	Rmin:	
(8mm)			
Centre pup.	Pachy:	x(mm)	y(mm)
Pachy. apex			
Pachy. min.			
K Max. (antérieur):			
Volume cornéen	KPD:		
Volume C.A.	Angle I.C.		
Prof. C.A. (Epi)	Dia. pup.:		
Val PID	PID (Add.)	Ep. cristal	

Figure n°7 : Exemple type des données de l'Oculus Pentacam®

Avec les résultats obtenus on peut élaborer différents types de cartes de représentation :

- carte topométrique
- bilan réfractif
- modèle 3D plein écran
- tomographie
- carte de comparaison

2. 3. Schwind Sirius® (12) (13) (14)



Figure n°8 : Photo d'un Schwind Sirius® – Hôpital Edouard Herriot

Le Schwind Sirius® est un topographe mixant les technologies de la caméra rotative Scheimpflug et les disques de Placido. La combinaison des 2 permet en même pas une seconde, d'avoir une analyse complète de la cornée et du segment antérieur. Ces 2 technologies sont toujours combinées, les mesures ne peuvent pas être réalisées séparément.

En fusionnant les données du disque Placido avec celles de la caméra Scheimpflug, on obtient donc l'image de la face avant de l'œil permettant d'analyser précisément la surface cornéenne antérieure en trois dimensions, son élévation et sa puissance et d'obtenir la courbure tangentielle et axiale des 2 surfaces cornéennes.

La technologie Placido complète ce que la caméra Scheimpflug mesure, à savoir une précision des courbures et puissances de la cornée.

Sa résolution est d'un micromètre, ce qui permet de diagnostiquer avec précision les plus fines irrégularités de la surface cornéenne et les aberrations.

La réflexion des mires circulaires concentriques projetées sur l'axe de visée de la cornée permettent de réaliser les différentes mesures.

Il est possible de vérifier la qualité de l'acquisition grâce à l'onglet : « keratoscopy centration ».

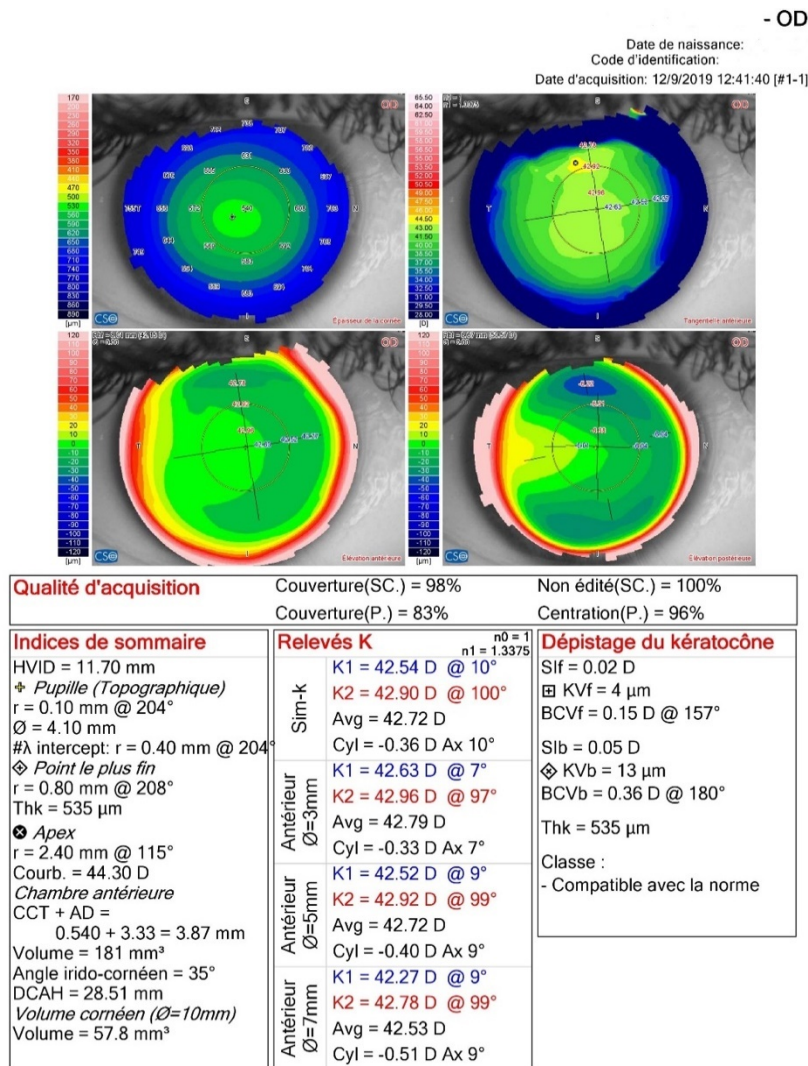


Figure n°9 : Exemple type d'une carte réfractive du Schwind Sirius®

Sur cette carte réfractive nous retrouvons les principaux paramètres énoncés précédemment :

- Le K1
- Le K2
- Le Kmoyen noté « avg » pour average/moyenne
- L'astigmatisme noté « cyl » avec son axe « Ax »
- La pachymétrie minimale notée « thk »
- L'angle irido-cornéen noté « Angle Irido-Cornéen »
- La profondeur de chambre antérieure notée « CCT+AD ». Cela correspond à l'épaisseur cornéenne centrale (CCT : « Central Corneal Thickness ») ajoutée à la profondeur aqueuse (AD : « aqueous depth »).
- Le volume de chambre antérieure noté « Chambre antérieur. Volume. »
- Le volume cornéen
- Le diamètre pupillaire noté « Ø »

Le Schwind Sirius® rend possible le dépistage du kératocône grâce à la mesure de différents indices dont le plus connu est le BCV. Ces indices sont visibles sur un autre type de carte, tout comme le facteur Q.

Qualité d'acquisition		Couverture(SC.) =	Non édité(SC.) =
		Couverture(P.) =	Centration(P.) =
Indices de sommaire	Relevés K	Dépistage du kératocône	
HVID =		Sif =	
✦ Pupille (Topographique)		KVf =	
r = @		BCVf = @	
Ø =			
#λ intercept: r = @		Sib =	
◆ Point le plus fin		KVb =	
r = @		BCVb = @	
Thk =		Thk =	
✦ Apex		Classe :	
r = @			
Courb. =			
Chambre antérieure			
CCT + AD =			
+ =			
Volume =			
Angle irido-cornéen =			
DCAH =			
Volume cornéen (Ø=)			
Volume =			

Figure n°10 : Exemple type des données du Schwind Sirius®

La caméra Scheimpflug du Schwind Sirius® possède les mêmes capacités que celle de l'Oculus Pentacam®, et combinée avec les disques de Placido elle permet ainsi d'obtenir :

- la topographie cornéenne antérieure
- la courbure tangentielle et axiale de la face antérieure de la cornée
- les données kératométriques
- l'analyse du front d'onde cornéen et la simulation de la qualité visuelle
- le dépistage du kératocône

L'analyse des fronts d'ondes cornéen et oculaire permet de détecter les aberrations symptomatiques de la cornée et donc d'optimiser les mesures et les diagnostics pour la chirurgie cornéenne réfractive et thérapeutique.

Comme pour l'Oculus Pentacam® plusieurs cartes de représentation sont rendu possibles grâce au Schwind Sirius® :

- Carte de puissance réfractive pour la surface antérieure et postérieure et la puissance équivalente
- Cartes altimétriques des différentes surfaces
- Courbures tangentielle et axiale des surfaces antérieures et postérieures
- Épaisseur cornéenne et profondeur de la chambre antérieure
- Front d'ondes cornéens
- Comparaison de 4 cartes

3. Pathologies cornéennes

La cornée est sujette à de nombreuses pathologies infectieuse, inflammatoire ou traumatique. On peut citer en exemple les kératites, les ulcères de cornée, la kératopathie bulleuse, les dystrophies cornéennes ou encore le kératocône...

Nous étudierons dans notre mémoire uniquement le kératocône et la dystrophie de Fuchs.

3. 1. Kératocône

Le kératocône est une dystrophie cornéenne, non inflammatoire, généralement bilatérale et asymétrique. Il a récemment été démontré que des facteurs héréditaires et mécaniques tels que les frottements répétitifs des yeux seraient à l'origine d'un kératocône, mais il reste également des cas idiopathiques, c'est-à-dire sans cause connue.

Le kératocône apparait le plus souvent vers l'adolescence aux alentours de 15 ans, autant chez les femmes que chez les hommes. Son évolution est lente et irréversible s'il n'y a pas de traitement. Cette pathologie se stabilise généralement vers l'âge de 35 ans.

La cornée s'amincit principalement au niveau du stroma cornéen. On observe en effet une diminution du nombre de fibres de collagène dans le stroma. Ainsi la biomécanique cornéenne est modifiée : au niveau de la zone amincie, la cornée devient bombée et prend la forme d'un cône. Sur le plan réfractif cela entraîne un astigmatisme cornéen irrégulier qui dégrade l'acuité visuelle. Le kératocône n'entraîne ni rougeur ni douleur.



Figure n°11 : Photographie montrant un œil atteint d'un kératocône – Centre Ophtalmologie Essonne

L'évolution du kératocône se distingue selon la classification d'Amsler-Krumeich par 4 stades, du moins évolué au plus sévère : (15)

- Stade I ou Kératocône débutant : La kératométrie moyenne est $< 45\text{dp}$, l'épaisseur cornéenne est $\geq 500\text{ }\mu\text{m}$ et l'astigmatisme est $< 5\text{dp}$. Le patient ressent un léger inconfort visuel notamment une baisse de vision liée à l'astigmatisme. D'un point de vue clinique on observe à la lampe à fente (LAF) des stries de Vogt.

- Stade II ou Kératocône modéré : La kératométrie moyenne est comprise entre 45 et 50dp, l'épaisseur cornéenne est $\geq 400\text{ }\mu\text{m}$ et l'astigmatisme est compris entre 5 et 8dp. D'un point de vue clinique on observe à la LAF des opacités cornéennes périphériques. Une myopie vient aussi s'associer à l'astigmatisme.

- Stade III ou Kératocône évolué : La kératométrie moyenne est comprise entre 50 et 55dp, l'épaisseur cornéenne minimale est $\geq 200\text{ }\mu\text{m}$ et l'astigmatisme est compris entre 8 et 10dp. Le patient ressent une aggravation de la vision avec l'apparition d'une déformation visible de la cornée.

- Stade IV ou Kératocône sévère : La kératométrie moyenne est $> 55\text{dp}$ et l'épaisseur cornéenne est $< 200\text{ }\mu\text{m}$. A ce stade, la réfraction n'est plus possible. D'un point de vue clinique, on retrouve un réel amincissement associé à une perte de transparence, l'opacification périphérique s'étend au sommet de la cornée. L'amincissement est tel que des cicatrices ou des perforations peuvent apparaître.

Pour détecter et confirmer le diagnostic de kératocône, même dans sa forme précoce, un examen topographique de la cornée doit être réalisé en plus de l'examen clinique.

En effet on cherche certaines particularités : une diminution de la pachymétrie centrale et infero-nasale, une kératométrie élevée, une irrégularité, une asymétrie par rapport à l'axe horizontal ou à l'œil adelphe.(16)

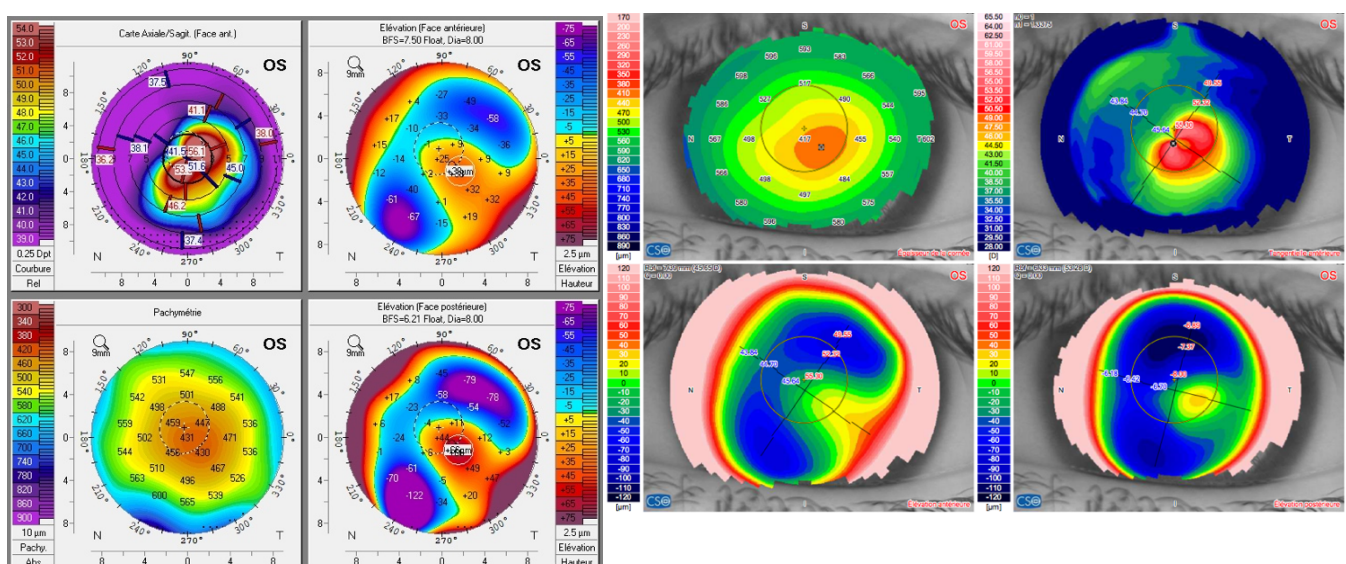


Figure n°12 : Carte réfractive provenant d'un Oculus Pentacam® et d'un Schwind Sirius® montrant un kératocône sur l'œil gauche d'un patient suivi à l'Hôpital Edouard Herriot

Le traitement d'un kératocône est différent selon les stades d'évolution et l'âge des patients. Il faut dans un premier temps arrêter les frottements oculaires s'il y en a. Les autres possibilités thérapeutiques sont le port de lentilles rigides ou sclérales, le cross-linking du collagène cornéen, ou la kératoplastie perforante.

3. 2. Dystrophie de Fuchs

La dystrophie de Fuchs est une pathologie cornéenne caractérisée par une décompensation de l'endothélium. On observe une diminution du nombre de cellules endothéliales, dont la perte peut être facilement quantifiée par microscopie spéculaire. Au stade précoce, des gouttes sont présentes au niveau de la membrane de Descemet, d'où l'appellation de « Cornea Guttata ». Cela peut évoluer vers un œdème cornéen qui provoque une augmentation de l'épaisseur cornéenne. Arrivé à un stade évolué une greffe est nécessaire.

Il existe plusieurs techniques de greffe endothéliale, les deux plus connues étant la DSAEK et la DMEK. Nous détaillerons dans ce mémoire seulement la DMEK.

La Descemet Membrane Endothelial Keratoplasty (DMEK) est une technique de greffe endothéliale, dite « pure ».

Dans cette pathologie, l'endothélium « malade » ne joue plus son rôle de pompe du fait de la diminution de son nombre de cellules. Le stroma se remplit d'eau, provenant de l'humeur aqueuse, provoquant un œdème cornéen, une perte de transparence et donc une baisse d'acuité visuelle importante. La greffe va ainsi permettre de réactiver cette fonction et de restaurer la transparence de la cornée. (17)

Dans la DMEK, le greffon implanté, qui est prélevé chez un donneur décédé, est constitué uniquement de l'endothélium et de la membrane de Descemet, d'où l'appellation d'une greffe endothéliale pure. Il n'y a pas de modification du stroma, ni de tissu ajouté.

L'endothélium pathologique est retiré à l'aide d'un crochet. Le greffon sain est aspiré en double rouleau dans un injecteur avant d'être mis en chambre antérieure avec une bulle d'air ou de gaz qui permet de plaquer le greffon sur la face postérieure du stroma. (18)

Selon certaines études, la DMEK est la technique chirurgicale qui permet d'obtenir la meilleure récupération visuelle, très rapidement et avec un faible taux de rejet de greffe.

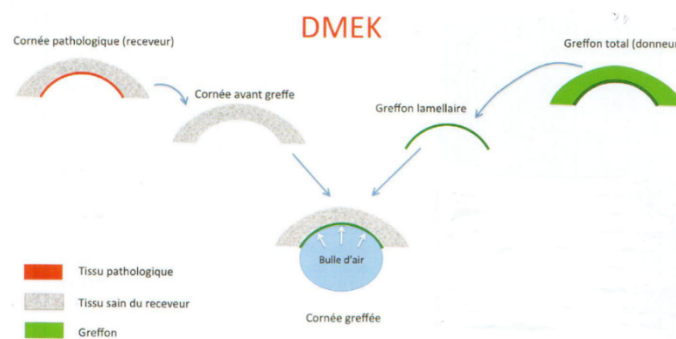


Figure n°13 : Schéma d'une greffe endothéliale pure (DMEK) – Institut Ophtalmologique Sourdille-Atlantique

La topographie fait partie de l'examen préopératoire dans le cadre d'une DMEK. On y recherche un œdème cornéen entrainant une augmentation de la pachymétrie cornéenne, la kératométrie restant normale. Elle est aussi utilisée en post opératoire pour le suivi de la greffe.

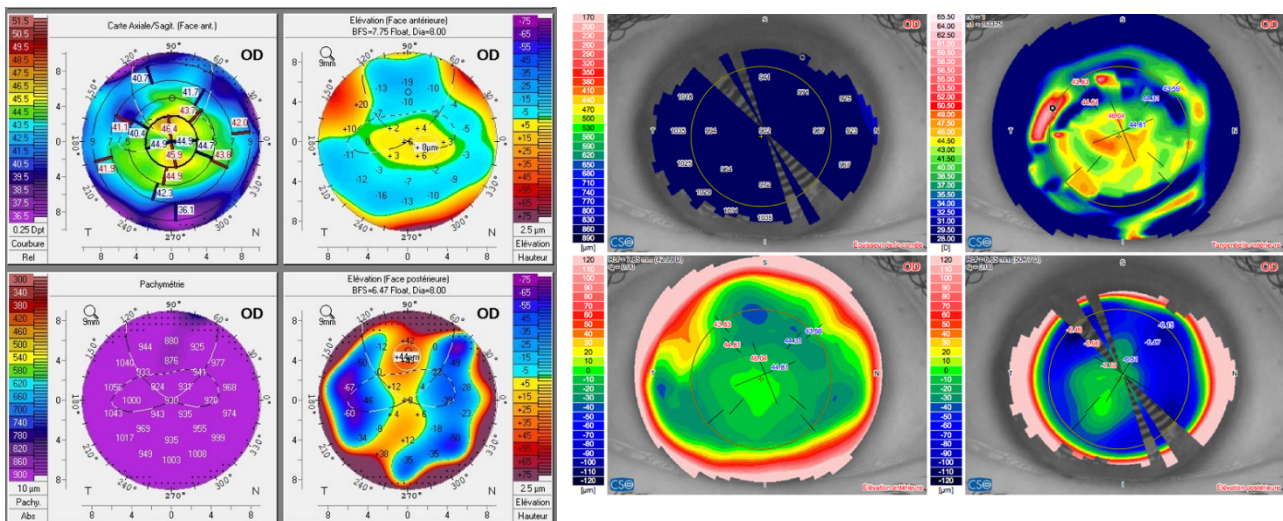


Figure n°14 : Carte réfractive provenant d'un Oculus Pentacam® et d'un Schwind Sirius® montrant un œdème cornéen sur l'œil droit d'une patiente suivie à l'Hôpital Edouard Herriot

PARTIE PRATIQUE

MATERIEL ET METHODE

Nous avons réalisé une étude comparative entre deux topographes : l'Oculus Pentacam® et le Schwind Sirius®, grâce à différents profils cornéens du service d'ophtalmologie de l'Hôpital Edouard Herriot de Lyon.

Nous avons inclus dans notre étude 3 groupes de patients ayant un profil cornéen distinct :

- 16 patients non porteurs de correction optique ayant une cornée saine ; pour un total de 32 yeux étudiés : groupe témoin.
 - 19 patients atteint d'un kératocône ; pour un total de 32 yeux étudiés : groupe 1.
 - 32 patients ayant subi une greffe endothéliale (DMEK) ; pour un total de 32 yeux étudiés : groupe 2.
- Nous avons ainsi étudié les données topographiques de 96 yeux pour un total de 67 patients.

Pour participer à l'étude, les patients devaient présenter tous les critères d'inclusion et aucuns critères d'exclusion.

Les critères généraux, applicable à tous, étaient les suivants :

Critères d'inclusion :

- Homme/Femme
- Être majeur(e)
- Accepter de participer à l'étude et que les données soient recueillies et analysées

Critères d'exclusion :

- Refuser de donner son consentement
- Refuser de faire l'examen sur un des deux appareils
- Impossibilité technique d'installation du patient sur un ou les deux topographes
- Avoir eu recours à la chirurgie réfractive

Ensuite pour l'inclusion dans un groupe d'étude, les patients devaient avoir les critères spécifiques supplémentaires suivants :

- Groupe témoin :

Critère d'inclusion :

- Avoir une cornée saine

Critères d'exclusion :

- Porteur de correction optique (lunettes ou lentilles de contact)
- Présence d'un kératocône, même frustré
- Astigmatisme supérieur à -1,5dp
- Présence d'une pathologie oculaire connue

- Groupe 1 :

Critère d'inclusion :

- Présence d'un kératocône diagnostiqué type frustré, I, II, III ou IV

Critères d'exclusion :

- Avoir eu recours au Cross-Linking il y a moins d'un an
- Avoir eu recours aux anneaux intracornéens ou à la kératoplastie (traitement chirurgical du kératocône)
- Présence d'une autre pathologie oculaire ou cornéenne associée

- Groupe 2 :

Critère d'inclusion :

- Avoir subi une greffe endothéliale avec la technique DMEK il y a 3 mois minimum et 18 mois maximum, c'est-à-dire entre octobre 2018 et décembre 2019

Critères d'exclusion :

- Avoir eu des complications post-opératoires à la suite de la greffe
- Présence d'une autre pathologie oculaire ou cornéenne associée

Si un patient ne répondait pas à un ou plus de ces critères d'inclusion il était alors exclu de l'étude. De même, si un patient présentait un ou plusieurs de ces critères d'exclusion, il était exclu de l'étude. Avant de prendre part à celle-ci, tous les patients ont été informé du protocole et de son déroulement.

Le recrutement des patients a eu lieu entre Octobre 2019 et Mars 2020 sur les consultations spécialisées de kératocône du Docteur WAUCQUIER et sur les consultations de suivis de DMEK du Docteur MOUCHEL, effectuées à l'Hôpital Edouard Herriot.

Pour le recrutement des patients contrôles, nous avons pris des étudiants en orthoptie et du personnel médical et paramédical de l'Hôpital Edouard Herriot.

Une étude de Rohit Shetty et ses collaborateurs⁽¹⁹⁾, faite en 2014, a prouvé que l'Oculus Pentacam® et le Schwind Sirius® sont deux appareils dont les mesures sont respectivement reproductibles entre elles.

Néanmoins pour la création de notre protocole, nous avons choisi d'effectuer 3 acquisitions par patient et par topographe afin de choisir par la suite la plus fiable possible, sans faire de moyenne des résultats, de façon à ne relever qu'une seule valeur pour chaque paramètre.

A chaque mesure topographique, le patient était assis, tête posée sur une mentonnière et le front collé. Pour chaque patient, c'est le même examinateur (Chloé PORADA ou Alexane RENAULT, étudiantes en Orthoptie) qui a effectué la mesure avec les deux appareils. Ces deux examens étaient faits l'un après l'autre lors d'un même rendez-vous de consultation.

Nous avons récupéré pour notre analyse, les données topographiques de chaque patient, soit un total de 96 cartes topographiques.

Nous avons choisi de recueillir les données des 7 paramètres suivants :

- le K1 : réfringence du rayon de courbure cornéen le plus plat, en dioptries.
- le K2 : réfringence du rayon de courbure cornéen le plus raide, en dioptries.
- l'astigmatisme : anomalie de courbure cornéenne mesuré au centre de la cornée, en dioptries.
- l'axe de l'astigmatisme : orientation de l'astigmatisme, mesuré en degré, et compris entre 0 et 180°.
- la pachymétrie minimale : épaisseur minimale de la cornée au centre, mesurée en µm.
- l'angle irido-cornéen : angle délimité par la face postérieure de la cornée, et la face antérieure de l'iris, mesuré en degrés.
- le diamètre pupillaire : surface pupillaire mesurée pendant l'acquisition, en mm.

Pour notre étude statistique nous avons utilisé le test d'ANOVA du logiciel Excel de Microsoft[®].

Il s'agit d'une analyse de variance de deux facteurs avec répétition d'expérience.

Cette analyse permet d'obtenir la probabilité de l'« Échantillon » qui renseigne sur une éventuelle différence entre les données topographiques de l'Oculus Pentacam[®] et du Schwind Sirius[®]; et aussi d'obtenir la probabilité de l'« Interaction » qui témoigne si un profil cornéen particulier a des répercussions sur la différence entre les deux topographes.

Cette analyse a également permis de rapporter d'autres informations qui ne nous ont néanmoins pas été utiles dans le cadre de notre étude (ex : somme des carrés, moyenne, variance, degré de liberté...).

Pour effectuer ce test d'ANOVA, il nous a fallu relever une à une les valeurs des 7 paramètres recueillis, pour chaque patient et pour chaque topographe, afin de les inclure manuellement dans un tableau spécifiquement établi pour une analyse de variance. (Annexe n°1,2...7).

Notre hypothèse était de ne retrouver aucune différence significative entre les données topographiques de l'Oculus Pentacam[®] et du Schwind Sirius[®], quel que soit le profil cornéen.

Un résultat était considéré comme statistiquement significatif dans le cas où la valeur de la probabilité p était inférieure à 0,05.

RESULTATS

Sur notre effectif total de 96 yeux avec respectivement 32 yeux pour chaque groupe, nous avons obtenus pour chaque paramètre les résultats de variation topographiques suivants :

- Variation topographique du paramètre K1 :**

Analyse de variance: deux facteurs avec repetition d'experience						
RAPPORT DÉTAILLÉ	EMMETROPE	KERATOCONE	DMEK	Total		
PENTACAM						
Nombre d'échantillons	32	32	32	96		
Somme	1369,1	1444,8	1372,1	4186		
Moyenne	42,784375	45,15	42,878125	43,6041667		
Variance	1,646522177	16,84580645	3,72047379	8,45724561		
SIRIUS						
Nombre d'échantillons	32	32	32	96		
Somme	1372,26	1437,64	1372,67	4182,57		
Moyenne	42,883125	44,92625	42,8959375	43,5684375		
Variance	1,491177016	17,28265	3,84467006	8,31233122		
Total						
Nombre d'échantillons	64	64	64			
Somme	2741,36	2882,44	2744,77			
Moyenne	42,83375	45,038125	42,88703125			
Variance	1,54642381	16,80608214	3,722611682			
ANALYSE DE VARIANCE						
Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Échantillon	0,061275521	1	0,061275521	0,00820081	0,92794098	3,89194029
Colonnes	202,4386635	2	101,2193318	13,5466961	3,21881E-06	3,044504073
Interaction	0,900851042	2	0,450425521	0,06028273	0,941516693	3,044504073
A l'intérieur du groupe	1389,770284	186	7,471883249			
Total	1593,171074	191				

Tableau 1 : Analyse complète de variance du paramètre K1

Échantillon : $p = 0,92794098 > 0,05$. Donc les deux appareils ne présentaient pas de différence significative au niveau des valeurs de K1 recueillies.

Interaction : $p = 0,941516693 > 0,05$. Donc un profil cornéen particulier n'impactait pas la comparaison des valeurs de K1 entre les deux topographies.

- Variation topographique du paramètre K2 :**

ANALYSE DE VARIANCE						
Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Échantillon	3,146752083	1	3,146752083	0,311916307	0,577178339	3,89194029
Colonnes	809,3981167	2	404,6990583	40,11508761	3,27927E-15	3,044504073
Interaction	5,658616667	2	2,829308333	0,280450249	0,755762402	3,044504073
A l'intérieur du groupe	1876,451713	186	10,08845007			
Total	2694,655198	191				

Tableau 2 : Analyse de variance du paramètre K2

Échantillon : $p = 0,577178339 > 0,05$. Donc les deux appareils ne présentaient pas de différence significative au niveau des valeurs de K2 recueillies.

Interaction : $p = 0,755762402 > 0,05$. Donc un profil cornéen particulier n'impactait pas la comparaison des valeurs de K2 entre les deux topographies.

- **Variation topographique du paramètre Astigmatisme :**

ANALYSE DE VARIANCE						
Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Échantillon	5,021367187	1	5,021367187	2,184435045	0,141103557	3,89194029
Colonnes	215,1443292	2	107,5721646	46,79689762	3,44861E-17	3,044504073
Interaction	8,5374125	2	4,26870625	1,857006505	0,159022513	3,044504073
A l'intérieur du groupe	427,5587406	186	2,298702907			
Total	656,2618495	191				

Tableau 3 : Analyse de variance du paramètre Astigmatisme

Échantillon : $p = 0,141103557 > 0,05$. Donc les deux appareils ne présentaient pas de différence significative au niveau des valeurs de l'astigmatisme recueillies.

Interaction : $p = 0,159022513 > 0,05$. Donc un profil cornéen particulier n'impactait pas la comparaison des valeurs de l'astigmatisme entre les deux topographes.

- **Variation topographique du paramètre Axe :**

ANALYSE DE VARIANCE						
Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Échantillon	255,9942187	1	255,9942187	0,20197858	0,653651765	3,89194029
Colonnes	957,2746875	2	478,6373437	0,37764325	0,685999366	3,044504073
Interaction	341,0121875	2	170,5060938	0,13452873	0,874212738	3,044504073
A l'intérieur du groupe	235742,4522	186	1267,432539			
Total	237296,7333	191				

Tableau 4 : Analyse de variance du paramètre Axe

Échantillon : $p = 0,653651765 > 0,05$. Donc les deux appareils ne présentaient pas de différence significative au niveau des valeurs d'axes recueillies.

Interaction : $p = 0,874212738 > 0,05$. Donc un profil cornéen particulier n'impactait pas la comparaison des valeurs d'axes entre les deux topographes.

- **Variation topographique du paramètre Pachymétrie minimale :**

ANALYSE DE VARIANCE						
Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Échantillon	6279,1875	1	6279,1875	4,602636825	0,033219489	3,89194029
Colonnes	238390,4063	2	119195,2031	87,36993939	1,76055E-27	3,044504073
Interaction	315,09375	2	157,546875	0,115481668	0,891000733	3,044504073
A l'intérieur du groupe	253752,125	186	1364,258737			
Total	498736,8125	191				

Tableau 5 : Analyse de variance du paramètre Pachymétrie minimale

Échantillon : $p = 0,033219489 < 0,05$. Donc les deux appareils avaient des valeurs de pachymétrie minimale significativement différentes.

Interaction : $p = 0,891000733 > 0,05$. Donc un profil cornéen particulier n'impactait pas la comparaison des valeurs de pachymétrie minimale entre les deux topographes.

- **Variation topographique du paramètre Angle Irido Cornéen :**

ANALYSE DE VARIANCE						
Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Échantillon	1364,266875	1	1364,266875	32,29082818	5,0531E-08	3,89194029
Colonnes	2689,21625	2	1344,608125	31,8255253	1,29628E-12	3,044504073
Interaction	344,82875	2	172,414375	4,080875276	0,018428147	3,044504073
A l'intérieur du groupe	7858,38125	186	42,24936156			
Total	12256,69313	191				

Tableau 6 : Analyse de variance du paramètre Angle Irido Cornéen

Échantillon : $p = 5,0531E-08 < 0,05$. Donc les deux appareils avaient des valeurs d'angle irido-cornéen significativement différents.

Interaction : $p = 0,018428147 < 0,05$. Donc un profil cornéen particulier entraînait davantage de différence entre les deux appareils qu'un autre, dans la mesure de l'angle irido-cornéen.

- **Variation topographique du paramètre Diamètre pupillaire :**

ANALYSE DE VARIANCE						
Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Échantillon	36,00135208	1	36,00135208	51,8538943	1,43643E-11	3,89194029
Colonnes	18,22669688	2	9,113348437	13,12624608	4,64936E-06	3,044504073
Interaction	0,036576042	2	0,018288021	0,026340819	0,974006707	3,044504073
A l'intérieur du groupe	129,1369063	186	0,694284442			
Total	183,4015313	191				

Tableau 7 : Analyse de variance du paramètre Diamètre pupillaire

Échantillon : $p = 1,4364E-11 < 0,05$. Donc les deux appareils avaient des valeurs de diamètre pupillaire significativement différents.

Interaction : $p = 0,974006707 > 0,05$. Donc un profil cornéen particulier n'impactait pas la comparaison des valeurs du diamètre pupillaire entre les deux topographes.

DISCUSSION

L'objectif de notre étude est d'observer s'il existe des différences significatives entre deux topographes, l'Oculus Pentacam® et le Schwind Sirius® pour 7 données topographiques recueillies. Notre but est aussi de déterminer si un profil cornéen particulier peut avoir un impact sur cette observation.

Pour répondre à cela, nous avons calculé la *p-value* de chacun des 7 paramètres que nous avons choisi d'étudier.

Les résultats de notre étude montrent dans un premier temps que pour les valeurs de K1, de K2, de l'axe et de l'astigmatisme, on ne retrouve pas de différence significative entre les deux topographes. De plus, le profil cornéen du patient n'a pas d'impact sur ces observations.

Cependant à l'inverse, une étude sur la comparaison des données de l'Oculus Pentacam® et du Schwind Sirius®, menée en 2015 par Mohamed Elkateb et ses collaborateurs ⁽²⁰⁾, montrent des résultats significativement différents pour les valeurs de K1 et de K2 entre les deux topographes.

Cette différence avec notre analyse peut être due à nos populations d'études différentes : eux avaient sélectionné un échantillon plus faible, 42 patients, constitué uniquement de patients atteints de kératocône.

Dans un second temps, nos résultats statistiques montrent une différence significative entre les deux topographes, pour les valeurs de la pachymétrie minimale. Mais il n'y a pas d'impact selon le profil cornéen.

Cette différence avait déjà été observée par David Finis en 2015 ⁽²¹⁾. Il avait démontré que la pachymétrie cornéenne au point le plus fin était significativement différente entre l'Oculus Pentacam® et le Schwind Sirius®, que ce soit pour un profil avec une cornée saine, un kératocône ou un astigmatisme irrégulier. Pour tester la différence entre les deux appareils, il avait fait une analyse statistique sur 172 yeux grâce à un test de Student.

Pareillement, l'étude de Mohamed Elkateb et ses collaborateurs ⁽²⁰⁾ sur les patients atteints de kératocône révèle les mêmes résultats. Cette étude avait montré que la valeur de pachymétrie minimale donnée par le Schwind Sirius® avait tendance à être plus faible que celle de l'Oculus Pentacam®.

Nous pouvons également citer 2 autres études ⁽²²⁻²³⁾ sur respectivement 16 et 45 cornées saines qui ont démontré des différences significatives, entre l'Oculus Pentacam® et le Schwind Sirius®, dans la mesure de la pachymétrie minimale.

A contrario Mustafa A. Anayol et ses collaborateurs ⁽²⁴⁾, en 2014, n'ont obtenu aucune différence significative pour la valeur de la pachymétrie minimale entre l'Oculus Pentacam® et le Schwind Sirius®. Leur échantillon était constitué d'uniquement 32 cornées saines, ce qui peut expliquer cette différence d'observation avec notre étude.

De même, on retrouve pour les valeurs de l'angle irido-cornéen une différence significative entre les deux topographes, mais aussi, une incidence selon le profil cornéen.

Notre test statistique ne nous permet pas de dire quel profil cornéen impacte le plus cette différence entre les deux appareils.

Cependant, en rentrant manuellement les valeurs d'angle dans notre tableau, nous remarquons que pour des cornées greffées par DMEK ou présentant un kératocône, la différence de mesure d'angle entre les deux topographes est amplifiée.

Il est important de rappeler que le topographe n'est pas l'examen de référence pour mesurer l'angle irido-cornéen. Sa mesure est principalement faite par l'échographie de très haute fréquence (UBM) ou encore l'OCT de Segment Antérieur.

En échangeant avec des médecins et internes, certains déclarent ne jamais prendre en compte, en pratique clinique, la valeur de l'angle irido-cornéen donnée par les topographes Schwind Sirius® ou Oculus Pentacam®.

Nous pouvons expliquer cette différence entre les deux topographes par la faible fiabilité de la mesure due au manque de précision et de spécificité de ces appareils topographiques.

Cependant, d'après l'étude de Cécile Allouch et ses collaborateurs (25), parue en 2002 dans le Journal Français d'Ophtalmologie, il a été démontré que le topographe Orbscan® donnait une mesure très fiable de l'angle irido-cornéen grâce à l'utilisation du mode « plan ».

Enfin, pour les valeurs du diamètre pupillaire nous retrouvons une différence significative entre les deux topographes. Mais il n'y a pas d'impact suivant le profil cornéen.

Nous observons que le topographe Schwind Sirius® fournit des valeurs de diamètre pupillaire systématiquement supérieures à celle de l'Oculus Pentacam®.

Il est possible de relever un éventuel biais lié à l'utilisation de collyres mydriatiques. En effet certains patients, en vue de leur consultation avec un fond d'oeil, reçoivent ces collyres avant les acquisitions par les topographes. Cependant ce biais n'est pas notable dans notre étude, car les acquisitions sur les deux machines sont réalisées à la suite l'une de l'autre, avec un temps moyen très court entre les elles. De plus il n'y a pas d'ordre prédéfini, la première acquisition pouvant être faite sur le Schwind Sirius® ou sur l'Oculus Pentacam®.

Nous avons donc conclu que cette différence significative peut être en partie due au fait que le système de l'Oculus Pentacam® fait davantage accommoder que celui du Schwind Sirius®. De plus, les deux topographes étant dans deux salles distinctes, il est possible que cette différence soit également due aux conditions d'éclairage qui sont différentes dans les deux pièces, entraînant donc une constriction pupillaire différente.

Nous remarquons également l'incapacité de l'Oculus Pentacam® à mesurer la profondeur de chambre antérieure dans le cas de patients ayant subi une greffe endothéliale par DMEK. A l'inverse du Schwind Sirius® où il n'y a pas de difficultés pour mesurer cette valeur.

Nous ne trouvons pas de raison à cette observation.

Ainsi n'ayant pas de données comparables pour la profondeur de chambre antérieure, nous n'avons pas étudié ce paramètre.

Le biais principal de notre étude est la qualité d'acquisition.

En effet, chez certains patients, notamment les stades avancés de kératocône ou les DMEK sur cornée fortement atteinte, les qualités d'acquisition peuvent être légèrement moins bonne que dans le cas d'une cornée saine et ainsi les valeurs moins fiables.

Dans ces cas, lorsque nous réalisons plusieurs acquisitions sur un même appareil, nous pouvons retrouver des écarts de valeurs pour un même paramètre, et ainsi le choix de l'acquisition pour la comparaison entre les deux appareils peut entraîner un impact sur l'analyse. Les 3 acquisitions topographiques faite pour chaque appareil nous ont permis de choisir avec soin la plus fiable.

Néanmoins, il faut noter que la fiabilité de ces valeurs n'est pas appareillo-dépendante mais patients-dépendante, et ainsi un défaut de qualité d'acquisition chez certains patients est autant présent d'un appareil à l'autre. Cela rend ainsi tout de même les données comparables entre les deux topographes.

La limite de notre étude porte essentiellement sur le faible nombre d'yeux ayant subi une DMEK. En effet, la période de recrutement des patients correspondant à cette catégorie a été de courte durée. Nous avons choisi de comparer un même nombre de patient pour chaque groupe afin de ne pas avoir de biais à ce niveau-là, et c'est ainsi le groupe 2 (DMEK) qui a fait établir la population finale de notre étude. Il serait donc intéressant de prolonger notre étude en augmentant le nombre de patient pour chaque groupe afin d'obtenir une meilleure puissance statistique.

Plus tard, il serait aussi intéressant de prolonger notre comparaison à d'autres paramètres mesurés. Nous avons en effet choisi d'étudier les paramètres les plus utilisés en clinique courante par les ophtalmologues de notre hôpital ; mais les deux appareils fournissent de nombreuses données supplémentaires telles que la kératométrie moyenne ou le volume de chambre antérieur par exemple.

Il pourrait être également utile de comparer nos valeurs à celles obtenues avec un appareil plus spécifique pour un paramètre particulier. Par exemple, confronter les valeurs de pachymétrie d'un échantillon de patients obtenues avec nos deux topographes à celles obtenues avec la pachymétrie à ultrason ou un OCT de segment antérieur pour ainsi voir quel topographe s'en rapproche le plus.

CONCLUSION

La topographie cornéenne d'élévation permet une analyse spécialisée de la morphologie et du relief de la cornée grâce à une multitude de paramètres mesurés.

Il existe différents appareils topographiques qui diffèrent de par leur fonctionnement et leur appareillage, mais tous permettent d'établir une cartographie spécialisée et fiable de la cornée.

Une question subsiste alors quant à l'interchangeabilité des données entre tous ces topographes, et ainsi nous emmène à la mise en place de notre protocole d'étude sur la comparaison entre l'Oculus Pentacam® et le Schwind Sirius®.

Nous retrouvons ainsi aucune différence significative entre les deux topographes pour les mesures du K1, du K2, de l'astigmatisme et de sa valeur d'axe.

En revanche, les valeurs de la pachymétrie, de l'angle irido-cornéen et du diamètre pupillaire présentent des différences significatives entre les deux appareils.

Concernant les différents profils cornéens, il s'avère que celui-ci a un impact dans la comparaison de l'angle irido-cornéen.

Notre étude comparative entre l'Oculus Pentacam® et le Schwind Sirius® permet de montrer qu'il peut exister à la fois des similitudes et des différences significatives entre les données topographiques, selon les paramètres étudiés et selon le profil cornéen. A noter que notre étude porte sur 7 paramètres.

Comme énoncé précédemment, d'après Rohit Shetty et ses collaborateurs (19), l'Oculus Pentacam® et le Schwind Sirius® sont deux appareils dont les mesures sont respectivement reproductibles.

Mais en vue de notre étude, on remarque que les données topographiques de certains paramètres ne sont pas interchangeables entre ces deux topographes.

Finalement, bien que chaque appareil soit fidèle à lui-même au niveau des valeurs de ses paramètres, celles-ci ne sont pas interchangeables entre l'Oculus Pentacam® et le Schwind Sirius®.

Ainsi, le dépistage, le diagnostic et le suivi ophtalmologique d'un patient peut se faire sur tout type de topographe cornéen d'élévation, mais avec une préférence de suivi dans le temps sur le même appareil afin d'avoir la meilleure fiabilité.

BIBLIOGRAPHIE

1. Avillac M. Cours sur l'Anatomie de la cornée. Lyon UCBL1; 2017
2. Anatomie de la cornée [Internet]. [cité 13 déc 2019]. Disponible sur: <http://perso.menara.ma/~lezmou/Anatomie/cornea.htm>
3. CASSETTE NB Studio. La cornée - Docteur Damien Gatinel [Internet]. [cité 13 déc 2019]. Disponible sur: <https://www.gatinel.com/recherche-formation/la-cornee/>
4. Ghemame M, Charpentier P, Mouriaux F. Topographie cornéenne en pratique. Journal Français d'Ophtalmologie [Internet]. 25 nov 2019 [cité 16 déc 2019]; Disponible sur: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0181551219304280>
5. CASSETTE NB Studio. Géométrie de la cornée - Docteur Damien Gatinel [Internet]. [cité 13 déc 2019]. Disponible sur: <https://www.gatinel.com/recherche-formation/la-cornee/geometrie-de-la-cornee/>
6. CASSETTE NB Studio. Qu'est ce que l'épaisseur de la cornée ? (pachymétrie cornéenne) - Docteur Damien Gatinel [Internet]. [cité 13 déc 2019]. Disponible sur: <https://www.gatinel.com/2011/01/quest-ce-que-lepaisseur-corneenne-pachymetrie-corneenne/>
7. Shankar H, Taranath D, Santhirathelagan CT, Pesudovs K. Anterior segment biometry with the Pentacam: Comprehensive assessment of repeatability of automated measurements. Journal of Cataract & Refractive Surgery. janv 2008;34(1):103-13.
8. Finis D, Ralla B, Karbe M, Borrelli M, Schrader S, Geerling G. Comparison of Two Different Scheimpflug Devices in the Detection of Keratoconus, Regular Astigmatism, and Healthy Corneas [Internet]. Journal of Ophthalmology. 2015 [cité 13 déc 2019]. Disponible sur: <https://www.hindawi.com/journals/joph/2015/315281/?fbclid=IwAR3fRluznawyuwueypmag8qbqeloxmpsmkajteyyxifovd16cxyl2kom7m>
9. Hashemi H, Beiranvand A, Yekta A, Maleki A, Yazdani N, Khabazkhoob M. Pentacam top indices for diagnosing subclinical and definite keratoconus. Journal of Current Ophthalmology. 1 mars 2016;28(1):21-6.
10. Plateau Technique : Qu'est-ce que le Pentacam ? Optimum Visio [Internet]. Optimum Visio. [cité 13 déc 2019]. Disponible sur: <https://www.optimum-visio.fr/optimum-visio/plateau-technique/appareils/topographie-corneenne/pentacam/>
11. Assouline DM. Les appareils de topographie cornéenne. 2012;6:8.
12. Safarzadeh M, Nasiri N. Anterior segment characteristics in normal and keratoconus eyes evaluated with a combined Scheimpflug/Placido corneal imaging device. J Curr Ophthalmol. 25 juin 2016;28(3):106-11.

13. SIRIUS V1.6.pdf [Internet]. [cité 13 déc 2019]. Disponible sur: <http://s499648585.mialojamiento.es/biblioteca/SIRIUS/SIRIUS%20V1.6.pdf>
14. CATALOGO.pdf [Internet]. [cité 16 déc 2019]. Disponible sur: <https://www.medsrl.com.ar/wp-content/uploads/2014/02/CATALOGO.pdf>
15. Cuffaro L. ÉTUDE QUALITATIVE, OBJECTIVE ET SUBJECTIVE DES LENTILLES SPOT DANS LES PATHOLOGIES CORNÉENNES. :98.
16. Qu'est-ce que le kératocône ? - Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de Toulouse [Internet]. [cité 16 déc 2019]. Disponible sur: <https://www.chu-toulouse.fr/-qu-est-ce-que-le-keratocone->
17. Muraine M. JIFRO – Controverses dans le segment antérieur. 2018;6.
18. DMEK Kératoplastie endothéliale de membrane de Descemet (Dr Liem TRINH) [Internet]. [cité 16 déc 2019]. Disponible sur: https://www.youtube.com/watch?time_continue=39&v=RtTiktjpkcM&feature=emb_logo
19. Shetty R, Arora V, Jayadev C, Nuijts RMMA, Kumar M, Puttaiah NK, et al. Repeatability and agreement of three Scheimpflug-based imaging systems for measuring anterior segment parameters in keratoconus. Invest Ophthalmol Vis Sci. 29 juill 2014;55(8):5263-8.
20. Pentacam Vs. Sirius by Ahmed Samir on Prezi [Internet]. [cité 21 avr 2020]. Disponible sur: <https://prezi.com/zszftgob9qay/pentacam-vs-sirius/>
21. Comparison of Two Different Scheimpflug Devices in the Detection of Keratoconus, Regular Astigmatism, and Healthy Corneas [Internet]. [cité 21 avr 2020]. Disponible sur: <https://www.hindawi.com/journals/joph/2015/315281/>
22. De la Parra-Colín P, Garza-León M, Barrientos-Gutierrez T. Repeatability and comparability of anterior segment biometry obtained by the Sirius and the Pentacam analyzers. Int Ophthalmol. févr 2014;34(1):27-33.
23. Nasser CK, Singer R, Barkana Y, Zadok D, Avni I, Goldich Y. Repeatability of the Sirius imaging system and agreement with the Pentacam HR. J Refract Surg. juill 2012;28(7):493-7.
24. Anayol MA, Güler E, Yağci R, Şekeroğlu MA, Ylmazoğlu M, Trhş H, et al. Comparison of central corneal thickness, thinnest corneal thickness, anterior chamber depth, and simulated keratometry using galilei, Pentacam, and Sirius devices. Cornea. juin 2014;33(6):582-6.
25. Masson E. L'Orbscan : un nouvel outil pour évaluer l'angle irido-cornéen [Internet]. EM-Consulte. [cité 21 avr 2020]. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/article/112461/l-orbscan-un-nouvel-outil-pour-evaluer-l-angle-iri>

ANNEXES

1	A	B	C	D
1	K1	EMMETROPE	KERATOCON	DMEK
2		42,6	63,5	43,5
3		42,7	44	43,8
4		43,1	43,4	40,5
5		43,3	42,3	42,9
6		43,2	46,8	42,2
7		43	49,1	43,7
8		42,5	45,8	47,2
9		42,5	46,1	42,9
10		42,5	45	42,8
11		42,9	46	41,7
12		42,6	47,7	41
13		42,9	46,8	44
14		41,5	42,5	43
15		41,4	41,9	38,2
16		44,7	42,5	43,2
17		44,5	43,8	42,9
18	PENTACAM	41,1	41,9	45,9
19		41	46,2	43,5
20		43,4	41,4	43,2
21		43,5	41,3	42
22		44,1	42,8	44
23		43,4	45	41,1
24		40,4	43,9	44,6
25		40,4	42	43,3
26		41,1	43,2	45,8
27		41,5	41,7	43,7
28		42,9	46	39,4
29		42,7	43,6	43,6
30		43,3	51,1	43,9
31		43,5	47,4	43,8
32		45,6	44,9	42,2
33		45,3	45,2	38,6
34		42,63	63,58	43,77
35		42,56	44,57	42,56
36		43,26	42,71	40,62
37		43,11	42,69	43,2
38		43,3	47,02	43,8
39		42,98	48,13	44,25
40		42,67	45,88	47,54
41		42,49	46,13	42,53
42		42,93	44,82	42,93
43		43,01	44,74	39,83
44		42,77	47,78	41,01
45		43,13	47,92	44,18
46		41,38	42,46	43,52
47		41,46	45,97	38,45
48		44,39	42,59	42,61
49	SIRIUS	44,81	43,97	42,75
50		41,15	41,74	45,42
51		41,07	45,69	43,97
52		43,85	41,61	43,21
53		43,56	41,22	42,26
54		44,32	42,39	43,92
55		43,64	44,95	40,8
56		40,79	43,16	44,5
57		40,72	39,91	43,13
58		41,41	42,36	45,82
59		41,89	41,78	43,7
60		43,05	45,64	39,47
61		42,89	43,56	42,49
62		43,04	50,6	44,8
63		43,27	45,12	43,67
64		45,54	44,96	42,57
65		45,19	45,99	39,39

1	A	B	C	D
1	K2	EMMETROP	KERATOCON	DMEK
2		43	63,6	45
3		42,9	47,8	46,1
4		43,5	46,8	43,1
5		43,5	46,4	43,5
6		44	49,6	44,3
7		43,6	51,9	45,3
8		42,6	46,1	48,3
9		42,9	47,3	43,5
10		43,7	46,1	44
11		43,1	47	42
12		43	56,1	43,1
13		43,6	49,6	44,1
14		42,2	43,4	46,3
15		42,3	42,9	39
16		45,7	43,2	45,1
17	PENTACAM	45,5	47	43,5
18		41,9	42,6	46,9
19		42	49,7	44,7
20		44,1	43,9	44,2
21		44,3	42,5	42,7
22		45	46,2	45,1
23		44,7	47,9	42,5
24		41,1	44,6	46,4
25		41,1	43	45,4
26		41,7	46,7	47
27		42	43,8	48,2
28		43,5	52,3	41,3
29		44,1	50,9	47,9
30		44	54,7	46,8
31		44,2	50,1	44,3
32		46,4	48,3	42,6
33		46	51,6	41,5
34		42,96	66,22	45,47
35		43,11	49,16	43,36
36		43,53	47,61	42,58
37		43,59	46,74	44,18
38		44,06	50,45	44,75
39		43,89	52,45	45,46
40		42,95	46,62	47,72
41		43,1	47,18	43,38
42		44,01	46,59	44,59
43		43,45	48,5	42,02
44		43,09	59,85	43,16
45		43,74	49,68	44,53
46		41,7	43,05	46,96
47		42,32	42,7	39,5
48		45,64	43,3	44,92
49	SIRIUS	45,33	48	43,28
50		41,96	42,27	46,34
51		42,21	51,31	45,17
52		44,65	43,16	44,94
53		44,62	42,61	43,01
54		45,35	45,84	45,44
55		44,84	48,48	41,72
56		41,86	45,28	45,42
57		41,49	42,52	45,68
58		42,08	47,52	46,97
59		42,56	44,56	47,32
60		44,1	55,3	40,95
61		44,02	51,54	46,78
62		43,76	54,96	44,59
63		43,98	51,22	44,53
64		46,36	48,89	43,38
65		45,95	52,98	42,18

1	A	B	C	D
1	ASTIG	EMMETROPE	KERATOCON	DMEK
2		0,4	0,1	1,5
3		0,2	3,9	2,3
4		0,4	3,4	2,5
5		0,3	4,1	0,6
6		0,8	2,9	2,1
7		0,6	2,9	1,6
8		0,1	0,3	1
9		0,4	1,2	0,6
10		1,1	1,1	1,2
11		0,1	1	0,3
12		0,4	8,4	2
13		0,7	2,7	0,1
14		0,8	0,9	0,9
15		0,8	0,9	0,8
16		1	0,7	1,9
17	PENTACAM	1	3,2	0,6
18		0,8	0,8	1
19		1,1	3,5	1,1
20		0,7	2,5	1,1
21		0,8	1,3	0,7
22		0,9	3,4	1,1
23		1,3	2,9	1,4
24		0,7	0,7	1,8
25		0,6	1	2,1
26		0,6	3,6	1,2
27		0,5	2,1	4,5
28		0,6	6,3	2
29		1,4	7,3	4,3
30		0,7	3,7	2,9
31		0,7	2,8	0,5
32		0,7	3,5	0,4
33		0,7	6,4	2,9
34		0,33	2,64	1,7
35		0,55	4,59	0,81
36		0,27	4,9	1,95
37		0,48	4,05	0,99
38		0,76	3,43	0,95
39		0,91	4,32	1,3
40		0,28	0,74	0,18
41		0,6	1,05	0,84
42		1,09	1,77	1,66
43		0,44	3,76	2,2
44		0,42	12,06	2,15
45		0,61	1,76	0,35
46		0,33	0,59	3,44
47		0,86	0,73	1,05
48		1,24	0,72	2,31
49	SIRIUS	0,52	4,03	0,54
50		0,81	0,53	0,91
51		1,14	5,62	1,21
52		0,8	1,55	1,73
53		1,06	1,38	0,75
54		1,03	3,45	1,51
55		1,2	3,52	0,92
56		1,07	2,12	0,92
57		0,77	2,61	2,55
58		0,67	5,16	1,15
59		0,68	2,78	3,63
60		1,05	9,66	1,48
61		1,13	7,98	4,3
62		0,72	4,35	0,51
63		0,71	6,1	0,87
64		0,82	3,93	0,82
65		0,76	6,99	2,79

Tableau 1, 2 et 3 : Recueil des données des 96 cartes topographiques du Schwind Sirius® et de l'Oculus Pentacam® pour le K1, le K2 et l'astigmatisme

1	A	B	C	D
2	AXE	EMMETROPE	KERATOCON	DMEK
3		86,9	50,7	4,6
4		141,4	60,4	140,6
5		108,1	117,4	144,7
6		123,6	55,1	5,3
7		84,7	123	37,9
8		104,1	48,1	73,4
9		126,7	117,2	118,1
10		82,8	87,9	7,9
11		98,4	138,4	73,9
12		109	39,8	157,1
13		43	82	73,6
14		101,5	103,1	139,5
15		88,4	74,8	90,3
16		93,5	76,9	93,1
17	PENTACAM	113,8	99,8	76,4
18		92,2	47,4	71,5
19		90,9	86	109,6
20		86,8	70,9	82,6
21		97,2	93	80,5
22		77,5	159	17,1
23		84,6	144,1	124,8
24		95,7	58,1	27
25		119,7	133,2	76,7
26		79,2	17,6	90,1
27		81,5	33,6	79,3
28		68,1	131,4	24,9
29		101,6	53,6	34,7
30		81,7	105,2	112,2
31		78	119,7	79,8
32		90,4	69,5	58,2
33		85,5	63,9	142,6
34		82,9	93	92,1
35		97	126	4
36		99	60	123
37		80	136	147
38		152	50	176
39		87	130	37
40		97	49	67
41		96	120	180
42		80	89	84
43		99	147	67
44		82	16	80
45		59	77	73
46		99	100	135
47		94	122	94
48		98	76	105
49		89	84	86
50	SIRIUS	95	49	61
51		87	101	123
52		89	56	86
53		97	99	86
54		89	164	19
55		79	143	107
56		107	54	166
57		102	147	83
58		85	24	98
59		99	27	74
60		81	131	28
61		88	56	45
62		97	110	116
63		78	135	31
64		96	44	174
65		87	55	161
66		92	85	92

1	A	B	C	D
2	PACHY MIN	EMMETROPE	KERATOCON	DMEK
3		545	301	527
4		546	440	485
5		547	488	466
6		552	486	488
7		555	424	435
8		545	391	504
9		544	455	530
10		539	456	601
11		537	499	552
12		541	488	551
13		556	422	520
14		567	435	534
15		546	489	515
16		550	512	511
17	PENTACAM	502	513	469
18		501	475	495
19		538	526	530
20		543	487	514
21		540	481	505
22		546	491	574
23		553	462	427
24		561	427	473
25		541	464	521
26		545	467	457
27		545	462	536
28		552	469	454
29		566	412	566
30		565	519	495
31		495	431	508
32		509	450	508
33		545	427	473
34		544	457	497
35		535	300	514
36		534	437	460
37		540	486	462
38		547	476	470
39		542	411	428
40		541	371	498
41		527	446	494
42		527	444	600
43		524	482	565
44		525	468	528
45		549	397	511
46		546	403	510
47		540	478	513
48		540	507	505
49		487	492	491
50	SIRIUS	492	462	482
51		530	509	523
52		547	467	502
53		535	463	488
54		536	480	590
55		568	435	397
56		557	409	462
57		531	459	506
58		536	462	437
59		542	455	523
60		543	457	455
61		558	395	564
62		550	505	455
63		478	408	501
64		489	435	508
65		539	386	456
66		539	442	491

1	A	B	C	D
2	ANGLE IC	EMMETROPE	KERATOCON	DMEK
3		39,3	39,4	50,6
4		37	35,9	50,5
5		37,4	35,3	30,6
6		39	40,2	48,1
7		25,7	43,4	39,9
8		26,7	44,6	32,6
9		47,4	36,6	50,4
10		49,2	35,9	36,6
11		25,7	38,2	55,7
12		29,3	33,7	44,9
13		51,1	35,9	31,9
14		46,5	33,3	45,4
15		40,2	36,5	44,7
16		40,6	37	47,4
17	PENTACAM	43,4	43,9	44
18		45,2	45,6	48
19		33,6	34,1	40,7
20		32,5	46	46,7
21		32,6	35,6	45,8
22		29,9	37,8	38,4
23		30,2	34,3	43,4
24		34,6	37,4	40,4
25		36,1	36,1	27,8
26		42,2	42,3	30,5
27		33	40,7	36,1
28		37,3	34,6	47
29		37,2	34	52,1
30		39,2	23	38,8
31		36,6	40,4	46,4
32		38,4	47	39,4
33		40,5	46,5	60,5
34		43,2	32	49,9
35		35	37	49
36		39	37	49
37		38	47	46
38		40	46	56
39		36	49	48
40		36	51	53
41		47	40	53
42		49	41	52
43		26	45	51
44		26	46	54
45		47	41	57
46		45	38	50
47		44	43	51
48		43	41	55
49	SIRIUS	46	50	54
50		36	37	45
51		39	43	51
52		40	50	51
53		37	49	59
54		29	38	44
55		29	39	60
56		35	49	54
57		37	45	49
58		36	54	40
59		36	47	53
60		34	47	29
61		37	25	52
62		42	58	58
63		42	53	60
64		49	49	56
65		48	46	52

1	A	B	C	D
2	DIAM PUP	EMMETROPE	KERATOCON	DMEK
3		3	3,11	4,77
4		3,39	2,75	4,17
5		3,42	3,07	5,44
6		3,42	2,83	5,54
7		3	2,56	2,07
8		3,19	2,55	5,31
9		2,62	2	2,89
10		2,61	2,13	4,95
11		2,25	2,72	4,96
12		2,22	2,92	2,03
13		3,01	3,81	4,79
14		2,69	3,27	3,42
15		2,64	3,02	2,56
16		2,73	2,83	1,73
17	PENTACAM	2,87	2,73	2,47
18		2,59	2,86	2,78
19		2,49	2,95	3,12
20		2,25	3,04	2,52
21		2,2	3,25	2,16
22		2,21	3,19	2,77
23		2,55	2,7	2,52
24		2,32	2,55	1,91
25		2,55	3,13	3,93
26		2,55	3,18	4,53
27		3,08	3,11	2,93
28		2,82	3,04	3,38
29		2,43	3,02	3,54
30		2,18	2,55	3,15
31		3,15	2,65	3,6
32		2,99	2,58	2,64
33		3,64	2,42	5,15
34		2,89	3	2,48
35		4,1	3,31	6,45
36		4,06	3,28	5,5
37		4,41	3,51	5,97
38		4,25	3,2	6,88
39		4,23	3,3	3,21
40		4,3	3,54	6,55
41		3,85	2,4	3,36
42		3,4	2,33	5,14
43		3,08	3,59	6,54
44		3,08	3,51	2,63
45		4,18	4,78	5,61
46		3,88	4,72	3,62
47		3,86	4,16	2,88
48		3,9	3,61	2,72
49		3,66	3,83	2,75
50	SIRIUS	3,41	3,99	3,22
51		3,36	4,14	3,96
52		3,35	4,2	3,27
53		3	4,21	2,91
54		2,87	4,38	5,08
55		3,42	2,91	3,04
56		3,08	2,95	2,39
57		3,33	4,34	5,18
58		3,18	4,69	5,88
59		3,69	3,46	3,95
60		3,53	3,89	3,83
61		2,99	3,84	4,73
62		3,09	3,28	3,46
63		3,52	3,5	5,3
64		3,72	3,64	5,41
65		4,16	3,22	3,99
66		4,44	4,33	2,79

Tableau 4, 5, 6 et 7 : Recueil des données des 96 cartes topographiques du Schwind Sirius® et de l'Oculus Pentacam® pour l'axe, la pachymétrie minimale, l'angle irido-cornéen et le diamètre pupillaire