

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Constantine 3
Faculté de Médecine



THÈSE
De doctorat en sciences médicales
Spécialité ophtalmologie

Titre

Évaluation de l'apport de l'implantation torique
dans la gestion de l'astigmatisme cornéen
lors de la chirurgie de la cataracte

Le Candidat : Dr Lazhar Degdeg
Rapporteur : Pr Fatiha Karaouat

JURY

Président :	Professeur R. Garout	Faculté de Médecine d'Alger
Membres :	Professeur N. Ghemri	Faculté de Médecine d'Alger
	Professeur F. Boulaneb	Faculté de Médecine d'Annaba
	Professeur M. F. Rougui	Faculté de Médecine de Batna

ANNÉE 2019

DEDICACES

Je dédie ce travail

À

*Mes parents **Ammar** et **Khadija**. Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour eux. Ils m'ont tout donné, encouragé, cru en moi et soutenu. Puisse Dieu, le miséricordieux, leur accorder sa bénédiction et les protéger.*

*Mon épouse **Ratiba**, pour son dévouement, son encouragement et son soutien.*

*Mes adorables petits anges **Ayoub**, **Sofia** et **Adem** qui ont donné un autre sens à ma vie.*

*Mes sœurs: **Jijika** et **Hadjer** et mes frères **Amine**, **sifeddine** et **Hamza** et leurs petites familles.*

À toutes les personnes qui ont cru en moi et qui ont contribué de près pour qu'un tel travail voie le jour un jour.

REMERCIEMENTS

Avant tout, gloire et louanges à Dieu, le clément, le miséricordieux pour toutes ses bénédictions et pour m'avoir donné la force et la volonté d'accomplir ce travail.

J'exprime ma grande gratitude et mes vifs remerciements:

À mon maître et directrice de thèse

Madame le professeur Fatíha Karaouat

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de diriger ce travail avec pertinence et disponibilité.

Pour votre assistance continue, le temps que vous avez bien voulu me consacrer, vos conseils judicieux, vos remarques et suggestions qui m'ont aidé à mener à bien ce travail.

Je reste admiratif devant vos qualités humaines et professionnelles, votre expérience avérée ainsi que votre modestie et votre générosité qui restent exemplaires.

J'espère être digne à jamais de la confiance que vous m'avez accordé et vous prie, chère Maître, de trouver ici le témoignage de ma sincère reconnaissance et profonde gratitude.

À mon maître et président de jury

Monsieur le professeur Rachid Garout

Pour l'intérêt que vous avez bien voulu porter à ce travail et l'honneur que vous avez fait en acceptant la présidence de notre jury de thèse.

Votre savoir, vos connaissances et votre expérience académique ont permis d'améliorer et d'enrichir la qualité de ce travail.

Vos qualités scientifiques, pédagogiques et surtout humaines seront pour nous un modèle à suivre.

Veillez croire, cher Maître, en l'expression de ma grande admiration et mon profond respect.

À mes Maîtres et membres de jury

Le professeur Nadia Ghemri

Le professeur Fouzia Boulaneb

Le professeur Mohamed Fateh Rougui

Pour l'honneur que vous me faites en acceptant de siéger parmi cet honorable jury.

Pour votre aide et votre disponibilité.

Pour votre assistance, votre rigueur et vos conseils avisés.

Veillez croire en mon profond respect.

Au Docteur Zohír Laíb

Maitre-assistant au service de médecine légale et préventive / HMRUC –
Constantine. Merci d'avoir accepté d'éclairer le chemin qui a permis
l'aboutissement de ce travail

A, Messieurs

Le professeur Saad Leboukh

Le professeur Mohamed Ykhlef

Le professeur Djaafer Hamia

Le professeur Yacine Joghri

Le docteur Salem Atiaa Alaa Eddine

Le docteur Hicham Ababssa

Le docteur Zakaria Gaba

Je souhaite aussi adresser tous mes remerciements au personnel paramédical
du service d'ophtalmologie de l'HMRU Constantine et en l'occurrence :

Fodil Ariès

Ali Lekhal

Hamza Rouak

Hakim Hazmoune

Zohir Bouhaloufa

Souhila Hadj mekhneche

Yazid Abrane

Fouad Kafi

Fouad Boulfoul

Hocine Azouz

TABLE DES MATIÈRES

I. INTRODUCTION.....	1
II. LES BASES FONDAMENTALES	3
A. RAPPEL ANATOMIQUE	3
1. ANATOMIE DE LA CORNÉE	3
2. ANATOMIE DU CRISTALLIN.....	10
B. BIOMÉTRIE OCULAIRE	13
1. CARACTÉRISTIQUE BIOMÉTRIQUE DE LA CORNÉE	13
2. LES CARACTÉRISTIQUES BIOMÉTRIQUES DU CRISTALLIN.....	13
3. LA LONGUEUR AXIALE DE L'ŒIL	14
C. LA RÉFRACTION DE L'OEIL	14
1. DÉFINITION :	14
2. LE PHÉNOMÈNE D'EMMETROPISATION	15
3. LES TROUBLES DE LA RÉFRACTION	15
III. L'ASTIGMATISME OCULAIRE	18
A. SUPPORT ANATOMIQUE DE L'ASTIGMATISME OCULAIRE	18
1. L'ASTIGMATISME CORNÉEN ANTÉRIEUR.....	18
2. L'ASTIGMATISME CORNÉEN POSTÉRIEUR.....	19
3. L'ASTIGMATISME CRISTALLINIEN	19
4. L'ASTIGMATISME POSTÉRIEUR.....	20
5. L'ASTIGMATISME TOTAL.....	20
B. PRÉVALENCE ET DISTRIBUTION DE L'ASTIGMATISME	20
C. ÉVOLUTION DE L'ASTIGMATISME AVEC L'ÂGE	22
D. CONSÉQUENCES VISUELLES DE L'ASTIGMATISME CORNÉEN	22
E. GESTION DE L'ASTIGMATISME CORNÉEN.....	23
1. EN DEHORS DE LA CHIRURGIE DE LA CATARACTE	23
2. AU COURS DE LA CHIRURGIE DE LA CATARACTE.....	25
IV. LES IMPLANTS TORIQUES	29
A. HISTORIQUE.....	29
B. MATÉRIELS ET FORMES DES IMPLANTS TORIQUES.....	30
1. LE BIOMATÉRIEL DE L'IMPLANT	30

2.LE DIAMÈTRE DE L'IMPLANT	32
3.LA CONCEPTION DES HAPTIQUES.....	32
C. LA SÉLECTION DES PATIENTS	33
D.CALCUL DE LA PUISSANCE DE L'IMPLANT TORIQUE.....	34
1.ÉTUDE DE LA KERATOMETRIE.....	34
2.ÉTUDE DE LA BIOMÉTRIE OCULAIRE.....	40
3.LES FORMULES DE CALCUL.....	45
4.CHOIX DE L'IMPLANT TORIQUE	50
V. LA CHIRURGIE DES IMPLANTS TORIQUES	55
A.LA TECHNIQUE CHIRURGICALE	55
1.LE MARQUAGE PRECHIRURGICAL	55
2.LA PROCÉDURE OPÉRATOIRE	60
B. SOINS ET CONTRÔLES POSTOPÉRATOIRES	72
1.LES SOINS POSTOPÉRATOIRES :	72
2.LES CONTRÔLES POSTOPÉRATOIRES	72
C. LES COMPLICATIONS POSTOPÉRATOIRES	73
1.COMPLICATIONS INHÉRENTES A LA PHACOEMULSIFICATION	73
2.DÉFAUT D'ALIGNEMENT DE L'IMPLANT TORIQUE	73
D.GESTION DE L'ÉCHEC D'UNE IMPLANTATION TORIQUE	77
1.LES CAUSES DE L'ASTIGMATISME RÉSIDUEL	77
2.OPTIONS POUR CORRIGER L'ASTIGMATISME RÉSIDUEL.....	79
3.LE CHOIX DE LA SOLUTION IDÉALE	83
VI. PROTOCOLE D'ÉTUDE.....	85
A.PROBLÉMATIQUE.....	85
B. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	86
1.OBJECTIF PRINCIPAL	86
2.OBJECTIFS SECONDAIRES.....	86
C. MATÉRIEL DE L'ÉTUDE.....	86
1.POPULATION DE L'ÉTUDE.....	86
2.CRITÈRES D'INCLUSION.....	86
3.CRITÈRES DE NON-INCLUSION :	87
4.ÉCHANTILLON D'ÉTUDE.....	87
5.LE MATÉRIEL UTILISE	88

D. MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE.....	95
1. TYPE D'ÉTUDE	95
2. PROTOCOLE DE L'ÉTUDE	95
E. ANALYSE STATISTIQUE	109
VII. RÉSULTATS.....	110
A. CARACTÉRISTIQUES DESCRIPTIVES DE L'ÉCHANTILLON	110
1. EFFECTIF.....	110
2. SEXE	111
3. AGE	111
4. PATHOLOGIES ASSOCIÉES.....	112
B. ANALYSE DES DONNÉES DE L'EXAMEN PRÉOPÉRATOIRE	113
1. ÉTUDE DE L'ACUITÉ VISUELLE.....	113
2. ÉTUDE DES DONNÉES RÉFRACTIVES PRÉOPÉRATOIRES	114
3. ANALYSE DES DONNÉES DE LA BIOMICROSCOPIE.....	118
4. ÉTUDE DES DONNÉES TOPOGRAPHIQUES	119
5. ÉTUDE DES DONNÉES BIOMÉTRIQUES	122
6. ÉTUDE DES DONNÉES DE LA MICROSCOPIE SPÉCULAIRE.....	124
7. ÉTUDE DES PARAMÈTRES DES IMPLANTS TORIQUES UTILISÉS.....	125
C. ANALYSE DES PARAMÈTRES DU TRAITEMENT CHIRURGICAL.....	127
1. La taille du capsulorhéxis.....	127
D. ANALYSE DES RÉSULTATS POSTOPÉRATOIRES.....	129
1. L'ACUITÉ VISUELLE DE LOIN SANS CORRECTION (AVSC)	129
2. L'ACUITÉ VISUELLE DE LOIN AVEC CORRECTION (AVAC).....	131
3. ÉTUDE DE L'ÉQUIVALENT SPHÉRIQUE RÉSIDUEL	133
4. ÉTUDE DE L'ASTIGMATISME TOTAL RÉSIDUEL.....	135
5. ÉTUDE DE LA ROTATION DES IMPLANTS TORIQUES	138
6. ÉTUDE DES COMPLICATIONS POSTOPÉRATOIRES.....	143
VIII. DISCUSSION	145
A. DONNÉES DÉMOGRAPHIQUES ET ANAMNESTIQUES :.....	145
B. LES PARAMÈTRES DU BILAN PRÉOPÉRATOIRE :.....	147
1. L'Acuité visuelle préopératoire	147
2. Les paramètres de la biomicroscopie.....	148
3. La réfraction et la kératométrie préopératoires	148

4.L'astigmatisme cornéen postérieur.....	152
5.La puissance sphérique de l'implant :	153
6.Le choix de l'implant torique utilisé	156
C. LES PARAMÈTRES DE LA CHIRURGIE	159
1.Le marquage limbique de l'axe de référence :	159
2.Le marquage de l'axe d'alignement de l'implant torique	160
3.L'incision cornéenne :	161
4.Le capsulorhéxis	161
5.L'alignement de l'implant torique	162
D. LES PARAMÈTRES POSTOPÉRATOIRES	162
1.L'acuité visuelle sans et avec correction	162
2.Les données réfractives.....	164
3.La rotation de l'implant (R).....	169
E. LES COMPLICATIONS	173
IX. ÉVALUATION FINANCIÈRE ET RECOMMANDATIONS.....	174
A.ÉVALUATION FINANCIÈRE	174
B. RECOMMANDATIONS	175
1.Recommandations pour la sélection des patients :	175
2.Recommandations pour le calcul de l'implant torique :	175
3.Recommandations pour le choix de l'implant torique.....	176
4.Recommandations lors de la chirurgie	176
5.En cas de rotation importante supérieure à 10 °	176
X. CONCLUSION.....	177
XI. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	189

Liste des abréviations

AV : Acuité visuelle

Co : correction optique

AVSC : Acuité visuelle sans Correction

AVAC : Acuité visuelle avec Correction

MAVC : meilleure acuité visuelle corrigée

Log MAR: Logarithm the Minimum Angel of Résolution

ET : écart type

SR : sphère résiduelle

AR : astigmatisme résiduel

R : rotation de l'implant

Obser : observation, nombre de malade observé

D = Dioptrie

LAF : lampe à fente

PIO : pression intra oculaire

BUT : break up time, le temps de rupture du film lacrymal

LIO : lentille Intra Oculaire

PKE : phacoémulsification

PCA : profondeur de la chambre antérieure

LA : Longueur axiale

EC : épaisseur cristallinienne

ECC : épaisseur de la cornée centrale

PS : Taille de la pupille

BAB : distance de blanc à blanc

ELP : Effective Lens Position ou position effective de l'implant

AIC: Astigmatisme induit chirurgicalement (Surgically Induced Astigmatism)

PKR : photo-kératectomie réfractive

OCT: Optical Coherence Tomography

LASIK: Laser In Situ Keratomileusis

PMMA: PolyMethyl MethAcrylate

YAG : Yttrium Aluminium Garnet

HMRU : hôpital militaire régional universitaire

I. INTRODUCTION

La cataracte correspond à l'opacification partielle ou complète du cristallin responsable d'une diminution de l'acuité visuelle, la plus fréquente étant la cataracte liée à l'âge dite sénile. La cataracte pose à la fois un fardeau socioéconomique important et un problème de santé publique, particulièrement dans les pays en voie de développement, sachant qu'elle cause 47,8 % de cas de cécité réversible dans le monde [1-3].

En Algérie, s'appuyant sur les résultats de l'enquête nationale réalisée en 2008 pour déterminer le taux de prévalence des principales pathologies oculaires cécitantes (cataracte, glaucome, rétinopathie diabétique, dégénérescence maculaire liée à l'âge, causes cornéennes), la cataracte représente la première cause de cécité évitable en Algérie, son taux de prévalence est de 13,8 % soit 1,2 à 1,3 million de personnes âgées de 40 ans et plus [4].

L'extraction chirurgicale de la cataracte reste la seule thérapie possible. La chirurgie de la cataracte par phacoémulsification est l'opération, actuellement, la plus pratiquée dans le monde avec plus de 700 000 opérations réalisées annuellement en France et plus de 2 500 000 aux États-Unis [2, 3, 5-7]. Cette chirurgie permet aux patients de récupérer leur acuité visuelle (AV) maximale en l'absence des pathologies ophtalmologiques associées.

Actuellement la chirurgie de la cataracte s'apparente de plus en plus à la chirurgie réfractive. Ce concept de cataracte réfractive a été initié en 1949 avec l'apparition des premiers implants intraoculaires et n'a cessé d'évoluer [5, 6, 8, 9]. L'objectif d'obtenir une réfraction postopératoire la plus proche de l'emmétropie est devenu une priorité pour le chirurgien et une demande récurrente chez les patients. Cette optimisation visuelle ne se conçoit que par la correction en même temps et au même titre de l'amétropie sphérique et de l'astigmatisme cornéen préexistant lors de la chirurgie de cataracte [5, 9].

L'astigmatisme est une amétropie fréquente qui peut pénaliser les performances visuelles des patients opérés de cataracte [10, 11], cette composante cylindrique de la réfraction fait, désormais, l'objet d'une attention toute particulière, tant sur le plan diagnostique que thérapeutique et sa prise en charge a considérablement évolué ces dernières années[12].

Différents procédés de correction de cet astigmatisme ont été décrits dans la littérature [13, 14]. L'efficacité des différentes techniques à réduire cet astigmatisme a été sujette à de nombreuses publications [15-26], certaines études ont comparé les techniques entre elles, alors que d'autres ont évalué l'efficacité de combiner différentes procédures, mais toutes ces dernières convergent et démontrent qu'un bon résultat réfractif en postopératoire impose un astigmatisme résiduel inférieur ou égal à 0,75 dioptrie [2, 3, 5, 11, 14].

Parmi toutes ces options thérapeutiques proposées, l'implantation torique semble s'imposer comme étant la solution la plus efficace et la plus reproductible actuellement mise à notre disposition pour la correction de l'astigmatisme cornéen [20, 21, 23, 25, 27]. Cependant, elle implique plusieurs paramètres à respecter dont une analyse rigoureuse de l'astigmatisme oculaire lors du bilan préopératoire [28, 29], un calcul optimal de l'implant torique et un alignement précis de ce dernier dans le sac capsulaire [30-35].

Le calcul de l'implant torique nécessite un passage obligé par différentes étapes et qui commence par la détermination de sa puissance sphéro-cylindrique. Cette dernière est très dépendante de la kératométrie [36, 37], de la longueur axiale de l'œil [38, 39], de la profondeur de la chambre antérieure [40] et des formules de calculs utilisées par les différents logiciels [41]. L'effet de l'implant torique sur la réfraction finale est lié principalement à la distance séparant l'implant vis-à-vis de la cornée et ce détail concerne la position effective de l'implant connu sous le terme ELP (Effective Lens Position) [42-44].

L'implant torique est positionné dans le sac capsulaire selon un axe bien précis grâce à des repères existant sur celui-ci. Le résultat réfractif est très dépendant du marquage des points de références cornéennes, du marquage précis de l'axe de l'astigmatisme cornéen et du bon positionnement de l'implant pendant la chirurgie, mais aussi essentiellement de la stabilité postopératoire de l'implant dans le sac capsulaire[45].

La rotation de l'implant torique en postopératoire est sous l'influence de la taille du capsulorhêxis [46], la longueur axiale de l'œil, le diamètre et le matériel de l'implant ainsi que de la conception de ses haptiques [47, 48]. Une erreur d'alignement de 10° diminue d'un tiers l'effet d'implant torique et une erreur d'alignement de ce dernier supérieur à 30° est à redouter en postopératoire [49].

Le but de l'étude clinique menée dans le cadre de notre projet de thèse est d'analyser les résultats visuels et réfractifs postopératoires des implants toriques afin d'évaluer l'efficacité et la sécurité de ces implants dans la gestion de l'astigmatisme cornéen préexistant dans le même temps opératoire de la cataracte.

II. LES BASES FONDAMENTALES

A. RAPPEL ANATOMIQUE

Ce rappel concerne uniquement les éléments anatomiques en relation directe avec notre travail, à savoir l'anatomie de la cornée et celle du cristallin.

1. ANATOMIE DE LA CORNÉE

La cornée et la sclérotique constituent l'enveloppe externe du globe oculaire :

1.1 ANATOMIE MACROSCOPIQUE

La cornée est le principal élément réfractif de l'œil. Elle couvre environ un cinquième de sa circonférence. Elle est avasculaire, transparente et enchâssée dans l'orifice antérieur de la sclérotique. La cornée répond en avant au film lacrymal et en arrière à la chambre antérieure. À la limite avec la sclère existe le limbe, qui est un réservoir de cellules souches permettant la bonne cicatrisation de l'épithélium cornéen.

Le diamètre horizontal cornéen varie entre 11 et 12 mm avec une moyenne de 11.7 mm, et un diamètre vertical plus petit qui varie de 9 à 11 mm avec une moyenne de 10,6 mm. En revanche, en arrière, la cornée est à peu près circulaire et son diamètre est de 13 mm dans toutes les directions. Le diamètre cornéen varie selon les individus, le sexe et l'âge ; il est compris entre 11.04 et 12.50 chez les hommes et entre 10.7 et 12.58 chez les femmes[50].

L'épaisseur de la cornée augmente du centre qui est de 0.52 mm en moyenne, vers la périphérie pour atteindre 0.7 mm au limbe.

1.2 ANATOMIE MICROSCOPIQUE

La cornée est faite de composants cellulaires et acellulaires. Les composants cellulaires comprennent les cellules épithéliales, les kératocytes et les cellules endothéliales. Les composants acellulaires comprennent le collagène et des glycosaminoglycanes. La cornée est classiquement décrite en cinq couches, alors que son rôle réfractif impose d'inclure le film lacrymal dans sa structure normale (cf. figure 1).

Récemment, avec le développement des chirurgies lamellaires, une nouvelle couche acellulaire dans la cornée antérieure prédescemetique a attiré l'attention de Dr Doua. La couche de Doua reste jusqu'à présent un sujet de débat entre les histologistes [51].

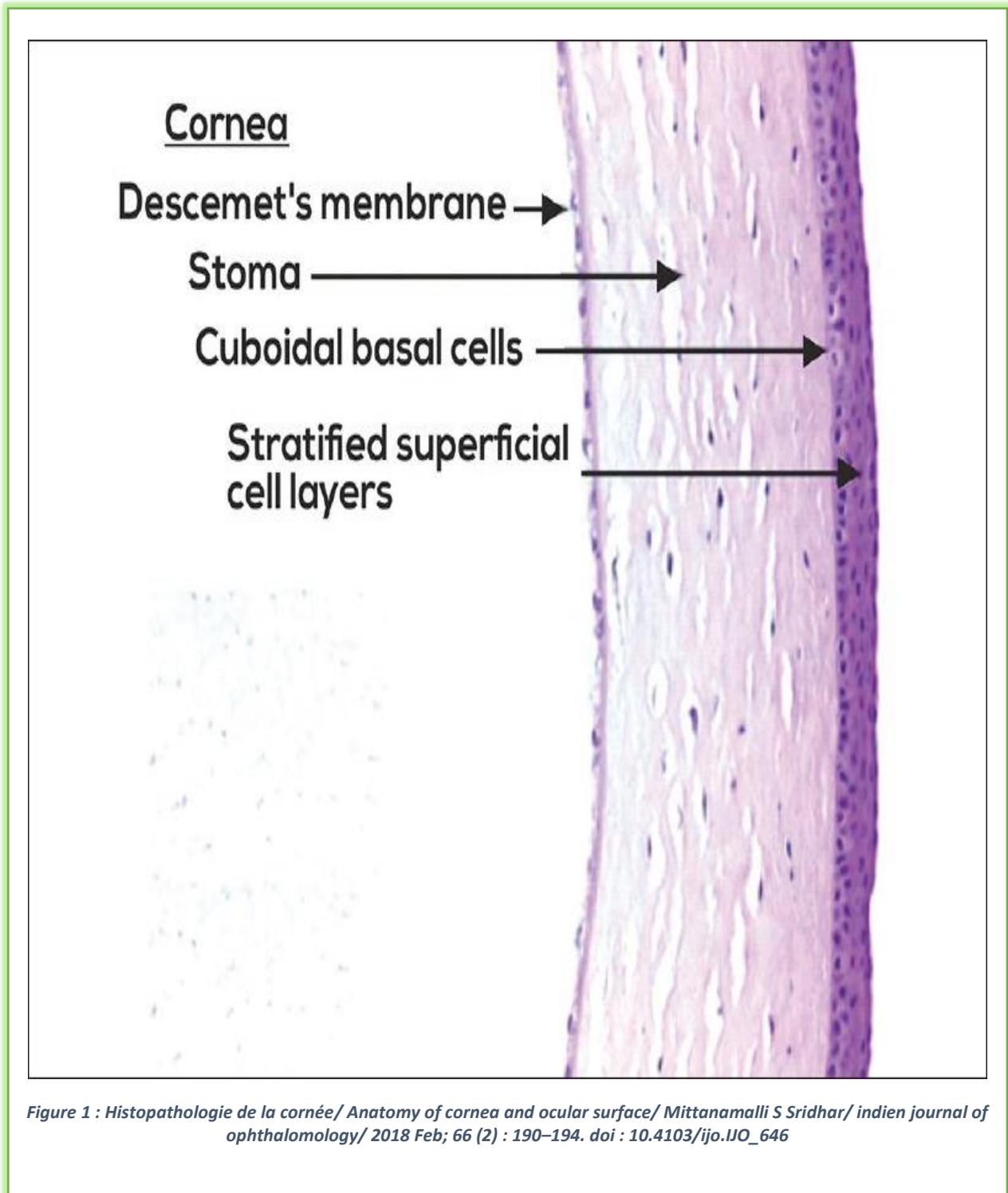


Figure 1 : Histopathologie de la cornée/ Anatomy of cornea and ocular surface/ Mittanamalli S Sridhar/ indien journal of ophthalmology/ 2018 Feb; 66 (2) : 190–194. doi : 10.4103/ijo.IJO_646

1.2.1 LE FILM LACRYMAL PRE-CORNEEN

Il est essentiel à l'épithélium cornéen avec lequel il partage ses fonctions optiques et métaboliques. Le film lacrymal présente une épaisseur d'environ 7 μm et un volume de $6.5 \pm 0.3 \mu\text{l}$. Il est composé de trois couches :

- Une phase muqueuse profonde qui dépend des cellules caliciformes conjonctivales. Elle permet l'adhésion des larmes sur les cellules épithéliales de la surface oculaire qui participe ainsi à la « stabilité lacrymale ».
- Une phase intermédiaire aqueuse sous la dépendance des glandes lacrymales. Elle contient des électrolytes, des protéines anti-infectieuses, des cytokines et facteurs de croissance et des cellules immunocompétentes.
- Une phase superficielle réalisant un film lipidique qui permet de retarder l'évaporation du film lacrymal et qui est sécrétée par les glandes de Meibomius[50].

1.2.2 L'ÉPITHÉLIUM CORNÉEN

L'épithélium cornéen est une structure tissulaire en continuité avec l'épithélium conjonctival. Son épaisseur est de 50 μm à 60 μm , soit 10 % de l'épaisseur cornéenne totale.

L'épithélium cornéen est pavimenteux stratifié non kératinisé. Il comprend cinq à sept couches cellulaires dans sa partie centrale et huit à dix dans sa partie périphérique. Il existe trois types de cellules épithéliales : les cellules superficielles, les cellules intermédiaires et les cellules basales qui reposent sur la membrane basale (cf. figure 2).

Les cellules de l'épithélium cornéen ont une durée de vie de 7 à 10 jours avant l'involution, l'apoptose et la desquamation. La présence de fortes concentrations d'enzyme intra cytoplasmique cristalline peut jouer un rôle important dans le maintien de la transparence optique [50].

L'épithélium et le film lacrymal sus-jacent ont une relation symbiotique, ils partagent un rôle optique et métabolique et interagissent étroitement pour permettre l'étalement hydrophile du film lacrymal à chaque clignement des paupières.

1.2.3 LA COUCHE DE BOWMAN

La membrane de BOWMAN est une condensation de collagène et de protéoglycanes. Il s'agit d'une structure de 12 μ en moyenne et qui se compose de collagène de types I et V ayant un agencement anarchique, ainsi que de protéoglycanes.

La membrane de BOWMAN se situe juste en avant du stroma et elle n'est pas une vraie membrane (cf. figure 2). En fait, c'est le condensat acellulaire de la partie la plus antérieure du stroma, excepté quelques expansions des cellules de Schwann entourant des terminaisons nerveuses qui rejoignent l'épithélium. Cette couche lisse aide la cornée à conserver sa forme, mais ne se régénère pas et peut entraîner une cicatrice en cas de lésions[52].

1.2.4 LE STROMA CORNÉEN

Le stroma cornéen est la partie la plus épaisse de la cornée (environ 500 μ m). Il est composé de lamelles de collagène entre lesquelles s'intercalent des kératocytes cornéens (ou fibrocytes) et de la substance fondamentale. On retrouve également des cellules de Schwann, des lymphocytes B et T, des cellules mononucléées et des cellules de Langerhans[52].

Le stroma est responsable de la majorité des caractéristiques de la cornée notamment de sa solidité, de sa stabilité, de sa forme et de sa transparence.

□ LES LAMELLES DE COLLAGÈNE :

Le stroma cornéen est composé d'environ 200 à 250 lamelles de collagène apposées les unes sur les autres. Ces lamelles de collagène sont parallèles entre elles et parallèles à la surface cornéenne. Cette organisation lamellaire du stroma donne une force de tension uniforme qui résiste à la pression intraoculaire et permet le maintien d'une courbure cornéenne appropriée aux fonctions optiques et biomécanique de l'œil.

Chaque lamelle est elle-même composée de fibrilles de collagène, chacune de ces fibrilles de collagène est l'élément de base unitaire du stroma cornéen. Elles résultent de l'assemblage de protofibrilles parallèles entre elles et surtout parfaitement équidistantes entre elles, assurant la transparence de la cornée. Elles sont principalement constituées de collagène de type I. Les collagènes de type III, V et VI sont également présents dans le stroma en plus petite quantité[53].

❑ LA SUBSTANCE FONDAMENTALE :

La substance fondamentale occupe tout l'espace compris entre les fibres de collagène. Elle assure la cohésion des fibres de collagène et est responsable de leur espacement strictement ordonné, ce qui joue un rôle fondamental dans la transparence cornéenne[53].

❑ LES KERATOCYTES OU FIBROCYTES:

Les kératocytes occupent environ 2 % à 3 % du volume stromal total. Elles sont disposées parallèlement à la surface de la cornée et aux lamelles de collagène. Les kératocytes possèdent de longues expansions cytoplasmiques irradiant dans de multiples directions et entrant en contact avec les expansions des kératocytes adjacents par l'intermédiaire de jonctions gap et tigh. Leurs propriétés fondamentales sont la biosynthèse de la matrice extracellulaire. Lors de traumatismes, les kératocytes s'activent et migrent et ils peuvent alors se transformer en fibroblastes et sont responsables des phénomènes de cicatrisation[50].

1.2.5 LA MEMBRANE DE DESCOMET :

C'est une membrane élastique très résistante qui sépare le stroma de l'endothélium cornéen (cf. figure 3). C'est une membrane collagénique acellulaire. Elle a une épaisseur d'environ 4 μm à la naissance et 12 μm à l'âge adulte avec une moyenne de 10 μm . Son épaisseur augmente dans certaines pathologies et elle est perméable à l'eau. La membrane de Descemet est fermement attachée à l'endothélium par les hémidesmosomes [54].

1.2.6 L'ENDOTHÉLIUM CORNÉEN :

L'endothélium cornéen se situe sur la face postérieure de la cornée, de 5 μm d'épaisseur et il est constitué d'une monocouche de cellules. Les cellules endothéliales sont hexagonales et reposent sur la membrane de Descemet. Elles sont unies entre elles par des jonctions serrées à la partie apicale et par des jonctions communicantes au niveau des membranes latérales.

Les cellules endothéliales jouent un rôle important pour aider à maintenir l'état déshydraté relatif de la cornée. La pompe à électrolyte des cellules endothéliales crée un gradient osmotique qui tire le fluide du tissu stromale vers l'humeur aqueuse. L'endothélium n'est pas régénéré lorsqu'il est endommagé, à la naissance y'a environ 3500 cellules/ mm^2 et qui baisse à environ 2500 cellules mm^2 à la huitième décennie de vie et lorsque des cellules sont endommagées, les cellules endothéliales adjacentes changent de forme et s'agrandissent pour essayer de maintenir l'état de déturgescence[54].

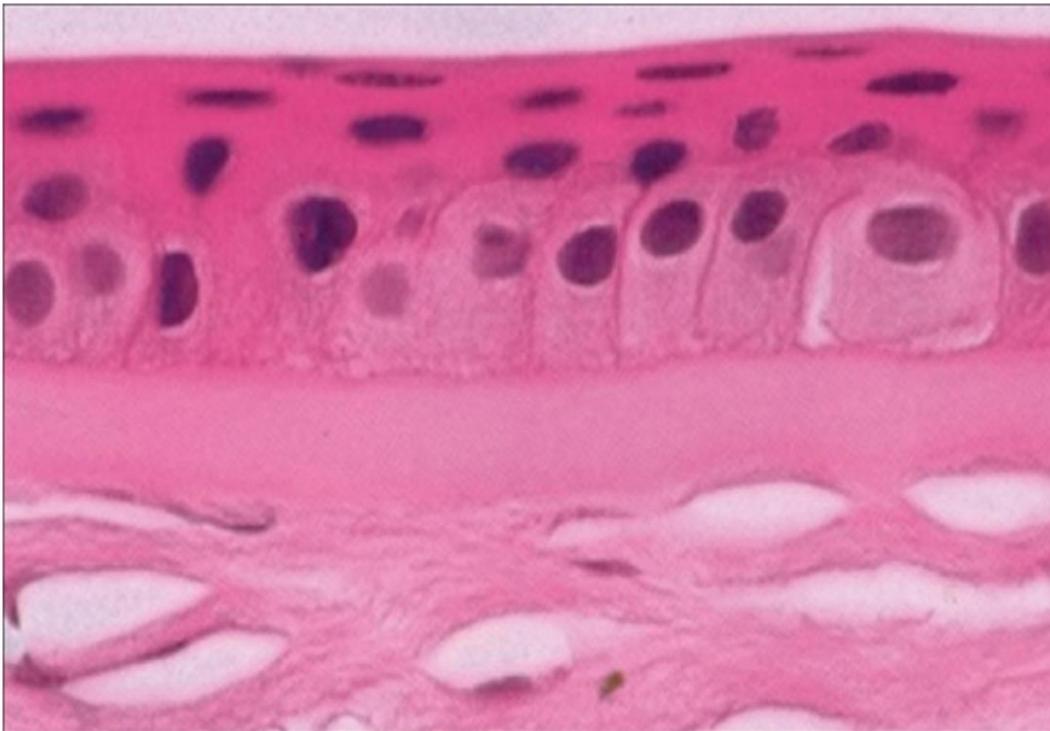


Figure 2: Histopathologie de l'épithélium cornéen et de la membrane de Bowman/Anatomy of cornea and ocular surface/Mittanamalli S Sridhar/indien journal of ophthalmology/2018 Feb; 66 (2) : 190–194. doi : 104 103/ijo_646_17

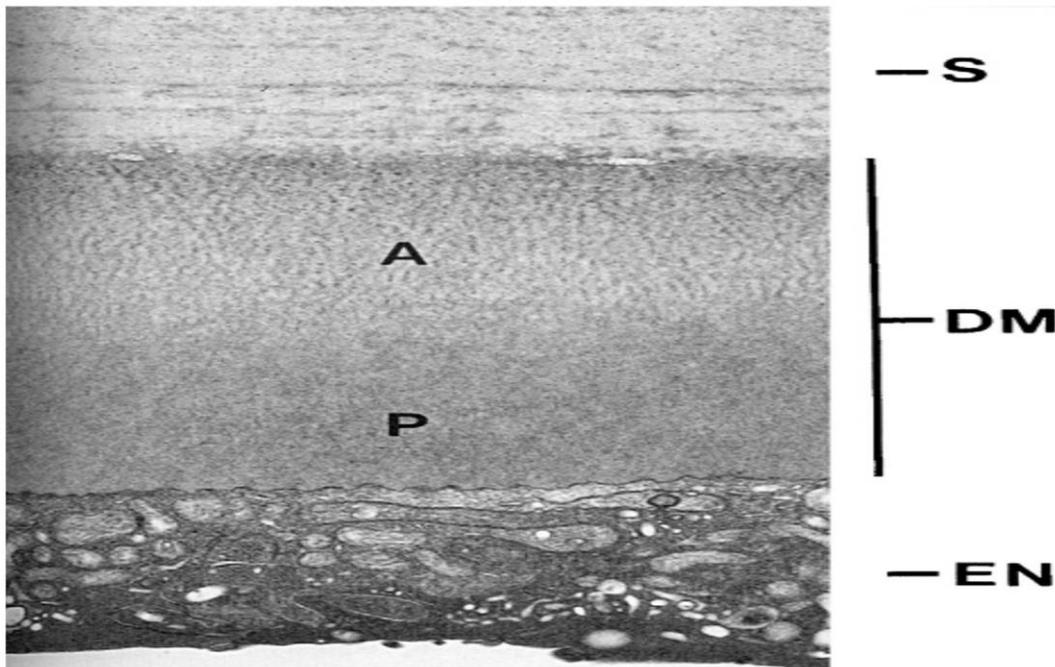


Figure 3 : iconographie illustrant la membrane de Descemet (DM) située entre la face postérieure du stroma cornéen (S) et l'endothélium (EN). La région antérieure « en bande » (A) est sécrétée par les cellules endothéliales au cours du développement fœtal, et la région postérieure « amorphe » (P) est sécrétée après la naissance/ANATOMY AND PHYSIOLOGY OF THE CORNEA/Derek W. DelMonte, MD, Terry Kim, MD/J CATARACT REFRACT SURG — VOL 37, MARCH 2011 ; 37:588–598

1.3 LA TRANSPARENCE CORNÉENNE

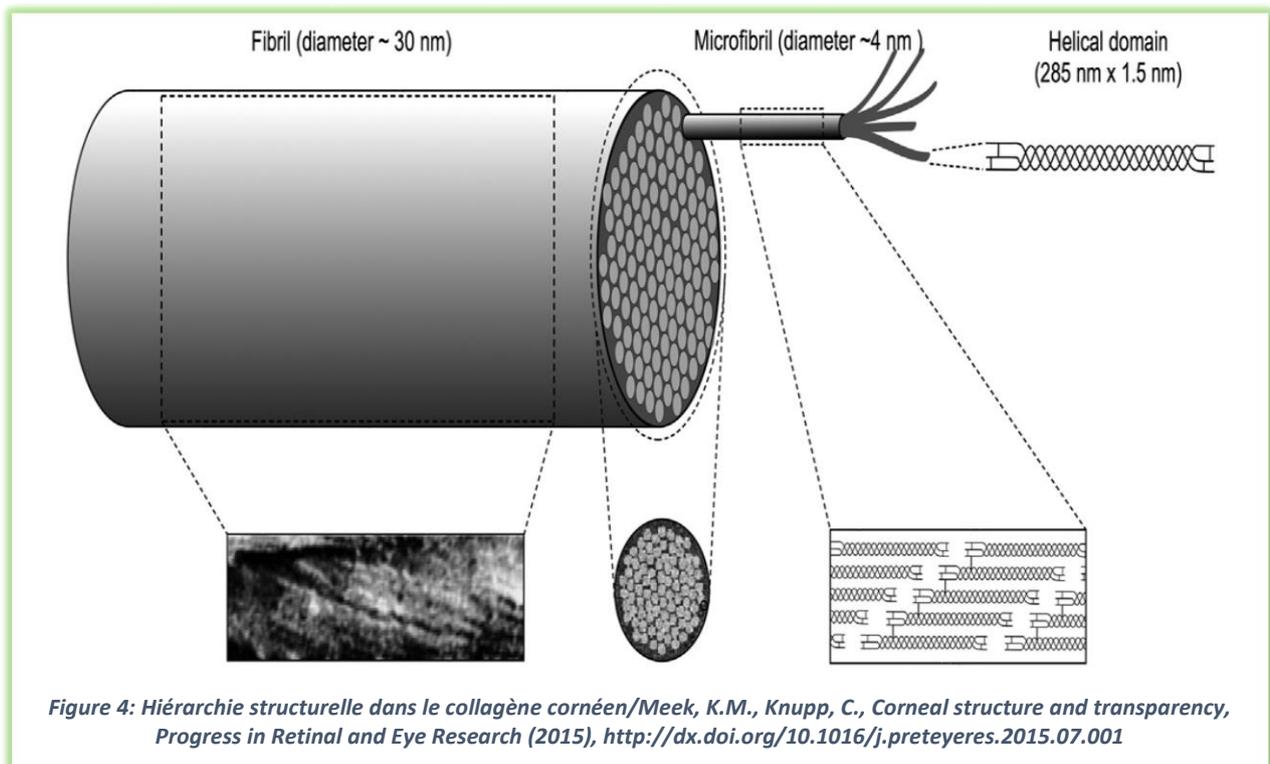
La transparence de la cornée est due à des facteurs anatomiques et biochimiques :

1.3.1 LES FACTEURS ANATOMIQUES :

Essentiellement trois paramètres sont incriminés dans la transparence cornéenne : la régularité de la disposition des cellules épithéliales, l'absence de vaisseaux sanguins et la finesse et le parallélisme des fibres de collagène (cf. Figure 4) [55].

1.3.2 LES FACTEURS BIOCHIMIQUES :

La cornée à l'état normal, maintient une hydratation constante et lutte contre l'imbibition hydrique. L'action de l'épithélium est minime, il réduit l'évaporation et diminue l'absorption des fluides à partir des larmes. L'endothélium, par contre, joue un rôle très important, il fonctionne comme une pompe active grâce à la pompe Na^+/K^+ ATPase. Cette dernière expulse le Na^+ dans l'humeur aqueuse et libère le K^+ dans la cellule endothéliale, ce qui crée un gradient osmotique assurant la déturgescence du stroma puisque l'eau suit les mouvements du Na^+ [52, 54]. Les mouvements ioniques génèrent aussi une différence de potentiel entre le milieu intra et extracellulaire endothélial. Ceux de l'ion bicarbonate sont responsables de la polarisation négative de la face postérieure de l'endothélium. Ce qui intervient aussi dans le phénomène de déturgescence[55].



2. ANATOMIE DU CRISTALLIN

Le pouvoir réfractif de l'œil humain est assuré par la cornée et le cristallin. La cornée possède un pouvoir de réfraction plus important, mais qui est statique. Par contre, le cristallin est une structure unique qui repose sur un arrangement extrêmement complexe de cellules hautement spécialisées pour produire un gradient d'indice de réfraction permettant une mise au point dynamique remarquable d'une image avec un minimum d'aberrations sphérique ou chromatique.

2.1 ANATOMIE MACROSCOPIQUE

Le cristallin est une lentille biconvexe transparente placée entre l'iris et le vitré. Il est maintenu en place par une série de fibres qui constituent la zonule de zinn. Sa propriété essentielle est sa plasticité qui lui permet de modifier ses rayons de courbure et son indice de réfraction permettant ainsi la mise au point sur la rétine. C'est un organe avasculaire et non innervé ; sa nutrition est assurée par l'humeur aqueuse [56]. Le cristallin est constitué de trois éléments (cf. Figure 5) :

2.1.1 LA CAPSULE :

C'est une lame basale qui entoure le cristallin et constitue ainsi une barrière entre les fibres du cristallin et l'humeur aqueuse en avant et le vitré en arrière. Son épaisseur est de 13 μm en avant et de 4 μm en arrière.

2.1.2 L'ÉPITHÉLIUM :

Il est situé uniquement sur la face antérieure du cristallin. Il est unistratifié et sous-jacent à la capsule s'étendant jusqu'à l'équateur. Quatre zones sont distinctes ; la zone épithéliale centrale, la zone épithéliale distale, la zone mitotique et la zone de protofibres où les cellules s'éloignent de l'équateur en perdant progressivement leur noyau.

2.1.3 LES FIBRES CRISTALLINIENNES :

La substance cristallinienne est composée de fibres cristalliniennes et de ciment interstitiel. Les fibres cristallines se juxtaposent au fur et à mesure de leur formation. Au niveau du noyau cristallinien, l'extrémité des fibres s'allonge de façon à former les sutures en Y antérieurs et postérieurs. La géométrie diffère au niveau du cortex mature, avec une forme d'étoile à neuf branches.

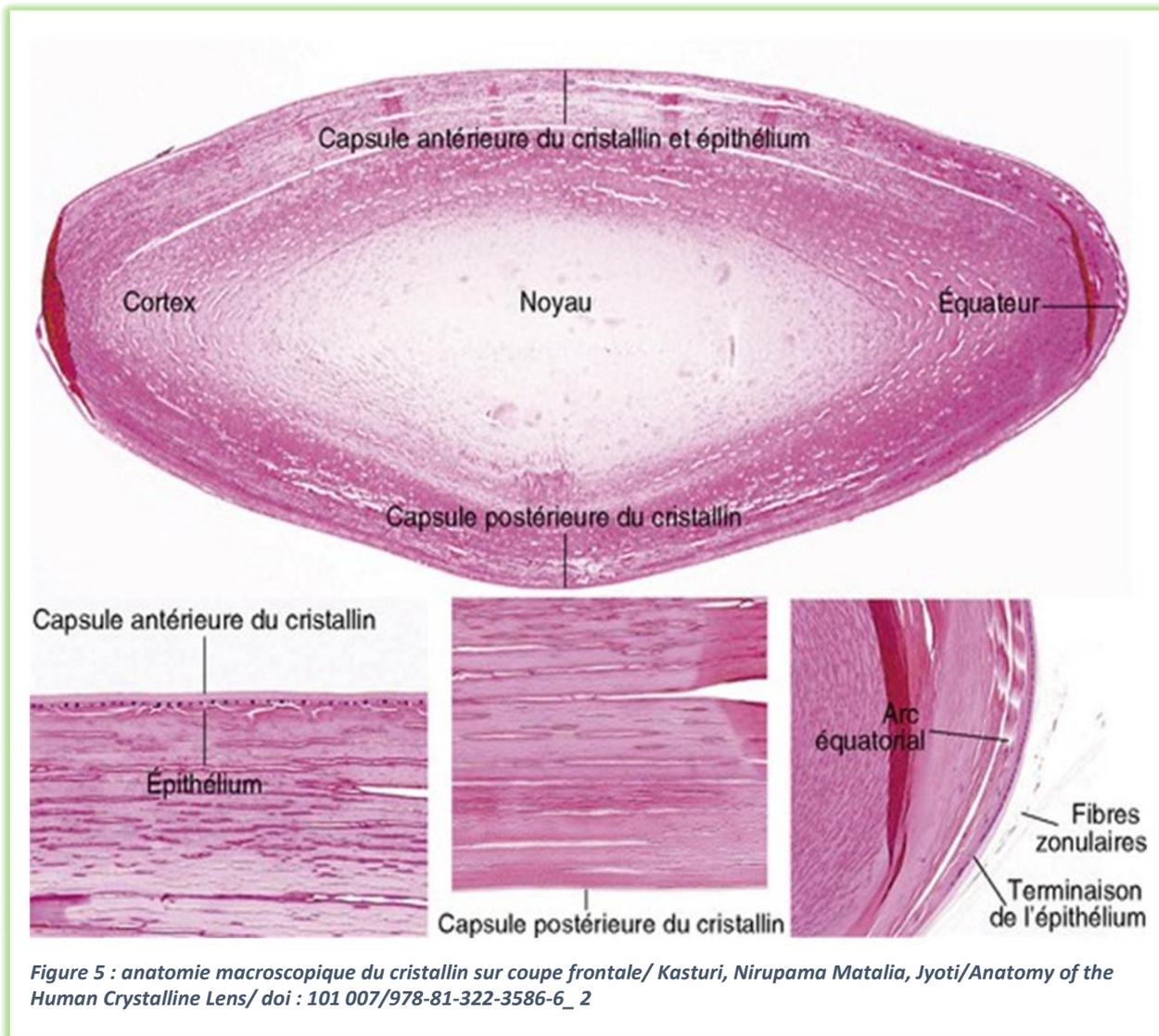


Figure 5 : anatomie macroscopique du cristallin sur coupe frontale/ Kasturi, Nirupama Matalia, Jyoti/Anatomy of the Human Crystalline Lens/ doi : 101 007/978-81-322-3586-6_2

2.2 ANATOMIE MICROSCOPIQUE

À l'échelle histologique, le cristallin est constitué d'une capsule périphérique, d'un épithélium situé sous la capsule au niveau de la face antérieure et des fibres cristalliniennes qui forment la masse essentielle

2.2.1 LA CAPSULE CRISTALLINIENNE :

La capsule cristallinienne est une membrane rétractile, translucide et présente un aspect homogène anhiste sans fibres élastiques en microscopie optique. En microscopie électronique et au fort grossissement, elle présente une structure lamellaire faite de fibrilles traduisant la stratification de plusieurs membranes basales. Elle est composée de collagène de type IV et de glycosaminoglycanes sulfatés. Cette structure est perméable à l'eau, aux ions, aux petites molécules et aux protéines. En

revanche, elle constitue une barrière pour les molécules de tailles égale ou supérieure à celle de l'albumine[57].

La capsule est une membrane basale ininterrompue enfermant complètement le cristallin et le protégeant des infections. Bien que sa composition soit similaire à celle des autres membranes basales, ses caractéristiques physiques et la variété de ses fonctions la distinguent. En fait, la capsule fournit des éléments essentiels qui améliorent la survie des cellules cristalliniennes et favorisent la migration et la différenciation des cellules épithéliales et constitue un réservoir de facteurs de croissance séquestrés qui, après leur libération et leur activation, favorisent la différenciation des cellules du cristallin. Et étant donné que le cristallin est avasculaire, cette capsule cristallinienne permet également l'échange passif de substrats métaboliques et de déchets, tout en filtrant sélectivement des molécules en fonction de leur taille et de leur charge [57].

2.2.2 L'ÉPITHÉLIUM :

L'épithélium est situé au niveau de la face antérieure du cristallin, il s'agit d'un épithélium simple. Les cellules présentent une forme aplatie dans la zone centrale et au fur et à mesure qu'on s'approche de la région équatoriale les cellules s'allongent en hauteur et diminuent en largeur. Leur nombre total est de 760 000 cellules chez l'adulte. Quelques mitoses peuvent survenir dans la région centrale de l'épithélium, mais elles sont observées en grand nombre dans la région équatoriale, dite zone germinative. Dans la région équatoriale, les cellules pivotent de 180 ° pour prendre une direction antéro-postérieure puis s'allongent pour constituer les fibres cristalliniennes[58].

2.2.3 LES FIBRES CRISTALLINIENNES

Les fibres cristalliniennes constituent l'essentiel de la masse cristallinienne. En coupe transversale, elles présentent une forme hexagonale aplatie, mesurent 8 à 12 µm de largeur sur 2 à 5 µm d'épaisseur. Elles mesurent 7 à 10 mm de long et décrivent une ogive qui contourne l'équateur. Elles s'engrènent latéralement avec leurs voisines. Le cytoplasme, examiné en microscopie électronique, montre une quantité modeste d'organites. En revanche, les microtubules sont nombreux avec une orientation parallèle au grand axe de la cellule. Le cytosquelette des fibres comporte des filaments d'actine et de vimentine[58].

Au cours de la différenciation des cellules épithéliales en fibres cristalliniennes, des protéines spécifiques ou cristallines sont synthétisées et s'accumulent dans leur cytoplasme. Ces cristallines, représentent 90 % des protéines cristalliniennes et augmentent l'indice de réfraction du cristallin.

B. BIOMÉTRIE OCULAIRE

1. CARACTÉRISTIQUE BIOMÉTRIQUE DE LA CORNÉE

1.1 LES RAYONS DE COURBURE :

Le diamètre cornéen est variable, il est en moyenne de 11 à 12 mm horizontalement pour 9 à 11 mm verticalement, la cornée est asphérique c'est-à-dire que son rayon de courbure varie du centre vers la périphérie et elle est physiologiquement prolate (augmentation du rayon de courbure en périphérie)[50].

1.2 L'INDICE :

Le dioptré cornéen antérieur est constitué de 2 interfaces successives : air (indice de réfraction= 1 000) \hat{R} film lacrymal (1.336), puis l'interface film lacrymal (1.336) cornée (1.376). Le dioptré cornéen postérieur est constitué par l'interface cornée (1.376) humeur aqueuse (1.336) avec un pouvoir réfractif plus faible, car la différence d'indice entre les 2 milieux est faible.

1.3 LA PUISSANCE :

Le pouvoir réfractif de la face antérieure cornéenne correspond à la somme de ces 2 interfaces avec une moyenne de 48 D. Le pouvoir réfractif de la face postérieure cornéenne est plus faible avec une moyenne de - 5 D, car la différence d'indice entre les 2 milieux est faible. La puissance cornéenne totale est donc la somme de ces deux dioptrés, elle est de 43 D en moyenne et représente les 2/3 du pouvoir réfractif de l'œil [52, 59].

2. LES CARACTÉRISTIQUES BIOMÉTRIQUES DU CRISTALLIN

2.1 LES RAYONS DE COURBURE :

Au repos, le rayon de courbure antérieur est de 10 mm. Celui de la face postérieure est de 6 mm ; cette face présente souvent un astigmatisme de 0.75 dioptrie qui compense celui de la cornée [56].

2.2 L'INDICE :

L'indice de cristallin varie avec l'état d'accommodation et avec l'âge ; il est égal à 1.42 et augmente à mesure que les fibres vieillissent.

2.3 LA PUISSANCE :

Le pouvoir réfractif du cristallin est lié aux rayons de courbure de ces 2 faces et a son indice de réfraction. La puissance du cristallin est d'environ 22 dioptries. La distance séparant la face antérieure du cristallin de la face postérieure de la cornée est de 4 à 5 mm et représente la profondeur de la chambre antérieure (PCA).

3. LA LONGUEUR AXIALE DE L'ŒIL

La longueur axiale de l'œil est réduite à la naissance ; elle est de 16.5 à 18 mm chez le nouveau-né et de 18.5 mm chez le nourrisson de 6 mois. Elle augmente progressivement pour atteindre de 22.5 à 23 mm chez l'enfant vers l'âge de 3 ans. Chez l'adulte, la longueur axiale de l'œil est de 24 mm, cette longueur est atteinte vers l'âge de 13 ans. Il est important de signaler qu'une différence de 1 mm de longueur axiale induit environ 3 dioptries d'amétropie en plus ou en moins [13].

C. LA RÉFRACTION DE L'ŒIL

L'œil est l'organe sensoriel responsable de la vision. Les rayons lumineux venant de l'extérieur sont réceptionnés au niveau des photorécepteurs de la rétine. Ensuite, l'œil transmet ces informations au cortex occipital à travers les voies visuelles permettant l'interprétation des informations.

1. DEFINITION :

La lumière se propage en ligne droite dans l'espace et lorsqu'elle rencontre une surface séparant deux milieux transparents d'indice différent, sa direction se modifie : ce phénomène de déviation est appelé réfraction et la surface de transition est appelée dioptre.

La réfraction de l'œil désigne le pouvoir réfractif global (**D**) de l'ensemble des dioptres qui se succèdent dans l'œil, de la surface antérieure de la cornée jusqu'à la rétine. **D** est donné par la formule suivante :

$$D = (n' - n)/r$$

D : est le pouvoir réfractif de la surface de transition (en dioptries)

n et **n'** : sont les indices de réfraction des milieux avant et après la surface de transition

r : est le rayon de la surface de transition en mètre

2. LE PHÉNOMÈNE D'EMMETROPISATION

L'œil au cours de la croissance va se modifier pour permettre la perception d'images nettes sur la rétine. Cette mise au point est conditionnée par l'évolution physiologique de trois éléments : la longueur axiale de l'œil, le pouvoir réfractif de la cornée et le pouvoir réfractif du cristallin.

Ces modifications vont évoluer de façon très rapide de la naissance à l'âge de 3 ans et bien plus progressivement à partir de cet âge. Le terme « d'emmetropisation » traduit donc le phénomène qui conduit l'œil au statut d'emmétropie. Il est le résultat d'un processus à la fois actif et passif[60].

2.1 LE PROCESSUS PASSIF :

Ce processus passif d'emmetropisation consiste-en : (1) la croissance proportionnelle du globe oculaire et de la longueur axiale chez l'enfant, entraîne une réduction du pouvoir dioptrique de l'œil ; (2) le pouvoir dioptrique de la cornée est diminué par augmentation de son rayon de courbure (3) le pouvoir dioptrique du cristallin est diminué par augmentation de son rayon de courbure et son action est amoindrie par une augmentation de profondeur de la chambre antérieure.

2.2 LE PROCESSUS ACTIF :

Le processus actif d'emmetropisation implique des informations de feedback en provenance de la rétine concernant la qualité de focalisation de l'image, avec adaptation conséquente de la longueur axiale en réponse à ces stimulations. Il peut être considéré comme un ajustement fin complétant le processus passif. L'emmétropisation active se déroule pendant la tendre enfance, mais l'œil reste malléable aux conditions environnementales jusqu'à l'âge de jeune adulte.

3. LES TROUBLES DE LA RÉFRACTION

L'œil est une lentille convergente d'une puissance totale d'un peu plus de 60 dioptries. Elle est composée de deux lentilles principales : la cornée d'une puissance de 40 à 45 dioptries et le cristallin d'une puissance d'environ 20 à 22 dioptries.

3.1 L'EMMÉTROPIE

C'est un état où la puissance du dioptre oculaire est en parfaite adéquation avec la longueur axiale de l'œil. L'œil emmétrope voit de façon optimale à l'infini sans accommoder.

3.2 L'AMETROPIE SPHÉRIQUE

Lorsque les conditions de l'emmétropie ne sont pas réalisées, l'œil est dit amétrope (cf. Figure 6). Dans ce cas, la puissance du dioptré oculaire n'est pas en adéquation avec la longueur axiale de l'œil ; il est soit trop puissant réalisant une myopie, soit trop faible entraînant une hypermétropie, associé ou non à un astigmatisme.

L'œil est stigmaté, si la réfraction globale est la même selon tous les méridiens. Si, au contraire, la réfraction globale varie selon les méridiens, l'optique est astigmaté (cf. Figure 7).

3.3 L'ASTIGMATISME :

3.3.1 DEFINITION :

Whewell en 1871 a décrit l'astigmatisme comme un système optique dont la puissance varie selon les méridiens entre un minimum et un maximum. Les méridiens correspondants au minimum et au maximum sont appelés les axes de l'astigmatisme[13].

Dans un système optique stigmaté ou « parfait », une source lumineuse ponctuelle forme une image ponctuelle. Cependant, quand le système optique présente un astigmatisme, l'image n'est plus ponctuelle, mais présente une déformation et le pouvoir de résolution du système optique est réduit.

3.3.2 LES DIFFERENTS TYPES D'ASTIGMATISME

- Selon la position des focales : il peut être myopique ou hypermétrope. Il peut être simple (une focale sur la rétine), composé (deux focales d'un même côté de la rétine) ou mixte (une focale de part et d'autre de la rétine).
- Selon l'orientation des focales : il peut être direct, inverse ou oblique.
- Il peut être régulier, si les axes des deux méridiens principaux sont perpendiculaires, ou irrégulier, si l'évolution des méridiens n'est pas progressive.

3.3.3 FREQUENCE DE L'ASTIGMATISME AVEC L'AGE

Certaines spécificités marquent l'évolution de l'astigmatisme au cours de la vie. Il est fréquent chez l'enfant, presque 50 % des enfants de l'âge de 1 an présentent un astigmatisme le plus souvent contraire à la règle ou oblique. Par la suite, cet astigmatisme régresse progressivement par aplatissement de la cornée lors de la croissance. Vers l'âge de 03 ans, 23 % des enfants ont un

astigmatisme ≥ 1 D le plus souvent oblique. À l'âge scolaire, la fréquence rejoint celle de la population d'adulte aux environs de 8 %, le plus souvent conforme à la règle [61].

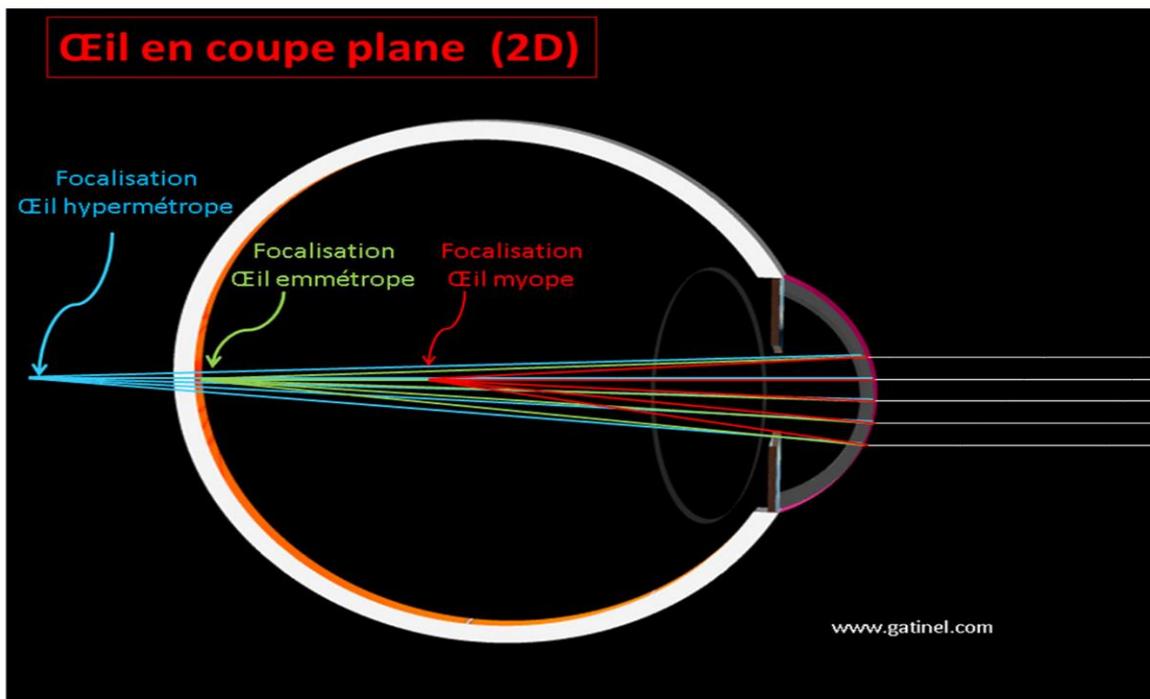


Figure 6 : les différentes amétropies sphériques schématisées sur un œil simplifié/Dr Damien Gatinel/<https://www.gatinel.com/recherche-formation/astigmatisme>

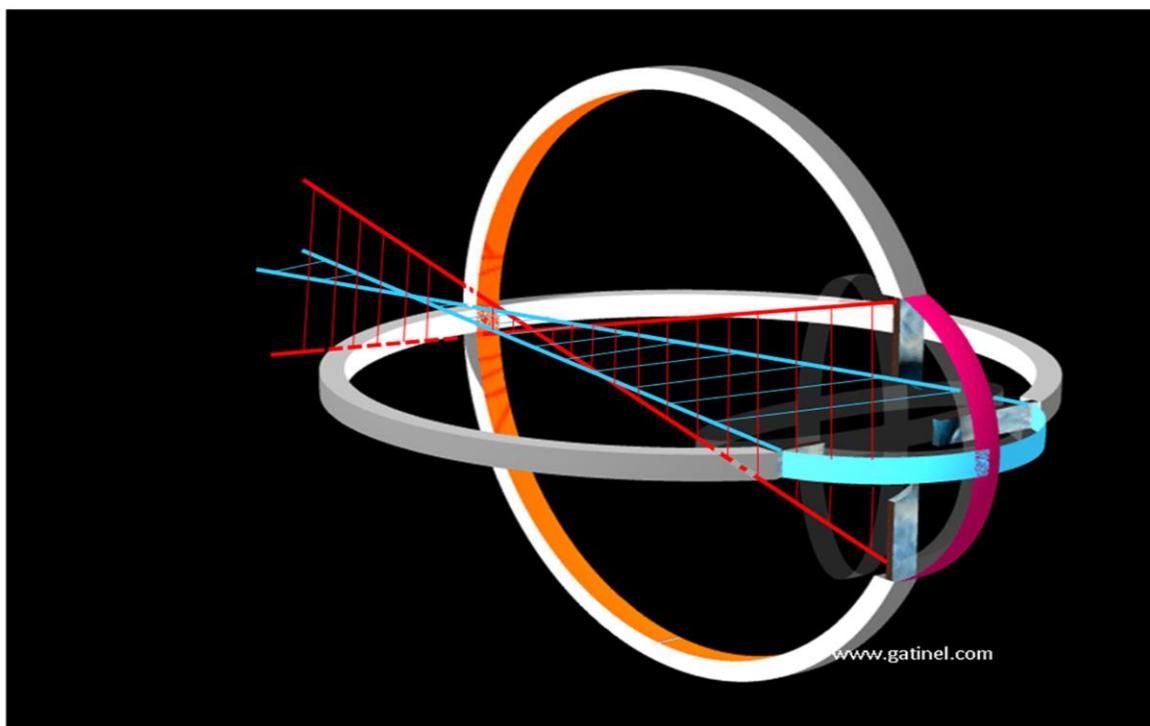


Figure 7 : un œil schématisé simplifié présentant un astigmatisme mixte direct, le méridien le plus cambré se situe à 90 °/Dr Damien Gatinel/<https://www.gatinel.com/recherche-formation/astigmatism>

III. L'ASTIGMATISME OCULAIRE

L'astigmatisme est une aberration optique, dont le rayon de courbure n'est pas constant, mais variable d'un endroit à l'autre de la surface selon les méridiens. L'astigmatisme oculaire est un phénomène extrêmement dynamique, une variété de facteurs modifie la valeur et le déplacement des méridiens de cet astigmatisme au cours de la vie. Il affecte la vision fovéale et selon sa magnitude, réduit l'acuité visuelle et la sensibilité aux contrastes.

A. SUPPORT ANATOMIQUE DE L'ASTIGMATISME OCULAIRE

L'astigmatisme peut être porté par les différents dioptrés oculaires, mais il est généralement le résultat d'une toricité de la cornée, du cristallin ou de l'effet combiné de ces deux structures. Certains astigmatismes étant facilement examinables, d'autres n'étant connus que par extrapolation.

1. L'ASTIGMATISME CORNÉEN ANTÉRIEUR

Le dioptré cornéen antérieur a une puissance d'environ 48 dioptries en raison de la forte différence d'indices de réfraction entre l'air et la cornée, l'astigmatisme total est principalement lié à la toricité de la surface cornéenne antérieure. C'est à la fois le plus important et, le plus facilement étudiable et quantifiable. Cet astigmatisme cornéen antérieur peut être un :

1.1 ASTIGMATISME RÉGULIER.

L'astigmatisme oculaire est régulier lorsque le pouvoir dioptrique de la cornée varie progressivement et régulièrement entre 2 méridiens principaux séparés par un angle de 90° . Il y a le méridien le plus plat de faible puissance dioptrique avec le plus grand rayon de courbure. L'autre méridien, c'est le méridien le plus cambré de forte puissance dioptrique avec le plus petit rayon de courbure. La différence de puissance dioptrique entre les 2 méridiens représente la puissance de l'astigmatisme. L'astigmatisme cornéen est très variable [62, 63] :

- Quand le méridien de courbure maximale (le plus puissant) est orienté à $90^\circ/270^\circ$ (ou est proche de cette direction), l'astigmatisme est direct (ou conforme à la règle).
- Quand le méridien le plus courbe est horizontal (direction $0^\circ/180^\circ$), l'astigmatisme est inverse (non conforme à la règle).

- Quand ces méridiens de courbure extrême sont proche des directions $45^\circ/225^\circ$ ou $135^\circ/315^\circ$, l'astigmatisme est dit « oblique ».
- L'astigmatisme cornéen est considéré comme physiologique lorsqu'il est direct de 0,50 à 0,75 D.

1.2 ASTIGMATISME IRRÉGULIER

L'astigmatisme est irrégulier : lorsqu'on ne peut pas identifier deux méridiens principaux bien perpendiculaires entre eux, ou lorsqu'il n'existe pas de régularité et de progressivité entre les deux méridiens.

L'astigmatisme irrégulier est le plus souvent d'origine cornéenne, c'est le cas des kératocônes, des taies cornéennes (post-traumatiques, post-infectieuses), de certaines complications après la chirurgie réfractive. Il peut être également d'origine cristallinienne lors des sublaxations cristalliniennes [62, 63].

2. L'ASTIGMATISME CORNÉEN POSTÉRIEUR

Ce dioptr est d'une puissance beaucoup moins importante en raison de la faible différence d'indices de réfraction entre l'humeur aqueuse et la cornée, avec une puissance d'environ 05 dioptries.

L'astigmatisme cornéen postérieur n'est étudiable que depuis l'apparition des topographies d'élévation. Il serait en moyenne de 0.30 D avec des extrêmes allant de 0.01 à 1.10 D. Cet astigmatisme est plutôt de type direct et du fait de son faible gradient, son impact sur l'astigmatisme cornéen total est le plus souvent négligé [64-66].

Il est supérieur à 0.50 D dans près de 10 % des patients et il est important de le considérer sur le plan clinique, car il pourrait expliquer une sous-corrrection d'un astigmatisme inverse ou une surcorrection d'un astigmatisme direct chez certains patients opérés de cataracte avec implants toriques [65, 67-71].

3. L'ASTIGMATISME CRISTALLINIEN

L'astigmatisme cristallinien dit « astigmatisme interne » est très souvent un astigmatisme inverse, dont la magnitude est généralement faible allant de 0.50 à 0.75 D.

La cataracte, en particulier dans ses formes nucléaires séniles, peut être à l'origine de l'apparition ou de l'accentuation d'un astigmatisme oculaire interne ; ce type d'astigmatisme découle des modifications de l'indice de réfraction et de la géométrie du cristallin opacifié.

Un désaxage (le tilt) plus important du cristallin vis-à-vis de la cornée peut aussi provoquer l'apparition d'un astigmatisme oculaire plus important, ceci est observé dans de rares affections comme la subluxation du cristallin dans le syndrome de Marfan. Il n'est pas, à ce jour, explorable directement et la plupart des praticiens l'ont assimilé à la différence entre l'astigmatisme total et l'astigmatisme cornéen [63, 64, 72].

4. L'ASTIGMATISME POSTÉRIEUR

Il correspond à la non-sphéricité du pôle postérieur, il n'est pas lui non plus mesurable. Il est probablement plus important sur des yeux à grande longueur axiale et à pôle postérieur déformé comme dans le staphylome ou un colobome rétinien. L'expression « astigmatisme rétinien » n'a pas véritablement de signification physique, car la rétine n'est pas un élément réfractif mais un écran « récepteur » de la lumière [13, 63, 64].

5. L'ASTIGMATISME TOTAL

Il est la résultante de tous les astigmatismes précédemment cités. Il est le seul, avec l'astigmatisme cornéen antérieur, à être utilisé en pratique clinique. Il est évalué par la réfractométrie automatique et certaines autres techniques (comme l'abérométrie) qui consistent à envoyer des informations lumineuses vers la rétine en passant à travers tous les dioptries oculaires et à analyser le retour de ces signaux lumineux [13, 64].

B. PRÉVALENCE ET DISTRIBUTION DE L'ASTIGMATISME

L'astigmatisme est un défaut optique fréquent, sa prévalence a été évaluée par plusieurs travaux scientifiques :

Ferrer-Blasco et collaborateurs (Université de Valence, Valence, Espagne) ont analysé la prévalence et les modes de présentation de l'astigmatisme cornéen chez les candidats à la chirurgie de la cataracte, l'étude comprenait 4540 yeux chez 2415 patients. Montrant que 13.2 % des yeux ne présentaient pas d'astigmatisme cornéen, 64.6 % avaient un astigmatisme cornéen entre 0.25 et 1.25 dioptrie (D) et 22.2 % avaient un astigmatisme de 1.50 D ou plus [73].

Hoffmann et al, dans une étude plus vaste (Allemagne), ont analysé des données de la biométrie et de la kératométrie chez 23 239 yeux et ils ont retrouvé que 36 % des yeux avaient un astigmatisme cornéen supérieur à 1.00 dioptrie (D) et que 08 % des yeux avaient un astigmatisme cornéen supérieur à 2.00 D et 2.6 % avaient plus de 3 D. L'astigmatisme était conforme à la règle dans 46.8 % des yeux, contre la règle dans 34.4 % et oblique dans 18.9 % [74].

Dans l'étude de Chen Weirong et collaborateurs, l'analyse de l'astigmatisme cornéen chez les candidats à la chirurgie de la cataracte en Chine, a démontré que l'astigmatisme cornéen était moins de 0.25 D chez 4.8 % des yeux, entre 0.25 D et 1.25 D dans 67,7 % des yeux et de 1.25 D ou plus chez 27.5 % d'yeux. L'astigmatisme était conforme à la règle dans 25.1 % des yeux, contre la règle (ATR) dans 58,2 % des yeux et oblique dans 16,7 % des yeux. La mesure moyenne de la kératométrie abrupte était de 44.76 ± 1.56 D. L'astigmatisme inverse a augmenté de façon significative avec l'âge avancé [75].

Mohammed Isyaku et collaborateurs (Département d'ophtalmologie, hôpital Aminu Kano, Nigeria) ont réalisé une étude sur 3286 yeux. Cette étude a objectivé que 31.53 % des yeux avaient un astigmatisme cornéen inférieur à 1 D, 45.92 % des yeux avaient un astigmatisme cornéen entre 1 D et 2 D, un astigmatisme entre 2 et 3 D était retrouver dans 14.88 % des yeux et que l'astigmatisme cornéen était supérieur à 3D dans 6.12 % des yeux[76].

Dans une autre étude réalisée en Inde sur 223 yeux de 223 patients par Brig Moulick et collaborateurs (Collège médical des forces armées, Inde), l'astigmatisme cornéen était inférieur à 0.25 dioptrie (D) dans 17.5 % des yeux, entre 0.25 et 1.25 D dans 63.7 % et supérieure ou égale à 1.50 D dans 18.8 % des yeux[77].

Toutes ces études et d'autres, faites dans d'autres pays et dans les différents continents [78-82], démontrent :

- Dans un premier temps, l'importante fréquence de l'astigmatisme cornéen chez les candidats à la chirurgie de la cataracte.
- Dans un second temps, ces études démontrent l'intérêt de prendre en charge systématiquement cet astigmatisme cornéen pour une bonne réhabilitation visuelle postopératoire, par les différentes techniques disponibles actuellement au moment de la chirurgie de la cataracte.

C. ÉVOLUTION DE L'ASTIGMATISME AVEC L'ÂGE

Il est utile et nécessaire d'évaluer la relation qui existe entre l'astigmatisme cornéen et l'âge du patient afin de mieux comprendre et prévoir la procédure de correction la plus adéquate. Les études faites dans ce sens ont objectivé un large éventail de changements qui se produisent dans la cornée vieillissante [83-87] :

- Pour la cornée antérieure, il y'a une tendance à l'aplatissement du méridien le plus vertical avec un changement moyen de (- 0,18) dioptries chaque 5 ans. Par contre, les astigmatismes obliques et inverses ont tendance a augmenté.
- Concernant la cornée postérieure, la plupart des yeux présentent des astigmatismes directs dans tous les groupes d'âge avec un changement moyen de 0,022 dioptrie chaque 5 ans.

Ces résultats pourraient aider les chirurgiens de la cataracte à concevoir un protocole individualisé pour chaque patient atteint de cataracte compte tenu de son âge pour l'obtention d'un statut réfractif prévisible et d'une vision de haute qualité. Zhao Guan et collaborateurs (Hôpital Zhongshan, Université Fudan, Shanghai, Chine) suggèrent que les patients de moins de 63 ans et qui ont un astigmatisme inverse de la cornée antérieure et qui sont candidats à la chirurgie de la cataracte, doivent être gérés plus agressivement [80].

Toutes les études ont bien documenté l'augmentation de l'astigmatisme total avec l'âge et le passage de l'astigmatisme direct à l'astigmatisme inverse, mais l'origine de ces modifications n'est pas complètement élucidée. Certaines études ont émis l'hypothèse que ces changements pourraient donc être liés à des modifications cristalliniennes et cornéennes, à des modifications dans la tension de la paupière supérieure et des muscles extraoculaires, à l'accommodation, la binocularité, la modification de la qualité et/ou de la quantité du film lacrymal et éventuellement à la pression intraoculaire qui pourrait jouer un rôle dans ces changements avec l'âge [86].

D. CONSÉQUENCES VISUELLES DE L'ASTIGMATISME CORNÉEN

La correction imparfaite de l'astigmatisme cornéen peut pénaliser les performances visuelles de nos patients candidats à une chirurgie de cataracte. Un astigmatisme de 0.75 D, a été considéré pendant longtemps comme négligeable par la majorité, cela n'est plus le cas actuellement et ne doit plus l'être.

L'astigmatisme non corrigé va percevoir une ovalisation des formes et une fatigue accommodative. Pour les patients porteurs d'un astigmatisme irrégulier, c'est un véritable handicap visuel en raison d'aberrations optiques de haut degré qu'il occasionne [88].

L'astigmatisme oculaire réduit, en fonction de sa magnitude, l'acuité visuelle et la sensibilité aux contrastes, de même pour l'acuité visuelle de près et la vitesse de lecture qui sont également diminuées. Cette baisse de vision est généralement constatée pour des astigmatismes non corrigés, même aussi faible que 1.00 dioptrie [10, 11, 88].

Chez les patients pseudophaques, l'acuité visuelle de loin sans correction est pénalisée à partir de 0.75 à 1 D d'astigmatisme non corrigé pour tous les types et axes d'astigmatismes, mais l'acuité visuelle de près n'est pas affectée par l'astigmatisme myopique, seul un astigmatisme de type hypermétropique est pénalisant [10, 11].

E. GESTION DE L'ASTIGMATISME CORNÉEN

Avec le développement considérable dans le calcul des implants intraoculaires, une réduction significative de l'erreur sphérique a été atteinte. Par contre, l'astigmatisme résiduel postopératoire (ARPO) reste très préoccupant. Ces dernières années, la prise en charge de l'astigmatisme cornéen a considérablement évolué, la diffusion des micro-incisions, des chirurgies incisionnelles et des implants toriques a permis d'optimiser le résultat visuel en postopératoire.

La procédure adéquate de gestion de l'astigmatisme cornéen dépend principalement du contexte du patient, des compétences de l'ophtalmologiste traitant et de la valeur et du type de cet astigmatisme cornéen :

1. EN DEHORS DE LA CHIRURGIE DE LA CATARACTE

La correction de l'astigmatisme cornéen régulier en dehors de la chirurgie de la cataracte peut être envisagée de plusieurs manières :

1.1 LES LUNETTES SPHEROCYLINDRIQUES :

Les lunettes sont le moyen le plus simple pour corriger un astigmatisme oculaire et devraient être envisagées avant les lentilles de contact ou la chirurgie réfractive. Et contrairement à un verre sphérique, un cylindre concentre les rayons lumineux sur une ligne focale plutôt que sur un point.

1.2 LES LENTILLES DE CONTACT TORIQUE :

Il existe une multitude de choix de lentilles pour la correction des astigmatismes réguliers. La rotation de la lentille torique est le problème majeur qu'il faut prendre en considération de façon systématique. Une déviation de 10 ° de la lentille génère un astigmatisme résiduel égal au tiers (1/3) de la puissance du cylindre avec un impact défavorable sur l'acuité visuelle [89].

1.2.1 LES LENTILLES SOUPLES TORIQUES :

La fréquence des prescriptions des lentilles souples toriques a beaucoup évolué ces dernières années, du fait de l'invention de systèmes de stabilisation inclus dans ces lentilles. Ces lentilles souples permettent de trouver des solutions simples dans quasiment tous les cas d'astigmatismes faibles. Avec des possibilités de corrections qui vont jusqu'à 6 dioptries de cylindre [90].

1.2.2 LES LENTILLES RIGIDES

Les lentilles rigides toriques sont actuellement un moyen thérapeutique très utilisé dans la correction de l'astigmatisme cornéen. Pour des astigmatismes cornéens inférieurs ou égaux à 2 dioptries, le simple ménisque de larmes présent sous la lentille rigide le corrige parfaitement et de manière spontanée et de ce fait il n'est pas utile de sélectionner une lentille rigide torique [89]. Si l'astigmatisme cornéen est plus important, une lentille torique rigide perméable au gaz (RPG) sera indispensable [90].

1.2.3 LES LENTILLES HYBRIDES :

Elles entraînent un bon résultat réfractif et une excellente vision. Elles combinent les avantages des lentilles rigides (haut Dk) et des lentilles souples (confort amélioré). La partie souple stabilise la partie centrale rigide de la lentille, permettant un bon centrage et évitant la flexion de la partie rigide lors d'astigmatisme cornéen important et c'est le film lacrymal sous la partie centrale rigide qui corrige l'astigmatisme cornéen. Dans ce genre de lentille, il n'y a pas de problème de rotation [90].

1.3 LES VERRES SCLÉRAUX

Les verres scléaux sont traditionnellement réservés pour les cornées irrégulières ou lors des pathologies de surface sévère, l'adaptation d'un verre scléral sur une cornée non pathologique et ne présentant pas d'astigmatisme irrégulier reste une indication rare. Néanmoins, les verres mini-scléaux (de 15 à 16 mm de diamètre) peuvent être utilisés sur des cornées astigmatiques, c'est le cas aux États-Unis où la tendance de prescription de ces verres est devenue importante [89].

1.4 LA PHOTO-ABLATION AU LASER EXCIMER :

C'est une technique très utilisée pour la correction des astigmatismes cornéens. Des approches entièrement automatisées sont disponibles actuellement sur la plupart des plateformes lasers, permettant de meilleurs résultats réfractifs. Le type d'astigmatisme à corriger conditionne la technique de photo-ablation utilisée, des profils adaptés existent pour tous les types d'astigmatisme[91].

2. AU COURS DE LA CHIRURGIE DE LA CATARACTE

La prise en compte de l'astigmatisme dans le même temps opératoire que la chirurgie de cataracte, peut être envisagée de différentes façons :

- Soit par des techniques cornéennes incisionnelles.
- Soit par les implants toriques.

2.1 LES INCISIONS RELAXANTES :

Ces techniques sont basées sur la réalisation d'incisions cornéennes sur l'axe du méridien le plus cambré qu'elles aplatissent et par effet de couple, elles cambrent le méridien orthogonal le plus plat. Elles ne modifient pratiquement pas l'équivalent sphérique.

Les limites et risques communs liés aux différentes techniques de chirurgies cornéennes incisionnelles sont le fait des particularités individuelles de la cicatrisation cornéenne. Cette chirurgie est associée avec une faible prédictibilité pouvant induire des surcorrections, des sous-corrrections et parfois même à des astigmatismes irréguliers [14, 27, 92].

2.1.1 INCISION DE PHACOEMULSIFICATION ADAPTÉE À L'ASTIGMATISME CORNÉEN PRÉEXISTANT :

Cette technique suggère une incision cornéenne de pleine épaisseur lors de la chirurgie de la cataracte sur l'axe le plus cambré de l'astigmatisme. Cette incision aplatit la cornée dans le méridien de l'incision et peut donc réduire l'astigmatisme préexistant. La longueur de l'incision peut varier en fonction de la grandeur de l'astigmatisme.

Cette technique est facile et rapide, mais moins utilisée, parce qu'elle est peu prédictible, nécessite parfois un positionnement chirurgical inconfortable et ne corrige que faiblement l'astigmatisme cornéen.

Cette technique était réservée uniquement pour les astigmatismes inférieurs à 1 dioptrie (D), et dernièrement elle perd de son intérêt avec la généralisation des mini-incisions dans la chirurgie de la cataracte. En effet, en dessous de 2,2 mm, l'incision est pratiquement neutre sur le plan de l'astigmatisme [14, 22, 27, 88].

2.1.2 LES KÉRATOTOMIES ARCIFORMES EN CORNÉE CLAIRE :

Ces incisions sont créées dans la cornée claire périphérique, leur effet de relaxation est d'autant plus important qu'elles se rapprochent du centre de la cornée. Elles sont d'une longueur qui peut varier de 2,8 à 3,5 mm. Elles sont réalisées en se référant à des nomogrammes établis selon le degré et l'axe de l'astigmatisme et en fonction de l'âge des patients [16, 17].

Ces incisions arciformes peuvent être uniques ou doubles, et sont généralement créées au début de la chirurgie de la cataracte lorsque l'épithélium est encore en bon état et la pression oculaire est prévisible. Les incisions sont créées à une profondeur de 90 % de l'épaisseur totale de la cornée.

Cette technique est simple de réalisation, mais présente un tas d'inconvénients : (1) nécessite une instrumentation particulière et augmente le temps de la chirurgie ; ;(2) plus l'astigmatisme est important et moins elle est prédictible ; (3) plus que le patient est jeune et moins elle est efficace ; (4) les suites postopératoires immédiates sont douloureuses et le risque infectieux est minime, mais présent [18-20, 24].

2.1.3 LES INCISIONS LIMBIQUES RELAXANTES (ILR)

L'incision limbique relaxante (ILR) proposée par Muller-Jensen est collaborative, est l'une des procédures complémentaires les plus utilisées avec la phacoémulsification pour corriger l'astigmatisme cornéen. Il s'agit d'une unique incision arciforme ou d'une paire d'incisions, réalisées à l'aide d'un couteau diamant ou d'un couteau calibré pour une profondeur empirique de 600 microns, elles sont placées à 01 mm en avant du limbe. Leur longueur varie de 30 à 110 — d'arc selon l'importance de l'astigmatisme à corriger, l'âge du patient, le nomogramme utilisé et le caractère direct ou inverse de l'astigmatisme [15, 21, 26].

Cette technique est indiquée pour traiter 1 à 1.5D d'astigmatisme cornéen régulier. Sa précision et sa prédictibilité ont été améliorées grâce à plusieurs facteurs : (1) le développement de couteaux spécifiques précalibrés à usage unique (2) le développement des nomogrammes (Nichamin, Gills, Donnenfeld) (cf. figure 8).

Les incisions limbiques relaxantes présentent l'avantage d'une grande simplicité, conservatrice et d'un faible risque chirurgical, car elles sont plus éloignées de l'axe visuel, leur cicatrisation étant plus rapide, et se stabilisent facilement. Mais qui comporte aussi des insuffisances à savoir : (1) la médiocrité des résultats lorsque l'astigmatisme initial est inférieur à 1 D ; (2) tendance d'aggravation pour les astigmatismes obliques ; (3) la difficulté à prévoir la valeur totale de correction en postopératoire [14, 27, 63].

2.1.4 LES INCISIONS RELAXANTES CORNÉENNES PÉRIPHÉRIQUES PAR LASER FEMTOSECONDE :

Ces des kératotomies arciformes réalisées avec un laser Femtoseconde, et qui sont placées sur une zone optique variable de 6 à 8 mm, avec une longueur d'arc qui peut varier entre 3 et 5 mm. Ces incisions créées au laser peuvent s'avérer très efficaces pour la correction de l'astigmatisme cornéen lors ou en dehors de la chirurgie de la cataracte, car l'emplacement, la longueur et la profondeur de ces incisions sont mieux contrôlés. Cependant, les données et les nomogrammes de planification de ce traitement sont toujours en cour d'évaluation [14, 88, 93, 94].

TABLE 1

Nichamin Nomogram for Limbal Relaxing Incisions to Correct Astigmatism With Phacoemulsification

Cylinder (D)	Degrees of Arc to be Incised—Against-the-Rule Astigmatism						
	Age (y)						
	30 to 40	41 to 50	51 to 60	61 to 70	71 to 80	81 to 90	>90
0.75 to 1.25	55	50	45	40	35		
1.50 to 2.00	70	65	60	55	45	40	35
2.25 to 2.75	90	80	70	60	50	45	40
3.00 to 3.75	90*	90*	85	70	60	50	45

Cylinder (D)	Degrees of Arc to be Incised—With-the-Rule Astigmatism						
	Age (y)						
	30 to 40	41 to 50	51 to 60	61 to 70	71 to 80	81 to 90	>90
1.00 to 1.50	50	45	40	35	30		
1.75 to 2.25	60	55	50	45	40	35	30
2.50 to 3.00	70	65	60	55	50	45	40
3.25 to 3.75	80	75	70	65	60	55	45

*Optic zone to 8 mm.

Figure 8 : le nomogramme de « Nichamin » pour la réalisation des incisions limbiques relaxantes (LRI) selon la valeur de l'astigmatisme cornéen, le type d'astigmatisme et l'âge du patient/C. ALBOU-GANEM/réalités ophtalmologiques # 210_Février 2014

2.2 LES IMPLANTS TORIQUES

Plusieurs méthodes de correction de l'astigmatisme cornéen lors de la chirurgie de la cataracte ont été utilisées par le passé. Les incisions limbiques relaxantes ont été longtemps utilisées, cependant, leurs efficacités limitées et la faible prédictibilité réfractive ont réduit les indications de cette chirurgie au profit des implants toriques.

L'introduction des implants toriques dans les moyens de gestion de l'astigmatisme cornéen a permis un contrôle réfractif complet. Ces implants ont permis de neutraliser l'astigmatisme cornéen préexistant tout en contrôlant l'équivalent sphérique (cf. figure 9). Les études menées durant cette décennie ont toutes confirmé leur supériorité dans la gestion de l'astigmatisme cornéen durant la chirurgie de la cataracte [20, 21, 23-26, 95].

Cependant, le calcul précis de l'implant, le marquage adéquat, l'alignement parfait en plus de la bonne compréhension des inconvénients et des limitations des implants toriques, sont les conditions essentielles à la bonne satisfaction des patients après une implantation torique.

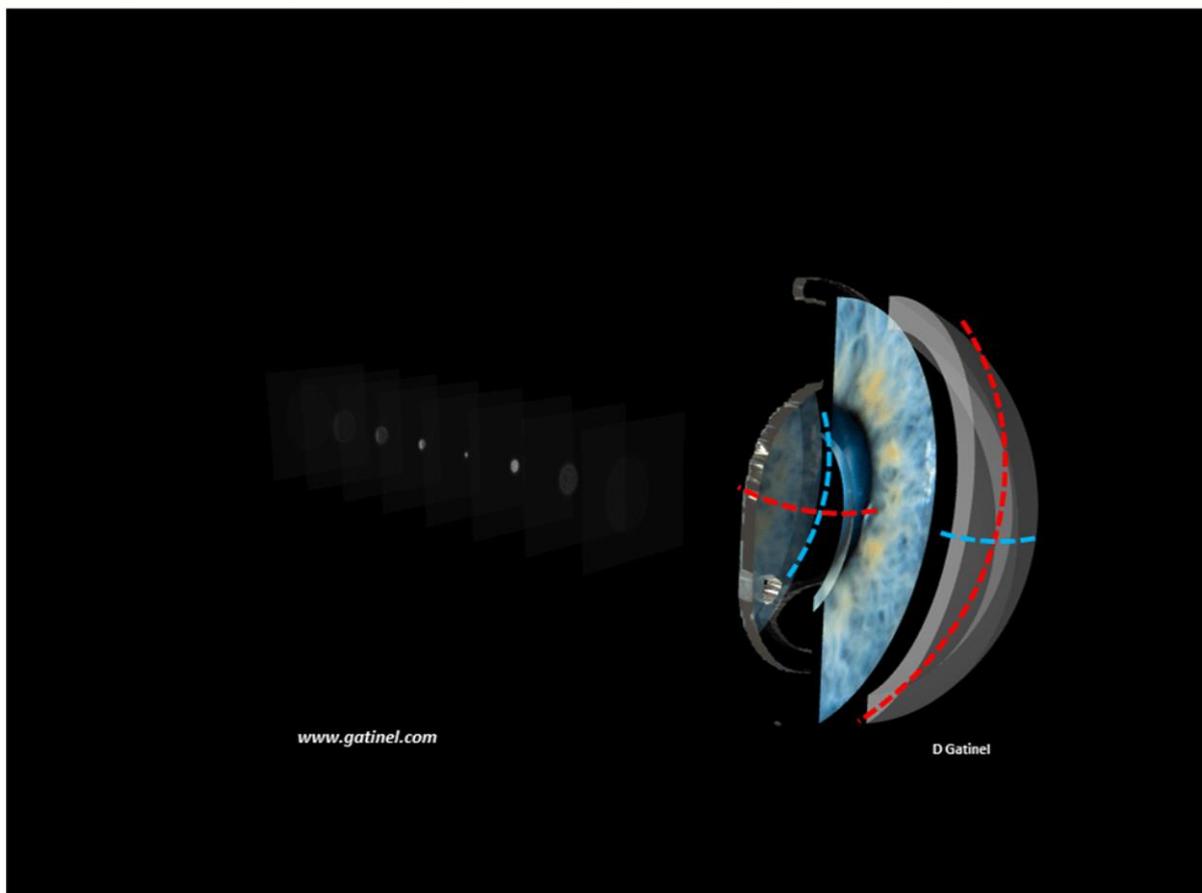


Figure 9: Un implant torique génère de l'astigmatisme, cet astigmatisme neutralise celui de la cornée. Le méridien le moins puissant de l'implant (en bleu) doit être aligné avec le méridien le plus puissant de la cornée. Le couple « cornée+implant » ne génère plus d'astigmatisme.

IV. LES IMPLANTS TORIQUES

Les implants toriques sont des implants utilisés dans la chirurgie de la cataracte permettant de corriger l'astigmatisme cornéen préexistant. L'implant torique génère en fait un astigmatisme de direction opposée à celui de la cornée et ceci permet de le neutraliser. L'implantation torique s'inscrit comme une des modalités de chirurgie réfractive.

A. HISTORIQUE

En 1801, Young décrit pour la première fois l'astigmatisme. La chirurgie de l'astigmatisme est aussi connue depuis fort longtemps, la première technique chirurgicale fut décrite par Bates en 1894. Et depuis, la recherche dans ce domaine n'a pas cessé de progresser, en 1970 Gills, Thorton et Gayton décrivent la chirurgie incisionnelle cornéenne de l'astigmatisme [96].

Le concept de l'implant torique est aussi assez ancien, puisqu'il fut présenté la première fois en 1992 par le Dr Shimizu et collaborateurs. Le premier implant torique conçu était en 3 pièces, en poly méthyle méthacrylate (PMMA), non pliable, et nécessitait une incision de 5,7 mm pour l'implantation. Cet implant était disponible uniquement en 2D et 3D de puissance cylindrique. L'acuité visuelle postopératoire et les résultats d'astigmatisme réfractif résiduel n'ont pas été décrits. Cependant, une rotation de 30 degrés ou plus a été retrouvée dans environ 20 % des implants, et presque 50 % des implants ont tourné de plus de 10 degrés [30].

En 1994, le Dr Shimizu et collaborateurs ont expérimenté le premier implant torique pliable. Cet implant était conçu avec un matériel en silicone et pourrait être implanté à travers une incision beaucoup plus petite de 3,2 mm. Les premiers résultats cliniques avec cet implant étaient prometteurs. Cependant, l'inconvénient de cet implant était à nouveau un taux de rotation postopératoire relativement élevé ; dans 20 % à 30 % des yeux, une rotation de plus de 10 degrés s'est produite[97].

Avec le temps, de nombreux progrès dans la technologie des implants toriques ont été réalisés, y compris des améliorations dans le matériel, le diamètre et dans la conception de l'implant, mais aussi, des raffinements de la technique chirurgicale. Ces progrès continuels, visent à couvrir tous les degrés d'astigmatisme cornéen, et à améliorer les résultats réfractifs et assurer une bonne stabilité des implants en postopératoire.

En 1998, la FDA autorise l'implant Torique STAAR sur une navette en silicone, il était disponible uniquement avec deux options de cylindre en 2,00 D et en 3,50 D, mais il a été associé à une grande instabilité de rotation [98]. Et c'est qu'en septembre 2005 que La FDA autorise l'implant torique SN60TT Alcon en acrylique (AcrySof® Monobloc sur la base d'AcrySof® SN60AT) avec des cylindres de corrections de 1,50, 2,25 et 3,00 D [99]. Ces derniers progrès ont conduit à une amélioration de la stabilité de rotation postopératoire et, à des résultats visuels et réfractifs excellents.

B. MATÉRIELS ET FORMES DES IMPLANTS TORIQUES

La satisfaction des patients en post chirurgie de cataracte ne dépend plus uniquement de la qualité de la chirurgie, mais aussi, des implants intra oculaires qui font aujourd'hui partie intégrante de la qualité du résultat visuel.

1. LE BIOMATERIEL DE L'IMPLANT

Les implants ont subi un changement radical depuis le moment où Harold Ridley a implanté pour la première fois, une lentille en polymère dans l'œil pour remplacer le cristallin naturel. Et depuis, ces implants sont en constante évolution [48]. Le Polymethyl Metha acrylate (PMMA) a régné pendant longtemps en tant que matériau de choix, avant qu'il ne soit finalement remplacé par les implants en silicone, puis par les implants acryliques à la fois hydrophobes et hydrophiles [47].

Le biomatériau de l'implant semble avoir une influence majeure sur la stabilité postopératoire des résultats, ceci est en rapport avec les propriétés d'adhésion particulière pour chaque implant avec les capsules antérieure et postérieure du sac cristallinien, empêchant sa rotation [100, 101].

Plusieurs études in vitro ont examiné les interactions entre les biomatériaux des implants et le sac capsulaire. Ces études ont démontré que les implants acryliques hydrophobes présentaient les propriétés adhésives les plus élevées, suivies par les implants en acrylique hydrophile, suivis par les implants de PMMA, et enfin les implants en silicone. Ceci est grâce à une affinité différente pour les protéines du sac capsulaire, telles que la vitronectine, le collagène de type IV, et en particulier la fibronectine, et qui sont disponibles dans l'humeur aqueuse [102].

À ce jour, nous disposons d'une multitude d'implants monofocaux toriques distribués à travers le monde (cf. tableau 1) :

Tableau 1: tableau récapitulatif des différents implants toriques disponibles /toric intraocular lens/nienke visser/journal of cataract and refractive surgery/april 2013 · doi: 101,016/j.jcrs.2013.02.020

Implant torique	Matériel	désigne	diamètre	Puissance sphérique	Puissance cylindrique	Taille de l'incision (mm)
Acrysof (Alcon)	acrylique Hydrophobe	haptique en loupe	13,0	+6.0 to +30.0 D	1 à 6.0 D (intervalles de 0,75 D)	2,2
Envista (bausch & lomb)	acrylique Hydrophobe	haptique en loupe	12,5		1.25 à 5 D (intervalles de 0,75 D)	2,2
T-flex (Rayner)	acrylique Hydrophobe	haptique en loupe	12.0/12,5	-10.0 à + 35,0	1.0 à 11,0 (0,25 intervalle)	<2,0
Tecnis toric (Abbott Medical Optics)	acrylique Hydrophobe	haptique en loupe	13,0	+5.0 à + 34,0	1.0 à 4,0 (0,5 intervalle)	2,2
Staar (Staar Surgical Company)	Silicone	haptique plat	10.8/11,2	+9.5 à + 28,5	2.0 à 3,5	2,8
AF-1 torique (Hoya)	acrylique Hydrophobe haptique PMMA	haptique en loupe	12,5	+6.0 à + 30,0	1.5 à 3,0 (intervalles de 0,75 D)	2,0
Acri.Comfort/ AT Torbi* (Carl Zeiss Meditec)	acrylique Hydrophile Surface hydrophobe	haptique plate	11,0	-10.0 à + 32,0	1.0 à 12,0 (0,5 intervalle)	<2,0
Lentis Tplus (Oculentis)	acrylique Hydrophile Surface hydrophobe	haptique en loupe	12.0/11,0	+ 0.0 à + 30,0	0.25 à 12,0 (intervalles de 0,75 D)	2,6
Microsil/Torica* (HumanOptics)	Silicone avec Haptic en PMMA	haptique en loupe	11,6	-3.5 à + 31,0	2.0 à 12,0 (1,0 intervalle)	3,4
EYECRYL TORIC (Biotech)	acrylique Hydrophobe	haptique en loupe	13,0	+0.0 à 30 D	1.0 à 6,0 (0,75 intervalle)	2,2
i-stream (MD Tech)	Copolymère avec surface hydrophobe	haptique en close loupe	11	+0,0 à 40.0 D	1.0 à 6,0 (0.75intervalles)	1,8
Bi-Flex T (Medicontur)	acrylique Hydrophobe	haptique en close loupe	13	+ 0.0 à + 30,0	1.0 à 9,0 (0,75 intervalle)	2,2 mm À 2,4 mm

2. LE DIAMÈTRE DE L'IMPLANT

Plusieurs diamètres sont actuellement proposés pour les implants toriques, ils sont généralement compris entre 11 et 13 mm (cf. tableau 1).

Plusieurs études ont jugé que les « modèles longs » supérieurs à 11 mm sont mieux stables que les « modèles courts » dans la prévention de la rotation postopératoire [103]. Par contre, une étude récente qui a comparé la stabilité de deux implants monobloc en acrylique hydrophile : ACR6 (12 mm, CromaPharm GmbH., Autriche) et IDÉA 613 XC (13 mm, CromaPharm GmbH., Autriche). Les auteurs ont conclu que l'effet de la longueur totale de l'implant torique en acrylique semble avoir peu d'impact sur la rotation précoce après une chirurgie de la cataracte [104].

3. LA CONCEPTION DES HAPTIQUES

Dans le but d'optimiser la stabilité postopératoire des implants toriques, plusieurs formes d'implant ont été proposées par les fabricants (cf. figure 10). Des essais cliniques comparant les conceptions des haptiques des implants toriques ont constaté que la rotation postopératoire des implants était significativement plus élevée pour les implants avec des haptiques en loupe qu'avec des haptiques plates, en rapport avec une asymétrie de fusion du sac capsulaire avec les haptiques en loupe des implants [105]. Cependant, pour les implants acryliques, des auteurs n'ont pas trouvé de différences significatives dans la rotation postopératoire des implants toriques qu'ils soient en loup-haptique ou plat haptique [106, 107].

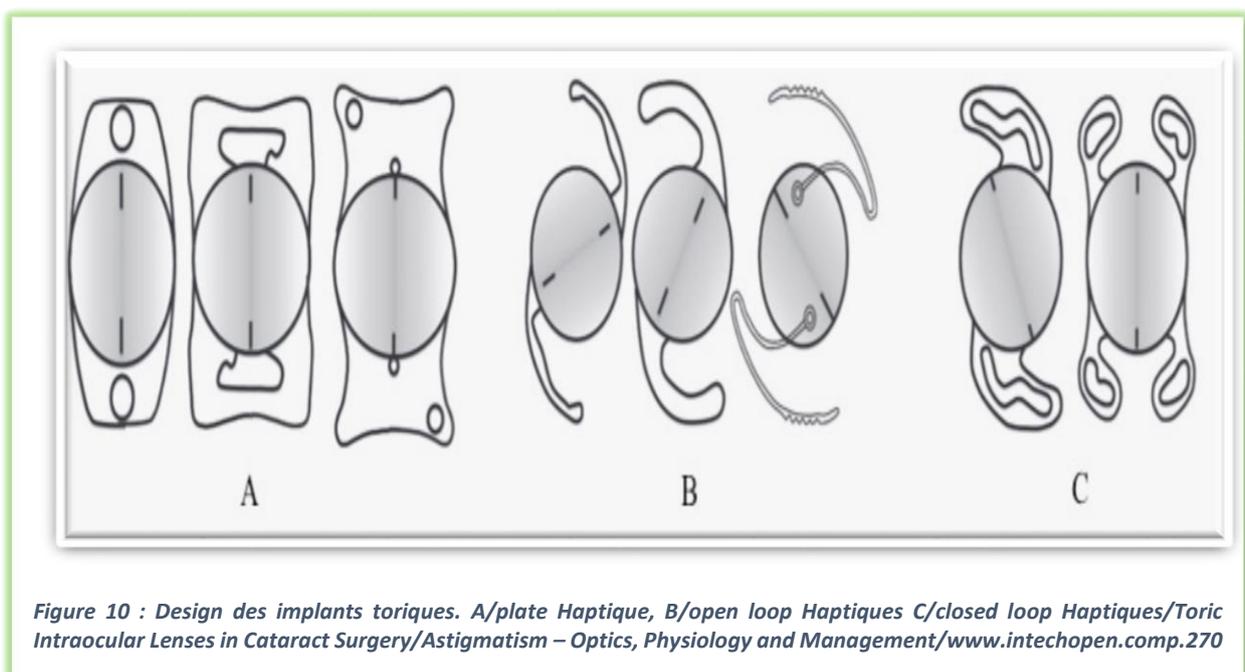


Figure 10 : Design des implants toriques. A/plate Haptique, B/open loop Haptiques C/closed loop Haptiques/Toric Intraocular Lenses in Cataract Surgery/Astigmatism – Optics, Physiology and Management/www.intechopen.com.270

C. LA SÉLECTION DES PATIENTS

Tout patient pour lequel existait une indication opératoire de cataracte et avec un astigmatisme cornéen supérieur ou égal à 1 D, un implant torique doit être proposé. Mais pour une bonne réussite d'une implantation torique, la sélection des patients est cruciale [28, 63]. Elle se déroule sur 2 étapes :

Dans un premier temps, de faire un examen ophtalmologique préopératoire minutieux. Cet examen préopératoire comporte la mesure de l'acuité visuelle, la réfraction et la kératométrie, la biomicroscopie du segment antérieur, le break up time « BUT » en cas de pathologie de la surface oculaire, une prise de tonus et l'examen du fond de l'œil.

Dans un second temps, une exploration ophtalmologique plus approfondie est nécessaire pour poser l'indication d'un implant torique ou mettre en évidence des comorbidités oculaires. Ces comorbidités peuvent contre-indiquer d'une manière relative ou définitive l'implantation torique et doivent être recherchées systématiquement :

- Une fragilité zonulaire (traumatisme, pseudo-exfoliation capsulaire, les syndromes malformatifs oculaires) affecte la stabilité de l'implant et peut entraîner une décentration de l'implant torique.
- Un astigmatisme irrégulier (kératocône, taie cornéenne, antécédent de chirurgie réfractive, dégénérescence pellucide marginale). Les patients présentant un astigmatisme en nœud de papillon régulier sont les plus appropriés pour l'implantation torique, l'astigmatisme irrégulier est une contre-indication relative. En fait, l'implantation torique peut être une option appropriée dans le kératocône et avec des résultats satisfaisants, si l'astigmatisme central est léger et stable et le risque de progression chez ces patients est minime [108, 109].
- Des pathologies cornéennes : Les patients atteints de dystrophie endothéliale de Fuchs ou une autre dystrophie cornéenne pourrait nécessiter une kératoplastie à l'avenir, ce qui pourrait modifier l'astigmatisme cornéen. Il faut aussi tenir compte de l'état de la surface oculaire si l'on souhaite éviter les erreurs de calcul liées à une pathologie de surface (syndrome sévère de sécheresse oculaire). Ces patients ne sont donc pas de bons candidats pour l'implantation torique.
- Une déformation anormale de l'iris ou de la pupille.
- Chez les patients présentant des comorbidités oculaires affectant l'acuité visuelle ou la qualité de la vision. Telles que, l'amblyopie, les maculopathie (dégénérescence maculaire liée à l'âge,

œdème maculaire, ischémie maculaire), le glaucome avec altération du champ visuel, les neuropathies optiques et les uvéites.

Ce bilan préopératoire comportant l'examen ophtalmologique et l'utilisation systématique de plusieurs instruments diagnostiques permet aussi le calcul de la puissance sphéro-cylindrique de l'implant torique et la précision des paramètres d'alignement de cet implant torique dans l'œil.

D. CALCUL DE LA PUISSANCE DE L'IMPLANT TORIQUE

Obtenir la réfraction postopératoire souhaitée avec les implants toriques nécessite une précision extrême dans les mesures de la kératométrie, de la biométrie oculaire et le bon choix de la formule de calcul.

1. ÉTUDE DE LA KERATOMETRIE

La kératométrie correspond à la mesure de la puissance et des courbures cornéenne. C'est un temps fondamental de l'examen qui doit être mené de manière rigoureuse.

1.1 LES APPAREILS DE MESURE :

Différents matériels sont actuellement disponibles :

1.1.1 LES KERATOMETRES MANUELS

Le Javal mesure la puissance cornéenne sur 2 points distants de 3 millimètres. Il consiste en la projection sur la face antérieure de la cornée de deux mires graduées sur la zone centrale, l'une en marche d'escalier et l'autre rectangulaire. On recherche l'angle où les deux mires s'affrontent perpendiculairement pour amener les lignes de foi dans le prolongement l'une de l'autre, on réalise ensuite une rotation de 90 ° nous donnant l'axe du 2e rayon de courbure et on réaffronte les mires pour obtenir sa valeur.

Le Javal sous-évalue souvent les valeurs de la kératométrie et présente des limites, car il ne permet de mesurer que 2 points cornéens, sachant que la cornée n'est pas toujours régulière entre les 2 points mesurés. La zone centrale est seulement extrapolée et la périphérie n'est pas explorée. L'irrégularité n'est que parfois détectée, mais jamais mesurée de manière fiable[110].

1.1.2 LES AUTOKERATOMETRES AUTOMATIQUES

Le Javal a été avantageusement remplacé par la kératométrie automatisée, simple et reproductible, cette mesure repose sur l'analyse du reflet spéculaire antérieur de points répartis sur un cercle de 3 mm de diamètre centré sur le vertex cornéen[110]. Ils sont souvent couplés aux réfractomètres automatiques et aux biomètres optiques. Les autoréfracto-kératométries permettent non seulement de mesurer l'astigmatisme oculaire total, mais surtout la mesure de la composante cornéenne, utile pour l'indication de l'implantation torique (cf. figure 11).

Plusieurs études ont démontré que les valeurs retrouvées sont certes fiables et reproductibles en termes de puissance et d'axe [111-113], mais elles ne représentent qu'une portion limitée de la cornée centrale, ne tiennent pas compte de l'astigmatisme engendré par la face postérieure de la cornée et ne peuvent pas mettre en évidence des astigmatismes asymétriques ou irréguliers.

1.1.3 LES BIOMETRES OPTIQUES

Les biomètres optiques, calculent à partir de plusieurs dizaines de points sur plusieurs anneaux de 1.65 à 2.6 mm de diamètre, la kératométrie moyenne et les axes principaux du cylindre [114, 115].

Plusieurs modèles ont vu le jour ces vingt dernières années[116], les modèles les plus couramment utilisés actuellement sont :

- L'IOLMaster 500 (Carl Zeiss Meditec AG) utilise un keratomètre automatisé pour mesurer la courbure antérieure de la cornée. Six spots de lumière sont projetés sur la cornée dans un diamètre de 2.3 mm.
- Le Lenstar (Haag-Streit AG) mesure la courbure cornéenne antérieure à l'aide d'une kératométrie automatisée. Trente-deux spots lumineux, divisés sur 2 anneaux d'un diamètre de 1.65 mm et 2.30 mm sont projetés sur la cornée.
- AL-Scan (Nidek) est un biomètre optique, qui permet l'obtention de toutes les données nécessaires au calcul d'implant intraoculaire en une seule séquence de 10 secondes. La kératométrie mesure jusqu'à 360 points sur deux cercles de 2.4 et 3.3 mm.
- Aladdin (Topcon) prend 6 mesures en 0.2-0.3 seconde (cf. figure 11). Outre la kératométrie, il évalue la longueur axiale, la profondeur de la chambre antérieure, la distance blanc à blanc, la topographie cornéenne, la pupillométrie dynamique. Il est le seul biomètre à permettre le calcul des aberrations sphériques cornéennes.

Les biomètres optiques sont devenus actuellement la référence absolue en termes de mesure de la kératométrie et de la longueur axiale [116-118]. Certains d'entre eux permettent également le calcul direct des implants toriques ; cependant, tout comme les autoréfractomètres, ils demeurent insuffisants pour détecter d'éventuelles irrégularités du cylindre cornéen et ne tiennent pas compte de l'astigmatisme de la face postérieure de la cornée.



1.1.4 LES TOPOGRAPHES

Ils existent différents modèles avec deux types de méthodes d'analyse :

PAR RÉFLEXION SPÉCULAIRE.

Ce sont des topographes spéculaires dérivées du disque de Placido ; qui consiste à projeter des cercles concentriques sur la surface antérieure de la cornée et en recueillir le reflet. Ces reflets sont ensuite analysés par un logiciel, permettant ainsi de relever les différences de courbure entre des milliers de points situés sur tous les méridiens et à toute distance de l'apex cornéen, si l'on excepte

l'extrême centre, qui constitue une tache aveugle en raison de l'absence de cercles et de la présence de la caméra au centre du dispositif.

❑ LES TOPOGRAPHES D'ÉLÉVATION

Ils sont basés sur le balayage optique, soit d'une fente lumineuse (Exemple : Orbscan® Bausch and Lomb), ou d'une caméra rotative Scheimpflug comme le Pentacam® (cf. figure 12). Ces topographes d'élévation permettent une évaluation quantitative et qualitative de la cornée et doivent être considérés comme indispensables avant une implantation torique :

1. Ils fournissent avec exactitude et à partir de plusieurs milliers de points, les axes principaux du cylindre de la face antérieure de la cornée.
2. Pour ce qui est de la kératométrie dans le calcul des implants toriques, certaines études n'ont pas noté une meilleure performance par rapport aux autres kératomètres [119, 120]. Alors que d'autres études ont trouvées que les mesures kératométriques avec ces topographes étaient comparables avec les autres keratometres[111, 121].
3. Ils permettent d'éliminer les astigmatismes irréguliers ou très asymétriques qui sont des contre-indications à l'implantation torique. Ils permettent aussi de suspecter et/ou de détecter un kératocône fruste, qui malgré les résultats encourageants de certaines études le kératocône doit être considéré comme une contre-indication à l'implantation torique en première approche [122, 123].
4. Ces topographes mesurent par ailleurs la puissance de la face postérieure de la cornée et permettent de déterminer la valeur et la forme clinique de l'astigmatisme cornéen postérieur, l'influence de cet astigmatisme cornéen postérieure sur l'astigmatisme cornéen total et sur les résultats réfractifs postopératoires est actuellement indiscutable.

1.1.5 L'ABERROMETRIE

L'astigmatisme total est principalement induit par la toricité de la cornée, mais peut être également modulé par une composante cristallinienne. L'abérométrie apporte de nouvelles données par l'analyse précise quantitative et qualitative de l'astigmatisme. En fait, ces systèmes d'analyse composés à la fois d'un aberromètre et d'un topographe (comme l'OPDscan® de Nidek) permettent de séparer les composantes internes et cornéennes et les composantes régulières et irrégulières de l'astigmatisme oculaire (cf. figure 13). Cette distinction peut influencer sur la stratégie de correction de l'astigmatisme [124, 125].

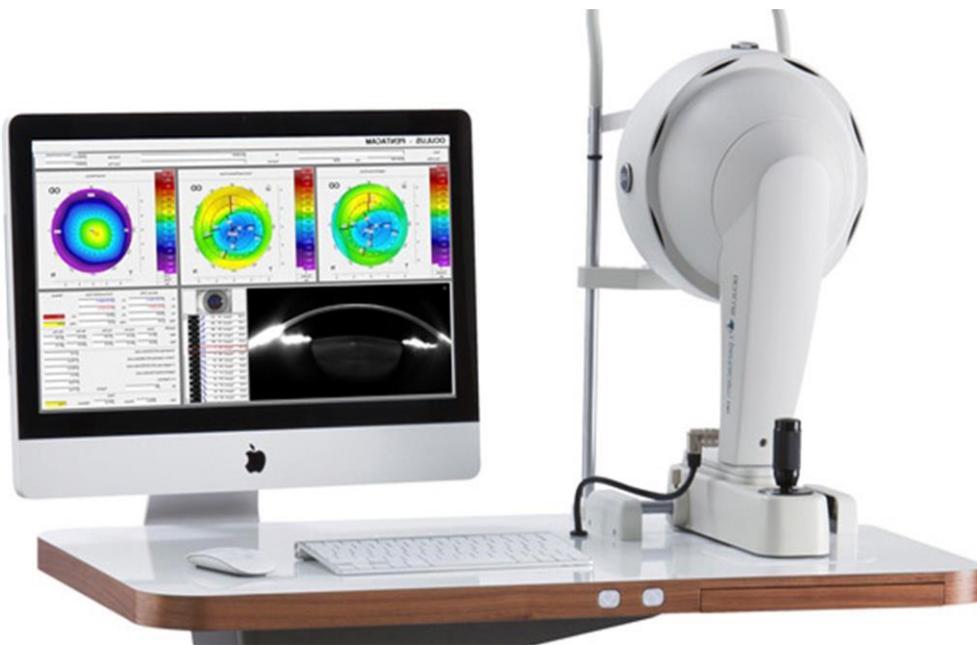


Figure 12 : Pentacam® — (occlus) qui est une caméra rotative Scheimpflug qui capte des images du segment antérieur de l'œil. Elle fournit la topographie antérieure et postérieure de la cornée, et des informations sur la chambre antérieure de l'œil/Maîtrise de l' Maîtrise de l'astigmatisme en chirurgie de la cataracte/J.-L. FEBBRARO/réalités ophtalmologiques # 226_Novembre 2015



Figure 13 : OPD-Scan III (Nidek) qui combine : un Aberromètre, un topographe automatique, un kératomètre automatique et un pupillomètre-Pupillographe

1.2 LE CHOIX DE LA MESURE KERATOMITRIQUE IDÉALE

La kératométrie automatisée, l'interférométrie à cohérence partielle (IOLMaster), l'interférométrie optique à faible cohérence (Lenstar) et la topographie cornéenne peuvent être utilisées dans la planification de la correction de l'astigmatisme cornéen. Une kératométrie standard doit être utilisée avec prudence comme unique guide pour la planification de la chirurgie. Il peut y avoir des disparités entre les différents moyens utilisés dans la mesure de la kératométrie et il est parfois difficile de déterminer sur quelle méthode compter. Plusieurs études se sont intéressées à comparer la fiabilité des mesures des différents appareils disponibles actuellement :

Dans une étude comparant quatre méthodes différentes pour évaluer la puissance cornéenne antérieure : le Galilei Dual Scheimpflug (Ziemer, Port, Suisse), le topographe cornéen Humphrey Atlas (Carl Zeiss, Jena, Allemagne), IOLMaster (Carl Zeiss) et un keratomètre automatisé (Bausch & Lomb Inc, Rochester, New York, États-Unis). Ces appareils ont tous été jugés hautement reproductibles, comparables pour la mesure de l'astigmatisme cornéen préopératoire[111].

Six appareils, ont été testés par Visser et collaborateurs : IOLMaster (kératométrie automatisée), Lenstar (kératométrie automatisée), SMI Reference Unit 3 (kératométrie automatisée), Javal (kératométrie manuelle), KR-1W (topographie cornéenne) et le Pentacam (imagerie Scheimpflug). Les auteurs ont retrouvé, que les mesures de l'astigmatisme cornéen fussent comparables en utilisant la kératométrie automatisée, manuelle ou simulée [126].

Yong Park et collaborateurs ont suggéré que l'astigmatisme préopératoire déterminé à l'aide d'un keratomètre automatisé (IOL Master) montrait de meilleures performances dans la prédiction de l'astigmatisme postopératoire que l'utilisation d'un keratomètre de type Scheimpflug [127].

Une autre étude comparant les mesures kératométriques obtenues par un autokeratomètre (ARK-700A) et un topographe cornéen (Atlas), a retrouvé que les deux appareils ont fourni une comparabilité excellente, du pouvoir et de l'astigmatisme cornéen[121].

En Iran une étude a retrouvé que la corrélation dans les mesures de la kératométrie était très élevée entre, une Kératométrie manuelle (Javal Schiotz; Haag-Streit AG, Koeniz, Suisse), kératométrie automatisée (IOL Master version 3.02, Carl Zeiss Meditec, Jena, Allemagne), un topographe spéculaire (TMS4, Tomey, Erlangen, Allemagne) et un topographe avec camera Scheimpflug (Pentacam HR, Oculus, Wetzlar, Allemagne)[112].

Choisir entre autant de données pour le calcul de la puissance de l'implant torique peut générer de la confusion, car il n'est pas facile de savoir quelle est la combinaison qui fournit la puissance cornéenne et des mesures de la longueur axiale les plus exactes. La majorité des experts proposent de confronter les mesures de la kératométrie obtenues avec plusieurs appareils ou de prendre plusieurs mesures par le même appareil (en absence d'autres alternatives), et ensuite choisir la mesure la plus corrélée.

Dr Hill (East Valley Ophthalmology, Mesa, Arizona, <https://www.doctor-hill.com>) propose de prendre l'axe d'astigmatisme donné par la topographie et de choisir ensuite les valeurs de la kératométrie qui correspond à cet axe. Il met également en garde contre la planification d'une chirurgie torique basée uniquement sur la fonction d'autokératométrie de l'IOLMaster (Carl Zeiss Meditec), car ce biomètre largement utilisé n'a pas la précision requise pour déterminer de manière cohérente les méridiens plat et cambré de l'astigmatisme cornéen. En fait, il ne possède que six points de réflexions optiques sur la cornée, espacés de 60 degrés, si le méridien cambré s'aligne à 0 °, 60 °, 150 ° ou 180 degrés, IOLMaster pourrait bien fonctionner. Mais si le méridien cambré est à 30 °, 90 ° ou 120 degrés, la machine doit faire beaucoup d'interpolation[128].

2. ÉTUDE DE LA BIOMÉTRIE OCULAIRE

La deuxième étape pour obtenir un résultat réfractif postopératoire satisfaisant est une biométrie oculaire précise. La biométrie permet de mesurer les différentes dimensions de l'œil, notamment : la longueur axiale (LA), la profondeur de la chambre antérieure (PCA), l'épaisseur du cristallin (EC) et l'épaisseur de la cornée centrale (ECC). La précision des mesures est cruciale car une erreur de 01 mm dans la LA entraîne une erreur de réfraction d'environ 2.5 dioptries [129, 130].

2.1 LA BIOMÉTRIE A ULTRASONS

L'échographie à ultrasons est couramment utilisée en biométrie ophtalmologique. Elle nécessite un contact physique avec les yeux par un transducteur ou un bain d'immersion de solution saline. Cette technique mesure la distance entre la surface de l'apex de la cornée et la membrane limitante interne (MLI). Un bon alignement le long de l'axe oculaire est important et requiert la coopération du patient, ce qui peut être difficile chez les enfants ou les patients souffrant de troubles mentaux.

2.1.1 BIOMÉTRIE CONTACT

Dans la méthode du contact (aplanation), la sonde ultrasonore touche directement la cornée et donne un échogramme bien particulier (cf. figure 14). Cette biométrie en mode A-scan dépend

complètement de l'examineur, car elle nécessite un contact direct avec la cornée (cf. figure 15). Il existe un risque de lésion ou d'infection de la cornée et par conséquent, un anesthésique topique et une désinfection appropriée de la sonde sont nécessaires.

Les différences interindividuelles qui se produisent dépendent fortement de la pression exercée sur l'œil par la sonde à ultrasons. Une pression élevée entraîne une indentation cornéenne et un raccourcissement de la longueur axiale. Des études faites pour l'évaluation de cette technique comparée à la technique d'immersion ont démontré un raccourcissement moyen de longueur axiale de 0,1 à 0,33 mm [131, 132].

2.1.2 BIOMÉTRIE PAR IMMERSION

Dans la technique d'immersion, une coque sclérale remplie de liquide est placée sur la cornée pendant que le patient est allongé sur le dos. La sonde est immergée dans le fluide recouvrant la cornée) (cf. figure 16).

L'échographie par immersion est une méthode précise de mesure de longueur axiale, généralement considérée comme supérieure aux techniques d'échographie par aplanation. L'absence de dépression cornéenne en tant que facteur d'erreur, réduit le risque de variabilité des mesures. Des études cliniques ont montré que la biométrie par immersion est plus précise et plus fiable que la biométrie à ultrasons réalisée en mode contact [131, 132].

2.1.3 LA BIOMÉTRIE GUIDÉE PAR LE MODE B

La biométrie guidée par le mode B permet de garder le contrôle sur la mesure et présente l'avantage de mesures fiables, quelles que soient les opacités des milieux, avec une précision comparable aux biomètres optiques [133]. Cette biométrie en mode B représente une alternative très efficace avec l'avantage de pouvoir réaliser un bilan complet du segment postérieur avant l'intervention, notamment en cas de cataracte dense limitant à la fois la biométrie et l'accès au fond d'œil.

En pratique, le patient est en décubitus dorsal avec une goutte d'anesthésie locale. Une épaisse couche de gel lacrymal est appliquée sur la sonde afin d'éviter une compression cornéenne pouvant fausser les mesures. Une sonde de 10 MHz est utilisée pour la mesure de la longueur axiale et pour une exploration globale de l'œil.

La limite de la biométrie en mode B est liée à sa courbe d'apprentissage plus au moins longue, l'impossibilité de délégation des tâches et la nécessité d'une certaine ergonomie (lit pour décubitus

dorsal, anesthésie de contact et gel de contact). Différents appareils permettant une biométrie guidée par le mode B : Aviso (Quantel Medical); Eye Cubed (Ellex); Master-Vu (Sonomed) [134].

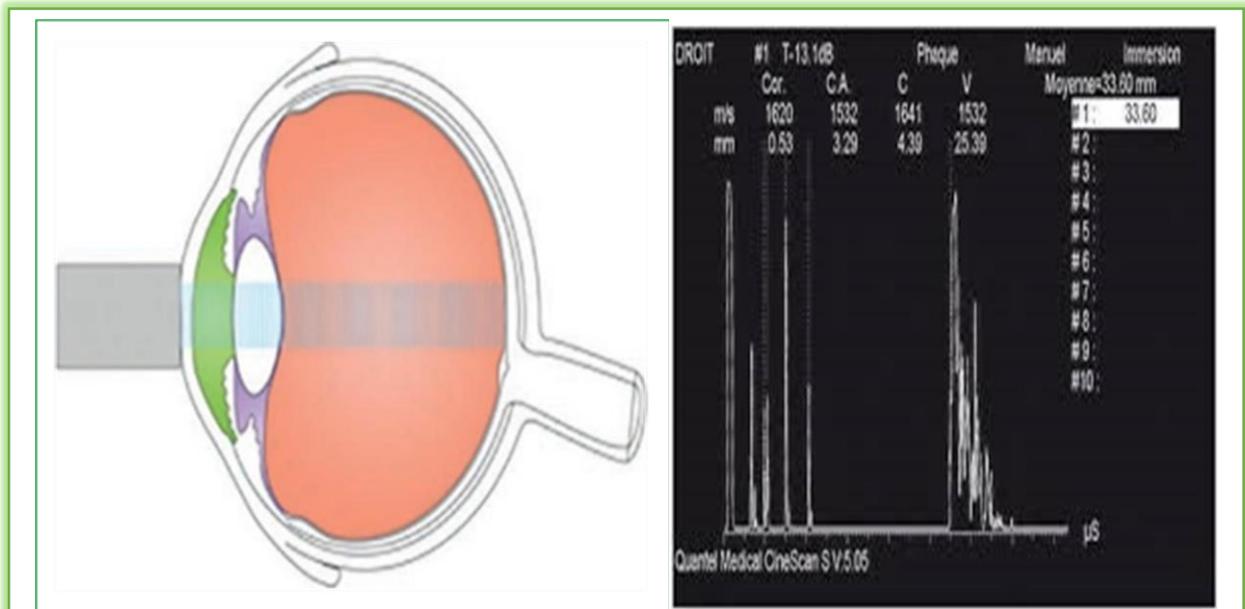


Figure 14 : échogramme d'une biométrie à ultrasons à droite (quantel medical), service d'ophtalmologie HMRU Constantine

Figure 15 : biométrie contact /Échographie et biométrie/D. HOA/réalités ophtalmologiques– n° 238_Janvier 2017

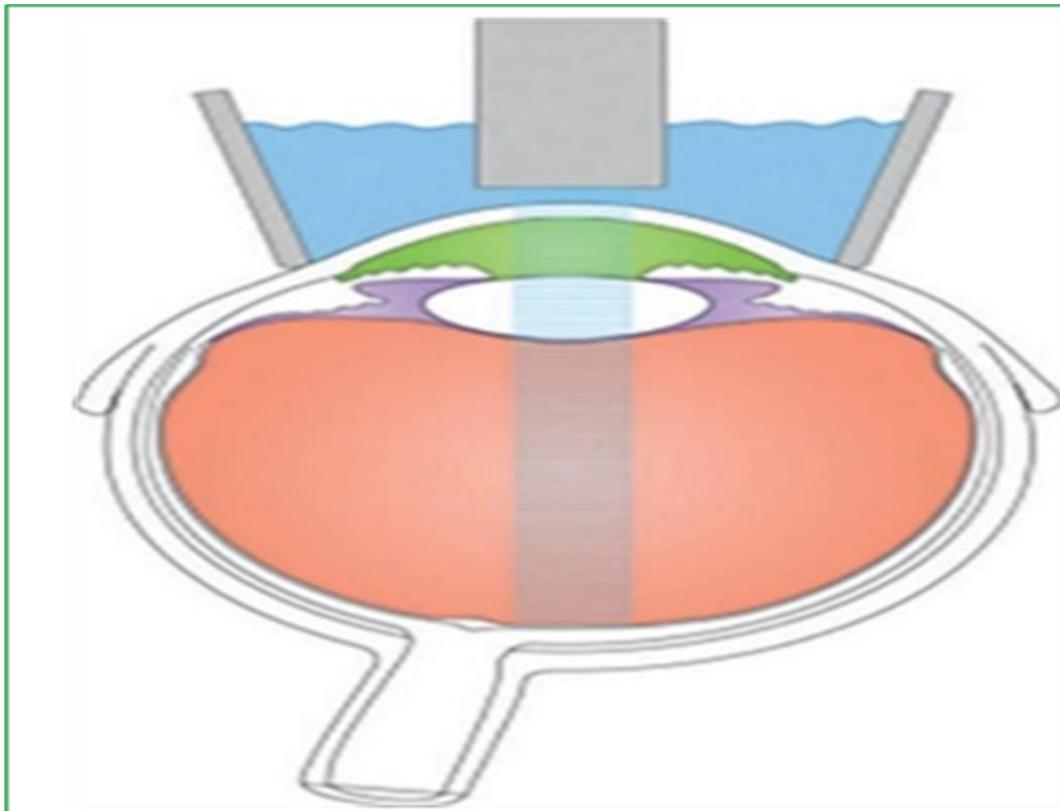


Figure 16: biométrie par immersion/Échographie et biométrie/D. HOA/réalités ophtalmologiques # Tiré à part – n° 238_Janvier 2017

2.2 LA BIOMÉTRIE OPTIQUE

L'introduction de la biométrie optique a progressivement remplacé les méthodes par ultrasons. Cette technique utilise l'interférométrie pour l'étude de la biométrie oculaire, elle mesure l'intensité et le retard de l'écho d'une lumière infrarouge qui est réfléchiée par les différentes interfaces internes des tissus. Cette biométrie optique mesure la distance entre la surface de la cornée et l'épithélium pigmentaire rétinien [114, 115].

Les résultats en matière de mesure de la longueur axiale sont comparables à ceux obtenus par biométrie ultrasonore par immersion [135, 136]. Cette nouvelle méthode est rapide, facile à reproduire par différents examinateurs, non invasive et sans contact. Cependant, le patient doit fixer une lumière interne de l'appareil pour permettre l'axialité avec la fovéa. Et en conséquence, les patients avec cataracte nucléaire dense ou sous-capsulaire, les patients avec des cicatrices cornéennes centrales, un décollement de rétine, une hémorragie vitréenne et les patients pour lesquels la coopération est faible (les enfants, nystagmus, tremblement parkinsoniens...), la biométrie oculaire est impossible avec les biomètres optiques, et doivent être évaluées par la méthode ultrasonore [137].

La fiabilité des mesures obtenues avec cette technique est élevée et les résultats dépendent moins des compétences de l'opérateur [138]. La biométrie optique peut également être réalisée avec succès dans les yeux difficiles : les pseudophaques, les yeux remplis d'huile de silicone, les yeux opérés de chirurgie réfractive. De plus, dans les yeux forts myopes (en raison de la présence d'un staphylome postérieur), il peut donner de meilleurs résultats pour mesurer la longueur axiale que les techniques d'échographie conventionnelles.

Le développement de ces biomètres optiques n'a cessé d'évoluer, les nouveaux appareils fournissent non seulement des mesures de la longueur axiale, mais aussi d'autres variables très importantes pour la bonne évaluation de la position effective de l'implant « ELP ». Telles que : la kératométrie, PCA, EC, ECC, taille de la pupille (PS) ou distance de blanc à blanc (BAB).

Les biomètres optiques sont de plus en plus sophistiqués, ces appareils associent des technologies de plus en plus complexes et des formules intégrées plus évoluées. La rapidité des mesures et la précision des résultats sont sans cesse augmentées au profit des patients et des chirurgiens. Il est estimé qu'avec les techniques de biométrie optique actuelles, on peut atteindre une précision de ± 0.50 D dans plus de 70 % des cas, et de ± 1.00 D dans plus de 90 % des cas [137].

Un large choix est disponible sur le marché actuellement (cf. tableau N2) :

Tableau 2 : tableau récapitulatif de différents biomètres optiques actuellement disponibles /effective ocular biometry and intraocular lens power calculation/european ophthalmic review/10.17925/eor.2016.10.02.94

AL: longueur axiale;K: kératométrie;CCT: pachymétrie cornéenne centrale;ACD: profondeur de chambre antérieure;LT: épaisseur cristallinienne; WTW: diamètre blanc à blanc;PD: diamètre pupillaire;RCR: Partial Coherence Interferometry;OLCR: Optical Low Coherence Reflectometry;

Appareil	Société	Technologie	Mesures	Formules
IOL Master500®	Carl Zeiss	PCI	<ul style="list-style-type: none"> • AL • K • ACD • WTW • PD 	<ul style="list-style-type: none"> • SRK/T • Holladay • Hoffer Q • Haigis • Haigis L
IOL Master700®	Carl Zeiss	OCT Swept Source	<ul style="list-style-type: none"> • AL • K • CCT • ACD • LT • WTW • PD 	<ul style="list-style-type: none"> • SRK/T • Holladay II • Hoffer Q • Haigis suite : Haigis, Haigis L (post-réfractif), Haigis T (implants toriques)
Lenstar 900 LS®	Haag-Streit	<ul style="list-style-type: none"> • OLCR 	<ul style="list-style-type: none"> • AL • K • CCT • ACD • LT • WTW • PD 	<ul style="list-style-type: none"> • SRK/II/T • Holladay • Haigis • Hoffer Q • Olsen • Shammas, (modified) • Barrett (implants toriques)
AL-Scan®	Nidek	<ul style="list-style-type: none"> • PCI±US • Scheimpflug 	<ul style="list-style-type: none"> • AL • K • CCT • ACD • LT • WTW • PD±LT 	<ul style="list-style-type: none"> • SRK/II/T • Hoffer Q • Haigis • Shammas, Camellin Calossi
Aladdin®	Topcon	<ul style="list-style-type: none"> • OLCR • RCR 	<ul style="list-style-type: none"> • AL • K • CCT • ACD • LT • WTW • PD 	<ul style="list-style-type: none"> • SRK/II/T • Holladay • Haigis • Hoffer Q • Camellin – Calossi, Haigis L • Shammas
Galilei G6®	Ziemer	<ul style="list-style-type: none"> • OLCR • Placido • Topographie cornéenne par Dual Scheimpflug • Ray Tracing 	<ul style="list-style-type: none"> • AL • K • CCT • ACD • LT • WTW • PD 	<ul style="list-style-type: none"> • SRK/II/T • Holladay • Haigis • Hoffer Q
OA 2000®	Tomey	<ul style="list-style-type: none"> • OCT Swept Source • Ray Tracing • Topographie cornéenne (Placido) 	<ul style="list-style-type: none"> • AL • K • CCT • ACD • LT • WTW • PD 	<ul style="list-style-type: none"> • SRK/II/T • Holladay • Haigis • Hoffer Q • Shammas, Double k (Arramberi)

3. LES FORMULES DE CALCUL

Une fois les paramètres biométriques et kératométriques recueillis, il demeure nécessaire de les intégrer au sein d'une formule de calcul pour prédire la puissance d'implant destinée à induire la réfraction désirée. Et, quelle que soit la formule utilisée, l'incertitude ne peut être dissipée, car il n'est pas possible de déterminer avec exactitude la position effective de l'implant dans le sac capsulaire et il est admis que pour chaque millimètre d'écart entre la position attendue et la position obtenue de l'implant dans l'œil, on peut estimer l'erreur réfractive totale à environ 1 D [139].

3.1 LES DIFFÉRENTES FORMULES DE CALCUL

Les formules de calcul sont sans cesse en évolution. Les premières formules ont été conçues à partir de longueur axiale ultrasonore et de kératométrie manuelle et ont été pour la plupart théorique ou de régression. Les dernières formules utilisent plus de variables pour prédire la position effective de l'implant intraoculaire et le calcul de la puissance de l'implant.

1.1.1. LES FORMULES DE PREMIÈRE GÉNÉRATION

Les formules originales de première génération sont soit (cf. figure 17):

❑ LES FORMULES THÉORIQUES :

Ces formules ont permis de calculer la puissance de l'implant à partir d'un modèle d'œil simplifié (l'œil schématique) et des principes mathématiques, la formule de Fyodorov fut pionnière dans ce domaine, publiée en 1967. Par la suite, Colenbrander a décrit sa formule en 1973, suivie de Hoffer en 1974. En 1975, Binkhorst a publié sa formule et qui était largement utilisée aux États-Unis.

❑ LES FORMULES DE RÉGRESSION

Ces formules sont basées sur l'analyse des réfractions postopératoires des patients, telles que la formule SRK développée par Sanders, Retzlaff et Kraff en 1980. Comparée avec les autres formules de première génération, la formule SRK était supérieure, car elle comportait une marge d'erreur plus petite[140].

Ces formules de première génération avaient un succès mitigé, les résultats réfractifs postopératoires ont été satisfaisantes pour les patients avec une longueur moyenne des yeux (22-24 mm), mais en cas des yeux très courts ou très longs, ces formules conduisent le plus souvent à une erreur de réfraction[140].

1.1.2. LES FORMULES DE DEUXIÈME GÉNÉRATION

Une analyse plus poussée des données cliniques était nécessaire pour améliorer la précision des premières formules, cela a permis le développement des formules de deuxième génération, qui sont plus précises. Hoffer fut en 1981 un des premiers à tenter de corréler la position effective de l'implant à la longueur axiale, par la suite d'autres formules ont été publiées ; Shammas, Binkhorst II, SRK-I (cf. figure 17).

La formule SRK II apparue en 1988 comprend une constante A modifiée, liée à la longueur de l'œil. Cette formule avait un succès plus important [141]. Malgré cette amélioration, les formules de première et de deuxième génération sont maintenant considérées comme obsolètes et devraient être évitées en pratique clinique. Les formules de troisième et quatrième génération devraient plutôt être choisies [41].

1.1.3. LES FORMULES DE TROISIÈME GÉNÉRATION

Les Formules de troisième génération, notamment Holladay1 (1988), SRK/T (1990) et Hoffer Q (1993), représentent une fusion de la régression et des formules théoriques. Ces formules reposent sur deux variables : la longueur axiale (LA) et la kératométrie (K) (cf. figure 17), une cornée plus cambrée suggérée donc une profondeur de chambre accrue et en conséquence, une position plus lointaine de l'implant vis-à-vis de la cornée et inversement.

Ainsi la longueur axiale de l'œil est très déterminante pour le choix d'une formule de 3e génération, afin de calculer la puissance de l'implant intra oculaire. Ces formules peuvent être aussi optimisées en ajustant avec un facteur approprié : la constante ACD pour la formule de Hoffer Q [130] et la constante A pour la formule SRK/T [142].

Plusieurs études concernant ces formules de troisième génération ont prouvées une bonne fiabilité dans le calcul des implants intraoculaires, avec une diminution considérable de l'erreur de réfraction postopératoire [129, 143].

1.1.4. LES FORMULES DE QUATRIÈME GÉNÉRATION

Les formules de quatrième génération ont été promulguées depuis les années 1990 et comprennent les formules : Haigis, Holladay2, Olsen, Barrett Universal II, Abulafia -koch, VRF, Hill-RBF (cf. figure 17). Ces formules nécessitent plus de variables (haigis : 3 variables, holladay 2 : 7 variables) pour le calcul de la puissance de l'implant et prédire la position effective de l'implant intraoculaire (ELP).

L'enjeu principal des formules de dernière génération est ainsi d'accroître la précision du calcul biométrique pour l'utilisation des implants premiums (torique, multifocales..) et dans les yeux atypiques [143, 144]. Ces formules de 4e génération accordent moins d'importance à la kératométrie pour la prédiction de la position effective de l'implant (ELP). En revanche, d'autres mesures y sont incorporées : la longueur axiale, la profondeur de la chambre antérieure, le diamètre blanc à blanc, l'épaisseur du cristallin, l'épaisseur cornéenne centrale et le diamètre pupillaire.

- la Formule de Haigis

En 1999, Haigis a proposé d'utiliser trois constantes pour prédire la position effective de l'implant fondée sur les caractéristiques anatomiques de l'œil et de l'implant utilisé, la kératométrie n'est pas utilisée pour prédire la position effective de l'implant. En revanche, le type d'implant, la profondeur de la chambre antérieure préopératoire (ACD) et la longueur axiale (AL) sont inclus dans le calcul de la position effective de l'implant (ELP)

La formule de Haigis

Utilise trois constantes : a0, a1 et a2 pour calculer l'ELP :

$$d = a0 + (a1 \times ACD) + (a2 \times AL)$$

Les constantes optimisées du site ULIB : <http://www.augenklinik.uni-wuerzburg.de/ulib/c1.htm> sont plus précises que celles des fabricants et d'une grande utilité (cf. figure 18).

Ces formules de quatrième génération sont en continuelle progression, de nouvelles formules apparaissent chaque année. Plusieurs formules utilisent l'Intelligence artificielle en analysant d'énormes bases de données. Dans le cas de la formule Hill-RBF, elle utilise une base statistique sophistiquée pour trouver des relations qui ne sont pas évidentes dans approches théoriques [145].

Certains appareils utilisent la méthode de ray-tracing pour le calcul de la puissance des implants premiums. Cette nouvelle méthode utilise un logiciel spécifique (p. expemple : Okulix, Phacoptics) capable d'effectuer la simulation du tracé de rayons à travers un œil modèle et le calcul de la puissance de l'implant [145]. La supériorité de cette approche sur les formules de quatrième génération n'est pas véritablement démontrée, même si des résultats encourageants ont été obtenus [145].

	Valeurs utilisées pour estimation de L'ELP	formules
1 Génération	ELP (théorique)constante	Fyodorov , Binkhorst I
2 Génération	LA	Shamas, Binkhorst II, SRKI, SRKII
3 Génération	LA , K	Hoffer Q, SRK T, Holladay I,
4 Génération	LA , K , PCA , EC , H-WTW , ECC.....	Holladay II, haigis, olsen, barrett universel II , abulafia-koch Hill-RBF

Figure 17 : les différentes générations de formules apparues avec les variables nécessaires pour l'utilisation de chaque formule, Dr Degdeg, service d'ophtalmologie HMRU Constantine



ULIB
User Group for Laser Interference

- For relations between optimized IOL constants for different IOL formulas click [here](#).
- For relations between IOL constants for optical and acoustical biometry click [here](#).
- The following table may be downloaded and fed directly into the *IOLMaster*. For details click [here](#).

Please note:
The following IOL constants were derived from clinical results with the ZEISS IOLMaster. Since they reflect the special hardware and processing conditions of the IOLMaster.

Optimized IOL Constants for the ZEISS IOLMaster calculated from patient data on file (as of Oct 31, 2016):
Please note: constants are preliminary, especially if n < 50 ! (For details how to create your own tentative constants, please click here).
Please note also: the constant a0 of the Haigis formula may be positive as well as negative !

IOL	nominal	Haigis	HofferQ	Holl.I	SRK/T	SRK II	n
1stQ Basis Z	A=118.0	a0=0.325 a1=0.255 a2=0.141	pACD=5.01	sf=1.25	A=118.1	A=118.3	672 <small>NEW</small>
1stQ Basis Q	A=118.0	a0=0.278 a1=0.427 a2=0.120	pACD=5.02	sf=1.25	A=118.1	A=118.3	601 <small>NEW</small>
1stQ Basis Z progressiv - discontinued	A=118.0	a0=1.18 a1=0.40 a2=0.10	pACD=5.40	sf=1.64	A=118.8	A=119.0	59 <small>NEW</small>
1stQ Basis Z hydrophob (+)	A=118.0	a0=1.32 a1=0.40 a2=0.10	pACD=5.46	sf=1.70	A=118.9	A=119.2	97
1stQ Basis K	A=118.9	a0=0.95 a1=0.40 a2=0.10	pACD=5.15	sf=1.37	A=118.3	A=118.6	122
Aaren Scientific OPTIVIS	A=118.1	a0=0.75 a1=0.40 a2=0.10	pACD=4.97	sf=1.20	A=118.0	A=118.2	71
Aaren Scientific AQUA 4 Y RM	A=118.5	a0=1.36 a1=0.40 a2=0.10	pACD=5.54	sf=1.74	A=118.8	A=119.2	117
Aaren Scientific EC-3	A=118.2	a0=1.45 a1=0.40 a2=0.10	pACD=5.69	sf=1.89	A=119.1	A=119.4	35
Aaren Scientific EC-1YH PAL	A=117.8	a0=1.20 a1=0.40 a2=0.10	pACD=5.40	sf=1.61	A=118.7	A=118.8	100
Aaren Scientific EC-1R PAL	A=118.3	a0=1.22 a1=0.40 a2=0.10	pACD=5.37	sf=1.63	A=118.7	A=119.1	55
Aaren Scientific EC-3 PAL	A=117.7	a0=1.10 a1=0.40 a2=0.10	pACD=5.28	sf=1.46	A=118.4	A=118.4	47 <small>NEW</small>
Alcon AcrySof MA60BM (Japan)	A=118.9	a0=1.98 a1=0.40 a2=0.10	pACD=6.10	sf=2.32	A=119.8	A=120.5	99
Alcon SA60AT (Japan)	A=118.4	a0=-1.627 a1=0.305 a2=0.248	pACD=5.64	sf=1.83	A=118.9	A=119.2	501
Alcon SN60WF (Japan)	A=118.7	a0=-1.268 a1=0.342 a2=0.233	pACD=5.79	sf=1.95	A=119.1	A=119.4	202
Alcon SN60WF IQ (India)	A=118.7	a0=1.35 a1=0.40 a2=0.10	pACD=5.53	sf=1.76	A=118.9	A=119.3	68
Alcon AcrySof MA60BM	A=118.9	a0=1.443 a1=0.077 a2=0.163	pACD=6.08	sf=2.33	A=119.8	A=120.4	271

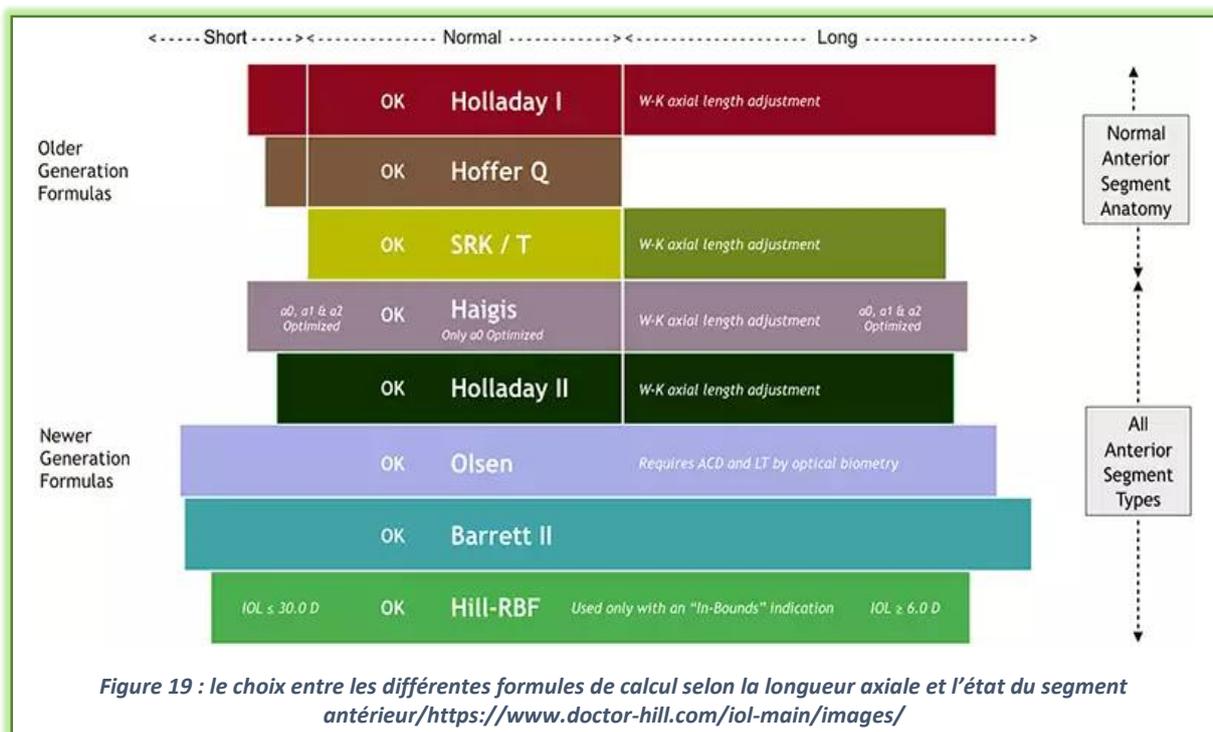
Figure 18 : les paramètres d'ajustement des formules de calcul (les constantes a, a0, a1, a2, ACD, A , SF...) pour différents implants validés sur le site ULIB <http://www.augenklinik.uni-wuerzburg.de/ulib/c1.htm>

3.2 CHOIX DE LA MEILLEURE FORMULE DE CALCUL

Pour le clinicien, le choix d'une formule de calcul repose essentiellement sur la compréhension des différences entre ces dernières (cf. figure 19). Le choix d'une formule particulière est orienté par la biométrie de l'œil (surtout la longueur axiale), le type d'implant utilisé (sphérique, asphérique, torique, multifocale) ou un contexte clinique particulier (chirurgie réfractive antérieure).

Dans une étude publiée en 1993, Hoffer a démontré que dans les yeux normaux avec des longueurs axiales comprises entre 22 mm et 24.5 mm, presque toutes les formules de troisième génération donnent des résultats similaires ou très rapprochés ; cependant, en dehors de cette norme de longueur axiale, les formules commencent à différer. La formule Holladay 1 était la plus précise pour les yeux de 24.5 à 26.0 mm, alors que la SRK/T fonctionnait mieux dans les yeux très longs (> 26.0 mm), la formule Hoffer Q était la plus précise pour les yeux courts (<22.0 mm) [130].

À l'heure actuelle, et pour être en dessous du 0.5 D d'astigmatisme résiduel, l'estimation précise de la position effective de l'implant dans les yeux atypiques ou avec des traitements photo-ablatifs, oblige le recours à des formules de dernière génération, valables pour toutes les longueurs des yeux et quel que soit l'état de la cornée (LAZIC, PKR, SMILE) et du segment antérieur (cf. figure 19). La plupart des biomètres existant actuellement sont équipés de principales formules de calcul. Les plus récentes sont souvent protégées et disponibles que sur certains appareils. D'autres formules récentes peuvent être utilisées sur des sites Internet, dont le site de l'ASCRS (<http://ascrs.org/online-tools>), ou celui de Dr Hill (<http://www.doctor-hill.com>).



4. CHOIX DE L'IMPLANT TORIQUE

Le choix de l'implant torique est l'étape finale avant le passage à la chirurgie. Cette étape va être effectuée sur des logiciels Internet développés par les fabricants d'implants toriques. Pour le bon choix de l'implant torique, deux conditions sont nécessaires :

- La bonne estimation de l'astigmatisme chirurgicalement induit pour chaque chirurgien.
- La prise en compte de l'astigmatisme coréen postérieur dans la mesure de la puissance réfractive de la cornée et dans le calcul de l'amplitude de l'astigmatisme cornéen totale.

4.1 L'ASTIGMATISME INDUIT CHIRURGICALEMENT (AIC)

Un autre aspect important à considérer dans le calcul de l'implant torique et qui doit être mesuré au préalable, est la valeur d'astigmatisme induite par la chirurgie elle-même. L'astigmatisme induit chirurgicalement (surgical induced astigmatism en anglais ou SIA), doit être intégré au calcul de la puissance de l'implant torique afin de sélectionner le modèle le plus approprié pour un bon résultat réfractif proche de l'emmétropie. Cependant, la valeur exacte de l'AIC est difficile à prévoir et dépend de plusieurs facteurs, mais essentiellement de la localisation, la taille et l'architecture de l'incision.

4.1.1 LA LOCALISATION DE L'INCISION

C'est un facteur important à prendre en compte, car une incision sur méridien le plus cambré de la cornée aplatira ce méridien et entraînera un bombement du méridien orthogonal, ce qui réduira l'astigmatisme cornéen global. De plus, il a été démontré que les incisions temporales induisaient moins d'AIC que les incisions supérieures [146, 147]. Ceci est probablement dû à une incidence plus élevée d'astigmatisme contre de la règle (astigmatisme inverse) chez les personnes âgées ou en raison d'un emplacement plus périphérique de l'incision temporale sur la cornée [148].

4.1.2 LA TAILLE DE L'INCISION

Le Développement des techniques de phacoémulsification et le passage à de plus petites incisions a réduit le besoin aux sutures diminuant ainsi l'AIC. En fait, une incision cornéenne supérieure de 3 à 3.5 mm peut induire jusqu'à 1.50 D d'AIC, des incisions de 2.8 à 3.2 mm induisent un AIC entre 0.4 et 0.8 D en temporale et 0.6 D pour les incisions supérieures [149]. Pour les incisions de 2.2 mm, il a été démontré qu'elles induisent un AIC de 0.19 à 0.31 D en temporale et de 0.40 D en supérieure [150]. Les incisions inférieures à 2.0 mm sont moins astigmatogènes, une incision de 1,8 mm induit

un astigmatisme encore plus négligeable [150]. De ce fait, les micro-incisions de cataracte ne corrigent pas un astigmatisme cornéen préopératoire, mais elles optimisent en revanche la prédictibilité d'une implantation torique.

4.1.3 AUTRES FACTEURS

La qualité de la cornée et la valeur de l'astigmatisme en préopératoire, l'utilisation de sutures et l'âge des patients, sont aussi des facteurs qui peuvent influencer sur l'AIC.

En pratique :

Chaque chirurgien doit personnaliser sa valeur d'AIC dans sa population de patients. Cela peut être fait en analysant les modifications de l'astigmatisme cornéen en préopératoires et en postopératoires, sur une cohorte de 20 à 30 patients opérés de cataracte, ensuite ces valeurs sont transcrites sur un site Internet validé par l'ASCRS et l'ESCRS, c'est le www.SIA-calculator.com. Ce site Internet permet l'individualisation du SIA pour chaque chirurgien. Par défaut, certains auteurs prennent le siège de l'incision comme seul facteur déterminant de la valeur d'AIC, par exemple pour les incisions en 2.2 en temporal, ils inscrivent une valeur d'ACI égale à 0.3 D.

4.2 ASTIGMATISME CORNÉEN POSTÉRIEUR

Traditionnellement, l'amplitude et l'axe de l'astigmatisme cornéen total sont calculés uniquement sur la base des mesures cornéennes antérieures. Et du fait que, la différence d'indices de réfraction entre la cornée et l'humeur aqueuse est très minime, l'amplitude de l'astigmatisme cornéen postérieur était considérée comme cliniquement négligeable. Mais depuis le début de cette décennie, il est admis que le fait d'ignorer l'astigmatisme cornéen postérieur et se basé uniquement sur des mesures de la cornée antérieure pour la mesure de l'astigmatisme cornéen total, pourrait causer des résultats inattendus dans l'issue d'une implantation torique[151].

Koch et collaborateurs ont publié en 2012 une étude très intéressante pour l'optimisation des résultats réfractifs avec les implants toriques. Cette étude a rapporté des valeurs moyennes pour l'astigmatisme cornéen postérieur (ACP) allant de 0.26 à 0.78 D, cet ACP était supérieur à 0.50 D dans 9 % des yeux. Cette étude a aussi retrouvée que dans la plupart des yeux, l'astigmatisme cornéen postérieur était direct [152].

L'astigmatisme cornéen postérieur joue le rôle d'un ménisque négatif et tend à compenser partiellement l'astigmatisme cornéen antérieur. L'estimation incorrecte de l'astigmatisme cornéen total qui peut survenir en ignorant l'astigmatisme cornéen postérieur pourrait entraîner des erreurs de

correction : une surcorrection dans les yeux avec un astigmatisme cornéen direct et une sous-correction des yeux avec un astigmatisme inverse [66, 68, 151, 153].

En pratique :

Divers dispositifs comme la topographie Scheimpflug et l'OCT, sont capables actuellement de mesurer la valeur et l'axe de cet astigmatisme cornéen postérieur, mais les valeurs mesurées sont rarement intégrées dans le choix des implants toriques. Le nomogramme de Goggin et le nomogramme de Baylor, sont des méthodes d'ajustement de la puissance cylindrique des implants toriques, par l'application d'un coefficient de correction de la kératométrie cornéenne antérieure (pour l'astigmatisme direct et pour l'astigmatisme inverse)

Le nomogramme de Baylor, élaboré par Koch et collaborateurs (cf. figure 20) est le plus souvent utilisé pour raffiner le choix de l'implant torique [67, 152]. Ce nomogramme suppose pour tous les patients un astigmatisme cornéen postérieur contre la règle (ATR) avec une valeur fixe et suggère d'ajouter 0.7 D aux astigmatismes inverses et de soustraire 0,7 D dans les astigmatismes inverses. Par contre le nomogramme de Goggin, suggère que la surcorrection et la sous-correction ne sont évidentes que chez les yeux recevant des implants toriques inférieurs à 2.0 dioptries (D) de la puissance du cylindre [70, 154].

TABLE. THE BAYLOR TORIC NOMOGRAM		
Effective IOL Cylinder Power at Corneal Plane, D	WTR Astigmatism, D	ATR Astigmatism, D
0	≤ 1.69 (> 1.00: PCRI)	≤ 0.39
1.00	1.70-2.19	0.40 ^a -0.79
1.50	2.20-2.69	0.80-1.29
2.00	2.70-3.19	1.30-1.79
2.50	3.20-3.79	1.80-2.29
3.00	3.80-4.39	2.30-2.79
3.50	4.40-4.99	2.80-3.29
4.00	≥ 5.00	3.30-3.79

Abbreviations: WTR, with the rule; ATR, against the rule; PCRI, peripheral corneal relaxing incisions.
^aEspecially if spectacles have more ATR astigmatism.

Figure 20 : le nomogramme de Baylor pour l'ajustement de la puissance cylindrique des implants toriques/correcting astigmatism with torique intraocular lenses : effect of posterior corneal astigmatism/douglas d. koch, md/ j cataract refract surg — vol 2013

4.3 DÉTERMINATION DE L'IMPLANT TORIQUE

Après le recueil de différentes mesures, les données préopératoires (la puissance et l'axe de l'astigmatisme, la profondeur de la chambre antérieure, le siège de l'incision et l'amplitude de l'AIC) sont transcrites sur des interfaces Internet appelées calculateurs. Pour chaque implant torique existe un logiciel de calcul mis en place par le fabricant. Parmi les calculateurs existants, on peut retrouver :

- <https://envista.toriccalculator.com> pour l'Envista torique (Bausch and lomb, Valeant)
- <http://www.acrysoftoriccalculator.com> pour l'Acrysoft torique (Alcon, Novartis)

Certaines précautions peuvent avoir des conséquences notables sur les résultats postopératoires avec l'implant torique, il faut choisir un calculateur en ligne qui prend en considération :

- La profondeur de la chambre antérieure pour prédire l'ELP
- L'astigmatisme cornéen postérieur dans le calcul de l'astigmatisme cornéen total.

Une étude publiée en 2015 comparant les résultats réfractifs avec implants toriques en utilisant différents calculateurs toriques a montré que le nomogramme torique de Baylor ou le calculateur torique de Barrett ont considérablement réduit les erreurs de prédiction de l'astigmatisme résiduel dans le calcul des implants toriques. Cette étude a aussi démontré que le calculateur torique de Barrett qui prend en compte l'astigmatisme chirurgicalement induit et l'astigmatisme cornéen postérieur (cf. figure 21) a obtenu les résultats les plus précis et présente l'erreur médiane la plus faible dans l'astigmatisme résiduel prévu (0.35 à 0.54 D) par rapport aux calculateurs toriques Alcon et Holladay avec ou sans nomogramme de Baylor [155].

Ces calculateurs en ligne, une fois les données préopératoires renseignées permettent de donner la référence de l'implant à utiliser et l'axe sur lequel seront alignées les marques sur l'implant. Un schéma est fourni par le calculateur et il est très important de le ramener au bloc opératoire pour pouvoir vérifier l'axe d'alignement juste avant l'implantation (cf. figure 21).

BARRETT TORIC CALCULATOR K Index 1.3375 K Index 1.332 +VE CYLINDER -VE CYLINDER

Patient Data Toric IOL Calculator Guide

Calculate Reset Form Right (OD) Left (OS) Optional: K1 K2 IOL

Enter Data and Calculate

Doctor Name Patient Name Patient ID

Lens Factor (-2.0-5.0) or A Constant (112-125) Personal Constant

Flat K	<input type="text"/>	(35-55 D)
Flat Axis	<input type="text"/>	(0-180 degrees)
Steep K	<input type="text"/>	(35-55 D)
Steep Axis	<input type="text"/>	(0-180 degrees)
Axial Length	<input type="text"/>	(12-38 mm)
Optical ACD	<input type="text"/>	(0.0-6.0 mm)
Refraction	<input type="text"/>	D
Incision SIA	<input type="text"/>	(0.0-2.0 D)
Incision Location	<input type="text"/>	(0-360 degrees)
Lens Thickness	<input type="text"/>	(2.0-8.0 mm)
WTW	<input type="text"/>	(8-14 mm)

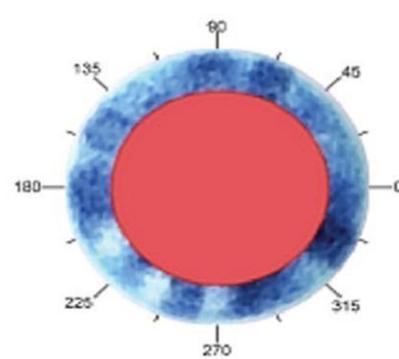


Figure 21 : le calculateur torique de Barrett/<http://ascrs.org/barrett-toric-calculator>

12/09/2018 enVista Calculateur torique - Résultat

BAUSCH + LOMB CE

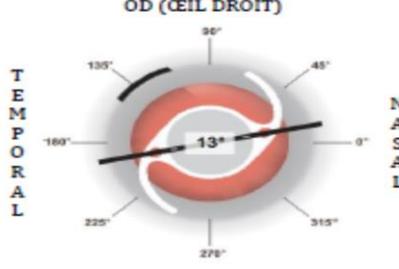
enVista[®] enVista Calculateur torique
Hydrophobe Toric Asphérique Intracapsulaire Lens

Nom du chirurgien: DR DEGDEG LAZHAR Nom du patient: boulahia fedjria
Date de naissance du patient:

SÉLECTION DE L'IMPLANT

Nom du produit: enVista[®] Toric
Modèle du produit: MX60T
Puissance sphère moy: 20.50 D
Puissance du cylindre de la LIO: (au plan de l'implant) 2.75 D
Réf. de commande: MX60TP275+205

OD (ŒIL DROIT)



Incision: 130°
Astigmatisme résiduel: 0,03 D x 13°

DÉTAILS DU CALCUL

Astigmatisme cornéen préopératoire:	Cylindre x Axe cornéen	1,80 D x 9°
Astigmatisme induit chirurgicalement:	0,30 D x 40°	
Astigmatisme cornéen post-opératoire prévu:	1,96 D x 13°	
Puissance du cylindre de la LIO (au plan de la cornée):	1,93 D x 103°	
Astigmatisme résiduel:	0,03 D x 13°	

Autres remarques

Axe plat: 42,50 D @ 99°
Axe cambré: 44,50 D @ 9°
Incision: 130°

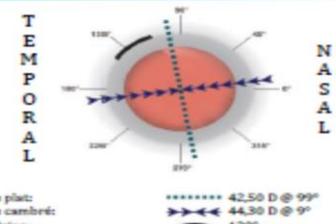


Image: enVista Toric IOL Calculator © 2008 Bausch + Lomb
2018/09/12 22:13:43 GMT

Figure 22 : un schéma fourni par l'envista torique calculator indiquant la puissance sphérique, cylindrique et l'axe d'alignement de l'implant envista/Dr Degdeg/service d'ophtalmologie HMRU Constantine

V. LA CHIRURGIE DES IMPLANTS TORIQUES

La technique chirurgicale d'une implantation torique ne diffère pas fondamentalement de celle d'une phacoémulsification standard. Certaines étapes nécessitent néanmoins une attention particulière pour optimiser le résultat réfractif.

L'alignement précis de l'implant torique dépend de trois étapes fondamentales : (1) la détermination de l'axe horizontal de référence (2) le marquage de l'axe d'astigmatisme et (3) le placement de l'implant torique sur l'axe souhaité.

A. LA TECHNIQUE CHIRURGICALE

Avant de passer à la chirurgie proprement dite de cataracte avec mise en place d'un implant torique, un marquage de référence est souvent nécessaire.

1. LE MARQUAGE PRECHIRURGICAL

L'inadéquation entre l'axe de l'astigmatisme cornéen et l'axe d'alignement de l'implant torique provoque une réduction de l'effet de correction. Il est admis qu'un défaut d'alignement de 1° entraîne une réduction de l'effet de 3.3 %, 10° de défaut d'alignement entraîne une réduction de l'effet de 30 %, alors que 30° de défaut d'alignement ne corrige pas l'astigmatisme cornéen et peut même en induire.

L'axe d'astigmatisme « cible » à traiter par les implants toriques est déterminé en consultation en position verticale, cependant le patient est opéré en position horizontale, le changement d'axe d'astigmatisme lors du passage de la position assise à coucher et le passage de la vision binoculaire à la vision monoculaire s'appelle la cyclotorsion. Cette cyclotorsion a fait l'objet de multiples publications, cette cyclotorsion est de 2 à 4° en moyenne, mais peut aller jusqu'à 15° [156, 157].

Cependant, une étude récente publiée en 2015 a démontré que la plupart des rotations précédemment attribuées aux cyclotorsions peuvent avoir été causées par des composants non cyclotorsionnels, ceux-ci incluent le changement de la position de la tête et le changement de la posture du patient sur la table d'opération. Cette étude a aussi démontré que l'amplitude des mouvements cyclotorsionnels est inférieure à celle observée dans les études précédentes[158].

Afin d'éviter cette cyclotorsion, il est donc essentiel de réaliser un marquage avant la chirurgie, dans des conditions parfaitement identiques à celles qui ont été utilisées pour le bilan préopératoire, soit sur un patient assis.

1.1 LE MARQUAGE MANUEL DE L'AXE DE RÉFÉRENCE

Le marquage manuel des axes de référence par un stylo à encre ou par un autre instrument dirigé manuellement est sujet à bien des imprécisions qui sont à l'origine des erreurs d'alignement et ceci est d'autant plus vrai que l'astigmatisme à corriger est faible.

Les méthodes de marquage manuelles reposent sur l'utilisation de marqueurs plus au moins fins. Ces marques peuvent être imprécises ou s'estomper sous le microscope. De plus, les axes de références horizontaux ou verticaux peuvent être faussés par un tilt de la tête du patient, du marqueur au moment de l'empreinte ou de l'opérateur. Ces marques de référence conditionnent le marquage de l'axe sur lequel est aligné l'implant. Il est donc impératif d'optimiser la précision de ces repères. Il existe de nombreux instruments qui peuvent être utilisés pour réaliser ces marques de référence :

1.1.1 MARQUAGE A LA LAF

La réalisation du marquage cornéen se fait après instillation de collyre anesthésique local. Les patients doivent être assis bien droit à la lampe à fente (LAF), la tête en position verticale en regardant une cible lointaine à hauteur de la tête, dans une chambre semi-obscur pour faciliter la fixation. Ensuite le chirurgien utilise différents moyens pour le marquage de référence :

- Marquage au crayon dérmographique

Le chirurgien tourne la fente fine de la LAF horizontalement vers 3 h-9 h et marque avec un stylo à encre fin le limbe cornéen à 0 ° puis à 180 °. Le marquage à l'encre est facile mais doit être appliqué à la dernière minute avant la chirurgie, dans la mesure du possible, car il risque de disparaître ou de diffuser (de 5 ° environ).

- Marquage a l'aiguille :

Patient installé à la LAF, le chirurgien oriente la fente horizontalement en passant par le centre de la pupille, ensuite le chirurgien marque avec une aiguille fine le limbe cornéen à 3 h puis à 9 h. Cette technique est facile, rapide et permet d'éviter le phénomène d'étalement ou de disparition de la marque comme avec le marquage à l'encre (cf. figure 23).

- Un marqueur torique :

Pour le marquage de référence, le chirurgien peut utiliser un des différents marqueurs toriques qui existent sur le marché actuellement comme le marqueur torique de *Barrett — Cionni* ou le marqueur torique de *Henderson*

- Le marqueur torique assisté par tonomètre

Des repères peuvent être faits en remplaçant la pointe du tonomètre Goldmann par un marqueur d'axe (Tomark, Geuder AG) au niveau de la lampe à fente

1.1.2 LE MARQUAGE VISUEL DIRECT

Pour le marquage visuel direct, les patients doivent être assis à la table chirurgicale regardant une cible éloignée pour assurer une bonne fixation oculaire. Ensuite, après que les lames émoussées du marqueur ont été enduites avec un stylo de marquage chirurgical (exemple : le stylo Richard-Allan, Aspen, Surgical Produits), le chirurgien imprime avec un des marqueurs, deux points à 3 h et à 9 h au niveau du limbe sur l'axe horizontal (cf. figure 24).

Plusieurs marqueurs peuvent être utilisés pour ce marquage visuel direct de l'axe de référence :

- Marqueur à bulle

Ce marqueur est muni d'une bulle qui oriente l'horizontalité du marqueur. Le chirurgien marque l'axe 0-180 au niveau du limbe cornéen du malade (marqueur de Nuijts-Lane avec bulle, ASICO)

- Le marqueur torique pendulaire :

Le marqueur pendulaire utilise un poids pour maintenir la fourchette de marquage de l'instrument en position horizontale, le marqueur est maintenu horizontalement sans aucun mouvement pendant le marquage (cf. figure 25).

- Marqueurs électroniques

À la différence du marqueur à bulle, ces marqueurs électroniques permettent le marquage de l'axe de référence 0-180 au niveau du limbe cornéen du malade, grâce à un voyant électronique qui change de couleur, allant du rouge (qui signifie une mauvaise position du marqueur) vers la couleur verte pour indiquer la bonne position horizontale du marqueur.



Figure 23 : technique de marquage à la LAF par une aiguille/Evaluation of 4 corneal astigmatic marking methods (Cataract Refract Surg 2012; 38:2094–2099 Q 2012)

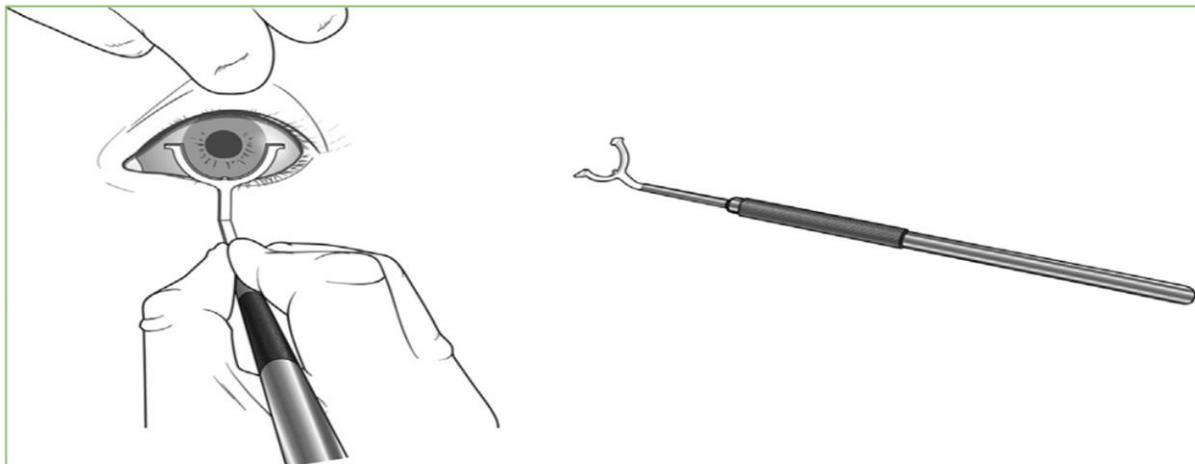


Figure 24 : technique de marquage visuel direct par un marqueur de cionni/three corneal reference markings for astigmatism correction — cataract refract surg 2015 ; 41:1232–1240 q 2015

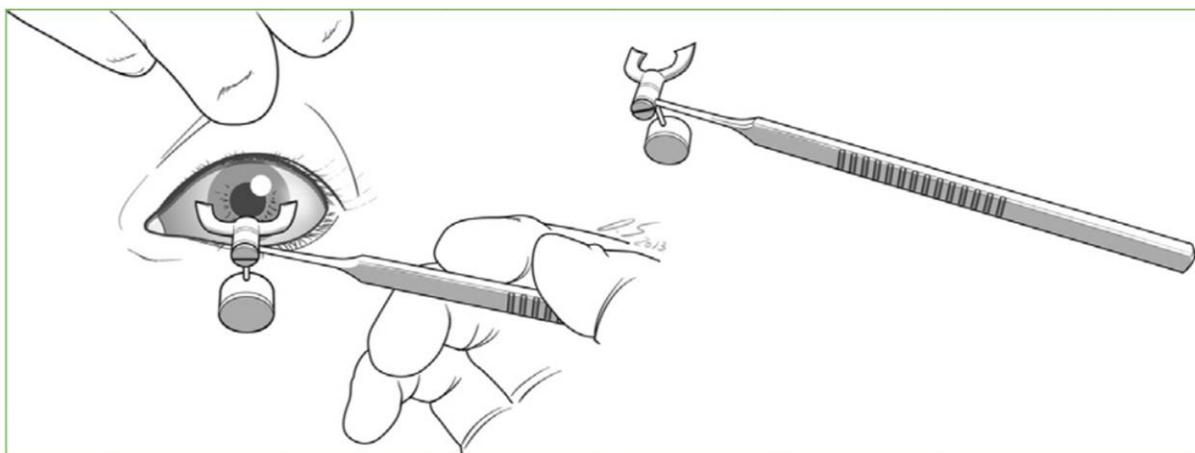


Figure 25: technique de marquage par marqueur pondulaire//three corneal reference markings for astigmatism correction – cataract refract surg 2015; 41:1232–1240 q 2015

1.1.3 LA MÉTHODE MANUELLE IDÉALE DE PRE-MARQUAGE

Le choix entre ces méthodes manuelles de marquage de l'axe de référence est sujet à des controverses, plusieurs auteurs recommandent le marquage à l'aiguille, d'autres recommandent le marqueur pendulaire ou à bulle.

Une étude comparative entre quatre techniques de marquage manuel : le marquage à la lampe à fente avec une aiguille à insuline, un marqueur pendulaire, un marqueur à bulle et un marqueur à tonomètre, a montré que le marqueur pendulaire était légèrement plus précis que les autres. Cette étude a aussi démontré qu'il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre le marquage à la LAF par l'aiguille et le marqueur pendulaire et que ces derniers semblent être plus précis que le marqueur à bulle et le marqueur tonomètre [159].

Une autre étude comparant 03 techniques de marquage : le marquage visuel direct avec un marqueur non pendulaire, le marquage à la LAF avec un marqueur pendulaire et le marquage à la LAF avec un faisceau horizontal à l'aide d'un crayon dérmographique. Les résultats ont objectivé que le marqueur pendulaire présentait moins de déviation que le marquage en fente horizontal à la LAF et que ces deux dernières techniques étaient meilleures que le marquage visuel direct [160].

Le laser au néodymium yttrium aluminium-garnet (Nd : YAG) a été utilisé par certains auteurs pour le marquage de référence par des impacts au niveau du stroma, il est toujours en cours d'expérimentation et il a été suggéré que cela améliore la précision et la définition des marques.

1.2 LES SYSTÈMES D'AIDE A L'ALIGNEMENT DE L'IMPLANT

Le marquage manuel a été et pendant longtemps le seul moyen pour le marquage de référence, plusieurs solutions automatisées permettent aujourd'hui de s'affranchir du marquage préopératoire et peropératoire ([chapitre traité plus bas](#)).

- Les systèmes d'injection d'image : qui ont apporté une précision supplémentaire et un gain de temps appréciable en permettant de traiter les implants toriques, au moins en peropératoire, comme des implants monofocaux classiques.
- L'utilisation des smartphones
- L'abérrométrie.

2. LA PROCÉDURE OPÉRATOIRE

Après la mise en place des points de référence cornéenne ou limbique, le malade est installé sur la table chirurgicale. Une désinfection soigneuse de la région périoculaire par de la betadine iodée est réalisée pendant 3 minutes en moyenne, ensuite il y a la mise en place d'un champ opératoire stérile. La chirurgie de la cataracte avec insertion d'un implant torique est identique à la procédure normale et ne nécessite aucune formation particulière.

2.1 TYPE D'ANESTHÉSIE

La chirurgie de la cataracte avec implant torique est une la chirurgie ambulatoire, c'est le mode opératoire actuel le plus pratiqué et l'anesthésie locale a remplacé l'anesthésie générale dans l'immense majorité des cas.

Cette anesthésie locale peut être :

- Une anesthésie topique : qui consiste à appliquer sur l'œil juste avant l'opération un collyre anesthésique (Tétracaïne). Cette application externe peut être complétée par une anesthésie intracaméculaire en début d'intervention. Ce complément permet d'augmenter l'efficacité de l'anesthésie par collyre en insensibilisant l'iris, zone la plus sensible.
- Une anesthésie péribulbaire ou rétrobulbaire (faite d'un mélange de chlorhydrate de lignocaïne à 2 % et à 0,5 % de bupivacaïne), qui permet une anesthésie efficace et une immobilisation de l'œil. Elles peuvent entraîner des hémorragies des paupières, surtout chez les patients sous anticoagulants ou aspirine.

Bien qu'il existe différentes techniques disponibles pour réaliser l'anesthésie de l'œil, le choix de la technique doit être individualisé en fonction des besoins spécifiques du patient, ainsi que des préférences et des compétences du chirurgien [161].

Pour l'implantation torique, l'anesthésie qui correspond le mieux à cette technique est la topique, car elle respecte la conjonctive, et évite ainsi le chémosis ou l'hémorragie conjonctivale qui peuvent perturber le marquage de l'axe d'alignement de l'implant. L'anesthésie péribulbaire n'est pas contre-indiquée, mais elle peut pénaliser les mouvements du globe et la fixation oculaire. De ce fait, elle doit être réalisée après le marquage des axes de référence.

2.2 MARQUAGE DE L'AXE DE L'ALIGNEMENT DE L'IMPLANT

Un alignement précis des implants toriques est crucial pour obtenir une correction efficace de l'astigmatisme cornéen. En fait, lorsqu'un implant torique est mal aligné, il se produit une réduction de l'effet de correction du cylindre le long du méridien souhaité et une création d'un autre cylindre sur un nouveau méridien.

Les marques sur l'implant torique indiquent le méridien plat de l'implant torique et doivent être alignées sur le méridien cambré marqué sur la cornée. Ce marquage s'effectue sous microscope en début d'intervention par la réalisation d'une empreinte cornéenne épithéliale, fine et facilement visible en fin d'intervention.

2.2.1 MARQUAGE MANUEL DE L'AXE D'ALIGNEMENT DE L'IMPLANT TORIQUE

Plusieurs techniques ont été décrites :

❑ LA MÉTHODE EN UNE ÉTAPE :

Cette technique est réalisée grâce à des marqueurs d'axe, tels que le marqueur d'axe de Devgan (Accutome, Pennsylvanie, USA) ou le marqueur à pendule de Gerten (Geuder, Heidelberg, Allemagne). Ces marqueurs sont utilisés en préopératoire pour déterminer directement l'axe d'alignement de l'implant sans passer par le marquage des repères de références.

En 2016, des auteurs ont décrit une nouvelle technique de marquage cornéen en une étape. La technique consiste à créer deux incisions intrastromales d'une largeur de 0.5 à 0.75 mm et qui déterminent l'axe d'alignement de l'implant, à l'aide d'un laser femtoseconde guidé par la tomographie en cohérence optique. Les incisions étaient clairement visibles au microscope opératoire et aucun phénomène optique n'a été signalé six semaines après la chirurgie. Les auteurs ont conclu que le marquage assisté par laser peut être effectué en toute sécurité et peut permettre un marquage précis des axes [162].

❑ LA MÉTHODE EN TROIS ÉTAPES

La plupart des études cliniques sur les implants toriques décrivent l'utilisation d'une procédure de marquage en 3 étapes pour l'implantation des toriques.

- La première étape consiste en un marquage préopératoire de l'axe horizontal de référence, au niveau du limbe de l'œil, avec le patient assis droit pour corriger la cyclotorsion.

- La deuxième étape est réalisée en peropératoire, les repères horizontaux préopératoires sont utilisés pour positionner un instrument gradué (anneau de Mendez).
- Enfin, à la troisième étape, l'axe d'alignement réel de l'implant est marqué à l'aide d'un marqueur d'axe torique ou par un stylo marqueur chirurgical ou d'une aiguille, en marquant le limbe ou la cornée à la position indiquée par le calculateur.

Dans une étude publiée en 2010, pour évaluer la précision de l'alignement postopératoire des implants toriques par la méthode en 3 étapes avec un marquage de référence qui a été effectué à la LAF en utilisant un stylo de type Codman (Johnson & Johnson). Le mauvais alignement de l'implant torique était en moyenne de 2,55 ° et l'erreur était à plus de 5 degrés de la cible dans 5 yeux [163].

❑ LA TECHNIQUE DE MAPPING DE L'IRIS

En 2010, Oscher a décrit une nouvelle technique et qui consiste à prendre l'empreinte de l'iris à l'aide d'une caméra sophistiquée, ce qui permet d'obtenir des images détaillées préopératoires de l'œil, l'axe d'alignement souhaité est dessiné sur cette image. Une impression de cette image est ensuite utilisée pendant la chirurgie pour aligner l'implant torique sur la base des caractéristiques de l'iris [164].

2.2.2 LE MARQUAGE NUMÉRIQUE DE L'AXE D'ALIGNEMENT DE L'IMPLANT

Plusieurs marqueurs numériques pour l'alignement des implants toriques ont été développés :

❑ LES SYSTÈMES D'INJECTION D'IMAGE

Ces systèmes, bien qu'ayant des spécificités propres, elles ont des principes communs :

- Acquisition d'une image de référence diagnostique en haute résolution de l'œil du patient, en se basant sur les caractéristiques des vaisseaux scléraux, du limbe, de la pupille et de l'iris.
- Transfert des données vers une unité de traitement des informations au bloc, avec eye-tracker et injection des images dans les oculaires du microscope.
- Possibilité d'avoir le marquage de l'axe d'alignement de l'implant torique, des limites du capsulorhéxis, du siège et la taille de l'incision cornéenne ainsi que le marquage des incisions de service.

Plusieurs appareils sont disponibles actuellement :

- Le système VERRION

Le marqueur digital VERION (Alcon, Novartis) utilise également une image préopératoire à haute résolution et un enregistrement peropératoire pour guider l'alignement des implants toriques sans recourir à un marquage oculaire préopératoire. L'axe d'alignement prévu est affiché sur un moniteur externe ou à travers les oculaires d'un microscope compatible (cf. figure 26).

- Le système Callisto

Une version plus récente de Callisto Eye (Carl Zeiss Meditec, Allemagne) importe une image de référence numérique à contraste élevé obtenue par le biomètre IOLMaster 500/700 (Carl Zeiss Meditec, Allemagne) afin de déterminer l'axe de référence et assurer le suivi oculaire peropératoire.

- Le SG3000

Le SG3000 (Sensomotoric Instruments, Teltow, Allemagne) utilise en temps réel un eye traqueur, basé sur les caractéristiques de l'iris et des vaisseaux sanguins. En préopératoire, une image détaillée de l'œil est capturée. En peropératoire, l'image préopératoire est appariée directement à l'image chirurgicale du microscope opératoire. L'axe d'alignement souhaité est visible sur le microscope.

❑ L'UTILISATION DES SMARTPHONES

Les systèmes de repérage d'axe ont également été proposés sous forme d'applications de smartphone (Toreasy, Toraxis, Dr Gatinel- ophta company). Ce système permet un marquage oculaire sans contact, en permettant au praticien d'utiliser des repères anatomiques comme un vaisseau conjonctival pour repérer l'axe d'implantation et guider l'alignement de l'implant lors de la chirurgie.

❑ L'ABEROMETRIE

C'est une technologie encore plus avancée ; comme le iTrace (Tracey Technologies) et L'ORA (Optiwave refractive analysis), c'est des aberromètres installés sur microscope opératoire qui permettent de mesurer en peropératoire non seulement la puissance et l'axe de l'astigmatisme, mais également les aberrations de l'œil aphaque, permettant ainsi d'optimiser en temps réel la précision du calcul de l'implant et de déterminer le bon positionnement de l'implant torique selon l'axe souhaité (cf. figure 27)

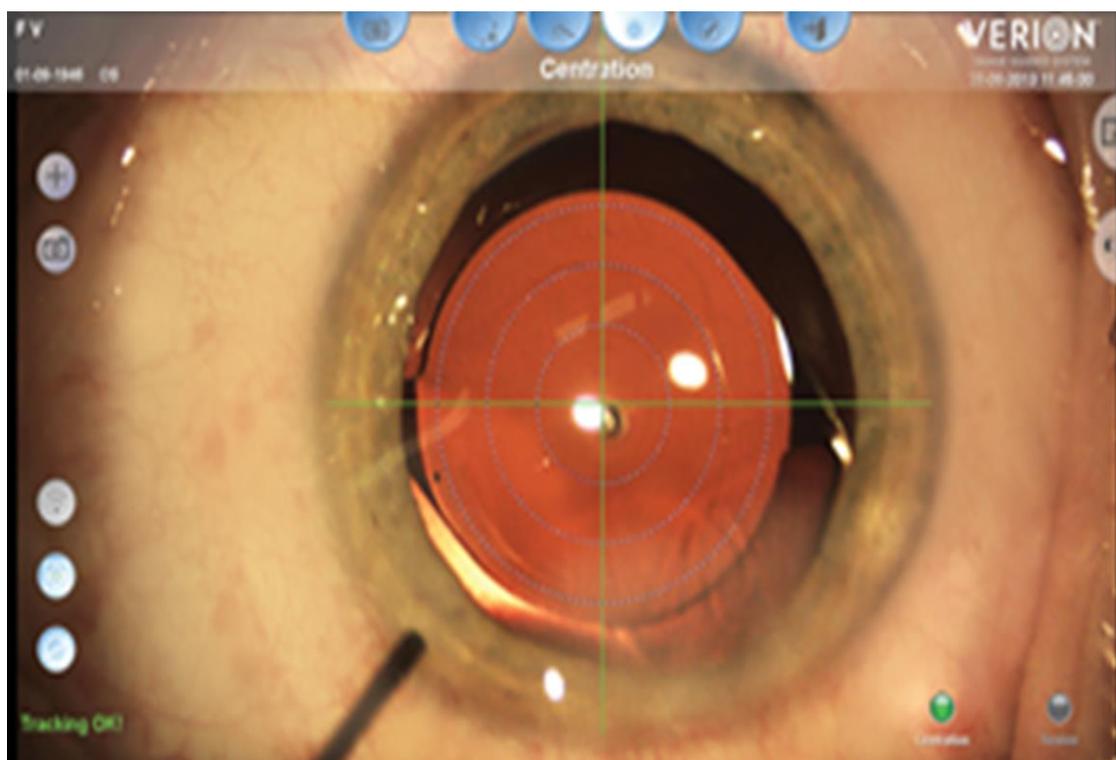


Figure 26 : Le marqueur numérique VERION™ affiche un guide de positionnement de l'implant (<https://www.myalcon.com/products/surgical/verion-guided-system>)

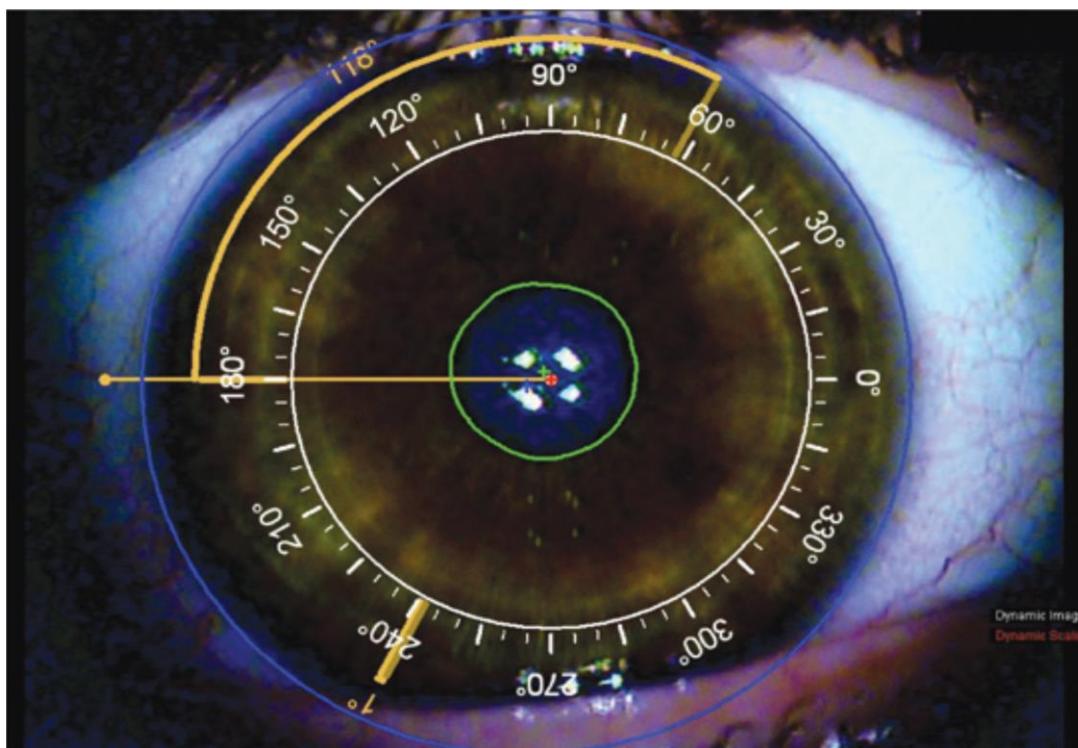


Figure 27: Image de l' iTrace pour guider l'alignement des implants intraoculaires/Surgical management of astigmatism with toric intraocular lenses <http://dx.doi.org/10.5935/0004-2749.20140032>

2.2.3 LE CHOIX DE LA MÉTHODE IDÉALE DE MARQUAGE DE L'AXE D'ALIGNEMENT

Visser et collaborateurs ont évalué la précision de la méthode de marquage « conventionnelle » en 3 étapes utilisée pour l'alignement des implants toriques. Les résultats ont montré que l'erreur moyenne dans le marquage de l'axe de référence était de 2.4° , la valeur de l'erreur dans le marquage de l'axe d'alignement était de 3.3° et que l'erreur dans l'alignement de l'implant est estimée à 2.6° en moyenne. Ils ont conclu que les trois étapes couramment utilisées pour la procédure de marquage à l'encre pour les implants toriques ont entraîné une erreur moyenne globale dans la position de l'implant torique d'environ 5° [165].

Cha et collaborateurs ont comparé une méthode qui utilise une photographie de la cornée et des vaisseaux du limbe (la méthode de cartographie) à la méthode de marquage conventionnelle pour l'alignement des implants toriques. Les résultats ont objectivé des erreurs de marquage d'axe allant de 1.17° à 6.60° (avec une moyenne de 3.69°) pour la méthode conventionnelle et des erreurs de marquage allant de 0.32° à 4.41° (avec une moyenne de 2.29°) avec la méthode de mapping, qui est nettement plus précise [166].

Dans une étude réalisée en 2017, comparant les résultats visuels, la précision de l'alignement et le temps chirurgical entre deux méthodes d'implantation torique : (1) la méthode de marquage manuel utilisant un marqueur à bulle pour le marquage de référence et un anneau de Mendez (Geuder AG) pour l'axe cible de traitement et (2) l'implantation à l'aide du système d'injection d'image (le système Callisto, Carl Zeiss Meditec) (cf. figure 28). Et sur la base des résultats, les auteurs ont déclaré que l'utilisation des systèmes d'injection d'image dans la procédure opératoire constituait un moyen plus efficace, plus rapide et sûr pour améliorer les résultats réfractifs postopératoires [167].

D'autres études ont comparé deux méthodes de marquage de l'axe d'alignement de l'implant torique : l'un était un système de guidage chirurgical numérique, la seconde était une méthode de marquage limbique au laser femtoseconde par deux marques intrastromales au méridien prévu d'alignement. Les résultats ont été excellents avec les deux méthodes, avec des erreurs d'alignement absolues moyennes de 3° et il n'y avait aucune différence statistiquement significative entre les 2 méthodes [162, 168].

Dans une étude plus récente, les auteurs ont trouvé que les résultats réfractifs étaient meilleurs et l'astigmatisme réfractif résiduel était plus faible à l'aide d'un système de guidage chirurgical numérique qu'avec le guidage par l'aberrométrie peropératoire [169].

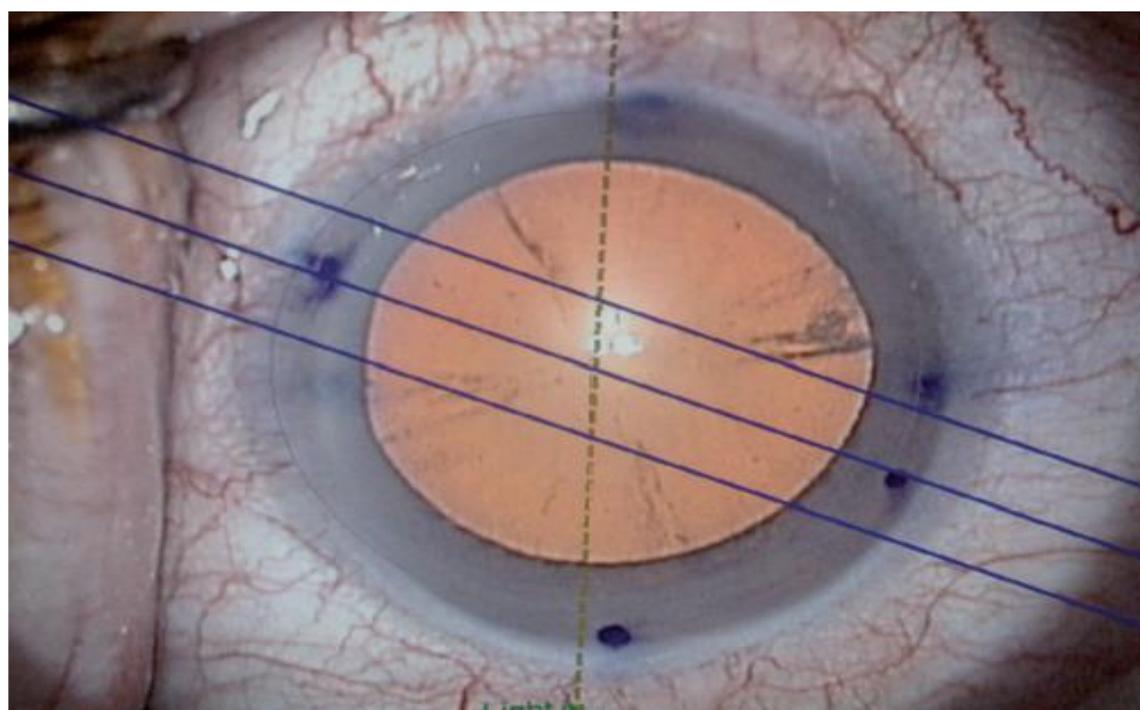


Figure 28 : Marquage de l'axe d'alignement de l'implant torique par un stylo à encre et anneau de Mendez en haut, et Marquage automatisé de l'axe de positionnement avec projection des axes dans les oculaires du microscope par le système Callisto de Zeiss en bas/Maîtrise de l'astigmatisme en chirurgie de la cataracte/J.-L. FEBBRARO/Réalités Ophtalmologiques # 226_Novembre 2015

2.3 TAILLE ET SIÈGE DE L'INCISION

Après le marquage de l'axe d'alignement cible de l'implant torique en début de chirurgie, l'incision cornéenne est ensuite réalisée et dont la taille est fonction du diamètre de l'implant torique choisi.

Les incisions dans le cas de l'utilisation des implants toriques doivent respecter certaines règles pour obtenir des résultats visuels optimums :

- les incisions doivent être réalisées le plus temporales possible, car entraînent moins d'astigmatisme induit chirurgicalement (AIC) que les incisions supérieures [146, 147],
- réduire la taille de l'incision est primordial en cas d'implants premiums. Il a été démontré que les incisions de 2.2 mm, provoquent un AIC compris entre 0.19 et 0.31 D pour les incisions en temporale et de 0.40 D pour les incisions en supérieure. Une incision de 1.8 mm induit un astigmatisme encore plus négligeable [150]
- Les incisions doivent être le plus possible près du limbe cornéen pour qu'elles soient le moins astigmatogène. Plus la distance à partir du centre est courte, plus l'effet sur l'AIC est important. Par conséquent, les incisions en cornée claire entraînent plus d'AIC que les incisions au niveau du limbe.
- La forme de l'incision est aussi un élément essentiel, les incisions droites en V inversée (Chevron) ont montrées pour causer le moins d'AIC. La nature triangulaire de l'incision en Chevron lui donne plus de stabilité géométrique et provoque donc le moins d'étirement et est associée au moins de changement dans les bords de l'incision lors de la chirurgie [170].
- Ne pas trop modifier la taille au cours de la chirurgie est aussi un élément important. En fait, dans une étude publiée en 2013, la taille finale de l'incision après l'implantation (par cartouche) d'un implant torique est de 2.37 mm pour les incisions initiales de 2.2 mm en cornée claire [171].

Cependant, le contrôle de l'astigmatisme postopératoire ne se limite pas au site de l'incision, à sa taille, à sa distance par rapport au centre et à sa forme ; des facteurs tels que la compétence du chirurgien et la cartouche ou l'injecteur utilisé pour l'insertion de l'implant peuvent également affecter cet indice, qui doit être pris en compte lors du choix du site approprié [148].

2.4 LA TAILLE ET FORME DU CAPSULORRHÉXIS

Après l'incision cornéenne et la mise en place du produit viscoélastique, la capsule antérieure du cristallin est mise en évidence par un colorant spécifique, le capsulorhéxis est ensuite réalisé par une aiguille ou à l'aide d'une pince dédiée (la pince à capsulorhéxis) en fonction des préférences du chirurgien. L'influence de la taille et la forme du capsulorhéxis sur les résultats en postopératoire, en matière de rotation de l'implant et la survenue d'opacification secondaire de capsule postérieure, sont toujours un sujet de débat :

2.4.1 LA TAILLE DU CAPSULORRHÉXIS

Le diamètre de capsulorhéxis est réalisé entre 5 et 5.5 mm et devrait idéalement être inférieur de 0.5 mm par rapport au diamètre optique de l'implant torique. Car le recouvrement homogène de l'optique et une surface de contact plus grande entre les capsules et l'implant pourrait induire plus d'adhérences et une meilleure stabilité en rotation. Des études réalisées dans ce domaine, considèrent le grand capsulorhéxis comme un facteur de risque supplémentaire pour une rotation significative de l'implant torique en postopératoire [46].

Hollick et collaborateurs, dans une étude publiée en 1999, ont montré que les grands capsulorhéxis, supérieurs à 5.5 mm, étaient associés à une opacification significativement plus importante de la capsule postérieure (66.2 %), contre 32,7 % pour les petits capsulorhéxis de 5.5 mm. Les auteurs ont suggéré qu'un recouvrement incomplet des implants par le capsulorhéxis aurait entraîné une plus grande opacification de la capsule postérieure. Cette opacification est provoquée par la prolifération et la migration des cellules épithéliales résiduelles dans le sac capsulaire après la chirurgie de la cataracte [172].

2.4.2 LA FORME DU CAPSULORRHÉXIS

Pour les implants toriques, il est nécessaire de réaliser un capsulorhéxis circulaire curviligne continu bien centré, avec un recouvrement sur 360 ° de l'optique de l'implant, ce qui entraîne une bonne fusion des capsules cristalliniennes avec l'implant, empêchant ainsi sa rotation.

Une étude *in vitro*, en examinant les interactions entre les biomatériaux de l'implant et le sac capsulaire, a montré que des protéines retrouvées dans l'humeur aqueuse après une chirurgie de la cataracte, telles que la vitronectine, le collagène de type IV et la fibronectine en particulier, peuvent être impliquées dans l'adhésion de l'implant au sac capsulaire [102].

Nagy et collaborateurs [173] ainsi que Kranitz et collaborateurs[174] ont observé une inclinaison et une décentration plus importantes des implants dans les yeux traités avec un capsulorhéxis manuel, que dans les yeux dans lesquels le capsulorhéxis a été créé à l'aide d'un laser femtoseconde. Les auteurs ont suggéré que la forme du capsulorhéxis est un élément déterminant des bons résultats postopératoires avec les implants monofocaux.

Une Étude controversée

Findel et collaborateurs, dans une étude en 2017, ont conclu qu'avec les implants monofocaux modernes, la forme et la taille du capsulorhéxis n'ont pas d'influence significative sur les résultats en postopératoire. Cette étude a aussi démontré que les modifications fibrotiques postopératoires de la capsule postérieure n'étaient pas significativement influencées par la taille ou la forme du capsulorhéxis [175].

2.5 LA PHACOEMULSIFICATION

Après la réalisation de l'incision principale et de l'incision du service et la pratique d'un capsulorhéxis au centre, la chambre antérieure est remplie par une substance viscoélastique et la fragmentation du cristallin peut alors débuter.

Différentes techniques de fragmentation du cristallin sont pratiquées :

- La technique Divide and conquer décrite pour la première fois par le Dr Gimbel, cette technique implique la création de deux sillons profonds dans le noyau qui se croisent au centre, puis fissuration du noyau en quatre quadrants distincts dans la sac capsulaire à l'aide de l'embout phaco et d'une spatule chirurgicale[176].
- Les techniques de phaco chop : comme le chop horizontal, le chop vertical ou le stop and chop (création d'un sillon avant le chop) qui permettent une fragmentation manuelle du noyau dans le sac capsulaire avec une instrumentation adaptée (chopper)[177]. Ces techniques de phaco chop permettent la réduction de l'utilisation des ultrasons, la réduction du stress sur les zonules et sur le sac capsulaire, ce qui réduit le risque de dommage endothélial sur la cornée et renforce la sécurité de l'implantation torique [178-180].

Les masses cristalliniennes corticales sont ensuite lavées en totalité à l'aide de la pièce à main irrigation/aspiration (ou l'I/A). La gestion des débits d'aspiration et d'irrigation des fluides est contrôlée en permanence afin d'éviter de tirer sur la zonule qui pourrait être source d'une instabilité de l'implant torique en postopératoire.

Le début des années 2000 est marqué par l'introduction du laser femtoseconde dans la chirurgie de la cataracte. Ce laser a permis la pratique de certaines étapes délicates de la chirurgie de la cataracte, comme la réalisation des incisions cornéennes en renforçant leur étanchéité et diminuant leur pouvoir astigmatogène, la pratique du capsulorhéxis en permettant d'obtenir une taille et une régularité parfaites, ainsi qu'à la fragmentation initiale du noyau de manière à limiter l'utilisation d'ultrasons délétères pour l'endothélium cornéen. L'introduction de ce laser pour l'implantation torique pourra être bénéfique, mais il faudra évaluer les coûts-bénéfices de cette technologie très onéreuse dans une chirurgie déjà très performante.

2.6 ALIGNEMENT DE L'IMPLANT

Une fois le cortex et le noyau du cristallin fragmentés puis évacués, le sac capsulaire, alors vide, est déplié par l'injection de substances viscoélastiques pour accueillir l'implant torique pliable. Les marques sur l'implant torique indiquent le méridien plat du cylindre de l'implant.

Le repérage de l'axe d'alignement souhaité de l'implant sur l'œil est une procédure qui exige l'utilisation de repères anatomiques naturels (vaisseaux limbiques) ou artificiels (marquage à l'encre chirurgicale). Et pour faciliter ce repérage, des systèmes plus objectifs et sophistiqués peuvent être utilisés comme les systèmes d'acquisitions et d'injections d'images, l'utilisation d'un système de mesure aberrométrique peropératoire ou une simple application pour smartphone. Ces nouveaux systèmes peuvent procurer une sécurité supplémentaire pour garantir un alignement parfait [167, 181-183].

L'implant est aligné sur le méridien le plus cambré de la cornée sur deux temps :

- le premier temps consiste à réaliser un alignement global en tournant l'implant torique pendant son déroulement dans le sens des aiguilles d'une montre, jusqu'à environ 20° à 30° près de sa position souhaitée.
- Le deuxième temps, une fois le dispositif viscoélastique retiré complètement, sur et sous l'implant, l'implant torique est tourné à sa position finale en complétant de quelques degrés la rotation, pour superposer les marques de l'implant avec les repères cornéens.

Cette technique en deux temps est décrite dans la plupart des études concernant la procédure opératoire avec implants toriques [184-189]. Certains implants (de type navette) sont moins facilement mobilisables dans le sac en peropératoire. Dans ces cas, il est préférable et moins traumatisant pour le plan zonulo capsulaire, d'aligner directement l'implant torique à sa position finale en même temps de l'évacuation du visqueux [98].

En cas de complication pendant la chirurgie susceptible de compromettre la stabilité de l'implant torique, telle que les lésions zonulaires, la déchirure du capsulorhéxis ou la rupture de la capsule postérieure, la conversion en une implantation non torique standard peut s'avérer nécessaire.

2.7 SUTURE OU HYDROSUTURE

La chirurgie de la cataracte sans suture est devenue la norme de soin en raison de multiples avantages pour les patients et les chirurgiens. Les patients obtiennent une récupération visuelle rapide avec un moindre astigmatisme chirurgicalement induit et ils présentent moins d'inflammation et pratiquement aucune sensation de corps étranger. Les chirurgiens préfèrent cette technique en raison de la facilité relative, du temps chirurgical réduit, la réduction du coût de la chirurgie et la satisfaction rapide de leurs patients[190].

Une étanchéité parfaite du globe oculaire et un tonus oculaire correct sont également des facteurs favorisant la stabilité intrasacculaire de l'implant torique en postopératoire immédiat. Les incisions cornéennes pour l'implantation torique sont de taille réduite (entre 1,8 et 2,8 mm) et ne nécessitent généralement pas de fil de suture, une hydrosuture est généralement suffisante, à condition que leur géométrie permette une bonne coaptation des berges cornéennes en fin d'intervention.

L'hydratation stromale est l'une des méthodes les plus fréquemment utilisées pour sceller les incisions cornéennes en particulier lors de l'utilisation des implants premiums. La littérature est divisée sur l'efficacité de l'hydrosuture, la durée de l'effet de l'hydratation stromale peut varier de un jour à une semaine et il a été suggéré que des fuites pourraient se produire lorsque l'effet de l'hydratation stromale s'estompait [191]. En plus certaines études ont démontré quelques effets négatifs potentiels de l'hydratation stromale, une augmentation de l'œdème cornéen et des réactions en chambre antérieure et une diminution de l'acuité visuelle ont été rapporté[192].

En absence d'une bonne coaptation des berges cornéennes avec hydrosuture en fin d'intervention, la suture au fil de l'incision s'impose. D'autres moyens de fermeture ont été proposés par le passé comme :

- le cyanoacrylate qui est un adhésif extrêmement puissant capable de résister à des pressions oculaires très élevées. Cependant, il s'est révélé toxique, inflexible, opaque, ne peut pas être résorbé et ne laisse pas suffisamment de temps pour se repositionner[193].

- La fibrine est un autre produit collant qui a été utilisé en ophtalmologie, mais moins puissant que le cyanoacrylate.

Actuellement, les composés à base de polyéthylène glycol (PEG) qui sont biocompatibles comme le nouvel adhésif en hydrogel ReSure® (Ocular Therapeutix, Inc, États-Unis) approuvé par la FDA en 2013, pourrait offrir aux chirurgiens-ophtalmologistes un meilleur moyen pour fermer l'incision en améliorant son étanchéité et en réduisant le risque d'événements indésirables[194].

B. SOINS ET CONTRÔLES POSTOPÉRATOIRES

1. LES SOINS POSTOPÉRATOIRES :

Le traitement postopératoire est le plus souvent topique et consiste en l'administration pluri quotidienne de collyres anti-inflammatoires stéroïdiens et/ou non stéroïdiens et d'antibiotiques. La durée totale du traitement local est comprise entre trois semaines et six semaines. Certains protocoles thérapeutiques à visée prophylactiques impliquent un encadrement périopératoire avec administration de corticoïdes et/ou d'anti-inflammatoires par voie locale.

Au Portugal, une étude a été réalisée sur 15 689 yeux de patients opérés pour cataracte et ayant reçu une injection intracaméculaire de 1 mg de céfuroxime (10 mg/mL). Dans cette étude, il a été suggéré que les antibiotiques intracaméculaires réduisent de façon très significative l'incidence d'endophtalmie. Cependant, les d'antibiotiques intracaméculaires n'ont pas été approuvés par la FDA, car il peut y avoir des risques, tels que le syndrome du segment antérieur toxique (TASS), associé à la reconstitution des solutions antibiotiques initialement indiquées pour un usage externe [195].

2. LES CONTRÔLES POSTOPÉRATOIRES

Le suivi postopératoire d'une implantation torique s'effectue de la même manière qu'une phacoémulsification simple. Le premier contrôle postopératoire doit avoir lieu dans les premières 72 h après la chirurgie, et le plus souvent effectué le lendemain de l'intervention. Il est destiné à vérifier l'étanchéité de l'incision, la bonne position de l'implant, l'absence d'infection ou d'inflammation.

Le suivi est plus rapproché le premier mois pour bien évaluer l'acuité visuelle sans correction, l'acuité visuelle avec correction, la réfraction du patient, l'axe d'alignement de l'implant et pour détecter une probable rotation. Un défaut d'alignement important détecté dans les jours qui suivent la chirurgie peut nécessiter un nouveau geste chirurgical bien plus facile le premier mois, pour tourner l'implant à sa position optimale, en raison des adhérences qui se forment avec le temps entre le sac capsulaire et l'optique de l'implant.

C. LES COMPLICATIONS POSTOPÉRATOIRES

1. COMPLICATIONS INHÉRENTES A LA PHACOEMULSIFICATION

Les complications de l'implantation torique sont celles d'une chirurgie habituelle de cataracte par phacoémulsification, bien qu'elle soit parfaitement standardisée et suivie d'excellents résultats, cette chirurgie est munie d'un taux de complication faible [184, 196]. Parmi les incidents, on peut surtout noter un mauvais alignement de l'implant, les inflammations, les infections, un œdème cornéen, un œdème maculaire, les décollements de rétine sont possibles mais rares et dans certains cas une opacification de la capsule postérieure est retrouvée.

Line Kessel et collaborateurs, dans une meta-analyse englobant 13 études randomisées, ont comparé la sécurité des implants toriques par rapport aux implants asphériques avec ou sans incisions relaxantes. Un total de 23 des 554 patients randomisés pour une implantation torique (4,2 %) ont présenté une complication postopératoire par rapport à 11 des 478 patients randomisés pour une implantation de non toriques (2,3 %). Dans le groupe torique, un œil présentait un décollement de rétine et 5 yeux recevaient un traitement pour des déchirures rétinienne après l'opération, 12 patients ont dû subir une deuxième intervention (traitement au laser pour déchirures rétinienne et chirurgie de décollement de la rétine et réalignement de l'implant) et 7 patients présentaient un œdème maculaire. Cette étude a confirmée qu'il n'y avait pas de différence significative entre les implants toriques et les implants simples asphériques en matière de complications postopératoires et que les implants toriques sont un moyen sûr pour la gestion de l'astigmatisme cornéen[35].

2. DÉFAUT D'ALIGNEMENT DE L'IMPLANT TORIQUE

Le bon alignement de l'implant torique est intrinsèquement lié à son efficacité à corriger l'astigmatisme cornéen. Un mauvais alignement peut être dû à un placement incorrect de l'implant pendant la chirurgie, à la rotation de l'implant après la chirurgie ou les deux.

La différence entre l'axe du torique à la fin de la chirurgie et à un jour lors de la première visite postopératoire est considérée comme un défaut d'alignement. Cependant, la différence d'axe entre le premier contrôle et les visites suivantes était considérée comme une rotation de l'implant torique.

Le défaut d'alignement ou rotation de l'implant torique, peut être déterminé de plusieurs manières : en utilisant la biomicroscopie, les valeurs de réfraction et de la kératométrie postopératoires, les photographies et plus récemment l'aberrométrie.

- La biomicroscopie su segment antérieur

La méthode la plus couramment utilisée pour déterminer l'axe d'alignement de l'implant torique est la fente rotative de la lampe à fente (cf. figure 29). Les repères sur l'implant étant situés à la périphérie de l'optique, une mydriase complète de la pupille est requise (minimum 6.0 mm). Une mince fente est tournée jusqu'à ce qu'elle soit alignée avec les repères d'axe de l'implant, l'alignement du l'implant torique est ensuite estimé par degré. La limitation évidente de la précision de cette méthode réside dans les pas de 10 degrés sur le réticule de mesure de la lampe à fente [197].

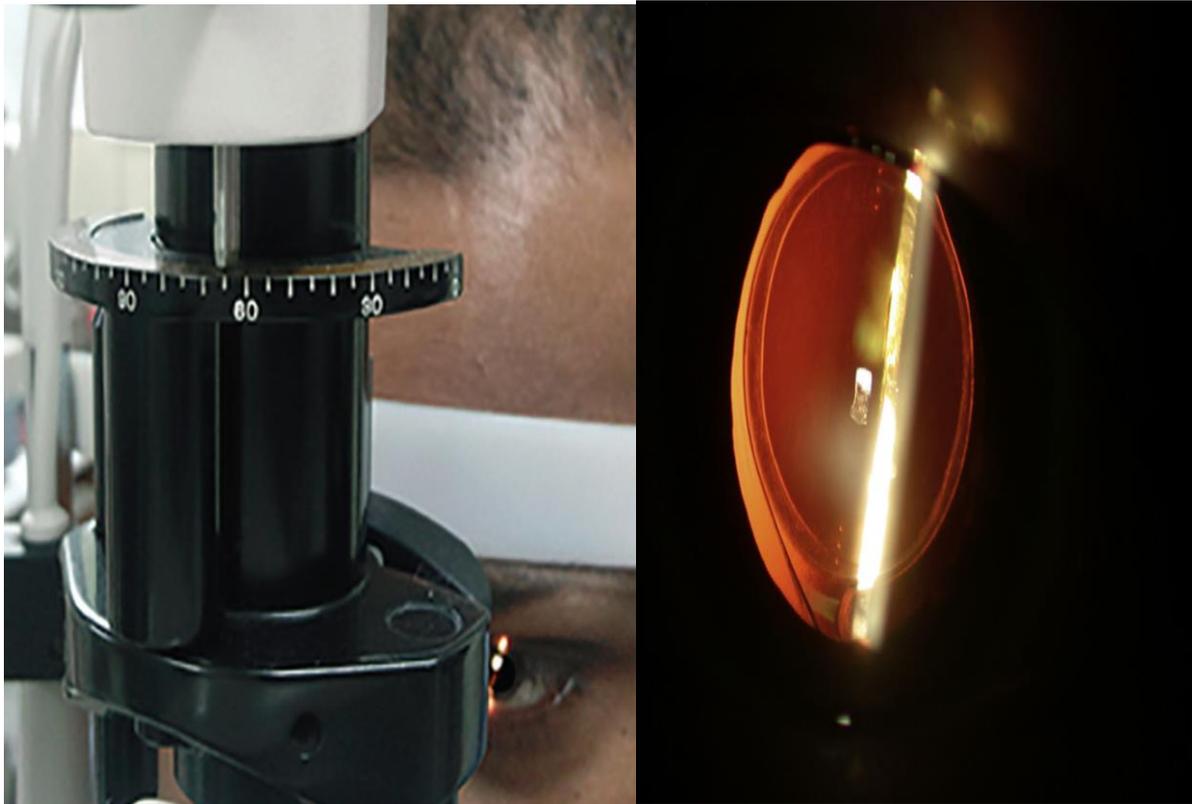


Figure 29 : mesure de l'alignement de l'implant torique à la LAF par rotation d'une fente fine/Results of higher power torique intraocular lens implantation/Peter C. Hoffmann/J Cataract Refract Surg 2011 ; 37:1411–1418 Q 2011 ASCRS and ESCRS

- La méthode Alpins

Parmi les méthodes les plus utilisées actuellement est l'analyse vectorielle selon Alpins et Goggin, cette méthode permet de calculer l'erreur d'alignement de l'implant torique sur la base des valeurs d'astigmatisme réfractif résiduel postopératoire et de la kératométrie. L'erreur d'alignement est déterminée en calculant l'angle d'erreur entre deux vecteurs d'astigmatisme : l'astigmatisme induit « cible » (AIC ou TIA, target induced astigmatism) et l'astigmatisme induit « réellement » par la chirurgie (AIC) [198-200].

- La méthode photographique

Vérifier l'alignement des implants toriques par des photographies en rétroéclairage de la pupille dilatée est une méthode largement utilisée dans les études concernant l'implantation torique. L'axe d'alignement est mesuré sur le logiciel Paint (Windows) ou Photoshop (Adobe Systems inc.) (cf. figure 31), en mesurant la différence de l'axe de l'implant entre l'emplacement prévu au moment de la chirurgie et l'axe mesuré lors de la visite en postopératoire[201-204]. Parfois, la rotation est étudiée en comparant les images en fonction des caractéristiques spécifiques des vaisseaux sanguins de la conjonctive et du limbe [205, 206].

- L'abérométrie

Une méthode très objective pour déterminer l'alignement postopératoire des implants toriques est l'aberrométrie. La combinaison entre l'aberrométrie et un topographe cornéen dans des appareils tels que KR-1W (Topcon Corp.), iTrace (Tracey Technologies) et OPD-scan (Nidek Co. Ltd), déterminent directement l'orientation de l'implant torique et établissent une distinction entre les aberrations causées par la cornée et celles causées par le système oculaire interne[207].

- Autres méthodes

D'autres méthodes ont été utilisées pour mesurer le défaut d'alignement ou rotation de l'implant torique avec une très bonne fiabilité, comme la tomographie en cohérence optique (OCT) du segment antérieure (cf. figure 32) [208, 209] et une méthode utilisant l'appareil photo d'un téléphone pour la photographie à la lampe à fente de l'implant dans le sac capsulaire (cf. figure 30) [210, 211].

Plusieurs études ont comparé la fiabilité ces différentes méthodes de mesures :

Une étude comparant la méthode biomicroscopique et l'aberrométrie pour évaluer l'alignement postopératoire des implants toriques et n'a trouvé aucune différence significative entre elles, les deux étaient fiables et prévisibles[207].

Dans une autre étude comparant la méthode Adobe Photoshop et l'observation à la lampe à fente, les auteurs ont déclaré que les deux des méthodes étaient fiables et prévisibles pour évaluer l'alignement des implants toriques. Bien que la sensibilité est meilleure dans la méthode Photoshop, la méthode de la lampe à fente est plus accessible[197].

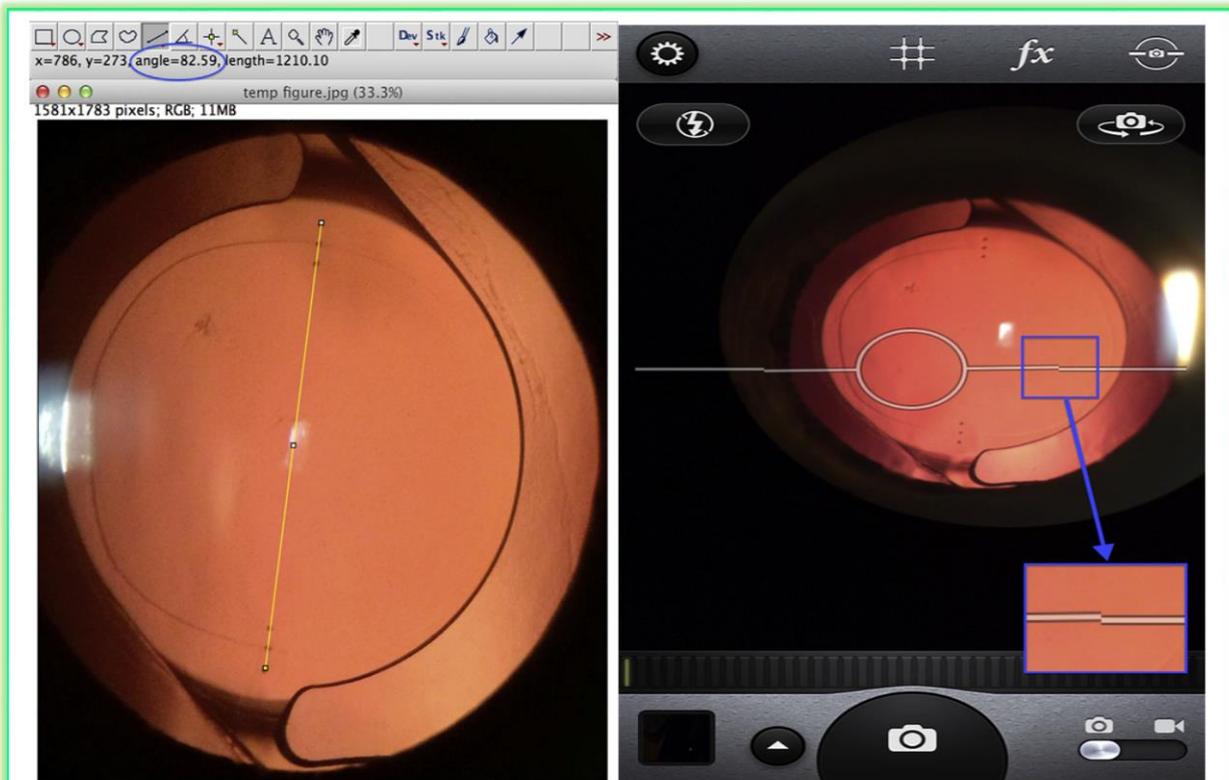


Figure 30 : à droite/mesure de l'alignement de l'implant torique sur une photographie prise à la LAF par un smartphone/simple technique to measure torique intraocular lens alignment and stability using a smartphone/Joshua C. Teichman/j cataract and refractive surgery 2014 ; ESCRS-ASCRS

Figure 31 : à gauche/mesure de l'alignement de l'implant torique par le logiciel Photoshop (Adobe Systems) sur une photographie en rétroéclairage de la pupille dilatée/simple technique to measure torique intraocular lens alignment and stability using a smartphone/Joshua C. Teichman/j cataract and refractive surgery 2014 ; ESCRS-ASCRS

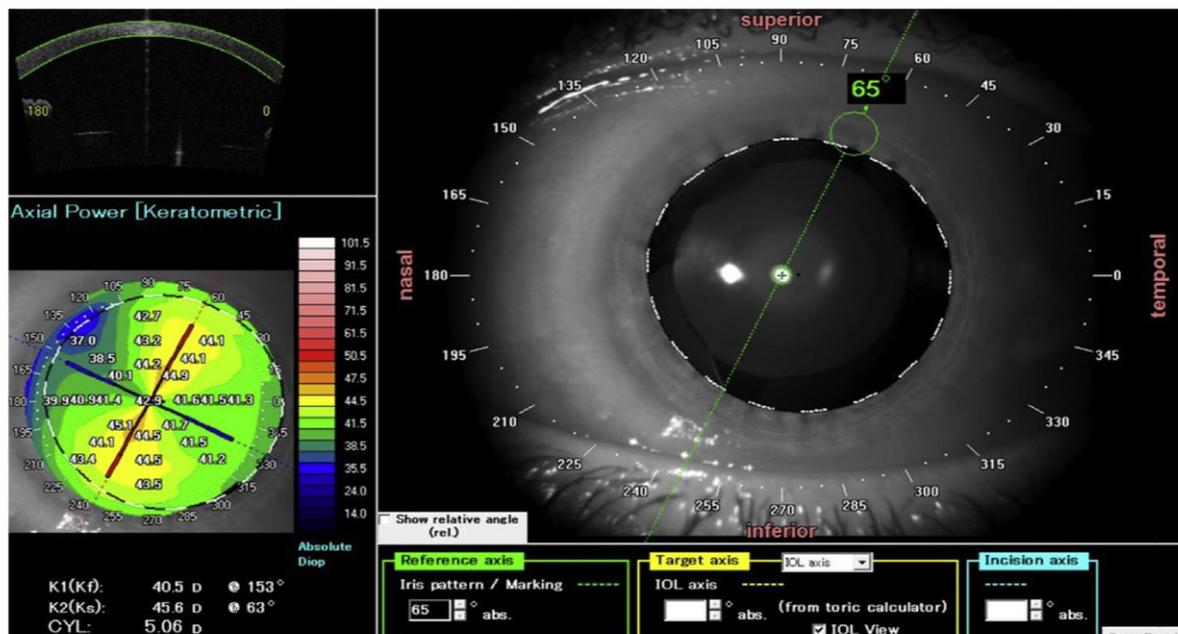


Figure 32 : mesure de l'alignement de l'implant torique par OCT du segment antérieure Evaluation of postoperative torique intraocular lens alignment with anterior segment optical coherence tomography/Andrea Lucisano, MD/J Cataract Refract Surg 2017 ; 43:1007–1009 Q20

D. GESTION DE L'ÉCHEC D'UNE IMPLANTATION TORIQUE

Aujourd'hui, les patients qui choisissent les implants toriques ne s'attendent pas à devoir porter des lunettes ou des lentilles cornéennes après une opération de cataracte. Et bien que les implants toriques soient très fiables, un astigmatisme résiduel important en postopératoire est parfois présent, et il est synonyme de l'échec de la procédure.

1. LES CAUSES DE L'ASTIGMATISME RÉSIDUEL

Plusieurs étiologies peuvent être incriminées dans l'échec d'une implantation torique, ça varie d'une simple pathologie de la surface oculaire (non diagnostiquée avant le geste ou due à la chirurgie elle-même), à un défaut d'alignement ou rotation importante de l'implant parfois nécessitant une deuxième chirurgie corrective.

- Les pathologies de la surface oculaire

Sont fréquemment à l'origine d'astigmatisme résiduel chez les patients pseudophaques. Cette altération de la surface, si existe avant la chirurgie, elle est généralement source d'erreurs lors du calcul d'implants toriques surtout dans les faibles astigmatismes cornéens, après la chirurgie, une altération de la surface oculaire peut modifier la réfraction des patients. Un traitement à base de lubrifiants, de soins des paupières, de la cyclosporine, une occlusion du point lacrymal et même des gouttes de stéroïdes peuvent aider considérablement à diminuer cet astigmatisme résiduel [212].

- Des mesures préopératoires inexactes

Sont parmi les causes les plus fréquentes de l'astigmatisme résiduel en postopératoire. Les erreurs de mesure peuvent concerner la mesure de la puissance et l'axe de l'astigmatisme cornéen à traiter, une biométrie imprécise dans la prédiction de la position effective de l'implant (ELP), le non pris en compte de l'astigmatisme cornéen postérieur lors de la mesure de l'astigmatisme cornéen totale ou l'erreur dans l'estimation de l'astigmatisme chirurgicalement induit par l'incision cornéenne. Ces erreurs de mesure peuvent influencer et de façon très significative sur les résultats réfractifs après une implantation torique [213].

- Les erreurs des calculateurs

Parmi les causes aussi d'un astigmatisme résiduel postopératoire, une mauvaise estimation du calculateur torique de l'implant adéquat pour corriger l'astigmatisme au plan cornéen. Ceci est dû :

(1) aux intervalles imposés (0.75 D ou 1 D) entre les puissances cylindriques des implants et (2) par la sous-estimation de la puissance du cylindre pour corriger l'astigmatisme au plan cornéen. Un patient avec 1 dioptrie (D) d'astigmatisme au plan cornéen ne peut pas être corrigé avec 1 D d'astigmatisme au plan lenticulaire. Certains calculateurs toriques prennent en compte la longueur axiale de l'œil et la profondeur de la chambre antérieure pour bien estimer l'ELP et fournir l'implant adéquat, d'autres non, et utilisent souvent un facteur de conversion standard pour le degré de correction cylindrique au plan cornéen. Cependant, si le patient a un œil très long ou très court, le pouvoir de toricité de l'implant peut ne pas être suffisant ou peut être excessif occasionnant ainsi une sous-corrrection ou une surcorrection cylindrique [214].

- Une chirurgie imprécise

Un astigmatisme résiduel important peut être le fait d'une chirurgie imprécise comme c'est souvent le cas, soit par un marquage incorrect de la cornée, un mauvais alignement ou la rotation de l'implant torique lui-même. Un défaut d'alignement inférieur à 5° modifie la réfraction de l'œil de moins de 0,50 dioptrie (D) et ne pose donc pas de problème pour une correction de l'astigmatisme. Cependant, un défaut d'alignement supérieur à 10° entraîne une diminution de l'effet correctif des implants toriques de 33 % et une intervention chirurgicale est parfois nécessaire pour réaligner l'implant[215].

Pour distinguer une erreur de positionnement peropératoire d'une erreur de rotation postopératoire, une étude récente a évalué l'alignement de l'implant torique et l'astigmatisme résiduel postopératoire chez 72 yeux opérés de cataracte. Les contrôles ont été réalisés juste à la fin de la chirurgie, puis après une heure, à 1 jour, à 1 mois, à 3 mois et à 1 an en postopératoire. L'alignement de l'axe en fin de chirurgie a été mesuré sur l'image capturée à partir de la vidéo chirurgicale, ensuite, des photographies numériques de haute résolution avec rétroéclairage à lampe à fente ont été prises lors des contrôles. La rotation la plus importante a été observée dans l'heure suivant l'opération avec 4.09° en moyenne. Après le premier jour postopératoire, la rotation était inférieure à 1.0° . Le degré total de désalignement observé à 1 an après la chirurgie était de 6.67° en moyenne, dont 1.87° était attribuable à un placement imprécis de l'implant et de 4.8° à la rotation de celui-ci. Les résultats obtenus indiquent que l'astigmatisme résiduel était plus attribué à la rotation de l'implant torique qu'à l'alignement de ce dernier en peropératoire et que la plus grande rotation du torique avait lieu dans l'heure qui a suivi la chirurgie[45].

2. OPTIONS POUR CORRIGER L'ASTIGMATISME RÉSIDUEL

Il existe quatre options principales pour corriger un astigmatisme résiduel postopératoire : les lunettes, les lentilles de contact, la correction par laser, les incisions relaxantes de la cornée et la rotation de l'implant torique

2.1 LUNETTES ET LENTILLES DE CONTACT

Les lunettes sphéro-cylindriques ou les lentilles de contact toriques, sont la solution la plus facile est la plus utilisée pour corriger une mauvaise vision de loin, due à un astigmatisme résiduel, après une chirurgie de cataracte avec implants toriques. Line Kessel est collaborateurs, dans une meta-analyse englobant 13 études randomisées, ont retrouvés que bien que 70.3 % des patients opérés pour cataracte avec implants toriques n'auront pas besoin de lunettes pour la vision de loin, 27.7 % des patients nécessiteront une correction[35].

2.2 LA CORRECTION RÉFRACTIVE PAR LASER

Parmi les solutions actuellement disponibles pour corriger un astigmatisme résiduel à la suite d'une implantation torique est le laser, le laser Excimer, mais de préférence un femto-Lasik ou une PKR (photo-kératectomie réfractive), car le laser de surface chez des patients souvent assez âgés peut présenter des problèmes de lenteur de cicatrisation et un inconfort parfois mal accepté.

La technique est identique à un traitement réfractif de première intention en respectant un délai d'environ 3 mois entre la chirurgie du cristallin et le Lasik. Cette technique présente les avantages d'une grande précision réfractive et permet une correction sphérique conjointe et pose le problème du coût et du délai de la prise en charge[216, 217].

2.3 L'IMPLANTATION EN PIGGY-BACK :

Plusieurs implants secondaires de sulcus existent (cf. figure 33). Ils ont des tailles d'optiques souvent grandes (7 mm) et des haptiques crénelées pour permettre une meilleure stabilité dans leur positionnement ciliaire. Ils ont l'avantage de traiter, en plus de l'astigmatisme résiduel, une erreur sphérique associée et il existe des calculateurs en ligne permettant un choix précis et rapide de la puissance sphéro-cylindrique de l'implant. C'est une méthode qui présente l'avantage d'une grande précision dans les résultats[216].

2.4 LES INCISIONS CORNÉENNES RELAXANTES

Les incisions relaxantes limbiques (LRI) peuvent toujours être proposées pour réduire un astigmatisme résiduel important après chirurgie de cataracte avec implantation torique.

Elles sont réalisées par des couteaux diamant ou métallique à usage unique selon des nomogrammes bien établis ou à partir de calculateurs Internet comme celui du Dr Warren. Hill (East valley ophthalmology, Arizona, USA) www.LRICalculator.com, validé par L'ASCRS et L'ESCRS. ces techniques représentent le dernier choix pour gérer un astigmatisme résiduel en absence d'imprécision sphérique associée, mais toujours soumises aux risques communs des incisions de cornée, à savoir l'imprécision et la régression des résultats avec le temps[128].

Les incisions arciformes au laser femtoseconde, est une nouvelle solution proposée pour la gestion de l'astigmatisme résiduel en postopératoire. Ces incisions sont réalisées selon des nomogrammes qui sont toujours en cours d'expérimentation. Ces des méthodes peu invasives, simples et rapides, mais l'effet de couple est assez variable avec risque de modification de l'équivalent sphérique

2.5 REPOSITIONNEMENT DE L'IMPLANT TORIQUE

Le défaut d'alignement d'un implant torique peut être causé par 2 facteurs : alignement inexact de l'implant pendant la chirurgie ou la rotation postopératoire de l'implant. Un défaut d'alignement important (de plus de 10 degrés) avec astigmatisme résiduel important constaté dans les premiers contrôles nécessite une chirurgie de réalignement (repositionnement), à condition que l'imprécision d'alignement ne soit pas associée à une erreur sphérique conséquente.

L'opération de repositionnement a été décrite pour la première fois par Dr David Chang [218]. Elle est indiquée si cela peut réduire l'astigmatisme résiduel à moins de 0,50 D. Elle est réalisée en salle opératoire sous anesthésie topique, selon une technique bien particulière :

- Un prémarquage est nécessaire avec un stylo à encre au limbe à 3 h et à 9 h avec le patient assis bien droit.
- En peropératoire, l'axe prévu de l'alignement est marqué de la même manière que pour une implantation primaire d'un torique.
- Pour accéder au sac capsulaire, La pointe d'une canule 30 Gauges est d'abord utilisée pour soulever le bord du capsulorhégis de la surface antérieure de l'optique, ensuite une solution saline (BSS) est injectée à l'aide de la canule via le site de paracentèse pour regonfler le sac

capsulaire. Dans certains cas il est nécessaire d'utiliser un produit viscoélastique pour gonfler le sac capsulaire.

- L'implant torique est ensuite tourné dans l'axe cible d'alignement.

De multiples logiciels d'analyses sont disponibles actuellement pour faciliter le repositionnement des implants toriques. Le plus utilisé est l'analyseur des résultats des implants toriques (Toric Results Analyzer), créé par les Drs. John Berdahl et David Hardten, est validé par l'ASCRS et L'ESCRS (cf. figure 34). C'est un outil en ligne www.astigmatismfix.com destiné à aider les chirurgiens à déterminer si un implant torique précédemment placée est parfaitement alignée ou non, en comparant l'emplacement actuel de l'implant torique à la réfraction manifeste actuelle du patient. L'analyseur de résultats toriques peut déterminer si le réalignement de l'implant torique diminuerait l'astigmatisme résiduel ou non, en fournissant sur un schéma le degré de rotation de l'implant et la réfraction résiduelle attendue [128, 217, 219].

Dans une étude multicentrique rétrospective publiée en 2017 et réalisée sur une grande série de cas (6431 yeux de patients) opérés de cataracte avec implants toriques, pour évaluer l'incidence et le moment opportun pour la chirurgie de repositionnement des implants toriques.

- L'incidence globale de la chirurgie de repositionnement a été estimée à 0.653 % soit 42 yeux.
- Le repositionnement a été effectué à une moyenne de 10 jours (intervalle de 1 à 30 jours) après la chirurgie de la cataracte primaire et le défaut d'alignement a considérablement été réduit en passant de 32 ° à 8.8 °.
- La réfraction cylindrique a été réduite de manière significative de 2.4 dioptries (D) à 1.1 D après le repositionnement.

Cette étude a aussi démontré que l'efficacité de la procédure semble être très liée au moment choisi pour le repositionnement de l'implant. Les résultats chirurgicaux étaient plus favorables lorsque l'implant torique a été repositionné dans les sept jours ou plus après la chirurgie. En effet, cette étude a conclu que le réalignement ne devait pas être fait trop tôt, c'est-à-dire moins d'une semaine après l'opération, car l'implant pourrait encore pivoter et ne doit pas être faite trop tard pour éviter la forte adhésion du sac capsulaire avec l'implant qui sera difficile à déplacer. La rotation tardive de l'implant est parfois possible avec viscodissection prudente, mais aléatoire et présente des risques de désinsertion du sac et de rupture capsulaire [220].

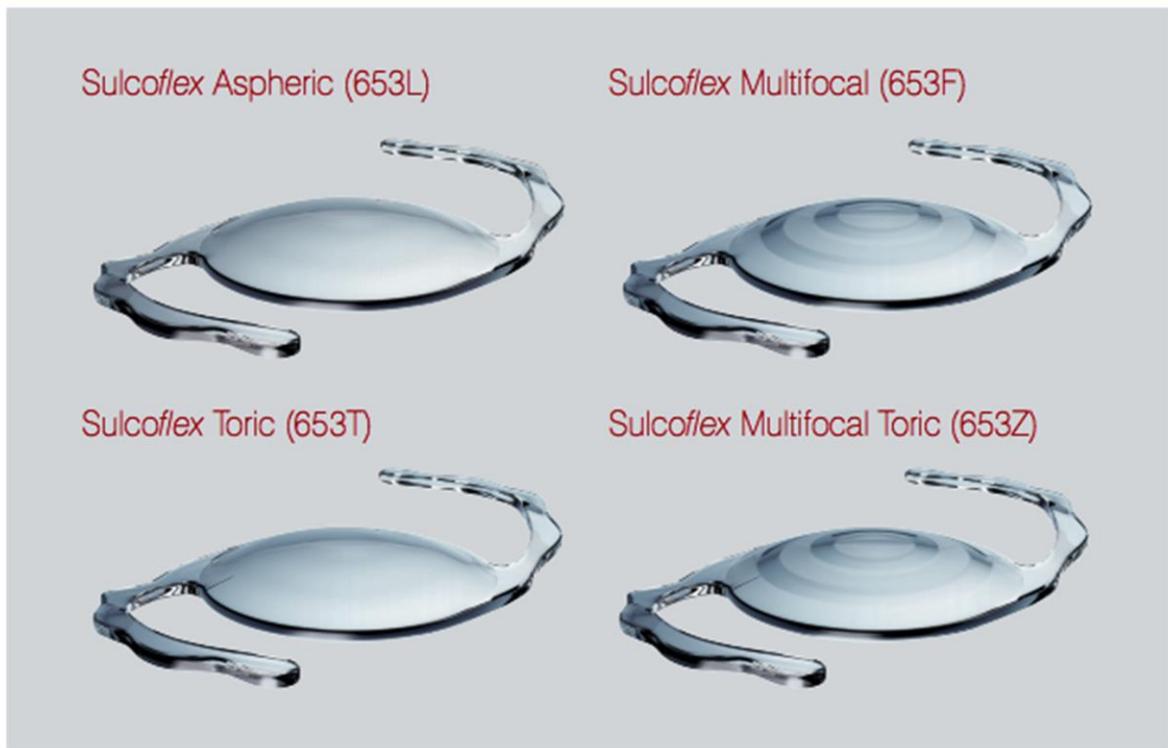


Figure 33: implant piggyback, sulcoflex toric (Rayner)/<https://www.rayner.com/en/sulcoflex-toric/>
<http://www.optomedica.com/prodotti/iol-refrattive/rayner-sulcofle>

Berdahl & Hardten Toric IOL Calculator

Instructions:

1. Enter manifest refraction in **plus or minus power**
2. Enter the axis of the patient's current Toric IOL and choose the magnitude from the list on the right
3. Hit Calculate

Physician First Name: Last Name:

Physician Email Address:

Patient First Name: Last Name:

*** No Patient Identifying Information Will Be Stored**

Patient Eye: Right Eye Left Eye

Originally Calculated IOL Axis (Degrees):

Current Refraction
(in plus or minus cylinder form)

Sphere	Cylinder	Axis (Degrees)
<input type="text" value="-1"/>	<input type="text" value="1.0"/>	<input type="text" value="165"/>

Toric Lens

Magnitude of Astigmatism	Current Toric IOL Axis (Degrees)	Current Toric Spherical Equivalent
<input type="text" value="2.06"/>	<input type="text" value="25"/>	<input type="text" value="28"/>

I Agree to the [Terms and Conditions](#)

CALCULATE

Berdahl & Hardten Toric IOL Calculator Results

Physician Name: Test Calculation
 Physician Email: rick@scienceinvision.com
 Patient Name: Test Eye
 Patient Eye: Right Eye
 Originally Calculated IOL Axis (Degrees): 180

Entered Data

	Sphere	Cylinder (plus power)	Axis (Deg)
Toric Lens	2.06	1.00	25
Current Refraction (+ve)	-1.00	1.00	165

Calculated Results

	Sphere	Cylinder (plus power)	Axis (Deg)
Ideal Position of the Toric	2.06	0.38	13
Expected Residual Refraction (+ve)	-0.09	0.38	14

Rotating the Toric IOL 12° Clockwise should minimize the astigmatism.

Current Toric Position: 25°
 Ideal Toric Position: 13°

Figure 34: analyseur de résultats torique (www.astigmatismfix.com/)/Residual astigmatism after toric intraocular lens implantation: Analysis of data from an online toric intraocular lens back-calculator/Brent A. Kramer/Cataract Refract Surg 2016; 42:1595–1601 Q 2016; ASCRS and ESCRS

3. LE CHOIX DE LA SOLUTION IDÉALE

Pour corriger un astigmatisme résiduel supérieur à 0.5 D en postopératoire d'une implantation torique, une certaine démarche doit être appliquée pour choisir l'option la plus idéale [217].

Le chirurgien commence par mesurer la réfraction postopératoire et calculer l'équivalent sphérique du patient. Par la suite :

- Dans le cas où l'équivalent sphérique ne soit pas proche de l'emmétropie, un échange de l'implant ou un remodelage cornéen par laser doit être effectué, car faire tourner un implant torique peut réduire un astigmatisme résiduel, mais cela ne changera pas l'équivalent sphérique.
- Dans le cas où la réfraction cible soit atteinte pour l'équivalent sphérique, mais avec astigmatisme résiduel important, l'étape suivante consiste à faire un calcul sur l'interface en ligne www.astigmatismfix.com. Si l'implant torique est correctement aligné sur l'axe d'astigmatisme de la réfraction manifeste du patient, la rotation de l'implant torique ne réduira pas l'astigmatisme résiduel et l'étape suivante consiste à déterminer la cause de cet astigmatisme résiduel.
- Si l'axe du torique est sur un méridien qui diffère de celui de la réfraction manifeste, le chirurgien peut effectuer une simulation de repositionnement pour déterminer si la rotation de l'implant torique pourrait réduire cet astigmatisme résiduel à moins de 0,5 D, ou non et un nouveau schéma d'alignement est fourni par l'analyseur torique. Cette chirurgie de repositionnement peut être effectuée dans les semaines qui suivent l'implantation torique à partir d'une semaine et jusqu'à trois mois.
- Dans le cas où l'astigmatisme résiduel soit minime, les incisions cornéennes relaxantes ne sont pas la méthode préférée pour la gestion de l'astigmatisme résiduel après l'implantation torique, bien qu'elles puissent être réalisées.
- Dans le cas où l'astigmatisme résiduel soit très important avec impossibilité de le corriger en faisant pivoter l'implant, un LASIK ou une PRK peuvent être effectués pour réduire cet astigmatisme résiduel. La PRK est parfois privilégiée pour les patients présentant une incision cornéenne antérieure pouvant gêner le lambeau LASIK ou dans le cas des patients présentant une dystrophie antérieure de la membrane basale.

Cependant, la meilleure solution pour un astigmatisme résiduel minime et une indépendance aux lunettes après une chirurgie de cataracte avec implant torique, est d'éviter le cumul des imprécisions, qui aboutit à un résultat qui n'est pas toujours optimal et ceci est d'autant plus vrai que l'astigmatisme à corriger est faible.

Une optimisation de chaque étape de l'implantation torique depuis la sélection des patients jusqu'à la mise en place de l'implant dans le sac capsulaire, est la seule garantie d'une bonne réussite de la procédure. Il est alors essentiel de bien analyser l'état de la surface cornéenne et la qualité du film lacrymal. Il est aussi essentiel pour la réussite d'une implantation torique, de réaliser plusieurs mesures de kératométrie et de les corrélérer à une analyse topographique, de réaliser une biométrie non contact, de choisir une formule de calcul de quatrième génération (Haigis, Holladay 2, Olsen), de bien choisir le modèle de l'implant utilisé (de préférence en acrylique hydrophobe) et de privilégier les calculateurs en ligne qui tiennent compte de l'astigmatisme cornéen postérieur. Aussi, le marquage de référence doit être réalisé en position assise et l'implant doit être bien aligné sur l'axe d'astigmatisme. En outre, certaines précautions doivent être prises en considération lors de la procédure chirurgicale pour s'assurer d'une bonne stabilité de l'implant torique en postopératoire.

VI. PROTOCOLE D'ÉTUDE

A. PROBLÉMATIQUE

La cataracte est une pathologie très fréquente en Algérie, elle touche 1.2 à 1.3 million de personne, et ce nombre ne cesse d'augmenter en raison de l'allongement de l'espérance de vie [4]. Actuellement, La chirurgie de la cataracte est devenue une chirurgie réfractive. La prise en compte de la composante cylindrique de la réfraction en même temps que la composante sphérique, est une étape obligatoire pour obtenir des résultats réfractifs qui s'approchent de l'emmétropie.

La chirurgie de l'astigmatisme combinée à la chirurgie du cristallin a pour but de corriger l'astigmatisme cornéen congénital préexistant dans le même temps opératoire que la cataracte. Les incisions limbiques relaxantes et les incisions en cornée claire opposées représentent les deux techniques jusqu'à présent principalement utilisées. Cependant, l'efficacité limitée et la faible prévisibilité réfractive liée aux caractéristiques de la cicatrisation cornéenne réduisent les indications de cette chirurgie combinée au profit des implants toriques.

Les implants toriques représentent actuellement la solution simple et efficace pour corriger l'astigmatisme préexistant. La majorité des études publiées rapportent leurs supériorités en termes d'efficacité, d'innocuité et de stabilité des résultats. Ces avantages sont dus essentiellement au biomatériau et à la géométrie des implants toriques de nouvelle génération, et aussi à l'évolution considérable des appareils de phacoémulsification et des techniques chirurgicales microincisionnelles.

Cependant, malgré les avantages de ces implants toriques, ils restent rarement utilisés dans notre pays avec très peu de patients bénéficiaires. La composante sphérique de la réfraction est bien prise en charge, mais l'astigmatisme cornéen préexistant est occulté par la majorité de nos chirurgiens du segment antérieur. Dans cette perspective, et afin de mettre l'accent sur la nécessité de la prise en charge de cet astigmatisme cornéen très présent chez nos candidats à la chirurgie de cataracte, nous avons mené une étude clinique dans le but d'évaluer l'apport de l'implant torique dans la gestion de cette composante cylindrique.

B. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Ce travail de recherche vise à atteindre les objectifs suivants :

1. OBJECTIF PRINCIPAL

Évaluer les résultats visuels et réfractifs à la suite d'une implantation torique, afin de déterminer les bénéfices de ce protocole thérapeutique dans la gestion de l'astigmatisme cornéen lors d'une chirurgie de cataracte.

2. OBJECTIFS SECONDAIRES

- Mettre en avant l'intérêt de prendre en considération l'astigmatisme cornéen chez les candidats à une chirurgie de cataracte, en précisant l'ensemble des étapes nécessaires en préopératoire pour le calcul de l'implant torique et en peropératoire entre les différents temps de la technique chirurgicale.
- Évaluer la sécurité à court et à moyen terme des implants toriques.
- Analyser l'astigmatisme cornéen postérieur dans notre échantillon de patients.

C. MATÉRIEL DE L'ÉTUDE

1. POPULATION DE L'ÉTUDE

Notre échantillon de patients est recruté au niveau de l'unité de consultation, du service d'ophtalmologie de l'hôpital militaire régional universitaire (HMRU) de Constantine, parmi les patients candidats à la chirurgie de la cataracte et dans le strict respect des critères d'inclusion et de non-inclusion.

2. CRITÈRES D'INCLUSION

- Patients ayant une cataracte.
- Âgés entre 45 et 85 ans
- Présentant un astigmatisme cornéen régulier supérieur à 1 dioptrie

3. CRITÈRES DE NON-INCLUSION :

Sont exclus de l'étude les patients qui présentent :

- Une chirurgie ophtalmologique antérieure (exemple : une chirurgie réfractive)
- Les cataractes congénitales, traumatiques et compliquées.
- Les antécédents d'amblyopie.
- Les dystrophies cornéennes.
- L'astigmatisme irrégulier (une taie cornéenne, le kératocône, la dégénérescence marginale pellucide.
- L'instabilité zonulaire (comme dans les traumatismes oculaires et le syndrome de pseudoexfoliation capsulaire)
- La mauvaise dilatation pupillaire en dessous de 6 mm.
- Les pathologies rétinienne (comme dans la rétinopathie diabétique, les uvéites et les vascularites).
- Les pathologies maculaires (les œdèmes maculaires, les dégénérescences maculaires comme la DMLA).
- Les pathologies du nerf optique (le glaucome et les neuropathies optiques).

4. ÉCHANTILLON D'ÉTUDE

La taille de l'échantillon est calculée par la formule suivante :

$$N = \sum^2 \frac{PxQ}{\wedge^2}$$

P : Prévalence de la maladie

Q : 1 — P

∧ : Précision = 10 %

∑ = 1,96

N : la taille de l'échantillon

P : La prévalence de l'astigmatisme cornéen qui pourrait être géré par les implants toriques chez les candidats à la chirurgie de la cataracte, qui est de l'ordre de 22 % selon une étude réalisée dans le pourtour méditerranéen à Valence en Espagne, faisant référence pour la majorité des chirurgiens dans ce domaine.

En appliquant la formule ci-dessus, la taille de notre échantillon largement calculée est chiffrée à 65 yeux.

5. LE MATÉRIEL UTILISÉ

Pour les différentes étapes de ce travail, nous avons utilisé les appareils suivants :

5.1 UN PROJECTEUR ET RÉTRACTEUR AUTOMATIQUE

Pour la mesure de l'acuité visuelle, on a utilisé un projecteur automatique télécommandé des tests et qui permet de projeter une variété d'optotypes sur une plaque éclairée disposée à la hauteur du patient (cf. figure 35).

Pour l'essai de correction, on a utilisé un rétracteur automatique piloté par une tablette tactile (cf. figure 35).

5.2 UNE LAMPE A FENTE :

Pour la biomicroscopie du segment antérieur et du fond d'œil dans notre travail une lampe à fente BQ 900 (Haag-streit, Swiss) (cf. figure 36)

5.3 UN AUTOREFRACTO — KERATOMETRE AUTOMATISE

Dans le cadre de notre travail, on a utilisé Le SPEEDY-K (Luneau technology, France), qui permet la mesure de la réfraction totale du patient et l'étude de la kératométrie sur 18 points cornéens situés sur un anneau à 3,2 mm du centre. Cet appareil permet un large intervalle de mesure (cf. figure 37) :

- Pour les réfractions, il permet la mesure d'une réfraction sphérique allant de -18 D à + 23 D, avec un astigmatisme total allant jusqu'à 12 D.
- Pour la kératométrie, le Speedy-K permet la mesure de l'astigmatisme cornéen allant de 0 à 12 D par progression de 0,12 D.



Figure 35 : à gauche, projecteur et rétracteur automatique ((service d'ophtalmologie de l'hôpital militaire de Constantine)

Figure 36 : à droite, lampe à fente BQ 900 (Haag-streit) à droite (service d'ophtalmologie de l'hôpital militaire de Constantine)



Figure 37 : le Speedy-K (Luneau technology) qui un refracto-keratomètre automatisé (service d'ophtalmologie de l'hôpital militaire de Constantine)

5.4 UN TONOMÈTRE

On a utilisé un tonomètre à air pulsé qui permet la mesure de la pression intraoculaire (PIO) corrigée en fonction de la pachymétrie grâce à un pachymètre intégré (cf. figure 38).

5.5 UN BIOMETRE OCULAIRE

Pour la biométrie oculaire et le calcul de l'implant, on a utilisé un biomètre à ultrasons en mode A ; l'Axis II PR (quantel medical, Lumibird group, France) qui permet grâce à une sonde de 10 MHz placée sur la cornée (cf. figure 39) :

- De mesurer différents paramètres biométriques : comme la profondeur de la chambre antérieure et la longueur axiale moyenne de l'œil sur une série de 10 mesures.
- Le calcul de la puissance sphérique des implants grâce à des formules de calcul intégrées comme les formules : SRK-T, SRK 2, HOLLADAY, BINKHORST-II, HOFFER-Q et la formule de HAIGIS.

5.6 LA MICROSCOPIE SPÉCULAIRE

Le microscope spéculaire utilisé dans notre travail permet l'acquisition rapide de 16 images en une seule séquence avec focalisation précise sur l'endothélium. L'exploitation de ces images s'effectue à l'aide d'un logiciel qui sélectionne la meilleure image pour ensuite effectuer une analyse complète en quelques secondes de façon automatique, avec possibilité d'un comptage manuel (cf. figure 40).

5.7 UN TOPOGRAPHE CORNÉEN

Dans notre étude, l'analyse de la topographie cornéenne préopératoire a été réalisée à l'aide du Pentacam HR® (oculus, Wetzlar, germany) qui fait appel à une camera scheidtflug rotative (cf. figure 41). Cet appareil permet la réalisation de 25 coupes en deux secondes fournissant un examen de tout le segment antérieur, et en particulier celui de la cornée. Il permet de donner essentiellement :

- Cartes d'élévation de la face antérieure et de la face postérieure de la cornée
- Mesure du pouvoir cornéen total et la kératométrie des deux méridiens cornéens principaux (plat et cambré).
- Mesure de l'astigmatisme cornéen postérieur et son axe
- Détection du kératocône, la mesure de la profondeur de la chambre antérieure et du diamètre pupillaire.

- Cartes topographiques axiales et tangentielles et des cartes de pachymétrie.

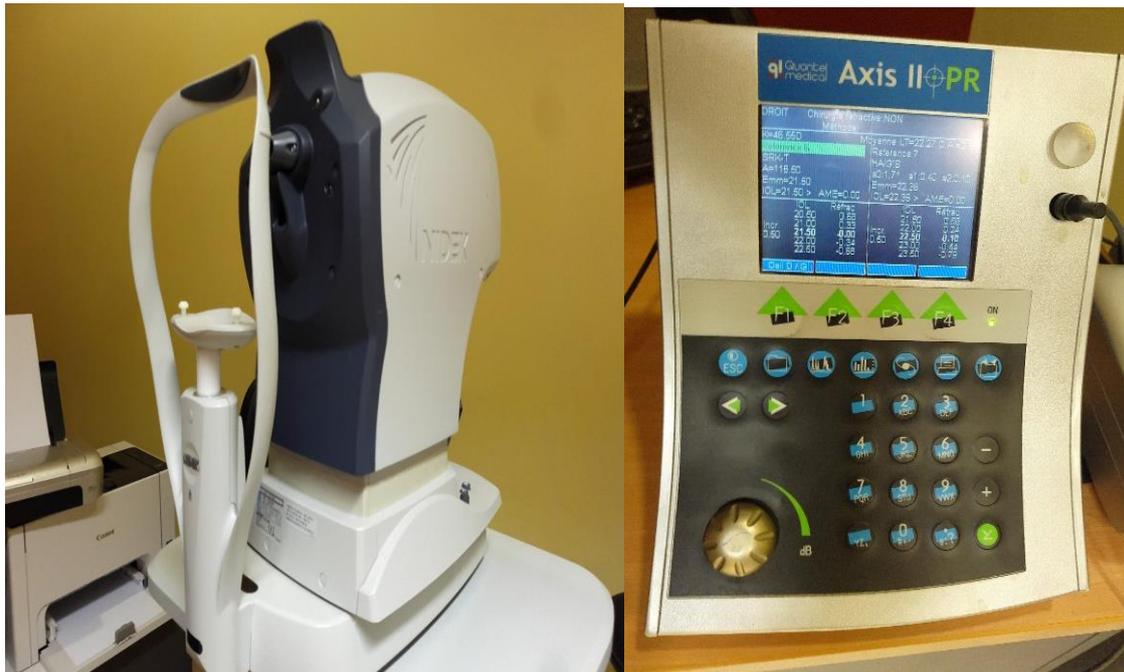


Figure 38 : à gauche, le tonomètre à air pulsé (service d'ophtalmologie, HMRUC

Figure 39 : le biomètre à ultrasons en mode A ; le Axis II PR (quantel medical)) (service d'ophtalmologie, HMRU Constantine



Figure 40 : à gauche, le microscope spéculaire (service d'ophtalmologie, HMRU Constantine)

Figure 41 : à droite, le topographe cornéen le Pentacam HR® (oculus) (service d'ophtalmologie, HMRUC)

5.8 L'IMPLANT TORIQUE ET LE LOGICIEL DE CALCUL

Dans le cadre de cette étude clinique, nous avons utilisé l'implant Envista torique (Bausch and Lomb, Valeant, USA). L'implant Envista torique présente les spécificités suivantes (cf. Tableau 3) :

Tableau 3 : spécificités de l'Envista torique

(<https://www.bauschsurgical.eu/products/cataract/intraocular-lenses-monofocal-and-premium/envista-toric>)

MODÈLE	MX60T							
MATÉRIEL	Acrylique hydrophobe avec absorption UV							
DIMENSIONS	6,0 mm x 12,5 mm à bords postérieurs carrés							
GÉOMÉTRIE DE L'IMPLANT	Optique asphérique, en C loupe							
CORRECTION	de 0,0 D à + 34,0D							
CORRECTION CYLINDRIQUE	Au Plan cristallinien	1.25 (D)	2,00 (D)	2.75 (D)	3.50 (D)	4.25 (D)	5.00 (D)	5.75 (D)
	Au Plan cornéen	0.90 (D)	1.40 (D)	1.93 (D)	2.45 (D)	2.98 (D)	3.50 (D)	4.03 (D)
CONSTANTE A	118,7 (biométrie à aplanation)							
TAILLE DE L'INCISION	2,2 mm							
CONSTANTES OPTIMITEES	SRK T : Constante A= 118,7 Hoffer Q : PCA= 5.37 Holladay Surgeon Factor (sf) = 1.62 Haigis : a0 = 1,46 ; a1 = 0,40 ; a2 = 0,10							

5.9 UN APPAREIL DE PHACOEMULSIFICATION

Les différentes chirurgies de la cataracte avec implants torique ont été réalisées à l'aide d'un appareil de phacoémulsification et des cassettes pour incision en 2,2 mm (cf. figure 42).



Figure 42: chirurgie de cataracte avec appareil de phacoémulsification avec cassette pour incision en 2,2 (bloc opératoire, service d'ophtalmologie HMRU Constantine)

5.10 UN MICROSCOPE OPÉRAIRE

Un microscope opératoire avec projection sur écran LCD et un enregistreur de vidéos connecté a été utilisé dans notre travail (cf. figure 43).

5.11 L'INSTRUMENTATION

Une boîte d'instrumentation habituelle de chirurgie de la cataracte par PKE (cf. figure 44) néanmoins quelques spécificités sont à préciser :

- Un anneau de Mendez et un marqueur d'axe.
- Un stylo dermographique à encre.

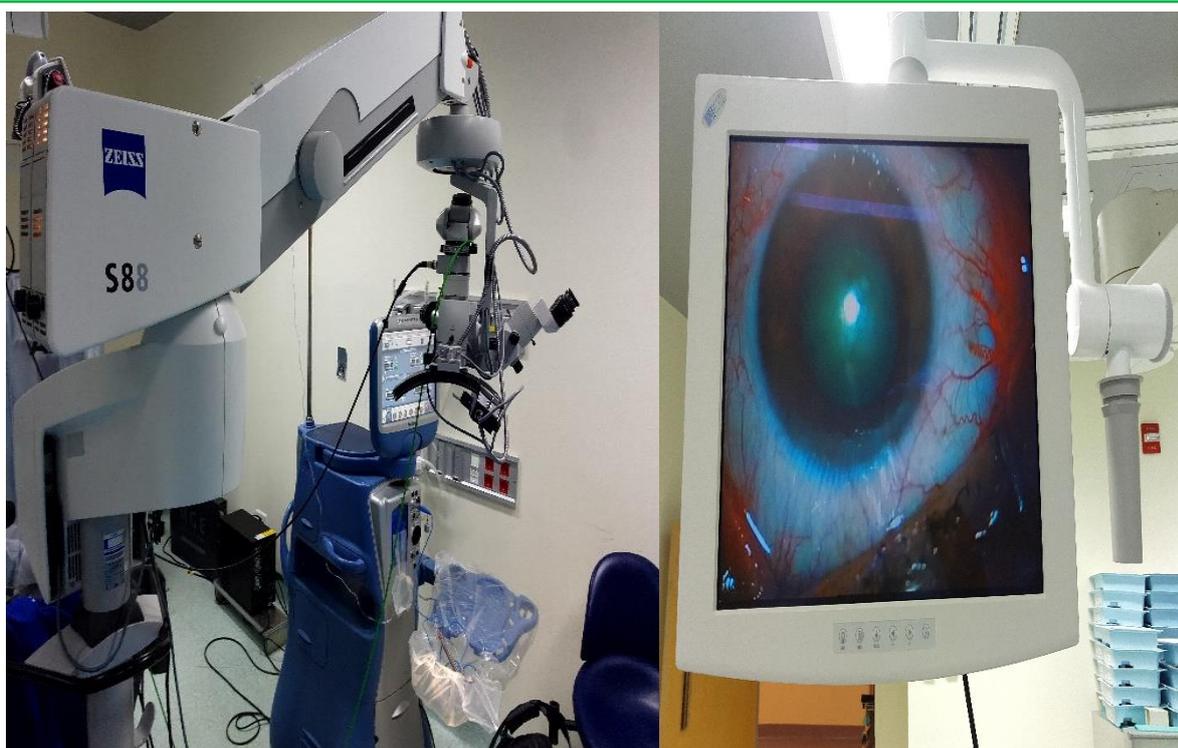


Figure 43 : microscope opératoire avec projection sur Écran LCD et enregistreur de vidéos connecté (bloc opératoire, service d'ophtalmologie HMRUC)



Figure 44 : boîte d'instrumentation de cataracte par phacoémulsification, avec anneau de Mendez et stylo à encre dans l'extrême gauche (bloc opératoire, service d'ophtalmologie HMRUC)

D. MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE

1. TYPE D'ÉTUDE

Il s'agit d'une étude descriptive à recrutement prospectif, non randomisée, monocentrique, réalisée dans le service d'ophtalmologie de l'HMRU de Constantine, pour évaluer l'apport des implants toriques dans la correction de l'astigmatisme cornéen au cours de la chirurgie de la cataracte qui ayant concernée 65 yeux de 65 patients avec exclusion en postopératoire de 10 yeux de 10 patients faute de critères de non-inclusion. Cette étude a été réalisée depuis juillet 2016 jusqu'en janvier 2019.

2. PROTOCOLE DE L'ÉTUDE

Le but escompté de la chirurgie de la cataracte avec implant torique a visé l'obtention pour tous les patients opérés :

- Un équivalent sphérique postopératoire le plus proche de l'emmétropie.
- Correction en totalité de l'astigmatisme cornéen préexistant.

Tous nos patients ont été opérés après un consentement éclairé. L'obtention de leurs accords concernant le geste chirurgical a été consignée, émargement à l'appui sur fiche d'information (cf. annexe 1).

Par ailleurs, les données concernant les patients ont été recueillies et transcrites sur une fiche technique (cf. annexe 2) comprenant quatre volets principaux :

- L'identification du patient
- Les données cliniques et paracliniques préopératoires
- Les paramètres des différents temps de la technique chirurgicale
- les données cliniques et paracliniques postopératoires

Les différentes étapes pré-per et postopératoires ont répondu à un même protocole et la chirurgie proprement dite a été réalisée par le même chirurgien (le candidat) pour tous les patients.

2.1 LES PARAMETRES D'ÉVALUATION EN PREOPERATOIRE

Les paramètres préopératoires des patients sont renseignés sur le questionnaire dans l'ordre suivant (cf. annexe 2) :

2.1.1 INTERROGATOIRE :

À l'interrogatoire, les paramètres suivants ont été colligés :

- Les noms et prénoms des patients, l'âge et les coordonnées personnelles des patients (adresse, téléphones) ont été consignés pour faciliter le contact pour les rendez-vous opératoires ou les contrôles postopératoires.
- La recherche des contre-indications sachant que le recrutement des patients doit répondre aux impératifs des critères d'inclusion et de non-inclusion.

2.1.2 MESURE DE L'ACUITÉ VISUELLE (AV) :

Nous avons mesuré l'AV de nos patients

- Sur l'échelle de Monoyer
- De loin, sans correction (AVSC) et avec (AVAC)

2.1.3 ÉTUDE DE LA RÉFRACTION ET DE LA KERATOMETRIE :

Les mesures de réfraction et de la kératométrie sont réalisées avant toutes instillations de collyres, prise de tonus ou mise en place de verre à trois miroirs. Un réfracto-kératomètre automatisée a été utilisé pour l'évaluation :

- De l'amétropie existante (la sphère) ainsi que de la puissance et de l'axe de l'astigmatisme total.
- Des méridiens principaux du cylindre cornéen ainsi que la kératométrie plate (K1) et la kératométrie cambrée (K2). Plusieurs mesures ont été réalisées jusqu'à obtenir des valeurs concordantes surtout pour les astigmatismes de faibles puissances.

Une attention très particulière est donnée à cette étape du bilan préopératoire comme la droiture de la tête lors des mesures qui doit être vérifiée, le moindre tilt peut modifier la puissance et surtout l'axe de l'astigmatisme à traiter.

2.1.4 EXAMEN DU SEGMENT ANTÉRIEUR

L'examen du segment antérieur à la lampe à fente (LAF) est essentiel pour la suite des évènements, car il permet :

- de rechercher des contre-indications : la présence d'une anomalie de transparence de la cornée ou de l'humeur aqueuse, l'existence de stigmates d'inflammation, une mauvaise dilatation de la pupille, une rupture zonulaire ou un syndrome de pseudoexfoliation capsulaire.
- L'évaluation de la surface oculaire et l'appréciation de la qualité du film lacrymal. Une sècheresse oculaire pourrait modifier la réfraction des patients et entraîner des erreurs dans le calcul de la puissance de l'implant torique, et particulièrement dans les faibles astigmatismes. Cet examen est réalisé en faisant appel à :
 - l'examen biomicroscopique minutieux de la surface oculaire en appréciant les rivières lacrymales.
 - le temps de rupture du film lacrymal ou break up time (BUT)
 - le test de Schirmer

Une sècheresse oculaire doit être dépistée et traitée avant de refaire les mesures de la kératométrie.

2.1.5 MESURE DE LA PRESSION INTRAOCULAIRE :

Les valeurs retrouvées avec le tonomètre à air pulsé sont ajustées automatiquement par rapport à la pachymétrie cornéenne. Les patients présentant une hypertension oculaire isolée sont explorés dans ce sens.

2.1.6 EXAMEN DU SEGMENT POSTÉRIEUR

Un examen du fond d'œil est réalisé à chaque fois où la transparence des milieux le permet, pour :

- déterminer l'état du vitré, l'aspect de la papille et de la macula, l'état des vaisseaux à la recherche de contre-indications.
- Rechercher et traiter les éventuelles lésions dégénératives de la périphérie rétinienne prédisposant au décollement de rétine.

- Dans le cas de cataracte dense, l'examen de l'œil adelphe a été d'un apport quasi certain permettant d'éliminer les patients avec des pathologies oculaires à caractère bilatéral (glaucome, maculopathies, œdèmes maculaires)

2.1.7 LA MICROSCOPIE SPÉCULAIRE

Cet examen a été réalisé pour l'appréciation de la qualité et de la densité des cellules endothéliales, surtout que l'âge des patients dans cette étude est relativement élevé. Les cornées présentant un comptage de cellules endothéliales inférieur à 1500 cellules/mm² ont été exclues.

2.1.8 LA TOPOGRAPHIE CORNÉENNE

La topographie cornéenne est un examen obligatoire dans le bilan préopératoire d'une implantation torique

❖ Déroulement de l'examen

Pour la réalisation de cette exploration, certaines précautions ont été prises en considération :

- Réalisation avant tout examen au contact de la cornée.
- Examen réalisé après traitement d'au moins 1 mois d'une sécheresse oculaire.
- Droiture parfaite de la tête avec la nécessité d'une immobilité stricte de l'œil et des paupières pendant tout le temps de rotation de la caméra sheimpflug (2 secondes).

❖ Intérêt de l'examen :

- Recherche d'anomalies cornéennes pouvant constituer des contre-indications aux implants toriques, notamment : un astigmatisme irrégulier (un kératocône ou une dystrophie marginale pellucide)
- Mesure de l'astigmatisme cornéen postérieur et son axe
- Mesure de la profondeur de la chambre antérieure (qui est un élément obligatoire pour certains calculateurs toriques).
- Obtention de données importantes pour la mesure et l'alignement de l'implant torique :
 - la kératométrie plate et son axe
 - la kératométrie cambrée et son axe
 - la puissance et l'axe de l'astigmatisme à traiter

Nous avons utilisé les mesures [axes et kératométrie] obtenues par la kératométrie automatisée. Néanmoins, en cas de non-correspondance des mesures entre les valeurs kératométriques topographiques et automatisées ces dernières sont refaites jusqu'à l'obtention de valeurs correspondantes (cf. figure 46).

2.1.9 LA BIOMÉTRIE OCULAIRE

Un biomètre optique à ultrasons en mode contact [Écho A] a été utilisé. Après l'instillation d'une goutte d'anesthésie topique, le patient est mis en position assise en face de l'opérateur. Après inscription des données de la kératométrie sur l'écran, la sonde du biomètre est appliquée et sans appuyer sur le centre de la cornée, en passant par l'axe optique du patient. Les données biométriques du patient sont ensuite recueillies et imprimées, à savoir :

- la longueur axiale de l'œil
- la profondeur de la chambre antérieure.

2.1.10 LE CALCUL DE LA PUISSANCE SPHÉRIQUE DE L'IMPLANT :

Déterminer la puissance sphérique de l'implant torique est conditionné par le choix de la formule de calcul. Le biomètre que nous disposons permet le choix entre plusieurs formules de calculs : SRK-T, SRK 2, HOLLADAY, BINKHORST-II, HOFFER-Q et la formule de HAIGIS.

Dans notre étude nous avons choisi la formule de Haigis (cf. figure 45). Pour l'optimisation des résultats avec cette formule, les constantes a_0 , a_1 , a_2 sont choisies en fonction de la marque de l'implant torique programmé. Pour l'implant Envista torique [bausch et lomb], nous avons sélectionné la formule de Haigis avec les constantes suivantes :

- $a_0 = 1,46$
- $a_1 = 0,40$
- $a_2 = 0,10$.

Ces constantes sont données par le fabricant de l'implant, à savoir bausch et lomb (Valeant, USA) concernant notre série.

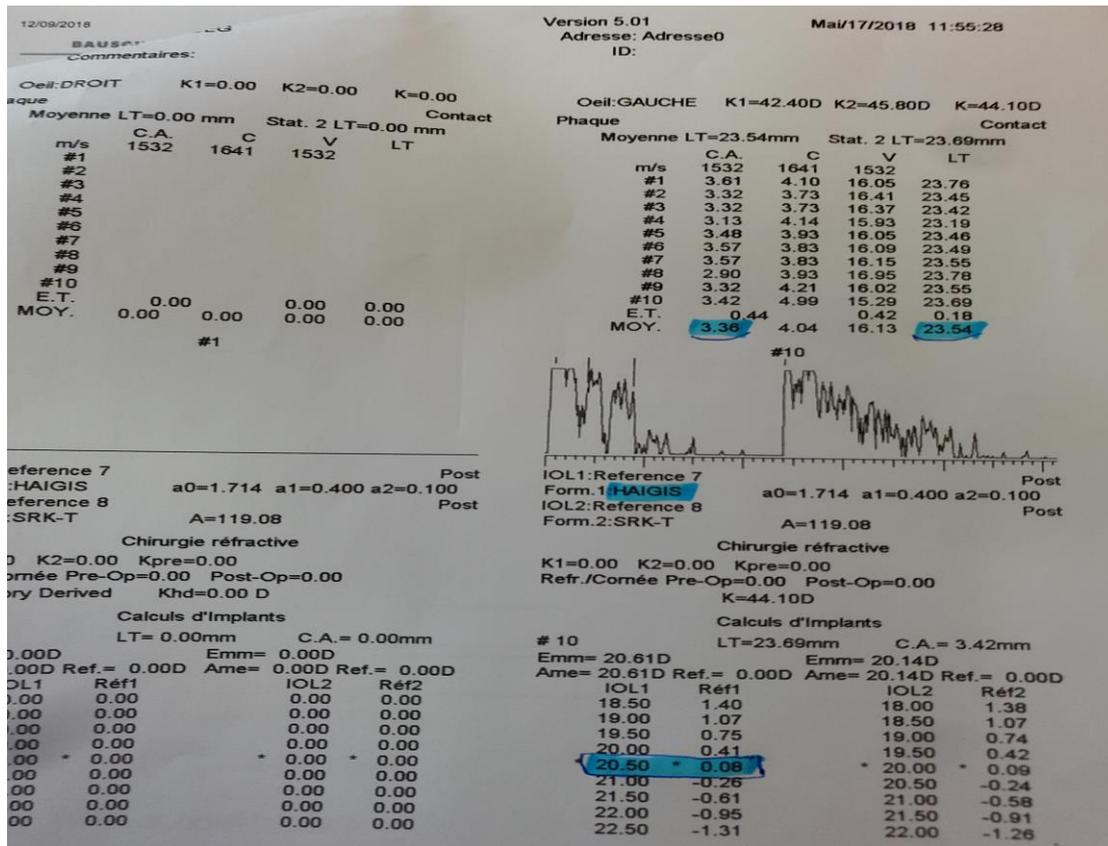


Figure 45: calcul d'implant avec l'Axis II PR (quantel medical) avec formule de Haigis (service d'ophtalmologie HMRUC)

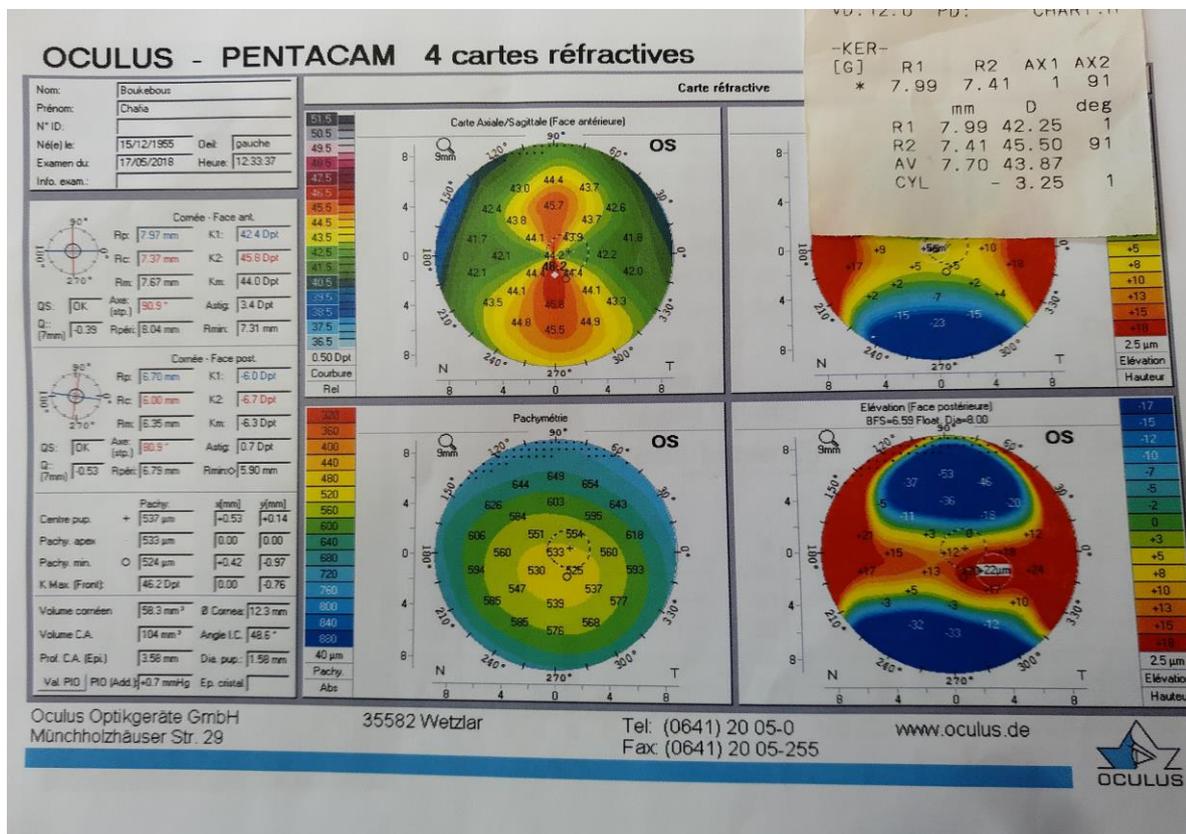


Figure 46 : topographie cornéenne avec le Pentacam, image d'un astigmatisme régulier « en nœud de papillon » d'un candidat pour implant torique au service d'ophtalmologie HMRUC

2.1.11 LE CHOIX DE L'IMPLANT TORIQUE

Après le recueil de tous ces paramètres, l'étape finale dans le bilan préopératoire concerne le choix de l'implant torique. Cette étape est réalisée sur l'interface internet ou « calculateur » de fabricant d'implants qu'on veut utiliser. Nous avons utilisé le calculateur : <https://envista.toriccalculator.com> pour l'implant Envista torique (bausch et lomb, USA) (cf. figure 47).

Le chirurgien doit renseigner toutes les données recueillies sur le calculateur torique, à savoir:

- L'identification du patient
- L'œil concerné
- la kératométrie plate (en dioptrie) et son axe
- la kératométrie cambrée (en dioptrie) et son axe
- le siège de l'incision.
- La valeur de l'astigmatisme chirurgicalement induit.
- la puissance sphérique de l'implant calculée par le biomètre.

Ces calculateurs sur réseau internet, une fois renseignées par les données préopératoires, permettent de donner sous forme de schéma (cf. figure 48) :

- La référence de l'implant torique à utiliser (puissance sphérique et cylindrique)
- l'axe sur lequel seront alignées les marques de l'implant.

Ce document est important et doit servir de référence le jour J au bloc opératoire (chirurgie).

Le chirurgien doit également vérifier la disponibilité de l'implant (puissance sphérique et cylindrique) dans le stock du consommable chirurgical, afin de le fournir.

BAUSCH + LOMB CE

enVista[®]
One-Piece Hydrophobic Acrylic Toric Intraocular Lens

enVista Calculateur torique

Contrat d'utilisation | Charte de confidentialité / Mentions légales | Nouveau calcul d'implant | Aide | Nous contacter

RENSEIGNEMENTS SUR LE CHIRURGIEN ET LE PATIENT Effacer les données

Nom du chirurgien: Autres remarques (facultatif):

Nom du patient:

Date de naissance (facultatif) (jj/mm/aaaa):

Import Data:

DONNÉES PRÉOPÉRATOIRES

Sélection de l'œil: OD (Œil droit) OG (Œil gauche)

Unités de kératométrie: Dioptries Millimètres

K1 plat (D): (35,00-50,00)

Axe plat: (0°-180°)

K2 cambré (D): (35,00-50,00)

Axe cambré: (0°-180°)
A 90° de l'axe plat

Astigmatisme induit chirurgicalement - AIC (D): (0-2,00)
(Qu'est-ce que c'est ?)

Localisation de l'incision (degrés): (0°-360°)

Puissance sphère moy. LIO (D): (6,00-30,00)

OD (ŒIL DROIT)

Axe plat:
Axe cambré:
Localisation de l'incision:

SÉLECTION DE L'IMPLANT

Figure 47 : inscription de données kératométriques, l'astigmatisme induit chirurgicalement, le siège de l'incision et la puissance sphérique de l'implant sur le site <https://envista.toriccalculator.com> pour le calcul de l'implant torique

BAUSCH + LOMB CE

enVista[®]
One-Piece Hydrophobic Acrylic Toric Intraocular Lens

enVista Calculateur torique

Contrat d'utilisation | Charte de confidentialité / Mentions légales | Nouveau calcul d'implant | Aide | Nous contacter

Nom du chirurgien: Nom du patient:

Date de naissance du patient:

SÉLECTION DE L'IMPLANT

Nom du produit:

Modèle du produit:

Puissance sphère moy.:

Puissance du cylindre de la LIO: (au plan de l'implant)

Réf. de commande:

Sous-corrrection Sur-corrrection (Qu'est-ce que c'est ?)

OD (ŒIL DROIT)

Incision:
Astigmatisme résiduel:

DÉTAILS DU CALCUL

	Cylindre x Axe cambré
Astigmatisme cornéen préopératoire:	2,25 D x 4°
Astigmatisme induit chirurgicalement:	0,30 D x 45°
Astigmatisme cornéen post-opératoire prévu:	2,31 D x 8°
Puissance du cylindre de la LIO (au plan de la cornée):	1,93 D x 98°
Astigmatisme résiduel:	0,38 D x 8°

Autres remarques:

Axe plat:
Axe cambré:
Incision:

Figure 48 : schéma fourni par le calculateur : envista.toriccalculator.com, avec puissance sphérique et cylindrique de l'implant, l'axe d'alignement et la valeur de l'astigmatisme résiduel prévu.

2.1.12 L'INFORMATION DES PATIENTS :

Au terme du bilan préopératoire, et en l'absence de contre-indications, le patient est informé en vue d'obtention de son consentement éclairé sur plusieurs points :

- Le déroulement de la chirurgie
- L'évolution habituelle et les éventuelles complications postopératoires (défaut d'alignement ou rotation de l'implant).
- La possibilité d'un deuxième geste de repositionnement de l'implant en cas de rotation importante.

2.2 LES PARAMÈTRES D'ÉVALUATION PEROPÉRAIRE

Il a été recommandé à tous les patients une douche à la Bétadine et la nécessité d'un accompagnateur. Toutes les chirurgies ont été réalisées en ambulatoire avec un protocole opératoire bien défini selon la technique habituelle de phacoémulsification associée à des étapes clés et systématiques. À savoir :

2.2.1 LE MARQUAGE DE L'AXE DE RÉFÉRENCE.

Le marquage de l'axe de référence est réalisé à la LAF par des aiguilles 25 gauge avant d'entrer au bloc opératoire, au niveau de l'unité de consultation et d'exploration du service.

Technique :

Ce marquage est réalisé avant toute dilatation de la pupille du patient. Après une goutte d'anesthésie topique, le patient est installé à la LAF, la tête bien droite regardant devant lui, on tourne la fente fine de la LAF à l'horizontale, puis on marque l'axe 3 h – 9 h par une aiguille fine de 25 gauge au niveau de la cornée près du limbe. Ce marquage doit se faire obligatoirement sur l'axe horizontal passant par le centre de la pupille.

2.2.2 LA PROCÉDURE CHIRURGICALE

Après le marquage de l'axe de référence, le patient est adressé à l'hôpital de jour pour dilution et mise en condition opératoire

❑ PRÉPARATION DU MATÉRIEL

Mise en marche de l'appareil de phacoémulsification Infiniti (Alcon, Novartis), du microscope opératoire S88 (Zeiss) et d'un enregistreur vidéo rattaché, pour documenter le geste chirurgical. La table d'instrumentation comprend tout le consommable nécessaire à la réalisation d'une chirurgie par PKE auquel est rajouté un consommable spécifique à type d'un anneau de Mendez et un stylo à encre.

Par ailleurs, le schéma fourni par le calculateur torique est à chaque fois fixé en face du chirurgien pour éviter les erreurs d'alignement de l'implant torique.

❑ PRÉPARATION DU MALADE

Le patient est installé sur la table opératoire, et mis en condition opératoire avec tête horizontale et fixée grâce à la têtère.

L'anesthésie topique a été utilisée pour tous nos patients, avec instillation d'une à deux gouttes d'Oxybuprocaine (CEBESINE® ou NOVESINE®) à 0,4 % avant la désinfection et juste avant le début de la chirurgie. La désinfection oculaire a été réalisée à la Polyvidone iodée BETADINE® diluée à 5 % après badigeonnage des annexes par de la BETADINE® également.

❑ PROTOCOLE OPÉRATOIRE

Le Protocole de chirurgie de cataracte avec mise en place d'un implant torique doit suivre les étapes suivantes :

- avant l'incision cornéenne, une étape bien particulière pour cette chirurgie doit être réalisée en premier, c'est le marquage de l'axe d'alignement de l'implant. En se référant au schéma fourni par le calculateur et au prémarquage cornéen de l'axe horizontal 3 h — 9 h, nous avons procédé au marquage de l'axe d'alignement cible à l'aide de l'anneau de Mendez gradué. Cet anneau est orienté de sorte que ces graduations 0 et 180 ° sont parfaitement alignées sur les marques cornéennes à 3 h et 9 h, sachant que la graduation 0 de l'anneau de Mendez doit être toujours placé en temporal de l'œil et aligné avec le marquage cornéen à 3 h.
- L'incision : pour tous nos patients, nous avons réalisé des incisions cornéennes par des couteaux 2.2 (Alcon) près du limbe. Le siège de l'incision varie de 130 ° jusqu'à 140 ° en fonction de la facilité du geste et surtout en fonction de l'axe de l'alignement (l'incision ne doit pas correspondre à l'axe d'alignement de l'implant).

- Coloration de la capsule antérieure du cristallin par le bleu trypan (Bio-blue, Biotech ophthalmics) et remplissage de la chambre antérieure avec du produit viscoélastique dispersif.
- Réalisation d'une Incision cornéenne de service par couteau 15 ° (Alcon) à 90 ° de l'incision principale
- Un capsulorhéxis continu circulaire est ensuite découpé et devant être le plus centré et le plus régulier possible avec un diamètre de l'ordre de 5 mm.
- Hydrodissection douce et hydrodélimitation la plus parfaite possible
- la phacoémulsification est ensuite réalisée avec la technique de Stop and chop.
- Lavage et aspiration des masses la plus douce possible pour éviter de tirer sur la zonule de Zinn. Avec conversion dans tous les cas vers un implant standard en cas de rupture de la capsule postérieure.
- Remplissage du sac capsulaire avec du produit viscoélastique cohésif.
- Mise en place de l'implant torique dans la cartouche de l'injecteur après vérification de ses références avec introduction soigneuse des anses de l'implant torique pour éviter de les déformer, ce qui pourrait être source d'un décentrement (tilt) de l'implant.
- L'implant est ensuite inséré dans le sac capsulaire à travers les berges de l'incision, puis laissé pendant quelques secondes pour qu'il reprenne sa forme. Par la suite, on le tourne doucement à l'aide d'un micromanipulateur à bord rond, selon les aiguilles d'une montre, jusqu'à 10-20° de sa position finale.
- Lavage du produit viscoélastique par la pièce I/A (infusion/aspiration) sur et sous l'implant, et dans le même temps opératoire l'implant est tourné vers sa position finale et aligné sur le méridien cible. Il est nécessaire de bien vérifier que les marques sur l'implant sont superposées avec l'axe d'alignement marqué par l'anneau de Mendez en début de chirurgie.
- La chirurgie prend fin par une Hydrosuture de l'incision principale et de l'incision de service.
- Application d'une pommade à base de corticoïde
- pansement oculaire adhésif de protection

□ CONSIGNES ET TRAITEMENT POSTOPÉRATOIRE IMMÉDIAT

Le protocole de traitement postopératoire est classique d'une chirurgie de cataracte ordinaire et identique pour tous les patients comprenant :

- Un collyre et une pommade associant un antibiotique et un corticoïde à base de Dexaméthasone, pour une durée totale d'une semaine à 10 jours.
- Un anti-inflammatoire non stéroïdien en collyres pendant 6 semaines.
- Un substitutif lacrymal en collyre.

Les consignes durant la période de convalescence étaient les mêmes pour tous les patients conseillant l'éviction notamment de:

- l'activité sportive et la conduite automobile
- l'utilisation de machines ou d'instruments dangereux.
- Les efforts importants
- introduction du shampoing ou du savon dans l'œil.

Les patients ont été informés des signes d'alerte pouvant conduire à consulter en urgence, à savoir :

- Douleur de l'œil opéré.
- Baisse de vision par rapport au lendemain de l'intervention.
- Aggravation de la rougeur du globe oculaire.
- Gonflement des paupières.
- Perception importante de mouches volantes ou d'un voile.

2.3 LES PARAMÈTRES D'ÉVALUATION EN POSTOPÉRATOIRE :

2.3.1 RYTHME DES CONTRÔLES POSTOPÉRATOIRES

Le patient est invité à se présenter à des contrôles postopératoires itératifs selon le protocole d'étude suivant :

- Le 1er contrôle : 3 jours après la chirurgie.
- Le 2eme contrôle : 15 jours après la chirurgie
- Le 3eme contrôle : 1 mois après la chirurgie.
- Le 4eme contrôle : 3 mois après la chirurgie.

2.3.2 LES PARAMÈTRES EVALUES EN POSTOPÉRATOIRE

Pour chaque œil opéré ont été recueillies en postopératoire, les données suivantes :

- La mesure de l'acuité visuelle de loin sans correction sur l'échelle de Monoyer
- La mesure de la réfraction sphérocyindrique
- La mesure de l'acuité visuelle corrigée (AVAC)
- L'examen biomicroscopique du segment antérieur sur une pupille en parfaite dilatation, pour :
 - Rechercher un décentrement de l'implant, des complications inflammatoire ou infectieuse, ou encore une opacification de la capsule postérieure.
 - Mesurer l'axe d'alignement de l'implant avec utilisation de l'échelle de mesure d'angle de la lampe à fente après avoir aligné la fente fine sur les repères de l'implant (cf. figure 49).
 - Mesurer la taille du capsulorhéxis à la LAF en superposant les bords de la fente fine sur limites du capsulorhéxis.

- L'examen biomicroscopique du segment postérieur à la recherche de complications :
 - une inflammation
 - un Irvine Gass
 - une hémorragie vitréenne ou rétinienne
 - un décollement de rétine.
- En cas d'astigmatisme résiduel important supérieur à 1 D et rotation de l'implant de plus de 10 °, Utilisation d'outils internet www.astigmatismfix.com pour une probable chirurgie de repositionnement.
- La microscopie spéculaire a été réalisée lors du contrôle à trois mois pour quantifier la densité des cellules endothéliales

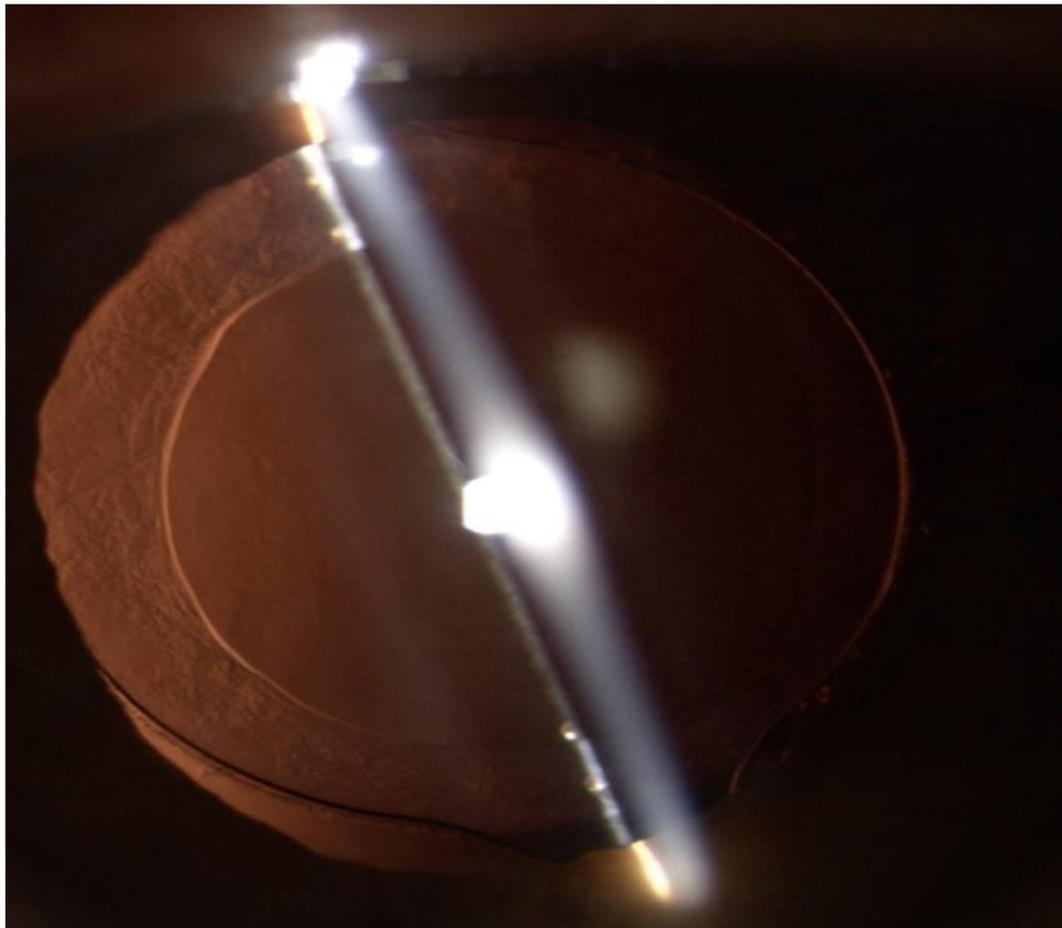


Figure 49: calcul de l'axe d'alignement de l'implant envista torique par alignement de la fente sur les marques de l'implant, service d'ophtalmologie HMRU Constantine

E. ANALYSE STATISTIQUE

Les données ont été collectées et analysées par le logiciel Épi Info™ version 7.2.1.0 du 27 janvier 2017 (développé par les Centres pour le contrôle et la prévention des maladies aux États-Unis ou CDC). Les analyses statistiques ont été réalisées en collaboration avec le service d'épidémiologie de l'hôpital militaire régional universitaire de Constantine.

Toutes les informations recueillies ont été renseignées sur le questionnaire et analysées par le logiciel selon les méthodes statistiques descriptives suivantes :

- Distribution des fréquences.
- Calcul des moyennes et des médianes.
- Calcul des pourcentages et indices [scores].
- Tests statistiques de comparaison des fréquences (test de KHI-2, l'écart réduit, test de student, analyse des variances, ANOVA).

Les tests sont considérés statistiquement significatifs si : $p < 0.05$

VII. RÉSULTATS

A. CARACTÉRISTIQUES DESCRIPTIVES DE L'ÉCHANTILLON

1. EFFECTIF

L'étude clinique réalisée au service d'ophtalmologie de l'Hôpital militaire régional universitaire de Constantine, a inclus au début 65 yeux, avec exclusion dans un premier temps de 10 patients pour 10 yeux :

- 03 yeux de 3 patients pour amblyopie constatée lors des contrôles.
- 1 œil d'un patient pour neuropathie optique atrophique.
- 3 yeux de 3 patients pour rupture capsulaire.
- 3 yeux de 3 patients perdus de vue (protocole de surveillance défaillant).

Pour retenir finalement 55 yeux de 55 patients qui représentent la population de l'étude clinique. Et même si l'analyse prend en compte uniquement les résultats avec une période de recul minimal de 3 mois, notre recul moyen est de 3,4 mois, avec des extrêmes allant de 3 à 8 mois.

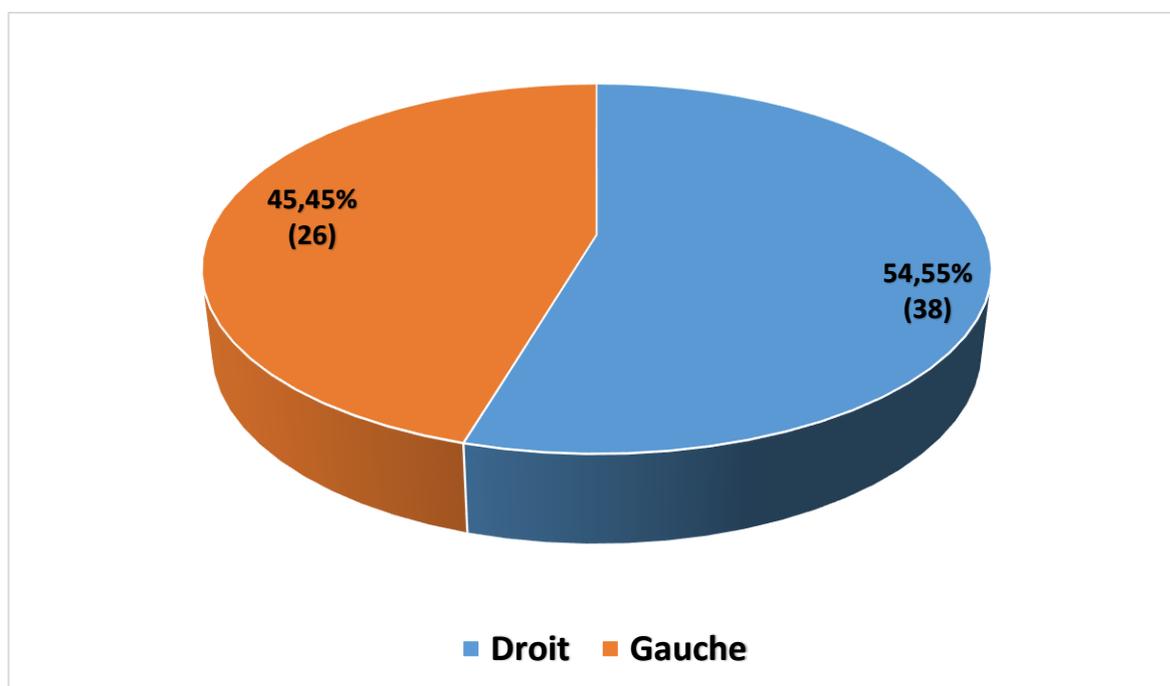


Figure 50 : répartition de la population selon l'œil opéré

Notre échantillon se compose de 30 yeux droits (54.55 %) pour 25 yeux gauches (45.45 %).

2. SEXE

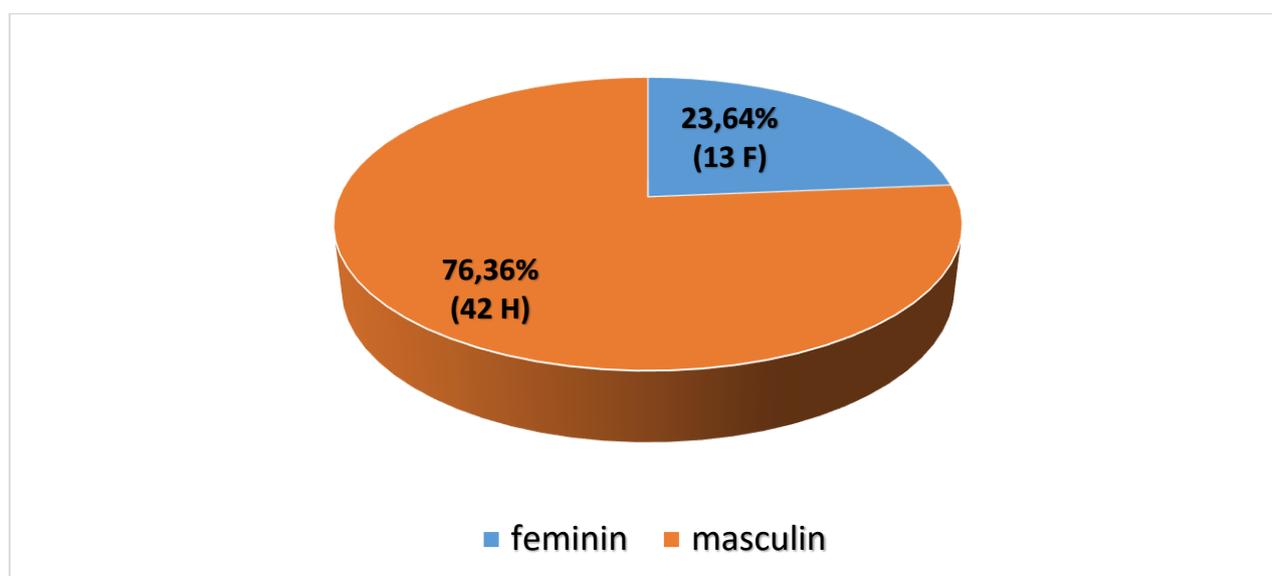


Figure 51 : répartition de la population selon le sexe

L'échantillon se compose de 13 femmes (23.64 %) et de 42 hommes (76.23 %) avec un sex- ratio de 3.23

3. AGE

Tableau 4 : moyenne d'âge pour la population d'étude

	OBSERVATION	MOYENNE	ET	MINIMUM	MAXIMUM
AGE	55	66,2	10,85	45	81

La moyenne d'âge de nos patients est de 66.2 ± 10.8 ans. Le plus jeune patient opéré a 45 ans, le plus âgé a 81 ans.

Tableau 5 : répartition de la population selon le sexe

SEXE	OBSERVATION	MOYENNE	ET	MIN	MAX
FÉMININ	13	64,69	9,33	45	75
MASCULIN	42	66,66	11,34	45	81

L'âge moyen est de $64.6 \pm 9,3$ ans concernant le sexe féminin et de $66.6 \pm 11,3$ ans pour le sexe masculin.

- La répartition de la population en fonction des classes d'âge:

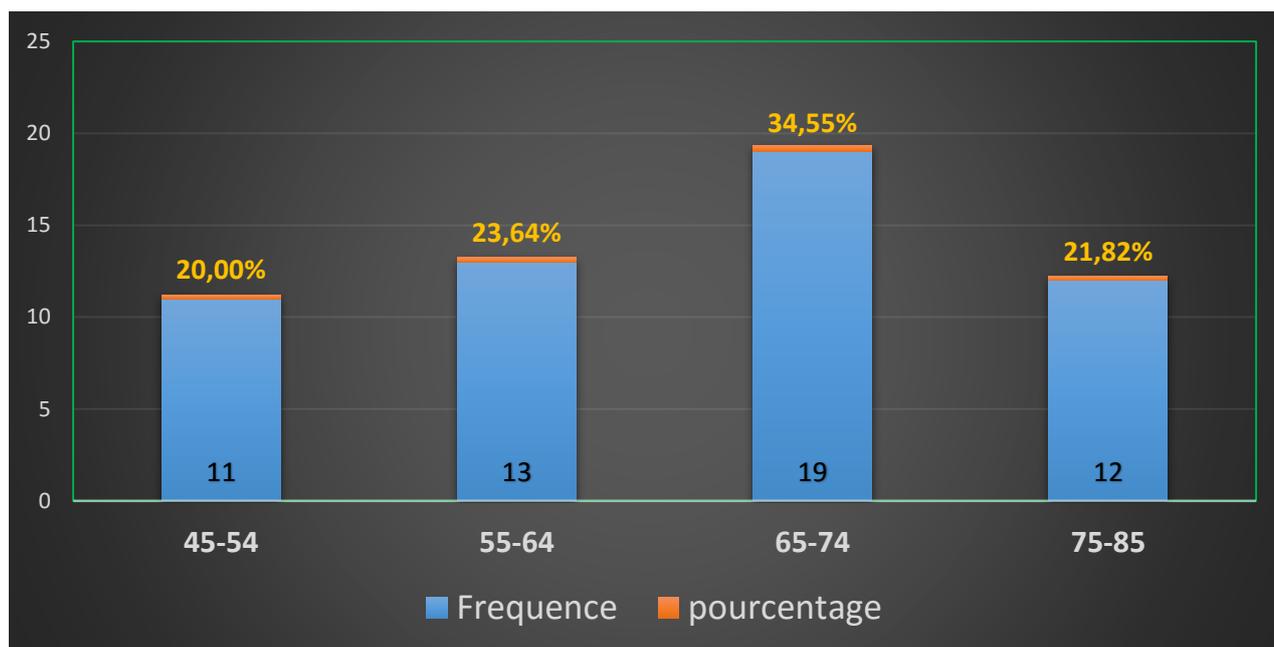


Figure 52 : répartition de la population selon les classes d'âge

L'âge de nos patients est inférieur à 54 ans dans 20 % et supérieur à 64 ans dans 56,37 % des cas.

4. PATHOLOGIES ASSOCIÉES

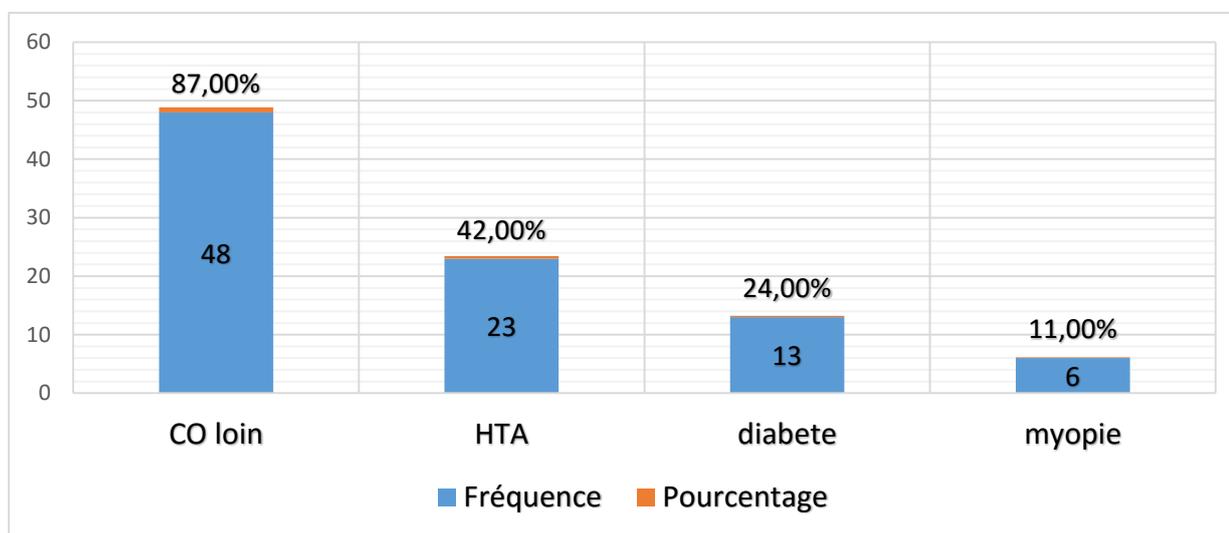


Figure 53 : étude des antécédents de la population d'étude

- Pour les antécédents ophtalmologiques : le port d'une correction optique pour la vision de loin est retrouvé chez 87 % des patients. La myopie est présente chez 11 % de nos patients.
- Pour les antécédents généraux : 24 % des patients opérés sont diabétique et 42 % ont une hypertension artérielle (HTA)

B. ANALYSE DES DONNÉES DE L'EXAMEN PRÉOPÉRATOIRE

1. ÉTUDE DE L'ACUITÉ VISUELLE

Les données concernant l'AV de loin, évaluée sans et avec correction en Log MAR, sont reportées sur les tableaux suivants :

1.1 L'AVSC

Tableau 6: moyenne de l'AVSC préopératoire

	MOYENNE	ÉCART-TYPE	MINIMUM	MAXIMUM
AVSC	0,92	0,33	0,4	1,7

La moyenne de l'AVSC est de 0.9 ± 0.33 Log MAR soit 1.25/10 sur l'échelle Monoyer.

1.2 L'AVAC

Tableau 7 : moyenne de l'AVAC préopératoire

	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
AVAC	0,67	0,38	0,2	1,7

La moyenne de l'AVAC est de 0.67 ± 0.38 Log MAR soit 2/10 sur l'échelle Monoyer.

Les patients de cette série d'étude présentent une acuité visuelle en préopératoire basse, soit, pour l'AVSC (0.92 en Log MAR), ou pour l'AVAC (0.67 en Log MAR). La différence entre l'AVSC et l'AVAC est statistiquement significative ($P = 0.001$, le test ANOVA).

2. ÉTUDE DES DONNÉES RÉFRACTIVES PRÉOPÉRATOIRES

2.1 L'équivalent sphérique préopératoire

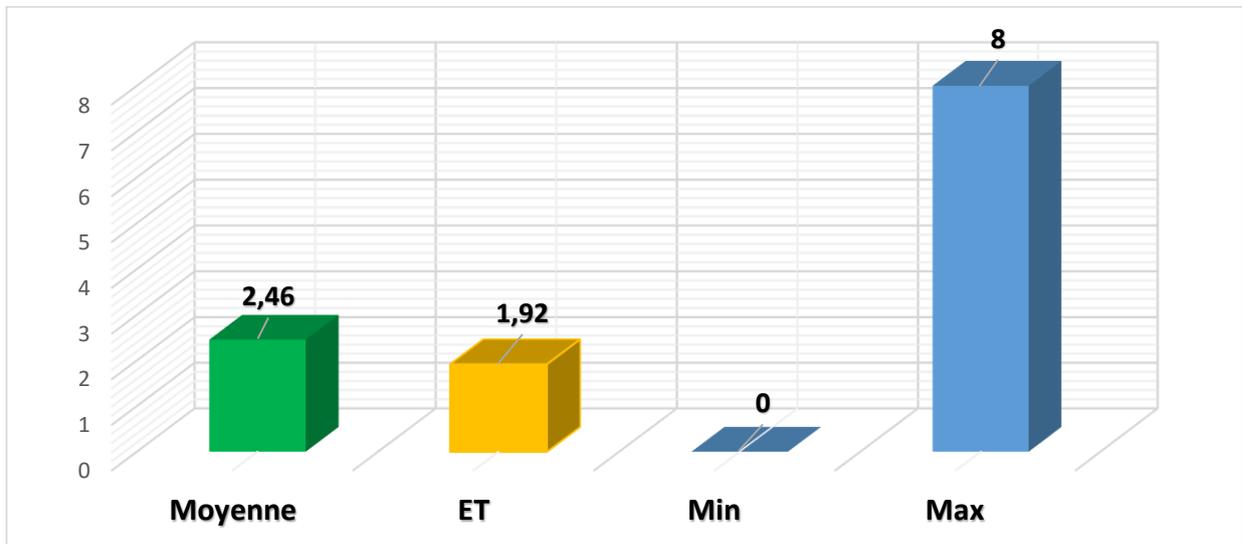


Figure 54 : moyenne de l'équivalent sphérique préopératoire

La moyenne de la puissance de l'équivalent sphérique en préopératoire est de 2.46 ± 1.9 D (allant de 0 à 8 D)

2.2 L'astigmatisme total préopératoire

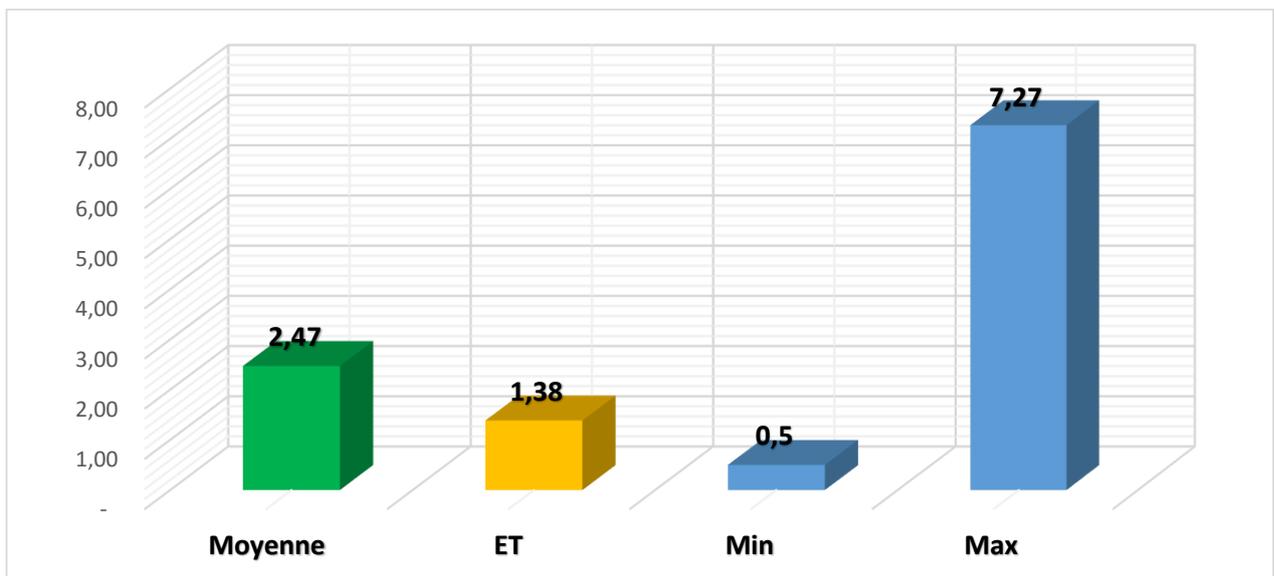


Figure 55 : La moyenne de la puissance de l'astigmatisme total en préopératoire

La moyenne de la puissance de l'astigmatisme total en préopératoire est de 2.47 ± 1.38 D (avec un minimum de 0.5 et une valeur maximale de 7.27 D)

2.3 L'astigmatisme cornéen préopératoire

Ce paramètre de notre étude est analysé sur plusieurs aspects :

2.3.1 La moyenne de l'astigmatisme cornéen en préopératoire

La moyenne de l'astigmatisme cornéen préopératoire est représentée dans l'histogramme suivant :

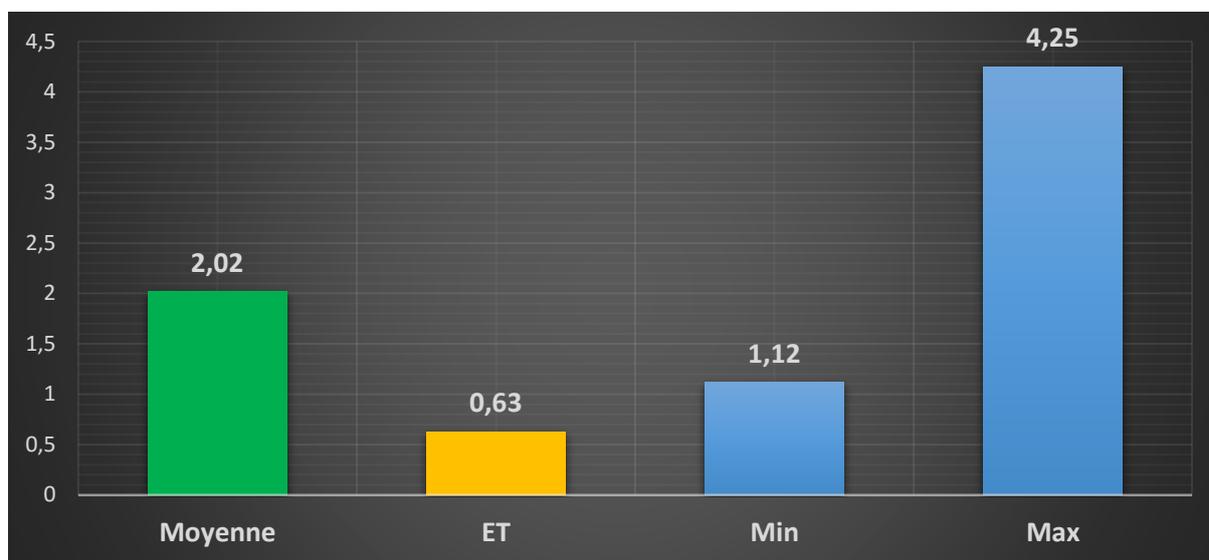


Figure 56 : la moyenne de l'astigmatisme cornéen préopératoire

Dans notre série, la moyenne de l'astigmatisme cornéen préopératoire est de $2.02 \pm 0,63$ D. avec des extrêmes allant de 1.12D à 4.25D

2.3.2 Distribution selon les classes d'âge

La distribution est représentée dans le tableau suivant :

Tableau 8 : La distribution de l'astigmatisme cornéen sur les classes d'âge

LES CLASSES D'AGE	OBSERVATION	MOYENNE	ET	MIN	MAX
45-54	11	2,27	0,39	1,62	2,75
55-64	13	1,97	0,89	1,12	4,25
65-74	19	1,93	0,62	1,25	3,87
75-85	12	1,98	0,48	1,5	3,12

Le maximum d'astigmatisme retrouvé dans notre population a été constaté dans les tranches d'âge 55-64 ans et 65-74 ans avec 4.25 D et 3.87 D respectivement.

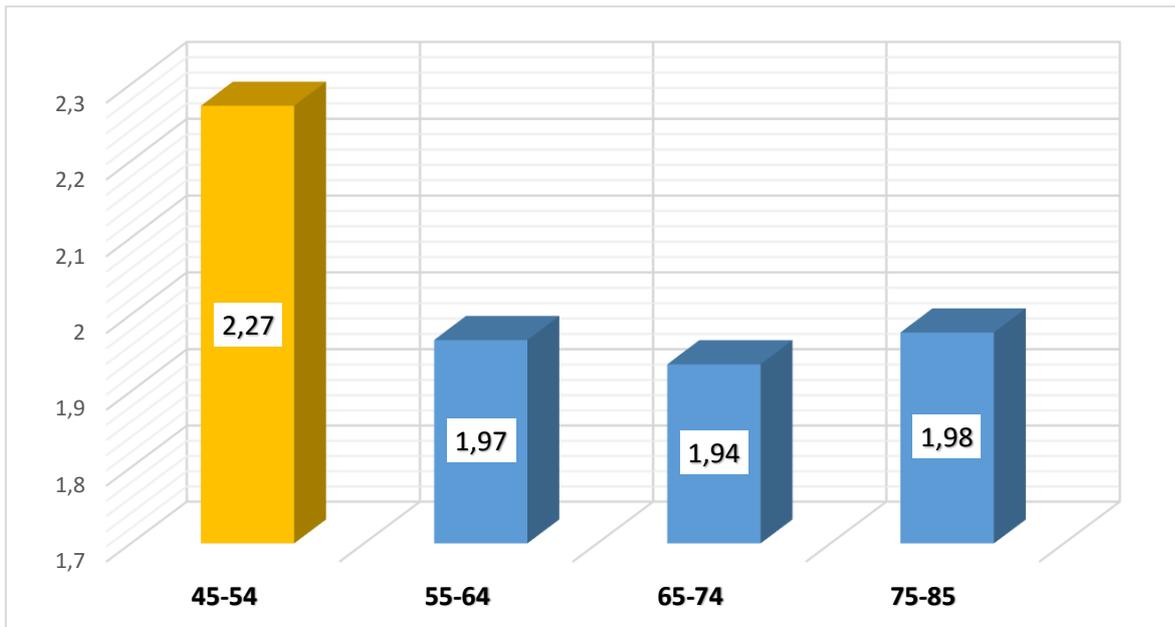


Figure 57 : La distribution de la moyenne de l'astigmatisme cornéen sur les classes d'âge

La moyenne d'astigmatisme la plus élevée est constatée chez les patients de moins de 55 ans avec une valeur moyenne de $2,27 \pm 0,39$ D.

2.3.3 La répartition selon l'importance de l'astigmatisme cornéen

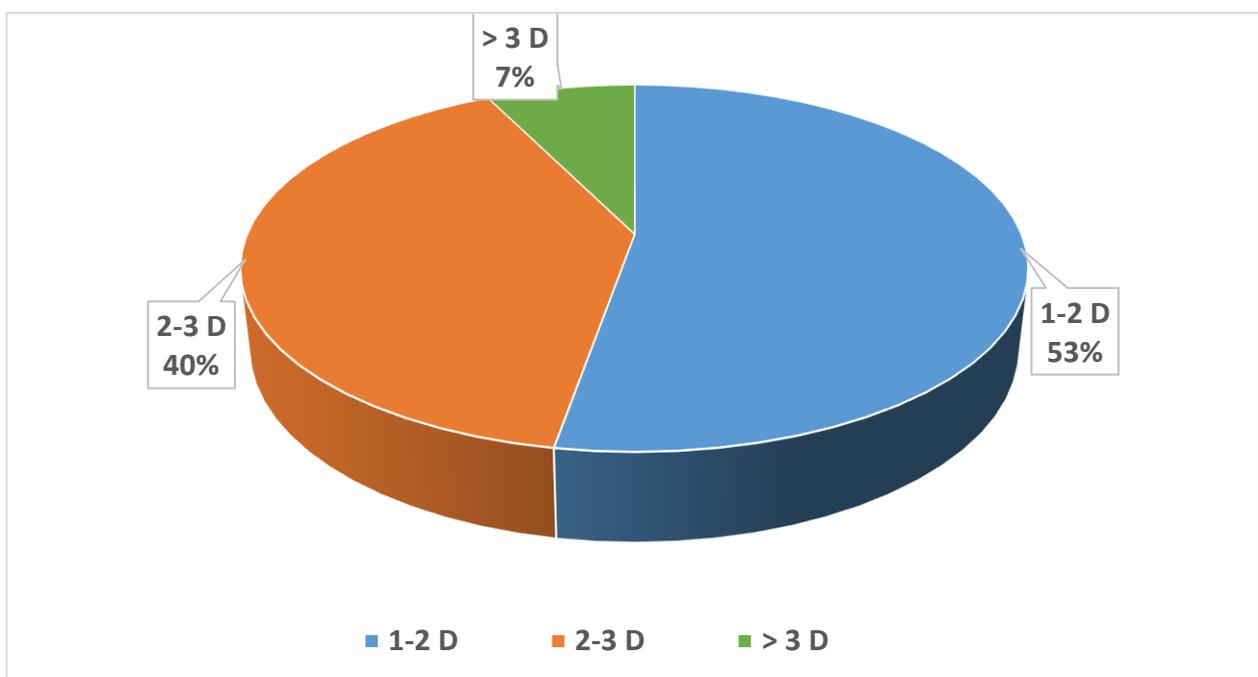


Figure 58: La répartition selon l'importance de l'astigmatisme cornéen

La majorité des patients (92.73 %) présentent un astigmatisme cornéen préexistant minime à modéré, seuls 7.27 % des candidats ont un astigmatisme supérieur à 3D.

2.3.4 La répartition de l'astigmatisme cornéen

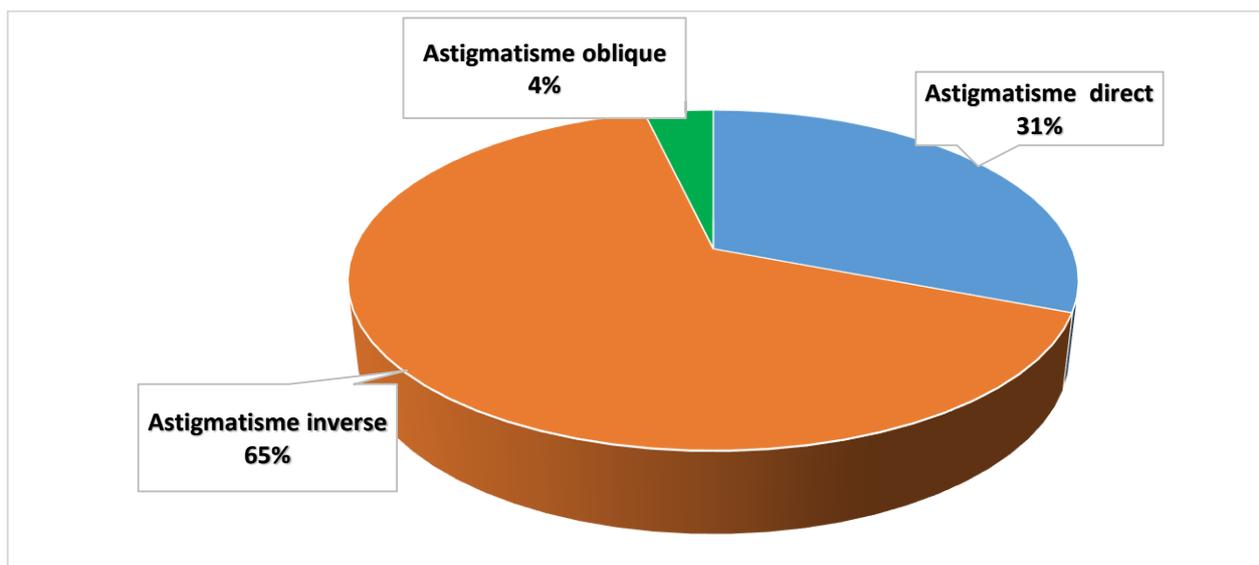


Figure 59 : répartition de l'astigmatisme cornéen préopératoire selon le type

Dans notre série, l'astigmatisme cornéen préopératoire est un astigmatisme inverse majoritairement avec 65 %, suivi par l'astigmatisme direct dans 31 % et enfin l'astigmatisme oblique.

2.3.5 Distribution de l'astigmatisme cornéen selon les classes d'âge

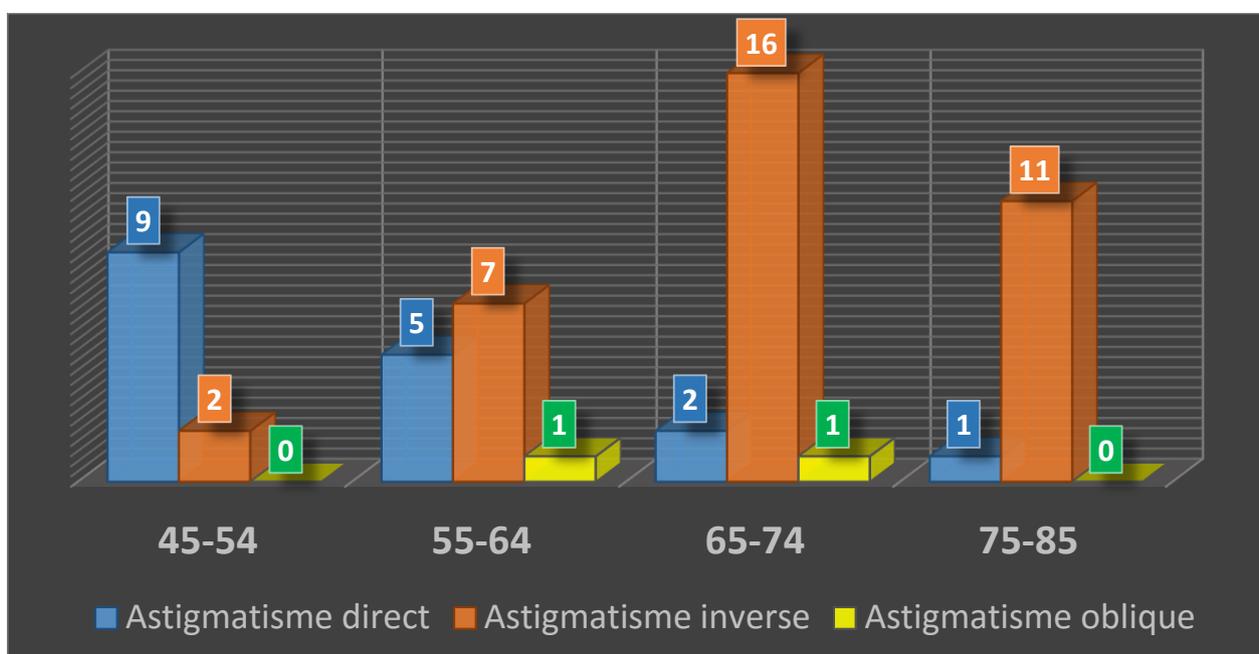


Figure 60 : Distribution de l'astigmatisme cornéen préopératoire selon les classes d'âge

Dans notre série, l'astigmatisme inverse est retrouvé plus particulièrement chez les patients de plus de 65 ans. Cependant, l'astigmatisme direct est plus présent chez les patients de moins de 65 ans avec une prédominance dans la classe d'âge 45 – 54 ans.

3. ANALYSE DES DONNÉES DE LA BIOMICROSCOPIE

3.1 Aspect de la cataracte

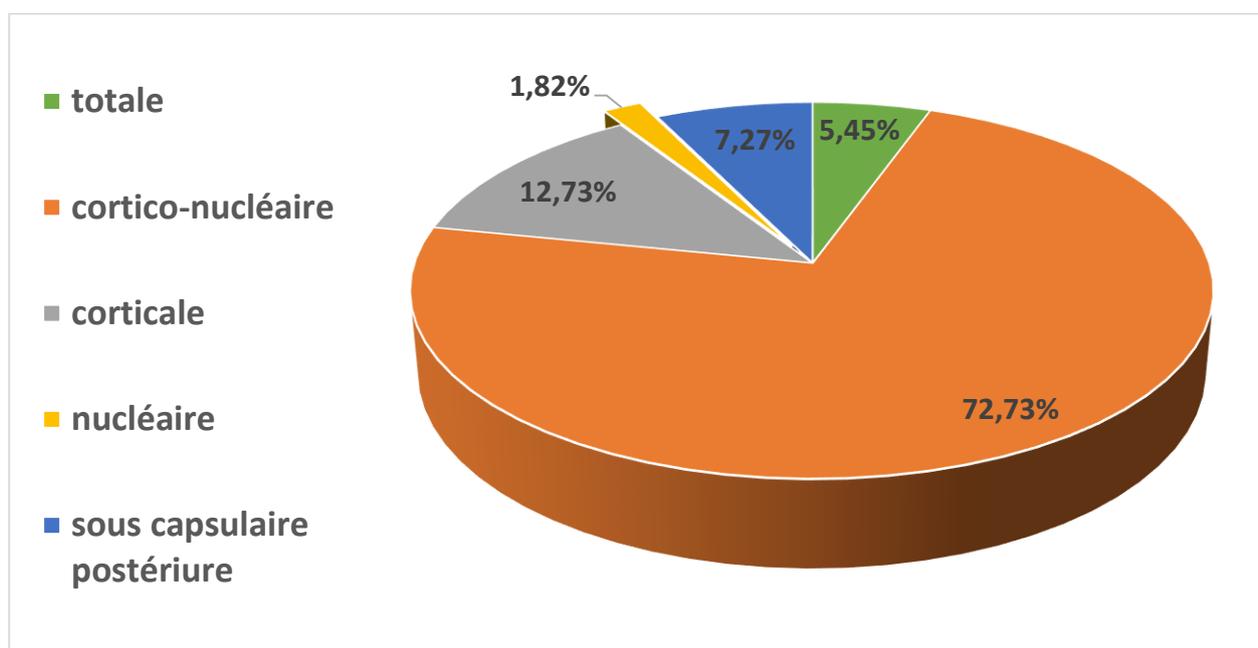


Figure 61: la répartition des types de cataracte dans la série d'étude

La cataracte cortico-nucléaire est prédominante dans notre série avec 72,7 %, suivie par la cataracte corticale (12,7 %), la cataracte sous capsulaire postérieure (7,27 %), la cataracte totale (5,45 %) et en fin la cataracte nucléaire avec 1,82 %.

3.2 Les éléments cliniques de la biomicroscopie

LPDR	FREQUENCE	%	TYPE DE LPDR
OUI	2	3,64 %	Un patient : givre condensé Un patient : une palissade
NON	53	96,36 %	

Tableau 9 : fréquence et aspect clinique des LPDR

Dans notre étude, en dehors de la cataracte et de l'astigmatisme cornéen, les patients étaient indemnes de toutes autres pathologies oculaires. Hormis la présence du givre condensé à l'examen de la rétine périphérique chez un patient, et d'une palissade chez un autre patient qui a bénéficié d'un traitement préventif au laser argon.

4. EUDE DES DONNÉES TOPOGRAPHIQUES

4.1 Moyenne de l'astigmatisme cornéen topographique préopératoire

Tableau 10: La moyenne de l'astigmatisme cornéen antérieur préopératoire topographique

	MOYENNE	ET	MIN	MAX
ASTIGMATISME CORNÉEN TOPOGRAPHIQUE	1,98	0,76	0,9	4,5

La moyenne de l'astigmatisme cornéen antérieur topographique est de 1.98 ± 0.76 D avec des extrêmes allant de 0.9 à 4.5 D.

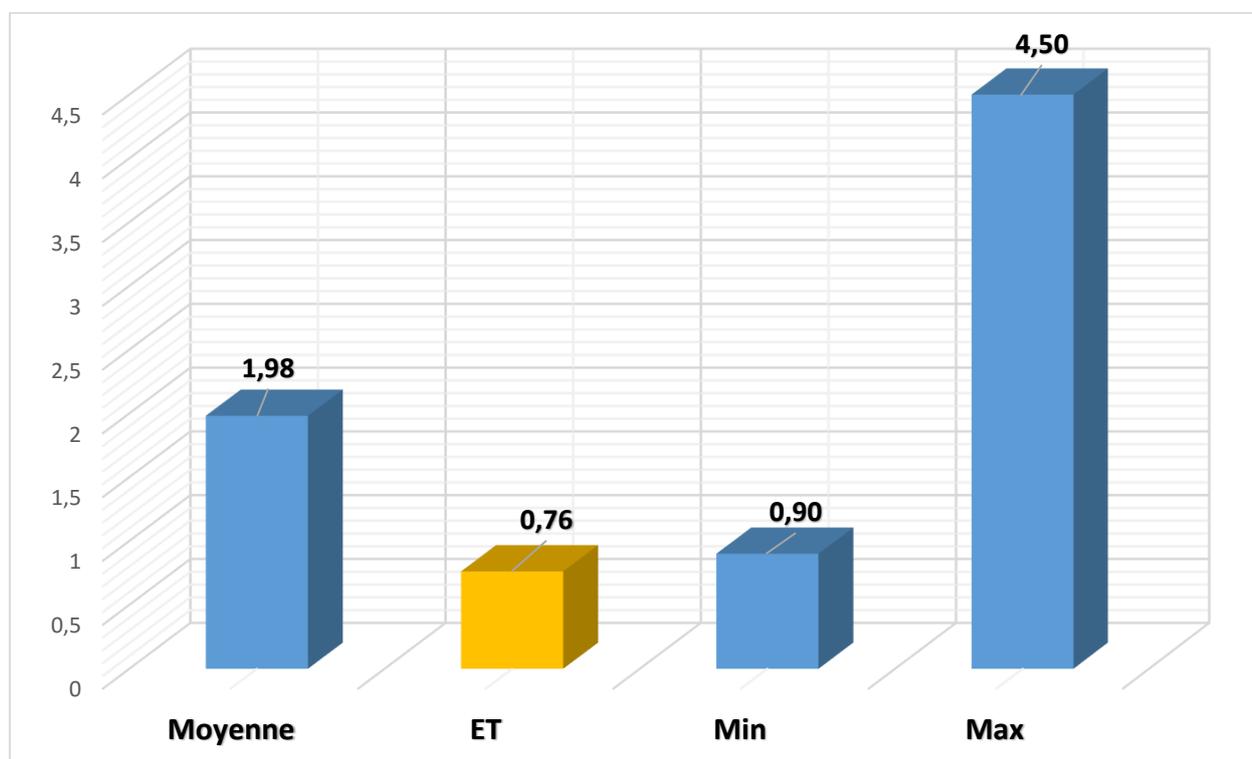


Figure 62 : Moyenne de l'astigmatisme cornéen antérieur topographique préopératoire

4.2 Moyenne de l'astigmatisme cornéen postérieur

La moyenne de l'astigmatisme cornéen postérieur mesuré par la topographie est détaillée dans le tableau suivant :

Tableau 11 : La moyenne de l'astigmatisme cornéen postérieure

	MOYENNE	ET	MIN	MAX
ASTIGMATISME CORNÉEN POSTÉRIEUR	0,26	0,19	0	0,8

Dans notre série, la moyenne de l'astigmatisme cornéen postérieur mesurée est de 0.26 ± 0.20 D.



Figure 63: la Moyenne de l'astigmatisme cornéen postérieure

Le minimum de l'astigmatisme cornéen postérieur mesuré par le Pentacam est de 0.0 D, le maximum est de 0.80 D.

4.3 Distribution de l'astigmatisme cornéen postérieur

Tableau 12 : Distribution de l'astigmatisme cornéen postérieure

ASTIGMATISME CORNÉEN POSTÉRIEUR	FREQUENCE	%
Supérieur à 0,5 D	5	9,09 %
Entre 0 - 0,5 D	50	90,91 %

L'astigmatisme cornéen postérieur dans notre série est inférieur ou égal à 0,5 D dans 90.91 % et il est supérieur à 0.5 D seulement dans 9.09 % des yeux opérés.

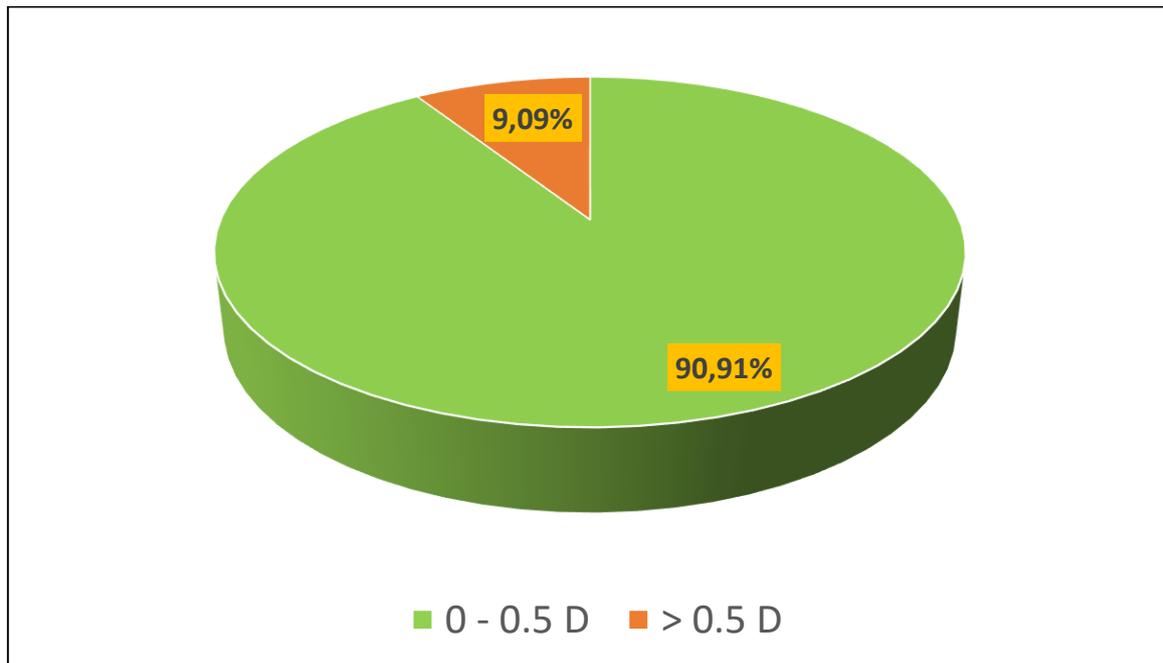


Figure 64 : Distribution de l'astigmatisme cornéen postérieur

4.4 Types de l'astigmatisme cornéen postérieur

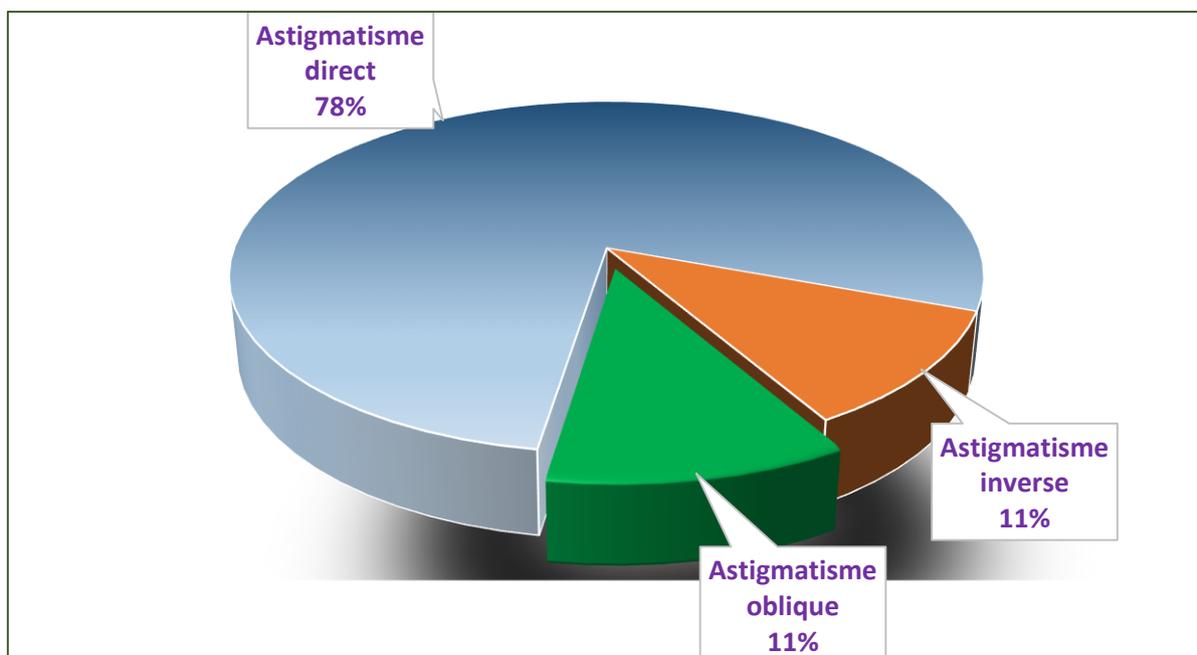


Figure 65 : Aspects cliniques de l'astigmatisme cornéen postérieur

L'astigmatisme direct est majoritaire avec 78 %, suivi par l'astigmatisme inverse et l'astigmatisme oblique dans 11 % chacun.

5. ÉTUDE DES DONNÉES BIOMÉTRIQUES

5.1 La moyenne de la longueur axiale des yeux opérés

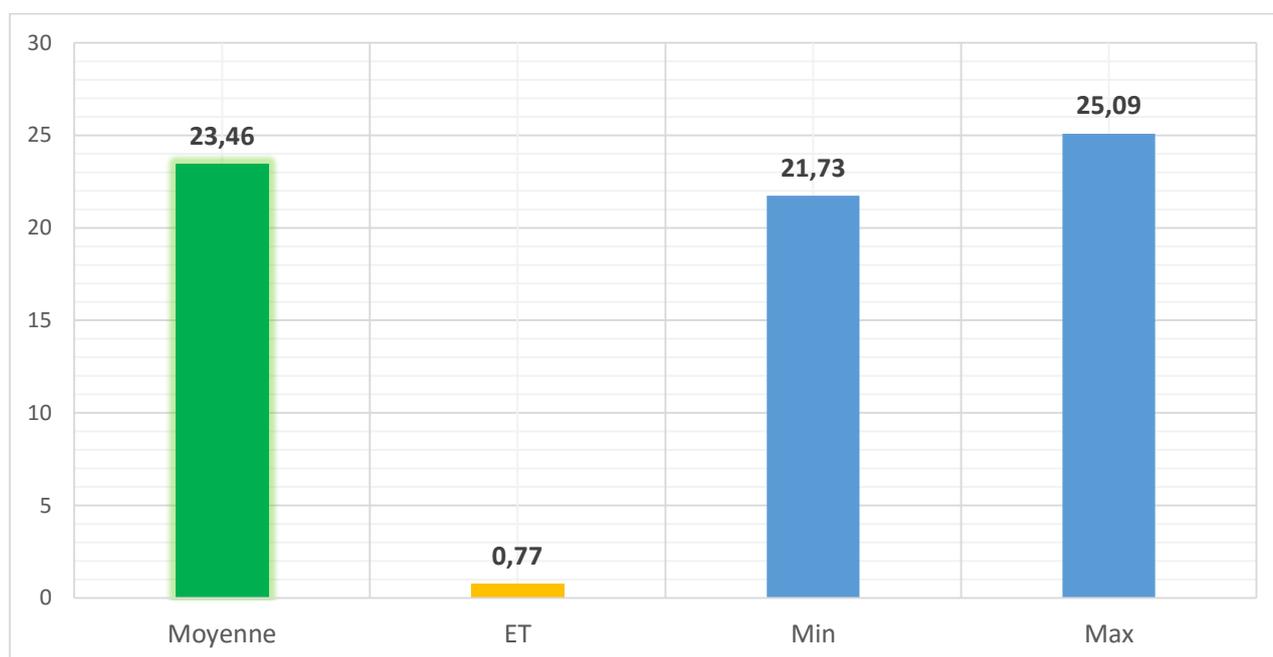


Figure 66 : La moyenne de la longueur axiale des yeux opérés

La moyenne de la longueur axiale des yeux opérés mesurée par un échographe contact en mode A est estimé à $23.46 \pm 0,77$ mm avec une longueur axiale minimale mesurée de 21.73 mm et une maximale de 25.09 mm.

5.2 Distribution de la longueur axiale des yeux opérés

Tableau 13: Distribution de la longueur axiale des yeux opérés

LONGUEUR AXIALE	NOMBRE YEUX	%
LA < 22 MM	1	1,82%
LA : 22 - 24 MM	42	76,36%
LA > 24MM	12	21,82%

Dans notre échantillon de patient, la longueur axiale (LA) des yeux opérés est détaillée comme suit :

- Une longueur axiale inférieure à 22 mm est retrouvée dans un seul œil.
- Une longueur axiale comprise entre 22- 24 mm est retrouvée dans 42 yeux.
- Une longueur axiale comprise supérieure à 24 mm est retrouvée chez 12 yeux.

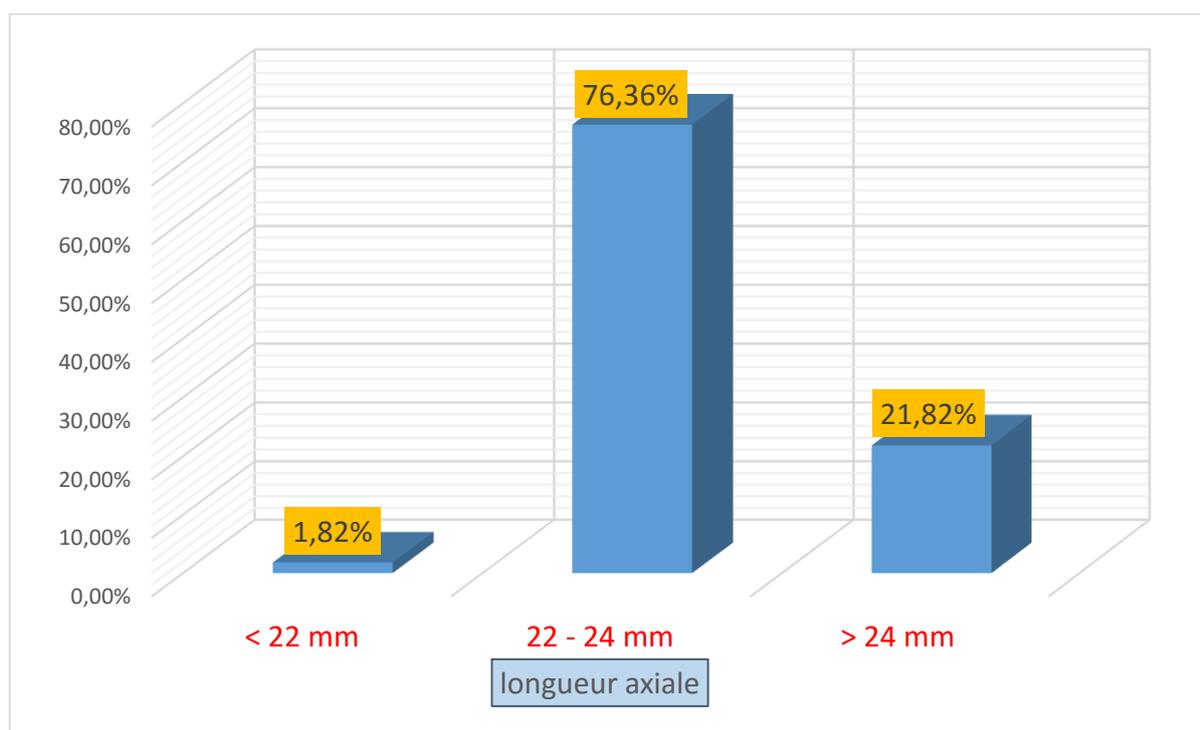


Figure 67 : Distribution de la moyenne de la longueur axiale des yeux opérés

- La majorité des yeux inclus dans notre travail (soit 76.36 %) présentent des longueurs axiales comprises entre 22 et 24 mm.
- 1.82 % des yeux présentent une longueur axiale inférieure à 22 mm.
- 21.82 % des yeux opérés présentent une longueur axiale supérieure à 24 mm.

6. ÉTUDE DES DONNÉES DE LA MICROSCOPIE SPÉCULAIRE

6.1 Moyenne de la densité cellulaire endothéliale

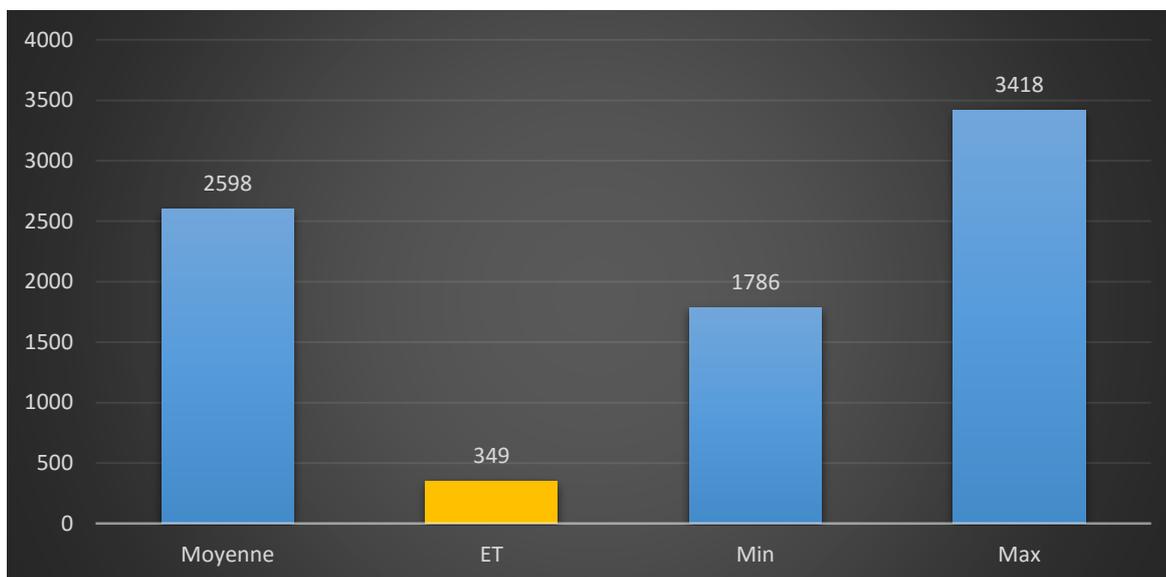


Figure 68 : Moyenne de la densité cellulaire endothéliale

La densité cellulaire endothéliale dans notre échantillon est évaluée à 2598 ± 349 cellules/mm² avec une valeur minimale de 1786 cellules/mm².

6.2 Distribution de la moyenne de la densité endothéliale selon l'âge

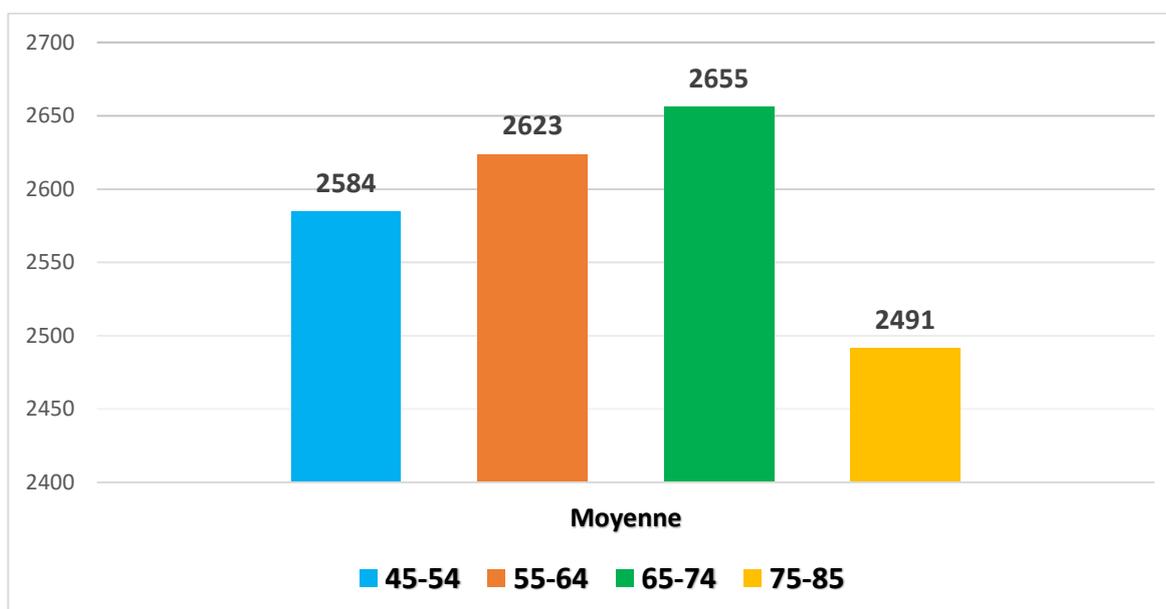


Figure 69: Distribution de la moyenne de la densité endothéliale selon les tranches d'âge

La densité endothéliale la plus basse a été relevée chez la tranche d'âge 75 à 85 ans.

7. ÉTUDE DES PARAMÈTRES DES IMPLANTS TORIQUES UTILISÉS

7.1 Moyenne de la puissance sphérique des implants toriques

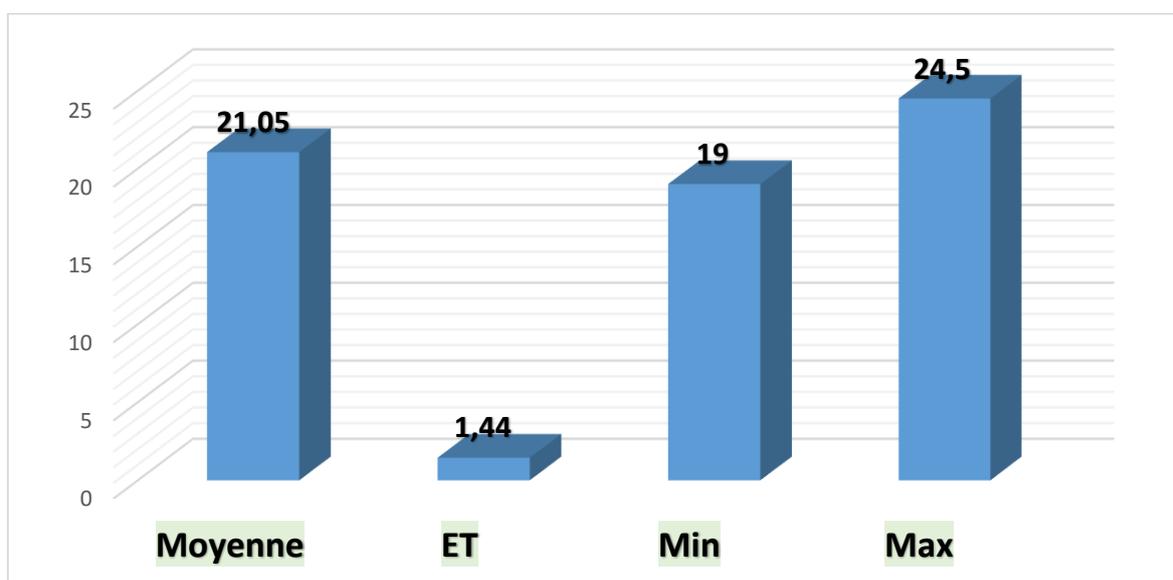


Figure 70 : Moyenne de la puissance sphérique des implants toriques

La moyenne de la puissance sphérique des implants toriques est estimée à 21.05 D \pm 1.44 D avec des extrêmes allant de 19 D à 24.5 D.

7.2 Distribution des classes du cylindre utilisées

La fréquence des différentes puissances cylindriques utilisées dans notre étude est représentée dans le tableau suivant :

Tableau 14 : la fréquence de différentes puissances cylindriques

CYLINDRE DU TORIQUE	FRÉQUENCE	%
1,25	2	3,64 %
2,00	20	36,36 %
2,75	14	25,45 %
3,50	12	21,82 %
4,25	5	9,09 %
5,75	2	3,64 %

L'implant avec une puissance cylindrique de 1.25 D a été utilisé dans 3.64 % des yeux. L'implant avec une puissance cylindrique de 2.00 D a été utilisé dans 36.36 % des yeux.

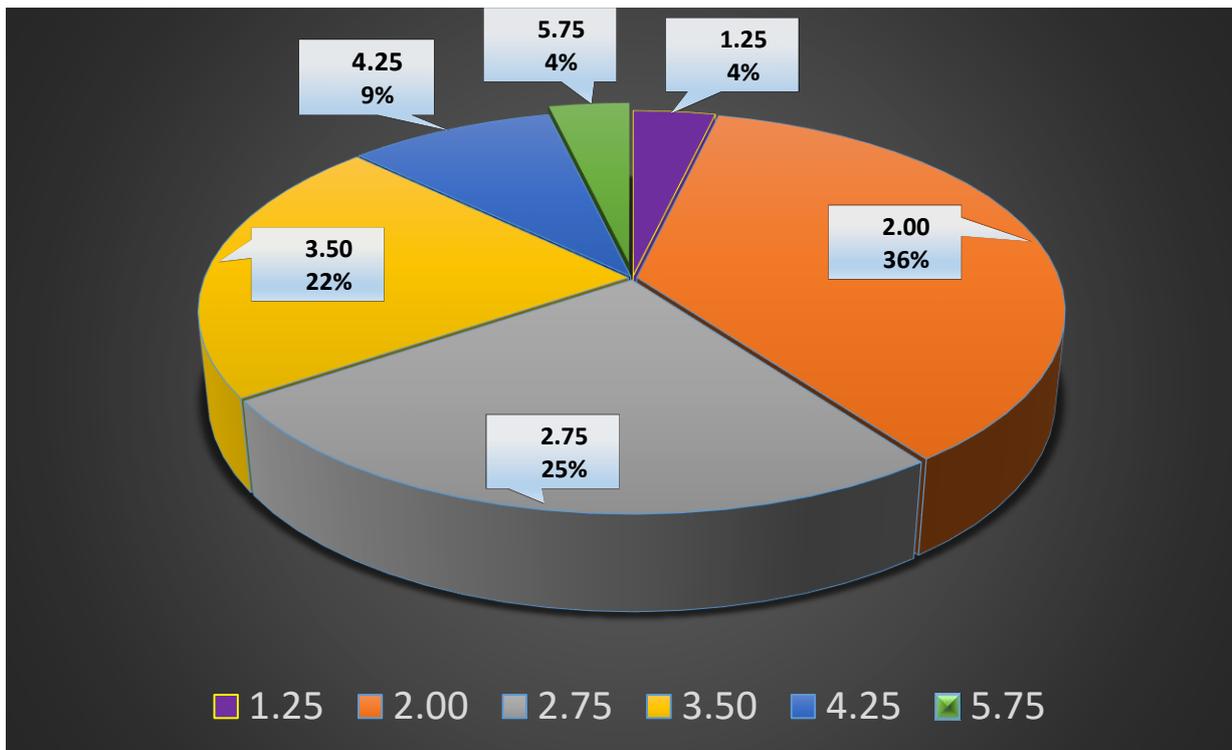


Figure 71 : distribution des différentes puissances cylindriques utilisées

Les implants toriques avec des cylindres de 2.00 D, 2.75 D et 3.50 D sont les plus utilisés dans notre série.

7.3 Moyenne de l'astigmatisme total résiduel prévu par le calculateur torique en postopératoire

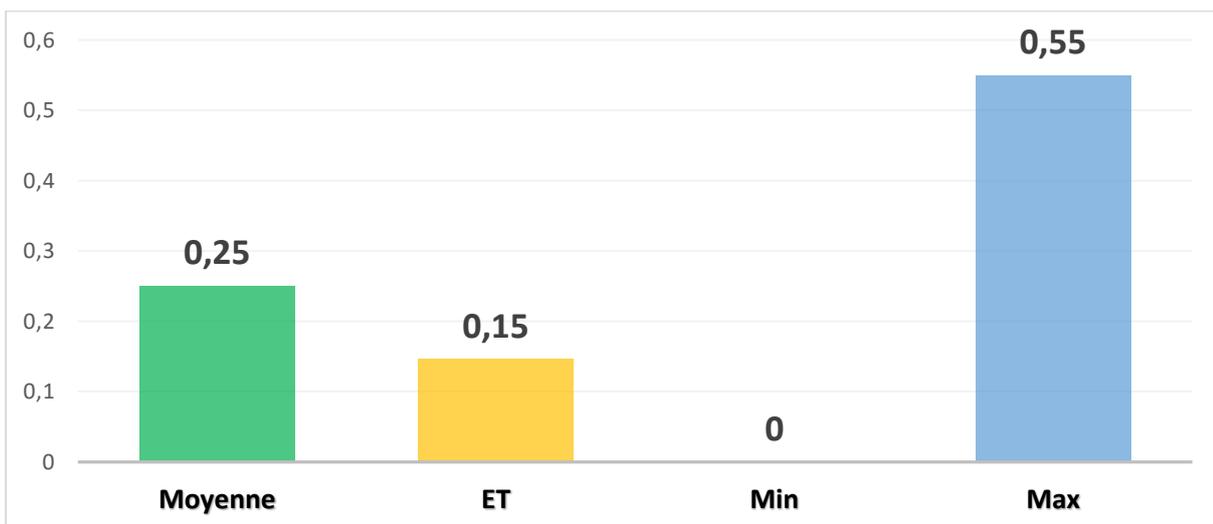


Figure 72 : Moyenne de l'astigmatisme total résiduel prévu en postopératoire

La moyenne de l'astigmatisme total prévu par le calculateur Envista torique en postopératoire est de 0.25 ± 0.15 D avec une valeur maximale prévue de 0.55 D.

C. ANALYSE DES PARAMÈTRES DU TRAITEMENT CHIRURGICAL

Tous les patients de cette étude ont bénéficié du même Protocole opératoire :

- Une anesthésie topique.
- Le marquage de l'axe d'alignement de l'implant torique par la méthode en trois temps avec un anneau de Mendez.
- Une incision principale en 2,2 mm.
- Un capsulorhéxis curviligne continu centré.
- Une phacoémulsification par la technique de stop and chop.
- Une insertion de l'implant torique à la berge de l'incision par l'injecteur MONARCH III
- Un alignement de l'implant en deux temps sur les repères limbiques.
- Un lavage du visqueux avec hydrosuture.

1. La taille du capsulorhéxis

Dans notre série les tailles des capsulorhéxis réalisés sont détaillées dans le tableau suivant :

Tableau 15 : La taille du capsulorhéxis effectuée

Taille de capsulorhéxis	%	% cumulé
5.0 MM	16,36%	16,36%
5.2 MM	30,91%	47,27%
5.4 MM	38,18%	85,45%
5.6 MM	7,27%	92,73%
5.8 MM	3,64%	96,36%
6.0 MM	3,64%	100,00%

- La taille du capsulorhéxis est inférieure ou égale :
 - 5,4 mm chez 85,45 % des patients.
 - 5,6 mm chez 92,72 % des patients.
 - 6.0 mm chez la totalité des patients de ce travail.

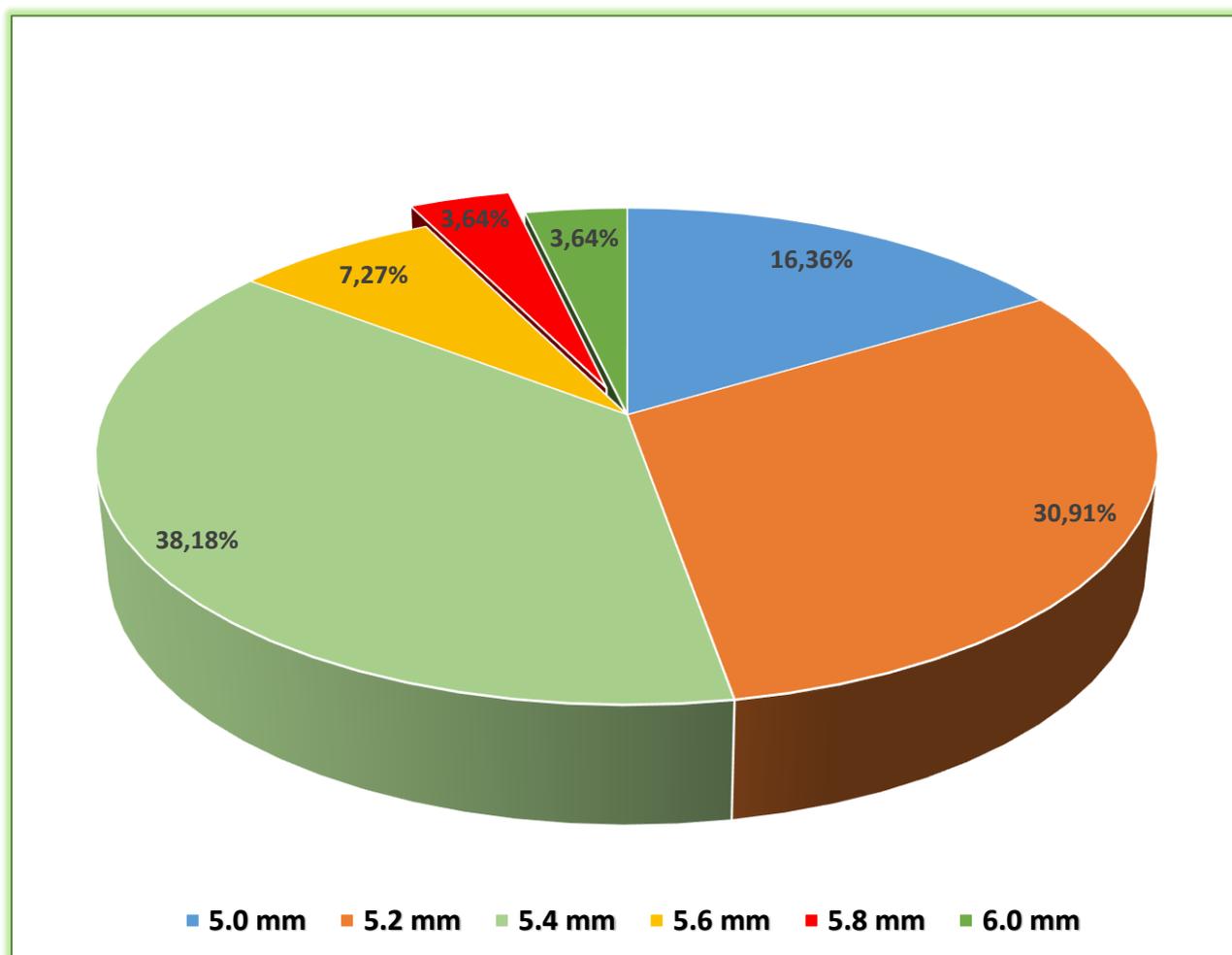


Figure 73 : distribution de la taille du capsulorhéxis

- La taille du capsulorhéxis dans les yeux opérés est de :
 - 5.0 mm dans 16.36%.
 - 5.2 mm dans 30.9%.
 - 5.4 mm dans 38.2%.
 - 5.6 mm dans 7.27 %.

D. ANALYSE DES RÉSULTATS POSTOPÉRATOIRES

1. L'ACUITÉ VISUELLE DE LOIN SANS CORRECTION (AVSC)

1.1 La moyenne de l'AVSC

Les moyennes de l'acuité visuelle sans correction mesurée lors des différents contrôles sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 16 : Les moyennes de l'acuité visuelle sans correction en Log MAR

	<i>Moyenne</i>	<i>ET</i>
<i>AVSC à J3</i>	0,15	0,14
<i>AVSC à J15</i>	0,12	0,14
<i>AVSC à 1 mois</i>	0,11	0,14
<i>AVSC à 3 mois</i>	0,11	0,14

La moyenne de l'AVSC lors du contrôle à J3 était de 0.15 ± 0.14 Log MAR, au contrôle de J15 elle était de 0.12 Log MAR.

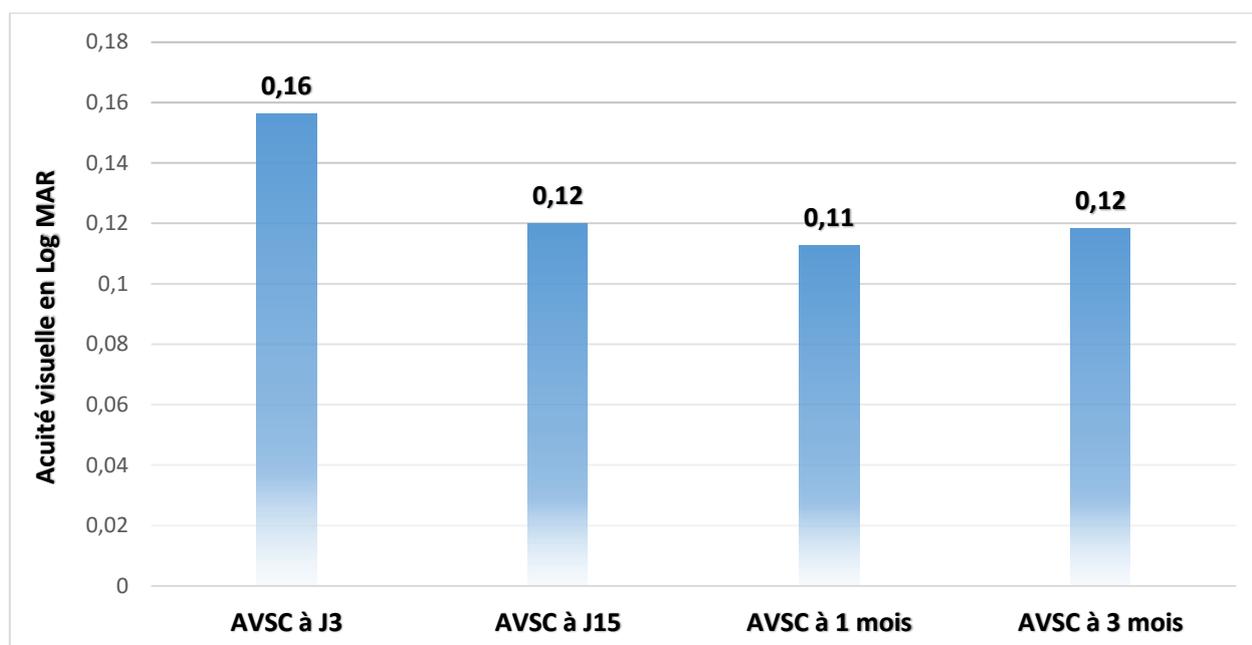


Figure 74 : histogramme représentant les moyennes de l'acuité visuelle sans correction en Log MAR selon le protocole de surveillance

1.2 L'évolution lors des contrôles de l'AVSC

Est représenté dans par la courbe suivante :

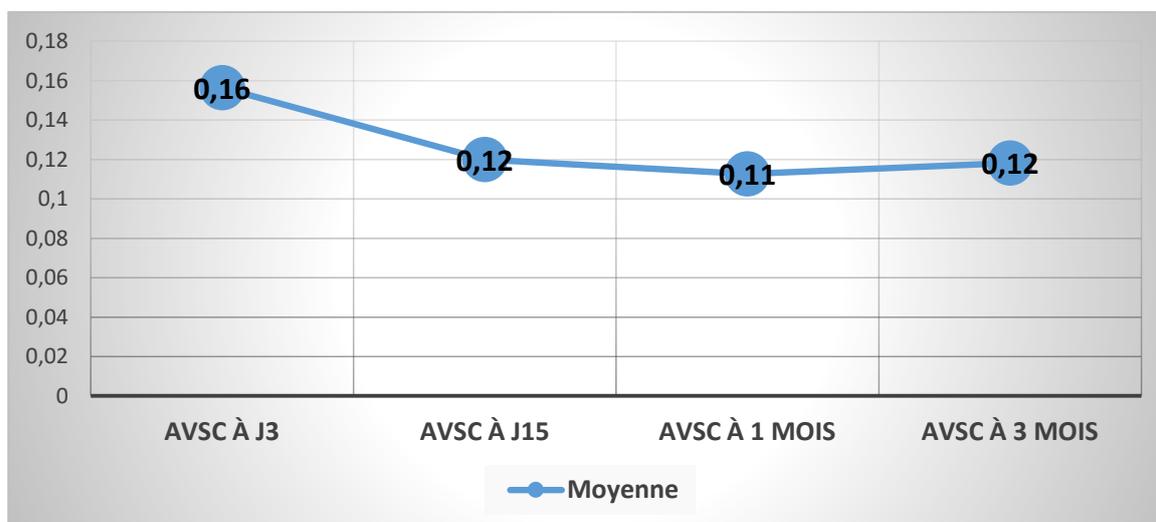


Figure 75 : Évolution de la moyenne de l'AVSC en postopératoire

La moyenne de l'AVSC après 3 jours de la chirurgie est de $0,16 \pm 0,14$ Log MAR, avec une amélioration de cette dernière constatée entre le premier et le deuxième contrôle (15 jours). La moyenne de l'AVSC après un délai de 3 mois en postopératoire est de $0,12 \pm 0,14$ Log MAR.

1.3 Distribution de l'AVSC à 3 mois

Tableau 17: Distribution de l'AVSC a 3 mois

AVSC_3MOIS	%	% CUMULÉ
0	41,82 %	41,82 %
0,1	32,73 %	74,55 %
0,2	5,45 %	80,00 %
0,3	10,91 %	90,91 %
0,4	3,64 %	94,55 %
0,5	5,45 %	100,00 %

L'AVSC à trois mois en postopératoire est supérieure ou égale :

- à 0.3 Log MAR (soit 5/10 à l'échelle Monoyer) dans 90.91 %.
- à 0.1 Log MAR (soit 8/10 Monoyer) dans 74.55 %.
- à 0.0 Log MAR (soit 10/10 Monoyer) dans 41.82 %.

2. L'ACUITÉ VISUELLE DE LOIN AVEC CORRECTION (AVAC)

2.1 La moyenne de l'AVAC

La moyenne de l'acuité visuelle avec correction sur trois contrôles successifs postopératoires est représentée dans le tableau suivant :

Tableau 18 : La moyenne de l'acuité visuelle avec correction

	<i>Moyenne</i>	<i>ET</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
AVAC à J15	0,02	0,05	0	0,2
AVAC à 1 mois	0,01	0,03	0	0,1
AVAC à 3 mois	0,01	0,03	0	0,1

La moyenne d'AVAC constatée à 15 jours en postopératoire est de $0,018 \pm 0,05$ Log MAR.

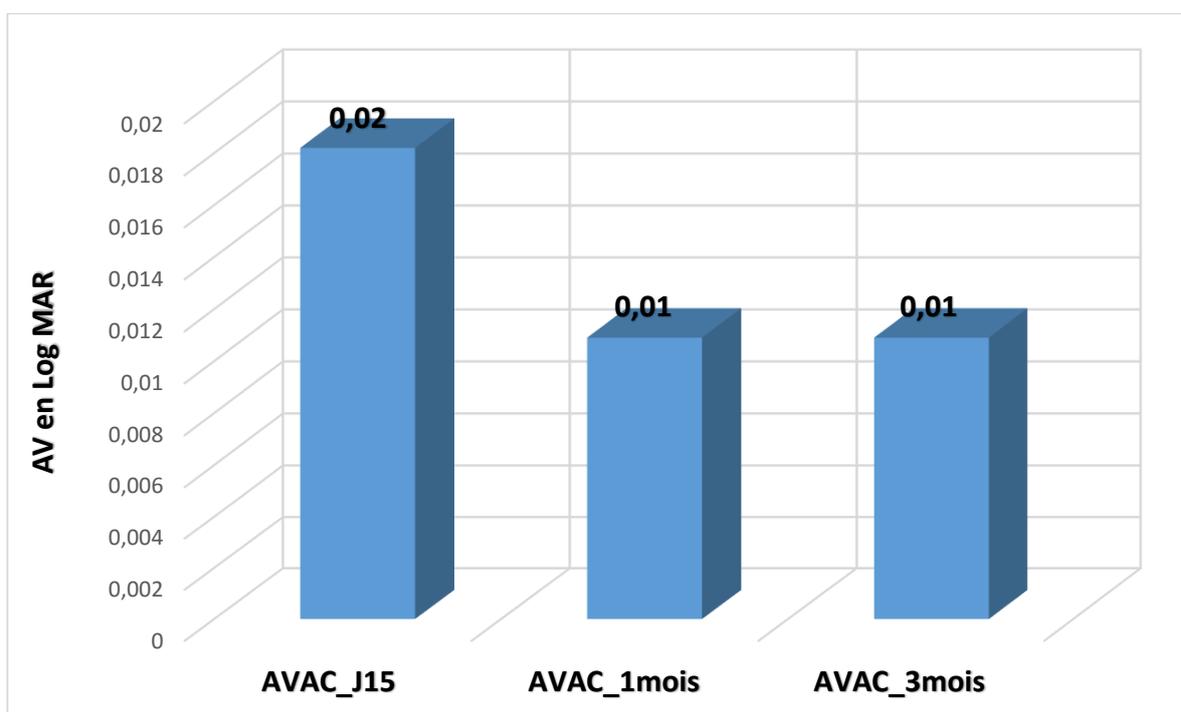


Figure 76 : La moyenne de l'acuité visuelle avec correction

La moyenne d'AVAC constatée lors du contrôle à 3 mois en postopératoire est de $0,01 \pm 0,03$ Log MAR.

2.2 L'évolution lors des contrôles de l'AVAC :

L'évolution de la moyenne de l'AVAC durant les contrôles est représentée sur la courbe suivante :

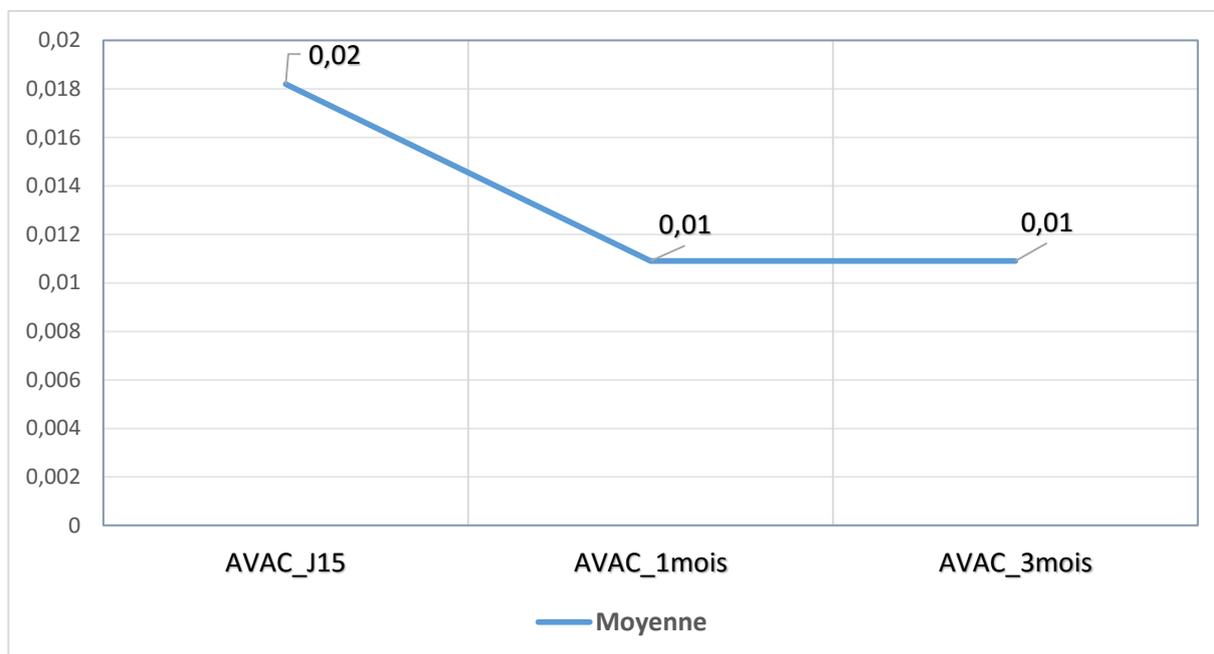


Figure 77 : L'évolution de l'AVAC lors des contrôles

La moyenne de l'AVAC est passée de 0.02 Log MAR lors du contrôle à J15 à 0.01 Log MAR lors du contrôle à 3 mois.

2.3 La distribution de l'AVAC à 3 mois

AVAC_3MOIS	YEUX	%	% CUMULÉ
0	49	89,09 %	89,09 %
0,1	6	10,91 %	100,00 %

L'AVAC à trois mois en postopératoire est de 0.0 Log MAR (soit supérieure à 9/10 sur l'échelle de Monoyer) chez 89.09 % des patients et elle est supérieure à 0.1 Log MAR (8/10 sur l'échelle de Monoyer) chez 100 % des patients.

3. ÉTUDE DE L'ÉQUIVALENT SPHÉRIQUE RÉSIDUEL

3.1 La moyenne de la sphère résiduelle

La moyenne de la sphère résiduelle lors des contrôles est détaillée dans le tableau suivant :

Tableau 19 : La moyenne de la sphère résiduelle lors des contrôles postopératoires

	<i>Moyenne</i>	<i>ET</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
sphère résiduelle_j3	0,72	0,39	0	2
sphère résiduelle_15j	0,66	0,38	0	2
sphère résiduelle_1mois	0,59	0,39	0	2
sphère résiduelle_3mois	0,59	0,40	0	2

La sphère résiduelle constatée lors du contrôle à J3 était de 0.72 ± 0.39 D, de 0.66 ± 0.38 D lors du contrôle à J15 et de 0.59 ± 0.39 D lors des contrôles à 1 mois et à 3 mois avec un minimum de sphère résiduelle de 0.0 D et un maximum de 2.0 D

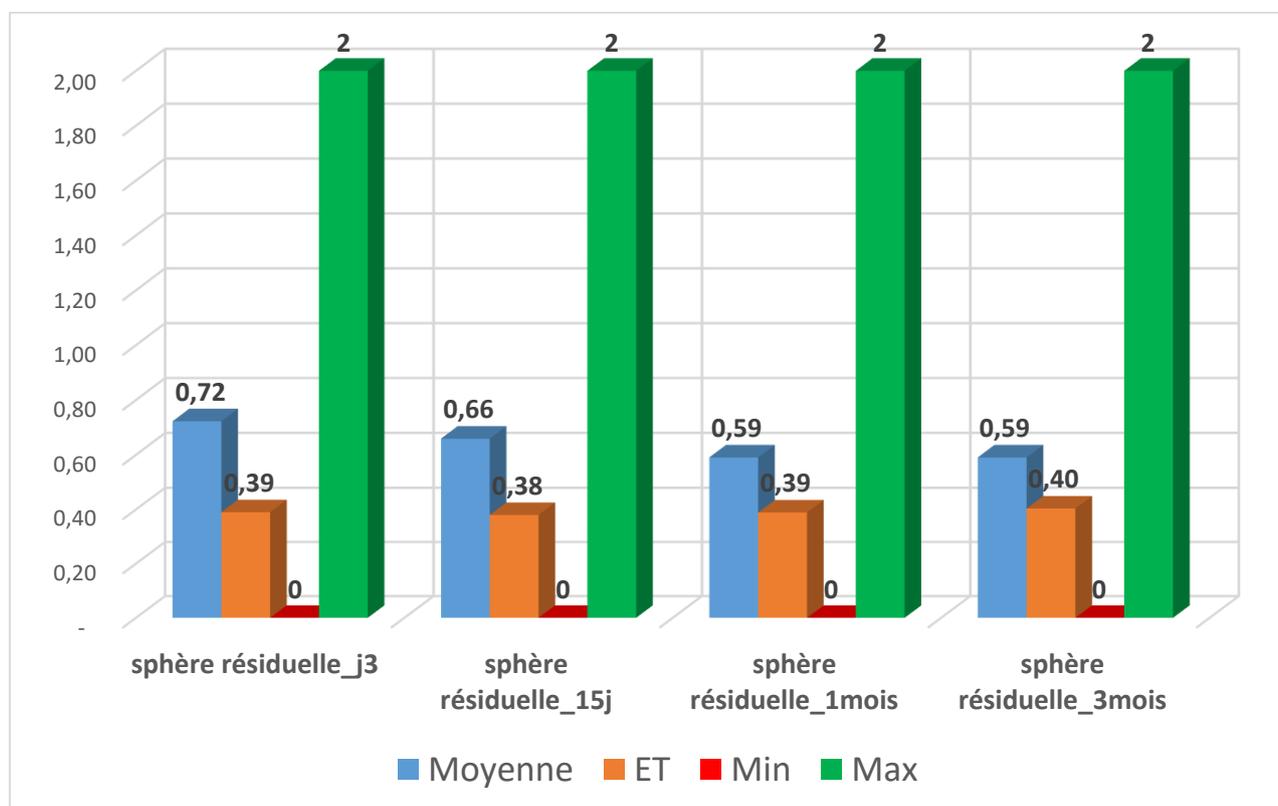


Figure 78: La moyenne de la sphère résiduelle lors des contrôles postopératoires

3.2 L'évolution de la moyenne de la sphère résiduelle en postopératoire

L'évolution de la moyenne de la sphère résiduelle dans le temps en postopératoire est représentée par la courbe suivante :

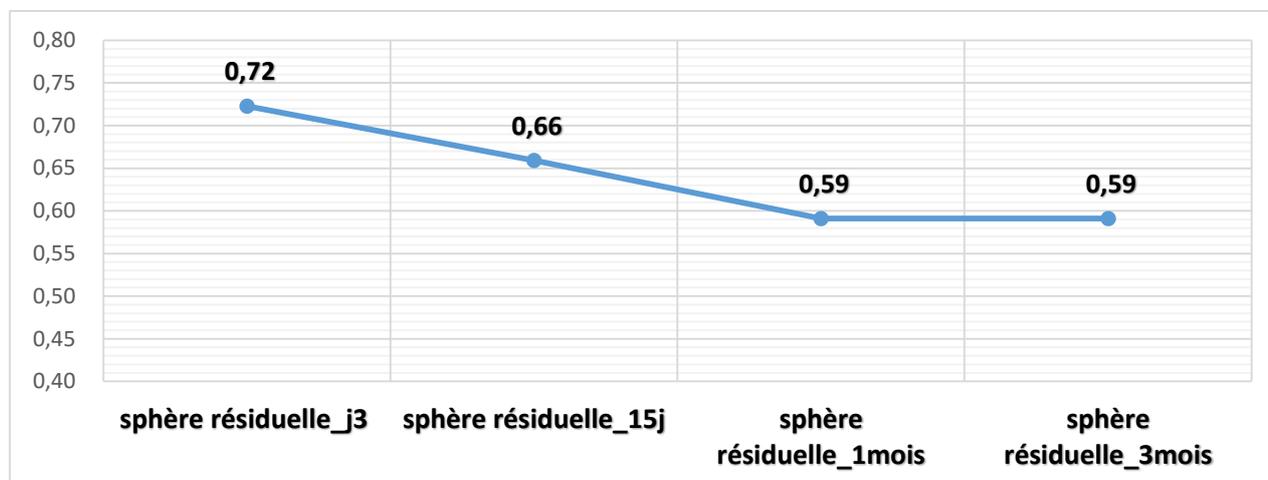


Figure 79 : L'évolution de la moyenne de la sphère résiduelle postopératoire

Une légère diminution dans le temps de la sphère résiduelle est constatée entre le premier et le dernier contrôle.

3.3 La répartition de la sphère résiduelle à 3 mois

Tableau 20 : La répartition de la sphère résiduelle à 3 mois

SPHERE_3 MOIS	FRÉQUENCE	%	% CUMULÉ
0 D	1	1,82 %	1,82 %
0,25 D	19	34,55 %	36,36 %
0,5 D	17	30,91 %	67,27 %
0,75 D	5	9,09 %	76,36 %
1 D	8	14,55 %	90,91 %
1,25 D	3	5,45 %	96,36 %
1,75 D	1	1,82 %	98,18 %
2 D	1	1,82 %	100,00 %
TOTAL	55	100,00 %	100,00 %

À trois mois la sphère résiduelle est inférieure ou égale

- à 0.5 D dans 67.27 % des patients.
- à 0.75 D dans 76.36 % des patients.
- à 1.0 D dans 90.91 % des patients.

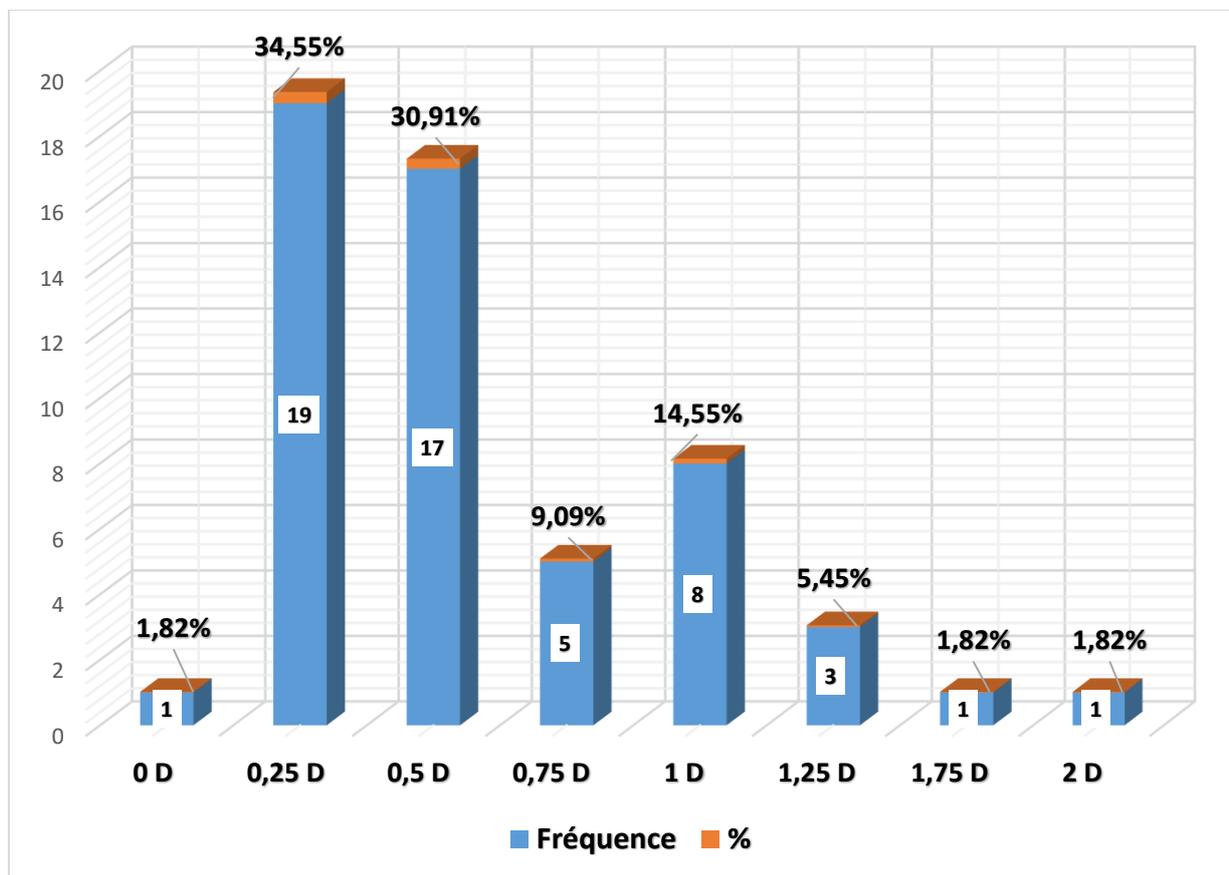


Figure 80 : La répartition de la sphère résiduelle à 3 mois en postopératoire

La sphère résiduelle est supérieure à 1 D chez cinq patients de notre série soit 9,09 %.

4. ÉTUDE DE L'ASTIGMATISME TOTAL RÉSIDUEL

4.1 La moyenne de l'astigmatisme résiduel

La moyenne de l'astigmatisme total résiduel en postopératoire est détaillée dans le tableau suivant

Tableau 21 : La moyenne de l'astigmatisme total résiduel en postopératoire

	MOYENNE	ET	MIN	MAX
<i>Astigmatisme total _J3</i>	0,69	0,38	0	1,5
<i>Astigmatisme total _J15</i>	0,70	0,35	0	1,5
<i>Astigmatisme total _ 1 mois</i>	0,66	0,37	0	1,5
<i>Astigmatisme total _ 3 mois</i>	0,66	0,37	0	1,5

La moyenne de l'astigmatisme résiduel est de $0,69 \pm 0,38$ D à J3, $0,70 \pm 0,35$ D à J15, $0,67 \pm 0,37$ D à un mois et variant de $0,66 \pm 0,38$ D à trois mois.

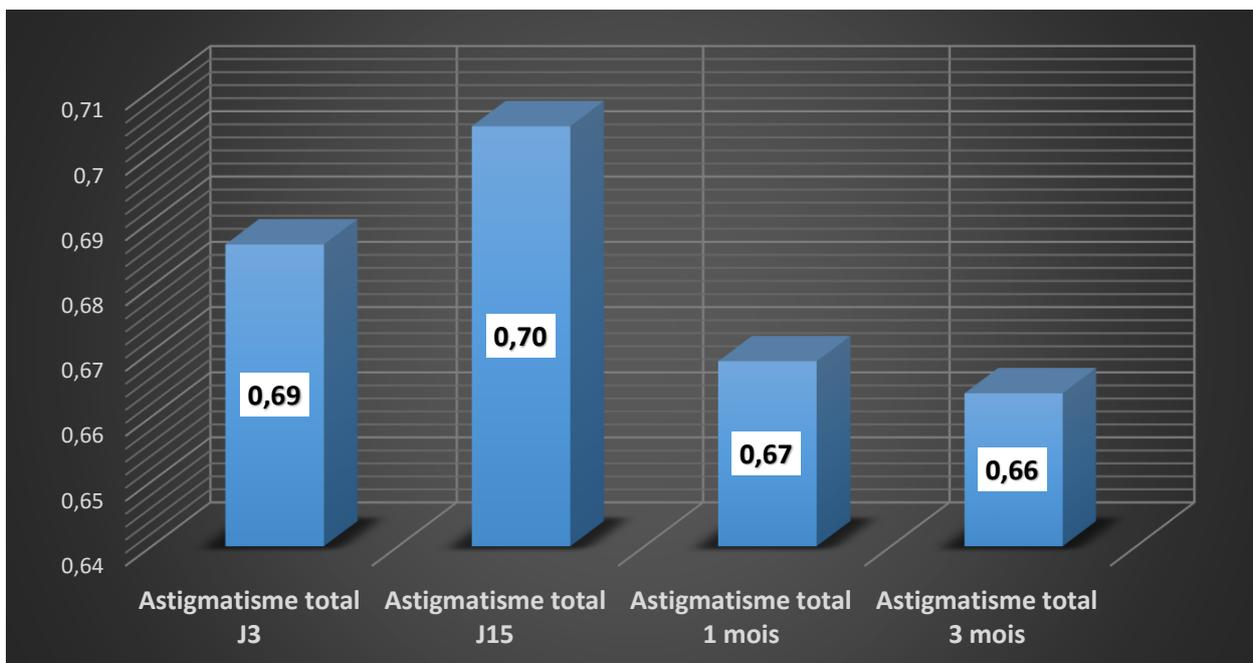


Figure 81 : La moyenne de l'astigmatisme total résiduel en postopératoire

4.2 L'évolution de la moyenne de l'astigmatisme résiduel

Évolution de la moyenne de l'astigmatisme résiduel lors des contrôles est représentée dans la courbe suivante :

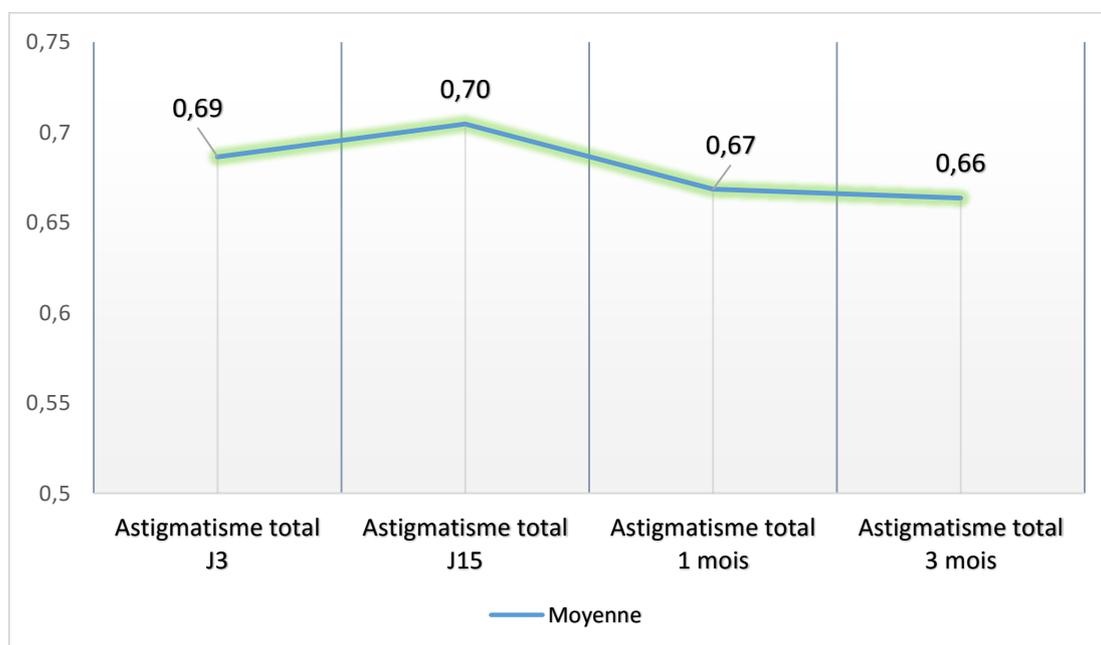


Figure 82 : Évolution de la moyenne de l'astigmatisme résiduel en postopératoire

Une diminution statistiquement non significative ($P= 0,12$, test ANOVA) de l'astigmatisme résiduel est constatée lors des différents contrôles postopératoires de l'ordre : $0,70 \pm 0,35$ D à J 15, $0,66 \pm 0,37$ D à un mois et $0,66 \pm 0,38$ D à trois mois.

4.3 Répartition de l'astigmatisme résiduel à 3 mois :

La répartition de l'astigmatisme résiduel en postopératoire est détaillée dans le tableau suivant :

Tableau 22 : La répartition de l'astigmatisme total résiduel à 3 mois en postopératoire

Astigmatisme résiduel à 3 mois	fréquence	%	% cumulé
0	2	3,64 %	3,64 %
0,25	14	25,45 %	29,09 %
0,5	9	16,36 %	45,45 %
0,75	15	27,27 %	72,73 %
1	9	16,36 %	89,09 %
1,25	3	5,45 %	94,55 %
1,5	3	5,45 %	100,00 %
TOTAL	55	100,00 %	100,00 %

Un astigmatisme résiduel inférieur ou égal à 0.75 D est retrouvé chez 72.73 % des patients opérés avec un astigmatisme maximal d'une dioptrie retrouvé dans 89.09 %.

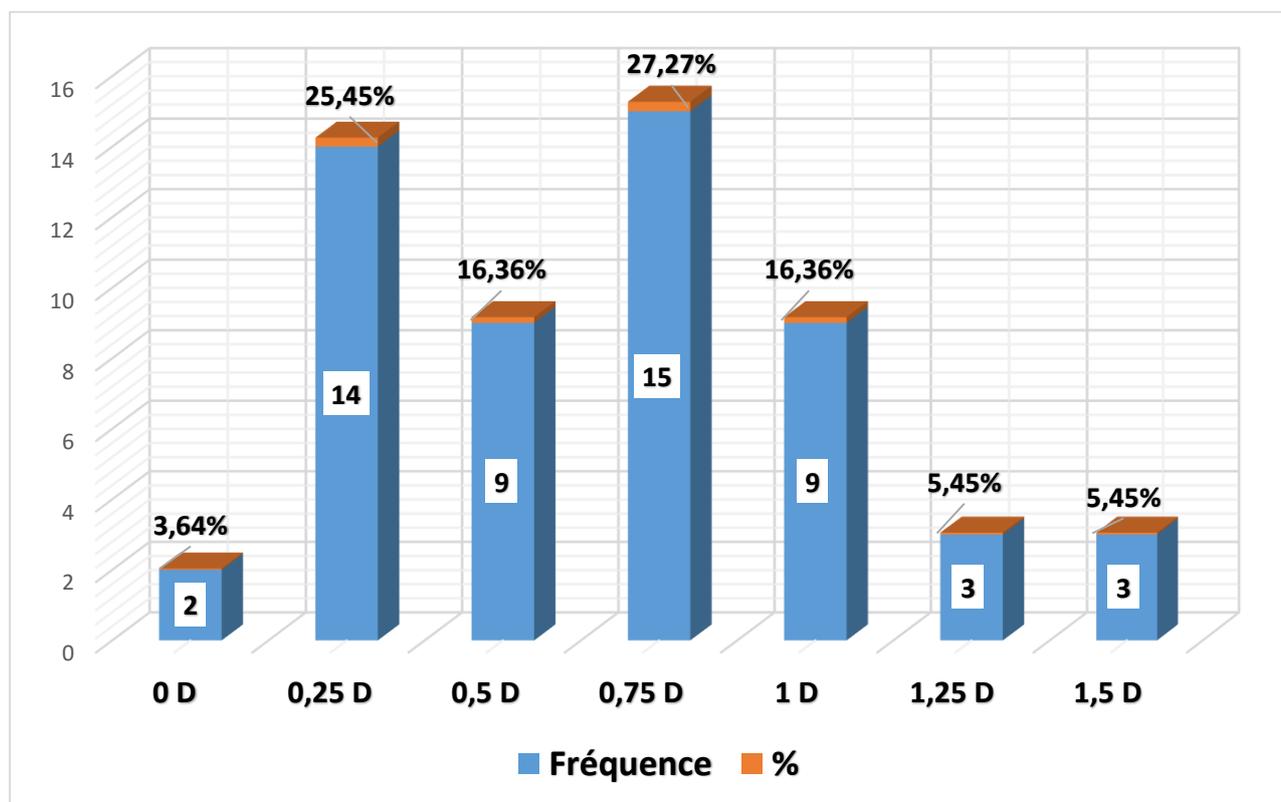


Figure 83 : La répartition de l'astigmatisme total résiduel en postopératoire

Six patients de notre étude soit 10.9 % présentent un astigmatisme résiduel supérieur à 1 D

4.4 Relation entre l'astigmatisme résiduel à 3 mois et la longueur axiale

Tableau 23 : Relation entre l'astigmatisme résiduel et la longueur axiale

LONGUEUR AXIALE (MM)	OBSERVATION	MOYENNE ASTIGMATISME RÉSIDUEL (D)	ET
< 24 MM	43	0,66	0,36
> 24 MM	12	0,66	0,44

La moyenne de l'astigmatisme résiduel à trois mois est de :

- 0.66 ± 0.36 D chez les patients avec une longueur axiale de 24 mm au maximum
- 0.66 ± 0.44 D chez les patients avec une longueur axiale supérieure à 24 mm.

5. ÉTUDE DE LA ROTATION DES IMPLANTS TORIQUES

5.1 La moyenne de rotation lors des contrôles postopératoires

Tableau 24 : La moyenne de rotation lors des contrôles postopératoires

	MOYENNE	ET	MIN	MAX
ROTATION_J3	2,41°	2,13	0	9°
ROTATION_J15	3,07°	2,19	0	10°
ROTATION_1MOIS	3,21°	2,07	0	10°
ROTATION_3MOIS	3,23°	2,15	0	10°

La moyenne de la rotation mesurée à la LAF dans notre travail est de 2.41 ± 2.13 ° à J3, 3.07 ± 2.19 ° à J15, 3.21 ± 2.07 ° à 1 mois et de 3.23 ± 2.15 ° à 3 mois avec des extrêmes allant de 0 ° à 10 ° de rotation pour l'ensemble des patients opérés.

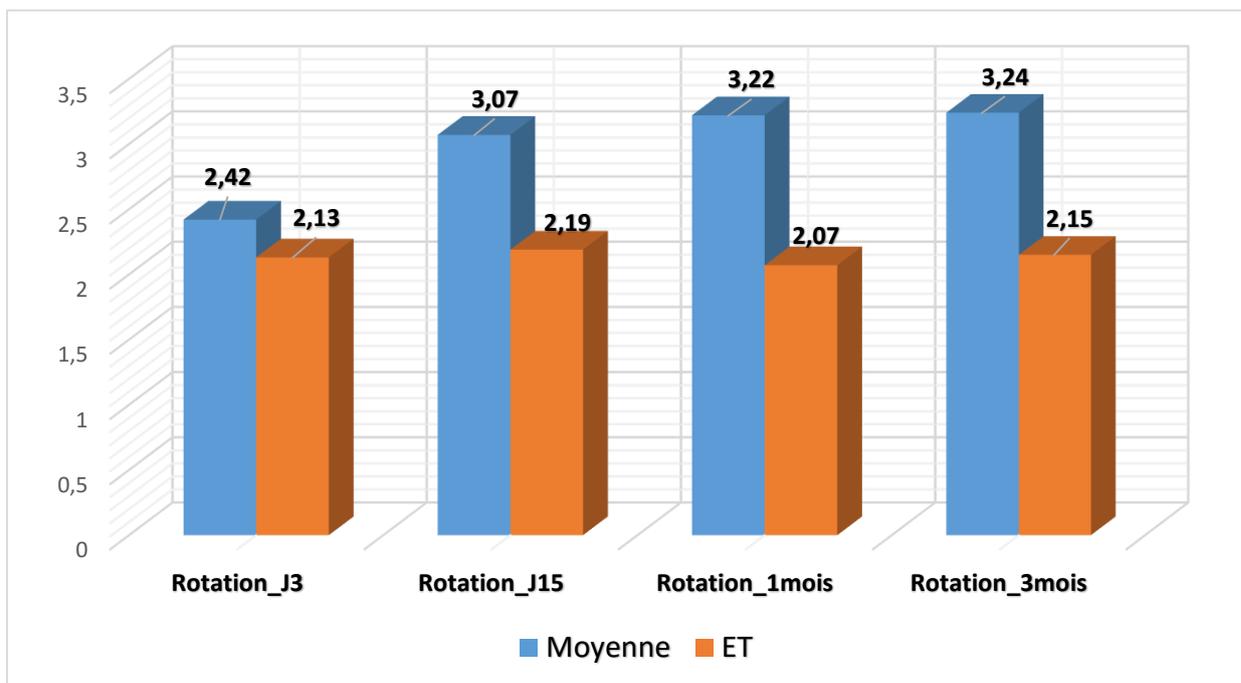


Figure 84 : les paramètres de rotation des implants lors des contrôles postopératoires

La moyenne de rotation des implants toriques constatée dans notre série de patient est restée stable lors des contrôles à J15, à 1 mois et à 3 mois.

5.2 L'évolution de la moyenne de rotation de l'implant lors des contrôles postopératoires

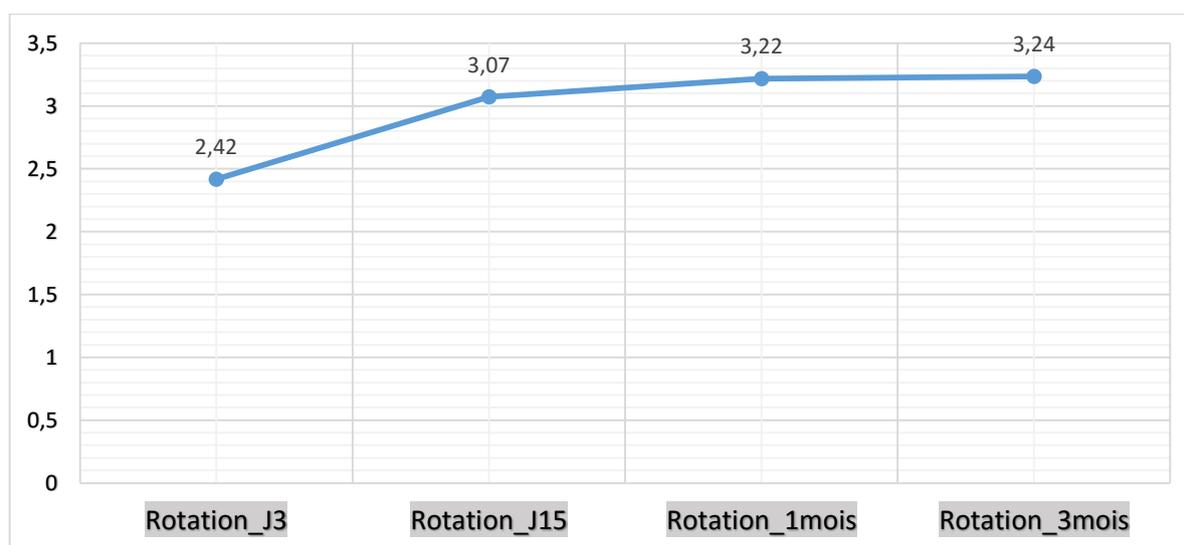


Figure 85 : L'évolution de la moyenne de rotation lors des contrôles postopératoires

La rotation la plus importante était constatée lors du premier contrôle à J3, une petite augmentation de rotation est ensuite mise en évidence lors du second contrôle à J15, et à partir de là l'implant est presque stable en rotation.

5.3 Distribution de la rotation de l'implant torique à trois mois postopératoires

Tableau 25 : Distribution de la rotation lors des contrôles à trois mois en postopératoires

ROTATION_3MOIS	FRÉQUENCE	CUM. POUR CENT
0°	5	9,09 %
1°	5	18,18 %
2°	13	41,82 %
3°	10	60,00 %
4°	10	78,18 %
5°	4	85,45 %
6°	3	90,91 %
7°	3	96,36 %
8°	1	98,18 %
10°	1	100,00 %

L'absence de rotation (0°) est constatée dans 5 yeux (soit 9.09 %), une rotation de 2° est constatée dans 13 yeux. Une rotation de 10° de l'implant torique est constatée dans un seul œil

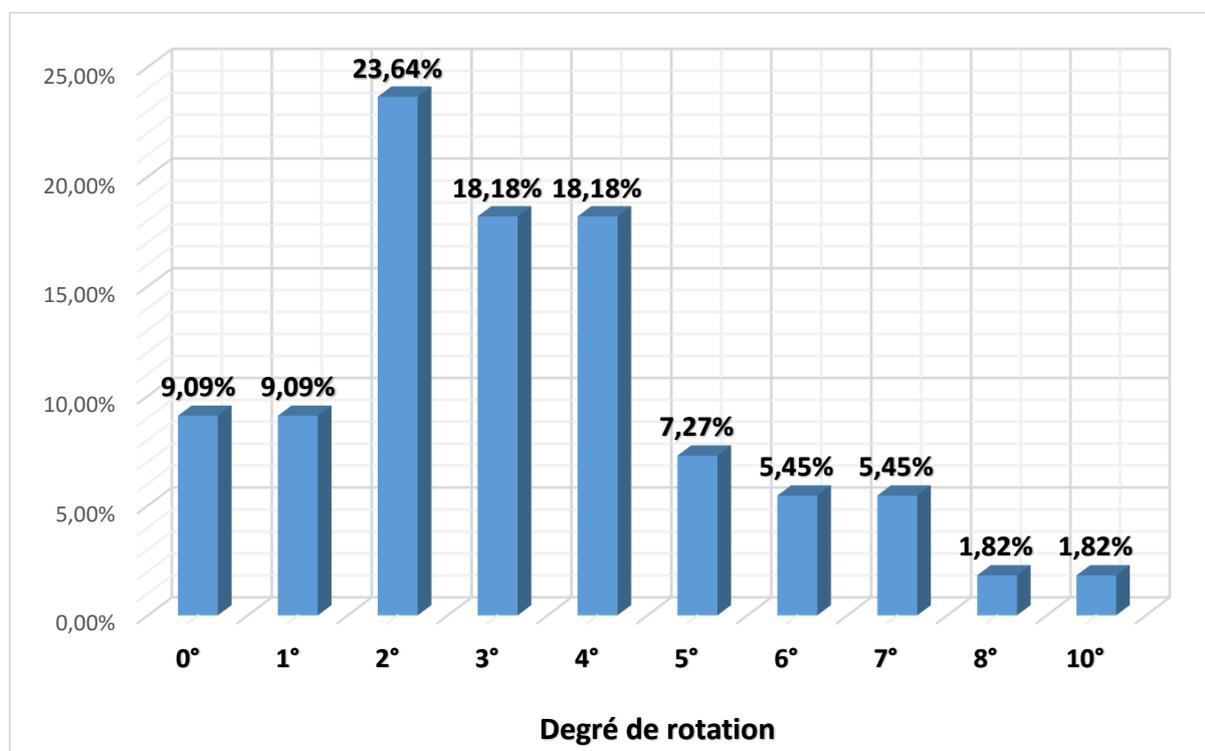


Figure 86 : Distribution de la rotation des implants toriques à trois mois en postopératoires

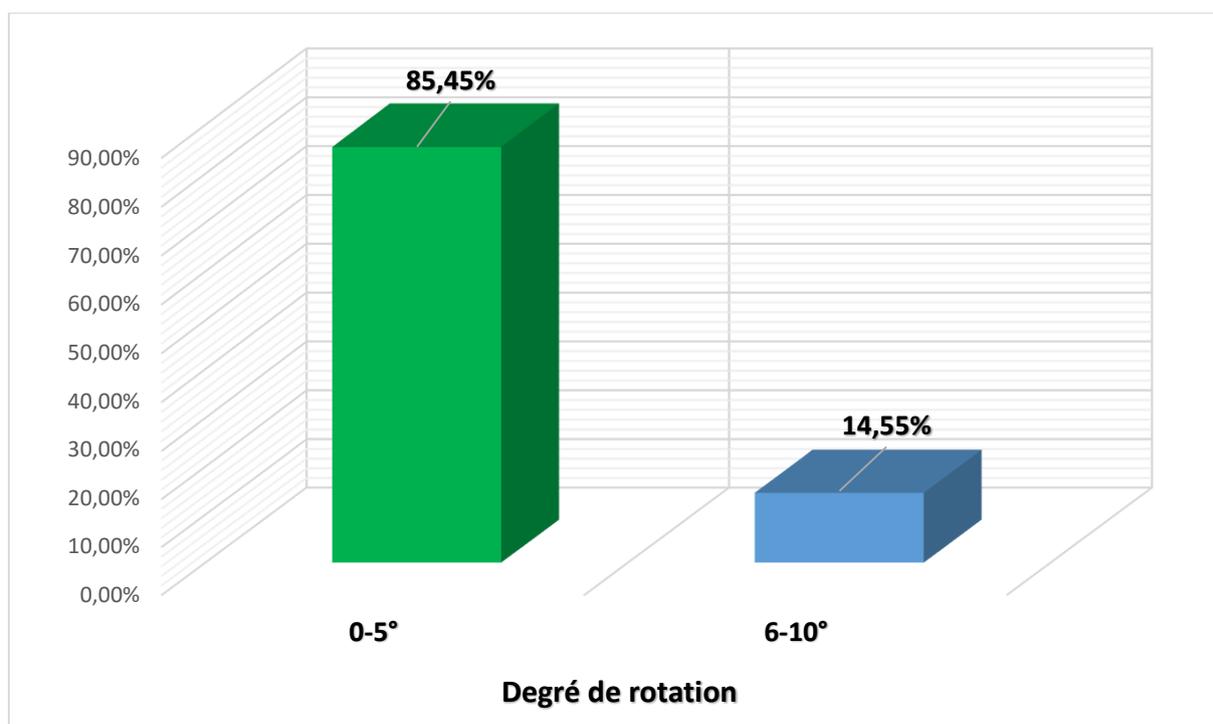


Figure 87 : Distribution selon les classes de la rotation de l'implant torique à trois mois postopératoires

La rotation de l'implant est inférieure ou égale à 5 ° dans 85.45 % des yeux opérés, et de 6-10 ° chez 14.55 % des yeux.

5.4 Degré de rotation et la moyenne de l'astigmatisme résiduel à 3 mois en postopératoire

La moyenne de l'astigmatisme résiduel en fonction du degré de rotation est détaillée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 26 : Rapport entre la rotation et la moyenne de l'astigmatisme résiduel à 3 mois en postopératoire

ROTATION A 3 MOIS	OBSERVATION	MOYENNE ASTIGMATISME RÉSIDUEL	ET	MIN	MAX
0 ° -5 °	47	0,59	0,32	0	1,25
6 ° -10 °	8	1,09	0,44	0,25	1,5

La moyenne de l'astigmatisme résiduel est plus élevée dans la classe de rotation 6 ° — 10 ° avec 1.09 ± 0.44 D, avec des extrêmes allant de 0.25 à 1.5 D.

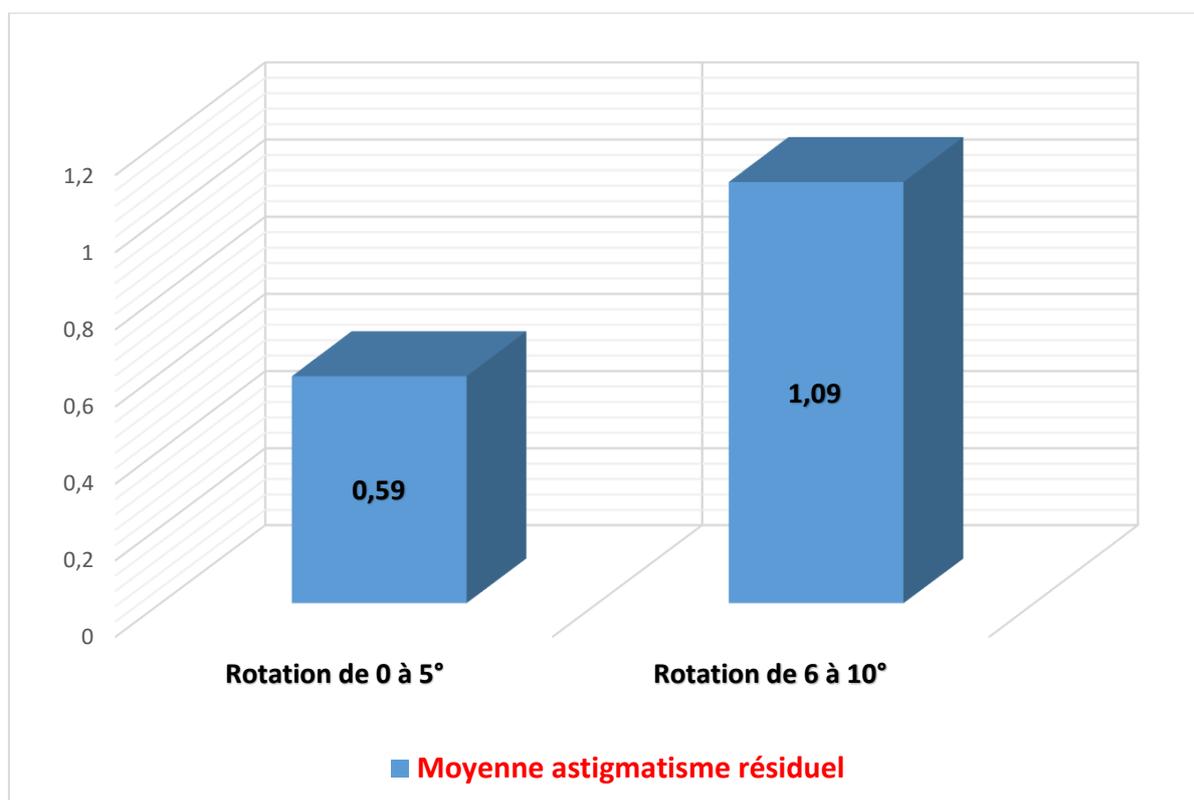


Figure 88 : la moyenne de l'astigmatisme résiduel à 3 mois en fonction de la rotation

Dans notre série de patients, la relation entre le degré de rotation et la moyenne de l'astigmatisme résiduel est statistiquement significative avec une $P = 0.003$ (test ANOVA)

5.5 Moyenne de rotation et longueur axiale de l'œil opéré

Tableau 27 : la moyenne de rotation en fonction de la longueur axiale de l'œil opéré

la longueur axiale de l'œil	Observation	Moyenne de rotation	ET	Min	Max
LA < 24 mm	43	3,19 °	1,76	0 °	7 °
LA > 24 mm	12	3,41 °	3,29	0 °	10 °

La rotation est plus importante chez les patients avec une longueur axiale supérieure à 24 mm avec 3.41 ± 3.29 (0 à 10 °).

6. ÉTUDE DES COMPLICATIONS POSTOPÉRATOIRES

6.1 Recherche des complications immédiates

Tableau 28 : les complications immédiates survenues en postopératoire

COMPLICATIONS	CONTROLE A J3	CONTROLE A J15
ŒDÈME CORNÉEN	1	0
DR	0	0
ENDOPHTALMIE	0	0
UVÉITE	0	0

Dans notre étude, un seul patient a présenté un léger œdème cornéen qui a régressé en 10 jours sous traitement corticoïde par voie topique à raison de 6 gouttes de dexaméthasone par jour et une application d'une pommade le soir.

6.2 Recherche des complications intermédiaires et tardives

Tableau 29 : les complications à moyen terme survenues en postopératoire

COMPLICATIONS	CONTRÔLE A 1 MOIS	CONTRÔLE A 3 MOIS
DR	0	0
IRVINE-GASS	0	0
OPACIFICATION CAPSULE POSTÉRIEURE	0	0
ENDOPHTALMIE_1MOIS	0	0
UVÉITE	0	0
ŒDÈME CORÉEN	0	0

Aucune complication n'a été observée lors des contrôles à 1 mois et à 3 mois en postopératoire

6.3 Analyse de la densité endothéliale à 3 mois en postopératoire

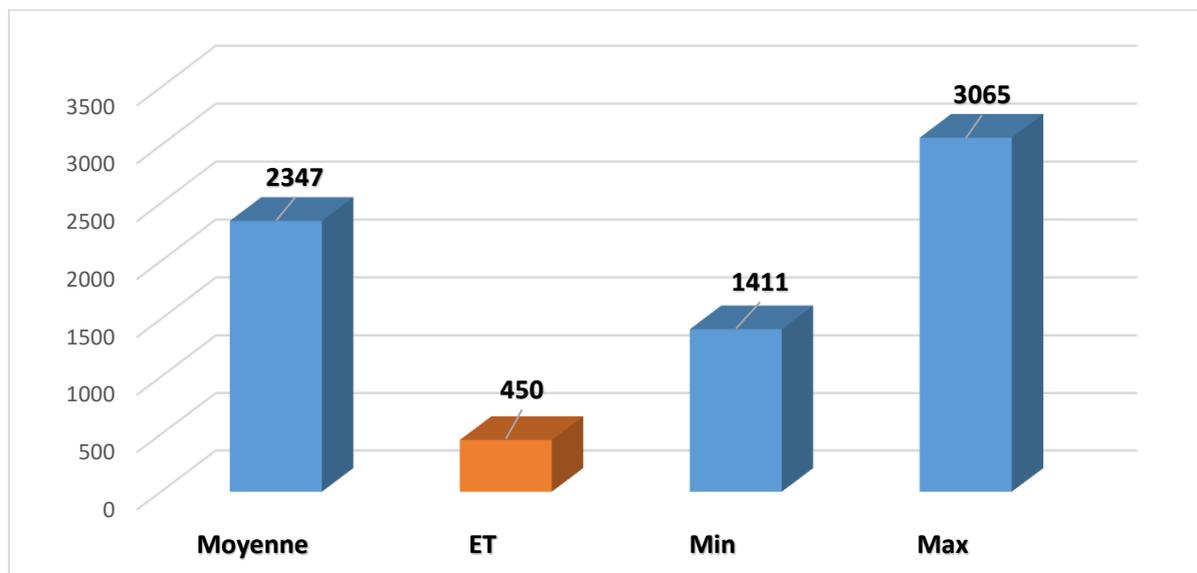


Figure 89 : moyenne de la densité endothéliale à 3 mois en postopératoire

La moyenne de la densité endothéliale à trois mois en postopératoire est chiffrée à 2347 cellules/mm² avec un minimum enregistré à 1411 cellules/mm².

6.4 La Densité cellulaire endothéliale en préopératoire et à 3 mois en postopératoire

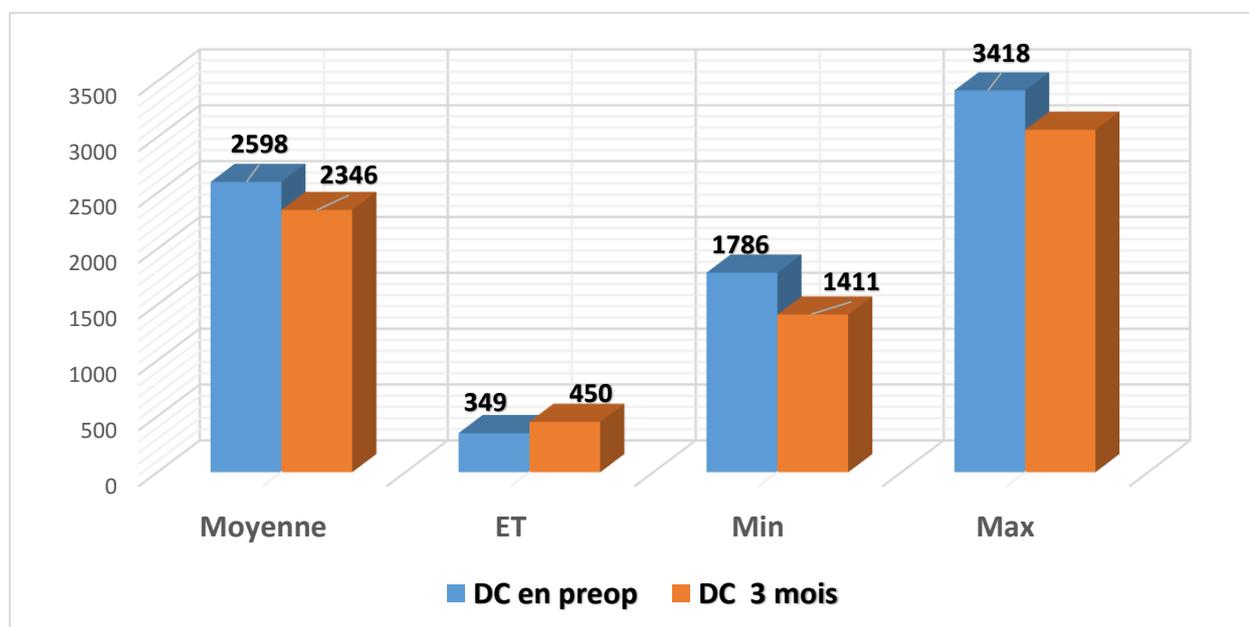


Figure 90 : La densité cellulaire endothéliale en préopératoire et à 3 mois en postopératoire

On constate une diminution non significative de la densité cellulaire endothéliale à trois mois en postopératoire par rapport à la densité en préopératoire ($P = 0.47$, test de Kruskal-Wallis).

VIII. DISCUSSION

L'évolution de la chirurgie de la cataracte, passant de méthodes rudimentaires à la chirurgie de phacoémulsification de haute précision, a été un voyage fascinant dans l'ère des progrès apportés aux techniques de l'acte chirurgical le plus pratiqué en ophtalmologie jusqu'au jour d'aujourd'hui dans le monde [8]. D'ailleurs l'avènement de la phacoémulsification a transformé la simple chirurgie de retrait de cristallin en chirurgie réfractive à part entière en fournissant la meilleure récupération visuelle possible au patient. Ceci a été réalisé grâce à l'amélioration des procédés de fabrication des implants intraoculaires et le passage à de plus petites incisions ainsi qu'à la gestion de l'astigmatisme cornéen préexistant.

La prévalence de l'astigmatisme augmente avec l'âge et on estime qu'environ un tiers de patients candidats à une chirurgie de la cataracte ont un astigmatisme préexistant supérieur à 1.00 D [74, 86]. Pour optimiser les résultats visuels et minimiser la dépendance aux lunettes, cette composante astigmatique doit être traitée, car il est admis actuellement que l'acuité visuelle de loin sans correction est pénalisée à partir de 0.75 D d'astigmatisme résiduel chez les patients pseudophaques [10, 11].

Différentes modalités de correction de l'astigmatisme ont été proposées par le passé chez les patients subissant un traitement chirurgical de la cataracte : les incisions relaxantes cornéennes essentiellement. Cependant, devant les limitations de ces procédés de traitement, ils ont été remplacés au profit des implants toriques. Ces implants toriques neutralisent l'astigmatisme cornéen préopératoire tout en contrôlant l'équivalent sphérique et représentent une méthode stable et prévisible de correction de l'astigmatisme régulier [35].

A. DONNÉES DÉMOGRAPHIQUES ET ANAMNESTIQUES :

La cataracte sénile est l'apanage du sujet âgé survenant à partir de 60 ans, alors que la cataracte présénile survient à un âge un peu plus tôt aux environs de 50 ans[3]. Plusieurs études ont pris en considération les différents paramètres d'ordre démographique et anamnestique, comme démontré dans le tableau suivant :

Tableau 30 : la moyenne d'âge et sexe des patients dans différentes études

AUTEURS	ANNÉE	NOMBRE YEUX	MOYENNE AGE (AN)	SEXE (%)
NOTRE ÉTUDE	2019	55	66,2 ± 10,8	76,23 % hommes 23,64 % femmes
MOULICK[189]	2017	30	64.47 ± 7,04	46.67 % hommes 53,33 % femmes
LUBINSKI[221]	2016	27	66.1 ± 11,4	33 % hommes 67 % femmes
KRALL[200]	2015	88	64.1 ± 19	40.8 hommes 59.2 femmes
EMESZ[222]	2015	78	64.86 ± 10,65	Non précisé
SHEPPARD[186]	2013	67	74.1 ± 9,6	36.7 hommes 63.3 femmes
KIM[223]	2010	30	55.8 ± 16,2	11 hommes 13 femmes
BAUER[99]	2008	53	72.8 ± 15,1	Non précisé

Notre étude a intégré 55 patients, 42 hommes (76.23 %) et 13 femmes (23.64 %), avec un Sex-ratio de 3.23. cette disparité avec les études déjà citées est expliquée par le fait que notre population est recrutée au sein d'une structure militaire.

La moyenne d'âge de nos patients est de 66.2 ± 10.8 ans, et elle est supérieure à 64 ans dans 56.37 % des cas. Cette moyenne d'âge relativement élevée explique les comorbidités fréquentes, à savoir 24 % des patients sont diabétiques et 23 % ont une hypertension artérielle (HTA). Le port d'une correction optique pour la vision de loin a été retrouvé chez 48 patients (yeux) soit 87 %. Ceci peut être expliqué par le fait de l'existence d'un astigmatisme cornéen préexistant, un paramètre qui nous a semblé important à relever, mais qui n'a pas été rapporté obligatoirement par les différentes études.

B. LES PARAMÈTRES DU BILAN PRÉOPÉRATOIRE :

1. L'Acuité visuelle préopératoire

Les acuités visuelles ont été converties en échelle logarithmique dans le but de pouvoir effectuer les comparaisons des moyennes.

Tableau 31 : la moyenne de l'acuité visuelle en préopératoire

AUTEURS	AVSC LOG MAR	AVAC LOG MAR
NOTRE ÉTUDE, 2019	$0.9 \pm 0,33$	$0.67 \pm 0,38$
LUBINSKI, 2016 [221]	$0.78 \pm 0,22$	$0.49 \pm 0,39$
EMESZ, 2015[222]	$0.90 \pm 0,35$	$0.26 \pm 0,18$
MIYAKE, 2014[188]	$0.93 \pm 0,50$	$0.27 \pm 0,35$
IOVIENO, 2013[224]	$1 \pm 0,64$	$0.48 \pm 0,51$

Nos patients présentent une acuité visuelle en préopératoire basse, soit pour l'AVSC ou pour l'AVAC. La moyenne de l'acuité visuelle préopératoire sans correction est de 0.9 Log MAR soit 1.25/10 sur l'échelle de Monoyer et elle reste en adéquation avec les études citées dans le tableau.

La moyenne de l'acuité visuelle préopératoire avec correction est de 0.67 Log MAR soit aux environs de 2/10 sur l'échelle de Monoyer, avec une légère disparité par rapport à la littérature expliquée par les variations de l'échantillon en matière d'âge, de densité de la cataracte ainsi que l'importance de l'astigmatisme préexistant. La différence entre la moyenne de l'AVSC et de l'AVAC est statistiquement significative ($P = 0.001$, le test ANOVA).

2. Les paramètres de la biomicroscopie

La cataracte cortico-nucléaire est prédominante dans notre série avec 72.7 %, suivie par la cataracte corticale dans 12.7 %, la cataracte sous capsulaire postérieure dans 7.27 % et enfin la cataracte nucléaire chez 1.82 % des patients. La cataracte totale représente seulement 5.45 % de notre série, ceci pour répondre aux critères de sélection qui excluent les patients avec une pseudoexfoliation capsulaire et la mauvaise dilatation. En plus, certaines cataractes totales ne permettent pas la mesure de la réfraction (l'amétropie sphérique et l'astigmatisme total de départ) qui est un prérequis obligatoire et indispensable pour répondre au protocole de l'étude clinique.

Dans notre étude, en dehors de la cataracte et de l'astigmatisme cornéen, l'examen biomicroscopique était sans particularité chez nos candidats, qui ont été soumis à des critères de sélection très rigoureux. Par ailleurs, on a constaté chez deux patients soit 02 yeux à l'examen de la rétine périphérique respectivement, une palissade traitée au laser Argon en préopératoire, et une plaque de givre condensée sous surveillance à ce jour.

3. La réfraction et la kératométrie préopératoires

La plupart des études évaluant l'efficacité des implants toriques ont intégré comme paramètres principaux la mesure de l'astigmatisme total réfractif et de l'astigmatisme cornéen préexistant, et par degré moindre la mesure de la sphère préopératoire. Ce tableau résume quelques études qui ont pris en considération ces paramètres préopératoires :

Tableau 32 : la moyenne de la sphère, de l'astigmatisme réfractif et de l'astigmatisme cornéen en préopératoire

AUTEURS, ANNÉE	ÉQUIVALENT SPHÉRIQUE (D)	L'ASTIGMATISME TOTAL RÉFRACTIF (D)	L'ASTIGMATISME CORNÉEN (D)
NOTRE ÉTUDE ; 2019	2.46 ± 1,9	2.47 ± 1,38	2.02 ± 0,63
LUBINSKI ; 2016 [221]	2.70 ± 6,70	3.73 ± 1,96	3.19 ± 1,59
KRALL ; 2015 [200]	1.00 ± 5,01	2.19 ± 1,39	Non précisé
EMESZ ; 2015 [222]	3.27 ± 5,00	1.45 ± 1,18	1.54 ± 0,33
MIYAKE ; 2014 [188]	Non précisé	1.92 ± 1,45	2.34 ± 0,58
DOMINGUEZ ; 2014 [225]	0.11 ± 3,30	1.95 ± 0,75	1.56 ± 0,67
SHEPPARD ; 2013 [186]	0.20 ± 2,54	1.91 ± 1,07	2,33
HASEGAWA ; 2013 [36]	Non précisé	1.38 ± 0,77	1.34 ± 0,36
BACHERNEGG ; 2013 [196]	Non précisé	1.93 ± 0,90	3.29 ± 0,84
VISSER ; 2011 [184]	Non précisé	4.02 ± 1,28	3.84 ± 1,10

Ces paramètres réfractifs constatés dans notre population d'étude rejoignent sensiblement les résultats de certaines études décrites dans le tableau tel que pour Lubinski et al, et s'éloignent d'autres études (Dominguez et al, Kim et al). Cette disparité ne peut être expliquée encore une fois que par les variations de l'échantillon et les critères de sélection de l'astigmatisme cornéen minimum pris en considération.

La mesure de réfraction et de la kératométrie est un temps fondamental du bilan préopératoire. La kératométrie automatisée, les biomètres optiques et la topographie cornéenne peuvent être utilisés dans la planification de la correction de l'astigmatisme cornéen par les implants toriques. La fiabilité des mesures des différents appareils reste un sujet de débat. Dans notre étude les mesures de la réfraction et de la kératométrie ont été réalisées par un réfracto-keratomètre automatisé (Le Speedy-K, Luneau technologie, France). Cet appareil permet la mesure de la réfraction totale du patient et l'étude de la kératométrie sur 18 points cornéens.

Plusieurs auteurs ont confirmés que la fiabilité des mesures kératométriques obtenues avec les réfracto-keratomètres automatisés est comparable avec les différents appareils utilisés. Shirayama et collaborateurs ont jugé hautement reproductibles et comparables les mesures fournies par quatre appareils de calcul de la kératométrie : le Galilei Dual Scheimpflug (topographie Scheimpflug), le topographe cornéen Humphrey Atlas (topographie par réflexion spéculaire), IOLMaster (biomètre optique) et un keratomètre automatisé Bausch & Lomb [111].

Dehnavi et collaborateurs en 2015 ont démontré que la corrélation dans les mesures de la kératométrie était très élevée entre un Kératomètre manuel (Javal Schiotz; Haag-Streit), un biomètre optique (IOL Master, Carl Zeiss Meditec), un topographe spéculaire (TMS4, Tomey) et un topographe avec camera Scheimpflug (Pentacam HR, Oculus) [112].

Kobashi et collaborateurs en 2012 ont analysé les mesures kératométriques obtenues par un autoréfracto-keratomètre (ARK-700A) et un topographe cornéen (Atlas) et ont retrouvé que les deux appareils ont fourni une comparabilité excellente[121].

Visser et collaborateurs en 2012 ont retrouvé que les mesures de l'astigmatisme cornéen fussent comparables en utilisant la kératométrie automatisée, manuelle ou simulée en analysant les mesures fournies par 6 appareils : IOL Master (biomètre optique), Lenstar (biomètre optique), SMI Reference Unit 3 (kératométrie automatisée), le Javal (kératométrie manuelle), KR-1W (topographie cornéenne) et le Pentacam (imagerie Scheimpflug)[126].

Cependant, d'autres études ont objectivé des différences entre les appareils de mesure de la kératométrie. Yong Park et collaborateurs en 2012 ont démontré que l'astigmatisme préopératoire déterminé à l'aide d'un biomètre optique (IOL Master) montrait de meilleurs résultats postopératoires que l'utilisation d'un keratomètre de type Scheimpflug [127].

Les mesures de la réfraction et de la kératométrie obtenues dans notre série sont détaillées dans le tableau suivant :

Tableau 33 : la moyenne de l'équivalent sphérique, de l'astigmatisme réfractif et de l'astigmatisme cornéen préopératoire dans notre étude

PARAMÈTRES	MOYENNE	MINIMUM	MAXIMUM
L'ÉQUIVALENT SPHÉRIQUE	2.46 ± 1.9 D	0 D	8 D
L'ASTIGMATISME TOTAL RÉFRACTIF	2.47 ± 1.38 D	0.5 D	7.27 D
L'ASTIGMATISME CORNÉEN	2.02 ± 0.63 D	1.12 D	4.25 D

Pour l'astigmatisme cornéen préopératoire, 52.7 % des patients présentent un astigmatisme compris entre 1 et 2 D alors que 40 % des patients présentent un astigmatisme compris entre 2 et 3 D. La majorité des patients de cette série, soit 92.73 % présentent un astigmatisme cornéen préexistant minime à modéré et seuls 7.27 % des candidats ont un astigmatisme supérieur à 3 D.

L'aspect clinique de l'astigmatisme cornéen préopératoire est un des éléments les plus importants dans de nombreuses études retrouvées dans la littérature. Dans notre série l'astigmatisme cornéen préopératoire est un astigmatisme inverse majoritairement avec 65 %, suivi par l'astigmatisme direct dans 31 % et enfin l'astigmatisme oblique est retrouvé seulement chez 4 % des patients.

L'astigmatisme direct est plus constaté chez les patients âgés de moins de 65 ans avec une prédominance dans la classe d'âge 45 – 54 ans. L'astigmatisme inverse est plutôt retrouvé chez les patients âgés de plus de 55 ans et plus particulièrement chez les patients âgés de plus de 65 ans. Cependant, l'astigmatisme oblique est moins fréquent (4 %) et concerne uniquement les classes d'âge moyennes 55 et 74 ans.

Nos résultats sont en parfaite adéquation avec les études qui ont été consacrées à l'évaluation des modifications de l'astigmatisme cornéen avec l'âge. D'ailleurs, Hayashi et collaborateurs en 1993, sur une série de 1660 yeux ont objectivé que l'astigmatisme direct était plus dominant chez les jeunes et que l'astigmatisme inverse augmentait avec le vieillissement. Le même auteur en 1995 a objectivé sur une nouvelle série de 1343 yeux qu'il y'a un phénomène de raidissement de l'axe horizontal de la cornée qui commence vers l'âge de 60 ans [83, 226].

Ho et collaborateurs en 2010 [85], Collier Wakefield et collaborateurs en 2016 [86], Naeser et collaborateurs en 2018 [87], ont tous bien documenté l'augmentation de l'astigmatisme total avec l'âge et le passage de l'astigmatisme direct à l'astigmatisme inverse et oblique. Cette tendance à l'aplatissement du méridien le plus vertical pour la cornée antérieure est progressive avec un changement moyen de (- 0,18) dioptries tous les 5 ans.

4. L'astigmatisme cornéen postérieur

Il est admis actuellement que le fait d'ignorer l'astigmatisme cornéen postérieur, en se basant uniquement sur des mesures de la cornée antérieure pour la mesure de l'astigmatisme cornéen total, pourrait causer des résultats inattendus dans l'issue d'une implantation torique [68, 153].

Dans notre étude, nous avons évalué la puissance de la cornée postérieure par le Pentacam (oculus). La moyenne de l'astigmatisme cornéen postérieur (ACP) est de 0.26 ± 0.19 D avec des extrêmes allant de 0 à 0.8 D. Cet astigmatisme cornéen postérieur était inférieur ou égal à 0.5 D dans 90.91 % et il était supérieur à 0.5 D dans 9.09 % des cas. L'astigmatisme direct est majoritaire avec 78 % des patients, suivi par l'astigmatisme inverse (11 %) et l'astigmatisme oblique chez 11 % des patients examinés.

Tableau 34 : la moyenne et l'aspect clinique de l'astigmatisme cornéen postérieur

AUTEURS, ANNÉE	MOYENNE ACP	INFÉRIEURE 0,5 D	SUPÉRIEUR 0.5 D	ASPECT CLINIQUE
NOTRE ÉTUDE	0.26 ± 0.19 D Allant 0 à 0,8 D	90,91 %	9,09 %	Direct 78 % Inverse 11 % Oblique 11 %
KOCH ; 2012	0.30 ± 0.15 D 0.01 à 1,10 D	91 %	9,0 %	Direct 86.6 %

Ces résultats sont superposables à ceux de l'étude de Koch et collaborateurs en 2012, une étude qui fait référence et prise en compte par les chirurgiens dans ce domaine. L'étude a analysé 715 cornées de 435 patients consécutifs, la magnitude moyenne de l'astigmatisme cornéen postérieur était de 0.30 ± 0.15 D allant de 0.01 à 1.10 D. Cet astigmatisme postérieur était supérieur à 0.50 D dans 9.0 %. L'astigmatisme direct a été retrouvé chez 86.6 % des patients [152].

Koch et collaborateurs ont également examiné l'erreur d'estimation de l'astigmatisme cornéen total à partir de mesures cornéennes antérieures uniquement et ont découvert que les mesures cornéennes antérieures sous-estimaient l'astigmatisme cornéen total de 0.22 D en moyenne et dépassaient 0.50 D dans 5 % des yeux [67]. Zheng et collaborateurs (2016) ont trouvé des valeurs similaires, confirmant que le fait de négliger la mesure de la surface de la cornée postérieure pouvait entraîner un écart significatif dans l'estimation de l'astigmatisme cornéen dans une certaine proportion des yeux [151].

5. La puissance sphérique de l'implant :

Pour bien estimer la puissance sphérique de l'implant torique, deux points sont importants à prendre en considération lors du calcul : (1) la biométrie oculaire et plus particulièrement la longueur axiale de l'œil et (2) la formule de calcul.

❖ La longueur axiale de l'œil :

La mesure de la longueur axiale est un paramètre qui a été analysé dans de nombreuses études dans la littérature. Son importance réside, d'une part, dans le fait qu'elle est intégrée dans la prédiction de la position effective de l'implant et d'autre part, du fait qu'elle représente un facteur de risque supplémentaire pour la rotation des implants en postopératoire.

Déterminer avec exactitude la position effective de l'implant dans le sac capsulaire est primordial pour l'obtention d'une emmétropie postopératoire, car pour chaque millimètre d'écart entre la position attendue et la position obtenue de l'implant dans l'œil, l'erreur réfractive totale est d'environ une dioptrie [44].

Dans notre série la moyenne de la longueur axiale de l'œil est estimée à 23.46 ± 0.77 mm. Cette valeur est similaire aux résultats rapportés par plusieurs études réalisées, soit par des biomètres à ultrasons ou par des biomètres optiques comme démontré dans le tableau suivant :

Tableau 35: la moyenne de la longueur axiale et le type de biomètre utilisé

AUTEURS, ANNÉE	LONGUEUR AXIALE (LA) EN MM	BIOMETRE UTILISE
NOTRE ÉTUDE	23,46 ± 0,77 mm Allant 21,7 à 25,09 mm	Biomètre contact
FINDL ; 2001 [115]	23.47 ± 1.321 mm Allant 20,46 à 27,88 mm	Biomètre contact
PACKER ; 2002 [135]	23,40 mm Allant 21,03 à 25,42 mm	biomètre par émerision Biomètre optique
NEMETH ; 2003[136]	23.34 ± 1,95 mm Allant 20,19 à 33,87 mm	Biomètre contact Biomètre optique
SHAH ; 2012 [205]	23.86 ± 1,63 mm Allant 19,5 à 29,03 mm	biomètre par émerision Biomètre optique
BACHERNEGG ; 2013 [196]	Allant 23,75 ± 1,67 mm	Biomètre optique

La majorité des patients validés pour ce travail soit 78.18 % présentent des longueurs axiales inférieures à 24 mm et donc ne présentent pas de risque supplémentaire de rotation selon Shah et collaborateurs[205]. Cependant, 21.82 % des patients présentent des longueurs axiales supérieures à 24 mm et peuvent de ce fait être soumis à un risque de rotation plus élevé des implants toriques.

Nous avons utilisé pour le calcul des implants toriques la biométrie à ultrasons en mode contact (aplanation). Les différences interindividuelles qui se produisent dépendent fortement de la pression exercée sur l'œil par la sonde à ultrasons. Une pression élevée entraîne une indentation cornéenne et un raccourcissement de la longueur axiale et il est admis qu'une erreur de 01 mm dans la mesure de la longueur axiale entraîne une erreur de réfraction d'environ 2.5 dioptries [114, 133].

D'autres études réalisées pour l'évaluation de cette technique ont démontré que la biométrie à ultrasons en mode immersion était plus fiable que la biométrie en mode contact. Les auteurs aussi ont objectivé un raccourcissement moyen de la longueur axiale de 0.1 à 0.33 mm en utilisant la biométrie à ultrasons par aplanation [131, 132].

Dans un passé à moyen terme, des études ont jugé que la fiabilité des résultats donnés par les biomètres optiques en matière de mesure de la longueur axiale est comparable à ceux obtenus par la

biométrie ultrasonore par immersion, car l'absence de dépression cornéenne en tant que facteur d'erreur, réduit le risque de variabilité des mesures [135, 136]. Cependant, des études plus récentes ont démontré la supériorité des biomètres optique et ils ont estimé qu'on peut atteindre avec ces biomètres par interférométrie une précision de ± 0.50 D dans plus de 70 % des cas et de ± 1.00 D dans plus de 90 % des cas [137, 138].

❖ Puissance sphérique et formule de calcul

Le choix d'une formule adéquate est aussi primordial pour obtenir un calcul précis de l'équivalent sphérique des implants toriques à utiliser, une multitude de travaux ont été consacrés concernant ce point dans la littérature comme démontré dans le tableau suivant :

Tableau 36 : l'équivalent sphérique, le biomètre et la formule de calcul utilisée

<i>AUTEURS, ANNÉE</i>	<i>MOYENNE</i>	<i>BIOMETRE UTILISE</i>	<i>FORMULE DE CALCUL</i>
NOTRE ÉTUDE, 2019	21,05 D \pm 1,44 D Marge : 19 D à 24,5 D	Biométrie ultrasonore	Haigis
KIM ; 2010 [223]	19,8 D \pm 2,10 D 15.0 D — 23,5 D	Biomètre optique	SRK-T
HOFFMANN, 2011[201]	21.8 \pm 5,07 8.0 D à 30,0 D	Biomètre optique	Haigis
BACHERNEGG ; 2013[196]	18.50 \pm 4,58 12.5 à 29,00	Biomètre optique	Haigis
CHASSAIN ; 2014[227]	21.68 \pm 3,13 10 à 28 D	Biomètre optique	SRK-T
WENG ; 2014 [228]	17.13 \pm 4.21D 6,0 à 24.0 D	Biomètre optique	SRK-T

La moyenne de la puissance sphérique des implants dans notre série est estimée à 21.05 ± 1.44 D avec des extrêmes allant de 19 à 24.5 D. Ces mesures ont été réalisées grâce à la formule de Haigis intégrée dans notre biomètre ultrasonore.

Le choix de la formule de Haigis était orienté par le fait qu'elle est de quatrième génération, se basant sur trois constantes pour prédire la position effective de l'implant, à savoir, le type d'implant, la profondeur de la chambre antérieure (ACD) et la longueur axiale (LA). Et pour raffiner le calcul avec la formule de Haigis, trois constantes (a_0 , a_1 et a_2) doivent être sélectionnées sur le biomètre en fonction de la marque de l'implant programmé pour la chirurgie. Dans notre travail, nous avons utilisé l'implant Envista torique avec $a_0 = 1,46$; $a_1 = 0,40$; $a_2 = 0,10$.

Plusieurs travaux ont analysé les résultats réfractifs obtenus en intégrant la formule de Haigis dans le calcul de la puissance sphérique des implants intraoculaires. Eom et collaborateurs dans une étude réalisée en 2015 sur 73 patients ont montré que la formule de Haigis était plus précise que la formule SRK/T pour diminuer la sphère résiduelle en postopératoire et permet de mieux prédire la correction de l'astigmatisme cornéen par les implants toriques [144].

Terzi et collaborateurs ont démontré en comparant quatre formules dont : Holladay 2, Hoffer Q, SRK/T et Haigis sur des yeux atypiques que la formule de Haigis a donné les meilleurs résultats et reste particulièrement préférable chez le patient myope[229].

6. Le choix de l'implant torique utilisé

L'implant Envista torique (Bausch et lomb, USA) que nous avons utilisé dans cette étude est un nouvel implant qui a été commercialisé en 2018. L'approbation de la FDA (Food and Drug Administration aux États-Unis d'Amérique) a été obtenue en juin 2018. C'est la raison pour laquelle on ne retrouve pas d'études comparatives concernant cet implant torique à part l'étude réalisée par le fabricant et qui a été soumise à la validation de la FDA.

Ce nouvel implant torique est un implant en acrylique hydrophobe de 12.5 mm de diamètre global, avec un diamètre de l'optique de 6 mm et une surface postérieure à bords carrés. Les anses de ce dernier sont en C loupe et il est injecté à travers une incision de 2.2 mm. Les caractéristiques de cet implant torique semblent lui conférer une bonne stabilité dans le sac capsulaire.

Concernant le matériel de l'implant (acrylique hydrophobe), Draschl et collaborateurs (2017), en analysant la stabilité de rotation de deux implants toriques de conception identique et de matériaux différents, l'un en acrylique hydrophobe et l'autre en acrylique hydrophile, ont constaté que l'implant hydrophobe était plus stable en rotation que l'implant hydrophile[100].

Concernant la conception des haptiques (en C loupe), Patel et collaborateurs en 1999, ont objectivé une meilleure stabilité des implants avec des haptiques plats par rapport aux implants en loupe [105]. Cependant, des études plus récentes réalisées par Scialdone et al (2013), Ayar et al (2017) et Miháltz et al (2018) n'ont pas mis en évidence cette influence de la conception des haptiques sur la stabilité des implants toriques [106, 107, 230].

Concernant le diamètre de notre implant (12.5 mm), Chang et al (2008) ont jugé que les modèles longs supérieurs à 11 mm sont plus stables que les modèles courts dans la prévention de la rotation postopératoire[103]. Une étude plus récente réalisée en 2015 par Harrer et collaborateurs a évalué la stabilité en rotation de deux implants toriques de conception et de matériau similaires, mais avec une différence de longueur totale de 1 mm. Les auteurs ont conclu que l'effet de la longueur totale de l'implant torique semble avoir peu d'impact sur la rotation précoce après une chirurgie de la cataracte[104].

L'implant torique qu'on a utilisé permet de corriger les amétropies sphériques allant de 0.0 D à +34.0 D. Il présente à décrire 7 puissances cylindriques avec des variations progressives de 0.75 D : 1.25D, 2.00 D, 2.75 D, 3.50 D, 4.25 D, 5.00 D et 5.75 D. Il qui permet de corriger les astigmatismes au plan cornéen allant de 0.90 D jusqu'à 4.03 D comme démontré dans le tableau suivant :

Tableau 37 : les différents cylindres et leurs degrés d'action au plan cornéen

AU PLAN CRISTALLINIEN	1.25 D	2.00 D	2.75 D	3.50 D	4.25 D	5.00 D	5.75 D
AU PLAN CORNÉEN	0.90 D	1.40 D	1.93 D	2.45 D	2.98 D	3.50 D	4.03 D

Pour le choix de la puissance cylindrique idéale correspondant à l'astigmatisme cornéen préopératoire, nous avons utilisé le calculateur dédié pour cet implant : <https://envista.toriccalculator.com> (Bausch and lomb, Valeant). Les implants toriques avec un cylindre de 2.00 D (36 %), 2.75 D (25 %) et 3.50 D (21.82 %) sont les plus utilisés dans notre série. Les cylindres à 5.00 D et 5.75 D sont les moins utilisés avec successivement 0 % et 9.09 %.

Ces chiffres sont en parfaite corrélation avec la moyenne de l'astigmatisme cornéen qui est de 2.02 ± 0.63 D et aussi avec la distribution de l'astigmatisme cornéen dans notre série, car la majorité des patients soit 92,73 %, présentent un astigmatisme cornéen préexistant minime à modéré de 1 à 3 D et seuls 7.27 % des candidats ont un astigmatisme supérieur à 3 D. Seules les variations des échantillons expliquent les disparités des cylindres utilisés. Dans l'étude de Visser qui a évalué l'apport des implants toriques dans les forts astigmatismes cornéens avec une moyenne de 3.84 ± 1.10 D a utilisé des cylindres supérieurs ou égaux à 3 D[184].

La capacité de notre implant à neutraliser l'astigmatisme cornéen peut être comparée à l'implant le plus utilisé actuellement, l'implant acrysof torique (Alcon). Ce dernier présente presque les mêmes spécificités que celles de l'implant Envista torique. C'est une lentille en acrylique hydrophobe, de conception monobloc en loupe avec un diamètre global de 13 mm. Cependant, cet implant présente une légère différence par rapport à l'implant utilisé dans notre étude, il est capable de corriger des astigmatismes cornéens allant de 0.75 D jusqu'à 4.5 D comme détaillés dans le tableau suivant :

Tableau 38 : Puissance du cylindre et son action au plan cornéen pour l'acrysof

AU PLAN CRISTALLINIEN	1.50 D (T2)	2.25 D (T3)	3.00 D (T4)	3.75 D (T5)	4.50 D (T6)	5.25 D (T7)	6.00 D (T8)
AU PLAN CORNÉEN	0.75 D à 1,50 D	1.50 D à 2,00 D	2.00 D à 2,50 D	2.50 D à 3,00 D	3.00 D à 3,50 D	3.50 D à 4,00 D	4.00 D et 4.5 D

La moyenne de l'astigmatisme résiduel prévu en postopératoire par le calculateur Envista torique pour les 55 implants utilisés est de 0.25 ± 0.15 D (inférieure à 0.5 D) ; venant témoigner d'une parfaite couverture de l'astigmatisme cornéen préexistant chez nos patients par les puissances cylindriques de l'Envista torique. Cette moyenne de l'astigmatisme résiduel prévu en postopératoire se rapproche de celle dans l'étude de Krall et al avec l'implant AT Torbi 709M, qui est de 0.20 ± 0.11 D [200] et reste meilleure à celle retrouvée dans l'étude de Visser et al avec l'implant acrysof, qui est de 0.40 ± 0.59 D.

C. LES PARAMÈTRES DE LA CHIRURGIE

Le Protocole chirurgical d'une insertion d'un implant torique présente quelques particularités par rapport à une phacoémulsification avec insertion d'un implant standard.

- Le prémarquage limbique de l'axe de référence.
- Le marquage de l'axe d'alignement de l'implant torique
- L'incision cornéenne qui doit être le moins astigmatogène possible
- La taille du capsulorhéxis qui doit être inférieure de 0,5 mm par rapport au diamètre de l'optique de l'implant torique.
- L'alignement des repères de l'implant sur l'axe d'alignement.

1. Le marquage limbique de l'axe de référence :

Afin d'éviter la cyclotorsion, il est essentiel de réaliser un marquage avant la chirurgie dans des conditions parfaitement identiques à celles qui ont été utilisées pour le bilan préopératoire, soit sur un patient assis. Des études ont démontré que cette cyclotorsion est de 2 à 4 ° en moyenne avec des extrêmes pouvant aller jusqu'à 15 ° [156, 157]. Cependant, Prickett et al dans une étude publiée en 2015 ont démontré que l'amplitude des mouvements cyclotorsionnels est inférieure à celle observée dans la littérature et que la plupart des rotations précédemment attribuées aux cyclotorsions peuvent avoir été causées par des composants non cyclotorsionnels comme le changement de la position de la tête et de la posture du patient sur la table d'opération[158].

Dans notre travail, nous avons réalisé un marquage manuel des axes de référence à la lampe à fente par une aiguille fine (25 gauges). Ce marquage manuel est sujet à bien des imprécisions qui sont à l'origine des erreurs d'alignement, néanmoins, cette technique à l'aiguille présente pas mal d'avantages : elle est peu couteuse, rapide, les marques ne s'estompent pas sous microscope et ne présente pas de phénomène d'étalement comme dans le marquage à l'encre et de ce fait demeure plus précise.

Popp et collaborateurs (Autriche) en 2012 en comparant 4 techniques de marquage manuelles : marqueur pendulaire, marqueur à bulle, marqueur à tonomètre et le grattage de la cornée à l'aide d'une aiguille à insuline à la LAF, ont démontré qu'il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre le marquage à la LAF par l'aiguille et le marqueur pendulaire et que ces derniers semblent même être plus précis que le marqueur à bulle et le marqueur à tonomètre [159]. Igarashi et al en 2012 ainsi que Woo et al en 2015 ont objectivé que le marquage à la LAF est meilleur que le marquage visuel direct par marqueur ou par un stylo à encre [160, 231].

2. Le marquage de l'axe d'alignement de l'implant torique

Pour la méthode d'anesthésie, nous avons choisi l'anesthésie topique pour tous nos patients parce qu'elle procure les conditions idéales à la mise en place de l'implant torique dans le respect de la conjonctive en évitant le chémosis ou l'hémorragie conjonctivale qui peuvent venir perturber le marquage de l'axe d'alignement de l'implant.

Dans cette étude clinique, on a réalisé le marquage en trois étapes selon la méthode conventionnelle qui consiste en un marquage préopératoire de l'axe horizontal de référence. Ces marques sont utilisées pour positionner l'anneau de Mendez, l'axe d'alignement est ensuite marqué à l'aiguille ou par un stylo dérmographique en réalisant une empreinte cornéenne épithéliale fine et facilement visible.

Notre technique est la plus utilisée dans la littérature, elle diffère complètement de la technique en une seule étape. Dans cette dernière l'axe d'alignement est défini en début de chirurgie grâce à des marqueurs d'axe ou par des incisions intrastromales au laser femtoseconde [162], ou encore à la LAF graduée par une aiguille fine [232, 233]. Notre technique diffère aussi de la méthode en deux étapes « la technique de mapping de l'iris » où l'alignement de l'implant est effectué sur la base des caractéristiques de l'iris, après avoir pris une photo claire avant la chirurgie[164].

Carey et collaborateurs (2010) ont évalué la méthode de marquage en 3 étapes, mais en réalisant le marquage de référence sur 4 points limbiques pour que toute erreur commise lors du placement d'une marque ne soit pas automatiquement transférée aux autres marques. Les auteurs ont confirmé la précision de la méthode conventionnelle surtout avec l'utilisation de 4 points de référence [163].

Visser et collaborateurs (2011) ont évalué la précision de la méthode de marquage en 3 étapes et ont démontrés que l'erreur moyenne dans le marquage de l'axe de référence était de 2.4° , l'erreur dans le marquage de l'axe d'alignement était de 3.3° et une erreur moyenne de 2.6° dans l'alignement de l'implant. Les auteurs ont conclu alors que la méthode en trois étapes est parfaitement adaptée à l'implantation torique, car entraîne un défaut d'alignement global d'environ seulement 5° [165].

Cha et collaborateurs (2011) en comparant la méthode de marquage en 3 étapes et la méthode en 2 étapes (la méthode de cartographie de l'iris) pour l'alignement des implants toriques. Les résultats ont objectivé une erreur moyenne de 3.69° pour la méthode conventionnelle et de 2.29° avec la méthode de mapping. Les auteurs ont conclu que la méthode en 3 étapes est probablement légèrement moins précise[166].

Mayer et collaborateurs (2017), en comparant la méthode en 3 étapes et l'implantation à l'aide d'un système d'injection d'image, ont déclaré que l'utilisation de ces derniers dans la procédure opératoire améliore les résultats réfractifs postopératoires[167].

3. L'incision cornéenne :

Nous avons réalisé une incision de 2.2 mm en chevron (V inversé) chez tous nos patients, entre 130 et 135 ° et près du limbe conformément aux recommandations des différentes études réalisées dans la littérature.

Febbraro et collaborateurs (2015) ont démontré que les incisions de 2.2 mm, provoquent un astigmatisme induit chirurgicalement (AIC) compris entre 0.19 et 0.31 D pour les incisions en temporale et de 0.40 D pour les incisions en supérieur [150].

Jauhari et collaborateurs (2014) ont démontré que les incisions en V inversé (Chevron) donnent plus de stabilité géométrique et provoquent ainsi moins de changement et d'étirement sur les berges de l'incision lors de la chirurgie, produisant ainsi moins d'astigmatisme induit chirurgicalement[170].

Borasio et al [146] ainsi que Nikose et collaborateurs (2018) recommandent de pratiquer des incisions en temporal, car ces dernières induisent moins d'astigmatisme chirurgical que les incisions supérieures[147].

4. Le capsulorhéxis

La taille du capsulorhéxis dans notre série était inférieure ou égale à 5.4 mm dans 85.45 % et dans près de 92.73 % la taille du capsulorhéxis était inférieure ou égale à 5.6 mm. Ces chiffres sont en adéquation avec les recommandations des experts dans ce domaine qui stipulent que la taille du capsulorhéxis devrait idéalement être inférieure de 0.5 mm par rapport au diamètre de l'optique de l'implant torique. L'implant utilisé dans notre série présente un diamètre d'optique de 6 mm et par conséquent, la taille du capsulorhéxis idéale doit se situer aux environs de 5,5 mm.

Torquetti et al suggèrent que le grand capsulorhéxis représente un facteur de risque supplémentaire pour une rotation significative de l'implant torique en postopératoire[46]. Hollick et collaborateurs (1999) ont démontré que les grands capsulorhéxis (supérieurs à 5.5 mm) étaient associés à une opacification plus importante de la capsule postérieure. Les auteurs ont émis l'hypothèse, qu'un recouvrement incomplet des implants par le capsulorhéxis peut entraîner une prolifération et migration plus importante des cellules épithéliales résiduelles dans le sac capsulaire[172].

Dans notre série de patients, on a réalisé un capsulorhéxis curviligne circulaire plus au moins centré pour la totalité des patients. Ceci est dans le but d'augmenter la surface de contact entre l'implant et le sac cristallinien et ainsi améliorer la stabilité et éviter le décentrement de l'implant torique en postopératoire conformément aux études réalisées dans la littérature [173, 174]. Cependant, Findel et collaborateurs (2017) ont démontré que la taille et la forme du capsulorhéxis n'ont que peu d'effet sur la stabilité postopératoire des implants actuels. Seuls les yeux avec un capsulorhéxis sévèrement irrégulier avaient un implant légèrement décentré [175].

5. L'alignement de l'implant torique

Une phacoémulsification par la technique de Stop and Chop a été pratiquée chez tous nos candidats. L'alignement de l'implant sur les marques limbiques de l'axe de traitement a été réalisé par la méthode en deux temps décrite dans la plupart des études qui ont évalué l'apport des implants toriques. L'implant est tourné jusqu'à environ 20 ° à 30 ° de sa position souhaitée, le visqueux est ensuite enlevé puis les marques de l'implant sont superposées sur les repères cornéens.

Pour l'étanchéité de l'incision, nous avons réalisé une hydrosuture chez tous nos patients. Cette technique offre d'importants avantages pour l'implantation torique ; la facilité relative, le temps chirurgical réduit, un moindre astigmatisme induit chirurgicalement et la réduction du coût de la chirurgie [190]. Alors que certains auteurs ont objectivé quelques effets indésirables de ce mode de fermeture comme l'augmentation de l'œdème cornéen et des réactions en chambre antérieure, la diminution de l'acuité visuelle en postopératoire immédiat et les fuites de l'humeur aqueuse [191, 192].

D. LES PARAMÈTRES POSTOPÉRATOIRES

1. L'acuité visuelle sans et avec correction

L'évaluation de l'apport des implants toriques passe obligatoirement par l'étude de l'acuité visuelle postopératoire avec et sans correction. Notre étude s'est intéressée de façon plus approfondie à ces paramètres qui ont fait également le support de différentes études à travers la littérature conformément au tableau ci-joint :

Tableau 39 : distribution de l'AVSC et de l'AVAC en log MAR à 3 mois en postopératoire

AUTEURS, ANNÉE	YEUX	AVSC (LOG MAR)	AVAC (LOG MAR)
<i>NOTRE ÉTUDE, 2019</i>	55	0.12 ± 0,15 > 0.3 dans 90,9 % > 0.1 dans 74.6 % > 0.0 dans 41,8 %	0.01 ± 0,03
Mendicute, 2008[234]	30	0.16 ± 0,18 > 0.3 dans 100 % > 0.1 dans 93.3 %	0.02 ± 0,05 > 0.1 dans 100 %
Holland, 2010[235]	242	> 0.3 dans 92.2 % > 0.1 dans 63.4 % > 0.0 dans 40.7 %	> 0.3 dans 99.6 % > 0.0 dans 77.7 %
BACHERNEGG, 2013[196]	30	0.05 ± 0,12 > 0.1 dans 72% > 0.0 dans 56%	0.01 ± 0,1 > 0.2 dans 100% > 0.1 dans 87% > 0.0 dans 77%
SHEPPARD, 2013[186]	67	0.15 ± 0,17 > 0.3 dans 88%	0.09 ± 0,15
EMESZ, 2015[222]	54	0.02 ± 0,08 > 0.3 dans 100% > 0.1 dans 86% > 0.0 dans 50%	0.02 ± 0,07
LUBINSKI, 2016[221]	27	0.19 ± 0,12 > 0.3 dans 90% > 0.2 dans 59%	0.14 ± 0,10 > 0.3 dans 100% > 0.0 dans 33.3%

Dans notre série, la moyenne de l'AVSC est de $0.16 \pm 0,14$ (Log MAR) à 72 heures après la chirurgie. Cette AVSC s'améliore lors du contrôle à J15 : 0.12 ± 0.14 (Log MAR) et se stabilise par la suite lors des contrôles à 1 mois et à 3 mois aux environs de 0.11 ± 0.14 Log MAR.

L'amélioration de l'AVSC dans notre étude après l'insertion de l'implant torique Envista est comparable aux travaux réalisés avec les différents implants toriques [235-237]. La comparaison entre l'AVSC (0.9 ± 0.33 Log MAR) en préopératoire et l'AVSC en postopératoire est statistiquement significative ($p = 0.02$, ANOVA).

Une amélioration dans le temps de l'AVSC a été constatée chez nos patients avec différence statistiquement significative ($p = 0.01$, ANOVA) aux contrôles à J3 et à J15. Néanmoins, cette différence est non significative aux contrôles à J15, à un mois et à trois mois après la chirurgie ($p = 0.07$, test ANOVA). Ces constatations ont été aussi objectivées dans l'étude de Farooqui et al [33], Ahmed et al [238] ou une amélioration significative de l'acuité visuelle est constatée le premier mois et essentiellement les deux premières semaines après chirurgie, puis se stabiliser par la suite.

À trois mois en postopératoire, l'AVSC est supérieure ou égale à 0.3 Log MAR (5/10 Monoyer) dans 90.91 % des cas, et elle est supérieure ou égale 0.1 Log MAR (8/10 Monoyer) dans 74.55 % des cas et elle est de 0.0 Log MAR (10/10 Monoyer) dans 41.82 %. Ces données se rapprochent des résultats de Mendicute et al[234], Holland et al[235], Sheppard et al[186], Lubinski et al[221] et elles s'éloignent sensiblement des résultats de Bachernegg et al [196] avec l'implant Bi-Tflex (Rayner) et de Emesz et al [222] avec l'implant Acrysof (Alcon). Cette disparité est expliquée par le fait que dans ces deux dernières études l'implantation torique était planifiée par des systèmes d'injection d'image.

L'AVAC lors des contrôles est restée stable avec une différence statistiquement non significative ($p = 0.112$, ANOVA). La comparaison entre l'AVAC (0.67 ± 0.38 Log MAR) en préopératoire et l'AVAC en postopératoire lors des différents contrôles effectués, est statistiquement significative ($p = 0.001$, ANOVA).

À trois mois, la moyenne de l'AVAC est de 0.01 ± 0.03 Log MAR, elle est supérieure à 0,1 Log MAR (soit 8/10 sur l'échelle de Monoyer) chez 89.09 % des patients. Ceci est en parfaite adéquation avec plusieurs travaux de la littérature sur les implants toriques ; Mendicute et al [234] ont retrouvé une moyenne d'AVAC de 0.02 ± 0.05 Log MAR avec l'implant Acrysof (Alcon), Sheppard et al [186] ont retrouvé 0.09 ± 0.15 Log MAR avec l'implant Tecnis torique (Abbott), Weng et al [228] ont retrouvé 0.09 ± 0.11 Log MAR avec l'implant T-flex (Rayner), Krall et al [200] ont retrouvé une moyenne d'AVAC de 0.06 ± 0.12 Log MAR avec l'implant AT Torbi 709M (carl zeiss, meditec).

2. Les données réfractives

Les résultats réfractives en postopératoire sont d'un apport important pour évaluer l'efficacité d'un implant torique dans la neutralisation de l'astigmatisme cornéen lors de la chirurgie de cataracte. Les résultats réfractifs de certaines études de la littérature sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 40 : moyenne et distribution de la sphère et de l'astigmatisme résiduel en postopératoire

<i>Auteurs, année</i>	<i>yeux</i>	<i>Sphère résiduelle (D)</i>	<i>Astigmatisme résiduel (D)</i>
Notre étude, 2019	55	0.59 ±0,40 SR < 0,5 D dans 67,27 % SR < 0.75 D dans 76,4 % SR < 1 D dans 90.9 %	0.66 ±0,38 AR < 0,75 D dans 72,73 % AR < 1 D dans 89,1 % AR < 1,25 D dans 94,55 %
Ahmed, 2010[238]	164	SR < 0,5 D dans 77,2 % SR < 1 D dans 92,4 % SR < 2D dans 100 %	0.4 ± 0,4 AR < 0,5 D dans 70,7 % AR < 0,75 D dans 85,4 %
Entabi, 2011[236]	33	SR < 1 D dans 90,91 % SR < 1,25 D dans 94,55 %	0.95 ± 0,66
Hoffmann, 2011[201]	40	0.16 ± 0,87	0.67 ± 0,32
Bachernegg, 2013[196]	30	0.16 ± 0,33 SR < 0,5 D dans 90,0 % SR < 1 D dans 100 %	0.30 ± 0,54 AR < 0,5 D dans 80,0 % AR < 1 D dans 97,0 %
Sheppard, 2013[186]	67	0.24 ± 0,66	0.67 ± 0,54
Weng, 2014[228]		0.63 ± 0,49	0.77 ± 0,47 AR < 1 D dans 70,0 % AR < 1,5 dans 96,0 %
Krall, 2015[200]	88	0.18 ± 0,68	0.43 ± 0,48

Un bon résultat réfractif postopératoire avec les implants toriques est synonyme d'une sphère résiduelle (SR) aux environs de 0.5 D et un astigmatisme résiduel (AR) inférieur ou égal à 0.75 D.

❖ La sphère résiduelle (SR)

Dans notre série, la moyenne de la sphère résiduelle était de 0.72 ± 0.39 D à J3, de 0.56 ± 0.38 D lors du contrôle à J15 et de 0.59 ± 0.39 D au contrôle d'un mois. À trois mois, la moyenne de la sphère résiduelle a atteint 0.59 ± 0.40 D, avec :

- 67.27 % des patients avaient une SR inférieure ou égale à 0.5 D.
- 76.36 % des patients avaient une SR inférieure ou égale à 0.75 D.
- 90.91 % des patients avaient une SR inférieure ou égale à 1 D.
- 98.18 % des patients avaient une SR inférieure ou égale à 1.25 D

Ces données retrouvées dans notre travail se rapprochent sensiblement des résultats retrouvés dans certaines études de la littérature (cf. tableau 36). Weng et collaborateurs ont obtenu une moyenne de sphère résiduelle de 0.63 ± 0.49 D avec l'implant T-flex (rayner). Lubinski et collaborateurs ont retrouvé une moyenne de 0.62 ± 0.58 D avec l'implant Tecnis ZCT torique (abbott).

Cependant, nos résultats sont différents des résultats retrouvés par Mendicute et al (0.12 ± 0.44 D), Dardzhikova et al (SR= 0.02 ± 0.70 D) Hoffmann et al (SR= 0.16 ± 0.12) Bacherneegg et al (SR= 0.16 ± 0.33), Ahmed et al (SR inférieure ou égale à 0.5 D dans 77.2 % et inférieur ou égal à 1 D dans 92.4 %) et Bacherneegg et al (SR inférieure ou égale à 0.5 D dans 90 %, inférieur ou égal à 1 D dans 100 %).

Étant donné que nous avons utilisé la formule de Haigis (4 générations) recommandée par la quasi-totalité des experts, cette différence dans les résultats ne peut être expliquée que par le fait que tous ces auteurs ont utilisé un biomètre optique (IOL master, Zeiss) pour le calcul de la puissance sphérique des implants toriques, contrairement au biomètre contact à ultrasons utilisé dans notre étude clinique.

Ces résultats confirment la supériorité des biomètres optiques dans la prédiction de la position effective des implants « ELP » et par conséquent améliorent la précision de calcul de la puissance sphérique des implants toriques. Olsen et al ont démontré que la biométrie contact engendre un raccourcissement moyen de la longueur axiale de 0.1 à 0.33 mm[131], sachant qu'une erreur d'un

millimètre dans la mesure de la longueur axiale entraîne une erreur de réfraction d'environ 2.5 dioptries [115, 133, 136].

❖ L'astigmatisme résiduel (AR)

La moyenne de l'astigmatisme résiduel retrouvée dans notre série lors des différents contrôles était de $0.68 \pm 0.38D$ trois jours après la chirurgie, $0.70 \pm 0.35 D$ au contrôle de 15 jours, $0.67 \pm 0.37D$ à un mois et de $0.66 \pm 0.38 D$ à trois mois en postopératoire. Cette valeur d'astigmatisme résiduel constatée est supérieure à celle prévue par le calculateur torique qui est de $0.25 \pm 0.15 D$.

Cet astigmatisme résiduel est :

- inférieur ou égal à 0.75 D chez 72.73 % des patients opérés.
- Inférieur ou égale à 1 D dans 89.09 % des cas.
- Inférieur ou égale à 1.25 D chez 94.55 % des cas.

Dans notre étude, la comparaison entre les moyennes de l'astigmatisme réfractif préopératoire ($2.47 \pm 1.38 D$) et l'astigmatisme résiduel mesuré lors du contrôle final ($0.66 \pm 0.38D$) retrouve une différence statistiquement significative ($P = 0.001$, par le test ANOVA), ce qui témoigne de l'efficacité des implants torique dans la neutralisation de l'astigmatisme cornéen lors de la chirurgie de cataracte.

Les résultats de l'astigmatisme résiduel retrouvé dans notre travail se rapprochent sensiblement des résultats retrouvés par plusieurs auteurs :

Hoffmann et al, ont inséré l'implant acrysof (Alcon) à travers une incision de 2.2 mm dans 40 yeux de patients qui présentaient un astigmatisme cornéen régulier supérieur ou égal à 1.5 D. La moyenne de l'astigmatisme résiduel constatée était de $0.67 \pm 0.32 D$ [201].

Sheppard et al ont utilisé l'implant Tecnis torique (abbott) dans 67 yeux de patients qui présentaient un astigmatisme cornéen de 0.75D minimum. Les auteurs ont retrouvé une moyenne d'astigmatisme résiduel de $0.67 \pm 0.54D$ [186].

Miyake et al ont utilisé 378 implants Acrysof torique pour corriger les astigmatismes cornéens réguliers d'une dioptrie ou plus chez 302 patients. La moyenne retrouvée est de 0.59 ± 0.54 d'astigmatisme résiduel [188].

Cependant, d'autres études publiées par le passé présentent des différences par rapport à nos résultats :

Dardzhikova et al ont retrouvé une moyenne de 0.32 D d'astigmatisme résiduel avec l'implant Acrysof (Alcon) dans 111 yeux. L'astigmatisme résiduel était d'une dioptrie au maximum chez 93.0 % des patients[239]. Zarranz -ventura et al ont retrouvé en implantant 54 patients par l'acrysof torique une moyenne de 0.32 ± 0.58 D d'astigmatisme résiduel [240]. Ahmed et al ont constaté une moyenne de 0.4 ± 0.4 D d'astigmatisme résiduel, ce dernier était de 0.75 D au maximum dans 85.4 % et de 1.0 D au maximum dans 90.2 % des cas [238]. Tous ces auteurs ont utilisé un biomètre optique pour la mesure de la kératométrie, la profondeur de la chambre antérieure et la longueur axiale.

Krall et al ont retrouvé en implantant 88 yeux avec l'AT Torbi 709 M (Zeiss, meditec AG) une moyenne d'astigmatisme résiduel de 0.43 ± 0.48 D. Cette valeur réduite par rapport à la nôtre peut être expliquée par les micro-incisions de 1.8 mm pratiquées dans leur série de patients. Dans le même sens, Febbraro et al en analysant l'effet des incisions en 2.2 et 1.8 mm sur 190 yeux ont conclu que les incisions de 1.8 mm induisent un astigmatisme chirurgical plus négligeable, mais statistiquement non significatif [150].

Certaines études ont présenté des valeurs d'astigmatisme résiduel légèrement plus élevées :

Entabi et al ont constaté une moyenne de 0.95 ± 0.66 D et qui peut être due à la sélection des patients qui présentaient un astigmatisme cornéen d'au moins 2 D et au fait que l'incision principale était de 3.2 mm qui reste plus astigmatogène [148, 170].

Visser et al en implantant 67 yeux par l'implant Acrysof à travers une incision de 2.2 mm ont constaté un astigmatisme résiduel de 0.75 ± 0.49 D. Cet AR était inférieur ou égal à 0.75 D chez 62 % des patients et inférieur ou égal à 1 D dans 81 % des cas. Les critères de recrutement des patients dans cette série sur la base d'un astigmatisme cornéen d'au moins 2.25 D peuvent expliquer la valeur de l'astigmatisme résiduel constatée [184]. Goggin et al sur 38 yeux implantés par l'Acrysof torique, ont démontré qu'une partie de l'astigmatisme résiduel constaté est le résultat d'une sous-estimation du cylindre qui doit corriger l'astigmatisme au plan cornéen par le calculateur du fabricant [214].

La moyenne de l'astigmatisme résiduel à trois mois est de 0.66 ± 0.36 D chez les patients avec une longueur axiale de 24mm maximum et elle est de 0.66 ± 0.44 D chez les patients avec une longueur axiale supérieure à 24 mm. La différence n'est pas significative dans notre série

($P = 0.07$, test ANOVA), sachant que la longueur axiale dans notre série est comprise entre 21.73 mm et 25.09 mm.

Eom et al en analysant les résultats de l'implant torique Acrysof chez 94 yeux proposent d'ajuster la puissance cylindrique des implants toriques en fonction de la longueur axiale. Pour les yeux courts, la puissance cylindrique devrait être réduite, tandis qu'elle devrait être augmentée pour les yeux plus profonds [44]. Savini et al ont démontrés que la profondeur de la chambre antérieure (PCA), prédite par la kératométrie et la longueur axiale, possède une influence non négligeable sur le pouvoir astigmatique des implants toriques au plan cornéen surtout dans les yeux atypiques[38]

3. La rotation de l'implant (R)

Le désalignement constaté après la chirurgie est considéré comme une rotation par la majorité des auteurs. Inoue et al, pour la première fois en 2016, ont distingué dans une étude portant sur 72 yeux, l'erreur de positionnement de l'implant en peropératoire d'une erreur de rotation postopératoire. Le degré total de désalignement observé à 1 an après la chirurgie était de 6.67° en moyenne, dont 1.87° était attribuable à un placement imprécis de l'implant et 4.8° à la rotation de celui-ci [45].

Le bon alignement de l'implant torique et la stabilité de l'implant dans le sac capsulaire sont les seuls garants des bons résultats réfractifs en postopératoire. Dans l'ensemble, ils existent deux méthodes d'alignement :

- l'alignement manuel avec les différentes techniques existantes, le marquage direct de l'axe d'alignement, l'utilisation d'une photographie prise en préopératoire pour marquer l'axe souhaité pendant la chirurgie et la méthode en trois étapes « la méthode conventionnelle » qui est la plus utilisée dans la littérature.
- les systèmes d'injection d'image.

La rotation de l'implant en postopératoire produit une réduction de l'effet de correction du cylindre le long du méridien souhaité et une création d'un autre cylindre sur un nouveau méridien. Plusieurs méthodes sont décrites dans la littérature pour mesurer le degré de rotation des implants toriques dont la fente fine d'une LAF graduée, les méthodes mathématiques qui se basent sur les valeurs de réfraction et de la kératométrie postopératoires [198], les photographies et plus récemment l'aberrométrie et la tomographie en cohérence optique (OCT) [208, 209].

Pour évaluer la fiabilité et la stabilité postopératoire des implants toriques, plusieurs études dans la littérature se sont intéressées de façon précise à ce paramètre.

Tableau 41 : degré de rotation et les méthodes d'alignement et de mesure de la rotation

AUTEURS, ANNÉE	MÉTHODE D'ALIGNEMENT	DEGRÉ DE ROTATION (°)	MÉTHODE DE MESURE DE LA ROTATION
NOTRE ÉTUDE, 2019	Méthode conventionnelle	3.23 ± 2,15 ° R < 5 ° dans 85,45 % R < 10 ° dans 100 %	La LAF
HOLLAND, 2010	Méthode conventionnelle	3,8 ° R < 5 ° dans 87 % R < 10 ° dans 93,6 %	La LAF
AHMED, 2010	Méthode conventionnelle	R < 5 ° dans 91,1 % R < 10 ° dans 99 %	La LAF
VISSER, 2011	Méthode conventionnelle	3.2 ± 2,8 °	La LAF
BACHERNEGG, 2013	Système d'injection d'image	2.12 ± 3,45 °	La photographie
SHEPPARD, 2013	Méthode conventionnelle	3,4 ° R < 5 ° dans 85,3 % R < 10 ° dans 98,4 %	La LAF
WENG, 2015	Méthode conventionnelle	R < 5 ° dans 100 %	La photographie
Lee, 2018	Système d'injection d'image	2,72 ° R < 5 ° dans 91,9 %	Système de marquage digital

La moyenne de la rotation de l'implant torique dans notre série de patients mesurée à la LAF est de $2.41 \pm 2.13^\circ$ à J3, $3.07 \pm 2.19^\circ$ à J15, $3.21 \pm 2.07^\circ$ à 1 mois et de $3.23 \pm 2.15^\circ$ à 3 mois avec des extrêmes allant de 0° à 10° de rotation.

Cette rotation était inférieure ou égale à 5° dans 85.45 %, inférieure ou égale à 6° chez 90.91 % des patients et de 10° au maximum chez tous nos patients. Ces résultats témoignent de la bonne stabilité de notre implant dans le sac capsulaire en postopératoire.

Ces données sont similaires aux résultats retrouvés dans les travaux réalisés par Holland et al (242 yeux avec implant Acrysof) avec une moyenne de R de 3.8° et une $R < 5^\circ$ dans 87 %, Ahmed et al (164 yeux avec implant Acrysof) avec une $R < 5^\circ$ dans 91 %, Visser et al (67 yeux, implant Acrysof) avec une moyenne de R de $3.2 \pm 2.8^\circ$, Sheppard et al (67 yeux, implant Tecnis torique) avec une moyenne de R de $3,4^\circ$ et une $R < 5^\circ$ dans 85,3 %. Cette concordance peut être expliquée par le fait que toutes ces études ont utilisé les mêmes méthodes d'alignement (la méthode en trois étapes, conventionnelle) et de mesure de la rotation (la fente fine de la LAF).

Hirnschall et al (30 yeux, implant Tecnis torique) en mesurant la rotation sur des images prises en retroillumination par le logiciel Photoshop (Adobe Systems inc.) ont constaté une moyenne de $2.7 \pm 3.0^\circ$. Farooqui et al (64 yeux, implant Acrysof) ont constaté une moyenne de rotation de $3.44 \pm 2.60^\circ$ mesurée à la LAF et de 3.88 ± 2.86 avec le logiciel Photoshop et ont déclaré que les deux méthodes de mesure de la rotation étaient fiables, bien que la sensibilité est meilleure dans la méthode Photoshop[33].

Les données de rotation dans notre série sont très différentes des résultats obtenus par Bachernneg et al (implant Bi-Tflex, Rayner) avec une moyenne de rotation de $2.12 \pm 3.45^\circ$ et légèrement inférieure à l'étude de Lee et al qui ont constaté pour l'implant Acrysof une moyenne de rotation de 2.72° et qui était de 5° au maximum dans 91.9 %. Ceci peut être en rapport avec l'utilisation des systèmes d'injection d'image dans la planification des implants toriques.

En effet, Webers et al ont démontré que le défaut d'alignement était nettement moindre avec le marquage numérique comparé à la méthode conventionnelle, mais sans traduction sur l'acuité visuelle ou sur l'astigmatisme réfractif résiduel[183]. Visser et al ont constaté un défaut d'alignement moyen globale de 5° lors de l'utilisation de la méthode conventionnelle, avec une erreur de 2.4° lors du prémarquage, 3.3° lors du marquage de l'axe souhaité et 2.6° lors de l'alignement de l'implant dans le sac capsulaire [165].

Dans notre série, la rotation la plus importante est constatée au premier contrôle avec une moyenne de $2.41 \pm 2.13^\circ$, une augmentation non significative de la rotation est constatée entre le premier contrôle à J3 et le contrôle à 15 jours qui est de $3.07 \pm 2.19^\circ$ ($p = 0.13$, test ANOVA). Par la suite, la moyenne de rotation est pratiquement constante lors des contrôles à un mois ($3.21 \pm 2.07^\circ$) et à trois mois ($3.23 \pm 2.15^\circ$).

L'augmentation de la rotation lors des contrôles et surtout dans la période postopératoire précoce était constatée dans plusieurs études. Myake et al ont constaté en analysant la stabilité de l'implant Acrysof dans 378 yeux, une moyenne de rotation de $4,5 \pm 4,9$ à 24 heures de la chirurgie, $4,6 \pm 4,2^\circ$ après une semaine, $5,0 \pm 4,6^\circ$ à trois mois et de $4,1 \pm 3,0^\circ$ à deux ans après la chirurgie [188]. Emesz et al en utilisant un système d'injection d'image pour l'implantation torique dans 54 yeux, ont aussi constaté cette augmentation de la rotation avec une moyenne de $1,4 \pm 0,91^\circ$ à J1 et de $1,75 \pm 1,34^\circ$ deux mois après la chirurgie [222]. Inoue et al rapportent que la rotation la plus importante a été observée dans l'heure suivant l'opération avec $4,09^\circ$ en moyenne et une rotation globale de $4,8^\circ$ en moyenne après une année [45]. Cependant, Weng et al en utilisant l'implant T-flex (rayner) dans 24 yeux ont constaté que la rotation, mesurée par la méthode photographique, était stable lors de tous contrôles [228].

Dans notre travail, pour la classe de rotation 0° - 5° , l'astigmatisme résiduel était de $0,59 \pm 0,32D$, la moyenne de l'astigmatisme résiduel est plus élevée dans la classe de rotation 6° - 10° avec $1,09 \pm 0,44 D$. La relation entre le degré de rotation et la moyenne de l'astigmatisme résiduel est statistiquement significative ($P = 0,023$, test ANOVA).

Felipe et al ont démontré qu'un degré de rotation entraîne une réduction de l'effet cylindrique de l'implant torique de 3,3 %. Un défaut d'alignement inférieur à 5° modifie la réfraction de l'œil de moins de 0,50 dioptrie (D) et ne pose pas au final de problème pour la correction de l'astigmatisme. Cependant, un défaut d'alignement supérieur à 10° entraîne une diminution de l'effet correctif des implants toriques de 33 % [215].

La rotation dans notre série était de $3,19 \pm 1,76^\circ$ allant de (0° à 7°) chez les patients avec une longueur axiale inférieure à 24 mm et elle était plus importante chez les patients avec une longueur axiale supérieure à 24 mm, $3,41 \pm 3,29^\circ$ allant de (0° à 10°) mais reste statistiquement non significative ($p = 0,74$ par le test ANOVA).

Nos résultats se rapprochent sensiblement de plusieurs études publiées. En effet, il a été suggéré que les sacs capsulaires de grands diamètres sont souvent en corrélation avec une augmentation de la

longueur axiale, et pourraient être associés à une réduction de contact équatorial avec l'implant et donc une diminution de la stabilité de celui-ci. Shah et al en analysant la rotation de l'implant Acrysof sur 168 yeux, ont constaté une forte corrélation entre la longueur axiale de l'œil et le degré de rotation[205]. Ganesh et al en utilisant 5 marques d'implants toriques dans 221 yeux répartis en deux groupes, avec une $LA < 24$ mm et celui avec une $LA > 24$ mm, ont constaté une rotation plus importante des différents implants dans les yeux avec des longueurs axiales plus longues[39].

E. LES COMPLICATIONS

Dans la littérature, la chirurgie de cataracte avec implant torique n'est pas dénuée de complications. Ces complications sont :

- Soit inhérentes à la chirurgie de cataracte elle-même, telle que, l'opacification de la capsule postérieure, l'œdème maculaire cystoïde et le décollement de la rétine.
- Soit en rapport avec la rotation des implants toriques

Line Kessel et al (2016) dans une meta-analyse englobant 13 études randomisées, comprenant 707 yeux randomisés pour implantation torique et 706 yeux randomisés pour implantation de non torique avec ou sans incisions relaxantes, ont constaté un total de 23 complications randomisées pour le groupe avec implants toriques versus 11 complications randomisées pour le groupe non torique, avec une différence statistiquement non significative [35].

Dans notre étude, aucune complication sévère n'a été constatée lors des contrôles, mis à part un patient qui a présenté un léger œdème cornéen ayant régressé au bout de 10 jours sous traitement corticoïde en topique et une diminution de la densité cellulaire endothéliale moyenne dans notre série au contrôle à trois mois chiffrée à 2347 cellules/mm en postopératoire versus 2598 ± 349 cellules/mm² en préopératoire, mais la différence est revenue statistiquement non significative ($P = 0.47$, test de Kruskal-Wallis) et demeure plutôt attribuée à la technique de phacoémulsification.

Les résultats de l'étude clinique que nous avons réalisée sont en faveur d'une bonne sécurité de l'implant torique utilisé dans la gestion de l'astigmatisme cornéen lors de la chirurgie de cataracte

IX. ÉVALUATION FINANCIÈRE ET RECOMMANDATIONS

A. ÉVALUATION FINANCIÈRE

L'indépendance vis-à-vis du port des lunettes devient de plus en plus exigée par les patients demandeurs de chirurgie de la cataracte. L'absence de prise en compte de la correction concomitante de l'astigmatisme cornéen rend cette attente des patients impossible à satisfaire dans 20 à 30 % des cas.

Les implants toriques améliorent efficacement l'acuité visuelle puisque 91.3 % à 93.3 % des patients atteignent une acuité visuelle non corrigée égale ou supérieure à 5/10 (l'échelle de Monoyer) minimisant ainsi le recours à une deuxième intervention chirurgicale (chirurgie rétractive éventuellement) et procurant ainsi une amélioration significative de la qualité de vie des patients.

Cependant, les implants toriques coûtent plus cher que les implants standards et leur implantation nécessite plus de temps en chirurgie. Avec forcément un impact en matière de cout des soins de santé à court terme. Ainsi, compte tenu de l'impact potentiel sur les budgets nationaux de soins de santé, une analyse coût-efficacité est nécessaire pour aider les décideurs en matière de santé à prendre des décisions factuelles concernant l'allocation de ressources de santé.

Simons et al (2019) [241] sur la base des résultats de l'analyse coût-efficacité à court terme, ont conclu que la chirurgie de la cataracte avec implants toriques est moins rentable par rapport à la chirurgie de la cataracte avec implant standard et ils déclarent que malgré cela, refuser aux patients l'accès à un traitement jugé efficace par toutes les études reste aberrant et viennent même proposer le copayement comme un moyen alternatif au financement de cette procédure afin de ne pas grever les budgets nationaux de la santé. Par ailleurs, Pineda et al suggèrent que le traitement de l'astigmatisme avec des implants toriques procure plusieurs avantages importants, notamment la réduction du port de lunettes avec une amélioration des coûts de soins de santé à long terme [242].

Concernant l'étude clinique réalisée sur notre série de patients au sein du service d'ophtalmologie de l'HMRU de Constantine nous avons évalué l'estimation du cout supplémentaire approximatif d'une chirurgie de cataracte avec implant torique par rapport à la cataracte avec implant standard, et le montant de la facture est détaillé comme suit :

- Topographie cornéenne : 8000 Dinar Algérien (DA)
- L'implant torique vs implant standard : 45 000 DA vs 12000DA.

B. RECOMMANDATIONS

Les implants toriques semblent actuellement la solution la plus efficace dans la correction de l'astigmatisme cornéen. Cependant, elle implique une bonne sélection des patients, une analyse rigoureuse de l'astigmatisme oculaire à traiter, un calcul optimal de l'implant torique et un alignement précis de l'implant dans le sac capsulaire.

L'obtention de résultats visuels et réfractifs satisfaisants oblige à prendre certaines précautions pour l'optimisation de chaque étape de l'implantation torique :

1. Recommandations pour la sélection des patients :

- Il est important de traiter uniquement les astigmatismes cornéens réguliers rendant le rôle joué par la topographie cornéenne primordiale.
- Être très prudent devant des patients très exigeants, car pour l'implant le plus cher l'échec reste une option.
- Les astigmatismes minimes sont à reconsidérer, car ils peuvent être modifiés par une altération de la surface oculaire qui reste toujours à rechercher activement par un examen soigneux avec si nécessaire un traitement minimal d'un mois avant toute prise de décision concernant le patient.

2. Recommandations pour le calcul de l'implant torique :

- concernant la mesure de la kératométrie, elle doit être réalisée avant toute aplanation de la cornée. Le keratomètre automatisé est fiable à condition de refaire les mesures jusqu'à obtention des mesures concordantes.
- Pour la biométrie oculaire et le calcul de la puissance sphérique de l'implant, il est recommandé d'utiliser un biomètre optique, pour plusieurs raisons (1) il est non-contact (2) permet une bonne estimation de l'ELP (3) disposant de formules de calcul de quatrième génération très sophistiquées (4) donne des mesures kératométriques très fiables et remplace le kératomètre automatisé.

3. Recommandations pour le choix de l'implant torique

- Le choix de l'implant torique passe d'abord par le choix du calculeur qui doit prendre en considération l'astigmatisme cornéen postérieur lors du calcul.
- De préférence choisir les implants en acrylique hydrophobe qui sont plus stables et donnant moins d'opacification de la capsule postérieure en postopératoire.
- Le diamètre doit être de 11.5 mm au minimum pour plus de stabilité dans le sac capsulaire.

4. Recommandations lors de la chirurgie

- Le prémarquage à l'aiguille est une bonne technique à privilégier pour le marquage de l'axe de référence, parce qu'elle est plus précise (ne s'étale pas), peu couteuse, rapide et ne s'effaçant pas sous l'effet des clignements et des traitements mydriatiques
- Choisir l'anesthésie topique si possible
- L'incision principale doit être de 2.2 mm au maximum et le plus temporal possible parce qu'elle est moins astigmatogène.
- Le capsulorhéxis doit être plus petit que l'optique de l'implant pour permettre une large surface de contact avec le sac capsulaire et donc une bonne stabilité postopératoire.
- L'alignement de l'implant sur l'axe de l'astigmatisme à traiter doit être le plus précis possible. Il faut vérifier l'alignement de l'implant après le lavage du visqueux et avant de rétablir l'étanchéité de la cornée.
- L'hydrosuture est préférable pour fermer l'incision, mais si l'étanchéité n'est pas parfaite, un fil de suture 10/0 peut être utilisé sans trop tirer sur les berges de l'incision.

5. En cas de rotation importante supérieure à 10 °

Dans le cas où l'astigmatisme résiduel est important avec une sphère résiduelle acceptable, le patient doit être informé des différentes options thérapeutiques envisageables. Une chirurgie de repositionnement doit être réalisée dans un délai d'une semaine à un mois : pas avant une semaine, car l'implant peut encore tourner, mais pas au-delà d'un mois à cause des phénomènes d'adhésion avec le sac capsulaire. Cependant, dans le cas où l'astigmatisme résiduel et la sphère persistante sont importants, un changement de l'implant ou une chirurgie cornéenne réfractive peuvent être proposés.

X. CONCLUSION

En Algérie, la cataracte représente la première cause de cécité évitable, son taux de prévalence est de 13.8 % soit 1.2 à 1.3 million de personnes âgées de 40 ans et plus et ce nombre ne cesse d'augmenter en raison de l'allongement de l'espérance de vie. Selon plusieurs études réalisées à travers le monde, presque un tiers des patients portent un astigmatisme préexistant. Les implants toriques représentent actuellement la solution idéale, ils permettent de corriger l'astigmatisme cornéen préexistant en même temps que la chirurgie de la cataracte et procurent des résultats visuels satisfaisants selon la majorité des études publiées dans ce domaine.

Cependant, malgré les avantages de ces implants toriques, ils restent mal connus et rarement utilisés dans notre pays. La composante sphérique de la réfraction est belle et bien prise en charge, mais l'astigmatisme cornéen préexistant est occulté par la majorité de nos chirurgiens. Dans cette perspective et dans le but de mettre en avant cet astigmatisme cornéen d'une part, et pour étudier l'apport des implants toriques dans la gestion de cette composante cylindrique d'autre part, nous avons réalisé ce travail au niveau du service d'ophtalmologie de l'hôpital militaire universitaire de Constantine.

Dans ce travail nous avons utilisé un nouvel implant, l'implant Envista torique (bausch et lomb, Valéant, USA), cet implant n'a été commercialisé que depuis l'année 2018 et à notre connaissance aucune étude n'a été publiée pour évaluer l'apport et la sécurité de cet implant. Notre échantillon a été soumis à des critères de sélection très stricte pour retenir à la fin 55 yeux.

Les résultats de notre étude se rapprochent sensiblement des résultats obtenus dans différentes études et avec divers implants toriques. Une amélioration considérable de l'acuité visuelle sans correction a été constatée. En effet, dans 90.91 % des cas, elle est d'au moins 5/10 (0.3 Log MAR), supérieure ou égale à 8/10 (0.1 Log MAR) dans 74.55 % des cas et elle est de 9/10 au minimum (0.0 Log MAR) dans 41.82 % des yeux. Ces chiffres nous permettent de supposer une amélioration de la qualité de vie chez presque la totalité de nos patients (90 %) et une indépendance aux ports de verres correcteurs dans 75 % des yeux opérés.

L'amélioration évidente de l'acuité visuelle sans correction dans notre étude ne peut être que le témoin d'une bonne gestion de l'équivalent sphérique et de l'astigmatisme cornéen préexistant. Il est admis actuellement qu'un bon résultat réfractif postopératoire soit synonyme d'une sphère résiduelle (SR) aux environs de 0.5 D et un astigmatisme résiduel (AR) inférieur ou égale à 0.75 D. Les résultats

réfractifs finaux dans notre étude sont très satisfaisants et en concordance avec beaucoup d'études. Concernant l'astigmatisme résiduel, il était inférieur ou égal à 0.75 D chez 72.73 % des patients opérés et d'une dioptrie au maximum dans 89.09 % des yeux opérés. Concernant la sphère résiduelle, 67.27 % des yeux avaient une SR inférieure ou égale à 0.5 D et 76.36 % des yeux avaient une SR de 0.75 D ou moins. Une amélioration peut être apportée dans ce sens en optant pour un biomètre optique qui est plus recommandé pour le calcul des implants premiums.

De plus, toutes les études de la littérature ont témoigné de la sécurité de l'implant torique dans la gestion de l'astigmatisme cornéen, de même, aucune complication à moyen terme n'a été constatée chez nos patients avec l'implant Envista torique.

Les ophtalmologistes algériens à l'instar des ophtalmologistes du monde, doivent s'intégrer dans l'ère de la cataracte phacoréfractive. L'astigmatisme cornéen est présent avec une grande proportion chez nos patients qui sont candidats à une chirurgie de cataracte. Les implants toriques sont devenus incontournables, car ils apportent, contrairement aux techniques d'incisions cornéennes, la sécurité, l'efficacité et la reproductibilité, quelque soit l'astigmatisme à corriger et ne nécessitent aucune courbe d'apprentissage par rapport à la phacoémulsification habituelle.

Cependant, la pose d'un implant torique demande une rigueur à la fois dans l'évaluation préopératoire et dans la réalisation de l'acte chirurgical. De même, il faut au préalable que le chirurgien ait acquis la formation qui lui donnera l'assurance nécessaire pour proposer cette technique. Lors du bilan préopératoire, il est essentiel pour le chirurgien de faire une bonne évaluation quantitative de l'astigmatisme et même qualitative avec la topographie cornéenne qui est d'une aide précieuse, la biométrie doit être précise et reproductible avec utilisation des formules de calcul appropriées en fonction de la longueur axiale. Lors de l'intervention chirurgicale, le chirurgien doit réaliser un marquage horizontal avant la chirurgie sur un patient assis pour éviter la cyclotorsion, le marquage à l'aiguille est le plus simple et le plus précis et la phacoémulsification par micro-incision est indispensable à la fiabilité des résultats. Pour une bonne stabilité postopératoire, il est essentiel de réaliser un capsulorhéxis centré et plus petit que l'optique de l'implant posé, de laver le produit viscoélastique sous l'implant torique et d'attendre le déploiement des haptiques, souvent lent dans le cas des implants hydrophobes, afin d'assurer la stabilité rotationnelle.

Actuellement, de nouvelles perspectives s'annoncent, les avancées technologiques ont permis la manipulation de l'implant torique de la même manière qu'un implant monofocal standard en apportant plus de facilité avec plus de précision. Parmi ces dernières figurent les systèmes d'injection d'image qui ont permis de s'affranchir du marquage des axes de référence et de l'axe d'alignement de l'implant grâce à un système de reconnaissance connecté au microscope et les appareils de phacolo-laser qui permettent de réaliser des micro-incisions très peu astigmatogène et des capsulorhéxis parfaitement centrés et de taille adaptée.

Au terme de ce travail, on peut conclure que l'implantation torique est une procédure très fiable, reproductible et sûre pour la gestion de l'astigmatisme cornéen préexistant. En revanche, chaque chirurgien doit s'acquérir des connaissances pour la maîtrise de cette technique et obéir aux nouvelles normes et exigences des patients quant à une pathologie aussi fréquente qui est l'astigmatisme cornéen. De plus, une réduction du coût et une amélioration de la disponibilité des implants toriques dans notre pays ainsi qu'une étude évaluant la fréquence et les types d'astigmatisme cornéen dans notre population seront d'une aide appréciable avec un apport certain pour les chirurgies réfractives cristalliniennes et cornéennes.

SOMMAIRE DES ILLUSTRATIONS

<i>Figure 1 : Histopathologie de la cornée.....</i>	<i>4</i>
<i>Figure 2 : Histopathologie de l'épithélium cornéen et de la membrane de Bowman</i>	<i>8</i>
<i>Figure 3 : la membrane de Descemet (DM).....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 4 : Hiérarchie structurelle dans le collagène cornéen.....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 5 : anatomie macroscopique du cristallin sur coupe frontale</i>	<i>11</i>
<i>Figure 6 : les différentes amétropies sphériques schématisées sur un œil simplifié</i>	<i>17</i>
<i>Figure 7 : un œil schématique simplifié présentant un astigmatisme mixte direct.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 8 : le nomogramme de « Nichamin ».....</i>	<i>27</i>
<i>Figure 9 : L'implant torique</i>	<i>28</i>
<i>Figure 10 : Design des implants toriques.....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 11 : l'autoréfractomètre AR-31 (Nidek) et le biomètre optique Aladdin (topcon)</i>	<i>36</i>
<i>Figure 12 : Pentacam®.....</i>	<i>38</i>
<i>Figure 13 : OPD-Scan III (Nidek).....</i>	<i>38</i>
<i>Figure 14 : échogramme d'une biométrie à ultrasons</i>	<i>42</i>
<i>Figure 15 : biométrie contact</i>	<i>42</i>
<i>Figure 16 : biométrie par immersion</i>	<i>42</i>
<i>Figure 17 : les différentes générations de formules apparues</i>	<i>48</i>
<i>Figure 18 : les paramètres d'ajustement des formules de calcul</i>	<i>48</i>
<i>Figure 19 : le choix entre les différentes formules de calcul selon la longueur axiale.....</i>	<i>49</i>
<i>Figure 20 : le nomogramme de Baylor</i>	<i>52</i>
<i>Figure 21 : le calculateur torique de Barrett.....</i>	<i>54</i>
<i>Figure 22 : un schéma fourni par l'envista torique calculator.....</i>	<i>54</i>
<i>Figure 23 : technique de marquage à la LAF par une aiguille</i>	<i>58</i>
<i>Figure 24 : technique de marquage visuel direct par un marqueur de cionni.....</i>	<i>58</i>
<i>Figure 25 : technique de marquage par marqueur pondulaire</i>	<i>58</i>
<i>Figure 26 : Le marqueur numérique VERION™.....</i>	<i>64</i>
<i>Figure 27 : Image de l'iTrace pour guider l'alignement des implants intraoculaires</i>	<i>64</i>
<i>Figure 28 : Marquage de l'axe d'alignement de l'implant torique.....</i>	<i>66</i>
<i>Figure 29 : mesure de l'alignement de l'implant torique à la LAF</i>	<i>74</i>
<i>Figure 30 : mesure de l'alignement de l'implant torique par un smartphone.....</i>	<i>76</i>
<i>Figure 31 : mesure de l'alignement de l'implant torique par le logiciel Photoshop.....</i>	<i>76</i>
<i>Figure 32 : mesure de l'alignement de l'implant torique par OCT du segment antérieure.....</i>	<i>76</i>
<i>Figure 33 : implant piggyback</i>	<i>82</i>
<i>Figure 34 : analyseur de résultats torique (www.astigmatismfix.com)</i>	<i>82</i>
<i>Figure 35 : projecteur et rétracteur automatique</i>	<i>89</i>
<i>Figure 36 : lampe à fente BQ 900 (Haag-streit).....</i>	<i>89</i>
<i>Figure 37 : le Speedy-K (Luneau technology.....</i>	<i>89</i>
<i>Figure 38 : le tonomètre à air pulsé.....</i>	<i>91</i>
<i>Figure 39 : le biomètre à ultrasons en mode A ; le Axis II PR.....</i>	<i>91</i>
<i>Figure 40 : le microscope spéculaire</i>	<i>91</i>
<i>Figure 41 : le topographe cornéen le Pentacam HR® (oculus).....</i>	<i>91</i>
<i>Figure 42 : chirurgie de cataracte avec appareil de phacoémulsification</i>	<i>93</i>
<i>Figure 43 : microscope opératoire avec projection sur Écran LCD</i>	<i>94</i>
<i>Figure 44 : boîte d'instrumentation de cataracte par phacoémulsification.....</i>	<i>94</i>

Figure 45 : calcul d'implant avec l'Axis II PR (quantel medical) avec formule de Haigis	100
Figure 46 : topographie cornéenne avec le Pentacam	100
Figure 47 : inscription de données kératométriques sur le site https://envista.toriccalculator.com	102
Figure 48 : schéma fourni par le calculateur : envista.toriccalculator.com	102
Figure 49 : calcul de l'axe d'alignement de l'implant envista torique	108
Figure 50 : répartition de la population selon l'œil opéré	110
Figure 51 : répartition de la population selon le sexe.....	111
Figure 52 : répartition de la population selon les classes d'âge	112
Figure 53 : étude des antécédents de la population d'étude	112
Figure 54 : moyenne de l'équivalent sphérique préopératoire.....	114
Figure 55 : La moyenne de la puissance de l'astigmatisme total en préopératoire.....	114
Figure 56 : la moyenne de l'astigmatisme cornéen préopératoire.....	115
Figure 57 : La distribution de la moyenne de l'astigmatisme cornéen sur les classes d'âge.....	116
Figure 58 : La répartition selon l'importance de l'astigmatisme cornéen	116
Figure 59 : répartition de l'astigmatisme cornéen préopératoire selon le type	117
Figure 60 : Distribution de l'astigmatisme cornéen préopératoire selon les classes d'âge.....	117
Figure 61 : la répartition des types de cataracte dans la série d'étude.....	118
Figure 62 : Moyenne de l'astigmatisme cornéen antérieur topographique préopératoire.....	119
Figure 63 : la Moyenne de l'astigmatisme cornéen postérieur	120
Figure 64 : Distribution de l'astigmatisme cornéen postérieur	121
Figure 65 : Aspects cliniques de l'astigmatisme cornéen postérieur	121
Figure 66 : La moyenne de la longueur axiale des yeux opérés.....	122
Figure 67 : Distribution de la moyenne de la longueur axiale des yeux opérés.....	123
Figure 68 : Moyenne de la densité cellulaire endothéliale	124
Figure 69: Distribution de la moyenne de la densité endothéliale selon les tranches d'âge.....	124
Figure 70 : Moyenne de la puissance sphérique des implants toriques	125
Figure 71 : distribution des différentes puissances cylindriques utilisées	126
Figure 72 : Moyenne de l'astigmatisme total résiduel prévu en postopératoire	126
Figure 73 : distribution de la taille du capsulorhéxis	128
Figure 74 : histogramme représentant les moyennes de l'AVSC en Log MAR	129
Figure 75 : Évolution de la moyenne de l'AVSC en postopératoire.....	130
Figure 76 : La moyenne de l'acuité visuelle avec correction.....	131
Figure 77 : L'évolution de l'AVAC lors des contrôles.....	132
Figure 78 : La moyenne de la sphère résiduelle lors des contrôles postopératoires	133
Figure 79 : L'évolution de la moyenne de la sphère résiduelle postopératoire	134
Figure 80 : La répartition de la sphère résiduelle à 3 mois en postopératoire	135
Figure 81 : La moyenne de l'astigmatisme total résiduel en postopératoire	136
Figure 82 : Évolution de la moyenne de l'astigmatisme résiduel en postopératoire.....	136
Figure 83 : La répartition de l'astigmatisme total résiduel en postopératoire.....	137
Figure 84 : les paramètres de rotation des implants lors des contrôles postopératoires	139
Figure 85 : L'évolution de la moyenne de rotation lors des contrôles postopératoires.....	139
Figure 86 : Distribution de la rotation des implants toriques à trois mois en postopératoires	140
Figure 87 : Distribution selon les classes de la rotation de l'implant torique 3 mois postopératoires	141
Figure 88 : la moyenne de l'astigmatisme résiduel à 3 mois en fonction de la rotation.....	142
Figure 89 : moyenne de la densité endothéliale à 3 mois en postopératoire	144
Figure 90 : La densité cellulaire endothéliale en préopératoire et à 3 mois en postopératoire	144

SOMMAIRE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 : Tableau récapitulatif des différents implants toriques disponibles.....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 2 : Tableau récapitulatif de différents biomètres optiques actuellement disponibles.....</i>	<i>44</i>
<i>Tableau 3 : Spécificités de l'Envista torique.....</i>	<i>92</i>
<i>Tableau 4 : Moyenne d'âge pour la population d'étude</i>	<i>111</i>
<i>Tableau 5 : Répartition de la population selon le sexe.....</i>	<i>111</i>
<i>Tableau 6 : Moyenne de l'AVSC préopératoire.....</i>	<i>113</i>
<i>Tableau 7 : Moyenne de l'AVAC préopératoire</i>	<i>113</i>
<i>Tableau 8 : La distribution de l'astigmatisme cornéen sur les classes d'âge</i>	<i>115</i>
<i>Tableau 9 : Fréquence et aspect clinique des LPDR.....</i>	<i>118</i>
<i>Tableau 10 : La moyenne de l'astigmatisme cornéen antérieur préopératoire topographique</i>	<i>119</i>
<i>Tableau 11 : La moyenne de l'astigmatisme cornéen postérieure.....</i>	<i>120</i>
<i>Tableau 12 : Distribution de l'astigmatisme cornéen postérieur</i>	<i>120</i>
<i>Tableau 13 : Distribution de la longueur axiale des yeux opérés</i>	<i>122</i>
<i>Tableau 14 : la fréquence de différentes puissances cylindriques.....</i>	<i>125</i>
<i>Tableau 15 : La taille du capsulorhéxis effectuée.....</i>	<i>127</i>
<i>Tableau 16 : Les moyennes de l'acuité visuelle sans correction en Log MAR.....</i>	<i>129</i>
<i>Tableau 17 : Distribution de l'AVSC a 3 mois.....</i>	<i>130</i>
<i>Tableau 18 : La moyenne de l'acuité visuelle avec correction.....</i>	<i>131</i>
<i>Tableau 19 : La moyenne de la sphère résiduelle lors des contrôles postopératoires.....</i>	<i>133</i>
<i>Tableau 20 : La répartition de la sphère résiduelle à 3 mois</i>	<i>134</i>
<i>Tableau 21 : La moyenne de l'astigmatisme total résiduel en postopératoire</i>	<i>135</i>
<i>Tableau 22 : La répartition de l'astigmatisme total résiduel à 3 mois en postopératoire</i>	<i>137</i>
<i>Tableau 23 : Relation entre l'astigmatisme résiduel et la longueur axiale</i>	<i>138</i>
<i>Tableau 24 : La moyenne de rotation lors des contrôles postopératoires</i>	<i>138</i>
<i>Tableau 25 : Distribution de la rotation lors des contrôles à trois mois en postopératoires.....</i>	<i>140</i>
<i>Tableau 26 : Rapport entre la rotation et la moyenne de l'astigmatisme résiduel à 3 mois</i>	<i>141</i>
<i>Tableau 27 : la moyenne de rotation en fonction de la longueur axiale de l'œil opéré</i>	<i>142</i>
<i>Tableau 28 : les complications immédiates survenues en postopératoire</i>	<i>143</i>
<i>Tableau 29 : les complications à moyen terme survenues en postopératoire</i>	<i>143</i>
<i>Tableau 30 : la moyenne d'âge et sexe des patients dans différentes études</i>	<i>146</i>
<i>Tableau 31 : la moyenne de l'acuité visuelle en préopératoire</i>	<i>147</i>
<i>Tableau 32 : la moyenne de la sphère, l'astigmatisme réfractif et cornéen en préopératoire</i>	<i>149</i>
<i>Tableau 33 : la moyenne de l'équivalent sphérique et de l'astigmatisme cornéen préopératoire</i>	<i>151</i>
<i>Tableau 34 : la moyenne et l'aspect clinique de l'astigmatisme cornéen postérieur.....</i>	<i>152</i>
<i>Tableau 35 : la moyenne de la longueur axiale et le type de biomètre utilisé</i>	<i>154</i>
<i>Tableau 36 : l'équivalent sphérique, le biomètre et la formule de calcul utilisée</i>	<i>155</i>
<i>Tableau 37 : les différents cylindres et leurs degrés d'action au plan cornéen</i>	<i>157</i>
<i>Tableau 38 : Puissance du cylindre et son action au plan cornéen pour l'acrysof.....</i>	<i>158</i>
<i>Tableau 39 : Distribution de l'AVSC et de l'AVAC en log MAR à 3 mois en postopératoire.....</i>	<i>163</i>
<i>Tableau 40 : Moyenne et distribution de la sphère et de l'astigmatisme résiduel en postopératoire</i>	<i>165</i>
<i>Tableau 41 : Degré de rotation et les méthodes d'alignement et de mesure de la rotation.....</i>	<i>170</i>

ANNEXES

ANNEXE 1 : FICHE DE CONSENTEMENT

Je soussigné Mme/Melle/M..... Donne mon consentement éclairé, après avoir reçu toutes les informations, indications et contre-indications nécessaires concernant le plan de traitement qui sera réalisé par le Dr....., après bilan clinique, étude des examens complémentaires et après avoir obtenu les réponses satisfaisantes à mes questions concernant ces actes.

Fait en double exemplaire, à..... Le.....

Signature du malade

Signature Dr L Degdeg

ANNEXE 2 : FICHE DE MALADE

Hôpital militaire régional universitaire de Constantine

« Docteur Abdelali Benbaatouche »

Service d'ophtalmologie

1- IDENTIFICATION :

Nom	.....
Prénom	.....
Âge	.....
sexe	<input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F
Œil avec cataracte	<input type="checkbox"/> Œil droit <input type="checkbox"/> Œil gauche

2- EXAMEN OPHTALMOLOGIQUE

- ÉTUDE DES ANTÉCÉDENTS

diabète	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> non
HTA	<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> non
Port de correction	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> VL	<input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> VP
Autres :		
<input type="checkbox"/> CHIRURGIE OCULAIRE ANTÉRIEURE/RÉFRACTIVE	<input type="checkbox"/> TRAUMATISME OCULAIRE	
<input type="checkbox"/> DYSTROPHIE CORNÉENNE - KERATOCONE	<input type="checkbox"/> DYTROPHIE/OEDÈME MACULAIRE	
<input type="checkbox"/> DMLA/AUTRES MACULOPATHIE	<input type="checkbox"/> RD/AMBLYOPIE	
<input type="checkbox"/> NEUROPATHIE OPTIQUE/GLAUCOME	<input type="checkbox"/> UVÉITE / VASCULARITE/	

- ÉTUDE DE LA RÉFRACTION ET DE LA KERATOMETRIE

AVSC	..... /10	Log MAG
AVAC	..... /10	Log MAG
SPHÈRE	.....
AST TOTAL		AXE
K1	.....	AXE
K2	.....	AXE
AST CORNEEN (K1 - K2)	.....	AXE

- **ÉTUDE DU SEGMENT ANTÉRIEURE**

CORNÉE	<input type="checkbox"/> NORMAL <input type="checkbox"/> PATHOLOGIQUE SI PATHOLOGIQUE :
CA	<input type="checkbox"/> NORMAL <input type="checkbox"/> PATHOLOGIQUE SI PATHOLOGIQUE :
DILATATION	<input type="checkbox"/> MINIME <input type="checkbox"/> MOYENNE <input type="checkbox"/> BONNE
PEC	<input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON
TYPE DE CATARACTE	S/CAP ANT <input type="checkbox"/> S/CAP POST <input type="checkbox"/> NUCLÉAIRE <input type="checkbox"/> COTICO-NUCL <input type="checkbox"/> CORTICALE <input type="checkbox"/> TOTALE <input type="checkbox"/>
TONUS OCULAIRE	<input type="checkbox"/> NORMAL <input type="checkbox"/> PATHOLOGIQUE SI PATHOLOGIQUE :
ÉTUDE DE L'AIC	<input type="checkbox"/> NORMAL <input type="checkbox"/> PATHOLOGIQUE SI PATHOLOGIQUE :

- **ÉTUDE DU SEGMENT POSTÉRIEURE**

VITRE	<input type="checkbox"/> NORMAL <input type="checkbox"/> PATHOLOGIQUE SI PATHOLOGIQUE :
PAPILLE	<input type="checkbox"/> NORMAL <input type="checkbox"/> PATHOLOGIQUE SI PATHOLOGIQUE :
MACULA	<input type="checkbox"/> NORMAL <input type="checkbox"/> PATHOLOGIQUE SI PATHOLOGIQUE :
RÉTINE PÉRIPHÉRIQUE	<input type="checkbox"/> NORMAL <input type="checkbox"/> PATHOLOGIQUE SI PATHOLOGIQUE :
LPDR	<input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON SI OUI :

3- LES EXAMENS COMPLÉMENTAIRES

- LA TOPOGRAPHIE CORNÉENNE

K1	.....	Axe
K2	.....	Axe
K anté (K1 – K2)	.....	Axe
Type astigmatisme ante	<input type="checkbox"/> WTR	<input type="checkbox"/> ATR
K post	.....	Axe
Type astigmatisme post	<input type="checkbox"/> WTR	<input type="checkbox"/> ATR
PROFONDEURE CA	.....

- LA BIOMÉTRIE OCULAIRE

La longueur axiale	.....
Puissance sphérique de l'implant	Haigis	
	..... D	

- LA MICROSCOPIE SPÉCULAIRE

DENCITE CELLULAIRE
--------------------	-------

4- CALCUL DE L'IMPLANT TORIQUE

MODÈLE DE L'IMPLANT	Sphère :	cylindre :
AXE D'ALIGNEMENT		
SITE DE L'INCISION	<input type="checkbox"/> 130° <input type="checkbox"/> 135°	
SIA (astigmatisme chirurgicalement)	..... D	Axe
AST TOTAL RESIDUEL PREVU	..... D	Axe

5- EN SALE OPÉRATOIRE

MARQUAGE PRÉOPÉRATOIRE	<input type="checkbox"/> Aiguille/LAF <input type="checkbox"/> Crayon / LAF <input type="checkbox"/> Crayon /SALE OP
TYPE D'ANESTHÉSIE	<input type="checkbox"/> CEBESINE COLLYRE <input type="checkbox"/> PERIBULBAIRE
MARQUAGE PER-OPERATOIRE	<input type="checkbox"/> MENDEZ RING-BORRIS MARKER <input type="checkbox"/> IMAGE GUIDED SYSTEM (VERION –ALCON COMPANY)
INCISION 2.2mm	<input type="checkbox"/> 120 – 130 <input type="checkbox"/> 130 – 135
CAPSULORREHEXIS	<input type="checkbox"/> RÉGULIER <input type="checkbox"/> NON RÉGULIER <input type="checkbox"/> < 5,5 mm <input type="checkbox"/> < 6,0 mm
TECHNIQUE DE PHACOEMULSIFICATION	<input type="checkbox"/> DIVIDE AND CONQUER <input type="checkbox"/> STOP AND CHOP <input type="checkbox"/> CHOP
RUPTURE CAPSULAIRE	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> non
ALIGNEMENT DE L'IMPLANT	<input type="checkbox"/> BON ALIGNEMENT <input type="checkbox"/> +/- – BON
SUTURE CORNÉENNE	<input type="checkbox"/> FILS <input type="checkbox"/> HYDROSUTURE

6- CONTROLE A J3 POSTOPERATOIRE

AVSC	..... / 10	Log MAR :	AVAC	..... / 10	Log mar :
SPHÈRE	.....		AST	.....	Axe
AXE			ROTATION		
OEDÈME DE CORNÉE	<input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON SI OUI :		UVÉITE	<input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON SI OUI :	
ENDOPHTALMIE	<input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON SI OUI :		DR	<input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON SI OUI :	

7- CONTROLE A J15 POSTOPERATOIRE

AVSC	..... / 10	Log MAR :	AVAC	..... / 10	Log MAR :
SPHÈRE	.....		AST	.....	Axe
AXE aligne			R		
OEDÈME cne	<input type="checkbox"/> OUI SI OUI :	<input type="checkbox"/> NON	UVÉITE	<input type="checkbox"/> OUI SI OUI :	<input type="checkbox"/> NON
ENDOPHT	<input type="checkbox"/> OUI SI OUI :	<input type="checkbox"/> NON	DR	<input type="checkbox"/> OUI SI OUI :	<input type="checkbox"/> NON

8- CONTROLE A 1 MOIS POSTOPÉRATOIRE

AVSC	..... / 10	Log MAR :	AVAC	..... / 10	Log MAR :
SPHÈRE	.....		AST	.....	Axe
AXE aligne			ROTATION		
OEDÈME cne	<input type="checkbox"/> OUI SI OUI :	<input type="checkbox"/> NON	UVÉITE	<input type="checkbox"/> OUI SI OUI :	<input type="checkbox"/> NON
ENDOPH	<input type="checkbox"/> OUI SI OUI :	<input type="checkbox"/> NON	IRVINE GASS	<input type="checkbox"/> OUI SI OUI :	<input type="checkbox"/> NON
LPDR	<input type="checkbox"/> OUI SI OUI :	<input type="checkbox"/> NON	DR	<input type="checkbox"/> OUI SI OUI :	<input type="checkbox"/> NON

9- CONTROLE A 3 MOIS POSTOPÉRATOIRE

AVSC	..... / 10	Log MAR :	AVAC	..... / 10	Log MAR :
SPHÈRE			AST POST-OP	.....	Axe
AXE aligne			Rotation		
OEDÈME cne	<input type="checkbox"/> OUI SI OUI :	<input type="checkbox"/> NON	Opa c post	<input type="checkbox"/> OUI SI OUI :	<input type="checkbox"/> NON
Irvine Gass	<input type="checkbox"/> OUI SI OUI :	<input type="checkbox"/> NON	UVÉITE	<input type="checkbox"/> OUI SI OUI :	<input type="checkbox"/> NON
NO	<input type="checkbox"/> OUI SI OUI :	<input type="checkbox"/> NON	DR	<input type="checkbox"/> OUI SI OUI :	<input type="checkbox"/> NON

XI. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Ophthalmology, C.J.o., Guide de pratique clinique factuelle de la Société canadienne d'ophtalmologie pour la chirurgie de la cataracte de l'œil adulte. Canadian Journal of Ophthalmology / Journal Canadien d'Ophtalmologie, 2008. 43 : p. S35-S57.
2. Guirou, N., et al., [Visual outcome of cataract surgery in adults]. J Fr Ophtalmol, 2013. 36(1): p. 19-22.
3. Liu, Y.-C.W., Mark Kim, Terry Malyugin, Boris Mehta, Jodhbir S., Cataracts. The Lancet, Elsevier, 2017(February 24, 2017): p. 1-13.
4. Prévention, M.a.D.d.l. Synthèse des résultats de l'enquête nationale sur les maladies oculaires cécitantes (algérie) MINISTERE DE LA SANTE,DIRECTION DE LA PREVENTION (algérie) 2009; Available from:<https://www.google.fr/#q=pr%C3%A9valence+des+maladies+oculaires>
5. Olson, R.J., AJO Centennial: Cataract Surgery From 1918 to the Present and Future—Just Imagine! American Journal of Ophthalmology, 2017.
6. Berthélémy, S., La cataracte. Actualités Pharmaceutiques, 2016. 55(558): p. 39-42.
7. Daien, V., et al., Incidence and Characteristics of Cataract Surgery in France from 2009 to 2012: A National Population Study. Ophthalmology, 2015. 122(8): p. 1633-8.
8. Renouvin, A., P. Fournié, and V. Soler, Les évolutions dans le traitement de la cataracte. NPG Neurologie - Psychiatrie - Gériatrie, 2016. 16(92) : p. 64-72.
9. S. ZALUSKI VISIS, P., Quoi de neuf en chirurgie de la cataracte. réalités Ophtalmologiques – , 2017. n° 241(_Avril 2017) : p. 25-32.
10. Wolffsohn, J.S., G. Bhogal, and S. Shah, Effect of uncorrected astigmatism on vision. Journal of Cataract & Refractive Surgery, 2011. 37(3): p. 454-460.
11. Singh, A., et al., Relation between Uncorrected Astigmatism and Visual Acuity in Pseudophakia. Optometry and Vision Science, 2013. 90(4): p. 378-384.
12. Lee, Y.-C., Astigmatism considerations in cataract surgery. Tzu Chi Medical Journal, 2013. 25(1): p. 19-22.
13. Dr. Michael Goggin, S.-F.M., David Varssano,Dieudonne Kaimbo Wa Kaimbo,M. Vilaseca,Jaime Tejedor and Antonio Guirao,Jean-Louis Bourges,Massimo Camellin and Samuel Arba-Mosquera.. Astigmatism : optics, physiology and management p. cm. ISBN 978-953-51-0230-4 ed. www.intechopen.com, ed. M.G.p.c.l. 978-953-51-0230-4. 2012, www.intechopen.com: Published by InTech Janeza Trd 20.
14. Rubenstein, J.B. and M. Raciti, Approaches to corneal astigmatism in cataract surgery. Current Opinion in Ophthalmology, 2013. 24(1): p. 30–34.
15. Ganekal, S., S. Dorairaj, and V. Jhanji, Limbal relaxing incisions during phacoemulsification: 6-month results. Journal of Cataract & Refractive Surgery, 2011. 37(11): p. 2081-2082.
16. Lever, J. and E. Dahan, Opposite clear corneal incisions to correct pre-existing astigmatism in cataract surgery. Journal of Cataract & Refractive Surgery, 2000. 26(6): p. 803-805.
17. Tadros, A., et al., Opposite clear corneal incisions on the steep meridian in phacoemulsification: Early effects on the cornea. Journal of Cataract & Refractive Surgery, 2004. 30(2): p. 414-417.
18. Qammar, A. and P. Mullaney, Paired opposite clear corneal incisions to correct preexisting astigmatism in cataract patients. Journal of Cataract & Refractive Surgery, 2005. 31(6): p. 1167-1170.
19. Khokhar, S., et al., Corneal astigmatism correction with opposite clear corneal incisions or single clear corneal incision: Comparative analysis. Journal of Cataract & Refractive Surgery, 2006. 32(9): p. 1432-1437.
20. Mendicute, J., et al., Toric intraocular lens versus opposite clear corneal incisions to correct astigmatism in eyes having cataract surgery. Journal of Cataract & Refractive Surgery, 2009. 35(3): p. 451-458.

21. Mingo-Botín, D., et al., Comparison of toric intraocular lenses and peripheral corneal relaxing incisions to treat astigmatism during cataract surgery. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2010. 36(10): p. 1700-1708.
22. Hayashi, K., M. Yoshida, and K. Yoshimura, Effect of steepest-meridian clear corneal incision for reducing preexisting corneal astigmatism using a meridian-marking method or surgeon's intuition. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2014. 40(12): p. 2050-2056.
23. Jeon, J.H., et al., Comparison of Refractive Stability After Non-toric Versus Toric Intraocular Lens Implantation During Cataract Surgery. *American Journal of Ophthalmology*, 2014. 157(3): p. 658-665.e1.
24. Maedel, S., et al., Rotational performance and corneal astigmatism correction during cataract surgery: Aspheric toric intraocular lens versus aspheric nontoric intraocular lens with opposite clear corneal incision. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2014. 40(8): p. 1355-1362.
25. Titiyal, J.S., et al., Toric intraocular lens implantation versus astigmatic keratotomy to correct astigmatism during phacoemulsification. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2014. 40(5): p. 741-747.
26. Nanavaty, M.A., et al., Toric Intraocular Lenses Versus Peripheral Corneal Relaxing Incisions for Astigmatism Between 0.75 and 2.5 Diopters During Cataract Surgery. *American Journal of Ophthalmology*, 2017. 180(Supplement C): p. 165-177.
27. Saragoussi, J.J., La chirurgie du cristallin combinée à la chirurgie de l'astigmatisme, incisions ou implants ? *Journal Français d'Ophtalmologie*, 2012. 35(7) : p. 539-545.
28. T. AMZALLAG Institut Ophtalmique Nord de France and SOMAIN., Correction cristallinienne de l'astigmatisme : examen préopératoire. *réalités Ophtalmologiques* 2015. 226(Novembre 2015) : p. 12-18.
29. Perez, M., Les moyens d'analyse et de repérage pré- et peropératoires des astigmatismes. *Journal Français d'Ophtalmologie*, 2012. 35(3) : p. 196-201.
30. Nienke Visser, M., Noel J.C. Bauer, MD, PhD, Rudy M.M.A. Nuijts, MD, PhD, Toric intraocular lenses: Historical overview, patient selection, IOL calculation, surgical techniques, clinical outcomes, and complications. *J Cataract Refract Surg* 2013; 39:624–637 Q 2013 ASCRS and ESCRS, 2013. VOL 39, 3(APRIL 201).
31. Sinha, R., et al., Toric intraocular lenses: A review. *Journal of Clinical Ophthalmology and Research*, 2013. 1(3): p. 193-196.
32. BRUNA V. VENTURA^{1, 3}, LI WANG¹, MITCHELL P. WEIKERT¹, SHAUN B. ROBINSON¹ DOUGLAS D. KOCH¹, Surgical management of astigmatism with toric intraocular lenses *Arq Bras Oftalmol.* , 2014. 2014;77(2):125-31: p. 125-131.
33. Farooqui, J.H., et al., Management of moderate and severe corneal astigmatism with AcrySof(R) toric intraocular lens implantation - Our experience. *Saudi J Ophthalmol*, 2015. 29(4): p. 264-9.
34. Khan, M., S. Ch«SQ»ng, and M. Muhtaseb, The use of toric intraocular lens to correct astigmatism at the time of cataract surgery. *Oman Journal of Ophthalmology*, 2015. 8(1): p. 38-43.
35. Line Kessel, M., PhD,^{1,2} Jens Andresen, MD, PhD,³ Britta Tendal, PhD,^{2,4} Ditte Erngaard, MD,⁵ and M. Per Flesner, PhD,⁶ Jesper Hjortdal, PhD, DMSci⁷, Toric Intraocular Lenses in the Correction of Astigmatism During Cataract Surgery A Systematic Review and Meta-analysis. *Ophthalmology / the American Academy of Ophthalmology* Published by Elsevier Inc., 2016. Volume 123, Number 2, (February 2016): p. 275-286.
36. Hasegawa, Y., et al., Effect of preoperative corneal astigmatism orientation on results with a toric intraocular lens. *J Cataract Refract Surg*, 2013. 39(12): p. 1846-51.
37. Savini, G., et al., Optimized keratometry and total corneal astigmatism for toric intraocular lens calculation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2017. 43(9): p. 1140-1148.
38. Savini, G., et al., Influence of axial length and corneal power on the astigmatic power of toric intraocular lenses. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2013. 39(12): p. 1900-1903.
39. Dr Sri Ganesh. MS, D., 2Dr Savio Pereira. MS, DNB, 3Dr Sathish Prabhu . and D. MS, 4Dr Kalpesh Jain, DOMS, DNB, FGOP, Influence of axial length on Toric IOL rotational stability - a retrospective

study. IOSR Journal of Dental and Medical Sciences (IOSR-JDMS), 2015. Volume 14(Issue 10 Ver.III (Oct. 2015)), www.iosrjournals.org : p. PP 91-96 PP 91-96.

40. Engren, A.-L. and A. Behndig, Anterior chamber depth, intraocular lens position, and refractive outcomes after cataract surgery. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2013. 39(4): p. 572-577.
41. gatinel, D., Choix pertinent et limites des formules de calcul present et future .pdf>. *Réalités-Ophthalmologiques-215-Septembre-2014*, 2014. 215(2014) : p. 1-7.
42. Kent, C., Nailing the Target Meridian in toric iol. review of ophthalmology, 2017. Volume XXIV No. 2 (February 2017) : p. 26-33.
43. Plat, J., et al., Clinical and biometric determinants of actual lens position after cataract surgery. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2017. 43(2): p. 195-200.
44. Eom, Y., et al., Effect of effective lens position on cylinder power of toric intraocular lenses. *Canadian Journal of Ophthalmology / Journal Canadien d'Ophthalmologie*, 2015. 50(1) : p. 26-32.
45. Inoue, Y., H. Takehara, and T. Oshika, Axis Misalignment of Toric Intraocular Lens: Placement Error and Postoperative Rotation. *Ophthalmology*, 2017. 124(9): p. 1424-1425.
46. Leonardo Torquetti, M., PhD and B. Para de Minas, Toric intraocular lens rotation related to the capsulorhexis. *J CATARACT REFRACT SURG* 2015. 41(FEBRUARY 2015).
47. Argal, S., Newer intraocular lens materials and design. *Journal of Clinical Ophthalmology and Research*, 2013. 1(2): p. 113-117.
48. Jorgensen, A. and C.H. Weber, New Intraocular Lenses. *Advances in Ophthalmology and Optometry*, 2017. 2(1): p. 167-176.
49. Felipe, A., et al., Residual astigmatism produced by toric intraocular lens rotation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2011. 37(10): p. 1895-1901.
50. Sridhar, M.S., Anatomy of cornea and ocular surface. *Indian journal of ophthalmology*, 2018. 66(2): p. 190-194.
51. Dua, H.S., et al., Human corneal anatomy redefined: a novel pre-Descemet's layer (Dua's layer). *Ophthalmology*, 2013. 120(9): p. 1778-85.
52. DelMonte, D.W. and T. Kim, Anatomy and physiology of the cornea. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2011. 37(3): p. 588-598.
53. Meek, K.M. and C. Boote, The organization of collagen in the corneal stroma. *Experimental Eye Research*, 2004. 78(3): p. 503-512.
54. Asbell, P. and D. Brocks, Cornea Overview A2 - Dartt, Darlene A, in *Encyclopedia of the Eye*. 2010, Academic Press: Oxford. p. 522-531.
55. Meek, K.M. and C. Knupp, Corneal structure and transparency. *Progress in retinal and eye research*, 2015. 49: p. 1-16.
56. Cogan, D.G., Anatomy of lens and pathology of cataracts. *Experimental Eye Research*, 1962. 1(4): p. 291-IN3.
57. Danysh, B.P. and M.K. Duncan, The lens capsule. *Experimental eye research*, 2009. 88(2): p. 151-164.
58. Kasturi, N. and J. Matalia, Anatomy of the Human Crystalline Lens. 2017. p. 13-16.
59. ZANCA, p.M., DIOPTRIQUE OCULAIRE ET AMÉTROPIES. 2012.
60. Alain J Pechreau, M.C.B., André Roth (Genève) LA RÉFRACTION, in ÉDITEUR (2000) : À PÉCHEREAU POUR LISSAC OPTICIEN ÉDITEURS (2 005) : À PÉCHEREAU & B RICHARD POUR FNRO ÉDITIONS ÉDITEURS (2 007) : À & J PÉCHEREAU, SFO, Editor. 2007. p. 115-118.
61. Roth, A., La Refraction. Ed A & J Péchereau 2006, 2006. Ed A & J Péchereau. Nantes, 2006(2006) : p. 4-13.
62. gatinel, D., Redécouvrir l'astigmatisme. *Réalités Ophthalmologiques* 2007. N° 147 - Cahier 2(Novembre 2007).
63. J.-L. FEBBRARO Institut Laser Vision A. de Rothschild, P., Maîtrise de l'astigmatisme en chirurgie de la cataracte. *réalités Ophthalmologiques*, 2015. 226(Novembre 2015) : p. 23-30.
64. D. GATINEL Fondation Rothschild, C., PARIS, Composantes de l'astigmatisme oculaire. *réalités ophthalmologiques* 2014. 210(210_Février 2014) : p. 8-15.

65. Kohnen, T., Posterior corneal astigmatism. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2013. 39(12): p. 1795.
66. Reitblat, O., et al., Effect of posterior corneal astigmatism on power calculation and alignment of toric intraocular lenses: Comparison of methodologies. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2016. 42(2): p. 217-225.
67. Koch, D.D., et al., Correcting astigmatism with toric intraocular lenses: Effect of posterior corneal astigmatism. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2013. 39(12): p. 1803-1809.
68. Savini, G., et al., Influence of posterior corneal astigmatism on total corneal astigmatism in eyes with moderate to high astigmatism. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2014. 40(10): p. 1645-1653.
69. Ueno, Y., et al., Corneal Thickness Profile and Posterior Corneal Astigmatism in Normal Corneas. *Ophthalmology*, 2015. 122(6): p. 1072-1078.
70. Goggin, M., et al., Outcome of adjustment for posterior corneal curvature in toric intraocular lens calculation and selection. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2016. 42(10): p. 1441-1448.
71. amar agarwal, m., douglas d. koch, md, and william b. trattler, md, Toric IOL Calculations: Consider the Posterior Cornea. 2004: www.eyenet.org. p. www.eyenet.org.
72. GATINEL, D., Correction-cristallinienne-des-astigmatismes 2016. *réalités Ophthalmologiques # 230_Mars 2016*, 2016. 230(mars 2016).
73. Ferrer-Blasco, T., et al., Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2009. 35(1): p. 70-75.
74. Hoffmann, P.C. and W.W. Hütz, Analysis of biometry and prevalence data for corneal astigmatism in 23 239 eyes. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2010. 36(9): p. 1479-1485.
75. Weirong, C., et al., Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery in Chinese patients. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2013. 39(2): p. 188-192.
76. Isyaku, M., S. Ali, and S. Hassan, Preoperative corneal astigmatism among adult patients with cataract in Northern Nigeria. *Indian Journal of Ophthalmology*, 2014. 62(11): p. 1094-1095.
77. Moulick, P.S., et al., Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery in Western Indian Population. *Medical Journal Armed Forces India*, 2017.
78. Khan, M.I. and M. Muhtaseb, Prevalence of corneal astigmatism in patients having routine cataract surgery at a teaching hospital in the United Kingdom. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2011. 37(10): p. 1751-1755.
79. Lekhanont, K., et al., Prevalence of corneal astigmatism in cataract surgery candidates in Bangkok, Thailand. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2011. 37(3): p. 613-615.
80. Guan, Z., et al., Analysis of corneal astigmatism in cataract surgery candidates at a teaching hospital in Shanghai, China. *J Cataract Refract Surg*, 2012. 38(11): p. 1970-7.
81. Cui, Y., et al., Biometry and corneal astigmatism in cataract surgery candidates from Southern China. *J Cataract Refract Surg*, 2014. 40(10): p. 1661-9.
82. Moulick, P.S., et al., Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery in Western Indian Population. *Medical Journal Armed Forces India*, 2018. 74(1): p. 18-21.
83. Hayashi, K., H. Hayashi, and F. Hayashi, Topographic analysis of the changes in corneal shape due to aging. *Cornea*, 1995. 14(5): p. 527-32.
84. Dubbelman, M., V.A. Sicam, and G.L. Van der Heijde, The shape of the anterior and posterior surface of the aging human cornea. *Vision Res*, 2006. 46(6-7): p. 993-1001.
85. Ho, J.D., et al., Effects of aging on anterior and posterior corneal astigmatism. *Cornea*, 2010. 29(6): p. 632-7.
86. Collier Wakefield, O., R. Annoh, and M.A. Nanavaty, Relationship between age, corneal astigmatism, and ocular dimensions with reference to astigmatism in eyes undergoing routine cataract surgery. *Eye (Lond)*, 2016. 30(4): p. 562-9.
87. Naeser, K., G. Savini, and J.F. Bregnhøj, Age-related changes in with-the-rule and oblique corneal astigmatism. *Acta Ophthalmol*, 2018. 96(6): p. 600-606.
88. C. ALBOU-GANEM Clinique de la Vision, P.C.d.Q.-V., Service Pr J. Sahel, PARIS., Gestion de l'astigmatisme dans la chirurgie de la cataracte. *réalités ophthalmologiques # 210_Février 2014*, 2014. 210(Février 2014) : p. 28-31.

89. F. MALET Point Vision, B., Nouvelles possibilités en lentilles toriques pour astigmatismes réguliers. *réalités Ophtalmologiques* # 226_Novembre 2015, 2015. 226(novembre 2015) : p. 39-42.
90. PLAISANT-PROUST, D., Lentilles toriques : les clés d'une bonne adaptation. *réalités ophtalmologiques*, 2012. 197_Cahier 1(Novembre 2012) : p. 1-4.
91. L. GAUTHIER-FOURNET Ophtalmologiste, S.-J.-D.-L., La chirurgie réfractive de l'astigmatisme par laser Excimer : bilan préopératoire, profils d'ablation, compensation de la cyclotorsion. *réalités ophtalmologiques* # 210_, 2014. 210(Février 2014) : p. 16-22.
92. Assouline, M., Traitement chirurgical de l'astigmatisme. *Ophtalmologies*, 2008. vol. 2 • numéro 15(mai 2008).
93. T. AMZALLAG Institut ophtalmique, S., Erreur réfractive après chirurgie du cristallin : le laser femtoseconde peut-il apporter la solution ? *réalités ophtalmologiques* 2014. 215(Septembre 2014) : p. 29-35.
94. Baharozian, C.J., et al., A novel nomogram for the treatment of astigmatism with femtosecond-laser arcuate incisions at the time of cataract surgery. *Clinical ophthalmology (Auckland, N.Z.)*, 2017. 11: p. 1841-1848.
95. Titiyal, J.S., T. Agarwal, and V. Jhanji, Toric intraocular lens versus opposite clear corneal incisions to correct astigmatism in eyes having cataract surgery. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2009. 35(10): p. 1834-1835.
96. LEVY, P., Implant et astigmatisme. *Réalités Ophtalmologiques* • N° 158 • Décembre 2008, 2008. N° 158
97. Shimizu, K., A. Misawa, and Y. Suzuki, Toric intraocular lenses: Correcting astigmatism while controlling axis shift. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 1994. 20(5): p. 523-526.
98. Chang, D.F., Early rotational stability of the longer Staar toric intraocular lens. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2003. 29(5): p. 935-940.
99. Bauer, N.J.C., et al., Astigmatism management in cataract surgery with the AcrySof toric intraocular lens. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2008. 34(9): p. 1483-1488.
100. Draschl, P., et al., Rotational stability of 2 intraocular lenses with an identical design and different materials. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2017. 43(2): p. 234-238.
101. Chua, W.-H., et al., Matched comparison of rotational stability of 1-piece acrylic and plate-haptic silicone toric intraocular lenses in Asian eyes. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2012. 38(4): p. 620-624.
102. Linnola, R.J., et al., Adhesion of soluble fibronectin, vitronectin, and collagen type IV to intraocular lens materials. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2003. 29(1): p. 146-152.
103. Chang, D.F., Comparative rotational stability of single-piece open-loop acrylic and plate-haptic silicone toric intraocular lenses. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2008. 34(11): p. 1842-1847.
104. Harrer, A., et al., Influence of the overall intraocular lens diameter on rotational stability. *Ophthalmic Res*, 2015. 53(3): p. 117-21.
105. Patel, C.K., et al., Postoperative intraocular lens rotation. *Ophthalmology*, 1999. 106(11): p. 2190-2196.
106. Mihaltz, K., et al., Comparison of Two Toric IOLs with Different Haptic Design: Optical Quality after 1 Year. *J Ophthalmol*, 2018. 2018: p. 4064369.
107. Scialdone, A., F. De Gaetano, and G. Monaco, Visual performance of 2 aspheric toric intraocular lenses: comparative study. *J Cataract Refract Surg*, 2013. 39(6): p. 906-14.
108. Zvornicanin, J., et al., Use of the toric intraocular lens for keratoconus treatment. *Acta Inform Med*, 2014. 22(2): p. 139-41.
109. Mol, I.E. and B.T. Van Dooren, Toric intraocular lenses for correction of astigmatism in keratoconus and after corneal surgery. *Clin Ophthalmol*, 2016. 10: p. 1153-9.
110. Tennen, D.G., R.H. Keates, and C. Montoya, Comparison of three keratometry instruments. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 1995. 21(4): p. 407-408.
111. Shirayama, M., et al., Comparison of Corneal Powers Obtained from 4 Different Devices. *American Journal of Ophthalmology*, 2009. 148(4): p. 528-535.e1.

112. Dehnavi, Z., et al., Comparison of the corneal power measurements with the tms4-topographer, pentacam hr, iol master, and javal keratometer. *Middle East African Journal of Ophthalmology*, 2015. 22(2): p. 233-237.
113. Khan, L., et al., Accuracy of biometry using automated and manual keratometry for intraocular lens power calculation. *Taiwan Journal of Ophthalmology*, 2018. 8(2): p. 93-98.
114. Drexler, W., et al., Partial coherence interferometry: a novel approach to biometry in cataract surgery. *American Journal of Ophthalmology*, 1998. 126(4): p. 524-534.
115. Findl, O., et al., Improved prediction of intraocular lens power using partial coherence interferometry. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2001. 27(6): p. 861-867.
116. Grzybowski, A., et al., Effective Ocular Biometry and Intraocular Lens Power Calculation. *European Ophthalmic Review*, 2016. 10(02): p. 94.
117. Elbaz, U., et al., Comparison of different techniques of anterior chamber depth and keratometric measurements. *Am J Ophthalmol*, 2007. 143(1): p. 48-53.
118. Sellam, D.M., les biomètres optiques en 2015. *Images en Ophtalmologie • Vol. IX • no 3 •, 2015. Vol. IX •03(avril 2015) : p. 60-64.*
119. Savini, G., et al., Accuracy of Scheimpflug corneal power measurements for intraocular lens power calculation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2009. 35(7): p. 1193-1197.
120. Shamma, H.J., K.J. Hoffer, and M.C. Shamma, Scheimpflug photography keratometry readings for routine intraocular lens power calculation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2009. 35(2): p. 330-334.
121. Kobashi, H., et al., Comparison of corneal power, corneal astigmatism, and axis location in normal eyes obtained from an autokeratometer and a corneal topographer. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2012. 38(4): p. 648-654.
122. Zvornicanin, J., et al., Use of the toric intraocular lens for keratoconus treatment. *Acta informatica medica : AIM : journal of the Society for Medical Informatics of Bosnia & Herzegovina : casopis Društva za medicinsku informatiku BiH*, 2014. 22(2): p. 139-141.
123. Mol, I.E. and B.T. Van Dooren, Toric intraocular lenses for correction of astigmatism in keratoconus and after corneal surgery. *Clinical ophthalmology (Auckland, N.Z.)*, 2016. 10: p. 1153-1159.
124. Mencucci, R., et al., Astigmatism correction with toric intraocular lenses: wavefront aberrometry and quality of life. *British Journal of Ophthalmology*, 2013. 97(5): p. 578-582.
125. Hatch, K.M., E.C. Woodcock, and J.H. Talamo, Intraocular lens power selection and positioning with and without intraoperative aberrometry. *J Refract Surg*, 2015. 31(4): p. 237-42.
126. Visser, N., et al., Comparability and repeatability of corneal astigmatism measurements using different measurement technologies. *J Cataract Refract Surg*, 2012. 38(10): p. 1764-70.
127. Yong Park, C., J.R. Do, and R.S. Chuck, Predicting postoperative astigmatism using Scheimpflug keratometry (Pentacam) and automated keratometry (IOLMaster). *Curr Eye Res*, 2012. 37(12): p. 1091-8.
128. warren e. hill, m., john p. berdahl, md, y. ralph chu, md, four options for residual astigmatism. *eyenet magazine- american academy of ophtalmologie*, 2012. april 2012(april 2012): p. 29-31.
129. Sanders, D.R., et al., Comparison of the SRK/T formula and other theoretical and regression formulas. *J Cataract Refract Surg*, 1990. 16(3): p. 341-6.
130. Hoffer, K.J., The Hoffer Q formula: a comparison of theoretic and regression formulas. *J Cataract Refract Surg*, 1993. 19(6): p. 700-12.
131. Olsen, T. and P.J. Nielsen, Immersion versus contact technique in the measurement of axial length by ultrasound. *Acta Ophthalmol (Copenh)*, 1989. 67(1): p. 101-2.
132. Schelenz, J. and J. Kammann, Comparison of contact and immersion techniques for axial length measurement and implant power calculation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 1989. 15(4): p. 425-428.
133. Bergès, O., et al., B-mode-guided vector-A-mode versus A-mode biometry to determine axial length and intraocular lens power. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 1998. 24(4): p. 529-535.
134. M. SELLAM Ophtalmologiste, R.-M., Place de la biométrie par échographie mode B. *réalités ophtalmologiques # 214_*, 2014. 214(Juin 2014) : p. 29-33.

135. Packer, M., et al., Immersion A-scan compared with partial coherence interferometry: Outcomes analysis. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2002. 28(2): p. 239-242.
136. Németh, J., O. Fekete, and N. Pesztenlehrer, Optical and ultrasound measurement of axial length and anterior chamber depth for intraocular lens power calculation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2003. 29(1): p. 85-88.
137. Haigis, W., Challenges and approaches in modern biometry and IOL calculation. *Saudi J Ophthalmol*, 2012. 26(1): p. 7-12.
138. El Chehab, H., et al., [Comparison between Lenstar LS 900 non-contact biometry and OcuScan RXP contact biometry for task delegation]. *J Fr Ophtalmol*, 2011. 34(3): p. 175-80.
139. Eom, Y., et al., Effect of effective lens position on cylinder power of toric intraocular lenses. *Can J Ophthalmol*, 2015. 50(1): p. 26-32.
140. Olsen, T., K. Thim, and L. Corydon, Theoretical versus SRK I and SRK II calculation of intraocular lens power. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 1990. 16(2): p. 217-225.
141. Sanders, D.R., J. Retzlaff, and M.C. Kraff, Comparison of the SRK II™ formula and other second generation formulas. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 1988. 14(2): p. 136-141.
142. Retzlaff, J.A., D.R. Sanders, and M.C. Kraff, Development of the SRK/T intraocular lens implant power calculation formula. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 1990. 16(3): p. 333-340.
143. Narváez, J., et al., Accuracy of intraocular lens power prediction using the Hoffer Q, Holladay 1, Holladay 2, and SRK/T formulas. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2006. 32(12): p. 2050-2053.
144. Eom, Y., et al., Comparison of SRK/T and Haigis formulas for predicting corneal astigmatism correction with toric intraocular lenses. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2015. 41(8): p. 1650-1657.
145. Koch, D.D., et al., Pursuing perfection in intraocular lens calculations: I. Logical approach for classifying IOL calculation formulas. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2017. 43(6): p. 717-718.
146. Borasio, E., J.S. Mehta, and V. Maurino, Surgically induced astigmatism after phacoemulsification in eyes with mild to moderate corneal astigmatism: temporal versus on-axis clear corneal incisions. *J Cataract Refract Surg*, 2006. 32(4): p. 565-72.
147. Nikose, A.S., et al., Surgically induced astigmatism after phacoemulsification by temporal clear corneal and superior clear corneal approach: a comparison. *Clinical ophthalmology (Auckland, N.Z.)*, 2018. 12: p. 65-70.
148. Hashemi, H., et al., The location of incision in cataract surgery and its impact on induced astigmatism. *Curr Opin Ophthalmol*, 2016. 27(1): p. 58-64.
149. Tejedor, J. and J.A. Perez-Rodriguez, Astigmatic change induced by 2.8-mm corneal incisions for cataract surgery. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2009. 50(3): p. 989-94.
150. Febbraro, J.L., et al., Astigmatic equivalence of 2.2-mm and 1.8-mm superior clear corneal cataract incision. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2015. 253(2): p. 261-5.
151. Zheng, T., Z. Chen, and Y. Lu, Influence factors of estimation errors for total corneal astigmatism using keratometric astigmatism in patients before cataract surgery. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2016. 42(1): p. 84-94.
152. Koch, D.D., et al., Contribution of posterior corneal astigmatism to total corneal astigmatism. *J Cataract Refract Surg*, 2012. 38(12): p. 2080-7.
153. Eom, Y., et al., Toric Intraocular Lens Calculations Using Ratio of Anterior to Posterior Corneal Cylinder Power. *American Journal of Ophthalmology*, 2015. 160(4): p. 717-724.e2.
154. Goggin, M., et al., Adjustment of anterior corneal astigmatism values to incorporate the likely effect of posterior corneal curvature for toric intraocular lens calculation. *J Refract Surg*, 2015. 31(2): p. 98-102.
155. Abulafia, A., et al., Prediction of refractive outcomes with toric intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg*, 2015. 41(5): p. 936-44.
156. Tjon-Fo-Sang, M.J., et al., Cyclotorsion: A possible cause of residual astigmatism in refractive surgery. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2002. 28(4): p. 599-602.

157. Arba Mosquera, S. and S. Verma, Effects of torsional movements in refractive procedures. *J Cataract Refract Surg*, 2015. 41(8): p. 1752-66.
158. Prickett, A.L., et al., Cyclotorsional and non-cyclotorsional components of eye rotation observed from sitting to supine position. 2015. 99(1): p. 49-53.
159. Popp, N., et al., Evaluation of 4 corneal astigmatic marking methods. *J Cataract Refract Surg*, 2012. 38(12): p. 2094-9.
160. Young Jae Woo, M., Hun Lee, MD, Hong Seok Kim, MD, Eung Kweon Kim, MD, PhD, and M. Kyoung Yul Seo, PhD, Tae-im Kim, MD, PhD, Comparison of 3 marking techniques in preoperative assessment of toric intraocular lenses using a wavefront aberrometer *J Cataract Refract Surg* 2015, 2015. 2015; 41:878–883(2015; 41:878–883).
161. Jaichandran, V., Ophthalmic regional anaesthesia: A review and update. *Indian journal of anaesthesia*, 2013. 57(1): p. 7-13.
162. Dick, H.B. and T. Schultz, Laser-assisted marking for toric intraocular lens alignment. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2016. 42(1): p. 7-10.
163. Carey, P.J., et al., Assessment of toric intraocular lens alignment by a refractive power/corneal analyzer system and slitlamp observation. *J Cataract Refract Surg*, 2010. 36(2): p. 222-9.
164. Osher, R.H., Iris fingerprinting: New method for improving accuracy in toric lens orientation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2010. 36(2): p. 351-352.
165. Visser, N., et al., Accuracy of toric intraocular lens implantation in cataract and refractive surgery. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2011. 37(8): p. 1394-1402.
166. Cha, D., et al., New axis-marking method for a toric intraocular lens: mapping method. *J Refract Surg*, 2011. 27(5): p. 375-9.
167. Mayer, W.J., et al., Comparison of visual outcomes, alignment accuracy, and surgical time between 2 methods of corneal marking for toric intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg*, 2017. 43(10): p. 1281-1286.
168. Montes de Oca, I., et al., Accuracy of toric intraocular lens axis alignment using a 3-dimensional computer-guided visualization system. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2016. 42(4): p. 550-555.
169. Solomon, J.D. and J. Ladas, Toric outcomes: Computer-assisted registration versus intraoperative aberrometry. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2017. 43(4): p. 498-504.
170. Jauhari, N., et al., Comparison of surgically induced astigmatism in various incisions in manual small incision cataract surgery. *International journal of ophthalmology*, 2014. 7(6): p. 1001-1004.
171. Guarnieri, A., et al., Final incision size after cataract surgery with toric intraocular lens implantation using 2 techniques. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2013. 39(11): p. 1675-1681.
172. Hollick, E.J., D.J. Spalton, and W.R. Meacock, The effect of capsulorhexis size on posterior capsular opacification: one-year results of a randomized prospective trial. *Am J Ophthalmol*, 1999. 128(3): p. 271-9.
173. Nagy, Z.Z., et al., Comparison of intraocular lens decentration parameters after femtosecond and manual capsulotomies. *J Refract Surg*, 2011. 27(8): p. 564-9.
174. Kranitz, K., et al., Intraocular lens tilt and decentration measured by Scheimpflug camera following manual or femtosecond laser-created continuous circular capsulotomy. *J Refract Surg*, 2012. 28(4): p. 259-63.
175. Findl, O., et al., Effect of manual capsulorhexis size and position on intraocular lens tilt, centration, and axial position. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2017. 43(7): p. 902-908.
176. Gimbel, H.V., Divide and conquer nucleofractis phacoemulsification: development and variations. *J Cataract Refract Surg*, 1991. 17(3) : p. 281-91.
177. D. Michael Colvard, M., FACS; David F. Chang, MD; Mark Packer, MD, FACS; I. Howard Fine, MD; and Richard S. Hoffman, MD, *Phaco Techniques. Achieving Excellence in Cataract Surgery A Step-by-Step Approach* 2009. chapter 5(2009): p. 33-52.
178. Al Mahmood, A.M., S.A. Al-Swailem, and A. Behrens, Clear corneal incision in cataract surgery. *Middle East Afr J Ophthalmol*, 2014. 21(1): p. 25-31.
179. Chang, D.F., Converting to phaco chop: Why? Which technique? How? Vol. 17. 1999. 202-210.

180. Pirazzoli, G., et al., Effects of phacoemulsification time on the corneal endothelium using phacoemulsification and phaco chop techniques. *J Cataract Refract Surg*, 1996. 22(7): p. 967-9.
181. Raucau, M., et al., Implantation torique : comparaison du marquage horizontal manuel versus automatique, à propos de 50 cas. *Journal Français d'Ophtalmologie*, 2018.
182. Cornut, T., et al., [Refractive outcomes and precision in toric intraocular lens alignment using an automated alignment system]. *J Fr Ophtalmol*, 2018. 41(4): p. 291-301.
183. Webers, V.S.C., et al., Image-guided system versus manual marking for toric intraocular lens alignment in cataract surgery. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2017. 43(6): p. 781-788.
184. Visser, N., et al., Cataract surgery with toric intraocular lens implantation in patients with high corneal astigmatism. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2011. 37(8): p. 1403-1410.
185. Scialdone, A., F. De Gaetano, and G. Monaco, Visual performance of 2 aspheric toric intraocular lenses: Comparative study. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2013. 39(6): p. 906-914.
186. Sheppard, A.L., et al., Clinical outcomes after implantation of a new hydrophobic acrylic toric IOL during routine cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2013. 39(1): p. 41-7.
187. Aujla, J., et al., Cataract Surgery in Eyes with Low Corneal Astigmatism: Implantation of the Acrysof IQ Toric SN6AT2 Intraocular Lens. *Journal of Ophthalmic and Vision Research*, 2014. 9(3): p. 324-328.
188. Miyake, T., et al., Long-term clinical outcomes of toric intraocular lens implantation in cataract cases with preexisting astigmatism. *J Cataract Refract Surg*, 2014. 40(10): p. 1654-60.
189. Moulick, P.S., et al., A clinical study to evaluate the results after toric intraocular lens implantation in cases of corneal astigmatism. *Medical Journal Armed Forces India*, 2017.
190. Matossian, C., S. Makari, and R. Potvin, Cataract surgery and methods of wound closure: a review. *Clinical ophthalmology (Auckland, N.Z.)*, 2015. 9: p. 921-928.
191. Fukuda, S., et al., Wound architecture of clear corneal incision with or without stromal hydration observed with 3-dimensional optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol*, 2011. 151(3): p. 413-9.e1.
192. Walters, T.R., The effect of stromal hydration on surgical outcomes for cataract patients who received a hydrogel ocular bandage. *Clinical ophthalmology (Auckland, N.Z.)*, 2011. 5: p. 385-391.
193. Bhatia, S.S., Ocular surface sealants and adhesives. *Ocul Surf*, 2006. 4(3): p. 146-54.
194. Dell, S.J., et al., Randomized comparison of postoperative use of hydrogel ocular bandage and collagen corneal shield for wound protection and patient tolerability after cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2011. 37(1): p. 113-21.
195. Beselga, D., et al., Postcataract surgery endophthalmitis after introduction of the ESCRS protocol: a 5-year study. *Eur J Ophthalmol*, 2014. 24(4): p. 516-9.
196. Bachernegg, A., et al., Rotational stability and visual outcome after implantation of a new toric intraocular lens for the correction of corneal astigmatism during cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2013. 39(9): p. 1390-8.
197. Farooqui, J., et al., Determination of post-operative toric IOL alignment - Analyzed by two different methods: Slit-lamp versus Adobe Photoshop. *Sudanese Journal of Ophthalmology*, 2014. 6(2): p. 57-61.
198. Alpins, N.A. and M. Goggin, Practical astigmatism analysis for refractive outcomes in cataract and refractive surgery. *Surv Ophthalmol*, 2004. 49(1): p. 109-22.
199. Alió, J.L., et al., Vector analysis of astigmatic changes after cataract surgery with toric intraocular lens implantation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2011. 37(6): p. 1038-1049.
200. Krall, E.M., et al., Vector analysis of astigmatism correction after toric intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg*, 2015. 41(4): p. 790-9.
201. Hoffmann, P.C., S. Auel, and W.W. Hütz, Results of higher power toric intraocular lens implantation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2011. 37(8): p. 1411-1418.
202. Debois, A., et al., Précision réfractive et qualité de vision objective après implantation torique pseudophaque. *Journal Français d'Ophtalmologie*, 2012. 35(8) : p. 580-586.
203. Shah, G.D., et al., Software-based assessment of postoperative rotation of toric intraocular lens. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2009. 35(3): p. 413-418.

204. Chua, W.H., et al., Matched comparison of rotational stability of 1-piece acrylic and plate-haptic silicone toric intraocular lenses in Asian eyes. *J Cataract Refract Surg*, 2012. 38(4): p. 620-4.
205. Shah, G.D., et al., Rotational stability of a toric intraocular lens: Influence of axial length and alignment in the capsular bag. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2012. 38(1): p. 54-59.
206. Wolffsohn, J.S. and P.J. Buckhurst, Objective analysis of toric intraocular lens rotation and centration. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2010. 36(5): p. 778-782.
207. Carey, P.J., et al., Assessment of toric intraocular lens alignment by a refractive power/corneal analyzer system and slitlamp observation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2010. 36(2): p. 222-229.
208. Watanabe, K., et al., Simple and accurate alignment of toric intraocular lenses and evaluation of their rotation errors using anterior segment optical coherence tomography. *Jpn J Ophthalmol*, 2012. 56(1): p. 31-7.
209. Lucisano, A., et al., Evaluation of postoperative toric intraocular lens alignment with anterior segment optical coherence tomography. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2017. 43(8): p. 1007-1009.
210. Teichman, J.C., J.H. Sher, and Ahmed, II, From iPhone to eyePhone: a technique for photodocumentation. *Can J Ophthalmol*, 2011. 46(3): p. 284-6.
211. Teichman, J.C., K. Baig, and I.I.K. Ahmed, Simple technique to measure toric intraocular lens alignment and stability using a smartphone. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2014. 40(12): p. 1949-1952.
212. Epitropoulos, A.T., et al., Effect of tear osmolarity on repeatability of keratometry for cataract surgery planning. *J Cataract Refract Surg*, 2015. 41(8): p. 1672-7.
213. Hirschschall, N., et al., Evaluation of factors influencing the remaining astigmatism after toric intraocular lens implantation. *J Refract Surg*, 2014. 30(6): p. 394-400.
214. Goggin, M., S. Moore, and A. Esterman, Toric intraocular lens outcome using the manufacture prediction of corneal plane equivalent intraocular lens cylinder power. *Archives of Ophthalmology*, 2011. 129(8): p. 1004-1008.
215. Felipe, A., et al., Residual astigmatism produced by toric intraocular lens rotation. *J Cataract Refract Surg*, 2011. 37(10) : p. 1895-901.
216. P. LEVY Ophthalmologiste, M., Implants toriques : conséquences visuelles, prévention et correction des défauts d'alignements. *réalités ophtalmologiques # 215_*, 2014. 215(Septembre 2014) : p. 37-41.
217. John Berdahl , M., Correcting Residual Astigmatism After the Implantation of a Toric IOL. *CATARACT & REFRACTIVE SURGERY TODAY*, 2012. JUNE 2012(JUNE 2012): p. 44-46.
218. Chang, D.F., Repositioning technique and rate for toric intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*, 2009. 35(7): p. 1315-6.
219. James C. Lockwood, B., J. Bradley Randleman, MD, Toric intraocular lens rotation to optimize refractive outcome despite appropriate intraoperative positioning *J Cataract Refract Surg* 2015; 41:878–883, 2015.
220. Oshika, T., et al., Incidence and Outcomes of Repositioning Surgery to Correct Misalignment of Toric Intraocular Lenses. *Ophthalmology*, 2018. 125(1): p. 31-35.
221. Lubinski, W., et al., Clinical Outcomes after Uncomplicated Cataract Surgery with Implantation of the Tecnis Toric Intraocular Lens. *J Ophthalmol*, 2016. 2016: p. 3257217.
222. Emesz, M., et al., Randomized controlled clinical trial to evaluate different intraocular lenses for the surgical compensation of low to moderate-to-high regular corneal astigmatism during cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2015. 41(12): p. 2683-94.
223. Kim, M.H., T.Y. Chung, and E.S. Chung, Long-term efficacy and rotational stability of AcrySof toric intraocular lens implantation in cataract surgery. *Korean J Ophthalmol*, 2010. 24(4): p. 207-12.
224. Iovieno, A., et al., Cataract surgery with toric intraocular lens for correction of high corneal astigmatism. *Can J Ophthalmol*, 2013. 48(4): p. 246-50.
225. Domínguez, M.R., Results of the implantation of an aspheric toric intraocular lens for the correction of astigmatism in cataract surgery. *J Emmetropia* 2014. 2014; 5: 77-82.

226. Hayashi, K., et al., [Changes in corneal astigmatism with aging]. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi*, 1993. 97(10) : p. 1193-6.
227. Chassain, C., Évaluation des performances visuelles après implantation d'une lentille intraoculaire torique à double anse en C. *Journal Français d'Ophtalmologie*, 2014. 37(7) : p. 507-513.
228. Weng, S.-W., et al., Use of a T-flex toric intraocular lens to correct clinically significant astigmatism. *Taiwan Journal of Ophthalmology*, 2014. 4(4): p. 170-173.
229. Terzi, E., L. Wang, and T. Kohnen, Accuracy of modern intraocular lens power calculation formulas in refractive lens exchange for high myopia and high hyperopia. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2009. 35(7): p. 1181-1189.
230. Ayar, O., et al., Comparison between clinical outcomes of two different designs of toric multifocal intraocular lenses. *Medicine Science | International Medical Journal*, 2017. 6(4): p. 1.
231. Igarashi, A., K. Kamiya, and K. Shimizu, Clinical evaluation of accuracy of horizontal meridian limbal marking. *Optom Vis Sci*, 2013. 90(6): p. 540-5.
232. Bayramlar, H., et al., An easy and practical method for toric intraocular lens implantation: marking corneal astigmatic axis at slit-lamp. *Int Ophthalmol*, 2017. 37(1): p. 179-184.
233. Ma, J.J.K. and S.S. Tseng, Simple method for accurate alignment in toric phakic and aphakic intraocular lens implantation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2008. 34(10): p. 1631-1636.
234. Mendicute, J., et al., Foldable toric intraocular lens for astigmatism correction in cataract patients. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2008. 34(4): p. 601-607.
235. Holland, E., et al., The AcrySof Toric Intraocular Lens in Subjects with Cataracts and Corneal Astigmatism: A Randomized, Subject-Masked, Parallel-Group, 1-Year Study. *Ophthalmology*, 2010. 117(11): p. 2104-2111.
236. Entabi, M., et al., Injectable 1-piece hydrophilic acrylic toric intraocular lens for cataract surgery: Efficacy and stability. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2011. 37(2): p. 235-240.
237. Hirschschall, N., et al., Rotational stability of a single-piece toric acrylic intraocular lens: a pilot study. *Am J Ophthalmol*, 2014. 157(2): p. 405-411 e1.
238. Ahmed, II, et al., Visual function and patient experience after bilateral implantation of toric intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*, 2010. 36(4): p. 609-16.
239. Dardzhikova, A., C.R. Shah, and H.V. Gimbel, Early experience with the AcrySof toric IOL for the correction of astigmatism in cataract surgery. *Canadian Journal of Ophthalmology*, 2009. 44(3): p. 269-273.
240. Zarranz-Ventura, J., et al., Acrysof® toric intraocular lens implantation in cataract surgery. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología (English Edition)*, 2010. 85(8) : p. 274-277.
241. Simons, R.W.P., et al., Trial-based cost-effectiveness analysis of toric versus monofocal intraocular lenses in cataract patients with bilateral corneal astigmatism in the Netherlands. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2019. 45(2): p. 146-152.
242. Pineda, R., et al., Economic evaluation of toric intraocular lens: a short- and long-term decision analytic model. *Arch Ophthalmol*, 2010. 128(7): p. 834-40.

Résumé

Objectif : Évaluer l'efficacité et la sécurité des implants intraoculaires toriques dans la correction de l'astigmatisme cornéen lors de chirurgie de cataracte.

Méthode : Étude prospective concernant 55 yeux de patients présentant des degrés d'astigmatisme cornéen d'au moins une dioptrie, traités par un implant monofocal torique Envista (Bausch et Lomb, Valeant, USA). L'acuité visuelle de loin non corrigée (AVSC) et corrigée (AVAC), l'équivalent sphérique, l'astigmatisme cornéen et l'astigmatisme total ont été comparés avant et après chirurgie. L'alignement de l'implant a été contrôlé en postopératoire à la lampe à fente après dilatation pupillaire.

Résultats : l'AVSC est d'au moins 0.3 Log MAR dans 91 % des yeux, d'au moins 0,1 Log MAR dans 74.5 % et elle est de 0.0 Log MAR dans 41.8 % des yeux. L'astigmatisme réfractif résiduel est inférieur ou égal à 0.75 D chez 72.7 % des yeux et d'une dioptrie au maximum dans 89.1 % des yeux opérés. Concernant la sphère résiduelle, elle est de 0.5 D maximum dans 67.3 % des yeux et de 0.75D au maximum dans 76.4 % des yeux. La rotation est de 3.23 ± 2.15 ° au contrôle à 3 mois postopératoire avec des extrêmes allant de 0 ° à 10 °. Cette rotation est inférieure ou égale à 5 ° dans 85.45 % et de 6 ° au maximum chez 90.91 % des patients. Aucune complication postopératoire n'a été constatée lors des différents contrôles.

Conclusion : les implants toriques sont une technique très fiable et sûre pour corriger l'astigmatisme cornéen lors de la chirurgie de cataracte, néanmoins, le préambule exigé à cette chirurgie doit être respecté. L'implant torique Envista procure des résultats satisfaisants avec une bonne stabilité et sécurité postopératoire pour la gestion de l'astigmatisme cornéen dans le même temps opératoire de la cataracte.

Mots clés : astigmatisme cornéen, implant torique intraoculaire, Envista torique, cataracte réfractive.

Discipline : ophtalmologie

Auteur : docteur Lazhar Degdeg

Service d'ophtalmologie, hôpital militaire régional universitaire de Constantine

Rapporteur : Professeur Fatiha Karaouat

Professeur en ophtalmologie, département de médecine, université d'Alger

Summary

Objective: The aim of this study was to evaluate the efficacy and safety of toric intraocular lens in the correction of corneal astigmatism during cataract surgery.

Methode: Prospective study of 55 eyes of patients with corneal astigmatism of at least one diopter treated with an Envista monofocal toric implant (Bausch and lomb, Valeant, USA). Non-corrected (AVSC) and corrected (AVAC) visual acuity, spherical equivalent, corneal astigmatism and total astigmatism were compared before and after surgery. The alignment of the implant was monitored postoperatively after pupillary dilatation at the slit lamp.

Results: the AVSC was at least 0.3 MAR Log in 91% of the eyes, at least 0.1 MAR Log in 74.5% and it was 0.0 Log MAR in 41.8% of the eyes. Residual refractive astigmatism was less or equal to 0.75 D in 72.7% of eyes and up to one diopter in 89.1% of operated eyes. For the residual sphere, it was 0.5 D maximum in 67.3% of the eyes and 0.75 D maximum in 76.4% of the eyes. The rotation was $3.23 \pm 2.15^\circ$ at the control of 3 months with extremes ranging from 0° to 10° . This rotation was less or equal to 5° in 85.45% and 6° maximum in 90.91% of patients. No complications were found during the checks.

Conclusion: Toric intraocular lens are a very reliable and safe technique for correcting corneal astigmatism during cataract surgery. The Envista toric implant provides satisfactory results with good stability and postoperative safety for the management of corneal astigmatism in the same operative time of the cataract.

Key words: corneal astigmatism, toric intraocular lens, Envista toric, refractive cataract.

Discipline: ophthalmology

Author: Dr. Lazhar Degdeg,

Ophthalmology Department, University Military Régional Hospital of Constantine (Algeria)

Reporter: Professor Fatiha Karaouat,

Professor of Ophthalmology, Department of Medicine, University of Algiers (Algeria)