Royaume du Maroc المملكة المغربية

Université Sidi Mohammed Ben Abdellah

كلية الطب والصيدلة

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

ETUDE TOPOGRAPHIQUE DES FACTEURS CORRÉLÉS À L'ASTIGMATISME CORNÉEN

MEMOIRE PRESENTE PAR :

Docteur Safae Zarriq

Née le 20/04/1990 à Oued Amlil

MEMOIRE DE FIN DE SPECIALITE

OPTION : OPHTALMOLOGIE

Sous la direction de :

Professeur BENATIYA ANDALOUSSI IDRISS

Session: juillet 2020

PLAN

INTRODUCTION 9
GÉNÉRALITÉS 10
I. Rappels sur la géométrie de la cornée : 11
1. Courbure apicale : 11
2. Asphéricité : 11
3. Toricité 13
4. L'asymétrie 14
II. Rappels sur les vices de réfraction : 15
1. La réfraction 15
2. L'acuité visuelle : 15
3. Amétropie : 15
4. L'astigmatisme : 16
a. Représentation de l'astigmatisme 16
b. Les différentes classifications de l'astigmatisme 19
c. Mesure de l'astigmatisme : 19
d. Correction de l'astigmatisme 20
III. Rappels sur la topographie cornéenne : 23
1. Principe : 23
- Topographie par balayage par fentes lumineuses 23
- Topographie par camera rotative Scheimpflug 23
2. Codage colorimétrique et échelles : 24
3. Cartes topographiques : 25
4. Les indices topographiques 26
5. Topographie de la face postérieure de la cornée 27
MATÉRIEL ET MÉTHODES 28

1. Description de l'étude : 29
2. Patients : 29
3. Déroulement de l'étude : 31
i. Etude qualitative : 31
ii. Etude quantitative : 33
RÉSULTATS 36
I. Statistiques descriptives 37
II. Etude de corrélations : 38
1. Effet du sexe sur l'astigmatisme cornéen 38
2. Effet de l'âge sur l'astigmatisme cornéen : 40
3. Effet de l'asphéricité cornéenne sur l'astigmatisme cornéen : 43
4. Effet de la kératométrie moyenne sur l'astigmatisme cornéen : 44
5. Effet de l'astigmatisme de la face postérieure de la cornée sur l'astigmatisme cornéen total : 44
6. Corrélation entre l'astigmatisme cornéen et l'asphéricité de la face postérieure de la cornée : 44
7. Corrélation entre toricité cornéenne antérieure et excentricité antérieure de la cornée : 45
8. Corrélation entre l'astigmatisme cornéen et la réfraction : 46
9. Résultats de l'analyse multivariée des différents paramètres étudiés : 47
III. Donnés qualitatives : 48
1. Répartition des cartes topographiques selon la forme : 48
2. Comparaison entre les deux yeux : 49
DISCUSSION 50
I. Epidémiologie 51
1. Prévalence : 51

2. Effet du sexe sur l'astigmatisme cornéen 51
3. Effet de l'âge sur l'astigmatisme cornéen : 52
II. Etude qualitative 52
1. Forme topographique 52
2. Comparaison entre les deux yeux : 53
III. Etude quantitative : 53
1. Puissance de l'astigmatisme cornéen : 53
2. L'axe de l'astigmatisme cornéen 54
3. Asphéricité cornéenne et astigmatisme : 54
4. Astigmatisme de la face postérieure de la cornée : 56
5. Effet de l'astigmatisme cornéen sur l'acuité visuelle 57
Limites de l'étude 58
BIBLIOGRAPHIE 60

Liste des abréviations

K : kératométrie

Km : kératométrie moyenne

K max : kératométrie maximale

Sim K : kératométrie simulée

R : Rayon

Q : Asphéricité

E : Excentricité

ATR : Against the role (inverse)

WTR : With the role (direct)

AV : Acuité visuelle

MAVC : Meilleure acuité visuelle corrigée

SAI : Surface asymetry index

SRI : Surface regularity index

Résumé

INTRODUCTION

L'astigmatisme est un défaut réfractif fréquent qui influence l'acuité visuelle et la sensibilité au contraste. Sa correction est plus difficile que les autres amétropies. Beaucoup de facteurs influencent l'astigmatisme, y compris l'âge, le sexe, l'hérédité, et l'environnement. L'astigmatisme coréen total et la somme de l'astigmatisme de la face antérieure et celui de la face postérieure de la cornée, l'effet de ce dernier ne doit en aucun cas être négligé notamment lors de la correction chirurgicale de cette amétropie.

Objectifs

- Analyse statistique de l'ensemble des facteurs épidémiologiques et topographiques corrélés à l'astigmatisme cornéen.
- Etude de la corrélation entre l'astigmatisme de la face antérieur et la face postérieure de la cornée
- Analyse des relations de symétrie de la cornée par rapport à l'œil controlatéral dans une population « normale »
- Appréciation de l'effet de la puissance et de l'axe de l'astigmatisme sur la meilleure acuité visuelle corrigée

Matériel et méthodes :

Nous avons mené une étude rétrospective au service d'ophtalmologie du CHU Hassan II de Fès ou nous avons exploité la base des données topographiques des sept dernières années (d'avril 2012 à avril 2019).

Résultats :

La moyenne de l'astigmatisme cornéen dans notre étude est de 2,1D +/-1,3. Il existe une corrélation négative moyenne entre l'âge et l'astigmatisme cornéen total, autrement ce dernier diminue avec l'âge (coefficient de Pearson =-0,34, $p<0,01$). Le sexe n'a pas d'effet sur la puissance ou l'axe de l'astigmatisme cornéen. L'analyse univariée a montré une corrélation moyenne négative entre l'asphéricité cornéenne de la face antérieure de la cornée et l'astigmatisme de la face antérieure de la cornée. Il existe aussi une corrélation positive parfaite entre l'astigmatisme de la face postérieure de la cornée et l'astigmatisme cornéen réfractif mesuré par la kératométrie simulée (coefficient de Pearson de 0,99, P=0)

La kératométrie antérieure moyenne ne semble pas influencer l'astigmatisme cornéen. L'étude qualitative des topographies cornéennes a montré une prédominance des formes en sabliers, et une asymétrie en miroir entre les deux yeux. Dans le groupe de 100 patients ou la réfraction subjective est disponible, la réfraction objective moyenne était de −1,7D (+0,25D×91°) et l'astigmatisme cornéen moyen de 0,8±0,7D. La composante sphérique n'a pas d'influence sur l'astigmatisme réfractif sauf pour les amétropies sphériques importantes (p =0,04). Les astigmatismes cornéens conforme à la règle sont associés à une acuité visuelle corrigée meilleure par rapport aux astigmatismes obliques et inverses.

Discussion

Notre étude a confirmé des données déjà rapportées par la littérature, notamment en ce qui concerne la valeur moyenne de l'astigmatisme cornéen, et l'asymétrie en miroir entre les deux yeux, et l'influence de l'axe de l'astigmatisme sur l'acuité visuelle corrigée. Nous avons eu aussi des résultats différents des données de littérature, notamment en ce qui concerne l'effet de l'âge sur l'astigmatisme cornéen, et la valeur moyenne de l'asphéricité cornéenne antérieure.

Conclusion

Notre étude rappelle l'intérêt primordial de l'évaluation précise de l'astigmatisme cornéen et total ainsi que l'adéquation entre cette évaluation et la correction de l'astigmatisme, qu'elle soit par implant torique ou incision relaxante dans la chirurgie de la cataracte, ou la correction de l'astigmatisme au laser Excimer.

INTRODUCTION

L'astigmatisme est une erreur réfractive fréquente de l'œil humain. Bien que dans la plupart des cas légers à modérés, et corrigeable par des lunettes ou lentilles de contact, son influence sur la qualité visuelle peut parfois être plus nuisible que celle de l'erreur sphérique. L'astigmatisme réfractif ou total est la somme vectorielle de l'astigmatisme cornéen, cristallinien et rétinien. L'objectif de notre étude est d'analyser l'ensemble des facteurs épidémiologiques et topographiques influençant l'astigmatisme cornéen, la bonne évaluation de ce dernier étant primordiale pour sa correction chirurgicale que ce soit par implant torique, ou par chirurgie réfractive cornéenne.

GÉNÉRALITÉS

Rappels sur la géométrie de la cornée : [1], [2]

La géométrie des surfaces cornéennes antérieures et postérieures est dictée par la combinaison de quatre propriétés : courbure apicale, asphéricité, toricité et asymétrie. Ces propriétés s'attachent à décrire les variations de la courbure cornéenne entre les méridiens ou le long de ceux-ci, et permettent de bâtir une sémiologie pertinente pour l'interprétation de la topographique cornéenne.

Schématiquement :

1. Courbure apicale :

Le rayon de courbure apical moyen est défini comme celui de la sphère qui épouse au mieux la courbure du sommet de la cornée (sphère osculatrice). Pour une cornée saine et vierge de chirurgie réfractive, la valeur de la courbure apicale moyenne antérieure est généralement proche de celle fournie par la kératométrie moyenne, La courbure apicale postérieure est physiologiquement plus marquée que la courbure apicale antérieure.La mesure kératométriquepeut être exprimée en millimètres ou en Dioptrie, la conversion de la kératométrie en Dioptrie nécessite l'utilisation d'une valeur d'indice de réfraction qui est généralement proche de 1.333. La relation entre kératométrie et courbure s'exprime alors par la relation suivante : K= (1.333-1) /R, où K est la kératométrie (Dioptrie), et R le rayon de courbure apical (en mètre).

2. Asphéricité : [3]

L'asphéricité cornéenne est définie par le changement de sa courbure tout au long d'un méridien (du centre vers la périphérie). La variable d'asphéricité est communément désignée par la lettre « Q ».Son signe détermine la façon dont la

courbure apicale varie vers la périphérie : négatif, il traduit la réduction de la courbure du centre vers la périphérie : on parle alors d'asphéricité de type prolate. Quand Q a une valeur positive, la courbure augmente du centre vers la périphérie : l'asphéricité est de type oblate. La valeur moyenne du facteur d'asphéricité Q de la cornée antérieure est proche de -0.2 ; D'autres descripteurs de l'asphéricité, dénommés p, e, sont retrouvés dans la littérature. Ils peuvent tous être calculés à partir de l'un d'entre eux car Q=p-1 et p=1-e2.

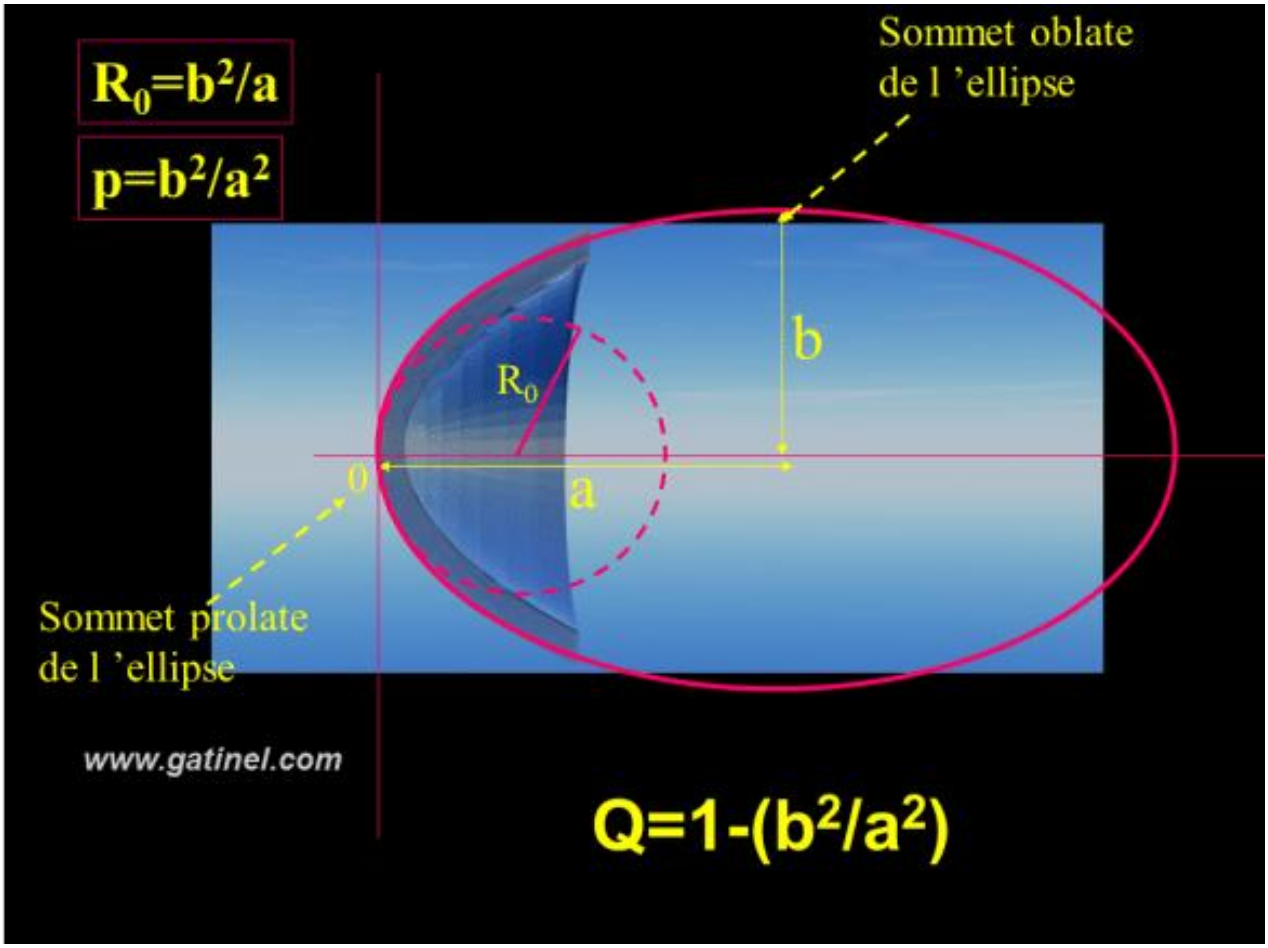

Figure 1 : sommets prolate et oblate d'une ellipse, et définition géographique des descripteurs d'asphéricité. Ro est le rayon du cercle osculateur au sommet de l'ellipse.

www.gatinel.com

3. Toricité

La toricité cornéenne antérieure correspond à l'existence d'une variation de la courbure entre les méridiens. Elle est dite régulière quand les hémiméridiens les plus cambrés et les plus plats sont respectivement alignés et perpendiculaires entre eux, et irrégulière quand ces deux conditions ne sont pas satisfaites. Il existe une toricité régulière cornéenne physiologique ; le plus souvent, le rayon de courbure cornéen vertical est légèrement inférieur au rayon de courbure cornéen horizontal (toricité conforme qui est responsable d'un astigmatisme conforme). La conjugaison de la toricité et de l'asphéricité cornéenne antérieure induit un aspect en « sablier » ou « nœud papillon » au niveau de la topographie spéculaire antérieure.

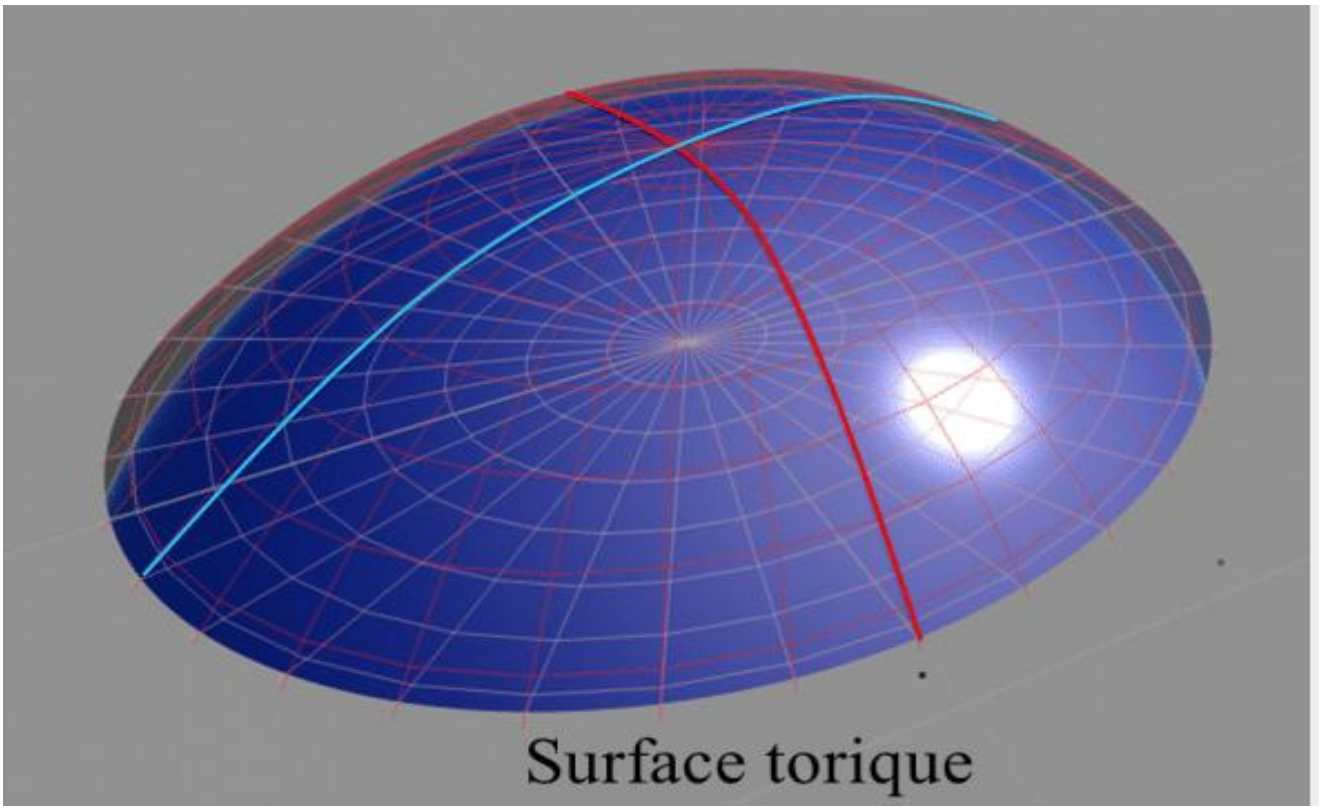

Figure 2 : aspect d'une surface torique qui présente une variation de courbure apicale entre les différents méridiens.

www.gatinel.com

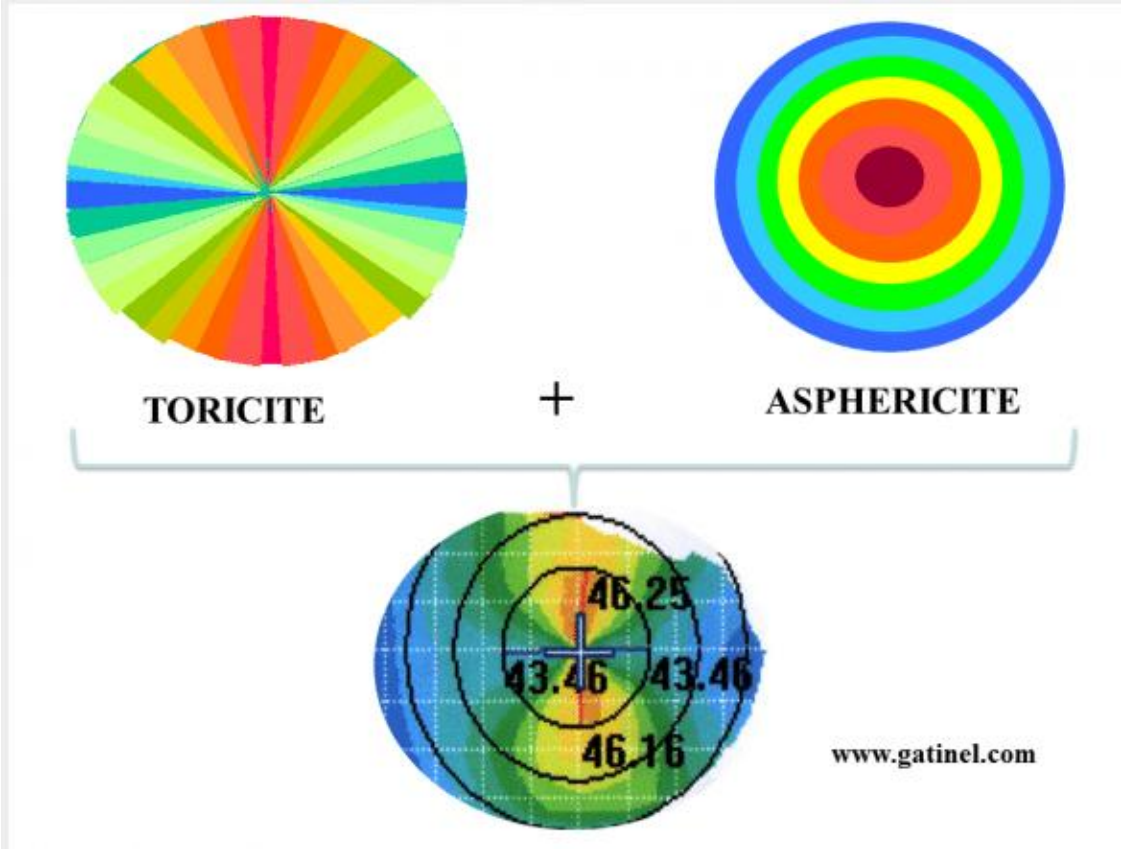

Figure 3 : les propriétés combinées de la toricité et l'asphéricité de la cornée donnant l'aspect en sablier de la topographie de courbure axiale ou tangentielle

www.gatinel.com

4. L'asymétrie

L'asymétrie cornéenne se distingue de l'irrégularité, elle correspond à la différence de courbure entre deux hémi-méridiens opposés, et peut être objectivée de façon qualitative par une distribution asymétrique des couleurs utilisées pour représenter les variations de courbure ou d'élévation. A elle seule, la présence d'une asymétrie marquée doit faire évoquer la présence d'une pathologie dégénérative de type kératocône infraclinique ou dégénérescence pellucide marginal.

La modélisation de l'irrégularité cornéenne est généralement effectuée par une famille de surfaces aux propriétés particulières : les polynômes de Zernike. Ce sont des fonctions de deux variables (x et y en coordonnées cartésiennes, ρ et θ en coordonnées polaires) définies sur le disque de rayon unité.

I. Rappels sur les vices de réfraction :

1. La réfraction

La lumière se propage en ligne droite dans l'espace, mais lorsqu'elle rencontreune surface séparant deux milieux transparents d'indice différent, sa direction se modifie : ce phénomène de déviation est appelé réfraction.

Les rayons lumineux pénétrant dans l'oeil rencontrent plusieurs surfaces de réfraction : face antérieure et postérieure de la cornée, face antérieure etpostérieure du cristallin.

L'oeil est donc un système optique complexe composé de plusieurs dioptres,dont la puissance totale de convergence est d'environ 60 dioptries.

2. L'acuité visuelle :

C'est l'expression chiffrée de la valeur fonctionnelle de la macula (plus précisément de la fovéola). Elle est mesurée avec des échelles. Dans L'échelle de Monoyer, qui exprime l'acuité visuelle en dixièmes, une acuité visuelle de 10/10e qui est considérée comme normale en vision de loin permet de distinguer deux points séparés par un angle d'une minute d'arc. 4 En vision de près, l'acuité est mesurée avec l'échelle de PARINAUD.

3. Amétropie :

L'amétropie est une anomalie de la réfraction de l'œil caractérisée par une absence de mise au point sur la rétine des objets situés à l'infini, lorsque l'œil

n'accommode pas. L'amétropie est donc un défaut qui est conséquence d'un déséquilibre entre les différents éléments de l'œil : longueur et/ou puissances et/ou indices.

La valeur d'une amétropie est définie comme celle du verre correcteur permettant de restituer l'état d'emmétropie.

4. L'astigmatisme :

L'astigmatisme est une amétropie dite cylindrique, qui peut être associé aux amétropies sphériques (myopie ou hypermétropie), et qui provoque un flou visuel qui n'est pas corrigible par un verre sphérique seul. L'astigmatisme requiert une correction par un verre cylindrique, une lentille torique ou un implant torique. L'astigmatisme peut être isolé (astigmatisme simple) ou associé (astigmatisme composé) à la myopie, l'hypermétropie, et/ou la presbytie.

Dans un œil astigmate, la réfraction des rayons lumineux varie avec le méridien considéré ; un œil peut être emmétrope selon une direction (exemple : méridien horizontal) et myope (ou hypermétrope) selon une autre (exemple : méridien vertical). Dans un œil astigmate, on distingue deux méridiens particuliers, qui sont mutuellement perpendiculaires : ce sont les méridiens de puissances extrêmes : l'un est le plus puissant (vergence maximale) l'autre est le moins puissant (vergence minimale).

a. Représentation de l'astigmatisme

i. Représentation classique à deux focales [5]

Le trajet optique d'un astigmatisme est souvent représenté sous la forme de deux focales principales, issues du méridien le plus cambré et du méridien le plus plat. Sur les représentations classiques d'un astigmatisme cornéen conforme,

l'image d'un point objet est représentée sous la forme d'une focale horizontale rouge issue du méridien cambré vertical et d'une focale verticale verte issue du méridien le plus plat (horizontal). Cette schématisation est fausse. En réalité, les couleurs de ces focales principales devraient être inversées (focale horizontale verte et focale verticale rouge). Le faisceau de rayons représenté en rouge est en fait réfracté par le méridien le plus cambré (vertical) et focalisé en un point situé en avant du plan de la rétine.

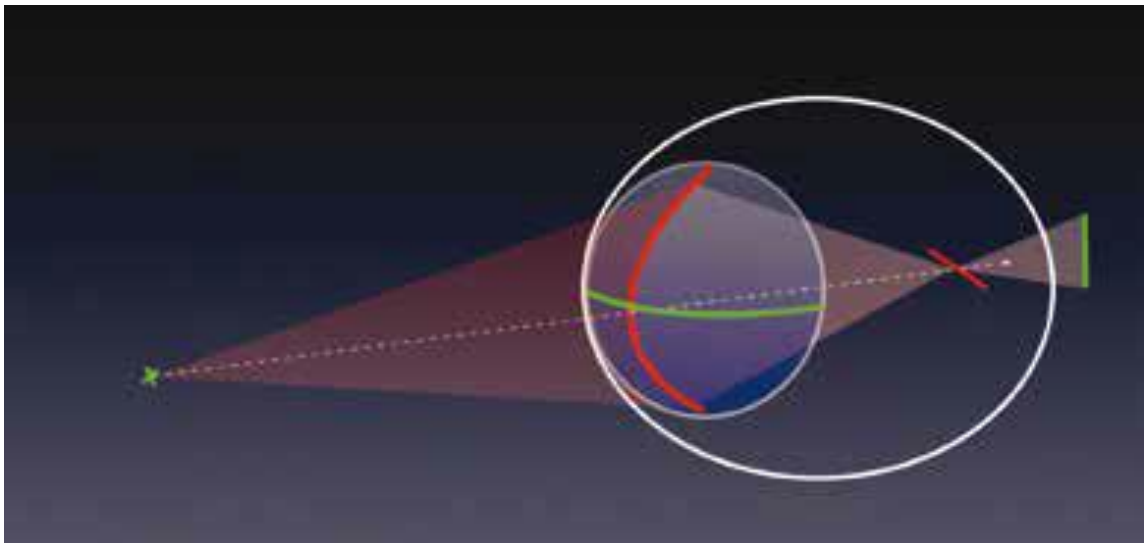

Figure 4 : Faisceau de rayons (représenté en rouge) réfracté par le méridien le plus cambré (vertical) et focalisé en un point situé en avant du plan de la rétine

www.gatinel.com

ii. Conoïde de sturm et cercle de moindre diffusion

Il existe une gamme de méridiens de courbure intermédiaire entre ces deux profils extrême, formant dans leur ensemble une configuration spatiale des rayons lumineux, appelée "conoïde de Sturm".

Un conoïde (cône imparfait) est une surface réglée dont toutes les droites sont parallèles à un plan directeur et passent par une droite (axe). La figure prend la

forme d'une ellipse qui s'aplatit progressivement jusqu'à devenir un premier segment de droite – per perpendiculaire au méridien le plus cambré – dite focale antérieure, puis s'arrondit avant de s'aplatir de nouveau jusqu'à devenir une seconde droite – perpendiculaire au méridien le plus plat – appelée droite focale postérieure.

Suivant la position de ces droites focales principales par rapport au plan rétinien, l'astigmatisme peut être classé en simple, composé (myopique ou hypermétropique) ou mixte.

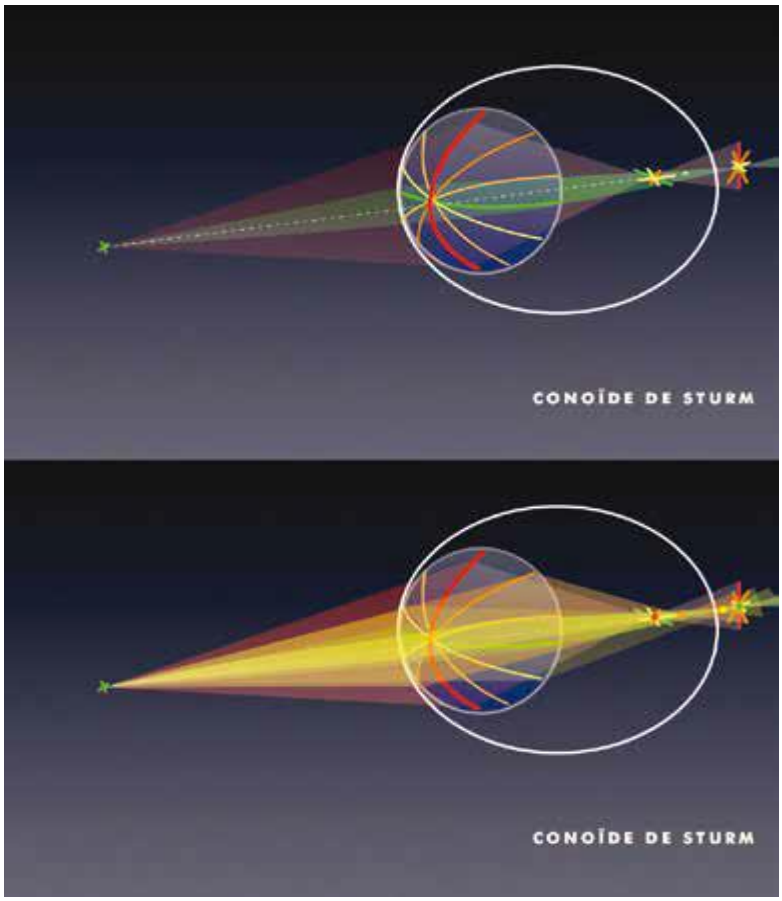

Figure 5 : Cette figure géométrique complexe est un conoïde de Sturm, dont seuls les rayons dans les plans des focales principales sont dessinés sur ce schéma. Elles sont le site d'une distorsion globale de l'image, de forme ovalaire horizontale puis verticale. www.gatinel.com

b. Les différentes classifications de l'astigmatisme

L'astigmatisme peut être classifié selon sa régularité, ainsi on distingue l'astigmatisme régulier et irrégulier. [6] Dans l'astigmatisme régulier les deux méridiens de puissances extrêmes sont perpendiculaires, il peut être myopique simple, hypermétropique simple, ou mixte. Dans l'astigmatisme irrégulier la différence entre l'axe du méridien le plus combré et le plus plat est inférieure à 90°, l'acuité visuelle ne pouvant pas être améliorée par une correction cylindrique simple. L'astigmatisme peut aussi être classé en fonction de son origine ; on distingue ainsi l'astigmatisme cornéen, cristallinien et total, la cornée étant la principale source d'astigmatisme dans le système optique.[7]

c. Mesure de l'astigmatisme :

Différents moyens sont utilisés pour mesurer la puissance de la cornée. Les kératomètre sont les premiers appareils utilisés, mais ils sont peu fiables dans les cornées anormales, ou ayant subi une chirurgie réfractive. Beaucoup d'appareils sont actuellement disponibles, permettant une analyse plus fine des paramètres cornéens. Les topographes sont de plus en plus utilisés, ils de mesurer l'astigmatisme cornéen de différentes façons, on distingue ainsi :

- L'astigmatisme calculé à partir de la puissance totale de la cornée, prenant en considérations ses deux faces.
- L'astigmatisme cornéen calculé à partir de la kératométrie simulée, il est calculé à partir des puissances mesurées dans la zone centrale de 1-4mm en définissant un indice réfractif à partir de la base de données disponible. Il correspond à la différence de puissance entres les deux méridiens extrêmes.
- L'astigmatisme de la face antérieure est calculé à partir des données de la face antérieure

- L'astigmatisme de la face postérieure calculé à partir des données collectées dans la zone de 1-4mm de la face postérieure de la cornée, l'indice de réfraction de la cornée étant de 1.376 e celui de la face postérieure étant 1.336.

d. Correction de l'astigmatisme

- Correction de l'astigmatisme par un verre :

La mise en place d'un verre "cylindrique" devant l'œil permet de corriger la différence de puissance entre les méridiens cornéens et de ramener la focalisation à une seule focale, rétablissant ainsi le stigmatisme : l'image d'un point objet est ponctuelle.

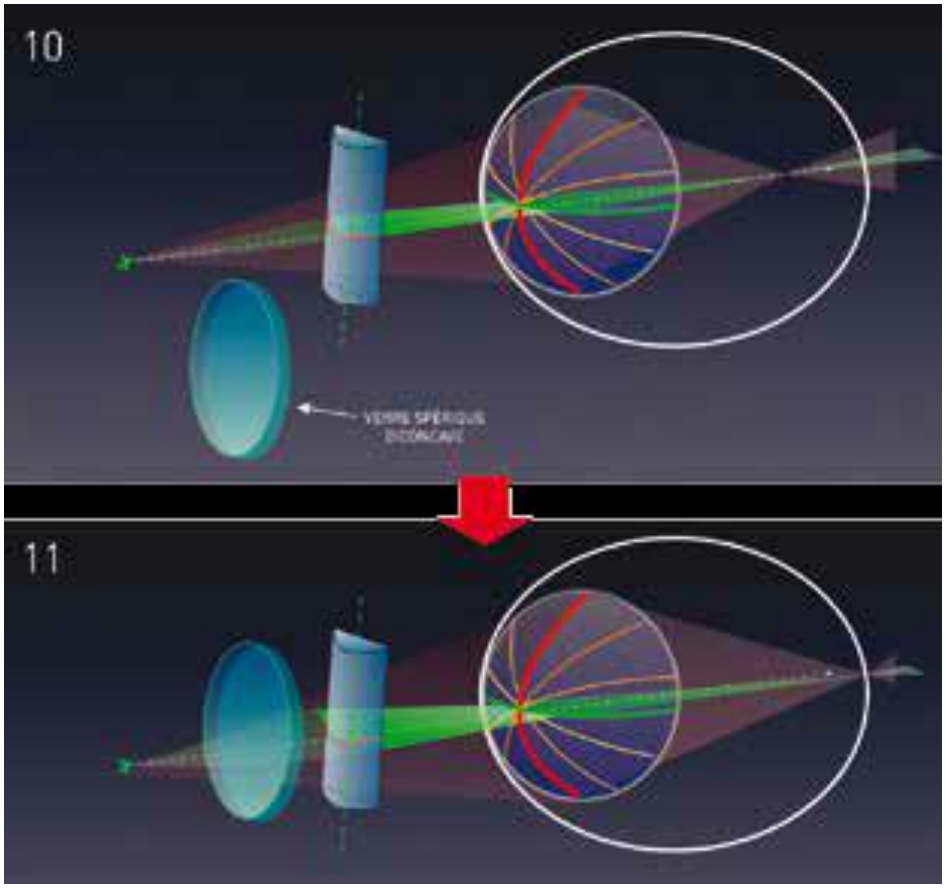

Figure 6 : Correction par un verre sphéro-cylindrique. L'adjonction d'un verre divergent biconcave (de myope) au verre cylindrique permet de refocaliser le point image sur la rétine.

www.gatinel.com

- Correction de l'astigmatisme par lentilles de contact :

L'astigmatisme peut être corrigé par lentilles de contact, souples ou rigide et en lentille sclérales. En lentilles cornéennes, Les designs de conception de lentilles toriques se sont optimisés avec les années et aident à bien corriger l'astigmatisme, soit avec des montants de rotation minimes, soit en compensant par des calculs de surréfraction. Les systèmes de prisme ballast et ceux qui en sont dérivés font toujours leur preuve dans des LC à remplacement mensuel, d'autres lentilles utilisent quant à elles un design de quatre zones de stabilisation qui mettent à contribution l'effet des paupières.

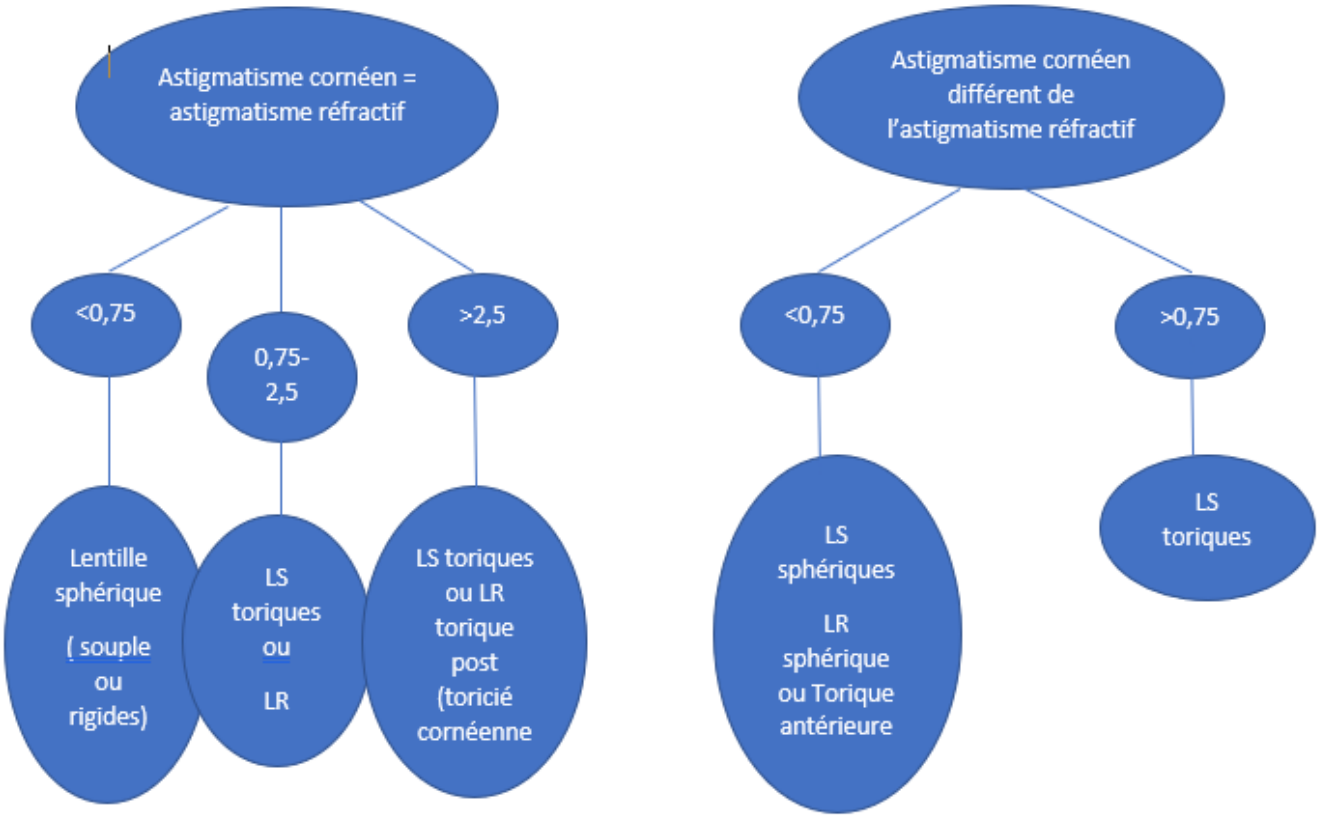

Figure 7 : arbre décisionnel devant un astigmatisme cornéen (Bernard Barthelemy)

- **Correction de l'astigmatisme par chirurgie réfractive :**

Le LASIK est une technique tout à fait appropriée pour corriger la vision de l'astigmate, que son astigmatisme soit pur ou composé en augmentant et/ou réduisant sélectivement la courbure de certains méridiens de la cornée. Pour un meilleur résultat chirurgical Il faut Vérifier les valeurs de la réfraction programmées dans le laser pour éliminer toute erreur de saisie, s'assurer de l'alignement correct du patient sous le laser, et éviter d'induire une rotation de la tête. Il faut rappeler qu'en cas de fort astigmatisme et/ou de large diamètre pupillaire, le risque d'imprécision réfractive et de régression, ainsi que et de halos est plus important que pour les corrections sphériques pures.

- **Correction de l'astigmatisme par implant torique**

Plus de 40% des yeux opérés de cataracte présentent un astigmatisme cornéen régulier supérieur à 1 Dioptrie. Pour améliorer l'acuité visuelle obtenue par l'oeil opéré sans lunettes, il est logique d'envisager la correction de l'astigmatisme de la cornée par l'insertion d'un implant torique, conçu pour corriger cet astigmatisme ; l'implant torique génère en fait un astigmatisme de direction opposée à celui de la cornée. Des logiciels de calcul de l'implant torique sont disponibles et fournissent la puissance de l'implant, le degré d'astigmatisme engendré par l'implant torique, et l'axe où il devra être positionné. Le respect de cette orientation de l'implant est crucial. Le marquage de l'axe où devra être aligné 'implant sur la cornée juste avant l'intervention est indispensable. Des systèmes per opératoires d'alignement sont disponibles. Ils reposent sur l'utilisation d'un logiciel de reconnaissance des images captées par le microscope opératoire. Le repérage des marques d'horizontalité est effectué de manière automatique.

II. Rappels sur la topographie cornéenne :

1. Principe :

La topographie cornéenne correspond à la représentation graphique de certaines propriétés géométriques de la surface cornéenne.

Le fonctionnement des topographes cornéens dits spéculaires repose sur certains principes qui ont en commun la projection d'une image de référence sur la cornée et l'analyse de son reflet. L'analyse de la réflexion d'une mire faite de cercles concentriques sur la cornée est certainement la méthode la plus ancienne et documentée (disque de Placido)

Depuis une dizaine d'années, la topographie cornéenne combine à l'analyse spéculaire une analyse en élévation, grâce au recueil d'images en coupe du mur cornéen (balayage par **fentes lumineuses**, ou caméra rotative **Scheimpflug**).

✓ Topographie par balayage par fentes lumineuses

L'Orbscan (Bausch and Lomb/Technolasperfect vision) est une technique optique récente qui associe au disque de Placido de la vidéokératoscopie, le balayage d'une fente lumineuse. La fente lumineuse mesure directement l'élévation des 2 surfaces cornéennes et de la surface irido-cristallinienne antérieure. L'utilisation des coordonnées spatiales des différentes surfaces oculaires permet d'obtenir de nombreuses mesures biométriques du segment antérieur comme l'épaisseur cornéenne, la profondeur de la chambre antérieure, le diamètre cornéen, l'angle irido-cornéen. L'Orbscan n'est pas uniquement un topographe cornéen, mais un appareil polyvalent capable d'analyser la biométrie du segment antérieur de l'œil.

✓ Topographie par camera rotative Scheimpflug

Les topographes Pentacam (Oculus), TMS 5 (Tomey) et Galilei (Ziemer) disposent d'un système de camera Scheimpflug pour l'étude de l'épaisseur et de

l'élévation de la cornée. Ils sont également munis d'un disque de Placido (sauf le Pentacam).

Le Pentacam est muni d'une caméra rotative Scheimpflug. Il donne des images tridimensionnelles (25 000 points d'élévation réelle permettant une visualisation 3D) et un tableau matriciel des faces antérieures et postérieures de la cornée, de l'iris et du cristallin. L'examen du Pentacam calcule l'angle irido-cornéen. Cette étude permet donc d'obtenir les données relatives, au volume et la profondeur de la chambre antérieure. Enfin, une fonction densitométrique permet d'obtenir une évaluation quantitative du cristallin.

Les topographies des faces antérieures et postérieures de la cornée, du limbe aux limbes, apparaissent sous forme de cartes colorées. Cette représentation contribue à l'analyse globale des différents rayons de courbure.

2. Codage colorimétrique et échelles :

Ce type de codage a été proposé par Maguire en 1987,[8] et est actuellement utilisé de façon universelle. Le principe est que chaque zone de la cornée présentant des puissances comprises dans un même intervalle est matérialisée par une même couleur. Les couleurs chaudes représentent les zones de la carte ayant la puissance sagittale la plus élevée, les couleurs froides correspondent aux zones ayant des puissances faibles. Le vert représente les zones ayant d'une puissance habituelle (43,0 D) ou correspondant à la moyenne de la carte.

✓ Les différentes échelles

Une échelle est définie par ses deux bornes (puissance maximale et puissance minimale) et par le pas de variation dioptrique. Il en existe trois types principaux :

- **Echelle absolue :**

Caractérisée par une bonne supérieure très élevée et une borne inférieure très basse. Le pas de variation est très élevé. L'avantage de cette échelle est que chaque couleur correspond toujours à la même puissance, elle permet d'analyser rapidement les cartes et de comparer les topographies d'un même patient dans le temps. Le principal inconvénient est qu'une petite déformation (de moins de 5D) n'est pas mise en évidence.

- **Echelle standardisée :**

La règle d'association de couleur est conservée, mais l'intervalle de puissance analysé et plus petit permettant de mettre en évidence les petites variations de l'ordre de 1D ou 1,5 D.[9]

- **Echelle normalisée :**

Le pas de variation est déterminé en fonction de la taille de l'intervalle. Celle-ci est plus réduite qu'avec les autres échelles. L'inconvénient est qu'une couleur sur deux cartes différentes peut ne pas correspondre à la même puissance. Aussi, ce type d'échelle ne devrait être utilisé en toute rigueur qu'en deuxième intention, dans le bus de mettre en évidence de toutes petites variations de rayon de courbure.

3. Cartes topographiques :

- **Carte en puissance axiale :**

La puissance axiale est calculée par la formule d'approximation para-axiale de Descartes, à partir des rayons de courbure axiaux. Le rayon de courbure axial n'est qu'une approximation du rayon de courbure réel, il n'est correctement mesuré que près de l'apex cornéen. En revanche, en périphérie, la puissance ne traduit pas du tout les propriétés optiques de la cornée. La mesure axiale est la plus reproductible

de toutes.[10]

- **Carte en puissance tangentielle**

Le rayon de courbure tangentiel correspond au rayon de courbure réel, c'est-à-dire au rayon de courbure de la sphère tangente à la surface en ce point. Elle est plus sensible aux petites variations locales de la courbure que la puissance axiale, la représentation de la courbure en périphérie de la cornée est plus exacte. Aussi peut-elle être utilisée pour la détection des kératocône frustes.

- **Carte de puissance réfractive :**

La puissance réfractive est fondée sur les lois de la réfraction de Snellen. Il ne s'agit plus de mesure de rayon de courbure, mais d'exprimer les propriétés optiques de la cornée. Elle est exprimée en dioptries.

La puissance réfractive est égale au rapport entre l'indice de réfraction (n) et la distance focale image (f') donnée par un rayon lumineux parallèle à l'axe optique : Pr = n/Ff'. Cette carte peut être utilisée pour le calcul de l'astigmatisme et pour la détermination de la puissance centrale moyenne de la cornée.[11]

4. Les indices topographiques

- **Puissance cornéenne centrale :**

Correspond à la moyenne de la mesure des points du premier anneau, et peut être exprimée en puissance axiale ou tangentielle.

- **Kératométrie simulée** :

La kératométrie simulée correspond à une estimation de la l'astigmatisme comparable à celle fournie par le Kératométrie de Javal.[12]

- **Régularité de la surface antérieure de la cornée :**

La régularité de la surface antérieure de la cornée peut être étudier par

différents indices, les premiers ont été proposés en 1989.[13]

Le SAI (surface asymetry index) mesure l'asymétrie de la cornée par rapport au centre. Le SRI (surface regurality index) mesure la variation de puissance cornéenne au niveau de points adjacents, sur la partie centrale de la cornée, et il est mieux corrélé à l'acuité visuelle corrigée que le SAI.[14,15]

5. Topographie de la face postérieure de la cornée

La topographie de la cornée est calculée sur la surface entière, du limbe au limbe. Le calcul est basé sur le modèle oculaire de Gullstrand. Les valeurs de la face postérieure sont négatives à cause de la variation négative de l'indice de réfraction entre la cornée et l'humeur aqueuse.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Description de l'étude :

Nous avons mené une étude rétrospective au service d'ophtalmologie du CHU Hassan II de Fès ou toute la base des données topographiquesdes sept dernières années a été exploitée (d'avril 2012 à avril 2019)

2. Patients :

Nous avons inclus dans l'étude tous les patients ayant une toricité cornéenne supérieure à 0,5 D. L'examen a été effectué par Pentacam (PENTACAM HR de chez Oculus, 3D scan). Seules les mesures avec des énoncés de qualité "OK" ont été sélectionnées pour l'étude. Les topographies unilatérales ont été exclues. Nous avons exclu de l'études les patients atteints de kératocône, et les patients ayant subi une chirurgie cornéenne antérieure.

Pour chaque patient nous avons relevé : L'âge, le sexe, et l'œil examiné. Toutes les données topographiques de la face antérieure et postérieure de la cornée ont été évaluées, incluant les données kératométriques, la valeur de la toricité cornéenne antérieure et postérieure et son axe, la pachymétrie, le coefficient d'asphéricité et l'excentricité cornéenne, et les paramètres de la chambre antérieure, ainsi que les indices d'irrégularité. Chez 100 patients les données de la réfraction subjective et la meilleure acuité visuelle corrigée ont aussi été recueillis et analysées.

Les données ont été saisies et gérées à l'aide de Microsoft Office Excel 2010 et du logiciel SPSS (version 20). Les analyses ont été effectuées avec le test de corrélation. Une valeur P inférieure à 0,05 a été considérée comme statistiquement significative.

L'étude statistique a été réalisée en collaboration avec le service d'épidémiologie du CHU Hassan II de Fès.

Figure 8 : topographe Pentacam (Oculus, 3D scan) utilisé dans notre étude

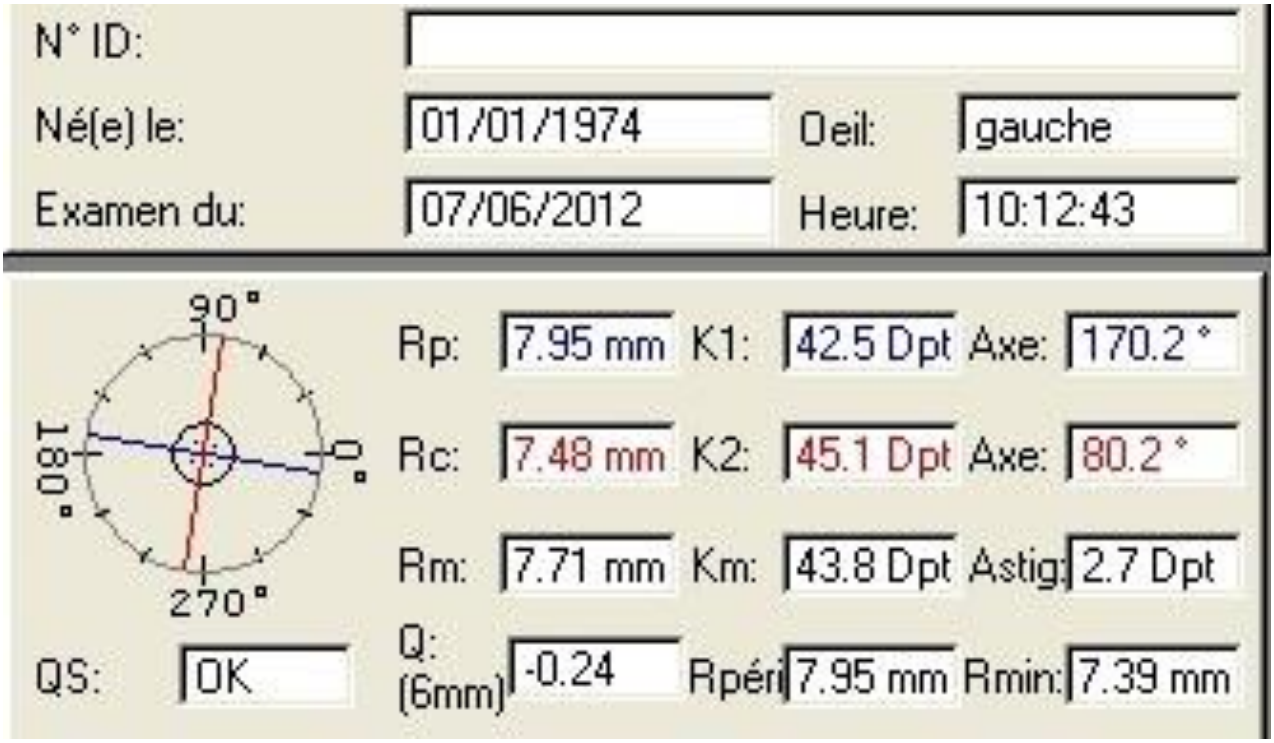

Figure 9: critère de qualité de la topographie cornéenne (Image du service)

3. Déroulement de l'étude :

i. Etude qualitative :

Les topographies ont été classées à partir de la carte colorimétrique en puissance axiale en échelle absolue, selon la forme (pattern) et le profil d'asphéricité (shape). Une description de la forme en six groupes en modifiant la classification de Bogan (ronde, ovale, sablier symétrique, sablier asymétrique, irrégulier, et la forme Streep/ flat). Les formes topographiques ont été cotées des moins aux plus astigmatogènes, conformément aux études citées dans la littérature. [16,17]

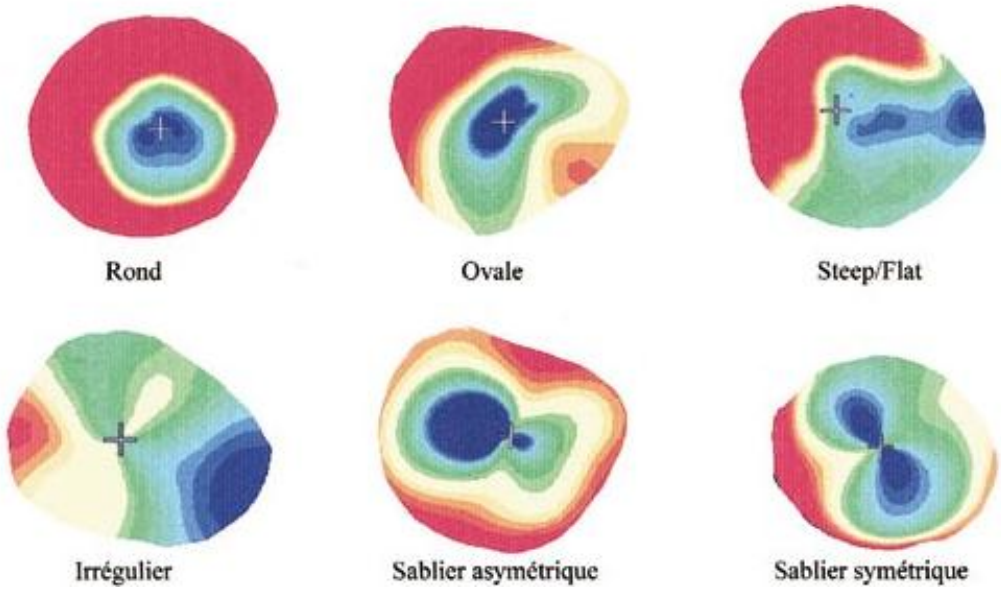

Figure 9 : classification selon la forme topographique (classification de Bogan modifiée)

Une description du profil d'asphéricité de la cornée (shape) fondée sur la distribution de puissance au centre et en périphérie a permis de séparer les cornées en profil oblate et prolate, les groupes irrégulier et steep/ flat ont été regroupées dans la configuration mixte.

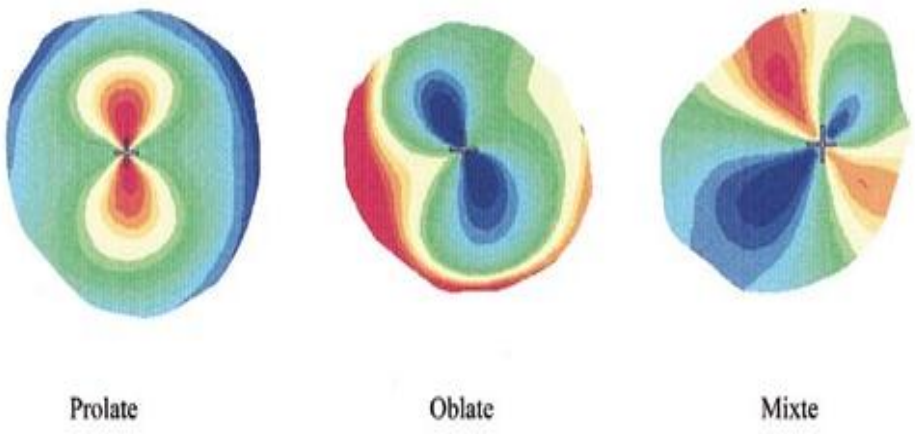

Figure 10 : classification selon le profil d'asphéricité

ii. Etude quantitative :

Nous avons étudié pour chaque carte topographique :

L'astigmatisme de la face antérieure de la cornée et son axe.

L'astigmatisme de la face postérieure de la cornée et son axe.

Les kératométries moyennes de la face antérieure et postérieures de la cornée.

L'asphéricité et l'excentricité de la face antérieure de la cornée.

L'asphéricité et l'excentricité de la face postérieure de la cornée.

Les données ont été recueillies dans le logiciel Excel et analysées par le logiciel SPSS (Etude uni variée et multi variée)

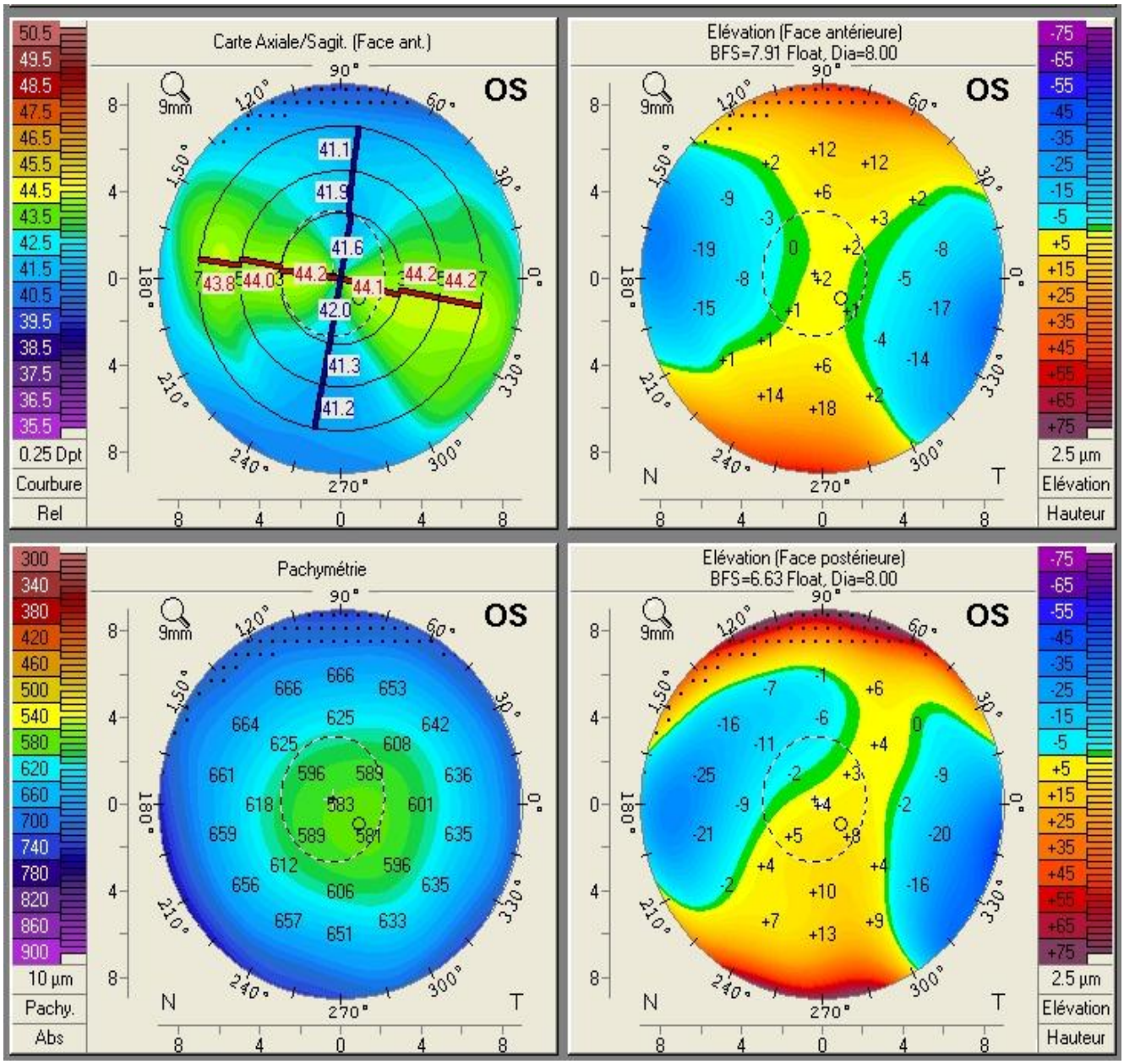

Figure 11: aspect d'un astigmatisme cornéen régulier inverse de 2,2 dioptries, réalisant un aspect en sablier symétrique sur la carte de puissance axiale. La topographie cornéenne fournie aussi les données de pachymétrie et d'élévation (image du service)

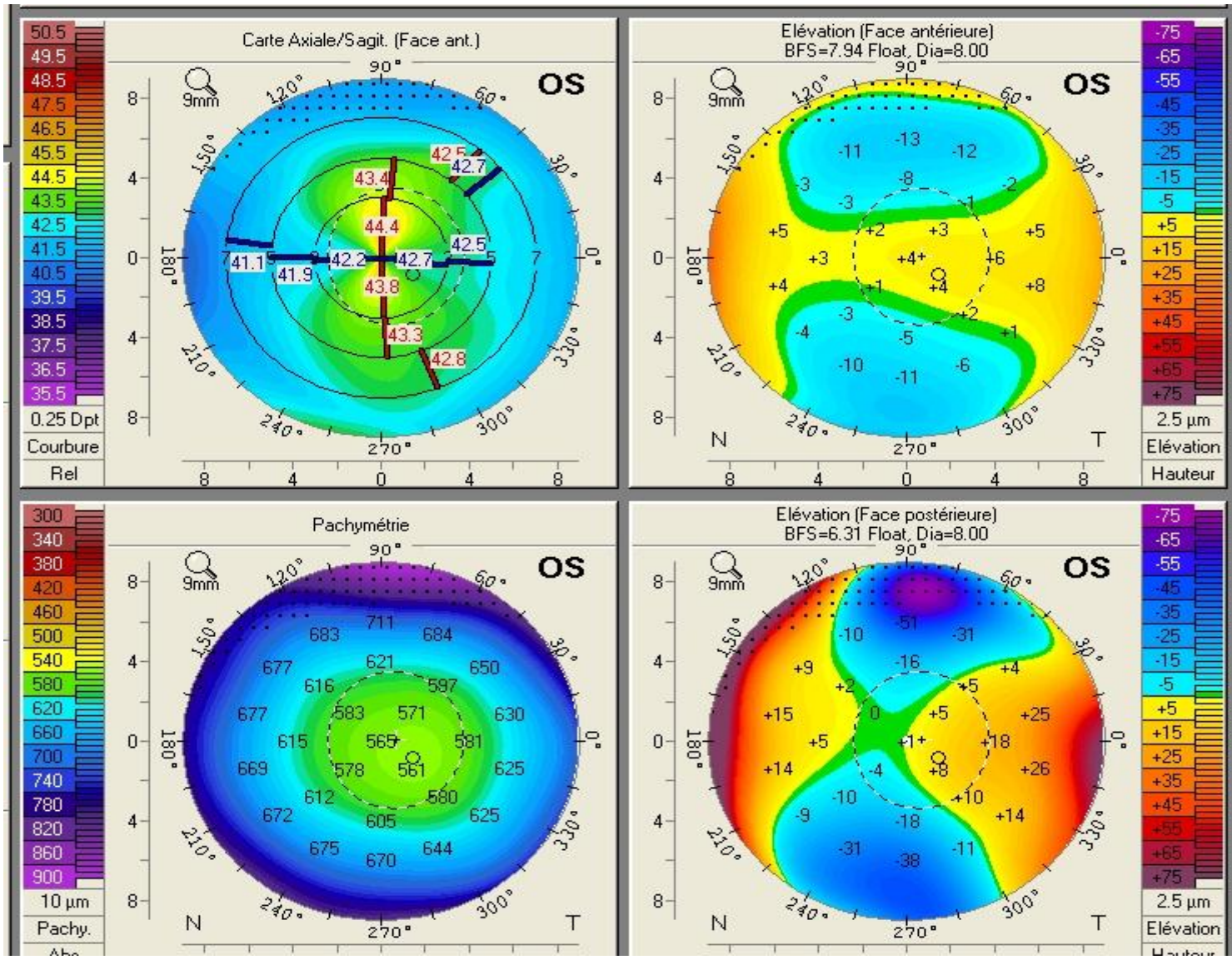

Figure 12 : aspect d'un astigmatisme cornéen régulier direct de 1,3 dioptries, réalisant un aspect en sablier symétrique sur la carte de puissance axiale. (Image du service)

RÉSULTATS

Nous avons analysé les données de 1180 yeux de 590 patients.

I. Statistiques descriptives

Tableau 1 : données statistiques descriptifs de notre étude

	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
Sim K	1179	0,5	6,60	2,1	1,3
Age		2	99	26,65	15,9
Km		0	48,7	43,5	2,1
Astig F (D)		0	6,5	2,1	1,3
Asph. Q F		-1,99	0,15	-0,35	0,14
Astig B (D)		0	1,4	0,47	0,2
Asph. Q B		-4,23	0,8	-0,29	0,23

Km : kératomérie moyenne **Astig F** : astigmatisme de la face antérieure

Astig B : astigmatisme de la face postérieure de la cornée

Asph A : asphéricité de la face antérieure

Asph B : asphéricité de la face postérieure

II. Etude de corrélations :

1. Effet du sexe sur l'astigmatisme cornéen

Sexe ratio F/M : 0,64

Tableau 2 : moyennes de l'astigmatisme des deux faces de la cornée chez les deux sexes.

Étiquettes de lignes	Nombre d'yeux	Moyenne Astig F	EcartypeAstig F	Moyenne Astig B	ÉcartypeAstig B
Femme	**754**	**2,28**	**1,2**	**0,48**	**0,22**
Droit		2,24	1,18	0,48	0,21
gauche		2,3	1,22	0,48	0,22
Homme	**426**	**2,4**	**1,24**	**0,5**	**0,24**
Droit		2,35	1,25	0,5	0,25
gauche		2,5	1,23	0,54	0,248
Total général		**2,34**	**1,22**	**0,50**	**0,23**

Astig F : astigmatisme de la face antérieur de la cornée

Astig B : astigmatisme de la face postérieure de la cornée

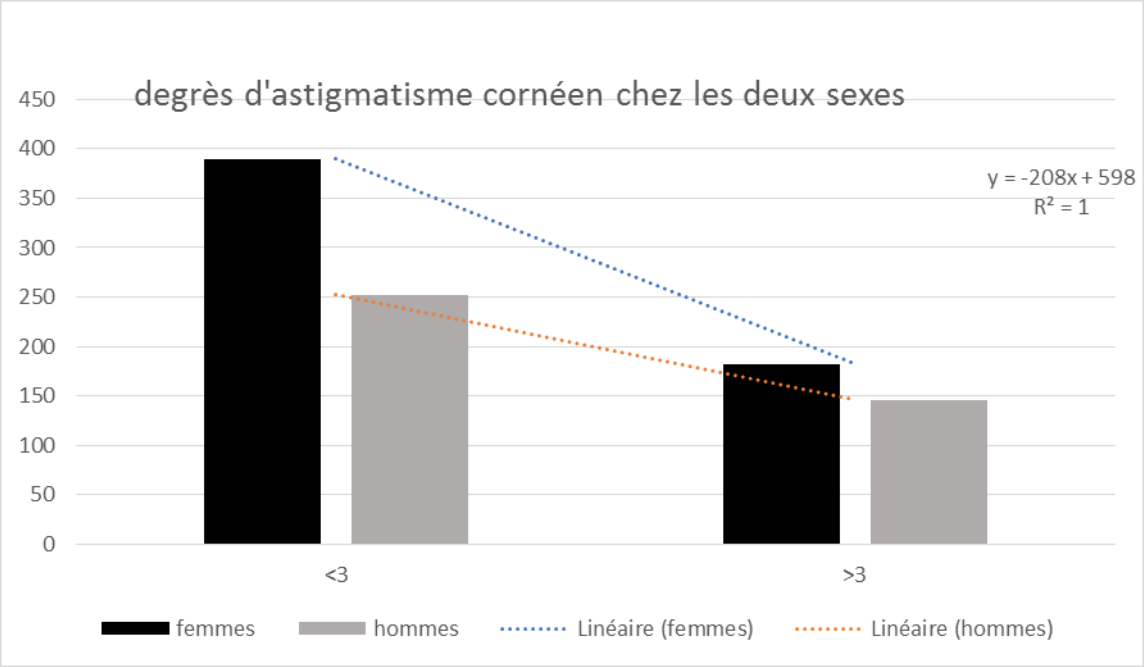

Figure 13 : degrés d'astigmatisme cornéen chez les deux sexes

Tableau 3 : répartition des cas selon l'axe de l'astigmatisme cornéen chez les deux sexes

Étiquettes de lignes	Nombre de patients
Femme	**754**
ATR	110
OBLIQUE	150
WTR	494
Homme	**426**
ATR	70
OBLIQUE	28
WTR	328
Total général	**1180**

ATR : astigmatisme inverse WTR : astigmatisme direct

L'étude statistique univariée n'a pas montré une corrélation entre le sexe et le degré ni l'axe de l'astigmatisme cornéen (p=0,2)

Tableau 4 : comparaison entre les moyennes de simK dans les deux groupes de sexe différent

	Sexe	N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne
simK	F	751	2,06	1,29	,047
	M	426	2,16	1,38	,066

Il n'existe pas de lien statistiquement significatif entre le sexe et la valeur de l'astigmatisme cornéen total ni l'astigmatisme des deux faces cornéennes.

2. Effet de l'âge sur l'astigmatisme cornéen :

Nous avons étudié l'effet de l'âge sur les différents paramètres topographiques, et nous avons constaté les résultats suivants :

Tableau 5 : Résultats selon la tranche d'âge

	N	Pourcentage	Moyenne	Ecart-type
<10	188	15,9	2,943617	1,2384706
11-30	636	53,9	2,128616	1,3031755
31-50	233	19,8	1,714163	1,2346702
>50	120	10,2	1,380833	1,0007809
Total	1177	99,8	2,100510	1,3264511

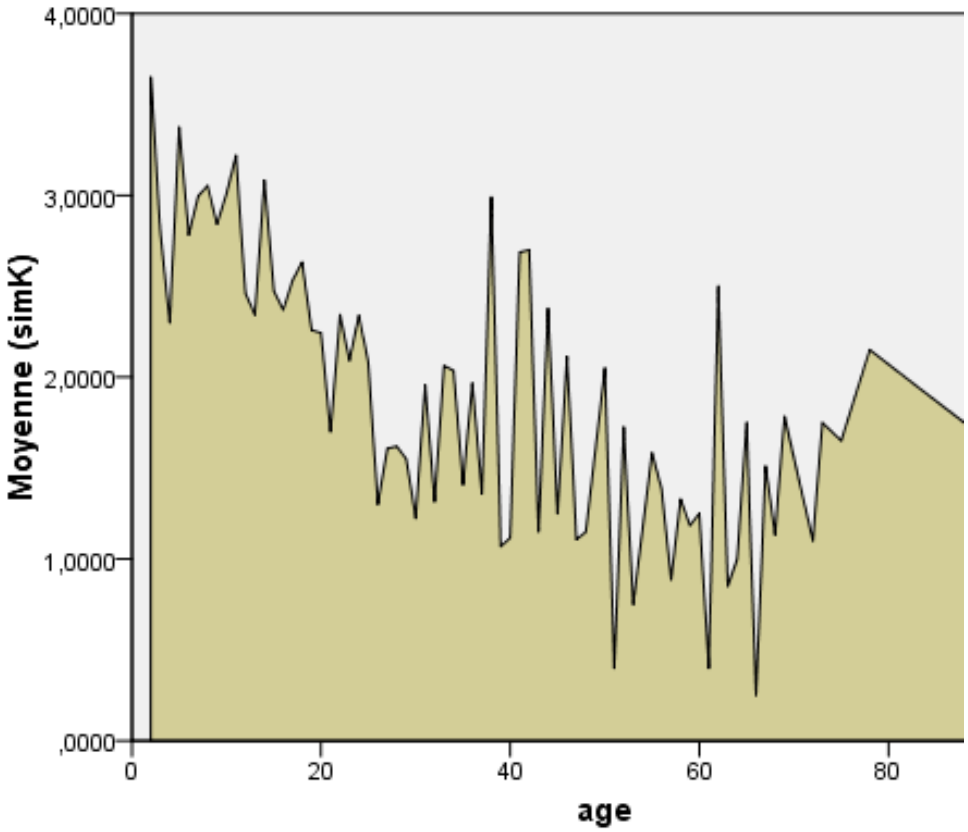

Figure 14 : Moyenne de la kératométrie simulée en fonction de l'âge

Il existe une corrélation négative moyenne entre l'âge et l'astigmatisme cornéen total, autrement ce dernier diminue avec l'âge (coefficient de Pearson =-0,34, p<0,01).

L'étude de l'astigmatisme cornéen total dans les différents groupes répartis selon l'âge a montré une différence statistiquement significative (P=0) avec une moyenne d'astigmatisme nettement plus basse dans le groupe de plus de 50 ans, que dans le groupe d'âge inférieur à 10 ans.

Tableau 6 : comparaison des moyennes de l'astigmatisme cornéen total entre les différentes tranches d'âge

	Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	231,069	3	77,023	49,154	0,00
Intra-groupes	1838,071	1173	1,567		
Total	2069,140	1176			

Ce même résultat a été retrouvé en étudiant la corrélation entre l'âge et l'astigmatisme des deux faces cornéennes. (Coefficient de corrélation de -0,33 pour la face antérieure et 0 ,3 pour la face postérieure)

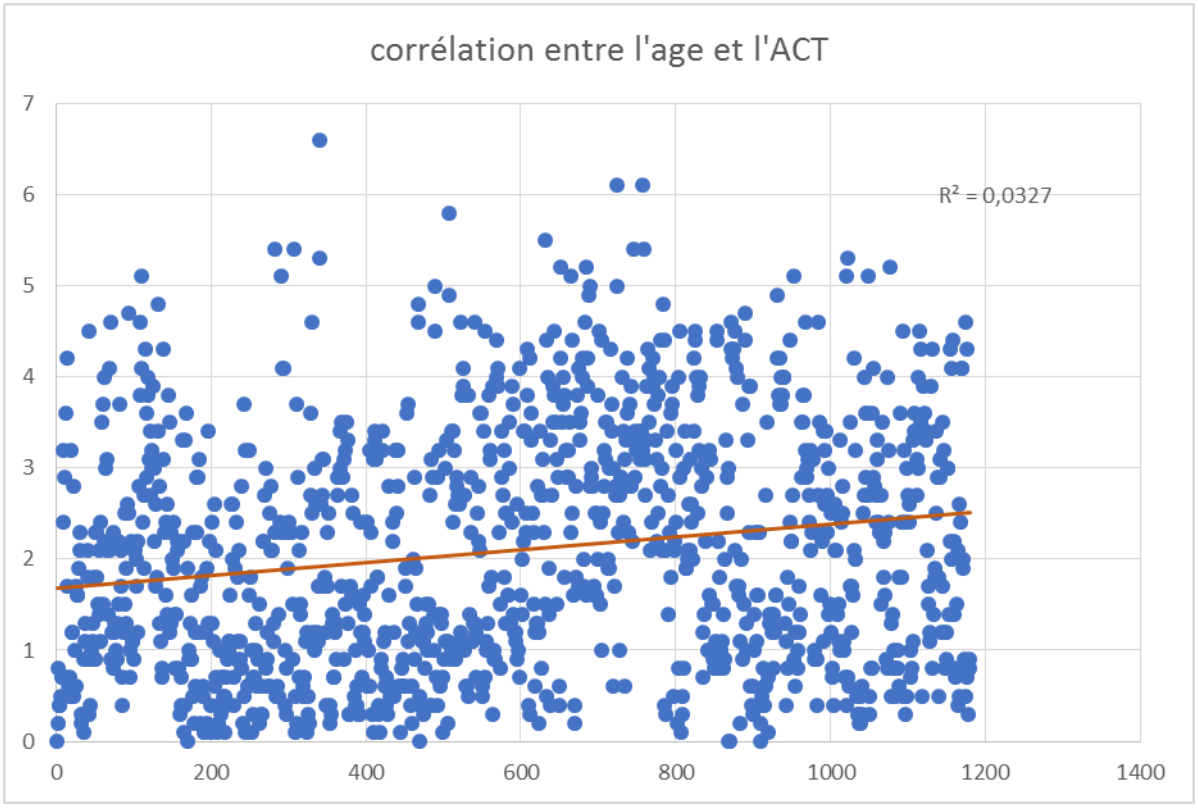

Figure 15 : corrélation entre l'âge et l'astigmatisme cornéen total

3. Effet de l'asphéricité cornéenne sur l'astigmatisme cornéen :

L'analyse univariée a montré une corrélation moyenne négative entre l'asphéricité cornéenne de la face antérieure de la cornée et l'astigmatisme de la face antérieure de la cornée. (Coefficient de corrélation de Pearson -0,35 (R deux= 0,17, p<0,001)

Une corrélation similaire a été retrouvée entre l'astigmatisme cornéen total calculé à partir de la simK et le Q de la face antérieure.

Tableau 7 : corrélation entre l'astigmatisme de la face antérieure et l'asphéricité de la face postérieure de la cornée

	Moyenne	Ecart-type	N
Astig face ant	2,09	1,32	1177
Asph. Face ant	0-,35	0,14	1177

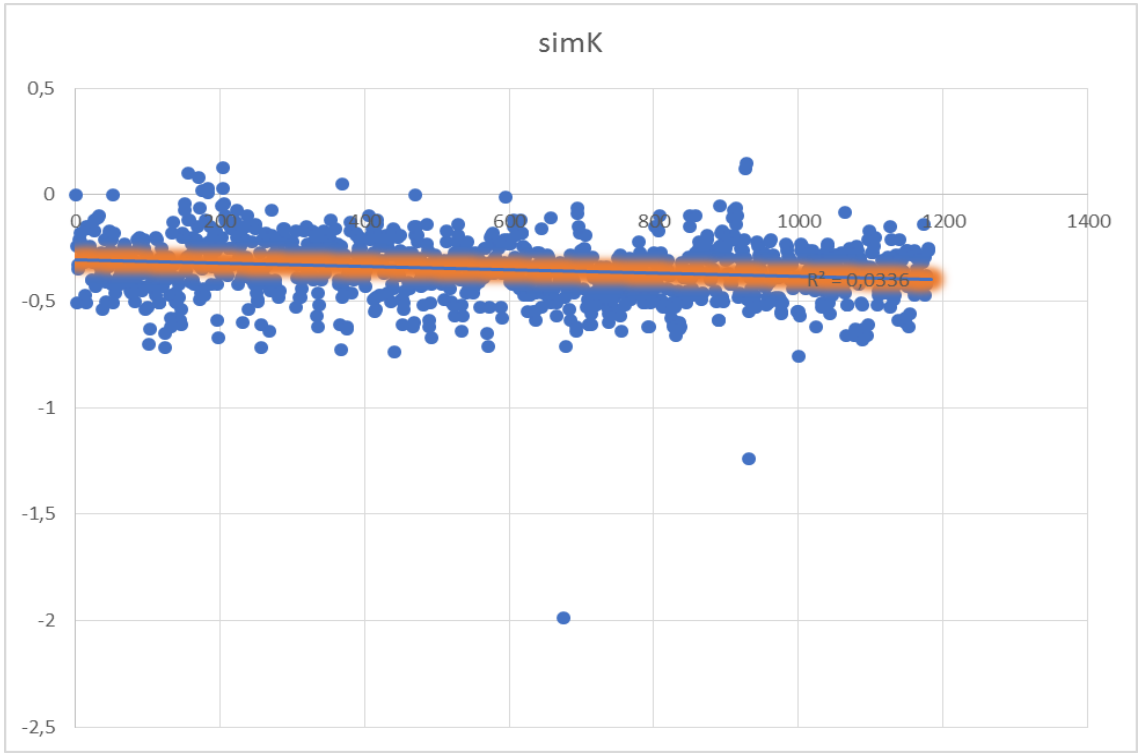

Figure 16 : corrélation entre l'astigmatisme de la face antérieure et l'asphéricité de la face postérieure de la cornée

4. Effet de la kératométrie moyenne sur l'astigmatisme cornéen :

Il existe un lien statistiquement significatif entre l'astigmatisme cornéen total calculé à partir de la simK et la kératométrie moyenne de la face antérieure de la cornée (coefficient de Pearson= 0,75 P=0,005)

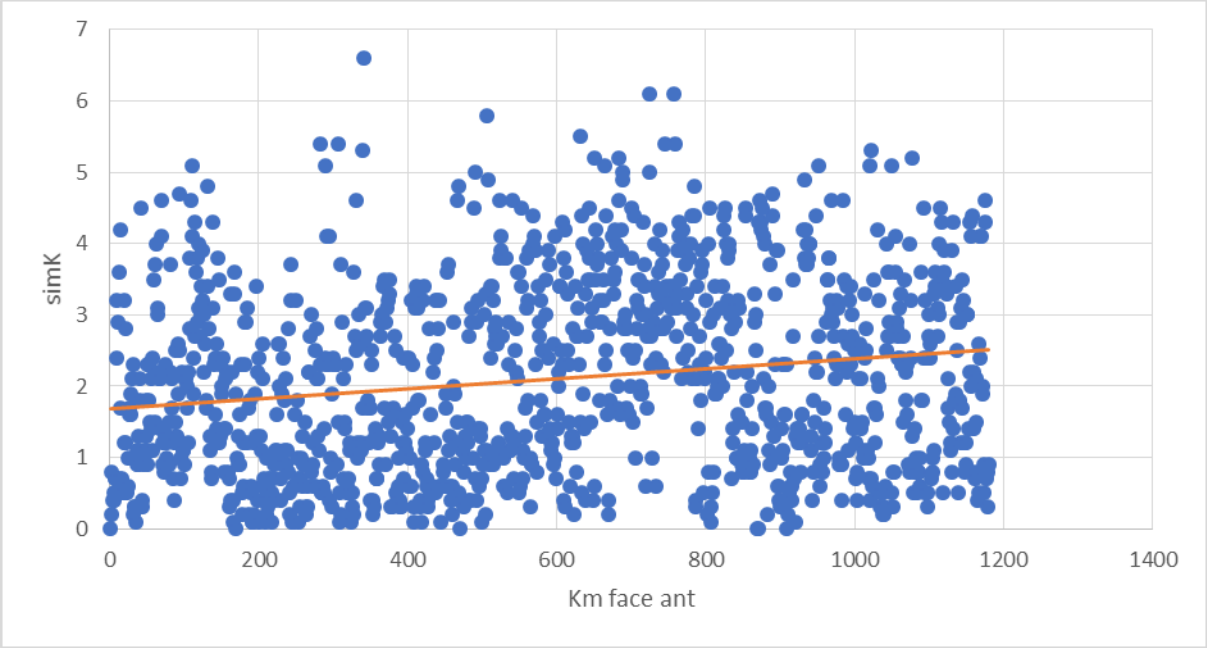

Figure 17 : corrélation entre la kératométrie antérieure moyenne et la kératométrie simulée

5. Effet de l'astigmatisme de la face postérieure de la cornée sur l'astigmatisme cornéen total :

Il existe une corrélation positive parfaite entre l'astigmatisme de la face postérieure de la cornée et l'astigmatisme cornéen réfractif mesuré par la simK (coefficient de Pearson de 0,99, P=0)

6. Corrélation entre l'astigmatisme cornéen et l'asphéricité de la face postérieure de la cornée :

On a retrouvé une corrélation négative moyenne entre l'asphéricité cornéenne postérieure et l'astigmatisme cornéen (Coefficient de Pearson = -0,6 ; P=0,02)

7. Corrélation entre toricité cornéenne antérieure et excentricité antérieure de la cornée :

Il existe une corrélation positive très faible entre l'excentricité et la toricité de la face antérieure de la cornée (R2= 0,1)

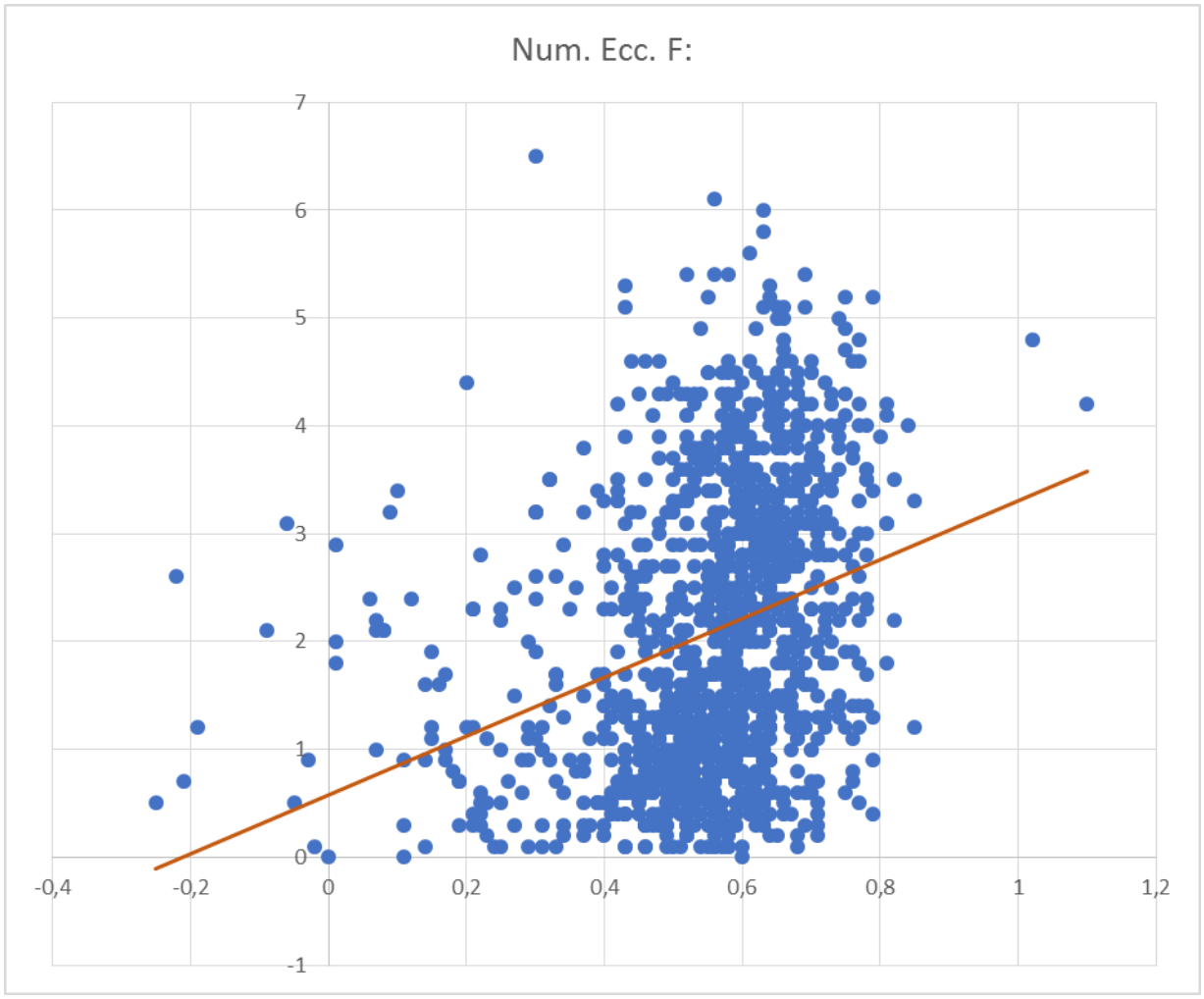

Figure 18 : corrélation entre la toricité cornéenne antérieure et l'excentricité antérieure

8. Corrélation entre l'astigmatisme cornéen et la réfraction :

Les données de réfraction n'étaient disponibles que pour 200 yeux de 100 patients (étude faite en rétrospectif). Nous avons étudié la corrélation entre l'équivalent sphérique et l'astigmatisme cornéen, ainsi que l'effet de ce dernier sur l'acuité visuelle. Nous avons observé les résultats suivants :

Tableau 9 : corrélation entre la réfraction subjective, la MAVC et l'orientation de l'axe de l'astigmatisme

	WTR	Oblique	ATR	P value *
Sphère	0,4+/-0,34	0,5+/-0,3	0,43+/-0,3	<0.001
Equivalent sphérique	0.03 ± 0.30	0.04 ± 0.30	0.06 ± 0.32	<0.001
MAVC	(logMAR 0.01 ± 0.07)	(logMAR 0.02 ± 0.09)	(logMAR 0.02 ± 0.10)	<0.001

*Analyse de variance (ANOVA)

La réfraction moyenne et le cylindre moyen étaient respectivement de −1,7D (+0,25D×91°) et de 0,8±0,7D. La composante sphérique n'a pas d'influence sur l'astigmatisme réfractif sauf pour les amétropies sphériques importantes. (p =0,04). Les yeux avec astigmatisme conforme à la règle ont une meilleure acuité visuelle (logMAR 0.01 ± 0.07) par rapport aux yeux avec astigmatisme oblique (logMAR 0.02 ± 0.09) et aux yeux avec astigmatisme inverse (logMAR 0.02 ± 0.10)

9. Résultats de l'analyse multivariée des différents paramètres étudiés :

Tableau 8 : Résultat de l'analyse multivariée des différents paramètres topographiques pouvant influencer l'astigmatisme cornéen

Modèle	T	Signification
Age	-0,082	0,935
Km	0,286	0,775
Astigmatisme de la face antérieure	0, 05	0,000
Asphericité de la face antérieure	0,77	0,036
Astigmatisme de la face postérieure	0,089	0,929
Asphéricité de la face postérieure	0,754	0,451

III. Donnés qualitatives :

1. Répartition des cartes topographiques selon la forme :

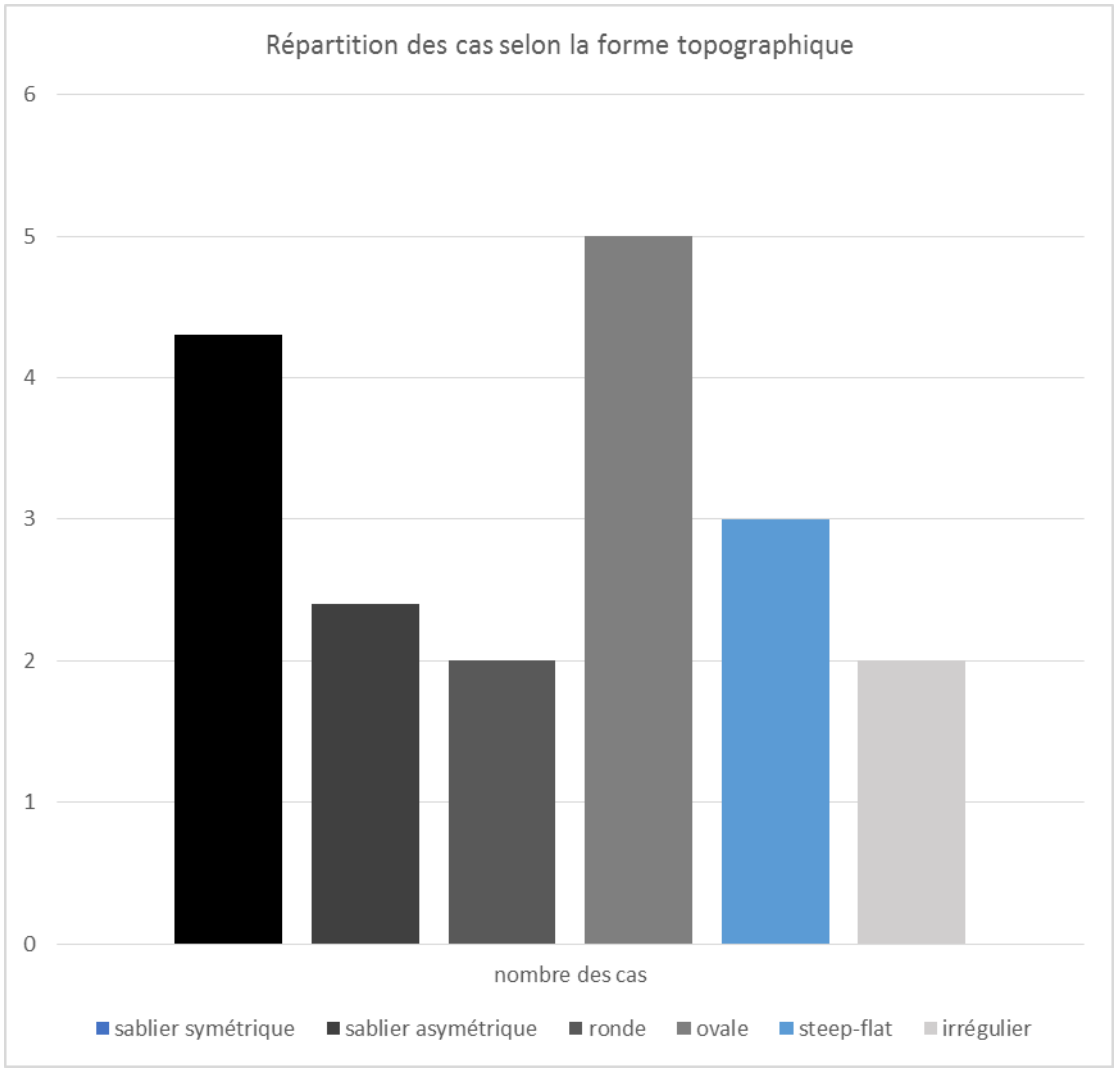

Figure 19 : répartition des cas selon la forme de carte topographique

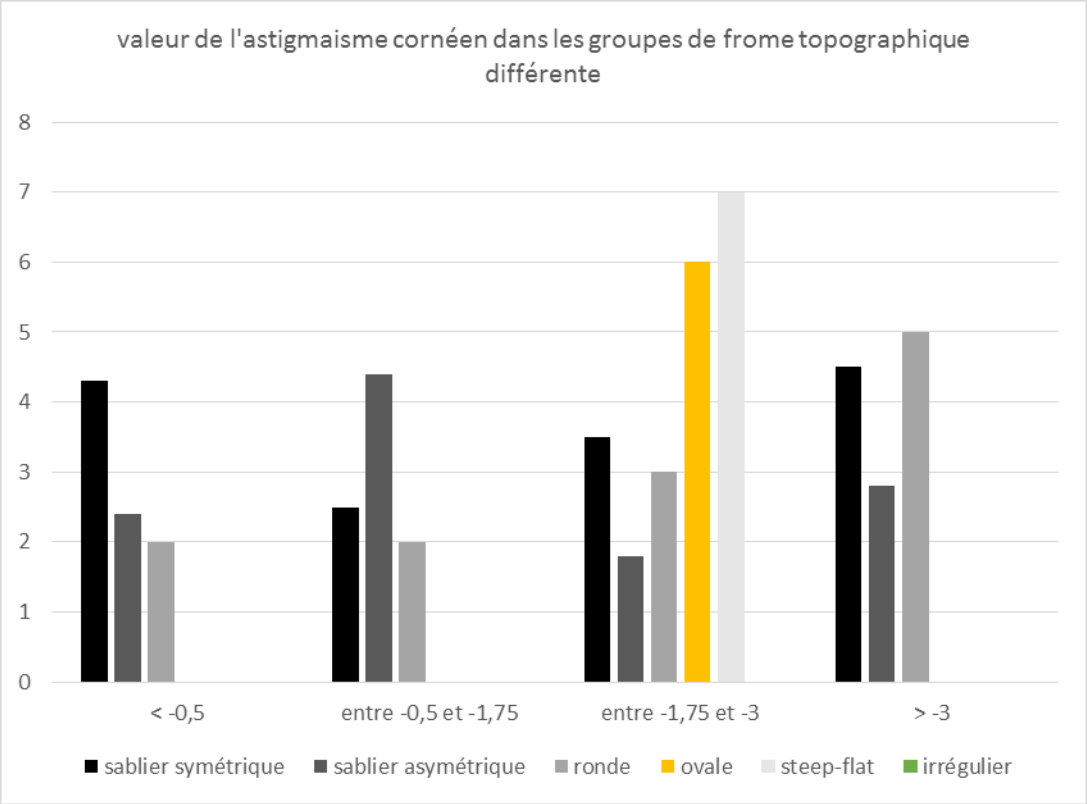

Figure 20 : intensité de l'astigmatisme cornéen dans les différentes formes topographiques

2. Comparaison entre les deux yeux :

La valeur de l'astigmatisme cornéen est identique entre les deux yeux chez 86% des cas

La moyenne de différence de l'axe de l'astigmatisme cornéen entre les deux yeux : 0,4

Formes topographiques : les deux yeux ont des formes topographiques proches chez 90% des cas, avec une symétrie en miroir

DISCUSSION

D'après l'OMS, À l'échelle mondiale, 1,3 milliard de personnes vivrait avec une forme de déficience visuelle. Les principales causes de déficience visuelle sont les défauts de réfraction non corrigés et les cataractes. Environ 80 % des déficiences visuelles dans le monde sont jugées évitables ou facilement curables. [18]

I. Epidémiologie

1. Prévalence :

L'étude de la prévalence de l'astigmatisme cornéen a curieusement été relativement peu étudiée. La bibliographie montre cependant la présence d'un astigmatisme supérieur à 0,75 dioptries dans 41 % des patients en préopératoire de chirurgie de cataracte. Vitale *et al.* (48) a évalué la prévalence des troubles de la réfraction aux États-Unis. L'étude a été menée de 1999 à 2004, sur un échantillon représentatif de la population américaine de12 ans ou plus. L'astigmate a été retrouvé chez 36,2% des cas, sa fréquence augmente avec l'âge.

2. Effet du sexe sur l'astigmatisme cornéen

Dans notre étude on a noté une prédominance féminine (Sexe ratio F/M : 0,64), l'étude de corrélation n'a pas montré de lien statistiquement significatif entre le sexe et l'astigmatisme cornéen ni son axe. Dans une étude multicentrique européenne incluant1135 sujets,[19] on a noté que l'astigmatisme réfractif est significativement plus élevé de 0,111 D Chez les hommes comparés aux femmes (test t non apparié, p=0,031), et l'astigmatisme de la cornée antérieure est plus élevé de 0,021Dchez les femmes (p = 0,015). Pour la cornée postérieure, aucune différence n'existe dans les deux sexes.

3. Effet de l'âge sur l'astigmatisme cornéen :

Selon les données de littérature, la face antérieure de la cornée parait plus sensible aux variations liées à l'âge par rapport à la face postérieure. Le méridien le plus combré a tendance de passer du vertical à l'horizontal. 20Ainsi la prévalence de l'astigmatisme direct est plus importante dans la population jeune, et diminue avec l'âge. Certains auteurs supposent que l'astigmatisme postérieur compense l'astigmatisme de la face antérieure de la cornée chez les jeunes, et aggrave l'astigmatisme total chez les sujets âgés. 21,22. Dans notre étude on a plutôt trouvé le contraire, la moyenne de l'astigmatisme cornéen dans l'échantillon de patients de plus de 50 ans est de 1,38D par rapport à 2,9 chez les enfants de moins de 10 ans, ce résultat peut être biaisé par la taille différente des différents échantillons. La connaissance de l'effet de l'âge sur la toricité cornéenne devra faire l'objet de plus d'études ultérieures, dans le sens que les modifications de l'astigmatisme avec l'âge peuvent affecter la stabilité de la cornée après chirurgie réfractive.

II. Etude qualitative

1. Forme topographique

Dans notre série, Les sabliers représentent la forme topographique la plus fréquente, en particulier la variété asymétrique. Les formes ovales et surtout rondes sont beaucoup plus rares. Nous retrouvons, une corrélation significative entre la forme topographique et la valeur du cylindre cornéen, comme l'a bien montré des études antérieures.[23,24]

Bogan a aussi retrouvé des résulta similaire dans l'astigmatisme idiopathique et Waring dans l'astigmatisme post-kératoplastie.[25,26]. Ainsi, les formes ovales et rondes sont associées dans notre série à un faible astigmatisme. Les formes en sabliers, en particulier symétrique, sont associées à un astigmatisme élevé. Les formes irrégulières ont une valeur de cylindre intermédiaire.

2. Comparaison entre les deux yeux :

L'étude comparative entre les deux yeux trouve que dans 90% des cas les deux yeux ont une forme topographique presque identique. L'étude comparative des topographies des deux yeux contribue aussi au diagnostic étiologique, ainsi l'aspect de symétrie en miroir (énantiomorphisme) entre l'œil droit et l'œil gauche est un argument important pour considérer un astigmatisme d'origine cornéenne comme congénital. A l'inverse, la présence d'une asymétrie et/ ou d'une irrégularité topographique prononcée permettra de poser le diagnostic de kératocône infraclinique ou de dégénérescence pellucide marginale, en fonction du contexte clinique.[27]

Jeremy A et al ont trouvé des résultats similaires à notre étude. Dans son travail incluant 50 995 astigmate de plus de -0,25 D, la différence moyenne entre les axes d'astigmatisme des deux yeux était de 20°. Il a aussi conclu à la présence d'une symétrie en miroir entre les deux yeux. [28]

III. Etude quantitative :

1. Puissance de l'astigmatisme cornéen :

La moyenne du cylindre dans notre série est de2,1+/- 1,3 D avec des extrêmes de 0,5 à 6,6 D. l'astigmatisme cornéen total est supérieur à 3D chez 28 % des cas.

Ce chiffre est supérieur de celui décrit dans la littérature, puisque La présence d'un astigmatisme prononcé est relativement rare, seulement 2,6 % des yeux présentent un astigmatisme d'origine cornéenne supérieur à 3 D selon une étude récente.[29]

2.L'axe de l'astigmatisme cornéen

L'axe de l'astigmatisme parait, dans notre étude comme dans des études antérieures, corrélé à l'âge (Anstice, 1971[30]), et à la valeur du cylindre (Guggenheim[31]and Farbrother,[32] 2004). La littérature rapporte que les sujets jeunes et fort myopes ou hypermétropes ont tendance à avoir un astigmatisme direct, alors que les personnes moins jeunes, emmétropes ou ayant une faible amétropie tendent plutôt à avoir un astigmatisme inverse. Les astigmatismes obliques sont plus rares (Read et al.[33], 2007).

3. Asphéricité cornéenne et astigmatisme :

L'étude des profils d'asphéricité sur les topographies cornéennes a montré une prédominance des profil prolate (94% des cas). Le coefficient d'asphéricité moyen est égal à -0,35 +/0,15.

Tableau 10 : valeur de l'asphéricité cornéenne (données de littérature)

Asphéricité de la face antérieure de la cornée selon différentes études :

	S/Y	Q	Ecart-types
Mandell et St Helen (1971)	8/8	-0,23	-0,04 à 0,72
Kiely et coll (1982)	88/176	-0,26	0,18
Edmund et Sjontorft (1985)	40/80	-0 ,28	0,13
Guillon et coll. (1986)	110/220	-0,18	0,15
Patel et coll. (1993)	20/20	-0,01	0,25
Lam and Douthwaite (1997)	60/60	-0,30	0,13
Read et coll. (2006)	100/200	-0.19	0.1
Notre étude (2019)	1196/598	-0,35	0,15

L'asphéricité cornéenne postérieure est physiologiquement plus négative (plus prolate) que l'asphéricité cornéenne antérieure La face postérieure est plus cambrée en son sommet (courbure apicale accentuée), et ces caractéristiques expliquent qu'en topographie d'élévation, l'élévation cornéenne postérieure vis à vis de sa sphère de référence soit en moyenne supérieure à celle de la surface antérieure de la cornée. Autrement dit, la surface cornéenne postérieure est simplement « plus éloignée » de celui de la sphère de référence, que le profil antérieur. L'asphéricité cornéenne antérieure est retrouvée inversée dans une grande majorité de cas après chirurgie réfractive cornéenne démyopisante et greffe de cornée : de prolate ($Q<0$), elle devient oblate ($Q>0$). A l'inverse, une asphéricité hyperprolate est généralement mesurée après chirurgie cornéenne de l'hypermétropie (LASIK)

4. Astigmatisme de la face postérieure de la cornée :

Dans les études réalisées dans ce sens, la valeur de 'astigmatisme de la face postérieure de la cornée est de -0.26 à -0.76 dioptries[34],[35]valeur inférieure à 0,47 +/- 0,2D retrouvée dans notre série. L'astigmatisme de la face postérieure de la cornée est peu significatif par rapport à celui de la face antérieure, ceci est dû à la faible différence entre l'indice de réfraction de la cornée et celui de l'humeur aqueuse. Pourtant, la toricité de la face postérieure de la cornée est plus importante que celle de la face antérieure, et la face postérieure est plus combrée que la face antérieure comme l'a bien montré notre étude et les données de littérature.[36], [37]

Beaucoup d'études ont été réalisées pour étudier la relation entre les deux faces de la cornée, elles ont montré que, lorsque le méridien le plus combré de la cornée est vertical, il y'a une corrélation entre l'astigmatisme de la face postérieure et celui de la face antérieure de la cornée. Cette corrélation diminue quand le

méridien le plus combré de la face antérieure de la cornée est oblique, et elle est nulle quand il est horizontal. L'étude de la face postérieure de la cornée est surtout importante dans le bilan de chirurgie réfractive. L'astigmatisme de la face postérieur de la cornée peut influencer considérablement le résultat de la chirurgie réfractive si cette dernière s'est basée uniquement sur les données de la face antérieure.[38] ,[39].

Concernant la chirurgie de cataracte, il est connu que malgré les progrès des techniques chirurgicale, environ 20% des patients opérés ont un astigmatisme post opératoire dépassant d'au moins 1,5 D l'astigmatisme préopératoire.[40],[41]. Depuis quelques années, la chirurgie de cataracte est devenue une véritable chirurgie réfractive, la correction de l'astigmatisme peut se faire par différents moyens ; la réduction de la taille de l'incision, le changement de son site[42], et les implants toriques. [43], [44]. L'astigmatisme résiduel après implantation par implant torique peut être réduite par l'usage de formule de calcul incluant la face postérieure de la cornée.[45],[46],[47].

5. Effet de l'astigmatisme cornéen sur l'acuité visuelle

Dans notre étude l'astigmatisme conforme à la règle est associé à une meilleure MAVC par rapport à l'astigmatisme inverse et oblique ($P<0,05$). Des résultats similaires ont été retrouvés dans des études antérieures.[48],[49],[50]Yamamoto et al[51]a reporté que la MAVC était moins bonne dans les astigmatismes myopiques inverses par rapport aux astigmatisme myopiques conformes chez les patients implantés par des implants monofocaux. Ce constat peut être expliqué par le fait que le développement du cortex visuel primaire et à l'effet mécanique exécré par les paupières.

Limites de l'étude

Notre travail est une étude rétrospective ce qui l'expose à des biais, notamment les biais de sélection des malades, malgré les critères d'inclusion et d'exclusion qui ont bien été respectés. Nous ne disposons pas de la base de données clinique de tous les patients, ce qui a limité le nombre de cas inclus dans la partie étudiant la réfraction subjective, d'autant plus que cette dernière n'a pas été réalisée par le même examinateur.

Conclusion

Notre étude a confirmé des données déjà rapportées par la littérature, notamment en ce qui concerne la valeur moyenne de l'astigmatisme cornéen, et celle de l'asphéricité cornéenne, ainsi que l'asymétrie en miroir entre les deux yeux, et l'influence de l'axe de l'astigmatisme sur l'acuité visuelle corrigée. Nous avons eu aussi des résultats différents des données de littérature, notamment en ce qui concerne l'effet de l'âge sur l'astigmatisme cornéen. Notre étude rappelle l'intérêt primordial de l'évaluation précise de l'astigmatisme cornéen et total s'impose ainsi que l'adéquation entre cette évaluation et la correction de l'astigmatisme, qu'elle soit par implant torique ou incision relaxante dans la chirurgie de la cataracte, ou la correction de l'astigmatisme au laser Excimer.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Cavas-Martínez F, Damiel Gatinel, De la Cruz-Sánchez E, et al. Geometrical custom modeling of human cornea in vivo and its use for the diagnosis of corneal ectasia. PLoS One. 2014;9(10):e110249.

[2] Dr Damiel. Gatinel, l'astigmatisme. https://www.gatinel.com/chirurgie-refractive/astigmatisme/

[3] Zheng S, Ying J, Wang B, Xie Z, Huang X, Shi M. Three-dimensional model for human anterior corneal surface. J Biomed Opt. 2013. June;18(6):065002

[4] Loyer J, Chazalon T. Les bases de la réfraction. Société BBGR; 2000.

[5] Mikael Guedj, L'astigmatisme, Définitions, écritures et représentations, Pratiques en Ophtalmologie • mars 2017 • vol. 11 • numéro 953

[6] Sinjab MM. Introduction to Astigmatism and Corneal Irregularities. In: Sinjab M, Cummings A, editors. *Customized Laser Vision Correction*. New York: Springer; 2018:1-64.

[7] Marshall J, Fitzke FW. Refractive index of the human corneal epithelium and stroma. *J Refract Surg*. 1995;11(2):100-105

[8]Maguire LJ, Singer DE, Klyce SD. Graphic presentation of computer analyzed keratoscope photographs. Arch ophtalmol 1987; 105: 223-30

[9]Wilson EX, Klyce SD, Husseini ZM. Standardized color-coded maps for corneal topography. Ophtalmology 1993: 100: 1723-7

[10]Touzeau O et al. Comparison of the Eyesys videokeratoscope algorithms in the evaluation of idiopathice and postoperative astigmatism. J Fr Ophtalmol 1999; 2: 936-42

[11]Brenner D. Modeling the cornea with the topographic modeling system videokeratoscope. Optom Vis sci 1997 ;895-8.

[12]Holladay JT. Corneal topography using the Holladay diagnostic summary. J Cataract refract surg 1997 ; 23 : 209-21.

13 Dingeldein SA, Klyce SD, Wilson SE. quantitative descriptors of clinical shape derived from computer-assisted analysis of photokeratographs, refract corneal surg. 1989, 5: 372-8

[14]Wilson SE, Klyce SD.quantitative descriptors of corneal topography, a clinical study. Arch ophthalmol 1991 ;109 :349-53

[15]Chastang PJ, Borderie VM, Carvajal-Gonzales S, Rosene W, Laroche L. Preiction of spectacle-corrected visual acuity using videokeratography. J Refract Surg 1999;1 :572-9.

[16]Bogan SJ, Waring GO, Ibrahim O, Drews C, Curtis L. Classification of normal corneal topography based on computer-assisted videokeratography. Arch Ophthalmol 1990;108:945-9.

[17]Waring GO, Hannush SB, Bogan SJ, Maloney RK. Classification of corneal topography with videokeratography. In: Schanzlin DJ, Robin JB, eds. Corneal topography. Measuring and modifying the cornea. New York: Springer-Verlag;1992:47-73.

[18] Bourne RRA, Flaxman SR, Braithwaite T, Cicinelli MV, Das A, Jonas JB, et al.; Vision Loss Expert Group. Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis. Lancet Glob Health. 2017 Sep;5(9):e888-97.

[19] Jos J. Rozema, Marie-José Tassignon, Épidémiologie de l'astigmatisme, Les Cahiers d'ophtalmologie, n° 170 , Mai 201

[20]Koch DD, Ali SF, Weikert MP, Shirayama M, Jenkins R, Wang L. Contribution of posterior corneal astigmatism to total corneal astigmatism. *J Cataract Refract Surg*. 2012;38(12):2080-2087.

[21]Atchison DA, Markwell EL, Kasthurirangan S, Pope JM, Smith G, Swann PG. Age-related changes in optical and biometric characteristics of emmetropic eyes. *J Vis*. 2008

[22]Thibos LN, Horner D. Power vector analysis of the optical outcome of refractive surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2001;27(1):80-85. doi:10.1016/S0886-3350(00)00797-5

[23]Touzeau O, Borderie V, Carvajal-Goncalez S, Vedie F, Laroche L. Astigmatisme après kératoplastie transfixiante. Analyse vidéo-kératoscopique sur une série de 60 greffes. J. Fr. Ophtalmol. 1997; 20:680-8.

[24]Borderie VM, Touzeau O, Laroche L. Videokeratography, keratometry, and refraction after penetrating keratoplasty. J. Refract. Surg. 1999;15:32-7.

[25]Bogan SJ, Waring GO, Ibrahim O, Drews C, Curtis L. Classification of normal corneal topography based on computer-assisted videokeratography. Arch Ophthalmol 1990;108:945-9.

[26]Warring III GE. Making sense of keratospeak II: Proposed conventional terminology for corneal topography. Refract. Corneal. Surg. 1989;5:362-7.

[27]D.Gatinel, Astigmatisme régulier extrême: correction chirurgicale, Réalités ophtalmologiques # 191_Mars 2012_Cahier 1

[28]Jeremy A, Guggenheim JA, Zayats T, Prashar A, To CH. Axes of astigmatism in fellow eyes show mirror rather than direct symmetry. Ophthalmic

Physiol Opt 2008;28:327-33

[29]Hoffmann PC, Hutz WW. Analysis of biometry and prevalence data for corneal astigmatism in 23,239 eyes. J Cataract Refract Surg, 2010; 36: 1479-1485

[30]Anstice J. Astigmatism—its components and their changes with age., Am J Optom Arch Am Acad Optom 1971;48:1001-6

[31]Guggenheim JA, Farbrother JE. The association between spherical and cylindrical component powers. Optom Vis Sci 2004;81:62–3.

[32]Farbrother JE, Welsby JW, Guggenheim JA. Astigmatic axis is related to the level of spherical ametropia. Optom Vis Sci 2004;81:18–26.

[33]Read SA, Collins MJ, Carney LG. A review of astigmatism and its possible genesis. Clin Exp Optom 2007;90:5–19.

[34]owry EA, Li J, Kasi SK, et al. The effect of anterior corneal astigmatism orientation on toric intraocular lens outcomes. *Open J Ophthalmol*. 2019;9(2):84–93.

[35]Khosravi B, Khorrami-Nejad M, Rajabi S, Amiri M, Hashemian H, Khodaparast M. Characteristics of astigmatism after myoring implantation. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol*. 2017;6(4):130.

[36]Edmund C. Posterior corneal curvature and its influence on corneal dioptric power. *Acta Ophthalmol (Copenh)*. 1994;72(6):715–720.

[37]Derakhshan R, Mohammad G-B, Ghoreishi SM, Tabatabaee SM, Mohammadi-Nia M. Evaluation of anterior, posterior, and total corneal astigmatism in normal subjects. *Journal of Isfahan Medical School*. 2017;35;1382–1388.

[38]Nemeth G, Berta A, Lipecz A, Hassan Z, Szalai E, Modis JL. Evaluation of posterior astigmatism measured with Scheimpflug imaging. *Cornea*. 2014;33(11):1214–1218.

[39]Nemeth G, Berta A, Lipecz A, Hassan Z, Szalai E, Modis JL. Evaluation of posterior astigmatism measured with Scheimpflug imaging. *Cornea*. 2014;33(11):1214–1218.

[40]Ferrer-Blasco T, Montés-Micó R, Peixoto-de-Matos SC, González-Méijome JM, Cerviño A. Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2009;35(1):70–75.

[41]Ferrer-Blasco T, Montés-Micó R, Peixoto-de-Matos SC, González-Méijome JM, Cerviño A. Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2009;35(1):70-75.

[42] Akura J, Kaneda S, Hatta S, Matsuura K. Controlling astigmatism in cataract surgery requiring relatively large self-sealing incisions. *J Cataract Refract Surg*. 2000;26(11):1650-1659.

[43]Reitblat O, Levy A, Kleinmann G, Abulafia A, Assia EI. Effect of posterior corneal astigmatism on power calculation and alignment of toric intraocular lenses: comparison of methodologies. *J Cataract Refract Surg*. 2016;42(2):217-225.

[44]Till JS, Yoder PR Jr, Wilcox TK, Spielman JL. Toric intraocular lens implantation: 100 consecutive cases. *J Cataract Refract Surg*. 2002;28(2):295-301.

[45]Reitblat O, Levy A, Kleinmann G, Abulafia A, Assia EI. Effect of posterior corneal astigmatism on power calculation and alignment of toric intraocular lenses: comparison of methodologies. *J Cataract Refract Surg*. 2016;42(2):217-225.

[46] Till JS, Yoder PR Jr, Wilcox TK, Spielman JL. Toric intraocular lens implantation: 100 consecutive cases. *J Cataract Refract Surg*. 2002;28(2):295-301.

[47]Ho J-D, Liou S-W, Tsai RJ-F, Tsai C-Y. Effects of aging on anterior and posterior corneal astigmatism. *Cornea*. 2010;29(6):632-637.

[48]ferences 1. Vitale S, Ellwein L, Cotch MF, Ferris FL III, Sperduto R. Prevalence of refractive error in the United States, 1999-2004. Arch Ophthalmol. 2008;126(8):1111-1119. 2.

[49]Read SA, Collins MJ, Carney LG. A review of astigmatism and its possible genesis. Clin Exp Optom. 2007;90(1):5-19

[50]Remon L, Tornel M, Furlan WD. Visual acuity in simple myopic astigmatism: influence of cylinder axis. Optom Vis Sci. 2006;83(5):311-315.

[51]Yamamoto T, Hiraoka T, Beheregaray S, Oshika T. Influence of simple myopic against-the-rule and with-the-rule astigmatism on visual acuity in eyes with monofocal intraocular lenses. Jpn J Ophthalmol. 2014;58(5):409-414.