

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ BOUBNIDER SALAH
CONSTANTINE 3
FACULTE DE MÉDECINE
DEPARTEMENT DE MÉDECINE



THÈSE

Pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences Médicales

**RESULTATS REFRACTIFS APRES IMPLANTATION PHAKE DE
CHAMBRE POSTERIEURE CHEZ LES JEUNES FORTS MYOPES
AVEC OU SANS ASTIGMATISME**

Présentée par :

Docteur Abdelkader BENYAHIA.

Maitre-assistant en Ophtalmologie.

Jury :

Pr Sadek KHIAR	Président	Ophtalmologie Faculté de médecine de Sétif
Pr Saad LEBOUKHE	Directeur	Ophtalmologie Faculté de médecine d'Oran
Pr Abdel Hakim HAMMOUDI	Membre	Ophtalmologie Faculté de médecine de Constantine
Pr Ramzi ABDESSALEM	Membre	Ophtalmologie Faculté de médecine de Blida
Pr Toufik DAOUDI	Membre	Ophtalmologie Faculté de médecine d'Alger

Soutenue publiquement le : **29. 10. 2025**

N° d'ordre :

Constantine le

ANNEE 2025

DEDICACES

À

À la mémoire de mon père,

parti trop tôt mais dont la présence bienveillante continue de m'accompagner à chaque étape de ma vie.

Son souvenir demeure une source de courage, de sagesse et de foi.

Puisse Dieu, le Tout-Puissant, lui accorder Sa miséricorde et l'accueillir en Son vaste paradis.

À ma mère,

pour son amour inconditionnel, sa patience, ses sacrifices et ses prières qui m'ont toujours soutenu.

Qu'Allah lui accorde santé, sérénité et longue vie.

À mes frères, mes sœurs et à toute ma famille,

Pour leur affection, leurs encouragements et leur présence bienveillante.

Merci d'avoir toujours cru en moi.

À ma petite famille,

Mon épouse sa compréhension et son indéfectible soutien tout au long de ce parcours exigeant.

Sa présence à mes côtés a été une source de paix et de motivation. Ainsi que mes enfants,

qui sont ma plus belle réussite et ma plus grande source de joie.

Puisse ce travail leur transmettre le goût de l'effort, du savoir et de la persévérance.

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 directeur de thèse, le **Professeur Saad LEBOUKHE***

pour son encadrement, son soutien indéfectible et la confiance qu'il m'a témoignée tout au long de ce travail. Sa rigueur scientifique, son exigence académique et sa vision éclairée ont constitué pour moi une véritable école de pensée et un guide précieux dans la conduite de mes recherches.

Sa disponibilité, malgré de nombreuses responsabilités, et son sens pédagogique ont facilité la réalisation de cette thèse. Grâce à ses conseils avisés et à ses encouragements constants, j'ai pu affronter les difficultés rencontrées et progresser avec sérénité et motivation.

Au-delà de l'expertise scientifique, je suis profondément reconnaissant pour l'exemple d'intégrité, d'humilité et de dévouement qu'il incarne. Son engagement envers la recherche et la formation de ses étudiants restera pour moi une source d'inspiration durable.

Je lui adresse mes remerciements les plus sincères pour ces années d'accompagnement, de confiance et de partage.

À Monsieur le Professeur Khiair SADEK, Président du Jury

Permettez-moi de vous exprimer ma profonde gratitude pour l'immense honneur que vous m'avez fait en acceptant de présider le jury de cette thèse.

Votre savoir remarquable, la richesse de vos connaissances ainsi que la rigueur de votre expérience académique ont grandement contribué à rehausser la qualité et la portée scientifique de ce travail.

Au-delà de vos éminentes qualités scientifiques et pédagogiques, c'est surtout votre grandeur humaine et votre bienveillance qui constituent pour nous un modèle exemplaire et une source d'inspiration constante.

Je vous prie de bien vouloir agréer, cher Maître, l'expression de mon admiration la plus sincère et de mon profond respect.

À mes Maîtres et Membres du Jury

Je tiens à exprimer, en tout premier lieu, ma gratitude la plus profonde et ma reconnaissance la plus vive à mon Maître, le Professeur Abdelhakim HAMMOUDI, mon chef de Service. Votre encadrement bienveillant, votre rigueur scientifique et vos conseils éclairés ont marqué chaque étape de ce travail. Par votre savoir et votre grande expérience, vous m'avez transmis non seulement une formation de haute qualité, mais également une véritable leçon d'humilité, de discipline et de dévouement. Votre exemple demeure pour moi un modèle académique et humain que je m'efforcerai de suivre tout au long de ma carrière.

J'associe à ces remerciements l'ensemble des éminents membres de mon jury, le Professeur Ramzi ABDESSALEM et le Professeur Toufik DAOUDI, qui m'ont fait l'honneur de siéger à ce jury de thèse. Leur présence, leurs remarques éclairées, ainsi que leur expertise scientifique et leur précieuse expérience, constituent pour moi un privilège inestimable et un encouragement durable, rehaussés par leur bienveillance et leur amitié.

À l'ensemble de l'équipe du Service d'Ophthalmologie

J'adresse mes sincères remerciements à toute l'équipe du service d'ophtalmologie, aux assistants, aux résidents, aux infirmiers, ainsi qu'à la secrétaire médicale, pour leur disponibilité, leur soutien et l'esprit d'équipe dont j'ai constamment bénéficié au cours de ce travail. Leur aide quotidienne et leur engagement ont grandement facilité la réalisation de cette thèse.

J'associe à ces remerciements mes collaborateurs scientifiques et informaticiens, dont le professionnalisme et l'appui technique ont été d'un apport précieux.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au Pr Sami KAFI, épidémiologiste, pour son aide précieuse dans l'analyse statistique de ce travail. Son expertise, sa rigueur scientifique et sa disponibilité constante ont grandement contribué à la qualité méthodologique et à la pertinence des résultats de cette thèse.

Je tiens à exprimer une gratitude toute particulière à l'informaticien l'Adjudant Principal AZZOUZ El Houcine, qui m'a accompagné avec une disponibilité sans faille et un dévouement exemplaire. Par ses efforts constants, ses sacrifices et son engagement, il a largement contribué à l'organisation de ce travail, à la confection du manuscrit et à la préparation minutieuse de la présentation. Son soutien a été pour moi d'une valeur inestimable.

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

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
1 CHAPITRE I : INTRODUCTION	1
1.1 Problématique :	2
1.2 Revue de la littérature :	2
2 CHAPITRE II : LES BASES FONDAMENTALES.....	4
2.1 Anatomie et propriétés de la cornée :	4
2.2 Anatomie de l'angle iridocornéen :	6
2.3 Anatomie et caractéristiques du cristallin :	7
2.4 Réfraction oculaire :	9
2.5 Epidémiologie	12
2.6 Physiopathogénie :	15
3 CHAPITRE III : PRISE EN CHARGE DE LA MYOPIE FORTE :	17
3.1 Correction optique conventionnelle	17
3.1.1 Correction optique par lunettes.....	17
3.1.2 Lentilles de contact.....	17
3.2 Traitements pharmacologiques.....	18
3.3 L'Orthokératologie.....	19
3.4 Chirurgies réfractives	19
3.4.1 Photoablation Excimer de surface	19
3.4.2 LASIK (Laser-Assisted in Situ Keratomileusis) et Femto-LASIK	20
3.4.3 SMILE (Small Incision Lenticule Extraction)	21
3.4.4 Anneaux Intracornéens	22
3.4.5 La Chirurgie Réfractive Substitutive : (Extraction du Cristallin Clair RLE)	23
4 CHAPITRES IV : IMPLANTS PHAKES	24
4.1 Aperçu historique et évolution technologiques :	24
4.2 Implant EVO Visian ICL (STAAR Surgical).....	26
4.3 Implant IPCL V2.0 (Care Group):.....	27
4.4 Tableau récapitulatif des paramètres	29
4.5 Dimensionnement et planification préopératoire.....	30
4.5.1 Méthodes de dimensionnement :	30
4.5.2 Paramètres biométriques :	38
4.5.3 Outils de calcul et plateformes en ligne	42
4.5.4 Choix de la puissance et de la toricité	44
4.5.5 Limites et perspectives des méthodes de sizing actuelles	45

4.5.6 Sélection des patients.....	46
4.5.7 Procédure chirurgicale :.....	50
5 CHAPITRE V : MATERIEL ET METHODES	61
5.1 Type et conception de l'étude.....	61
5.2 Lieu et durée de l'étude	61
5.3 Population d'étude	61
5.4 Critères d'inclusion	61
5.5 Critères de non inclusion :.....	62
5.6 Objectifs de l'Etude.....	63
5.7 Matériel utilisé.....	63
5.7.1 Projecteur et un réfracteur automatisé	63
5.7.2 Lampe à fente	64
5.7.3 Autoréfracto-kératomètre.....	64
5.7.4 Tonomètre	65
5.7.5 Biomètre oculaire.....	66
5.7.6 Topographe cornéen	67
5.7.7 Heidelberg Spectralis OCT.....	68
5.7.8 Microscopie spéculaire	68
5.7.9 Types d'implants	69
5.7.10 Microscope opératoire :.....	70
5.8 Instrumentation et Déroulement opératoire :.....	71
5.9 Protocole d'étude	73
5.10 Paramètres d'évaluation préopératoires	74
5.10.1 Interrogatoire :.....	74
5.10.2 Examen Ophtalmologique.....	75
5.10.3 L'information des patients :	83
5.10.4 Préparation du matériel :.....	83
5.10.5 Préparation du malade :	84
5.10.6 Protocole opératoire ICL / IPCL /TIPCL.....	86
5.11 Paramètres d'évaluation postopératoires :	92
5.11.1 Signes fonctionnels subjectifs :.....	92
5.11.2 Acuité visuelle.....	92
5.11.3 Réfraction résiduelle.....	93
5.11.4 Vault.....	93
5.11.5 Pression intraoculaire (PIO).....	93
5.11.6 Cellules endothéliales	93
5.11.7 Positionnement et stabilité de l'implant.....	94
5.11.8 Complications	94

5.12 Analyse statistique :	94
6 CHAPITRE VI : RESULTATS	96
6.1 Données démographiques	96
6.1.1 Répartition de la population étudiée selon l'âge	96
6.1.2 Répartition de la population étudiée selon le sexe :	98
6.1.3 Répartition de la population étudiée selon les antécédents ophtalmologiques :	99
6.1.4 Répartition de la population étudiée selon la latéralité	100
6.1.5 Répartition de la population étudiée selon le type d'amétropie :	101
6.1.6 Répartition de la population selon la correction chirurgicale	102
6.2 Analyse des données biométriques préopératoire :	103
6.2.1 Diamètre cornéen (WTW)	103
6.2.2 Taille de l'implant (size mm)	104
6.2.3 Profondeur de chambre antérieure (ACD)	105
6.2.4 Epaisseur cornéenne centrale (ECC)	106
6.2.5 Angle de chambre antérieure (ACA)	107
6.3 Microscopie spéculaire	107
6.4 Pression intraoculaire :	108
6.5 Données chirurgicales	109
6.5.1 Puissance de l'implant	109
6.5.2 Type d'implant	109
6.5.3 Taille de l'incision	111
6.5.4 Type d'anesthésie	112
6.6 Données réfractives préopératoires	113
6.6.1 Acuité visuelle avec correction AVAC	113
6.6.2 Réfraction préopératoire	115
6.7 Etude des résultats postopératoires	118
6.7.1 AVSC postopératoire /AVAC préopératoire	118
6.7.2 Mesure de l'indice d'efficacité	121
6.7.3 AV cumulatifs selon SNELLEN	122
6.7.4 Cylindre postopératoire	123
6.7.5 Résultats de la sécurité visuelle : Analyse de l'évolution de l'acuité visuelle avec correction (AVAC)	126
6.7.6 Stabilité réfractive :	128
6.7.7 Prédicibilité réfractive	129
6.7.8 Pression intra oculaire Postopératoire :	131
6.7.9 Densité cellulaire :	133
6.7.10 Profondeur de chambre antérieur	134
6.7.11 Angle de chambre antérieur	135
6.7.12 Vaulting	137

6.8 Complications postopératoires	141
7 CHAPITRES VII DISCUSSION	147
7.1 Répartition des données démographique de la population étudiée.....	147
7.1.1 Age.....	147
7.1.1 Répartition selon le sexe.....	148
7.1.2 Répartition des yeux inclus selon la latéralité	149
7.1.3 Répartition selon les antécédents ophtalmologiques.....	149
7.1.4 Répartition des types d'amétropie.....	149
7.2 Discussions des données biométriques préopératoire :.....	150
7.2.1 Diamètre cornéen "White-to-White" (WTW)	150
7.2.2 Pachymétrie centrale.....	152
7.3 Données chirurgicales.....	153
7.4 Discussions des résultats postopératoires.....	155
7.4.1 Efficacité	155
7.4.2 Sécurité	163
7.4.3 Les incidents postopératoires observés	169
8 CHAPITRE VIII : RECOMMANDATIONS CLINIQUES.....	171
8.1 Perspectives de l'avenir	171
8.2 Recommandations pratiques :.....	172
a. Réfraction subjective	176
b. Acuité visuelle sans correction (AVSC) :	176
c. SE postopératoire cible :	176
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :.....	180

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Coupe histologique de la cornée Histopathological reporting of corneal pathology	4
Figure 2: Pouvoir optique paraxial de la cornée Gatinel D, J Cataract Refract Surg 2012. ^[51]	5
Figure 3: Morphologie générale de l'endothélium cornéen humain normal.	5
Figure 4: Anatomie de l'angle iridocornéen d'après Wallace L M Alward MD,.....	6
Figure 5: Anatomie du cristallin humain Kasturi, N., & Matalia, J.	8
Figure 6: Image en coupe du segment antérieur. flèche cristallinienne ^[68]	8
Figure 7: Trajet des rayons dans l'œil : Gatinel D, J Cataract Refract Surg 2012. ^[51]	9
Figure 8: Différents types d'amétropie. Anton Porkin / Alamy	10
Figure 9: prévalence de la myopie et de la forte myopie entre 2000 et 2050.	12
Figure 10: Prévalence mondiale estimée de la myopie par région en 2050	12
Figure 11: "Projection mondiale du nombre de myopes forts et de la prévalence.....	13
Figure 12: Prévalence régionale de la myopie forte par continent classée par niveaux de risque.....	13
Figure 13 : Tendances mondiales de la chirurgie réfractive (ESCRS 2016–2022).....	14
Figure 14: Proportion des patients atteints de myopie forte	15
Figure 15: "Effets visuels de la myopie forte.....	17
Figure 16: Matériel pour la manipulation d'une lentille sclérale. ^[118]	18
Figure 17: Mécanisme d'action des lentilles d'orthok,	19
Figure 18: Correction myopique avec les différents techniques PRK ;	22
Figure 19: Anneau intracornéens implanté chez un patient atteint de kératocône.	22
Figure 20: Complications historiques associées aux premières générations d'implants phakes	24
Figure 21: Représentation chronologique de l'évolution des implants intraoculaires phaqes.....	24
Figure 22: Évolution des modèles d'implants phaqes (STAAR Surgical, Monrovia, USA)	25
Figure 23: Implant phaques de chambre postérieure ICL / STAAR Surgical ^[161]	26
Figure 24: Implant Phake de Chambre Postérieure : Modèle IPCL V2.0.....	28
Figure 25: Système d'injection IPCL. Care Group.....	28
Figure 26: Comparaison de la hauteur de vault entre deux yeux ICL – Vault élevé vs Vault faible ^[165] ...	30
Figure 27: Cataracte sous-scapulaire antérieure associée à un dépôt de pigments ^[166]	31
Figure 28: Mesure du blanc au blanc avec un pied à coulisse manuel,	31
Figure 29: Dispositif d'imagerie Scheimpflug MS-39® (CSO).....	33
Figure 30: Mesure du diamètre angle à angle (ATA) par tomographie	34
Figure 31: Système d'échographie biométrique UBM Aviso®	35
Figure 32: Image d'échographie biomicroscopique (UBM)	37
Figure 33: Coupes transversale en OCT du segment antérieur	39
Figure 34: Système d'imagerie Scheimpflug à balayage rotatif.....	40
Figure 35: Analyse biométrique du segment antérieur par tomographie Scheimpflug	40
Figure 36: Cartographie cornéenne par Pentacam® (OD).....	41
Figure 37: OCT Visante, Carl Zeiss Meditec, IOLMaster 700.....	41
Figure 38: principaux éléments anatomiques identifiables sur une coupe d'OCT.....	41
Figure 39 : Interface du Calculateur STAAR Surgical pour ICL :	42
Figure 40: Feuille de Calcul Préopératoire IPCL V2.0.....	43
Figure 41 : Lentille Phake de Chambre Postérieure EVO Visian ICL	44
Figure 42: Positionnement horizontal de l'implant IPCL V2.0 selon l'axe 0°–180°/ care Group IPCL ...	45
Figure 43: Incision cornéenne claire en site temporal supérieur,.....	50
Figure 44: EVO ICL image de lentille Collamer implantable STAAR Surgical company,.....	53
Figure 45: Repères anatomiques de l'implant IPCL avant son chargement caregroupglobal.com.	53
Figure 46: Positionnement correct de l'implant IPCL dans l'injecteur pour l'œil droit (OD)	54
Figure 47: Positionnement correct de l'implant IPCL dans l'injecteur pour l'œil gauche (OS).....	54

Figure 48: Positionnement de l'EVO Visian ICL™ dans la chambre postérieure.....	55
Figure 49: Position d'un ICL Central FLOW® - Image OCT de SA	56
Figure 50: projecteur automatique LUNEAU L29 (a), équipé d'une télécommande (b)	63
Figure 51: Lampe à fente BQ 900 (Haag-streit, swiss);	64
Figure 52: Autorefrato -keratometre SPEEDY-K (Luneau technology, France)	65
Figure 53: Tonomètre à air pulsé (NIDEK) LTD, JAPAN/ service d'ophtalmologie de l'HMRUC	65
Figure 54: Biomètre oculaire NIDEK AL-Scan/Japan/ service d'ophtalmologie de l'HMRUC.....	66
Figure 55: Topographe cornéen par caméra rotative Scheimpflug (Pentacam®, le Sirius®)	67
Figure 56: Heidelberg Spectralis OCT (Mode 3 / Anterior Segment Module Allemagne	68
Figure 57: Microscope spéculaire (CEM-530 NIDEK) japon / service d'ophtalmologie de l'HMRUC...	68
Figure 58: Caractéristiques techniques de l'implant implant EVO+ Visian ICL V5	69
Figure 59 : Microscope avec enregistreur et machine Alcon Infinity Vision System	70
Figure 60: Instrumentation pour la technique d'implantation phaque EVO VISIAN.....	72
Figure 61 : Instrumentation nécessaire pour la technique d'implantation phaque IPCL.....	73
Figure 62: ICL® Online Calculator (STAAR Surgical).	80
Figure 63 : Plateforme de Calcul STAAR Implanttable Collamer Lenses	81
Figure 64 : Plateforme de calcul de l'implant phaque IPCL HMRUC de Constantine	82
Figure 65 : Kit de chargement de l'implant Evo visian Icl STAAR Surgical company, 2019)	85
Figure 66: Injecteur STAAR ICL.....	85
Figure 67 : Injecteur IPCL V2.0 care group avec Cartouche	86
Figure 68 : Séquence opératoire en quatre étapes illustrant la réalisation de l'incision principale.....	87
Figure 69 : Étapes chirurgicales d'implantation d'une lentille phaque de chambre postérieure	88
Figure 70 : Étapes chirurgicales d'implantation d'une lentille phaque de chambre postérieure :	89
Figure 71 : Préparation de l'implant : injection du viscoélastique et orientation dans la cartouche	90
Figure 72: Classes d'âges des patients	97
Figure 73: Répartition selon le sexe.....	98
Figure 74: Répartition de la population étudiée selon les antécédents ophtalmologique.	99
Figure 75: Répartition de la population étudiée selon la latéralité.....	100
Figure 76: Type d'amétropie : sphérique/sphérocyindrique.	101
Figure 77: Type de correction chirurgicale.	102
Figure 78: Distribution du diamètre cornéen (White-to-White) dans la population étudiée.	103
Figure 79: Distribution des effectifs par taille d'implant et type de lentille phaqes.	104
Figure 80: Répartition de la population étudiée selon la valeur de la pachymétrie	106
Figure 81: Proportions des patients selon les classes de pression intraoculaire préopératoire.	108
Figure 82: Répartition des types d'implants phaqes utilisés.....	109
Figure 83: Distribution des types d'implants phaqes (sphérique/torique) selon le modèle utilisé.	110
Figure 84: Distribution des tailles d'incision lors de la chirurgie d'implantation phaqes.....	111
Figure 85: Distribution des modalités d'anesthésie dans la population opérée	112
Figure 86: Distribution des tranches d'acuité visuelle corrigée avant chirurgie.	114
Figure 87: Distribution du nombre d'yeux.....	116
Figure 88: Distribution du nombre d'yeux selon les classes de cylindre réfractif préopératoire.....	117
Figure 89: Répartition des yeux selon l'acuité visuelle sans correction (AVSC) après chirurgie.	118
Figure 90: Progression de l'acuité visuelle sans correction après chirurgie.	119
Figure 91: Nombre de lignes de vision corrigée gagnées ou perdues à un an postopératoire.	120
Figure 92: Distribution individuelle de l'indice d'efficacité.	121
Figure 93: Proportion cumulative d'yeux atteignant les seuils d'acuité visuelle.....	122
Figure 94: Répartition des yeux par tranche de cylindre réfractif.....	124
Figure 95 : Cylindre résiduel.....	125
Figure 96: Variation du cylindre préopératoire et postopératoire (D)	125
Figure 97: Évolution de l'acuité visuelle avec correction (AVAC) au cours du suivi postopératoire.....	127

Figure 98: Progression de l'acuité visuelle avec correction (AVAC)	127
Figure 99: variation du SE manifeste et la stabilité de la réfraction.....	128
Figure 100: Répartition des erreurs réfractives résiduelles à 12 mois postopératoires.....	129
Figure 101: Équivalent sphérique tenté versus obtenu de la réfraction manifeste.....	130
Figure 102: Pourcentage d'yeux atteignant la cible réfractive ($\pm 0,50$ D et $\pm 1,00$ D).....	131
Figure 103: Evolution temporelle du tonus oculaire (PIO) après chirurgie par implant phake.	132
Figure 104: Variation temporelle de la densité cellulaire endothéliale cornéenne (cellules/mm ²).	133
Figure 105: Évolution de la profondeur de chambre antérieure (ACD) après implantation phake.	134
Figure 106: Distribution de l'angle de chambre antérieure à chaque moment de mesure.	136
Figure 107: Évolution du vaulting de l'implant phake (1, 3, 6 et 12 mois).....	137
Figure 108: distribution de variation de vault final postopératoire.	139
Figure 109 : Relation linéaire entre WTW et vaulting à 12 mois.	140
Figure 110: complications postopératoires.....	141
Figure 111 : Rotation d'un implant IPCL V2.0 et analyse du vault sce d'ophtalmologie HMRUC	142
Figure 112 : Réalignement chirurgical de l'implant torique.	143
Figure 113: Vue à la lampe à fente avec un grossissement $\times 16$ Hypopion stérile.....	144
Figure 114 : Réaction inflammatoire de la chambre antérieure à 1 mois postopératoire/HMRUC.....	145
Figure 115: Aspect BM à 3 mois postopératoires/HMRUC.....	145

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Perte de cellules endothéliales par décennie d'âge. Galguskas S.....	6
Tableau 2: Classification de shaffer 2022 apr 27;16:1301–1312. ^[64]	7
Tableau 3: Comparaison des paramètres biométriques : forts myopes / emmétropes. ^[78]	11
Tableau 4: Caractéristiques physiques, géométriques et optiques des implants phakes.....	29
Tableau 5: Méthodes d'évaluation du (WTW) et (STS).....	32
Tableau 6: Sélection de la taille de l'ICL en fonction du calcul à l'aide de la formule nk-2 ^[186]	35
Tableau 7: Sélection de la taille de l'implant l'ICL selon le nomogramme de Dougherty et al , ^[188]	36
Tableau 8: Tableau comparatif des méthodes de dimensionnement des implants phakes.....	38
Tableau 9 : Incidents peropératoires et leur gestion.....	56
Tableau 10 : Caractéristiques techniques, optiques et biomatériaux de l'implant phake EVO ICL.....	69
Tableau 11 : Caractéristiques des implants phake IPCL V2.0.....	70
Tableau 12 : Répartition selon l'âge.....	96
Tableau 13 : Classes d'âges des patients.....	97
Tableau 14: Répartition selon le sexe.....	98
Tableau 15: Antécédents ophtalmologiques.....	99
Tableau 16: Latéralité des chirurgies réalisées.....	100
Tableau 17: Type d'amétropie.....	101
Tableau 18: Type de correction utilisée.....	102
Tableau 19: Diamètre cornéen.....	103
Tableau 20: Tranches de diamètre cornéen.....	103
Tableau 21: Distribution de la taille des implants phakes utilisés.....	104
Tableau 22: Répartition des tailles d'implants phakes par modèle (ICL/IPCL).....	104
Tableau 23: Analyse descriptive de la profondeur de chambre antérieure (ACD) préopératoire.....	105
Tableau 24: Répartition de la population selon la pachymétrie centrale.....	106
Tableau 25: Statistiques de l'angle de chambre antérieure (ACA) préopératoire.....	107
Tableau 26: Analyse descriptive de la densité cellulaire endothéliale cornéenne (ECC).....	107
Tableau 27: Paramètres de pression intraoculaire dans la population étudiée.....	108
Tableau 28: Statistiques descriptives de la puissance des implants phakes (en dioptries).....	109
Tableau 29: Répartition des implants phakes utilisés selon le modèle.....	109
Tableau 30: Taille de l'incision lors de la chirurgie d'implantation phakes.....	111
Tableau 31: Type d'anesthésie pratiquée lors de l'implantation.....	112
Tableau 32: Statistiques descriptives de l'acuité visuelle corrigée préopératoire.....	113
Tableau 33: Répartition des yeux selon les tranches d'acuité visuelle corrigée préopératoire (AVAC).....	114
Tableau 34: Statistiques descriptives des données réfractives préopératoires.....	115
Tableau 35: Distribution des yeux selon les classes d'équivalent sphérique préopératoire.....	116
Tableau 36: Statistiques descriptives de l'astigmatisme préopératoire dans la population étudiée.....	117
Tableau 37 Statistiques descriptives de l'acuité visuelle sans correction (AVSC).....	118
Tableau 38: Distribution des gains et pertes de lignes d'acuité visuelle après chirurgie.....	120
Tableau 39: Indice d'efficacité visuelle après chirurgie : valeurs descriptives.....	121
Tableau 40: Distribution des yeux selon les seuils d'acuité visuelle décimale.....	122
Tableau 41: Comparaison des valeurs du cylindre préopératoire et postopératoire (D).....	123
Tableau 42 : Répartition des yeux selon la tranche de cylindre (en dioptries).....	123
Tableau 43: Évolution de l'acuité visuelle avec correction (AVAC) en logMAR.....	126
Tableau 44: Statistiques descriptives de l'équivalent sphérique (D).....	128
Tableau 45: Répartition des yeux selon l'équivalent sphérique postopératoire (D).....	129
Tableau 46: Répartition des yeux selon l'intervalle d'erreur réfractive par rapport à la cible.....	131
Tableau 47: Paramètres descriptifs de la pression intraoculaire (PIO).....	131

Tableau 48 : Evolution temporelle de la densité cellulaire.....	133
Tableau 49: Profondeur de chambre antérieure (ACD) – Données descriptives au cours du suivi.	134
Tableau 50: Statistiques descriptives angle de chambre antérieure.....	135
Tableau 51: Paramètres descriptifs du vaulting (en μm).....	137
Tableau 52: Comparaison des différences moyennes de vault	138
Tableau 53 : Comparaison des populations étudiées dans les séries publiées.....	147
Tableau 54: Répartition selon le sexe Comparaison	148
Tableau 55 : Diamètre cornéen (littérature internationale).....	150
Tableau 56 : Pachymétrie Centrale	152
Tableau 57 : Données Chirurgicales.....	153
Tableau 58 : Résultats Postopératoires (Littérature Internationale).....	155
Tableau 59 : Prédicibilité Réfractive (Série Internationales).	160
Tableau 60 : Astigmatisme Post Opératoire.....	162
Tableau 61: Perte cellulaire endothéliale Post Opératoire.	165
Tableau 62 : Paramètres anatomiques.....	166
Tableau 63 : Vaulting (Série International).	167
Tableau 64 : Complication Post Opératoire.....	169

LISTE DES ABREVIATIONS

- **ACD** : Anterior chamber depth:profondeur de chamber anterieure
- **ACV** : Anterior chamber volume
- **ACW** : Anterior Chamber Width: Largeur de la chambre antérieure
- **AG** : Anesthésie Générale
- **AR** : Auto-Réfractométrie
- **ATA** : Angle To Angle
- **AVAC** : Acuité visuelle avec correction
- **AVSC** : Acuité visuelle sans correction
- **BAV** : Baisse d'Acuité Visuelle
- **BUT** : Break-Up Time
- **CCT** : Central Corneal ThicknessTraduction : Épaisseur cornéenne centrale
- **CDVA** : Corrected Distance Visual Acuity
- **ECC** : Endothelial Cell Count Densité cellulaire endothéliale
- **ES** : Equivalent Sphérique
- **ET** : Ecart Type
- **FO** : Fond d'Œil
- **HMRUC** : Hôpital Militaire Régional Universitaire de Constantine
- **ICA** : Implant de Chambre Antérieure
- **ICL** : Implantable Collamer Lens, STAAR Surgical
- **ICP** : Implant de Chambre Postérieure
- **IOL** : Intra-Ocular Lens
- **IPCL** : Implantable Phakic Contact Lens
- **KC** : Kératocône
- **LAF** : Lampe A Fente
- **LASIK** : Laser-Assisted in Situ Keratomileusis
- **LOGMAR** : Logarithm of the Minimum Angel of Résolution
- **LPDR** : Lésions Prédisposantes au Décollement de la Rétine
- **OCOS** : Online Calculation and Ordering System
- **OCT** : Optical Cohérence Tomography
- **OD** : Oculus Dexter (Œil Droit)
- **OP** : Postopératoire

- **OP** : Préopératoire
- **OS** : Oculus Sinister (Œil gauche)
- **PIO** : Pression Intra Oculaire
- **PLC** : Port de Lentilles de Contact
- **PMMA** : Poly Méthacrylate de Méthyle
- **PRK** : Photo Réfractive Keratectomy
- **PTA** : Pourcentage du Tissue Ablaté
- **PVC** : Port de Verres Correcteurs
- **PVE** : Produit Visco- Elastique
- _ **RLE** : Réfractive Lens Exchange (Extraction du Cristallin Clair)
- **SE** : Spherical Equivalent
- **SIA** : Astigmatisme Chirurgicalement Induit
- **SMILE** : Small Incision Lenticule Extraction
- **SR** : Sphère Résiduelle
- _ **STAAR** : Surgical Technique for Advanced Anterior segment Réfractive Surgery
Le nom de l'entreprise américaine spécialisée dans la conception et la fabrication de lentilles intraoculaires implants phakes EVO Visian ICL
- **STS** : Sulcus-To-Sulcus
- **TO** : Tonus Oculaire
- _ **TASS** : Toxic Anterior Segment Syndrome
- **UBM** : Ultrasound Biomicroscopy.
- _ **UDVA** : Uncorrected Distance Visual Acuity
- **WTW** : White-To-White : Distance blanc à blanc

CHAPITRE I

INTRODUCTION

1 CHAPITRE I : INTRODUCTION

La myopie s'impose comme un enjeu majeur de santé publique mondiale particulièrement en Asie de l'Est et du Sud-Est. ^[1] .

Selon les résultats de Holden et al. D'ici 2050, près de la moitié de la population mondiale sera myope, dont 10 % souffriront de myopie forte, définie par une réfraction supérieure ou égale à -6 dioptries. Au fil des dernières décennies, la prise en charge de la myopie forte a profondément évolué grâce à l'essor de la chirurgie réfractive par implant phake, qui s'est imposée comme une alternative de choix face aux limites des techniques cornéennes classiques (LASIK, PKR, SMILE).^[2-4].

Si ces dernières demeurent majoritaires, elles se révèlent souvent inadaptées pour les amétropies élevées, en raison du risque accru d'ectasie, de complications cornéennes ou de difficultés biométriques futures. ^[5-13]. L'implantation de lentilles intraoculaires phaques de chambre postérieure, telles que l'ICL (Implantable Collamer Lens) et l'IPCL V2.0 ((Implantable Phakic Contact Lens), apporte aujourd'hui une solution sûre, efficace et réversible, préservant l'intégrité de la cornée et offrant une qualité optique supérieure.^[14-17] .

La dernière génération d'ICL, avec orifice central (EVO Visian ICL), a encore renforcé la sécurité de la procédure en réduisant les complications à long terme. ^[18-21].

Face à la croissance continue du nombre de myopes forts, l'intérêt scientifique et clinique pour la chirurgie additive par implant phake s'est considérablement intensifié. Les avancées en matière de dimensionnement personnalisé et d'innovations technologiques ont permis d'optimiser les résultats réfractifs et la satisfaction des patients. ^[22].

De nombreuses études longitudinales confirment aujourd'hui la stabilité, la sécurité et la haute efficacité de ces implants, positionnant la chirurgie phake comme une option centrale et moderne pour la correction des myopies sévères. ^[23-26].

1.1 Problématique :

En dépit des excellents résultats rapportés à l'échelle internationale. ^[27] . L'usage des implants phaqes reste encore marginal dans les pays du Maghreb, notamment en Algérie. Aucune étude locale n'a, à ce jour, évalué leur efficacité, leur sécurité et leur prévisibilité dans des conditions de pratique réelle. Cette absence de données est d'autant plus préoccupante que plusieurs spécificités régionales plaident en faveur d'une solution alternative aux techniques cornéennes.

En effet, une part non négligeable de la population maghrébine, et plus particulièrement algérienne, présente des cornées fines, souvent inférieures à 500 μm ce qui constitue un facteur limitant majeur pour les techniques ablatives telles que transphotokeratectomie réfractive (trans PKR) le LASIK ou le SMILE.^[28].

Ces patients, bien qu'éligibles sur le plan réfractif, sont souvent exclus de la chirurgie cornéenne en raison du risque accru d'ectasie post-opératoire ^[29]. Cette contrainte biométrique, combinée à une forte prévalence de myopie forte.

Parallèlement, on observe en Algérie une demande croissante en chirurgie réfractive, portée par une population jeune, de plus en plus informée, exigeante sur le plan esthétique et fonctionnel, et souvent freinée par des critères d'exclusion biométriques. La chirurgie additive par implant phaque, en préservant l'intégrité cornéenne tout en offrant une correction stable et réversible, pourrait ainsi répondre à un besoin thérapeutique non satisfait dans ce contexte.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre travail : évaluer les résultats réfractifs, la sécurité et la prévisibilité de l'implantation de lentilles phaqes de chambre postérieure (ICL ou IPCL V2.0) chez des patients jeunes atteints de myopie forte, avec ou sans astigmatisme, en vue de valider leur pertinence dans un contexte algérien, et potentiellement contribuer à élargir les indications de la chirurgie réfractive dans notre région.

1.2 Revue de la littérature :

1.2.1 Contexte scientifique et essor de la chirurgie phake

Depuis le début des années 2000, la chirurgie réfractive par lentilles phaqes de chambre postérieure, notamment avec les modèles ICL (Implantable Collamer Lens), a connu un essor remarquable.

Selon une analyse bibliographique internationale récente (Zhang et al., 2024), la littérature scientifique dédiée aux ICL a connu une croissance exponentielle, particulièrement en Asie, témoignant de l'intérêt croissant pour cette technologie innovante ^[30–35].

Les progrès technologiques ont également joué un rôle clé : l'introduction des modèles V4c puis EVO, dotés d'un orifice central (KS-AquaPORT), a permis d'optimiser l'écoulement de l'humeur aqueuse et de réduire le risque de complications telles que la cataracte antérieure, l'hypertonie oculaire ou le bloc pupillaire.^[36–40] .

Les recherches actuelles se focalisent de plus en plus sur l'influence des paramètres biométriques fins sur la réussite réfractive et la sécurité à long terme, illustrant une évolution vers une personnalisation de la chirurgie.

Par ailleurs, la reconnaissance scientifique mondiale s'est renforcée, les études de haut niveau validant l'efficacité, la prévisibilité et la sécurité des lentilles phaqes, tout en soulignant la nécessité d'évaluations sur des populations plus diversifiées ^[41–44].

Enfin, l'intégration progressive de l'intelligence artificielle dans le choix du sizing et la prédiction des résultats réfractifs ouvre la voie à une chirurgie toujours plus personnalisée et précise. ^[45–48].

CHAPITRE II

LES BASES FONDAMENTALES

2 CHAPITRE II : LES BASES FONDAMENTALES

2.1 Anatomie et propriétés de la cornée :

La cornée est la structure transparente située en avant du segment antérieur de l'œil, responsable d'environ deux tiers du pouvoir réfractif total du globe oculaire. Composée de plusieurs couches, elle assure la transmission et la focalisation de la lumière sur la rétine tout en offrant une protection mécanique.

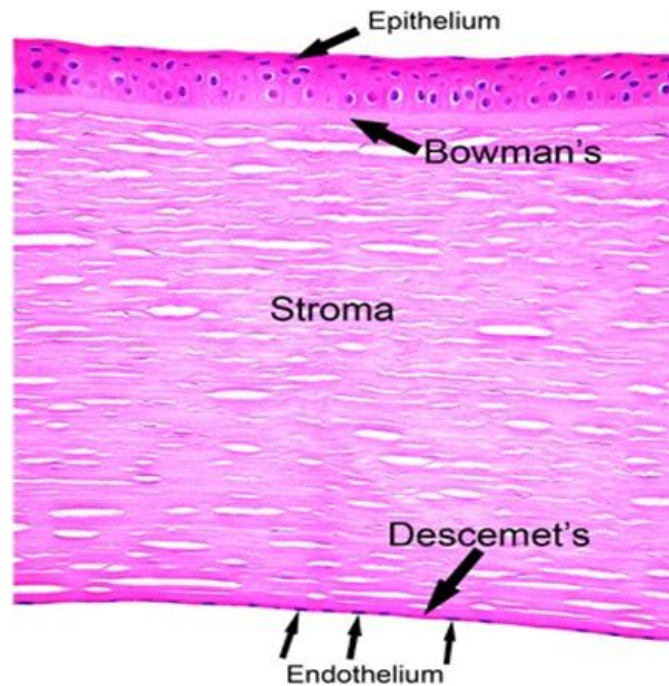


Figure 1 : Coupe histologique de la cornée *Histopathological reporting of corneal pathology by a biomedical scientist: the Sheffield Experience. Eye 27, 272–276 (2013).^[49]*

Sur le plan géométrique, la cornée adopte la forme d'un dôme prolate : elle est plus bombée au centre qu'en périphérie. Cette géométrie favorise une bonne qualité optique. Le rayon de courbure central varie entre 7,2 et 8,4 mm selon les individus. Le diamètre horizontal moyen est d'environ 11,7 mm, tandis que le diamètre vertical est plus court 10,6 mm. (**Figure 2**). La puissance optique cornéenne globale s'établit autour de 42 à 43 dioptries (D), principalement attribuée à la face antérieure (+48 D), la face postérieure contribuant de façon négative (environ -6 D). L'indice de réfraction du stroma cornéen est d'environ 1,376 et les instruments cliniques utilisent en routine un indice standardisé de 1,375 pour les calculs biométriques^[50].

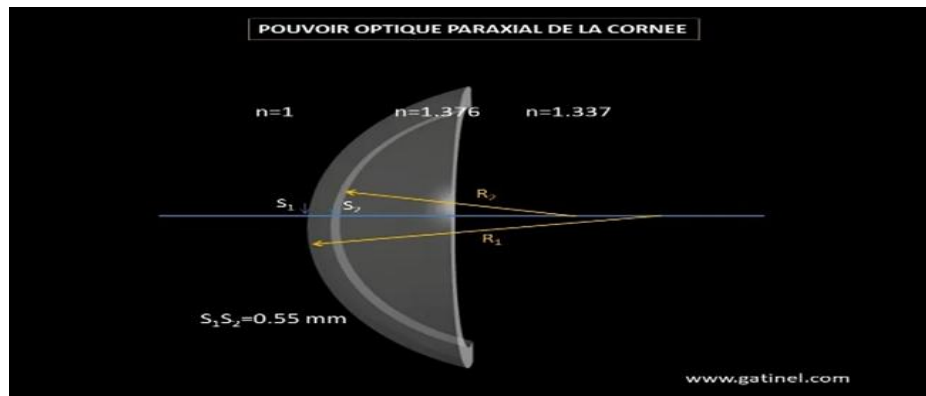


Figure 2: Pouvoir optique paraxial de la cornée Gatinel D, *J Cataract Refract Surg* 2012. ^[51]

L'épaisseur centrale de la cornée (pachymétrie) est en moyenne de 540 à 550 μm chez l'adulte sain.

^[52]. Cette épaisseur varie selon l'origine ethnique, étant souvent légèrement supérieure chez les personnes d'origine africaine ou asiatique, et plus mince chez les Européens. Des variations circadiennes existent, la cornée étant plus épaisse le matin en raison de l'hypoxie nocturne, puis s'amincissant au cours de la journée. L'épaisseur cornéenne diminue progressivement avec l'âge, et elle peut aussi être influencée par le degré d'amétropie : elle est parfois plus fine chez les myopes forts et peut également varier selon le type et le degré d'astigmatisme ^[53–56]. Ces paramètres sont essentiels dans l'interprétation de la pression intraoculaire et dans le diagnostic du glaucome.

L'endothélium cornéen, situé sur la face interne de la cornée, joue un rôle fondamental dans le maintien de la transparence par la régulation de l'hydratation stromale. Il s'agit d'une monocouche de cellules hexagonales métaboliquement actives d'environ 5 μm d'épaisseur, qui reposent sur la membrane de Descemet. (**Figure 3**).

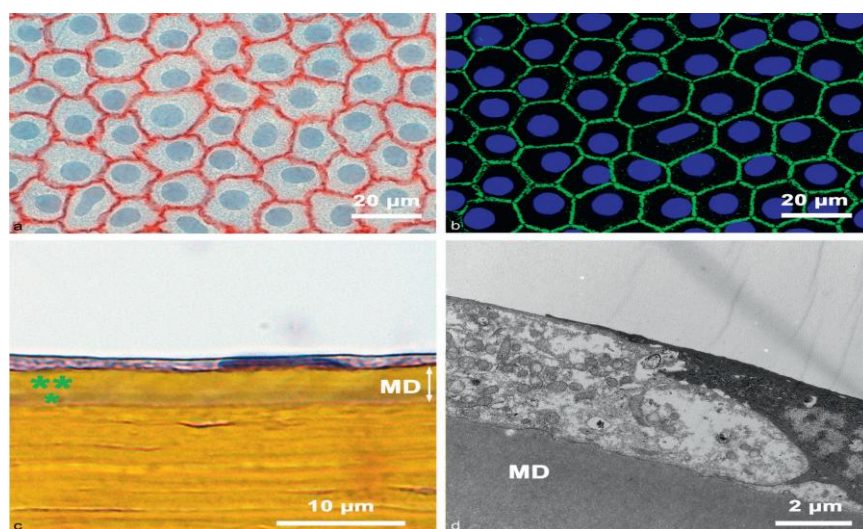


Figure 3: Morphologie générale de l'endothélium cornéen humain normal. Coupe histologique transversale : SFO, 2020 ISBN : 978-2-294-76807-1 ^[57]

Le nombre de cellules endothéliales décroît avec l'âge, passant d'environ 3 500 cellules/mm² à la naissance à 2 600 cellules/mm² à l'âge adulte, sans capacité de régénération [58]. L'activité des pompes Na⁺/K⁺ ATPase et de l'anhydrase carbonique permet de maintenir la déturgescence du stroma et donc la clarté cornéenne. (*Tableau 1*).

Tableau 1: Perte de cellules endothéliales par décennie d'âge. Galgauskas S, age-related changes in corneal thickness and endothelial characteristics, clin interv aging 2013; 8 1445 - 1450.^[59]

2.2 Anatomie de l'angle iridocornéen :

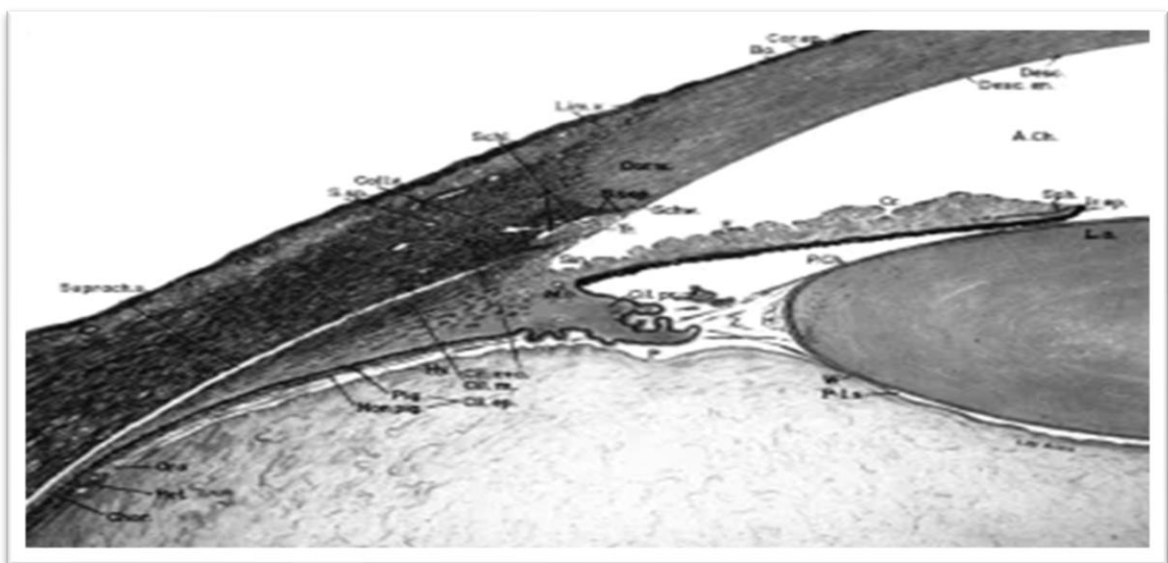


Figure 4: Anatomie de l'angle iridocornéen d'après Wallace L M Alward MD, Reid Color Atlas of Gonioscopy ^[56].

Les principales structures qui composent cet angle incluent la ligne de Schwalbe — repère gonioscopique formant la limite entre la membrane de Descemet et le trabéculum —, le trabéculum lui-même (constitué de trois couches : uvéosclérale, cornéosclérale et juxtacanalair, jouant un rôle clé dans la régulation de l'évacuation de l'humeur aqueuse), le canal de Schlemm (canal collecteur facilitant la résorption de l'humeur aqueuse), l'éperon scléral et le corps ciliaire.

Le degré d'ouverture de l'angle est un paramètre déterminant dans l'indication d'un implant phake. Un angle ouvert ($> 30^\circ$) garantit un bon drainage et autorise la chirurgie ; un angle modéré ($20\text{--}30^\circ$) nécessite une surveillance accrue ; un angle étroit ($< 20^\circ$) constitue une contre-indication à l'implantation, du fait du risque de fermeture. La classification de Schäfer, basée sur la mesure de l'ouverture angulaire par gonioscopie ou OCT du segment antérieur, permet d'évaluer ce risque de fermeture : un degré 4 ($\geq 35^\circ$) indique l'absence de risque, alors qu'un degré 0 (angle fermé) correspond à un blocage complet.

En complément, la profondeur de la chambre antérieure, mesurée entre l'endothélium cornéen et la face antérieure du cristallin, doit être supérieure à 3,0 mm pour garantir la sécurité d'implantation ^[62]. La connaissance fine de l'anatomie de l'angle iridocornéen et de la chambre antérieure est donc indispensable (**Tableau 2**), tant pour le choix et le dimensionnement du dispositif que pour la prévention des complications et l'optimisation des résultats visuels ^[63].

Tableau 2: Classification de shaffer 2022 apr 27;16:1301–1312. ^[64].

Degré d'angle	Ouverture estimée	Risque de fermeture
4	$\geq 35^\circ$	Aucun
3	$25\text{--}35^\circ$	Faible
2	20°	Modéré
1	$< 10^\circ$	Élevé
0	Fermé	Blocage

2.3 Anatomie et caractéristiques du cristallin :

Le cristallin est une lentille biconvexe transparente située entre l'iris et le vitré, essentielle pour l'accommodation grâce à sa plasticité et son gradient d'indice de réfraction. ^[63] Il est maintenu par la zonule et entouré d'une capsule fine. Seule la face antérieure porte un épithélium unistratifié. Les fibres cristalliniennes, riches en cristallines, assurent la transparence.

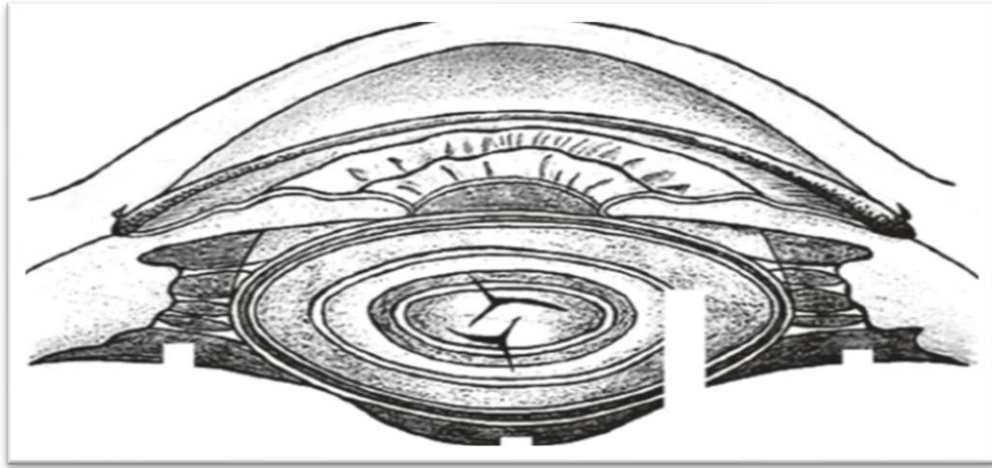


Figure 5: Anatomie du cristallin humain Kasturi, N., & Matalia, J. (2017). *Anatomy of the Human Crystalline Lens. Posterior Capsular Rent* .^[65].

Sur le plan biométrique, le cristallin présente des rayons de courbure d'environ 10 mm pour la face antérieure et 6 mm pour la face postérieure, avec un indice de réfraction moyen proche de 1,42 et une puissance d'environ 22 D ^[66] .

L'épaisseur cristallinienne correspond à la distance axiale séparant ses surfaces antérieure et postérieure. ^[67] elle se mesure en millimètres par des techniques d'imagerie haute précision telles que l'échographie A-scan, la biométrie optique (IOLMaster, Lenstar) ou l'OCT du segment antérieur.

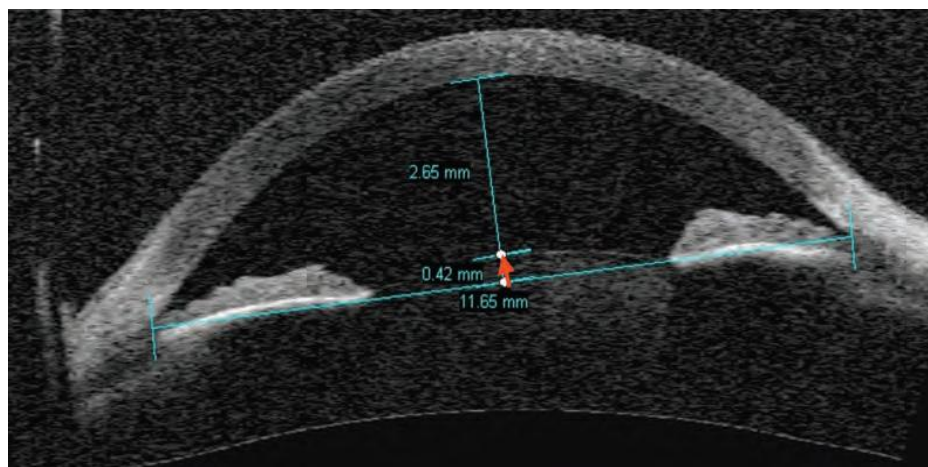


Figure 6: Image en coupe du segment antérieur. flèche cristallinienne .^[68]

Tout au long de la vie, l'épaisseur du cristallin augmente, passant d'environ 3,5 mm à la naissance à 5,0–5,5 mm chez le sujet âgé. Cette croissance progressive résulte de l'empilement continu des fibres lenticulaires au sein du noyau, faisant de cette dimension un indicateur fiable du vieillissement du cristallin et un paramètre clé pour la planification de certaines interventions. ^[69] .

2.4 Réfraction oculaire :

L'œil humain constitue un système optique complexe dont la fonction principale est de focaliser les rayons lumineux sur la rétine afin de permettre une vision nette. Ce processus repose sur la réfraction, phénomène physique correspondant à la déviation de la lumière lorsqu'elle traverse des milieux transparents aux indices différents. L'ensemble des surfaces réfractives de l'œil, principalement la cornée et le cristallin, contribuent à ce pouvoir réfractif global.

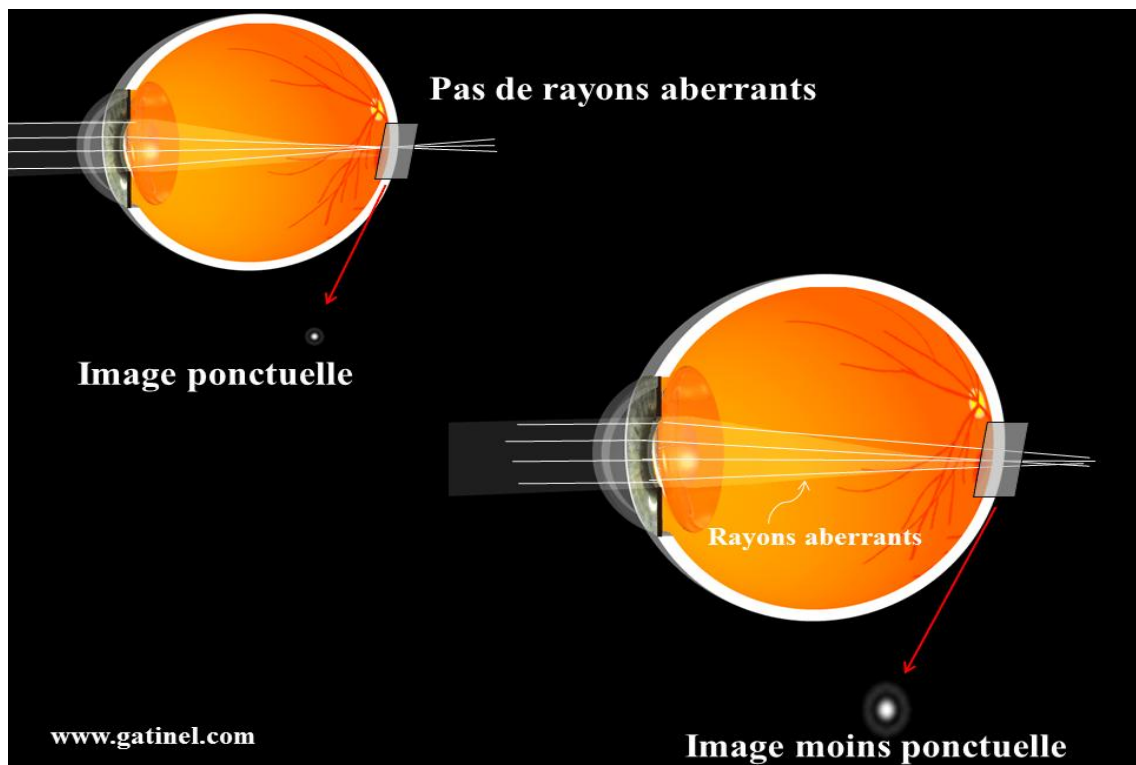


Figure 7: Trajet des rayons dans l'œil : Gatinel D, J Cataract Refract Surg 2012 .^[51].

Au cours du développement, l'œil subit un processus physiologique appelé emmétropisation, visant à ajuster les dimensions anatomiques et les propriétés optiques des structures oculaires pour obtenir une focalisation parfaite sur la rétine. Ce mécanisme est à la fois passif, par la croissance proportionnelle du globe oculaire, et actif, via des ajustements guidés par des signaux visuels rétiniens. Le pouvoir réfractif global (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.

Chez les sujets présentant une myopie associée à un astigmatisme, la cornée adopte une forme torique, avec deux méridiens de courbures inégales, induisant une focalisation imparfaite. Cette configuration nécessite une correction optique adaptée (lunettes toriques, lentilles de contact ou chirurgie réfractive). La topographie cornéenne révèle des schémas caractéristiques selon l'orientation de l'astigmatisme (direct ou inverse), pouvant également avoir des implications biomécaniques.

VISION DISORDERS

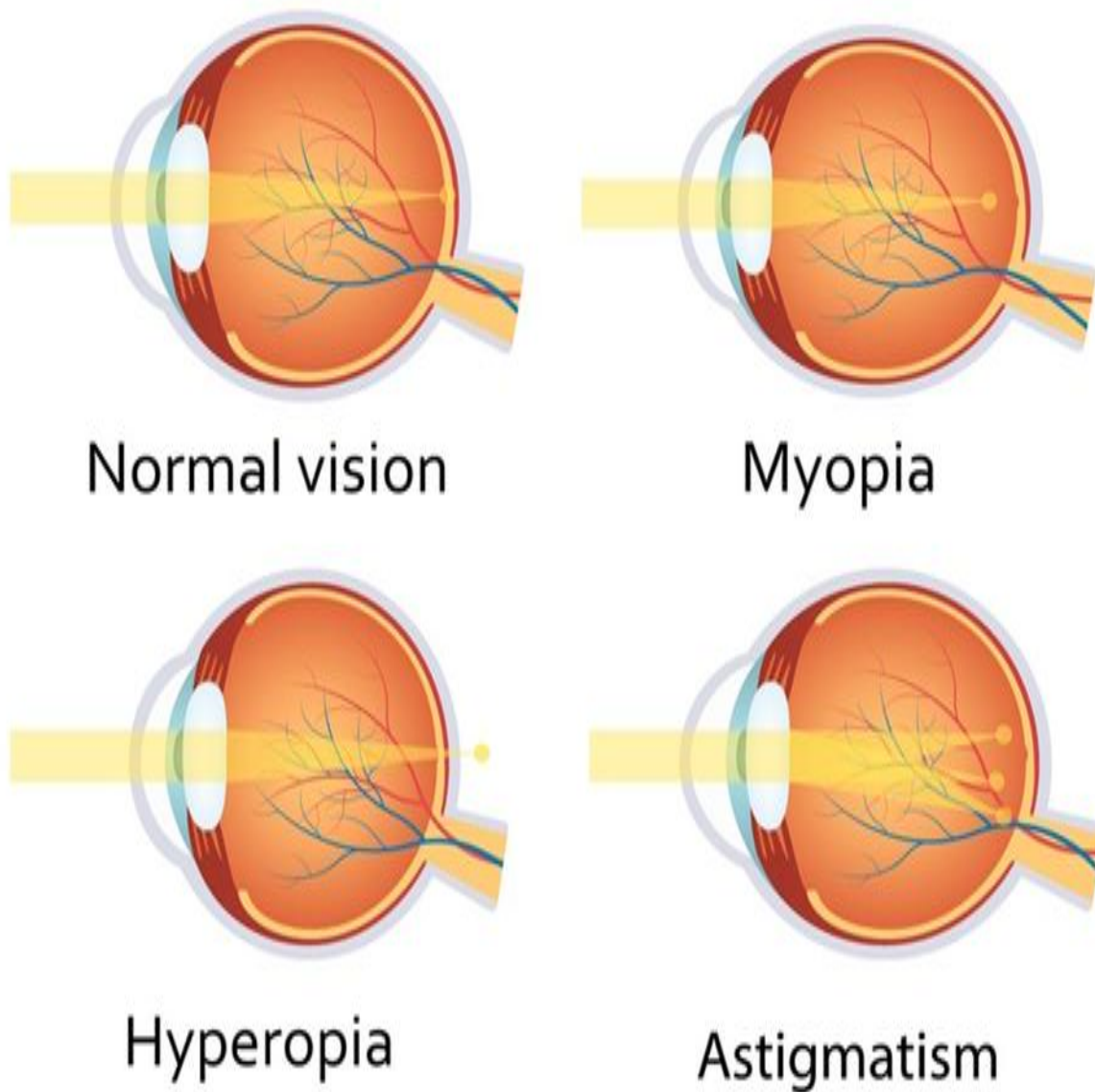


Figure 8: Différents types d'amétropie. Anton Porkin / Alamy

Dans le cadre de la correction chirurgicale de la forte myopie par implants phaqes, certaines particularités anatomiques sont à considérer : un angle iridocornéen plus ouvert, un sulcus ciliaire plus large, et un cristallin positionné en arrière.^[70] Ces spécificités influencent la sélection et la taille de l'implant, ainsi que le vault postopératoire — paramètre crucial pour prévenir les complications telles que la cataracte précoce. Une évaluation biométrique précise et individualisée est donc essentielle pour garantir la sécurité et l'efficacité de l'intervention ^[71].

Afin d'illustrer ces différences, le tableau ci-dessous résume les valeurs moyennes des principaux paramètres biométriques observés chez les patients forts myopes, comparés à ceux des sujets emmétropes. (*Tableau 3*).

Ces données mettent en évidence des dimensions anatomiques significativement supérieures chez les myopes, notamment au niveau de la chambre antérieure, du sulcus ciliaire et du diamètre cornéen blanc-à-blanc, éléments fondamentaux pour le dimensionnement optimal des implants phaqes.^[72–77]

Tableau 3: Comparaison des paramètres biométriques : forts myopes / emmétropes. ^[78].

Paramètre	Valeur chez les forts myopes	Valeur chez les emmétropes
Profondeur de la chambre antérieure (ACD)	3,2 - 3,7 mm	2,9 - 3,2 mm
Angle iridocornéen (ACA)	40 - 50°	30 - 40°
Diamètre du Sulcus ciliaire (WTS)	11,5 - 13,5 mm	10,5 - 12 mm
Diamètre blanc-à-blanc (WTW)	11,5 - 12,5 mm	11 - 12 mm
Rayon de courbure cornéen (K)	41 - 44 D	42 - 45 D
Vault idéal après implantation	250 - 750 µm	

2.5 Epidémiologie

La myopie constitue aujourd'hui le trouble visuel le plus répandu à l'échelle mondiale, avec une prévalence en hausse constante au point d'être désormais qualifiée d'épidémie globale. ^[79]. Selon les projections de Holden et al., (**Figure 9**). Près de la moitié de la population mondiale soit environ 5 milliards d'individus devrait être affectée par la myopie d'ici 2050, parmi lesquels près de 10 % seront atteints de myopie forte ^[80] ^[81].

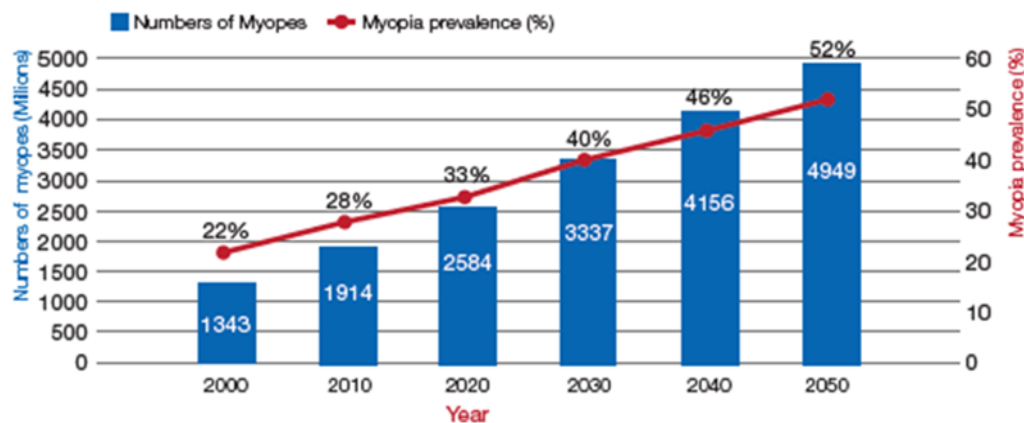


Figure 9: *prévalence de la myopie et de la forte myopie entre 2000 et 2050.*
Global Prévalence of Myopia and High myopia. ^[80].

Cette progression fulgurante n'est cependant pas homogène, la prévalence de la myopie variant significativement selon les régions du globe.

En Asie de l'Est, elle atteint des proportions extrêmement élevées, dépassant souvent 80 à 90 % chez les jeunes adultes, comme cela a été observé à Singapour, à Taïwan, à Hong Kong ou encore en Corée du Sud.

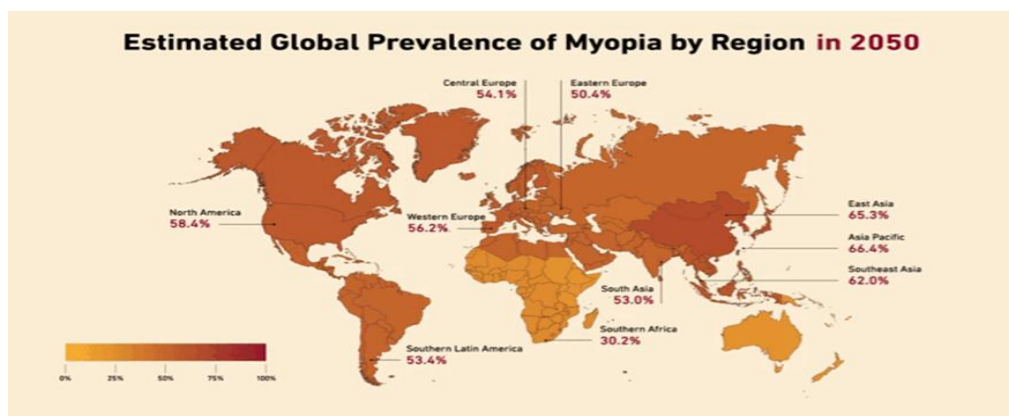


Figure 10: *Prévalence mondiale estimée de la myopie par région en 2050*

Holden et al Ophthalmology. 2016 May ^[80].

À l'inverse, l'Europe et l'Amérique du Nord affichent des taux plus modérés, autour de 30 à 40 %, bien que ces chiffres soient également en augmentation chez les générations plus jeunes ^[82,83]. (**Figure 11**). En Afrique du Nord et au Moyen-Orient, la prévalence est passée de 14,6 % en 2000 à 23,3 % en 2010 ^[84].

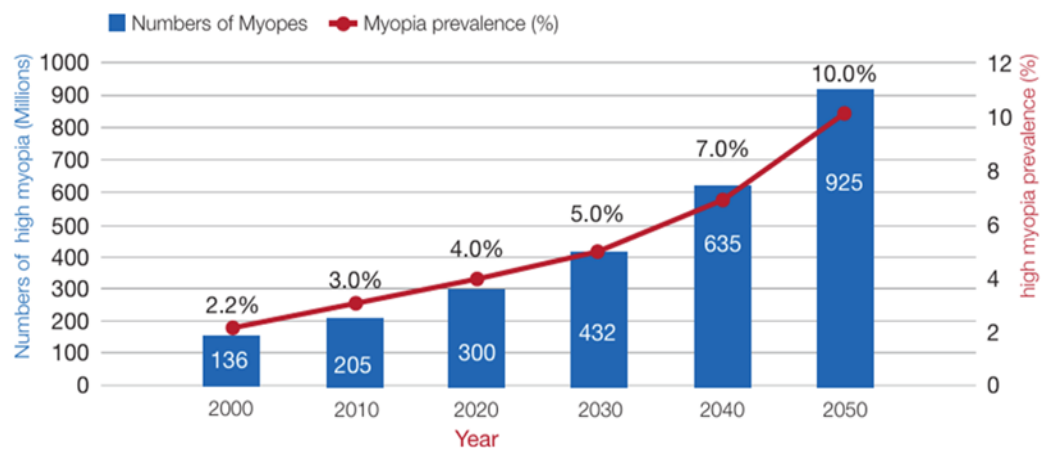


Figure 11: "Projection mondiale du nombre de myopes forts et de la prévalence de la myopie forte entre 2000 et 2050".^[80].

En Algérie, une enquête menée par le ministère de la Santé publique en 2008 estime la prévalence de la myopie dégénérative à 7 %, ce qui en fait la quatrième cause de cécité dans le pays, bien qu'aucune étude épidémiologique nationale de grande ampleur n'ait encore été réalisée ^[85].

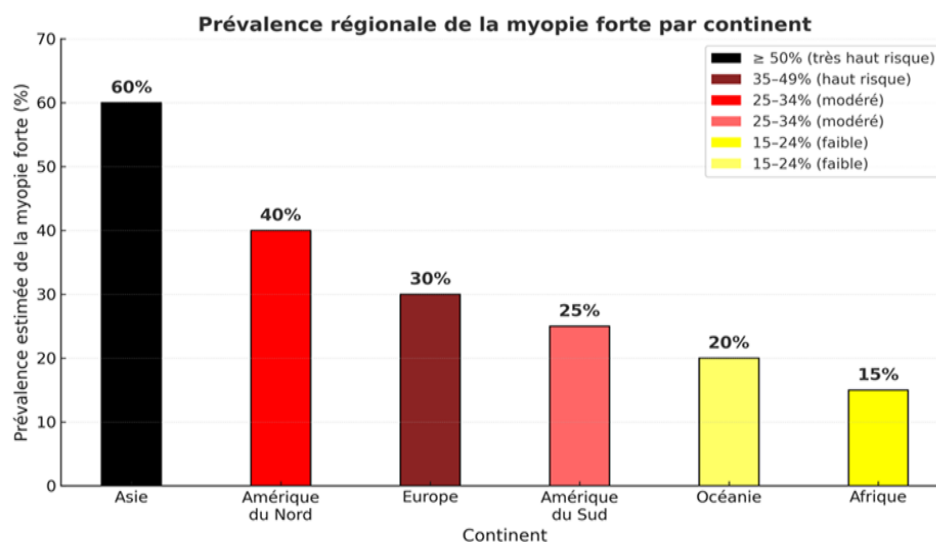


Figure 12:Prévalence régionale de la myopie forte par continent classée par niveaux de risque Holden et al Ophthalmology. 2016 May Vision Institute. ^[80].

La myopie forte, généralement définie par une réfraction supérieure ou à -6,00 D voire -8,00 D selon les auteurs, concerne entre 2 et 5 % de la population mondiale ^[86] . Cette forme avancée est particulièrement préoccupante car elle expose à un risque accru de complications ophtalmologiques graves, telles que le décollement de rétine, le glaucome, la maculopathie myopique ou encore la survenue précoce d'une cataracte ^[87,88] .

Par ailleurs, il existe une association fréquente entre la myopie et l'astigmatisme. Ainsi, l'astigmatisme est retrouvé chez environ 41,6 % des nourrissons, une proportion qui tend à diminuer avec la croissance pour n'atteindre que 4,1 % à l'âge de trois ans. Le rôle de l'astigmatisme dans la progression de la myopie reste débattu, certaines études suggérant un effet aggravant, tandis que d'autres n'ont pas mis en évidence de lien significatif ^{[89] [90]} .

Ces dernières années, les implants phaques, notamment l'ICL, ont transformé la prise en charge des amétropies élevées. Si les techniques cornéennes (LASIK, PKR, SMILE) restent prédominantes avec 90 à 95 % des chirurgies réfractives réalisées dans le monde – et plus de 35 millions de procédures LASIK à ce jour [91]–, les implants phaques occupent désormais 5 à 10 % des interventions, atteignant même 20 à 30 % chez les myopes forts, avec une tendance à la hausse. STAAR annonce **plus de 3 millions d'ICL vendues à ce jour** sur son site officiel (STAAR SURGICAL COMPANY annual report 2024).

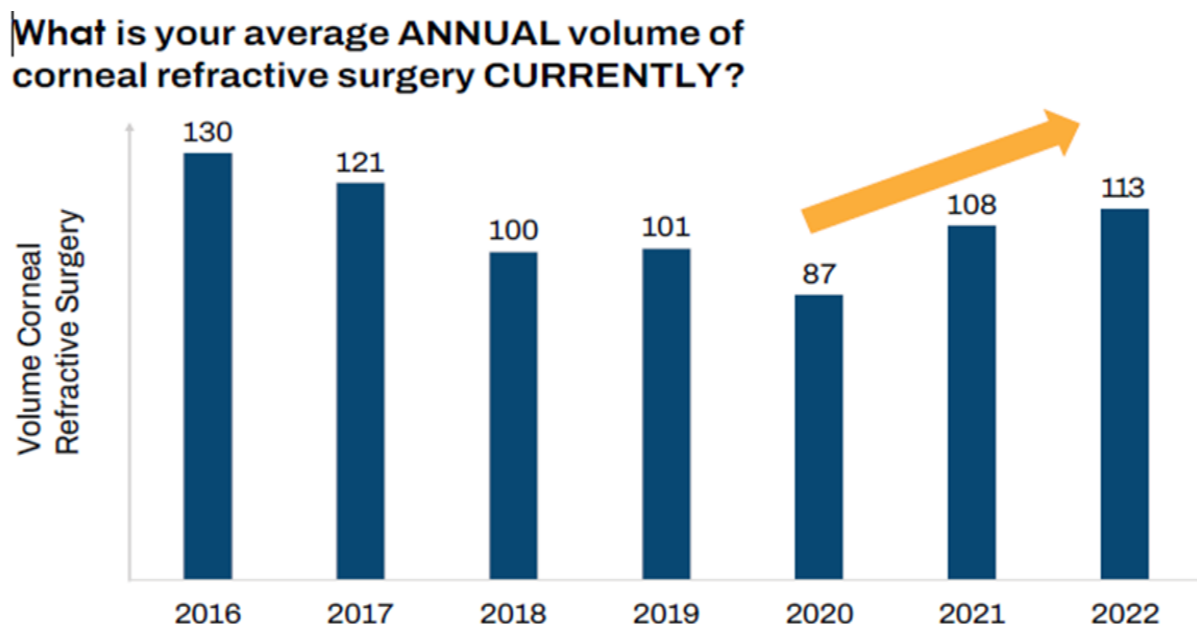


Figure 13 : Tendances mondiales de la chirurgie réfractive (ESCRS 2016–2022).

Cette évolution s'explique par l'amélioration continue des implants, une meilleure sécurité, la réduction des risques opératoires et la volonté de préserver l'intégrité cornéenne chez les jeunes patients. Désormais, l'ICL est proposée en première intention chez les myopies modérées à fortes, les cornées fines/irrégulières, ou en cas de contre-indication aux techniques ablatives.

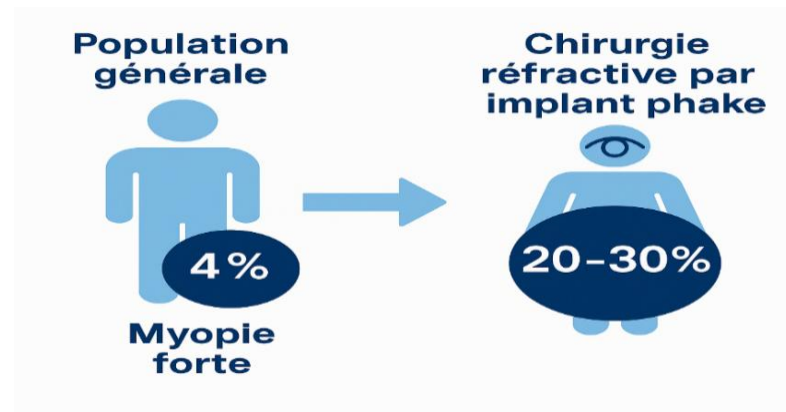


Figure 14: Proportion des patients atteints de myopie forte ayant recours à une chirurgie réfractive par implant phaque.

Les principaux atouts des implants phaques sont la préservation cornéenne, la réversibilité, la stabilité réfractive à long terme, une qualité visuelle supérieure et un faible taux d'aberrations. Portée par des résultats cliniques solides et une sécurité renforcée, l'ICL s'impose aujourd'hui comme une solution moderne et centrale, notamment pour les myopies sévères et à haut risque. [92,93] [94] [95,96] [97,98] .

2.6 Physiopathogénie :

La myopie forte, en nette progression mondiale, est essentiellement liée à une élongation axiale excessive du globe oculaire, définie biométriquement par une longueur axiale supérieure à 26 mm.

Cette croissance anormale résulte de facteurs génétiques — plus de 150 loci ont été identifiés, dont les gènes PAX6 et TGF- β —, mais aussi environnementaux, notamment le travail prolongé en vision de près et la faible exposition à la lumière naturelle [99] [100] [101] .

Sur le plan anatomique et biométrique, la myopie forte s'accompagne souvent d'un amincissement scléral avec perte de rigidité, d'une atrophie choroïdienne et d'une réduction du flux sanguin, ainsi que de dégénérescences rétiniennes telles que la maculopathie myopique ou les staphylomes.

Elle expose aussi à un risque accru de cataracte précoce, de glaucome et de pathologies du vitré. Sur le plan cornéen, on observe fréquemment une pachymétrie réduite [102–104], une profondeur de chambre antérieure

augmentée ^[105], une pression intraoculaire plus élevée ^[106], ainsi qu'une diminution de la densité cellulaire endothéliale et du plexus nerveux.

L'astigmatisme myopique, souvent associé, s'explique par une asymétrie de courbure cornéenne — généralement verticale — ou cristallinienne, favorisée par des facteurs génétiques, posturaux ou encore une fragilité biomécanique de la cornée, augmentant le risque de kératocône.

L'interaction entre myopie forte et astigmatisme majeure les troubles visuels, par modification des courbures cornéennes, torsion sclérale ou désalignement cristallinien.

Ces affections multifactorielles requièrent une prise en charge personnalisée, notamment en chirurgie réfractive additive (implants phaqes) et pour la prévention des complications.

Sur le plan nosologique, la myopie est une amétropie sphérique caractérisée par une focalisation de l'image en avant de la rétine lors de la vision de loin, induisant une baisse de l'acuité visuelle à distance, alors que la vision de près est généralement préservée. Elle est définie quantitativement par une réfraction supérieure à $-0,5$ dioptrie, et la myopie forte à partir de -6 D, bien que certains auteurs abaissent ce seuil à -5 D ^[107].

Sur le plan biométrique, une longueur axiale supérieure à 26 mm constitue également un critère de myopie forte [108], illustrant la dualité entre définition optique et anatomique.

Deux formes principales sont distinguées : la myopie axile, la plus fréquente, résulte d'un œil excessivement long sans anomalie de puissance optique cornéenne ou cristallinienne, et s'associe à un remodelage progressif de la sclère ^[109].

La myopie d'indice, plus rare, est due à une augmentation de l'indice de réfraction des milieux, notamment du cristallin (cataracte nucléaire) ou de la cornée (kératocône), provoquant une convergence excessive des rayons lumineux.

Ces mécanismes peuvent coexister, notamment chez les patients cumulant une myopie forte et d'autres pathologies comme le kératocône ou la cataracte évoluée.

L'origine de la myopie axile est multifactorielle, impliquant une interaction complexe de facteurs génétiques et environnementaux ^[110]. ce qui justifie une approche intégrée et personnalisée dans sa prise en charge contemporaine.

CHAPITRE III

PRISE EN CHARGE

DE LA MYOPIE FORTE

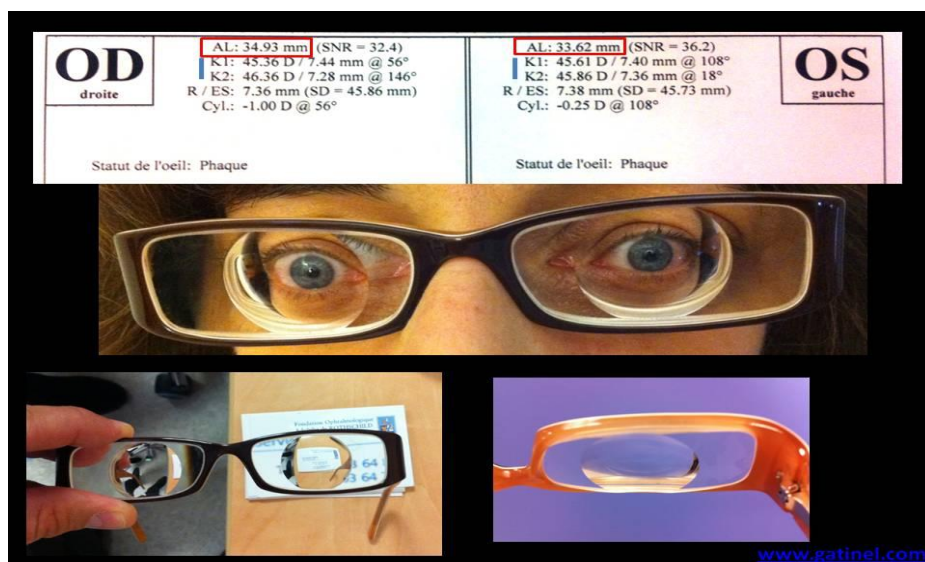
3 CHAPITRE III : PRISE EN CHARGE DE LA MYOPIE FORTE :

De nombreux procédés de correction existent, ayant tous pour but d'améliorer au mieux la vision du sujet amétrope. Ces procédés de compensation visent à la fois la performance visuelle de loin et de près, mais également le confort du sujet dans l'espace.

3.1 Correction optique conventionnelle

3.1.1 Correction optique par lunettes.

Les lunettes représentent le moyen le plus ancien et le plus utilisé pour corriger la myopie. Elles offrent une correction efficace, un coût abordable, une large disponibilité et une utilisation simple (*Figure 15*).



*Figure 15: "Effets visuels de la myopie forte
distorsions optiques par lunettes correctrices" www.gatinel.com ^[111].*

Cependant, en cas de myopie forte, elles présentent des limitations : verres épais et lourds, réduction du champ visuel, aberrations optiques, ^[112] et parfois un impact psychologique. Des gênes fonctionnelles dans les activités quotidiennes, comme la lecture ou la conduite, ont été rapportées, notamment chez les patients fortement myopes.

3.1.2 Lentilles de contact

Les lentilles de contact constituent une solution permettant de corriger la majorité des défauts visuels. Elles sont souvent privilégiées pour des raisons esthétiques, pour leur côté pratique – notamment chez les sportifs – et pour la qualité de vision qu'elles procurent.

On distingue deux grandes familles de lentilles : les lentilles souples, qui représentent environ 97 % des porteurs, et les lentilles rigides, comprenant les lentilles rigides perméables au gaz (LRPG) ainsi que les lentilles sclérales. Les lentilles souples sont principalement fabriquées en hydrogel ou en silicone-hydrogel.^[113] Leur utilisation quotidienne est généralement limitée à 8 à 10 heures, selon des calendriers de remplacement variables. Elles sont indiquées dans la correction visuelle, mais aussi à des fins thérapeutiques – comme pansement cornéen – ou encore pour des raisons esthétiques. Toutefois, elles sont contre-indiquées dans certaines pathologies oculaires ou en cas de fortes amétropies.

À l'inverse, les lentilles rigides offrent une meilleure qualité visuelle, en particulier en présence d'astigmatisme, mais leur adaptation est souvent plus longue. Cette catégorie comprend les LRPG, constituées de silico-acrylates, qui laissent passer l'oxygène et sont adaptées aux amétropies élevées^[114], ainsi que les lentilles sclérales, de plus grand diamètre, qui reposent sur la sclère sans toucher la cornée : elles sont particulièrement indiquées dans les cas de kératocône, de sécheresse oculaire sévère ou d'astigmatismes irréguliers (**Figure 16**). Malgré leur efficacité et leur large adoption, les lentilles de contact présentent des contraintes en termes d'hygiène, de coût et d'accessibilité, ce qui conduit certains patients à se tourner vers des alternatives chirurgicales permanentes^{[115][116][117]}.

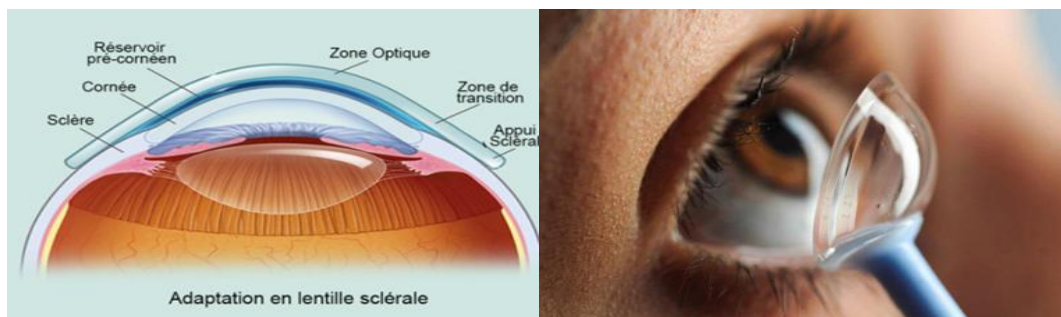


Figure 16: Matériel pour la manipulation d'une lentille sclérale.^[118]

3.2 Traitements pharmacologiques

Les collyres antimuscariniques, en particulier l'atropine, sont utilisés pour ralentir la progression de la myopie chez l'enfant. Leur mécanisme reste mal élucidé, mais impliquerait l'accommodation et des récepteurs muscariniques oculaires.^[119] Les essais cliniques (ATOM) ont montré une efficacité dose-dépendante, mais l'usage reste limité en raison des effets secondaires (mydriase, photophobie, troubles de l'accommodation) et de l'absence d'AMM dans cette indication.^[120–122]

3.3 L'Orthokératologie

L'orthokératologie (Ortho-K) est une technique non chirurgicale utilisant des lentilles rigides portées la nuit pour remodeler temporairement la cornée. Elle est principalement indiquée pour corriger les myopies légères à modérées (jusqu'à -6 D) et ralentir leur progression chez les enfants et adolescents. Son mécanisme repose sur un aplatissement central de la cornée par redistribution épithéliale, avec un effet réversible en cas d'arrêt du port. (**Figure 17**). Elle agit également en limitant la délocalisation périphérique, contribuant ainsi à freiner l'allongement axial de l'œil. Les effets se stabilisent en une semaine.

Parmi ses indications figurent les myopies évolutives, les astigmatismes faibles et les contre-indications à la chirurgie réfractive. Les effets secondaires sont généralement bénins (halos, éblouissements), mais de rares complications infectieuses ou traumatiques peuvent survenir.

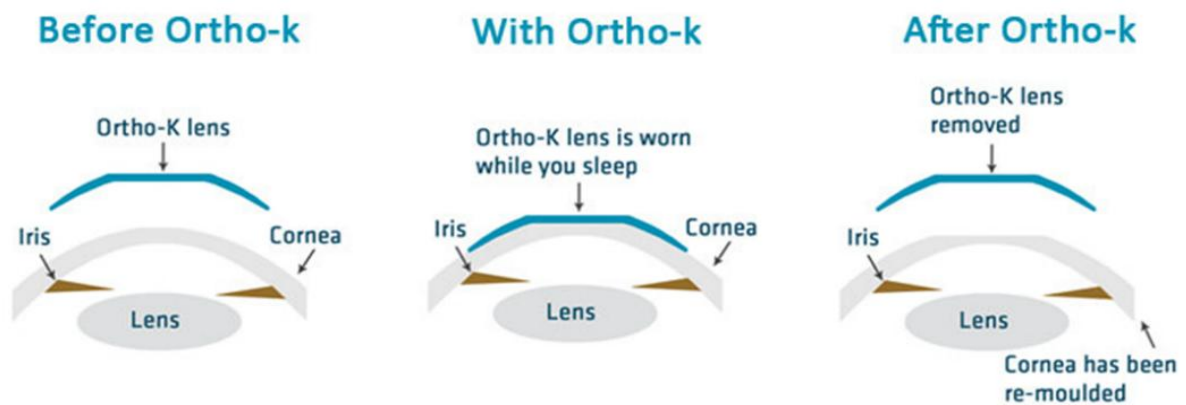


Figure 17: Mécanisme d'action des lentilles d'orthok,
Comment ralentir l'évolution de la myopie grâce aux lentilles ? - actualités du laboratoire dencott

3.4 Chirurgies réfractives

3.4.1 Photoablation Excimer de surface

La PRK est une technique de photoablation au laser excimer 193 nm ^[123] qui aplatit la cornée en retirant l'épithélium puis une fine couche stromale selon la formule de Mürnerlyn. Elle est indiquée pour les petites à moyennes amétropies, les cornées fines, ou les retraitements. ^[124].

Ses avantages incluent une bonne précision, un respect de la biomécanique cornéenne, et une efficacité prouvée dans les cas où le LASIK est contre-indiqué. L'usage de Mitomycine C a réduit les complications comme le haze. ^[125-129].

Ses limites sont une douleur postopératoire transitoire, une récupération visuelle plus lente, et un risque de haze ou de régression, surtout en cas de cornée fragilisée.

3.4.2 LASIK (Laser-Assisted in Situ Keratomileusis) et Femto-LASIK

Le LASIK est une technique de chirurgie réfractive largement utilisée, consistant à créer un volet cornéen d'une épaisseur de 90 à 130 microns. Ce volet est réalisé soit à l'aide d'un microkératome mécanique, soit par un laser femtoseconde, puis soulevé pour permettre une photoablation du stroma cornéen à l'aide d'un laser excimer. Cette ablation permet de corriger la myopie, l'hypermétropie et l'astigmatisme.

La technique se distingue par une récupération visuelle rapide, une grande précision de correction, et un confort postopératoire élevé pour le patient ^[130]. Toutefois, certaines complications peuvent survenir, notamment des problèmes liés au volet cornéen, un risque d'ectasie cornéenne ainsi qu'une sécheresse oculaire. Le LASIK est principalement indiqué pour les myopies faibles à modérées, chez des patients présentant une cornée épaisse et régulière.

Le Femto-LASIK, variante du LASIK classique, utilise le laser femtoseconde pour la découpe du volet cornéen. Cette technologie a profondément transformé la chirurgie réfractive en augmentant la précision du geste chirurgical, en réduisant les complications peropératoires et en favorisant une récupération visuelle plus rapide. Elle permet également une personnalisation accrue des paramètres chirurgicaux. Néanmoins, son coût élevé et la survenue possible d'effets secondaires spécifiques, tels que la photophobie ou les halos lumineux, constituent des limites à son utilisation systématique ^[131,132].

Parmi les avantages du Femto-LASIK, on retrouve une découpe plus régulière et reproductible du volet, une diminution du taux de complications post-opératoires, ainsi qu'une meilleure adaptation visuelle du patient.

Les limites rapportées incluent principalement son coût, ainsi que de rares effets indésirables visuels tels que la photophobie ou l'apparition de halos colorés dans certaines conditions lumineuses ^[133–135].

3.4.3 SMILE (Small Incision Lenticule Extraction)

La technique SMILE, introduite dans les années 2010 et approuvée par la FDA en 2018 ^[136], connaît depuis une diffusion croissante à l'échelle internationale, portée par son caractère mini-invasif et ses avantages biomécaniques ^[137,138]. Sur le plan opératoire, le SMILE repose sur l'utilisation d'un laser femtoseconde qui permet de sculpter un lenticule Intrastromal, lequel est ensuite extrait par une micro-incision de 3 mm ou moins, sans création de volet cornéen ^[139]. Cette approche préserve l'intégrité de la membrane de Bowman, ce qui constitue l'un de ses atouts majeurs par rapport aux techniques traditionnelles. Les indications actuelles du SMILE concernent principalement les myopies modérées à élevées, jusqu'à -10 dioptries, et les astigmatismes inférieurs à -1,50 dioptries^[140]. Cette technique se révèle particulièrement adaptée aux patients sujets à la sécheresse oculaire, du fait de son impact limité sur l'innervation cornéenne ^[141].

Parmi les bénéfices cliniquement démontrés du SMILE, on retient la préservation de la biomécanique cornéenne grâce à l'absence de volet, une réduction significative de la sécheresse et de l'inflammation post-opératoires, ainsi qu'une meilleure tolérance aux décentrements du traitement en comparaison avec le LASIK ou la PRK ^[137,141]. Cependant, le SMILE présente également certaines limites : la courbe d'apprentissage chirurgical est plus longue, les retouches postopératoires restent techniquement complexes (nécessitant parfois la technique CIRCLE, une PRK ou un nouveau SMILE), et la précision de correction des astigmatismes supérieurs à -1,50 dioptries est réduite ^[138,140]. De plus, cette technique n'offre pas de protection supplémentaire contre le risque d'ectasie cornéenne.

Les principales contre-indications au SMILE sont la présence de cornées fines ou irrégulières et les formes frustes de kératocône ^[140]. En définitive, cette technique s'impose comme une évolution majeure dans l'arsenal de la chirurgie réfractive cornéenne, s'inscrivant dans une logique de préservation maximale du tissu, dans la continuité des générations précédentes, de la PRK au LASIK.

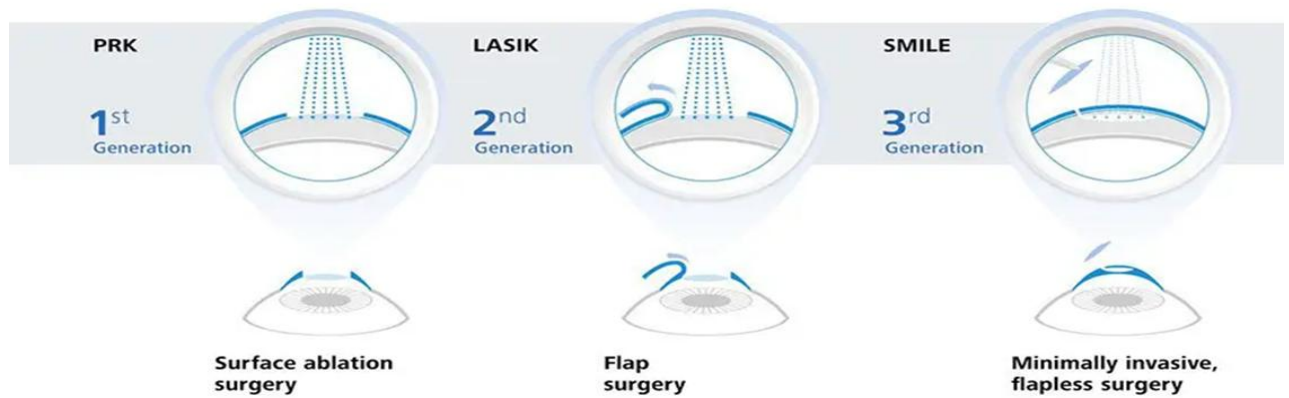


Figure 18: Correction myopique avec les différents techniques PRK ;
Lasik et SMILE journal of réfractive surgery, ^[142]

3.4.4 Anneaux Intracornéens

L'implantation de segments intra-cornéens en PMMA (polyméthacrylate de méthyle) consiste à insérer des anneaux ou segments dans le stroma cornéen, induisant ainsi un aplanissement central de la cornée (**Figure 19**). Cette technique est principalement indiquée chez les patients atteints de kératocône ou présentant des cornées fragiles. Elle présente plusieurs avantages, notamment sa réversibilité, la préservation du tissu cornéen, ainsi qu'une amélioration de la biomécanique cornéenne ^[129]. Toutefois, ses indications restent limitées et la technique requiert une grande précision chirurgicale ; de plus, des effets secondaires visuels peuvent survenir, tels que des halos ou des troubles de la vision nocturne ^[143].

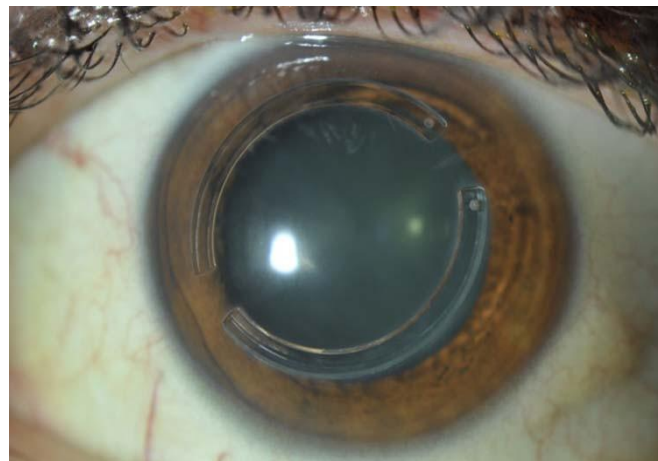


Figure 19: Anneau intracornéens implanté chez un patient atteint de kératocône.
Refractive surgery beyond 2020 Marcus An ^[144]

3.4.5 La Chirurgie Réfractive Substitutive : (Extraction du Cristallin Clair RLE)

Initialement développée pour le traitement des cataractes ^[145], l'extraction du cristallin a été progressivement adaptée à la correction des fortes amétropies, en particulier la myopie élevée, même en l'absence d'opacification cristallinienne. Les indications principales de cette technique incluent la myopie supérieure à -10 dioptries non accessible aux techniques cornéennes en raison d'une cornée trop fine ou irrégulière, la présence d'une chambre antérieure étroite ($< 2,8$ mm) rendant l'implantation de lentilles phaqes inadaptée, ainsi que chez les patients de plus de 40 ans, presbytes ou présentant les signes initiaux d'une cataracte ^[146]. L'utilisation d'implants intraoculaires toriques ou multifocaux peut également être envisagée selon le profil du patient.

Cependant, cette approche présente des limites et des risques majeurs. La perte définitive de l'accommodation constitue un inconvénient majeur, particulièrement inacceptable chez les sujets jeunes ^[147]. Par ailleurs, le risque de décollement de rétine est augmenté chez les myopes forts (longueur axiale > 26 mm), et diverses complications visuelles peuvent survenir, telles que les halos, les éblouissements, ainsi que la bascule ou le décentrage de l'implant ^[148,149]. En outre, il s'agit d'une procédure invasive dont la morbidité est supérieure à celle des implants phaqes ou des techniques cornéennes.

Face à ces limitations, l'extraction du cristallin clair chez les patients jeunes a été progressivement délaissée au profit de techniques chirurgicales additives, notamment les implants phaqes de chambre postérieure. Ces alternatives permettent de préserver le cristallin et ses fonctions accommodatives, tout en offrant une correction réfractive efficace et réversible, et en réduisant significativement les risques à long terme associés aux procédures plus invasives.

CHAPITRE IV
IMPLANTS PHAKES

4 CHAPITRES IV : IMPLANTS PHAKES

4.1 Aperçu historique et évolution technologiques :

Les implants phakes ont émergé comme une alternative efficace aux techniques cornéennes pour corriger les fortes amétropies, en particulier chez les jeunes myopes. Ils préservent l'accommodation, contrairement à l'extraction du cristallin clair. [150,151].

Leur histoire débute avec **Strampelli en 1953**, mais les premières générations ont provoqué de nombreuses complications (**Figure 20**) (décompensation endothéliale, glaucome) (**Figure 21**), menant à leur abandon temporaire. [152,153]



Figure 20: Complications historiques associées aux premières générations d'implants phakes (Strampelli, 1953 ; Worst, 1978).^[154]

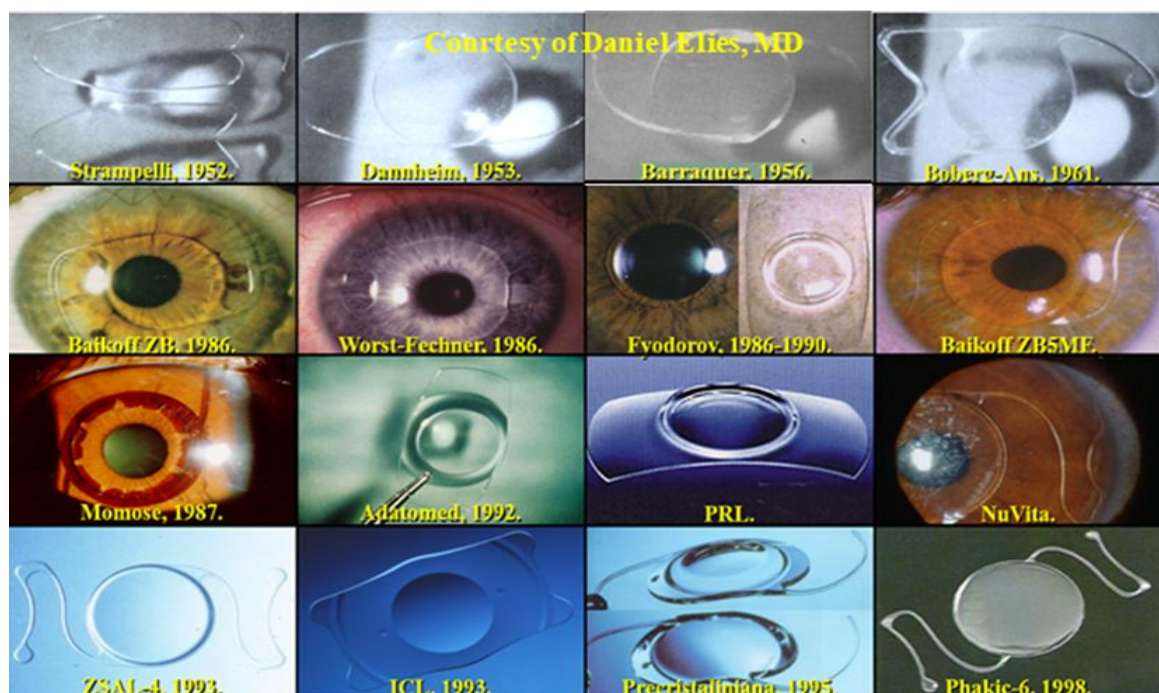


Figure 21: Représentation chronologique de l'évolution des implants intraoculaires phakes depuis les premiers modèles expérimentaux (Strampelli, 1952) jusqu'aux implants modernes (1993).^[155]

Dans les années 1980–1990, la technologie renaît grâce à **Worst** (Artisan®) et **Baikoff** (angle-supported), introduisant des modèles mieux tolérés selon la localisation (chambre antérieure ou postérieure).

L'essor décisif survient dans les années 1990 avec l'arrivée des **ICL®** en chambre postérieure (STAAR Surgical), utilisant un matériau biocompatible : le **Collamer®**.

Depuis les années 2000, des innovations comme l'**ICL EVO V4c** avec port central et l'évolution des modèles souples (Artiflex®) ont accru la sécurité et le confort postopératoire ^[156]

Aujourd'hui, des alternatives comme l'**IPCL V2.0** offrent une solution abordable, soutenue par des outils de dimensionnement personnalisé (OCT, UBM, IA). Les implants phakes sont ainsi devenus une technique de référence, fiable et réversible. ^[157] Ils ont révolutionné la chirurgie réfractive en offrant une alternative aux patients non éligibles aux techniques de correction cornéenne comme le LASIK ou la PKR. ^[158] Contrairement aux implants classiques pseudophaque, ces lentilles sont implantées sans retirer le cristallin, permettant ainsi de préserver l'accommodation ^[159]. Leur développement a suivi une progression marquée par des innovations technologiques successives visant à améliorer la tolérance oculaire, la biocompatibilité et la sécurité.

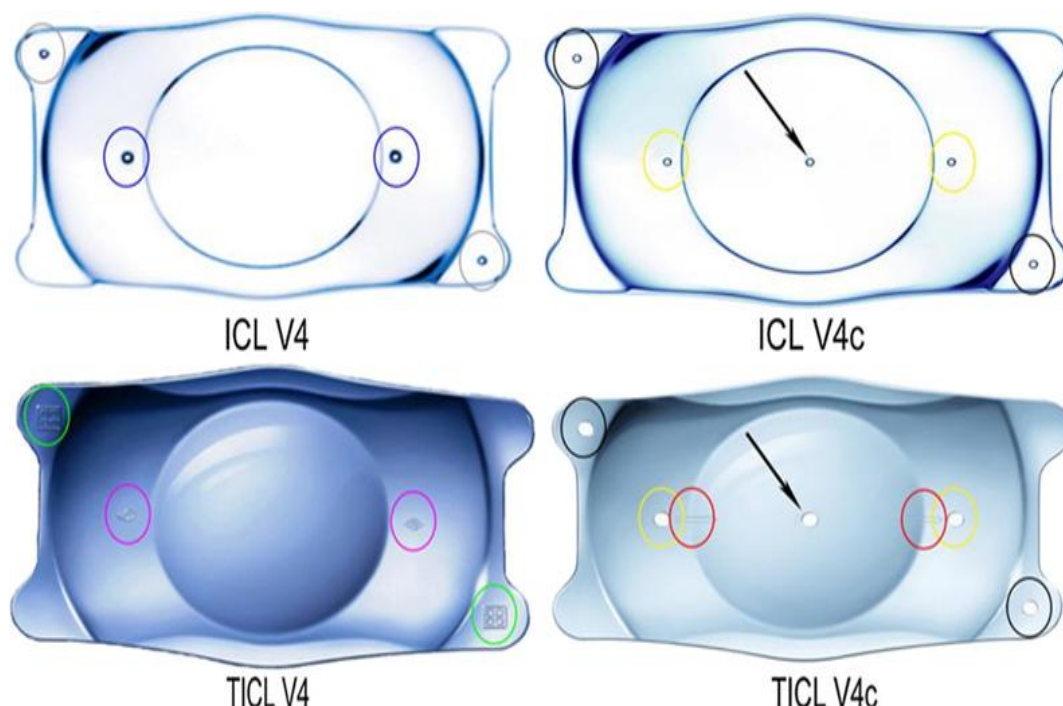


Figure 22: Évolution des modèles d'implants phakes (STAAR Surgical, Monrovia, USA)
Phakic Intraocular Lenses and their Spécial Indications Roberto Pineda II ^[154].

Les modèles V4c (à droite) se distinguent par la présence d'un port central (KS-Aquaport®) facilitant l'écoulement de l'humeur aqueuse, supprimant la nécessité d'une iridotomie périphérique.^[160] (**Figure 22**) Les repères de marquage pour l'alignement du cylindre sont visibles sur les modèles toriques (TICL) présentent des repères de marquage sur la surface antérieure afin de faciliter un alignement angulaire précis avec l'axe de l'astigmatisme cornéenne.

4.2 Implant EVO Visian ICL (STAAR Surgical)

L'EVO Visian ICL (Implantable Collamer Lens) est un implant phaque de chambre postérieure conçu par STAAR Surgical (États-Unis). Il constitue l'aboutissement technologique de plusieurs générations d'implants collamériques dédiés à la correction réfractive de la myopie, de l'hypermétropie et de l'astigmatisme, en particulier chez les patients non éligibles à la chirurgie cornéenne réfractive (**Figure 23**). Lancé à l'échelle mondiale entre 2011 et 2013, l'EVO ICL est une évolution du modèle V4, intégrant un port central innovant dénommé KS-Aquaport®.



Figure 23: *Implant phaque de chambre postérieure ICL / STAAR Surgical* ^[161].

Ce port central, d'un diamètre d'environ 360 microns, permet une circulation naturelle de l'humeur aqueuse entre la chambre postérieure et antérieure, évitant ainsi le recours à une iridotomie périphérique au laser, auparavant systématique. Cette particularité distingue notamment les modèles V4c et EVO, et confère une sécurité accrue sur le plan dynamique intraoculaire.

L'implant se présente sous la forme d'une lentille monobloc souple, composée de Collamer®, un matériau breveté associant collagène et HEMA. Ce biomatériau présente une excellente biocompatibilité, avec une faible réactivité inflammatoire, une transmission filtrée des UV (absorption des longueurs d'onde inférieures à 400 nm), un indice de réfraction de 1,45, et une teneur en eau d'environ 34 %. Sa flexibilité

permet une implantation par micro-incision, inférieure à 3,2 mm, via un système d'injection.

Sur le plan géométrique, l'implant est disponible dans des diamètres totaux variant de 12,1 mm à 13,7 mm, en fonction des paramètres biométriques individuels tels que le diamètre blanc à blanc (WTW) ou la distance angle à angle (ATA). La zone optique centrale s'étend quant à elle de 4,65 mm à 5,8 mm, permettant une adaptation dont la conception est méticuleusement calibrée aux dimensions pupillaires propres à chaque patient.

L'implant est maintenu dans le sulcus ciliaire par deux extensions postérieures (haptiques) souples, assurant un appui stable et un positionnement physiologique sans rotation. Pour les modèles toriques (TICL), des repères de marquage sont intégrés afin de faciliter un alignement précis selon l'axe de l'astigmatisme.

Sur le plan optique, l'EVO Visian ICL est une lentille de type réfractif, non rotative (sauf en version torique), avec correction sphérique allant jusqu'à $-20,0$ D pour la myopie et jusqu'à $+10,0$ D pour l'hypermétropie. La correction de l'astigmatisme peut atteindre jusqu'à $6,0$ D. L'optique asphérique de l'implant permet d'optimiser la qualité de la vision, notamment en conditions mésopique et nocturnes.

4.3 Implant IPCL V2.0 (Care Group):

L'IPCL (Implantable Phakic Contact Lens) est une lentille phaqué de chambre postérieure conçue comme alternative à l'ICL (Implantable Collamer Lens), principalement par le fabricant Care Group, basé en Inde. Introduite au début des années 2010, cette lentille a rapidement gagné en popularité dans diverses régions du monde, notamment en Europe, au Moyen-Orient et en Asie, en raison de son coût plus abordable et de ses performances techniques adaptées à la correction des fortes amétropies.

La version actuellement la plus utilisée est l'IPCL V2.0, qui bénéficie de plusieurs innovations par rapport aux générations précédentes. Il s'agit d'une lentille réfractive indiquée pour la correction de la myopie forte à extrême, avec ou sans astigmatisme associé

Sa large gamme de puissances optiques permet de corriger des myopies allant jusqu'à -30 dioptries et des astigmatismes jusqu'à -10 dioptries. Elle est disponible avec différents diamètres optiques afin de s'adapter à la taille pupillaire du patient.



Figure 24: *Implant Phake de Chambre Postérieure : Modèle IPCL V2.0 (Implantable Phakic Contact Lens) [162].*

Une des avancées majeures de la version V2.0 est l'intégration d'un port central, mesurant entre 380 et 400 microns, permettant une circulation naturelle de l'humeur aqueuse. Cela rend l'iridotomie périphérique inutile, ce qui simplifie le protocole chirurgical.

Sur le plan géométrique et matériel, l'IPCL est fabriquée en acrylique hydrophile biocompatible contenant environ 25 % d'eau, garantissant une bonne tolérance intraoculaire. Elle est conçue pour une implantation dans le sulcus ciliaire et stabilisée par six haptiques souples, assurant un positionnement fiable via kit IPCL (Care Group) qui est plus simple, économique et accessible, mais nécessite une plus grande vigilance technique (manipulation, taille d'incision, lubrification).



Figure 25: *Système d'injection IPCL. Care Group.*

Le diamètre total de l'implant varie de 12,0 mm à 14,5 mm, selon les mesures biométriques individuelles (diamètre WTW ou angle-to-angle). L'épaisseur centrale de la lentille est variable en fonction de la puissance optique.

Parmi ses avantages notables figurent sa capacité à corriger efficacement des amétropies sévères, la présence d'un port central réduisant le risque de surpression intraoculaire, ainsi qu'un coût significativement inférieur à celui des implants ICL ^[163]. En revanche, certaines limites subsistent, telles qu'un moindre recul scientifique dans la littérature, une variabilité du vault liée à la précision du sizing, ainsi qu'un nombre plus restreint d'options de personnalisation biométrique.^[164]

4.4 Tableau récapitulatif des paramètres

Tableau 4: Caractéristiques physiques, géométriques et optiques des implants phaqes

Paramètre	ICL (V4c / EVO / EVO+)	IPCL V2.0
Diamètres disponibles (global)	12,1 mm à 13,7 mm (par pas de 0,25 mm)	11,5 mm à 14,0 mm
Zone optique	4,65 mm à 5,8 mm selon modèle	4,5 mm à 5,75 mm
Épaisseur centrale	Variable selon puissance	Variable
Conception	Monobloc, 4 haptiques souples	Monobloc, 6 haptiques souples
Orifice central (aquaPORT)	Oui (360 µm), modèles V4c/EVO	Oui, orifice central + microperforations
Correction sphérique	Myopic	Myopic
	−3,0 D à −20,0 D	−3,0 D à −30,0 D
	Hyperopic +3 D à +10 D	Hyperopic +0,50 D à +10,00 D
Correction torique	Jusqu'à −6,0 D de cylindre	Jusqu'à −10,0 D de cylindre
Version torique	ICL Toric V4c, EVO Toric	IPCL V2.0 Toric
Plateforme de calcul	ICL Online Calculation & Ordering System (STAAR)	IPCL Calculator Platform (Care Group)
Paramètres requis pour le calcul	SE, cyl, axe, WTW, ACD, réfraction	SE, cyl, axe, WTW, ACD, ECC, réfraction
Critères de taille	WTW + ACD + réfraction	WTW + ACD ± UBM/OCT

4.5 Dimensionnement et planification préopératoire

La réussite de l'implantation d'un implant phake, qu'il s'agisse de l'ICL (Implantable Collamer Lens) ou de l'IPCL V2.0 (Implantable Phakic Contact Lens), repose largement sur une planification préopératoire rigoureuse. L'objectif de cette étape est de garantir une correction réfractive optimale, un positionnement stable de l'implant et un vault post-opératoire adéquat, tout en minimisant les risques de complications.

4.5.1 Méthodes de dimensionnement :

Le diamètre global de l'implant ICL doit assurer un appui stable mais non compressif dans le sulcus ciliaire, afin de garantir une voûte postopératoire optimale.

L'obtention d'un Vault approprié repose sur un dimensionnement personnalisé de l'implant, fondé sur des mesures biométriques précises. Une voûte inadéquate, qu'elle soit excessive ou insuffisante, peut entraîner des complications graves telles que la perte de cellules endothéliales, un glaucome ou une instabilité de l'implant.

La voûte étant une mesure dynamique, elle est influencée par plusieurs facteurs : configuration anatomique individuelle, taille de l'implant, accommodation, modifications pupillaires et variations lumineuses.

Le choix entre les quatre tailles standards disponibles (12,1 à 13,7 mm) doit donc s'appuyer sur une analyse biométrique rigoureuse.

Un implant surdimensionné peut produire une voûte trop élevée, exposant à un risque de mydriase, d'hypertonie oculaire, de glaucome à angle fermé ou de dispersion pigmentaire (**Figure 26, Figure 27**). Tandis qu'un implant sous-dimensionné favorise une voûte insuffisante, augmentant la probabilité de cataracte sous-scapulaire ou d'instabilité positionnelle.

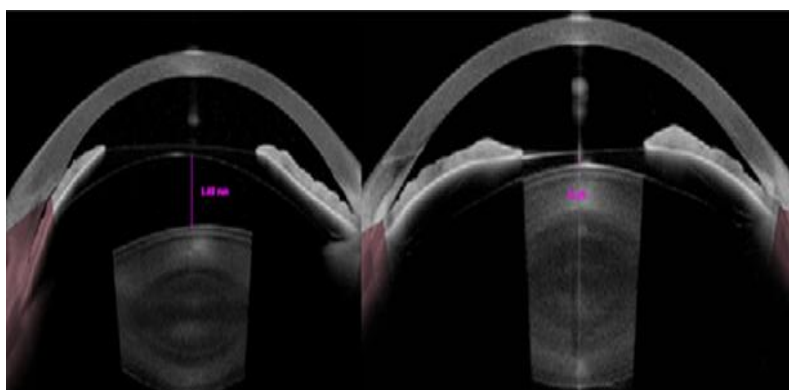


Figure 26: Comparaison de la hauteur de vault entre deux yeux ICL – Vault élevé vs Vault faible ^[165]

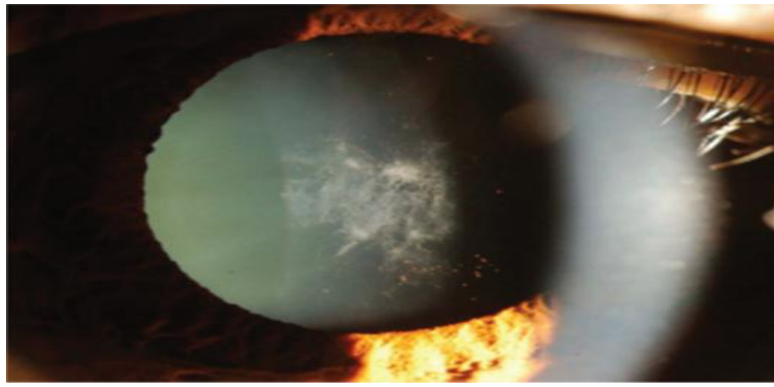


Figure 27: Cataracte sous-scapulaire antérieure associée à un dépôt de pigments^[166]

Malgré ces enjeux, les taux de réintervention chirurgicale restent faibles : une large étude sur plus de 10000 yeux rapporte un taux de reprise de seulement 0,21 % ^[167] .

Le dimensionnement préopératoire repose fréquemment sur le système OCOS, qui utilise les valeurs de profondeur de chambre antérieure (ACD) et de distance blanc à blanc (WTW).

L'intégration de technologies d'imagerie avancées comme l'OCT ou l'UBM permet d'affiner encore la sélection.

Diverses approches biométriques, notamment les méthodes WTW, ATA (angle-à-angle) et STS (sulcus-à-sulcus), sont disponibles, chacune étant adaptée à un contexte technique et clinique spécifique ^[168,169] .

4.5.1.1 Le diamètre horizontal cornéen, ou distance blanche à blanc (WTW) :

Le diamètre « blanc à blanc » (WTW) (**Figure 28**), couramment utilisé dans le dimensionnement des ICL, présente certaines limites méthodologiques. En effet, cette mesure repose sur l'identification du limbe, une structure anatomiquement imprécise dont l'interprétation peut induire une variabilité allant jusqu'à 4 mm selon qu'on considère son bord interne ou externe. Une standardisation plus fiable consiste à mesurer de « zone grise moyenne à zone grise moyenne ».

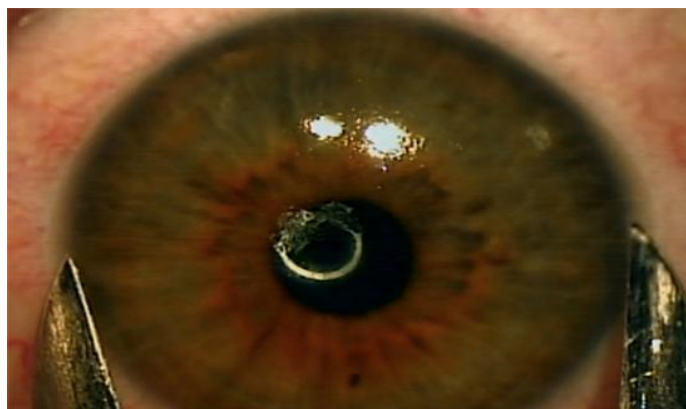


Figure 28: Mesure du blanc au blanc avec un pied à coulisse manuel, sous un microscope opératoire avec anesthésie topique ^[171]

Le WTW peut être obtenu soit manuellement à l'aide d'un pied à coulisse, soit par des dispositifs automatisés de biométrie ou de topographie. Toutefois, la corrélation entre cette mesure externe et le diamètre interne du sulcus ciliaire (STS) demeure faible ^[172–174].

Les résultats varient selon les appareils utilisés : les biomètres automatisés comme Lenstar ou IOLMaster tendent à surestimer le WTW par rapport au Pentacam, qui lui-même surestime la mesure par rapport aux outils manuels. Cette variabilité inter-technologique affecte directement la reproductibilité du dimensionnement de l'ICL.

Tableau 5: Méthodes d'évaluation du (WTW) et (STS)
Asia-Pac J Ophthalmol (Phila). 2020;9(2):123–131.

Méthode	Appareils	Avantages	Limites
Caliper manuel	à la lampe à fente	Simple et rapide	Très subjectif, peu reproductible
Topographe placido	Orbican®, Sirius®, Pentacam	Donne une carte cornéenne complète	Mesure indirecte du WTW
Oct segment antérieur	Visante®, Casia SS-1000, MS 39	Haute résolution, analyse fine du limbe	Coût, dépend du bon alignement
Biomètres optiques	IOLMaster®, Lenstar®	Mesure automatisée, reproductible	Reflète l'ouverture visible, non le sulcus réel

Une étude menée par Ang et al. a montré que la combinaison du WTW mesuré manuellement au pied à coulisse et de n'importe quelle mesure fiable d'ACD (Orbican, IOLMaster ou Pentacam) permettait d'atteindre les meilleures performances en termes de prédiction de voûte optimale ^[175]

Les données cliniques corroborent cette approche : dans l'essai clinique de la FDA portant sur les lentilles EVO ICL, la voûte moyenne à 6 mois était de $492 \pm 227 \mu\text{m}$, et moins de 0,3 % des yeux ont nécessité une reprise chirurgicale ^[176]. De même, Tang et al. ont démontré que l'association du nomogramme OCOS avec le WTW mesuré par Pentacam produisait la meilleure concordance avec la taille optimale d'ICL, générant une voûte postopératoire dans la plage idéale de 250 à 750 μm ^[177].

4.5.1.2 Méthode ATA (Angle à Angle):

L'imagerie par tomographie en cohérence optique (OCT) du segment antérieur s'est imposée comme un outil essentiel pour optimiser le choix de la taille des implants phaqes, notamment les ICL. Grâce à une résolution élevée, elle permet une mesure fiable et reproductible de paramètres anatomiques cruciaux tels que la distance angle-à-angle (ATA), l'élévation cristallinienne (CLR) et la largeur de la chambre antérieure

(ACW). Des plateformes comme le CASIA-2 ou le MS-39 (**Figure 29**), assurent une grande reproductibilité des données, renforçant leur valeur clinique.



Figure 29: Dispositif d'imagerie Scheimpflug MS-39® (CSO)
Analyse combinée topographique et tomographique du segment antérieur ^[178]

Le MS-39®, combinant topographie par Placido et tomographie Scheimpflug, fournit une analyse tridimensionnelle complète du segment antérieur, incluant la cornée, l'angle irido-cornéen, l'iris et le cristallin. Il s'avère particulièrement utile pour :

Mesurer la profondeur de chambre antérieure (ACD), critère fondamental dans l'éligibilité à la chirurgie phaque:

- Évaluer l'angle iridocornéen pour anticiper d'éventuelles complications angulaires.
- Exclure des anomalies cornéennes par topographie et pachymétrie.
- Simuler la position de l'implant et anticiper le vault postopératoire.
- Analyser le diamètre pupillaire en conditions scotopiques et photopiques.
- Optimiser le centrage et la taille optique de l'implant.

Plusieurs formules, telles que les formules NK (1 à 3) et KS, exploitent ces mesures pour prédire le vault postopératoire avec une bonne précision, généralement dans une fourchette sécuritaire de 250 à 1 000 μm . Cependant, ces formules reposent sur des modèles linéaires, parfois limités pour appréhender la complexité des interactions biométriques (**Figure 30**).

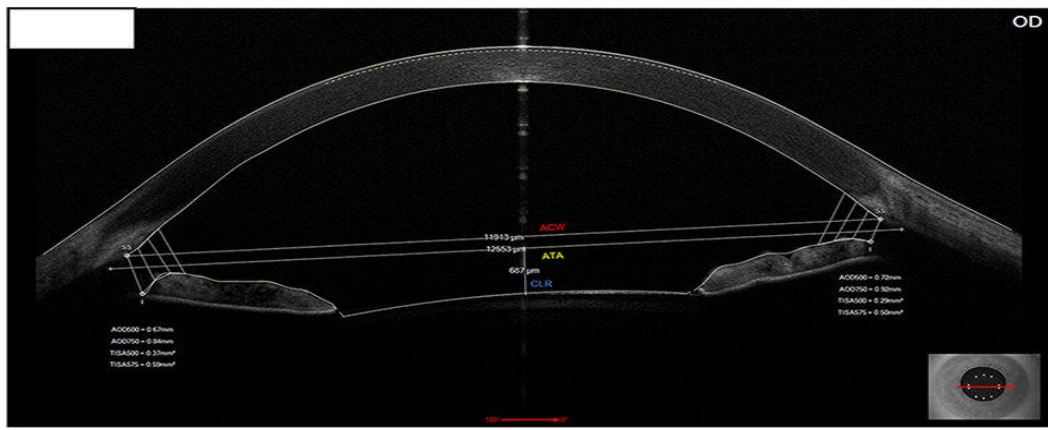


Figure 30: Mesure du diamètre angle à angle (ATA) par tomographie par cohérence optique (OCT) ^[171].

La formule NK a connu plusieurs itérations successives afin d'améliorer la prédiction du vault postopératoire et de réduire l'incidence des voûtes excessives. La première version de la formule tendait à générer une proportion plus élevée que souhaitée de vaults supérieurs à la plage de sécurité. En réponse, la formule NK-2 a été développée, accompagnée d'un tableau de correspondance permettant d'adapter la taille optimale théorique de l'ICL aux quatre tailles standard disponibles commercialement. Cette version a permis d'atteindre un taux de 91,2 % de Vault situés dans la plage cible de 250 à 1 000 μm , avec une moyenne mesurée à $670 \pm 223 \mu\text{m}$ ^[179].

La formule NK-3, troisième génération de ce modèle prédictif, a conservé une efficacité similaire en termes de proportion de Vault dans la plage sécuritaire, tout en réduisant la valeur moyenne à $533 \pm 203 \mu\text{m}$ ^[180]. Cette amélioration s'explique notamment par l'ajustement du coefficient de compression horizontale, revu à la baisse par rapport aux hypothèses initiales utilisées dans les formules précédentes.

L'équation de la formule NK-3 est la suivante :

$$\text{Taille optimale de l'ICL (mm)} = 5,307 + 0,0617 \times \text{ACW (mm)} + 0,501 \times \text{CLR (mm)}$$

Cette approche intégrant des variables anatomiques fines comme la largeur de la chambre antérieure (ACW) et l'élévation cristallinienne (CLR) permet un dimensionnement plus individualisé, renforçant la précision et la sécurité de la chirurgie phake. ^[181–185].

Tableau 6: Sélection de la taille de l'ICL en fonction du calcul à l'aide de la formule $nk-2$ ^[186]

<i>Taille optimale (mm)</i>	<i>Taille la plus proche (mm)</i>
Moins de 12,1	12.1
12.10 à 12.35	12.1
12.35 à 12.60	12.6
12.60 à 12.90	12.6
12.90 à 13.20	13.2
13,20 à 13,45	13.2
Plus de 13.45	13.7

4.5.1.3 Méthode STS (Sulcus à Sulcus)

La méthode de dimensionnement de l'ICL basée sur la mesure *sulcus-à-sulcus* (STS) par UBM haute fréquence (**Figure 31**), constitue une approche anatomiquement pertinente, dans la mesure où l'implant est positionné directement dans cette région.



Figure 31: Système d'échographie biométrique UBM Aviso® (Quantel Medical) pour l'imagerie haute résolution du segment antérieur^[187]

Cette technique, utilisée depuis plus d'une décennie, a permis le développement de nomogrammes spécifiques, comme celui de Dougherty et al. Fondée sur la puissance de l'ICL et le diamètre STS mesuré avec le VuMax-II. Elle a montré une voûte postopératoire fiable, sans complications majeures.

Tableau 7: Sélection de la taille de l'implant ICL selon le nomogramme de Dougherty et al ,^[188]

STS(mm)	Puissance implant calculée	Longueur de l'implant
<10,0	Tout	Aucun
10,0-10.9	Tout	12,1
11,0	De -8,0 à -16,0	12,1
11,1	De -3,0 à -7,5	12,6
11,1-12,2	Tout	12,6
12,3	De -8,0 à -16	12,6
12,3	De -3,0 à -7,5	13,2
12,4-13,6	Tout	13,2
>13,6	Tout	Aucun

L'apport de l'UBM à haute fréquence constitue une approche anatomiquement pertinente dans l'évaluation pré- et postopératoire des implants phaqes.

En effet, contrairement aux méthodes optiques conventionnelles l'UBM permet une visualisation directe et précise des structures profondes du segment antérieur, notamment le sulcus ciliaire, siège réel de l'implantation. Cette capacité d'imagerie en coupe transversale offre une évaluation fiable du sizing, du vault, de la position de l'implant par rapport au cristallin et à l'angle irido-cornéen, réduisant ainsi les risques de complications telles que le contact cristallinien, l'élévation de la pression intraoculaire ou les dysfonctionnements d'écoulement de l'humeur aqueuse

Kojima et al. ont enrichi cette approche en intégrant l'ACD, le STS et le STS-lens rise dans une formule prédictive (formule K), obtenant une voûte moyenne de 640 µm dans une population japonaise fortement myope. Reinstein et al., quant à eux, ont mis en évidence que des paramètres comme le diamètre du corps ciliaire (CBID) ou la taille pupillaire amélioreraient la précision prédictive de la voûte.

Leur modèle, accessible via le site ICLSizing.com, permet une estimation très fiable de la voûte pour chacune des tailles d'implants disponibles.

D'autres outils numériques, offrent également des moyens automatisés d'optimiser le dimensionnement, intégrant des variables morphologiques complexes.

Malgré ses avantages théoriques, l'UBM présente certaines limitations pratiques : variabilité inter-observateur, reproductibilité parfois faible, et inconfort pour le patient. De plus, des études ont montré que la mesure STS seule ne permet pas toujours de prédire avec précision la voûte postopératoire

Enfin, des facteurs anatomiques additionnels tels que l'angle iris-ciliaire (ICA) et la configuration du sulcus ciliaire jouent un rôle significatif dans la hauteur de la voûte obtenue.

L'analyse de la position des haptiques et des particularités morphologiques de la région ciliaire s'avère donc essentielle pour améliorer la précision du dimensionnement et réduire le risque de complications postopératoires.

Le choix de la méthode de dimensionnement dépend des équipements disponibles, des préférences du chirurgien et des caractéristiques spécifiques de l'œil du patient. Il est souvent recommandé de combiner ces méthodes pour améliorer la précision du dimensionnement, en particulier pour les patients ayant des caractéristiques anatomiques complexes.

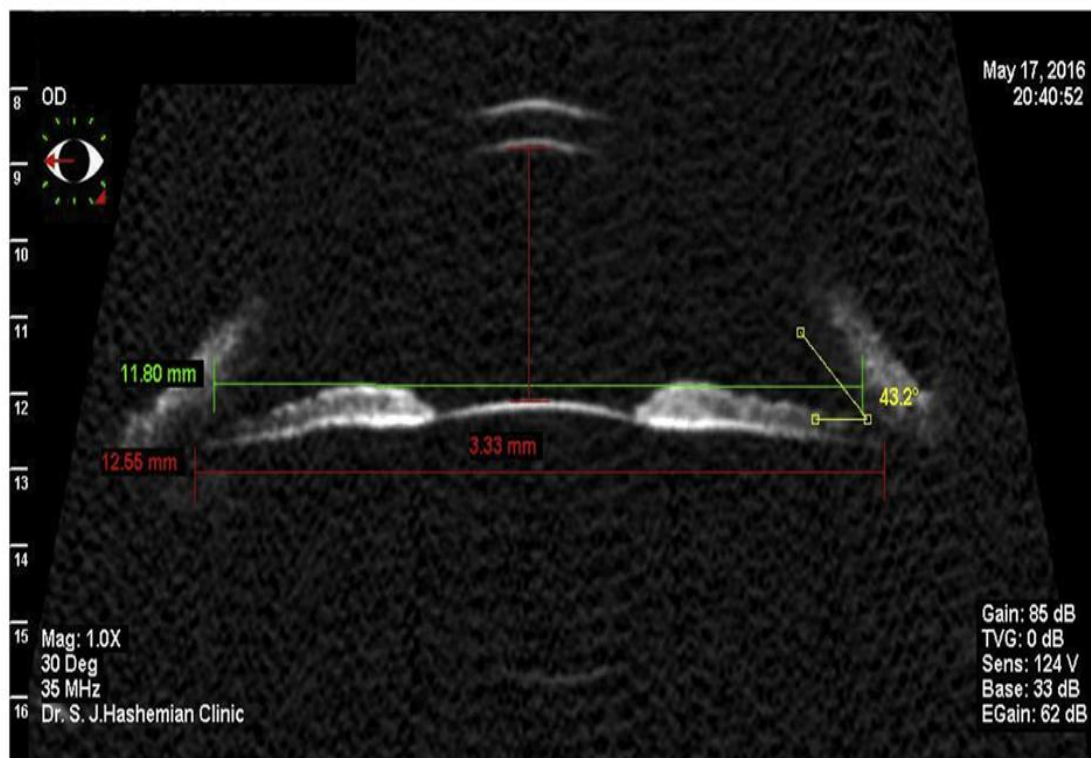


Figure 32: Image d'échographie biomicroscopique (UBM) montrant une mesure du sulcus ciliaire ^[189,190]

Tableau 8: Tableau comparatif des méthodes de dimensionnement des implants phakes.

Méthode	Principe	Appareils utilisés	Avantages	Limites
WTW (White-to-White)	Mesure du diamètre horizontal de la cornée (du limbe nasal au limbe temporal)	- Pied à coulisse manuel - IOLMaster (Zeiss) - Pentacam (Oculus)	- Méthode simple et largement disponible - Utilisable même en l'absence d'appareils OCT ou UBM	- Variabilité entre appareils - Faible corrélation avec le site réel d'implantation (sulcus) - Dépendance à l'expérience de l'opérateur
ATA (Angle-to-Angle)	Mesure de la distance entre les angles de la chambre antérieure (éperons scléraux)	- OCT de segment antérieur (CASIA-2, Anterion)	- Bonne corrélation avec la taille réelle de la chambre antérieure - Moins invasif qu'un UBM	- Coût élevé des appareils - Qualité de l'image essentielle pour la précision - Moins répandu que le WTW
STS (Sulcus-to-Sulcus)	Mesure directe du diamètre du sulcus ciliaire, lieu réel de l'implantation	- UBM haute fréquence (VuMax-II, Artemis Insight 100)	- Mesure directe du site d'implantation - Précision élevée, surtout pour implants de grande taille	- Examen inconfortable - Nécessite expertise et formation - Coût élevé, accessibilité limitée

4.5.2 Paramètres biométriques :

La phase de planification chirurgicale repose sur une évaluation biométrique minutieuse de l'œil, rendue possible grâce à des examens spécialisés à haute résolution.

Le calcul de la puissance d'un implant phake, qu'il s'agisse de l'ICL (Implantable Collamer Lens, STAAR Surgical) ou de l'IPCL (Implantable Phakic Contact Lens, Care Group), représente une étape déterminante influençant directement le résultat réfractif postopératoire.

Contrairement au calcul d'un implant pseudophaque, cette démarche ne fait pas intervenir la kératométrie dans sa formule initiale, ce qui témoigne d'une approche biométrique spécifique ^[191–193] ; Le calcul de la puissance repose sur plusieurs mesures essentielles :

- Réfraction subjective stable : il est impératif de confirmer la stabilité de la correction réfractive avant toute mesure. Cela implique une interruption temporaire du port de lentilles de contact : au moins 3 à 7 jours pour les lentilles souples et 2 à 3 semaines pour les rigides, afin d'éliminer toute altération transitoire de la courbure cornéenne.
- La réalisation d'une réfraction sous cycloplégie, particulièrement chez les jeunes patients, afin de neutraliser l'accommodation et d'obtenir une mesure objective du défaut visuel.
- Mesure de la longueur axiale (AL) : historiquement, les formules de calcul des implants reposaient principalement sur la kératométrie et la longueur axiale. Aujourd'hui, l'évolution des formules va vers une personnalisation accrue, intégrant des variables complémentaires telles que
 - *La profondeur de chambre antérieure (ACD)* : mesurée de l'endothélium cornéen à la face antérieure du cristallin.
 - *L'épaisseur cornéenne centrale (CCT)* et la topographie cornéenne : nécessaires pour écarter toute contre-indication liée à une pathologie cornéenne suspectée.
 - Le diamètre cornéen horizontal mesuré par échographie UBM, par OCT à haute définition, ou encore via une caméra Scheimpflug, comme le Pentacam.
 - *L'âge du patient* ^[194].
 - *L'épaisseur cristallinienne* : L'épaisseur cristallinienne constitue un paramètre biométrique déterminant dans la planification des implants phaqes, en raison de son impact direct sur la sécurité anatomique et l'efficacité réfractive.

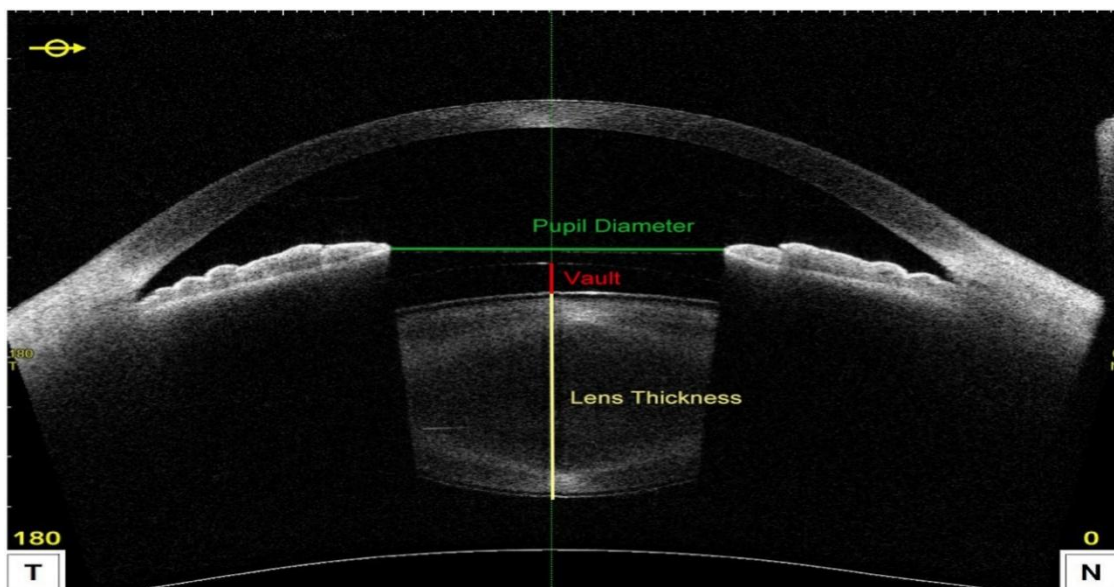


Figure 33: Coupes transversale en OCT du segment antérieur
(MS-39Fernández-Vigo Refract Surg. 2020;36 ^[195])

Un cristallin épaissi réduit l'espace dans la chambre postérieure, ce qui peut conduire à un vault insuffisant et accroître le risque de contact avec le cristallin. À l'inverse, une lentille plus fine peut favoriser un vault excessif, susceptible d'entraîner une hypertonie ou un angle étroit. Par ailleurs, plusieurs formules récentes de calcul de la taille optimale des implants, telles que les formules NK-2, NK-3 ou celle de Shimizu modifiée, intègrent désormais l'épaisseur du cristallin en complément de la profondeur de chambre antérieure (ACD) et du diamètre sulcus-to-sulcus (STS), permettant un dimensionnement plus individualisé et précis. Enfin, chez les sujets jeunes, un cristallin plus épais est souvent associé à une forte capacité accommodative, ce qui induit des variations dynamiques de la voûte postopératoire, nécessitant une anticipation attentive lors de la planification chirurgicale [196–198].



Figure 34: Système d'imagerie Scheimpflug à balayage rotatif (Pentacam®) pour l'analyse du segment antérieur/ Sce d'ophtalmologie HMRUC

	Pachy:	x(mm)	y(mm)
Centre pup.	+ 503 µm	+0.04	+0.25
Pachy. min.	○ 501 µm	-0.40	-0.07
Prof. C.A. (Endo.)	3.32 mm	Dia. pup.: 2.89 mm	
Angle I.C.	43.4°	Ep. cristal.	

	Pachy:	x(mm)	y(mm)
Centre pup.	+ 523 µm	-0.25	-0.26
Pachy Vertex N.	- 527 µm	0.00	0.00
Pachy. min.	○ 519 µm	-0.96	-0.48
K. Max. (antérieur)	43.5 Dpt	-0.14	+0.89
Volume cornéen	57.9 mm³	Ø cornée: 11.7 mm	
Volume C.A.	175 mm³	Angle I.C. 36.8°	
Prof. C.A. (Endo.)	2.95 mm	Dia. pup.: 3.93 mm	

Figure 35: Analyse biométrique du segment antérieur par tomographie Scheimpflug (Pentacam®) topographie Sce d'ophtalmologie HMRUC

4.5.3 Outils de calcul et plateformes en ligne

Les fabricants mettent à disposition des calculateurs en ligne spécifiques, intégrant leurs propres algorithmes propriétaires :

4.5.3.1 STAAR ICL Calculator

Le STAAR ICL Online Calculation and Ordering System (OCOS) est la plateforme officielle de calcul et de commande développée par STAAR Surgical pour le dimensionnement des implants ICL et TICL (Figure 39).

The screenshot displays the STAAR ICL Calculator interface. On the left, a form contains patient and clinical data: Doctor ID (52539), Internal Doctor (STAAR Surgical AG), Date (2019.04.05), Version (5.00 BSS), Aspheric (EDOF) Optic (unchecked), Calculate For (ICL selected), Patient ID (Test 222), Patient Name (123918), Operative Eye (OS selected), DOB (1982.04.19), Gender (M selected), BVD (12), Sphere (-7.00), Cylinder (-2.00), Axis (90), K1 (44 @ 90), K2 (46 @ 0), ACD (3.00), CT (0.5), WtW (12.0), CL Sphere (0), and Any previous intervention? (No selected).

On the right, a table lists lens options with columns: Sel SPH, Sel CYL, Exp SPH, Exp CYL, Exp AXIS, and Exp SEQ. The table shows several rows of values. Below the table, the 'Target Lens Selected' is 'Toric Myopic 13.2mm -10.00/+2.0/X180'. A checkbox 'DIFFERENT LENGTH REQUESTED' is checked. Below this, a list of lengths (12.1, 12.6, 13.2, 13.7) is shown, with 13.2 selected. A blue callout box with an arrow pointing to 13.2 contains the text: 'Select a different length by clicking the "Different Length Requested" box and selecting the desired length'. Below the lengths, a 'Cylinder Power' section shows options from +0.5 to +6.0, with +2.0 selected. At the bottom right are 'Back', 'Submit', and 'Print' buttons.

Sel SPH	Sel CYL	Exp SPH	Exp CYL	Exp AXIS	Exp SEQ
-10.50	+2.0	+00.37	+00.09	180	+00.41
-10.00	+2.0	-00.03	+00.09	180	+00.01
-09.50	+2.0	-00.43	+00.08	180	-00.39
-09.00	+2.0	-00.83	+00.08	180	-00.79
-08.50	+2.0	-01.24	+00.08	180	-01.20

Figure 39 : Interface du Calculateur STAAR Surgical pour ICL :
Sélection Personnalisée de la taille de l'Implant"

Cet outil en ligne constitue une aide incontournable dans la planification préopératoire, en intégrant plusieurs paramètres biométriques du patient afin de recommander la taille idéale de l'implant et sa puissance optique.

Le calculateur STAAR ICL requiert l'introduction des données suivantes : la réfraction manifeste, le diamètre cornéen horizontal (WTW), la profondeur de chambre antérieure (ACD), le type de correction souhaitée, et l'âge du patient.

Une fois ces paramètres saisis, le système propose la taille optimale de l'implant, la puissance sphérique et cylindrique (le cas échéant), l'axe et le modèle recommandé (EVO, EVO+ ou EVO TICL).

Le calcul repose sur des algorithmes propriétaires fondés sur des études cliniques. Bien que le WTW reste central, certains centres enrichissent ce calcul avec des mesures comme le STS, l'ATA ou l'épaisseur cristallinienne (LT). Plusieurs études ont confirmé la fiabilité du calculateur STAAR dans la majorité des cas, mais son utilisation peut être optimisée chez les patients atypiques grâce à l'imagerie OCT ou UBM [200,201].

4.5.3.2 Care Group IPCL Calculator (V2.0):

Le Care Group met à disposition un calculateur en ligne dédié à l'implantation des lentilles IPCL V2.0 et IPCL V2.0 Torique. Bien que moins automatisé que celui de STAAR Surgical, cet outil repose sur les mêmes principes fondamentaux : intégration des données biométriques et ajustement de la taille de l'implant à l'anatomie oculaire.

ICL IMPLANTABLE
TRACÉ + TOUTES

care GROUP
DEPT LASER

Lentille sphérique sélectionnée

*Nom du médecin :
*Noni de l'ophtalmologiste et la :
*Identifiant e-mail

*Nom du patient :
*Identifiant du patient :
Date de naissance :

Données ajoutées par :

*Oeil opératoire	Refraction	*Sphérique	*Cylindre	+ Ajout	+Ajout	BCVA	CLR
		14	0	0		0	0
Kerato-métrie	K1 (plat)	Pouvoir 44	Axe 178	+ACD (interne)	2.96	Longueur axiale (mm)	+SIA 0
	K2 (raide)			+Pachy	542		Opice : NOUS
De W-W	Numérique	Optique	11.63	Mar IOL	Scan d'orbe	S à S	D à A

SELECTION IPCL **SPHERIQUE** **TORIQUE** **PRESBY** **PRESBY-TORIQUE**

Modèle IPCL	Puissances calculées				Pouvoirs résiduels	
	Sphérique	Cylindre	Axe	Ajout	Sphérique	
IPCL122V2.0	-15.50	0.00	NA	0.016	0.00	0.00
IPCL122V2.0	-15	0,00	NA	0.61	0.00	0.00

Arplacement d'objèctif doit opresport.

Avrès de non responsabilité - le calculateur de lentilles. DCL-cider si sélectionner le temille antra approprié poréc pouaa. It ou ai nu chaîne cians son asi-aaue cude rontuao messe da lecosipoo é lopor décularijos. bouagraisices. Nove netraas un responsabilité pour in rérsado les electricu tu adunjiou nt ne desgnasignos de efrenteole de nesse demagagensaus-qu cepomès min fa ine leconbnnde le pac gaiei da aronnnmatade fases treatement approximativotunt 20¹. Autor visiou est reconsmandès pour l'enlo int de ru

Enregistrer dans Mes commandes Imprimer en PDF Soumettre les données Imprimer

Figure 40: Feuille de Calcul Préopératoire IPCL V2.0
Sélection d'une Lentille Sphérique chez un Patient Fort Myope /sce d'ophtalmologie HMRUC.

Les paramètres nécessaires incluent la réfraction préopératoire, la profondeur de chambre antérieure (ACD), le diamètre cornéen horizontal (WTW), et parfois la longueur axiale. L'interface propose un choix de tailles d'implants allant de 11.5 mm à 14.0 mm, en fonction des caractéristiques oculaires du patient. Le

calculateur peut également recommander une puissance torique, ainsi qu'un marquage axial si un cylindre est présent.

Certaines équipes enrichissent cette planification en intégrant des mesures issues d'une OCT haute définition (type MS-39 ou Casia) ou d'une UBM, afin d'éviter les extrêmes de vault et d'adapter le diamètre sagittal de l'implant avec plus de précision.

4.5.4 Choix de la puissance et de la toricité

- Le calcul tient compte d'un vertex distance standard (généralement 12 mm), mais celui-ci est intégré automatiquement par les calculateurs [202,203]
- En cas de myopie simple, la puissance sphérique est calculée de façon à obtenir une réfraction post-opératoire cible la plus proche possible de l'emmétropie.
- En cas de myopie avec astigmatisme, une lentille torique est indiquée. L'axe et la puissance du cylindre doivent correspondre précisément à l'astigmatisme cornéen régulier, idéalement confirmé par deux méthodes (topographie et kératométrie automatique). [204]
- Une sous-correction volontaire peut parfois être envisagée dans certains cas (très forte myopie) L'idée d'une sous-correction volontaire dans certains cas de très forte myopie lors de l'implantation d'un ICL/IPCL est bien reconnue dans la littérature spécialisée.
- Cette stratégie vise à préserver une marge de sécurité, notamment pour :
 - ✓ Éviter le risque de sur-correction chez les très forts myopes,
 - ✓ Maintenir une réserve accommodative utile chez les jeunes patients,
 - ✓ Faciliter une éventuelle retouche postopératoire par chirurgie cornéenne si nécessaire.L'alignement de l'axe torique est fondamental pour les implants toriques : toute rotation au-delà de 10° induit une perte significative d'effet réfractif. [204,205].



Figure 41 : *Lentille Phake de Chambre Postérieure EVO Visian ICL (STAAR Surgical) – Modèle torique avec Port Central" [206].*

- Le dispositif est accompagné d'une illustration schématique indiquant le positionnement correct de l'implant à 180°, conformément aux recommandations du fabricant).



Figure 42: Positionnement horizontal de l'implant IPCL V2.0 selon l'axe 0°–180°/ care Group IPCL

4.5.5 Limites et perspectives des méthodes de sizing actuelles

Le diamètre White-to-White (**WTW**), mesuré à la surface de la cornée d'un bord limbique à l'autre, constitue l'un des repères les plus couramment utilisés dans le calcul des implants phakes via les calculateurs standards (OCOS ou IPCL Calculator). De la même manière, certains dispositifs permettent également une estimation du diamètre Sclère à Sclère (**S-S**). Toutefois, ces mesures périphériques ne reflètent pas fidèlement la géométrie réelle du sulcus ciliaire, qui constitue la zone d'implantation anatomique effective de la lentille.

Plusieurs études ont montré que :

- Le **WTW est une mesure indirecte**, influencée par l'anatomie cornéenne, la pigmentation, ou encore les effets de l'éclairage.
- Le diamètre **S-S**, bien qu'un peu plus profond, présente une faible corrélation avec le diamètre STS, notamment en raison des variations interindividuelles de l'épaisseur sclérale et de l'angle iridocornéen [207].
- En revanche, le **Sulcus-to-Sulcus (STS)**, visualisé grâce à l'échographie UBM ou à l'OCT haute résolution (type CASIA, MS-39), permet une mesure directe de la distance entre les deux points d'ancrage réels de la lentille dans le sulcus ciliaire postérieur. L'intégration du STS dans les formules de dimensionnement modernes (ex. NK-2, NK-3) améliore la précision du sizing et réduit le risque de vault inapproprié.

4.5.6 Sélection des patients

Avant toute implantation phake, un examen ophtalmologique complet est requis afin d'évaluer l'éligibilité du patient, de détecter d'éventuelles contre-indications, et d'optimiser les résultats visuels post-opératoires

- *Acuité visuelle sans correction (AVSC) et corrigée (AVAC)*

L'évaluation de l'acuité visuelle sans correction permet de quantifier la déficience visuelle brute liée à l'amétropie.

L'acuité corrigée (avec lunettes ou lentilles) constitue un indicateur essentiel du potentiel visuel et permet d'écarter une pathologie associée, notamment rétinienne ou neurologique, si la correction ne permet pas une AV satisfaisante. Elle se mesure en échelle Monoyer puis convertie en échelle LogMAR.

- *Réfraction objective et subjective*

La réfraction objective est réalisée à l'aide d'un auto-réfracteur ou en skiascopie. La réfraction subjective affine ce résultat à l'aide de tests binoculaires et monoculaires. Chez les jeunes patients, une cycloplégie est recommandée pour neutraliser l'accommodation.

- *Kératométrie*

Elle permet de mesurer les courbures cornéennes, indispensables pour identifier un astigmatisme régulier ou irrégulier. Les instruments incluent le topographe cornéen ou le biomètre optique.

- *Biomicroscopie du segment antérieur*

Effectuée à la lampe à fente, elle examine les structures antérieures de l'œil (cornée, chambre antérieure, iris, cristallin) afin de détecter des opacités, une chambre étroite, des anomalies pupillaires, ou une cataracte débutante.

- *Analyse de la surface oculaire (break-up time - BUT)*

Utile en cas de suspicion de sécheresse, le BUT est mesuré après instillation de fluorescéine. Un temps inférieur à 10 secondes indique une instabilité du film lacrymal pouvant altérer la qualité visuelle postopératoire.

- *Tonométrie (pression intraoculaire - PIO)*

Elle évalue la pression intraoculaire pour dépister une hypertonie ou un glaucome. Les méthodes incluent la tonométrie à aplanation, à air pulsé. Une pression élevée ou fluctuante constitue une contre-indication relative ou absolue.

- *Fond d'œil*

Chez les patients atteints de forte myopie, une évaluation préopératoire rigoureuse du fond d'œil constitue une étape essentielle avant toute chirurgie réfractive additive par implant phake. En effet, la myopie axiale s'accompagne fréquemment de modifications dégénératives du segment postérieur : amincissement rétinien, staphylome postérieur, décollement postérieur du vitré précoce, et lésions périphériques de type pavimenteux, palissadique ou atrophique. Ces altérations fragilisent l'architecture rétinienne et favorisent la survenue de déchirures susceptibles d'évoluer vers un décollement de rétine.

- ✓ Le risque est d'autant plus marqué que la liquéfaction vitréenne est précoce et que l'allongement axial accentue les tractions périphériques. Ainsi, ignorer ou sous-estimer ces lésions expose à un risque visuel majeur, pouvant compromettre les bénéfices fonctionnels et la qualité de vie que cette chirurgie est censée apporter.
- ✓ L'examen du fond d'œil doit donc être systématique, réalisé sous dilatation pupillaire avec un verre à trois miroirs, et idéalement complété par une **dépression sclérale** afin d'explorer la périphérie rétinienne et de détecter d'éventuelles anomalies non visibles en simple mydriase. En cas de lésions prédisposantes (trous atrophiques, dégénérescences en palissade, foyers de rétinoshisis ou zones de traction vitréorétinienne), une **photocoagulation préventive** au laser argon est indiquée **au moins une semaine avant la chirurgie**.
- ✓ Ce délai est justifié par la physiopathologie de la cicatrisation rétinienne : la photocoagulation induit une adhésion solide entre la rétine neurosensorielle et l'épithélium pigmentaire, dont la résistance maximale est atteinte entre 24 heures et 3 à 4 semaines après le traitement. Ce renforcement adhésif contribue à réduire de manière significative le risque de décollement rétinien postopératoire [208–211].
- ✓ En définitive, une **sélection rigoureuse** des candidats et une **évaluation rétinienne minutieuse** demeurent les garants de la sécurité et de la durabilité des résultats visuels après implantation phake. Cette vigilance préopératoire préserve non seulement l'intégrité fonctionnelle de la rétine, mais également tout le **charme et la promesse de qualité de vie** que représente cette chirurgie d'excellence pour les patients myopes.

- *Indications principales de l'implantation phake :*

L'implantation de lentilles intraoculaires phakes de chambre postérieure représente une alternative chirurgicale efficace pour la correction des amétropies fortes, en particulier dans les cas où les techniques cornéennes réfractives telles que le LASIK, la PKR ou le SMILE sont contre-indiquées ou techniquement limitées. Cette approche s'impose notamment en présence de cornées fines, irrégulières ou à risque d'ectasie ; parmi les principales indications :

- Patients jeunes (18 à 45 ans), présentant un cristallin clair, une profondeur de chambre antérieure $\geq 2,8$ mm, et une densité cellulaire endothéliale respectant les seuils de sécurité recommandés. L'indication repose systématiquement sur une évaluation préopératoire rigoureuse intégrant les données biométriques, topographiques et pachymétriques.
- Myopie forte à extrême, généralement $\geq -6,00$ dioptries et pouvant atteindre jusqu'à $-20,00$ ou $-30,00$ D selon les modèles de lentilles (ICL, IPCL). Cette indication est retenue lorsque la correction par lunettes ou lentilles de contact devient insuffisante, mal tolérée ou incompatible avec la qualité de vie du patient, une mauvaise adaptation.
- Une sécheresse oculaire sévère : Une sécheresse oculaire sévère contre-indique souvent les techniques cornéennes ablatives (LASIK, PKR), qui aggravent l'atteinte de la surface oculaire. L'implantation d'une ICL, qui préserve l'intégrité cornéenne, permet une correction visuelle efficace sans compromettre davantage la lubrification oculaire. Elle constitue ainsi une alternative privilégiée chez les patients symptomatiques.
- Astigmatisme myopique associé, notamment lorsque l'astigmatisme dépasse $-1,00$ D. Les implants toriques de type TICL ou IPCL Torique permettent une correction efficace et stable dans ce contexte.
- Les cornées fines ou structurellement fragiles exposent à un risque accru d'ectasie après chirurgie réfractive cornéenne (LASIK/PKR), surtout si la pachymétrie est < 500 μm ou le mur stromal résiduel < 300 μm .
- Topographie cornéenne suspecte, comportant des signes évocateurs d'un kératocône infracliniques tels qu'une élévation antérieure ou postérieure > 50 μm , une asymétrie inférieure marquée, une perte d'énantiomorphisme, un rapport d'Efkarpides $> 1,25$, ou une évolutivité topographique confirmée à un an d'intervalle.

- Antécédents familiaux de kératocône, notamment au premier degré, renforçant le niveau de prudence vis-à-vis des techniques ablatives.
- Exigences visuelles élevées, notamment chez les professionnels jeunes, les militaires, pilotes ou sportifs de haut niveau, recherchant une qualité optique optimale sans altération du front d'onde ni sacrifice du tissu cornéen.
- Préservation de l'accommodation, critère fondamental chez le sujet jeune, l'implant phake respectant l'intégrité du cristallin, contrairement aux implants pseudophaques qui compromettent la vision de près.
- *Contre-indications à l'implantation phake :*
- ✓ **Contre-indications absolues :**
 - Cataracte ou opacité cristallinienne,
 - Chambre antérieure étroite ($ACD < 2,8$ mm),
 - Dystrophie endothéliale cornéenne.
 - Toute forme de glaucome.
 - Instabilité zonulaire (pseudo-exfoliation),
 - Uvéite chronique ou sclérite,
 - Pathologies rétinienne non stabilisées,
 - Antécédent de décollement de rétine non traité.
- ✓ **Contre-indications relatives :**
 - Pression intraoculaire limite ou instable,
 - Large pupille mésopique (> 6 mm), prédisposant aux phénomènes photopiques (halos, éblouissements),
 - Maladies systémiques du tissu conjonctif (syndrome de Marfan),
 - Cornée suspecte (formes frustes de kératocône sans signes cliniques évidents).
- ✓ **Facteurs psycho comportementaux défavorables :**
 - Mauvaise observance du suivi postopératoire,
 - Refus antérieur des traitements médicaux,
 - Pathologies psychiatriques non stabilisées.

4.5.7 Procédure chirurgicale :

L'implantation de lentilles phaqes, notamment de type ICL (Implantable Collamer Lens) ou IPCL (Implantable Phakic Contact Lens), nécessite une incision permettant :

- Une bonne insertion de l'implant sans traumatisme.
- Un maintien de l'intégrité cornéenne et endothéliale.
- Une cicatrisation rapide avec un impact minimal sur l'astigmatisme induit.

La plupart des fabricants recommandent une incision claire cornéenne (clear corneal incision - CCI), généralement située entre 2,8 mm et 3,2 mm selon le modèle et l'injecteur utilisé.

a) Site d'incision :

Clear corneal incision (CCI) est aujourd'hui largement préférée pour l'implantation des lentilles phaqes de chambre postérieure (ICL, IPCL).

La taille de l'incision varie généralement entre **2,8 mm et 3,2 mm**, en fonction du modèle de lentille et du système d'injection utilisé.

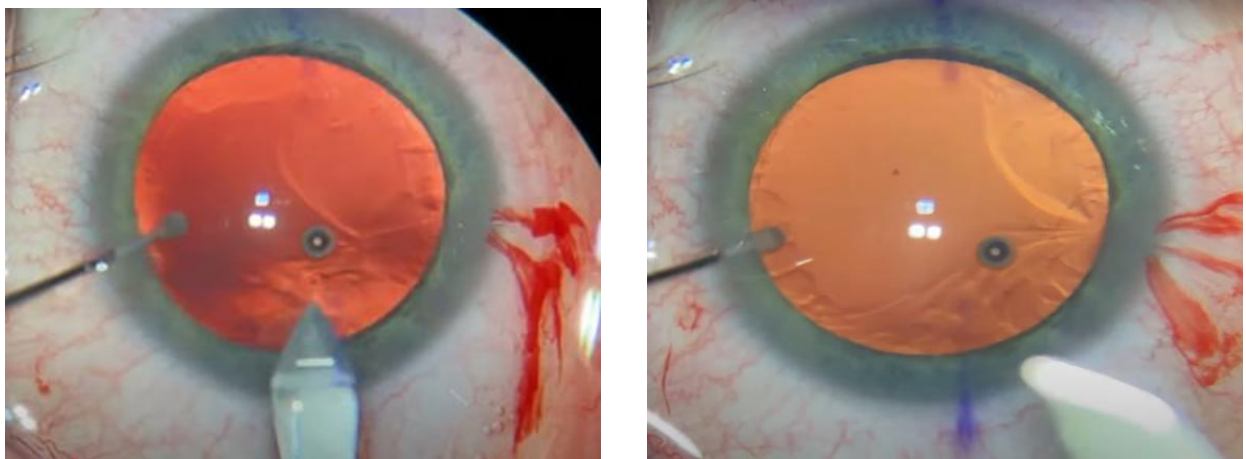


Figure 43: *Incision cornéenne claire en site temporal supérieur, Réalisée à l'aide d'un couteau de 2,8mm/service d'ophtalmologie HMRUC*

Plusieurs études ont comparé les sites et tailles d'incisions :

- **Shimizu et al. (2008)** :^[212]

Dans une étude de référence sur l'ICL V4, Shimizu a utilisé une incision cornéenne principale de **3,0 mm** au site temporal, justifiée par un accès plus direct à la chambre antérieure et une moindre induction d'astigmatisme. Il souligne que les incisions plus grandes (>3,2 mm) pourraient augmenter l'astigmatisme postopératoire.^[213]

- **Kamiya et al. (2010)** :^[214]

En comparant des incisions de **2,8 mm** et **3,2 mm** pour l'implantation d'ICL, ils ont trouvé que les incisions plus petites (<3,0 mm) favorisent une meilleure stabilité du résultat réfractif et limitent les modifications induites sur l'astigmatisme cornéen. Leur préférence allait à une incision de 2,8 mm, notamment avec les injecteurs modernes EVO+.

- **Alió et al. (2015)** :^[215]

Dans une étude comparative entre chirurgie réfractive par lentilles phaqes et chirurgie cornéenne (SMILE/LASIK), Alió a confirmé que les incisions claires cornéennes de **3,0 mm** étaient associées à une récupération plus rapide de l'acuité visuelle et à moins de déformations cornéennes par rapport aux incisions scléro-cornéennes.

- **Zhao et al. (2017)** :^[216]

Ils ont analysé le site d'incision (temporal vs supérieur) et la taille de l'incision. Ils concluent que l'incision **temporelle de 2,8-3,0 mm** est idéale pour minimiser l'astigmatisme induit, surtout chez les patients asiatiques ayant des cornées plus courbées.

- **Sanders et al. (2018)** (Étude multicentrique EVO Visian ICL) :

La majorité des chirurgiens participants ont préféré des incisions de **3,0 mm** en temporal clair, confirmant ainsi que cette approche standardisée optimise à la fois la sécurité chirurgicale et les résultats optiques.^[217]

b) Anesthésie :

La chirurgie d'implantation de lentilles phaqes est aujourd'hui une procédure mini-invasive, ce qui influence fortement le choix de l'anesthésie.

Les trois grands types utilisés sont : anesthésie topique, anesthésie péribulbaire et anesthésie générale.

Le choix dépend de plusieurs facteurs : coopération du patient, âge, niveau de myopie, expérience du chirurgien, contexte local. [218].[219]

- **Shimizu et al. (2008):**

Dans ses séries sur l'ICL V4, Shimizu a privilégié une **anesthésie topique** associée à une légère sédation orale. Selon lui, cela permet de réduire les risques liés aux injections anesthésiques et favorise une récupération visuelle ultra-rapide.

- **Sanders et al. (2010) :**

Dans une étude multicentrique sur l'implantation d'ICL aux États-Unis, 92 % des chirurgies ont été réalisées sous **anesthésie topique** (collyres d'oxybuprocaine ou lidocaïne), et seulement 8 % sous **anesthésie péribulbaire** pour des patients très anxieux.

- **Kamiya et al. (2012) :**

Ils ont rapporté que l'anesthésie **topique seule** était suffisante pour plus de 95 % des cas opérés par implantation EVO Visian ICL. Ils précisent que l'absence de manipulation intraoculaire importante rend l'anesthésie profonde inutile dans la majorité des cas.

- **Alió et al. (2014) :**

Dans ses travaux en Espagne, Alió mentionne qu'en cas de myopie extrême ($> -18D$) ou de patients très anxieux, une anesthésie péribulbaire peut être envisagée pour garantir une immobilité parfaite de l'œil.

- **Zeng et al. (2019) (Chine) :**^[219]

Dans un contexte asiatique, notamment avec de jeunes patients très coopérants, l'anesthésie topique est utilisée systématiquement, parfois renforcée par une sédation légère IV

- **Lee et al. (2021) :**

Ils comparent directement anesthésie topique vs péribulbaire dans une étude prospective. N'ont pas trouvé de différence significative sur la satisfaction visuelle postopératoire, mais un temps de récupération plus rapide et moins de complications sous topiques seuls.

c) Position du chirurgien :

- Assis en position temporale par rapport à l'œil du patient.

d) Préparation de l'implant :

- Remplissage de la cartouche avec du viscoélastique (hydroxypropylméthylcellulose - HPMC).
- L'ICL est chargé dans l'injecteur avec :
 - La face convexe de l'optique orientée vers le haut pour respecter la voûte correcte après déploiement.

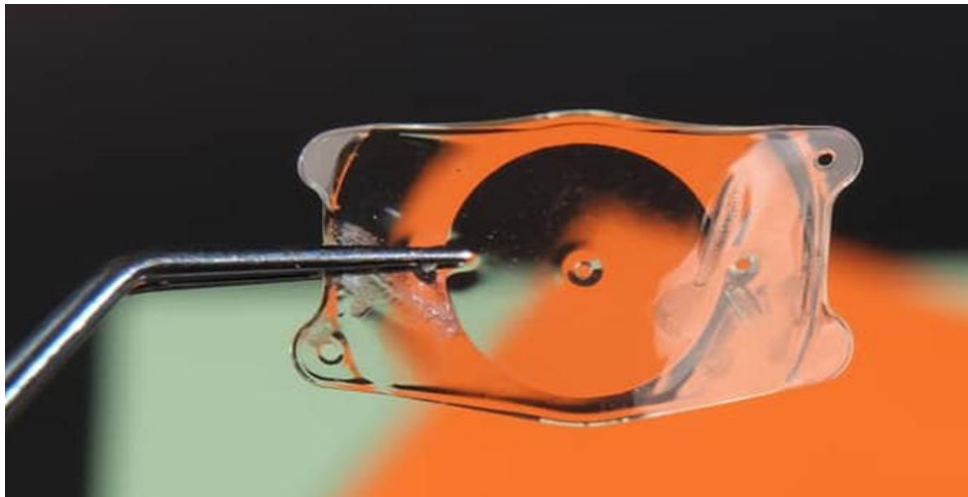


Figure 44: *EVO ICL image de lentille Collamer implantable STAAR Surgical company,*

- L'IPCL chargé avec : Trous de l'optique et bouton orientés vers le sourcil du patient. La surface antérieure de l'IPCL orientée vers le haut.

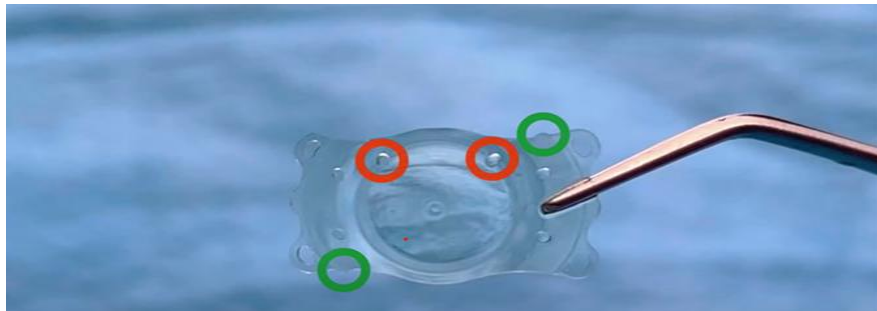


Figure 45: *Repères anatomiques de l'implant IPCL avant son chargement caregroupglobal.com.*

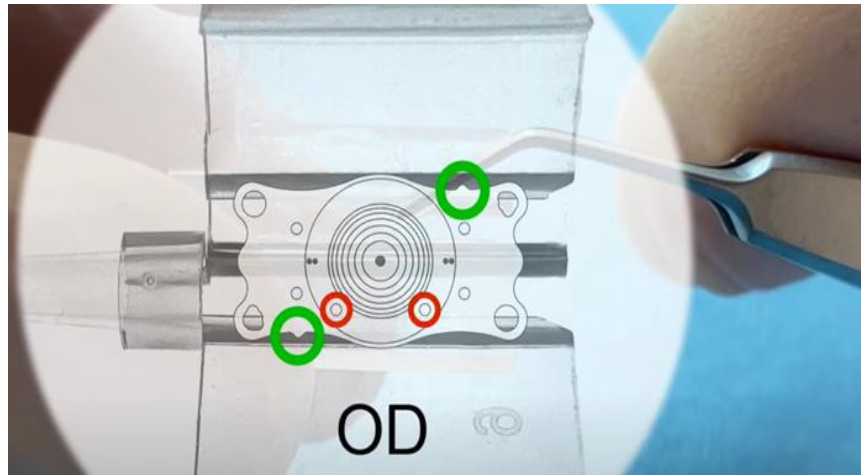


Figure 46: Positionnement correct de l'implant IPCL dans l'injecteur pour l'œil droit (OD)
les orifices rouges sont dirigés vers le bas : caregroupglobal.com.

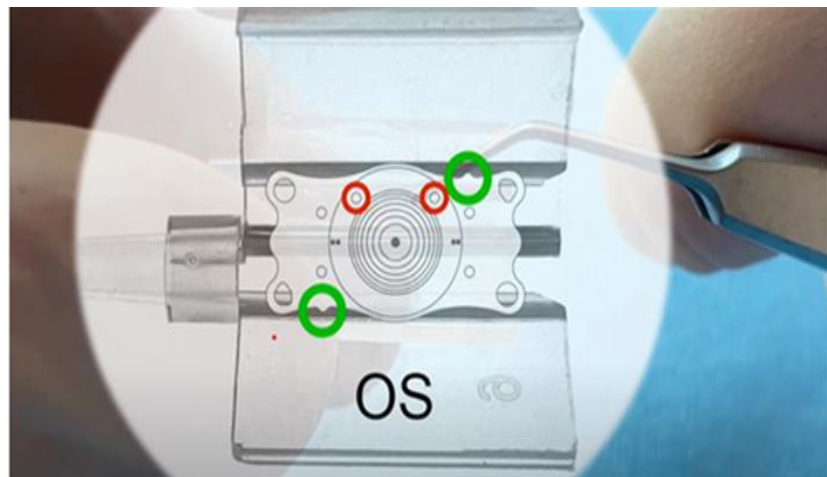


Figure 47: Positionnement correct de l'implant IPCL dans l'injecteur pour l'œil gauche (OS)
les orifices rouges sont dirigés vers le haut care group

- Deux paracentèses cornéennes transparentes réalisées pour manipulation complémentaire.
- Injection délicate de viscoélastique dans la chambre antérieure pour protection endothéliale.
- Réalisation d'une incision principale cornéenne temporale transparente de 2,8 à 3,0 mm selon l'ICL utilisé.

- **Implantation :**

- L'implant est injecté lentement dans la chambre antérieure via l'incision principale.
- Surveillance attentive de la bonne orientation de l'implant lors du déploiement.
- Si besoin, ajout de viscoélastique au-dessus de l'implant pour faciliter la manipulation.
- Introduction progressive des 4 pieds (haptiques) dans le sulcus ciliaire derrière l'iris à l'aide d'un pousse-lentille ou spatule.

- Selon les recommandations officielles issues de l'approbation FDA du Visian ICL ^[220], la technique standard d'implantation d'une lentille phake de chambre postérieure repose sur une incision temporale de $\leq 3,5$ mm et une orientation horizontale de la lentille. Cette approche est également retenue pour les modèles toriques, dont les axes correcteurs sont conçus pour une fixation horizontale.
- Cependant, dans la pratique clinique, un nombre croissant d'interventions concerne des patients présentant un astigmatisme avec la règle (WTR), pour lesquels une incision supérieure permet une meilleure neutralisation de l'astigmatisme induit par l'incision. Cette situation a conduit à une augmentation progressive du recours aux incisions supérieures dans la chirurgie ICL ^[220].
- Par ailleurs, des études d'imagerie anatomique ont montré que le sulcus ciliaire, zone de positionnement de l'ICL, présente une forme ovale légèrement allongée dans l'axe vertical. Cette particularité anatomique pourrait favoriser une meilleure stabilité rotationnelle lors d'une fixation verticale, comme le suggèrent plusieurs travaux récents.

- **Mise en place de l'implant :**

L'implant phake est positionné dans la chambre postérieure de l'œil, précisément en arrière de l'iris et en avant du cristallin (*Figure 48*). Sa conception doit présenter une convexité suffisante afin d'éviter tout contact avec la capsule antérieure du cristallin, structure particulièrement proche anatomiquement. L'implant est placé au niveau du sulcus ciliaire, ce qui garantit une stabilité optimale et préserve l'architecture du segment antérieur.

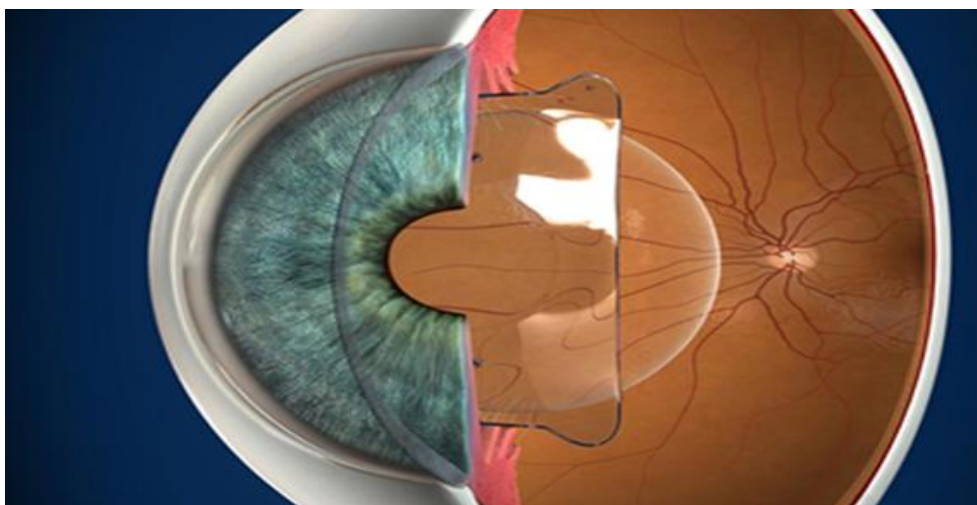


Figure 48: Positionnement de l'EVO Visian ICL™ dans la chambre postérieure
Staar Surgical^[221]

La grande du matériau de l'implant facilite à la fois son insertion atraumatique et un éventuel retrait si nécessaire. Un paramètre clé à évaluer après la mise en place de l'implant est le « vault », défini comme la distance mesurée entre la capsule antérieure du cristallin et la face postérieure de l'implant. Ce vault dépend essentiellement de la courbure intrinsèque de l'ICL ainsi que de l'adéquation entre sa longueur totale et la largeur du sulcus ciliaire. Une valeur idéale de vault se situe généralement entre 250 et 750 microns, afin d'assurer à la fois l'absence de contact avec le cristallin (prévenant le risque de cataracte antérieure) et d'éviter tout angle fermé ou élévation excessive du vault susceptible de provoquer un bloc pupillaire ou une hypertonie oculaire.

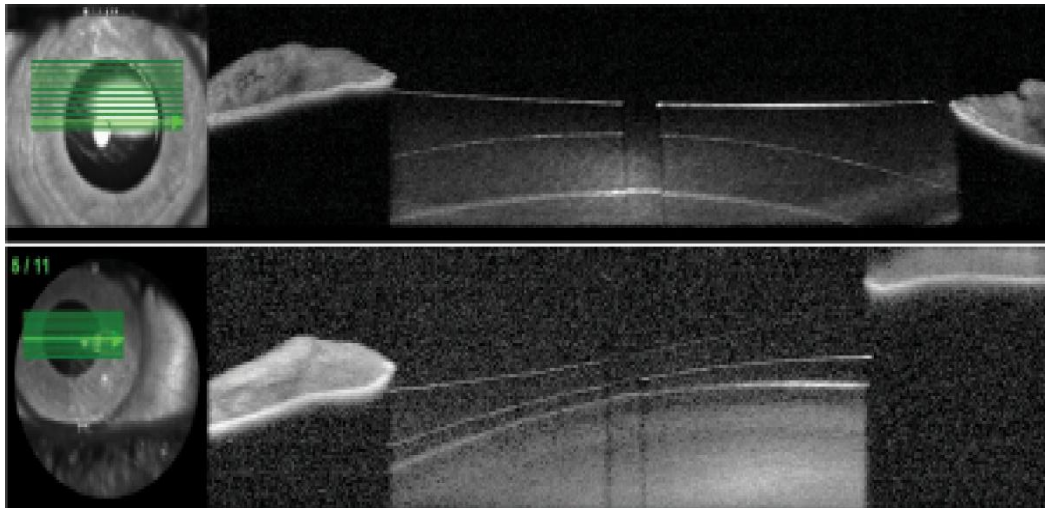


Figure 49: Position d'un ICL Central FLOW® - Image OCT de SA Heidelberg Engineering (service d'ophtalmologie HMRUC)

- **Fin de l'intervention :**
 - Injection d'un myotique pour réduire le diamètre pupillaire.
 - Irrigation/aspiration bimanuelle pour retirer le viscoélastique
 - Hydratation de l'incision principale et des paracentèses pour assurer leur étanchéité.

Les patients reçoivent des gouttes antibiotiques, stéroïdiennes, et anti-inflammatoires non stéroïdiennes à utiliser en postopératoire pendant quelques semaines

Tableau 9 : Incidents peropératoires et leur gestion

<i>Incident</i>	<i>Gestion proposée par les experts</i>
Difficulté de déploiement de l'implant	Injection douce de viscoélastique supplémentaire (Shimizu)
Hypertonie oculaire peropératoire	Massage doux de l'œil ou évacuation du viscoélastique (Kamiya)
Malposition de lentille	Repositionnement immédiat sous contrôle visuel (Güell)
Contact accidentel avec le cristallin	Surveillance attentive, extraction si cataracte secondaire (Alió)

e) Soins Postopératoires :

Le suivi du patient s'effectue généralement à un jour, une à deux semaines, puis un mois après l'intervention.

L'examen comprend la mesure de l'acuité sans correction, de la meilleure acuité corrigée, de la pression intraoculaire, et un examen à la lampe à fente.

Les pupilles doivent être de taille égale, il doit y avoir une voûte satisfaisante de l'ICL au-dessus du cristallin, et la chambre antérieure doit être profonde.

f) Complications de l'implantation phaque :

Les lentilles phaqes sont reconnues pour leur sécurité et leur efficacité dans la correction des fortes amétropies sphériques ou sphéro-cylindriques, avec un excellent profil de tolérance. Néanmoins, comme toute procédure chirurgicale, elles peuvent être associées à certaines complications, bien que rares [222] [223,224].

Les complications survenant après l'implantation d'une lentille de collamère implantable (ICL) ou IPCL peuvent être regroupées en trois grandes catégories : les interventions secondaires, les complications liées au sizing et les complications indépendantes du sizing.

a.1 Interventions secondaires :

Une méta-analyse portant sur 28 études, incluant un total de 2 970 yeux avec un suivi moyen de 16,7 mois, a rapporté un taux global de réintervention de seulement 0,47 %. [225]

Les motifs de reprise chirurgicale comprenaient principalement : 10 cas de réalignement d'implants toriques, 2 erreurs de dimensionnement, 1 décollement de rétine survenu au-delà de trois mois postopératoires, et 1 cas de bloc pupillaire.

Ce taux global de réintervention très faible (0,47 %) témoigne de la haute fiabilité et de la stabilité à moyen terme des implants phaqes, en particulier les ICL et IPCL, lorsqu'ils sont bien indiqués et correctement dimensionnés.

La majorité des réintervention rapportées sont liées à des causes mécaniques ou techniques prévisibles : réalignement d'implants toriques (souvent en lien avec une rotation postopératoire), erreurs de sizing (évitables par une biométrie rigoureuse), et rares complications anatomiques comme le bloc pupillaire ou le décollement de rétine.

Ces résultats soulignent l'importance d'un bilan préopératoire minutieux (biométrie, topographie, évaluation du fond d'œil) et d'une planification personnalisée pour minimiser les risques. Comparativement à d'autres techniques réfractives, le taux de reprise après implantation de lentilles phaqes reste l'un des plus faibles, confirmant leur sécurité dans la correction des fortes amétropies.

b.1 Complications liées au sizing :

1. Opacifications capsulaires et cataractes :

L'incidence globale reste très faible (moins de 1 %).

Ces complications surviennent principalement en raison d'un vaulting insuffisant, résultant d'un mauvais dimensionnement de l'implant, plutôt que d'un contact direct peropératoire avec le cristallin. Les premières versions d'ICL montraient des taux élevés de cataracte (13,88 % à 12 ans), mais les versions récentes (notamment avec orifice central) ont significativement réduit ce risque.

Une revue de 10 études sur 5 477 yeux suivis pendant au moins 10 ans rapporte un taux d'opacités sous-scapulaires entre 1,1 % et 5,9 % et un taux de cataractes nécessitant une chirurgie entre 0 et 1,8 %. Alfonso rapporte 0,61 % d'explantations d'ICL après un délai moyen de 4,2 ans, avec 70 % des cas ayant un vaulting <100 µm et 30 % avec un vaulting <270 µm.^[226]

Les versions récentes avec trou central montrent des taux de cataracte proches de 0 % après 5 ans de suivi.

2. Dispersion pigmentaire et glaucome :

Ces complications demeurent extrêmement rares. Lorsqu'un vaulting excessif conduit à une dispersion pigmentaire, elle n'est habituellement pas associée à une hypertonie.

Sanders a observé 0,4 % des patients nécessitant un traitement hypotonisant après 3 ans.

Aucune incidence de glaucome par dispersion pigmentaire n'a été rapportée dans une revue de 1 905 yeux.^[227]

Les hypertonies observées sont contrôlées médicalement et les cas de glaucome aigu par blocage ont considérablement diminué grâce à l'orifice central de l'ICL.

3. Pertes cellulaires endothéliales :

Deux mécanismes expliquent cette perte : traumatisme opératoire et proximité de l'ICL avec l'endothélium périphérique.

Les facteurs de risque sont principalement : nombre initial de cellules endothéliales bas et voûte insuffisante. L'ensemble des études s'accorde sur une perte cellulaire endothéliale modérée, évaluée entre 6 % et 8 % dans l'année suivant l'implantation, suivie d'une perte physiologique annuelle d'environ 1,2 %.^[228]

L'étude de Moya sur 12 ans et les résultats multicentriques de la SAFIR confirment cette évolution, avec une perte de 5,98 % la première année et une stabilisation ultérieure.^[219]

Les cas de perte sévère (>30 %) sont très rares (0,6 %) et aucun œil n'est descendu sous le seuil critique de 1500 cellules/mm² ^[229].

4. Erreur réfractive résiduelle :

Peut résulter de plusieurs facteurs :

- Dimensionnement inexact de l'implant : une estimation incorrecte du vault ou un diamètre inapproprié de l'ICL par rapport au sulcus ciliaire peut entraîner un positionnement sous-optimal et ainsi un défaut de correction visuelle.
- Rotation spontanée d'un ICL torique (TICL) : même une faible rotation ($\geq 10^\circ$) peut compromettre la correction de l'astigmatisme, nécessitant un réalignement chirurgical.^[230]
- Erreur biométrique préopératoire : des mesures imprécises du sulcus à sulcus (STS), du white-to-white (WTW), ou de la profondeur de la chambre antérieure peuvent induire une sélection erronée du modèle ou des paramètres de l'implant.^[231]
- Cicatrisation cornéenne ou astigmatisme induit par l'incision : certaines incisions cornéennes peuvent entraîner un astigmatisme résiduel postopératoire.^[204]

c.1 Complications indépendantes du sizing

1) Endophtalmie

Comme pour toute chirurgie intraoculaire, l'infection est extrêmement rare (0,0167 % des cas), après implantation d'ICL, ces infections sévères sont encore moins fréquentes depuis l'introduction systématique d'antibiotiques, intracamerulaire en peropératoire. ^[232].

Une étude rétrospective multicentrique (17 954 yeux implantés entre 1998 et 2006) rapporte un taux d'endophtalmie de 0,0167 %, avec une évolution favorable dans tous les cas, sans perte d'acuité visuelle mais peut entraîner une perte de vision si elle n'est pas traitée rapidement.^[233]

2) Décollements de rétine

Les patients candidats à l'ICL étant majoritairement de forts myopes, l'incidence des décollements de rétine (DR) n'est pas nulle.

Martinez-Castillo conclut à l'absence de relation causale entre DR et implantation d'ICL. ^[234]

Quelques cas isolés de DR survenus en postopératoire immédiat sont rapportés, souvent associés à des lésions préexistantes non traitées.

3) Éblouissements ou halos

L'implantation d'ICL permet généralement une amélioration de la qualité visuelle par rapport aux chirurgies cornéennes, notamment grâce à la préservation de la forme naturelle de la cornée et à une réduction des aberrations d'ordre supérieur.^[235]

- Les halos constituent l'effet secondaire visuel principal après implantation d'ICL, surtout en cas d'implants toriques.
- La présence d'un trou central dans les modèles modernes (V4c, EVO) n'altère pas significativement la qualité optique, bien qu'une dysphotopsie en anneau puisse parfois survenir au début.^[236]

Les troubles visuels s'atténuent et se stabilisent rapidement dans les 3 à 6 premiers mois postopératoires.

PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE V

MATERIEL ET METHODES

5 CHAPITRE V : MATERIEL ET METHODES

5.1 Type et conception de l'étude

Il s'agit d'une étude interventionnelle, prospective, descriptive, monocentrique et non randomisée menée dans le but d'évaluer les résultats réfractifs après implantation de lentilles phaqes de chambre postérieure (ICL et IPCL) chez des patients jeunes atteints de myopie forte avec ou sans astigmatisme.

5.2 Lieu et durée de l'étude

L'étude a été réalisée au sein du service d'ophtalmologie de l'Hôpital Militaire Régional Universitaire (HMRUC) Docteur Abdelaali BENBAATOUCE à Constantine (Algérie), entre février 2023 et juin 2024

5.3 Population d'étude

L'étude a inclus un total de 100 yeux de 60 patients (hommes et femmes), âgés de 21 à 40 ans, présentant une myopie forte ($\geq -6,00$ dioptries), avec ou sans astigmatisme associé.

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

$$N = T_p^2 \times P \times (1-P) / I^2$$

N : taille minimale de l'échantillon

T_P : valeur de la loi normale pour un niveau de confiance donné (ex : 1,96 pour 95%)

P : la prévalence de la maladie = 0.070

I : précision ou la marge d'erreur = 0.05

La myopie forte touche environ 4 % de la population mondiale, mais seule une partie de ces patients répond aux critères d'éligibilité à la chirurgie réfractive. Bien que les ICL ne constituent globalement que 5 à 10 % des interventions réfractives ^[237], leur usage est nettement plus fréquent chez les forts myopes, représentant jusqu'à 20 % des cas dans cette population spécifique ^[238].

5.4 Critères d'inclusion

La sélection rigoureuse des patients candidats à une implantation de lentilles intraoculaires phaqes repose sur des critères bien définis, visant à garantir l'efficacité et la sécurité de la procédure

- Âge compris entre 21 ans et 40 ans.
- Myopie forte ($\geq -6,00$ D) avec ou sans astigmatisme non éligible à une chirurgie cornéenne (pachymétrie fine/contre-indication au laser : PTA > 40%, mur postérieur résiduel <300µm.
- Intolérance aux lunettes ou aux lentilles de contact, et exigence élevée.
- Une acuité visuelle de loin corrigée (AVAC) de 5/10 ou plus, une réfraction stable depuis 1 an et une cornée centrale claire.
- Angle iridocornéen ouvert, supérieur à 30 degrés et une profondeur de chambre antérieure supérieure ou égale à 2,8 mm avec un volume de chambre antérieure supérieur à 100 mm³
- Densité cellulaire endothéliale centrale (ECC) adéquate, Supérieure à 2200 cellules/mm².
- Absence d'anomalies de l'iris ou de troubles de la fonction pupillaire.
- Taille de la pupille en condition mésopique inférieure à : 5,0–6,0 mm. ; RMS des aberrations <0,5µm.

5.5 Critères de non inclusion :

- Âge moins de 21 ans.
- Amblyopie profonde.
- Profondeur de chambre antérieure < 2,8 mm.
- Numération des cellules endothéliales (ECC) < 2 000 cellules/mm²,
- Opacification cristallinienne même débutante.
- Des antécédents de Chirurgie cornéenne préalable (LASIK, PK, PTK).
- Kératocône quel que soit le stade évolutif, dégénérescence pellucide...
- Antécédents de glaucome ou de décollement de la rétine, une dégénérescence maculaire ou une rétinopathie, des maladies neuro-ophtalmiques et des antécédents d'inflammation oculaire, Traumatisme oculaire sévère.
- Pseudoexfoliation ou instabilité zonulaire
- Conditions générales ou systémiques tels que :
 - ✓ Maladies auto-immunes actives ou instables
 - ✓ Diabète non équilibré avec atteinte rétinienne
 - ✓ Traitements immunosuppresseurs à long terme
 - ✓ Pathologies neurologiques ou systémiques altérant la vision
 - ✓ Grossesse ou allaitement
 - ✓ Troubles psychiatriques limitant l'observance

5.6 Objectifs de l'Etude

Ce travail de recherche vise à atteindre les objectifs suivants :

▪ Objectif principal

Évaluer les résultats réfractifs et la sécurité de l'implantation de lentilles intraoculaires phaqes de chambre postérieure (ICL/IPCL) chez les jeunes adultes atteints de forte myopie, avec ou sans astigmatisme associé

▪ Objectifs secondaires

- ✓ Analyser l'impact de l'implantation phaque sur les paramètres de la chambre antérieure et leur stabilité post-opératoire.
- ✓ Optimiser les paramètres chirurgicaux, notamment le dimensionnement correct de la lentille (sizing) afin de minimiser les risques de complications réfractives ou anatomiques.
- ✓ Analyser la stabilité des résultats réfractifs à court, moyen et à long terme.

5.7 Matériel utilisé

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

5.7.1 Projecteur et un réfracteur automatisé

La mesure de l'acuité visuelle a été réalisée à l'aide d'un projecteur automatique LUNEAU L29, équipé d'une télécommande permettant de projeter différents types d'optotypes sur une plaque éclairée positionnée à hauteur des yeux du patient, dans des conditions standardisées d'éclairage.

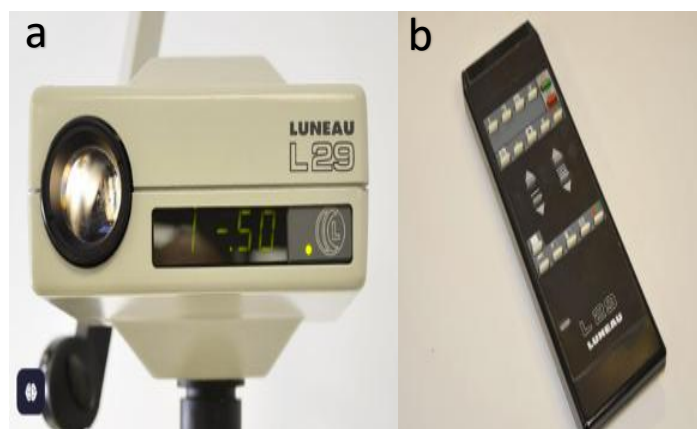


Figure 50:projecteur automatique LUNEAU L29 (a), équipé d'une télécommande (b)
Service d'ophtalmologie de l'HMRUC)

Pour l'essai de correction optique, un réfracteur automatisé Auto Optester Remote Vision (Luneau) a été utilisé. Cet appareil, contrôlé via une interface tactile déportée, permet une manipulation précise et confortable, optimisant la reproductibilité et la standardisation de l'examen subjectif de la réfraction.

5.7.2 Lampe à fente

L'examen bio-microscopique du segment antérieur ainsi que l'exploration du fond d'œil ont été réalisés à l'aide d'une lampe à fente BQ 900 (Haag-Streit, Suisse). (**Figure 51**) Cet appareil, reconnu pour sa précision optique et sa qualité d'éclairage, permet une évaluation détaillée des structures oculaires antérieures (cornée, chambre antérieure, cristallin) ainsi que du fond d'œil en association avec une lentille à fond d'œil adaptée



***Figure 51:** Lampe à fente BQ 900 (Haag-streit, swiss);
réfracteur et frontofocomètre (service d'ophtalmologie de l'HMRUC)*

5.7.3 Autoréfracto-kératomètre

Dans le cadre de ce travail, la mesure de la réfraction objective ainsi que l'analyse kératométrique ont été réalisées à l'aide du SPEEDY-K (Luneau Technology, France). (**Figure 52**).

Cet appareil permet une évaluation automatisée de la réfraction totale du patient, tout en fournissant une kératométrie sur 18 points répartis sur un anneau cornéen de 3,2 mm de diamètre centré. Cette configuration offre une analyse fiable de la courbure cornéenne centrale, essentielle pour la planification de la correction réfractive.



Figure 52: Autorefracto -keratometre SPEEDY-K (Luneau technology, France)
(service d'ophtalmologie HMRUC).

5.7.4 Tonomètre

La mesure de la pression intraoculaire (PIO) a été réalisée à l'aide d'un tonomètre à air pulsé (NIDEK). Cet appareil permet une évaluation non contact de la PIO, avec une correction automatique des valeurs en fonction de l'épaisseur cornéenne centrale (pachymétrie), grâce à un pachymètre intégré (**Figure 53**). Cette fonctionnalité améliore la précision des mesures, en tenant compte des variations individuelles de l'épaisseur cornéenne.



Figure 53: Tonomètre à air pulsé (NIDEK) LTD, JAPAN/ service d'ophtalmologie de l'HMRUC

5.7.5 Biomètre oculaire

NIDEK AL-Scan, un biomètre optique de précision utilisé dans le bilan préopératoire en chirurgie réfractive, sans contact, bonne répétabilité. (*Figure 54*).

- Mesure de la profondeur de chambre antérieure (ACD) depuis l'endothélium cornéen jusqu'à la capsule antérieure du cristallin.
- Mesure du blanc-à-blanc (WTW) est un repère indirect du diamètre du sulcus ciliaire utilisé pour estimer la taille optimale de l'implant phake
- Mesure de la longueur axiale (AL) Important pour l'évaluation du degré de myopie.
- Kératométrie pour la mesure des courbures cornéennes afin de détecter un astigmatisme régulier ou irrégulier ; requis pour les modèles toriques (TICL/IPCL Toric)
- Permet de réaliser systématiquement le calcul d'un implant intraoculaire (IOL) chez tout patient porteur d'un implant phake dès l'apparition des premiers signes de cataracte, même discrets. Cette anticipation permet une planification chirurgicale précoce, personnalisée et sécurisée.

Disposer d'un calcul d'implant prêt à l'emploi dès les premières constatations cliniques permet de garantir une prise en charge réactive et optimale au moment opportun, tout en limitant les incertitudes biométriques liées à l'opacification du cristallin.

- Permet de transmettre les données vers le calculateur STAAR OCOS/IPCL Care pour déterminer la puissance et la taille de l'implant.

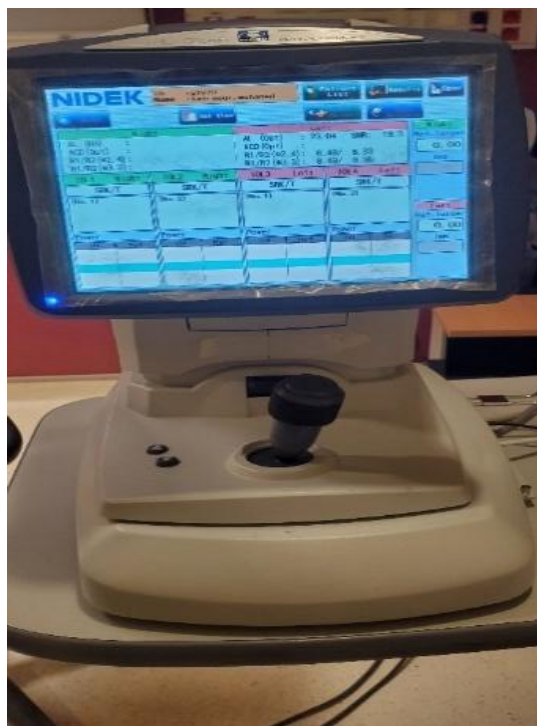


Figure 54: Biomètre oculaire NIDEK AL-Scan/Japan/ service d'ophtalmologie de l'HMRUC

5.7.6 Topographe cornéen

La topographie cornéenne par caméra rotative Scheimpflug (Pentacam®, le Sirius®) pour l'évaluation tridimensionnelle du segment antérieur de l'œil (**Figure 55**). Ce système, basé sur une caméra rotative associée à une fente lumineuse, permet d'obtenir une reconstruction tomographique complète de la cornée et de la chambre antérieure, avec une excellente reproductibilité des mesures.

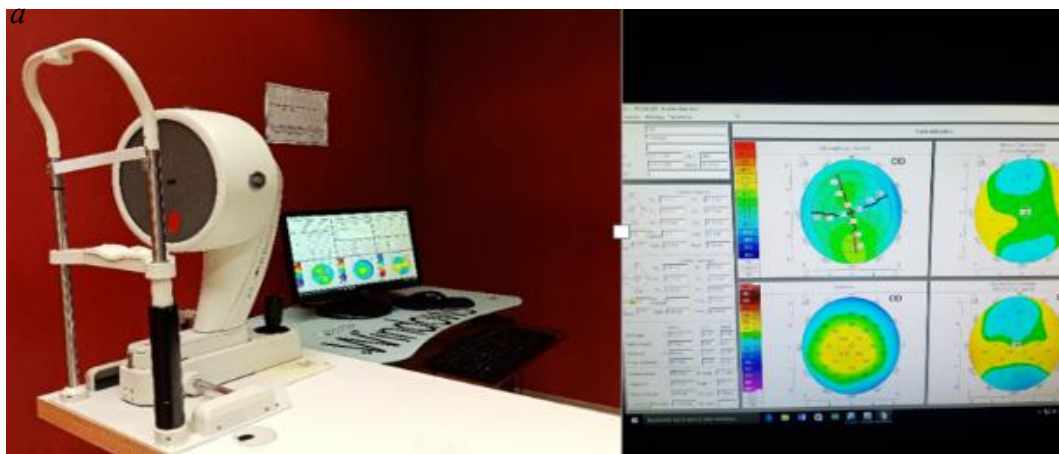


Figure 55: Topographe cornéen par caméra rotative Scheimpflug (Pentacam®, le Sirius®)
Allemagne/ service d'ophtalmologie de l'HMRUC

- Mesurer la **kératométrie** antérieure et postérieure avec une grande précision, utile à la détection d'astigmatismes irréguliers ou de kératocônes infracliniques, qui contre-indiquent l'intervention.
 - L'analyse **pachymétriques** donne accès à une carte complète de l'épaisseur cornéenne, essentielle pour identifier les amincissements localisés non perceptibles en examen standard, notamment au niveau de la cornée postérieure.
 - La mesure de la profondeur de la chambre antérieure (**ACD**), indispensable à l'éligibilité d'un patient à un implant de chambre postérieure, en particulier les modèles ICL ou IPCL.
 - De plus, le volume de la chambre antérieure (**ACV**) et l'ouverture angulaire (angle iridocornéen) sont également évalués, permettant de mieux anticiper le comportement du Vault postopératoire et de prévenir les complications telles que le bloc pupillaire ou l'hypertonie.
 - Enfin, la tomographie pour une analyse de l'élévation cornéenne (surfaces antérieure et postérieure), qui est déterminante dans le dépistage des ectasies cornéennes débutantes.
 - Fourni également des aberrations optiques de haut degré via une décomposition en polynômes de Zernike, utiles dans l'évaluation de la qualité optique préopératoire.
- L'ensemble de ces données permet une sélection plus rigoureuse des candidats à la chirurgie par implant phake, et une meilleure prédictibilité du résultat visuel postopératoire.

5.7.7 Heidelberg Spectralis OCT

Outil d'imagerie de haute précision (Mode 3 / Anterior Segment Module) utilisé pour l'évaluation post-opératoire après implantation de lentilles phaqes de chambre postérieure (ICL) (**Figure 56**) fiable pour la mesure manuelle précises, du vaulting post-opératoire, avec une grande reproductibilité avec possibilité de calipers personnalisables sur les coupes transversales.



***Figure 56:** Heidelberg Spectralis OCT (Mode 3 / Anterior Segment Module Allemagne service d'ophtalmologie de l'HMRUC.*

5.7.8 Microscopie spéculaire

Le microscope spéculaire utilisé dans notre travail est le CEM-530 NIDEK il 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 le comptage cellulaire en quelques secondes de façon automatique, avec possibilité d'un comptage manuel.



***Figure 57:** Microscopie spéculaire (CEM-530 NIDEK) japon / service d'ophtalmologie de l'HMRUC.*

5.7.9 Types d'implants

5.7.9.1 EVO Visian ICL V4c STAAR

Tableau 10 : Caractéristiques techniques, optiques et biomatériaux de l'implant phake EVO ICL.

Catégorie	Détails
Type d'implant	Implant phake de chambre postérieure, lentille souple monobloc
Fabricant	STAAR Surgical (États-Unis)
Matériau	Collamer® (collagène + HEMA), biocompatible, 34% eau, indice 1,45, filtre UV < 400 nm
Port central	KS-Aquaport® (360 µm), évite l'iridotomie
Implantation	Micro-incision < 3,2 mm, injecteur dédié
Diamètres disponibles	12,1 mm à 13,7 mm (selon WTW/ATA)
Zone optique	4,65 mm à 5,8 mm
Fixation	Dans le sulcus ciliaire via haptiques souples
Correction sphérique	-20 D (myopie) à +10 D (hypermétropie)
Correction astigmatisme	Jusqu'à 6,0 D
Design optique	Asphérique, meilleure vision mésopique/nocturne
Modèle torique (TICL)	Repères d'axe intégrés pour alignement
Lancement	2011–2013 (EVO / V4c)



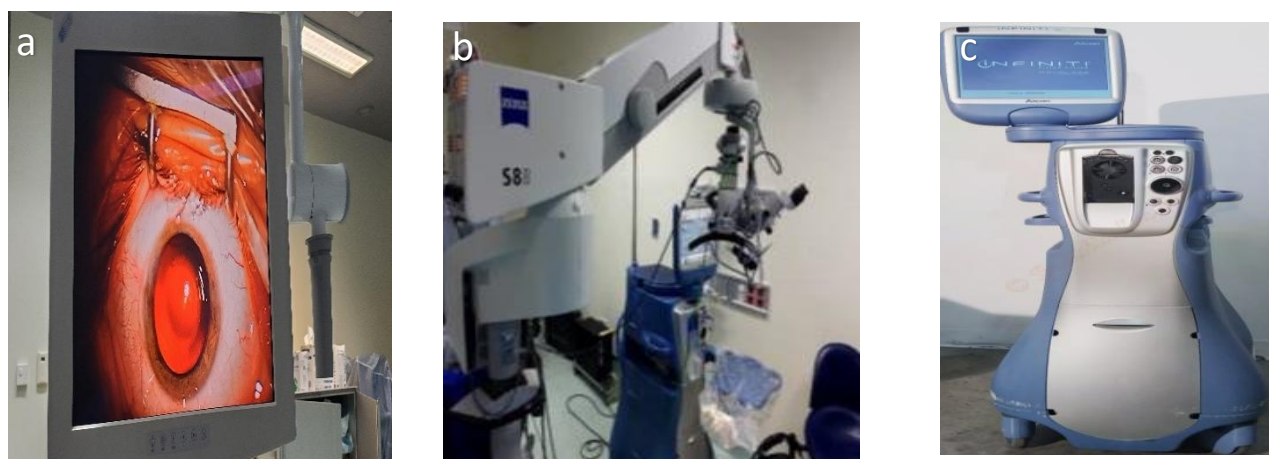
Figure 58: Caractéristiques techniques de l'implant EVO+ Visian ICL V5 (STAAR Surgical) /HMRUC ophtalmologie

Tableau 11 : Caractéristiques des implants phake IPCL V2.0.

Catégorie	Détails
Type d'implant	Lentille phake de chambre postérieure, acrylique hydrophile
Fabricant	Care Group (Inde)
Matériau	Acrylique hydrophile (~25 % eau), biocompatible
Port central	Oui, 380–400 µm, supprime l'iridotomie
Implantation	Dans le sulcus ciliaire via injecteur IPCL
Nombre d'haptiques	6 haptiques souples (stabilisation)
Diamètres disponibles	12,0 mm à 14,5 mm (selon WTW ou ATA)
Zone optique	Variable, adaptée à la taille pupillaire
Correction myopique	Jusqu'à -30 D
Correction astigmatisme	Jusqu'à -10 D
Épaisseur	Variable selon puissance optique
Design optique	Réfractif (non torique / torique)
Avantages	Coût réduit, large gamme de corrections, port central
Limites	Moins de recul scientifique, sizing moins prévisible

5.7.10 Microscope opératoire :

Un microscope opératoire Morel ZEISS OPMI S88 (Carl Zeiss Meditec AG, Allemagne) (**Figure 59**), équipé d'une caméra couplée à un système d'enregistrement vidéo), a été utilisé pour la documentation peropératoire de notre travail.



**Figure 59 : Microscope avec enregistreur et machine Alcon Infinity Vision System
Sce d'ophtalmologie HMRUC**

(a) Microscope opératoire

(b) caméra couplée à un système d'enregistrement vidéo

(c) Machine Alcon Infinity Phaco Ozil (Service d'Ophtalmologie Bloc / HMRUC)

5.8 Instrumentation et Déroulement opératoire :

La chirurgie d'implantation de lentilles phaqes (ICL / IPCL) nécessite un plateau technique spécifique et une instrumentation fine permettant un geste atraumatique et une manipulation sécurisée de l'implant.

a) Instruments et dispositifs utilisés :

- Incision principale : lame cornéenne de 2,8 à 3,2 mm (selon le type d'injecteur et le modèle d'implant).
- Incisions accessoires : couteau latéral à 15°, utilisé pour les paracentèses.
- Injection du viscoélastique : seringue de hydroxypropylméthylcellulose (HPMC), assurant la protection endothéliale et la création d'un espace de travail stable.
- Manipulation de la lentille :
 - Spatule de Sinskey pour le positionnement et l'ajustement dans le sulcus.
 - Spatule modifiée (ou enclavement hook) pour le placement final et le contrôle du vault.
- Système d'injection :
 - Cartouche et injecteur STAAR Surgical pour les modèles ICL.
 - Injecteur Care Group spécifique aux IPCL.
- Irrigation / aspiration : pièce à main I/A connectée à un phacoémulsificateur Infinity Vision System (Alcon®), utilisée pour évacuer le viscoélastique résiduel.
- Marquage préopératoire : réalisé à l'aide d'un stylo dermatographique à encre chirurgicale, permettant la localisation précise de l'axe de l'astigmatisme (notamment pour les modèles toriques).

b) Déroulement opératoire (principaux gestes)

1. Préparation et marquage préopératoire
 - En position assise, le patient est marqué au stylo dermatographique sur les repères horizontaux (0°–180°) pour corriger la cyclotorsion peropératoire.
2. Incisions cornéennes
 - Réalisation d'une incision principale de 2,8–3,2 mm au niveau temporal ou supérieur selon l'œil traité.
 - Création de paracentèses à 15° pour faciliter la manipulation et l'irrigation/aspiration.

3. Injection du viscoélastique
 - Remplissage contrôlé de la chambre antérieure avec HPMC pour protéger l'endothélium et maintenir la profondeur.
4. Injection de l'implant phake
 - Introduction de la cartouche préchargée dans l'injecteur (STAAR pour ICL, Care Group pour IPCL).
 - Avancement progressif de l'implant dans la chambre postérieure sous contrôle visuel.
5. Positionnement et enclavement
 - À l'aide de la spatule de Sinskey, positionnement des haptiques dans le sulcus ciliaire.
 - Ajustement fin de la position, contrôle de la centration et du vault à l'aide de la spatule modifiée.
6. Évacuation du viscoélastique
 - Irrigation/aspiration douce via la pièce à main I/A, assurant une chambre claire et une PIO normale.
7. Fermeture et vérification
 - Hydratation des incisions cornéennes, contrôle de l'étanchéité et de la stabilité de l'implant.
 - Contrôle du vault intraopératoire et de la réactivité pupillaire avant la sortie de table.



Figure 60: Instrumentation pour la technique d'implantation phaque EVO VISIAN
ICL STAAR SURGICAL Service d'ophtalmologie HMRUC

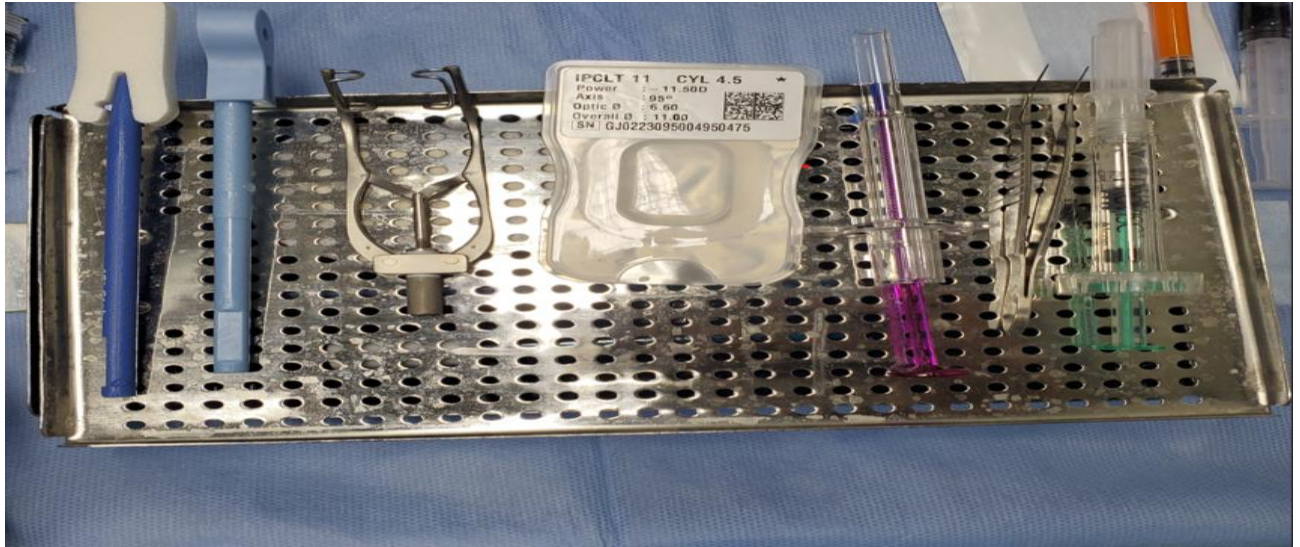


Figure 61 : Instrumentation nécessaire pour la technique d'implantation phaue IPCL (Service d'ophtalmologie HMRUC).

5.9 Protocole d'étude

Tous les patients inclus dans l'étude ont été opérés après avoir donné leur consentement éclairé, formalisé par une fiche d'information dûment signée (Annexe 1).

- Les données médicales de chaque patient ont été enregistrées électroniquement à l'aide du logiciel professionnel "EYE CHEK", utilisé au sein de notre service.
- Une fiche technique standardisée (Annexe 2) a été renseignée pour chaque cas, comportant quatre volets
 1. Identification du patient
 2. Données cliniques et examens complémentaires préopératoires
 3. Informations relatives au déroulement de l'acte chirurgical (paramètres peropératoires)
 4. Suivi clinique et paraclinique postopératoire
- Toutes les étapes du parcours chirurgical de la préparation préopératoire au suivi post-opératoire ont été réalisées selon un protocole uniforme.
- Enfin, l'ensemble des interventions a été effectué par un seul et même opérateur, à savoir le candidat lui-même, garantissant une homogénéité technique tout au long de l'étude.

5.10 Paramètres d'évaluation préopératoires

5.10.1 Interrogatoire :

1. Informations générales et administratives

- Nom, prénom, date de naissance.
- Adresse, numéro de téléphone, personne à contacter.
- Profession (exposition aux poussières ou traumatismes oculaires).

2. Antécédents ophtalmologiques

- Port de verres correcteurs ou des lentilles de contact ? Depuis quand ?
- Antécédents de chirurgie oculaire (PRK, LASIK, ...) ?
- Kératocône, uvéite, glaucome, ou décollement de rétine
- Gêne visuelle particulière (éblouissements, halos, fluctuations de la vision)
- Depuis quand votre myopie est-elle stable ? (Rechercher une stabilité réfractive ≥ 1 an)

3. Antécédents médicaux généraux

- Notion de pathologies chroniques (Diabète, hypertension, maladies auto-immunes...).
- Notion de traitement au long cours.
- Antécédents d'allergie médicamenteuse.

4. Évaluation des contre-indications

- Des épisodes de rougeur oculaire, douleurs, baisse brutale de la vision
- Notio de glaucome ou d'une hypertonieoculaire.
- Une inflammation intraoculaire (uvéite, iritis...).

5. Motivation et attentes vis-à-vis de la chirurgie

- Pourquoi souhaitez-vous vous faire opérer ?
- Êtes-vous gêné par le port de lunettes ou de lentilles au quotidien ?
- Qu'attendez-vous de l'intervention en termes de confort ou de qualité de vie ?
- Connaissez-vous les alternatives à la chirurgie par implant phake ?

5.10.2 Examen Ophtalmologique

5.10.2.1 Évaluation de l'acuité visuelle sans et avec correction :

L'évaluation de l'acuité visuelle constitue une étape fondamentale de l'examen ophtalmologique préopératoire. Elle permet d'apprécier la performance visuelle du patient, à la fois sans compensation optique et sous correction maximale, dans des conditions standardisées.

Conditions générales de mesure

- Les mesures sont effectuées dans un environnement standardisé, avec un éclairage ambiant homogène et une distance de lecture calibrée (généralement 5 mètres).
- L'examen peut être réalisé avec ou sans cycloplégie, selon le contexte clinique et l'objectif de l'évaluation :
 - Sans cycloplégie : dans la majorité des cas, afin d'évaluer la vision subjective fonctionnelle du patient.
 - Avec cycloplégie : recommandée chez les jeunes patients fortement myopes afin de neutraliser l'accommodation et de révéler une myopie latente ou un spasme accommodatif.

a) Acuité visuelle sans correction (AVSC) :

Principe et objectif

L'acuité visuelle sans correction (AVSC) correspond à la performance visuelle naturelle du patient, sans port de lunettes ni lentilles de contact.

Elle reflète le niveau réel du handicap visuel fonctionnel, particulièrement pertinent dans le cadre de la myopie forte.

Méthodologie

La mesure a été réalisée à l'aide de l'échelle de Monoyer (notation décimale), conformément aux pratiques cliniques locales.

Pour les besoins de l'analyse statistique et de la comparaison internationale, toutes les valeurs ont été converties en logMAR, conformément aux standards publiés par Bailey & Lovie (1976), Holladay (1997) et aux ICO Guidelines (2002) ^[239,240].

b) Acuité visuelle avec correction (AVAC) :

- Principe et objectif
- L'acuité visuelle avec correction (AVAC) correspond à la meilleure acuité obtenue après correction optique maximale (lunettes, lentilles ou correction déterminée par réfractométrie).
- Elle reflète le potentiel visuel corrigé de l'œil, constituant un repère de référence pour le calcul des indices de sécurité et d'efficacité postopératoires.

Méthodologie

- La mesure est effectuée à la même distance (5 mètres) et avec les mêmes conditions d'éclairage que pour l'AVSC, en utilisant les mêmes échelles de lecture.
- En cas d'examen sous cycloplégie, une réfractométrie objective préalable (auto-réfractomètre ou skiascopie) est réalisée afin d'obtenir la correction la plus précise.
- L'acuité visuelle est ensuite testée en vision de loin, avec la correction déterminée sous cycloplégie.

5.10.2.2 Examen du segment antérieur :

1. Rechercher des contre-indications à l'implantation :

- Profondeur de la chambre antérieure insuffisante.
- Signes d'inflammation intraoculaire chronique (synéchies, précipités rétro-cornéens).
- Anomalies de l'iris (colobome, atrophie, pupille excentrée).
- Pathologie zonulaires (phacodonesis, signe de pseudo-exfoliation).
- Présence de kératopathies (cicatrices, dystrophies, kératocône) : à éliminer impérativement.
- Hétérochromie, antécédents de traumatisme oculaire ou d'uvéïte.

2. Évaluer la surface oculaire :

- Stabilité du film lacrymal : une sécheresse importante peut fausser la réfraction préopératoire, surtout si un implant torique est prévu.
- Test du BUT (Break-Up Time).
- Évaluation des rivières lacrymales, conjonctivite chronique, blépharite éventuelle.

3. Examiner la réaction pupillaire et la dilatation :

- Une bonne dilatation pupillaire est nécessaire pour manipuler l'implant et bien positionner les haptiques.
- Observer la forme et le centrage pupillaire, surtout dans les cas de lentilles toriques.

4. Intégrité endothéliale :

- Même si l'évaluation quantitative se fait par microscopie spéculaire, une observation qualitative à la LAF permet de détecter des signes précoces de guttata ou de dystrophies.

5.10.2.3 *Prise du tonus oculaire :*

- A l'air pulsé et corrigé à la recherche d'une hypertonie

5.10.2.4 *Examen de l'angle iridocornéen :*

- Pour évaluer le degré d'ouverture de l'angle et rechercher des éléments surajoutés.

5.10.2.5 *Évaluation préopératoire du fond d'œil et du segment postérieur :*

Chez les patients atteints de forte myopie, l'évaluation préopératoire du fond d'œil et du segment postérieur constitue une étape déterminante avant toute chirurgie réfractive par implant phake. En effet, l'allongement axial du globe, les remaniements vitréo-rétiniens et la fréquence élevée de lésions périphériques fragilisent la rétine, augmentant le risque de complications post-opératoires, notamment de décollement de rétine rhégmato-gène.

1. Examen rétinien périphérique

Un examen complet du fond d'œil, idéalement réalisé à la lampe à fente avec lentille à trois miroirs ou en indirect avec dépression sclérale, doit être systématique.

L'objectif est de rechercher les lésions dégénératives périphériques typiques de la myopie axiale :

- Dégénérescences pavimenteuses, en palissade ou en treillis.
- Trous atrophiques, déchirures en fer à cheval ou zones d'amincissement rétinien.
- Tractus vitréo-rétiniens susceptibles d'évoluer vers une traction ou une déchirure.

Lorsqu'une lésion prédisposante est identifiée, une photocoagulation préventive au laser argon doit être réalisée au moins deux semaines avant l'implantation. Ce délai permet la consolidation de l'adhérence rétino-choroïdienne et la réduction significative du risque de décollement rétinien postopératoire [208–211].

2. Évaluation maculaire

L'examen de la région maculaire vise à exclure toute pathologie susceptible de limiter le bénéfice visuel de la chirurgie :

- Maculopathie myopique (atrophique, tractionnelle ou néovasculaire).
- Staphylome postérieur, souvent associé à un amincissement scléral et une déformation de la fovéa.
- Fovéoschisis myopique ou membrane épimaculaire, qui constituent des contre-indications absolues à la chirurgie phakique, du fait du risque de décompensation maculaire postopératoire.

L'examen clinique doit être complété par une tomographie en cohérence optique (OCT) maculaire, qui permet une visualisation fine de la fovéa, la détection de microdécollements, et la caractérisation des membranes prérétiniennes éventuelles.

3. Évaluation du nerf optique et dépistage glaucomateux

Chez le myope fort, la morphologie du nerf optique (pale papillaire, excavation large, inclinaison) peut mimer une neuropathie glaucomateuse, rendant le diagnostic plus complexe.

Une analyse structurelle (OCT du nerf optique et de la couche des fibres nerveuses péripapillaires) associée à un champ visuel automatisé standardisé (HFA 24-2 ou 30-2) est indispensable pour :

- Éliminer une névrite optique ou autre neuropathie optique non glaucomateuse.
- Distinguer les anomalies liées à la myopie (pseudo-excavation, maculopathie tractive) d'un véritable glaucome.

La mise en évidence d'un glaucome non contrôlé ou d'une atteinte du nerf optique constitue une contre-indication relative à l'implantation d'un implant phakique.

4. Évaluation du vitré

La liquéfaction vitréenne précoce et les synérèses sont fréquentes chez le myope fort. Une attention particulière doit être portée à la présence de condensations, d'anneau de Weiss ou de tractions vitréennes postérieures.

Le repérage de ces anomalies permet d'anticiper le risque de traction rétinienne secondaire, notamment après les variations de pression intraoculaire peropératoires.

5.10.2.6 *La microscopie spéculaire :*

Le logiciel associé sélectionne automatiquement l'image de meilleure qualité pour réaliser, en quelques secondes, un comptage cellulaire automatisé, tout en offrant la possibilité d'un comptage manuel si nécessaire

5.10.2.7 *La topographie cornéenne :*

L'évaluation topographique préopératoire de la cornée a été réalisée à l'aide du **Pentacam HR®** Oculus, Wetzlar, Allemagne.

5.10.2.8 *La biométrie oculaire.*

La mesure systématique de la longueur axiale (LA) chez les patients myopes forts est essentielle, non seulement pour la prise en charge initiale, mais également dans une optique de planification anticipée d'une chirurgie de la cataracte. Il est désormais recommandé, tant pour des raisons cliniques que médico-légales, de disposer d'un calcul d'implant pseudophaque prêt à l'emploi, même chez les patients jeunes, asymptomatiques sur le plan cristallinien. Ce calcul, souvent réalisé initialement avec la formule SRK/T, peut être affiné par des formules plus modernes dès que les données biométriques complètes sont disponibles.

Chez les forts myopes, le calcul de la puissance du cristallin artificiel constitue un véritable défi biométrique. En effet, la longueur axiale excessive, la configuration particulière du segment antérieur ainsi que la difficulté à prédire avec précision la position effective de l'implant exposent à des erreurs de réfraction postopératoire. Pour répondre à ces enjeux, les formules de 4^e et 5^e génération — telles que Barrett Universal II, Haigis, Olsen, se sont avérées nettement plus performantes que les formules classiques comme SRK/T ou Holladay 1, en particulier lorsque la LA dépasse 26 mm ^[241,242].

5.10.2.9 Le calcul de la puissance de l'implant phaque :

Effectué à l'aide de logiciels en ligne mis à disposition par les fabricants, (Figure 62)

- **ICL® Online Calculator** (STAAR Surgical).

The screenshot shows the STAAR Surgical online calculator interface. At the top, there is a dark header with the STAARSURGICAL logo on the left and the user's email 'benyahiaekophta@gmail.com' and 'LOG 001' on the right. Below the header is a navigation bar with links: SEARCH, CALCULATOR (which is highlighted), SELECT DOCTOR, and HELP. The main content area displays a welcome message 'Welcome ABDELKADER BENYAHIA' and a blue notification 'OCOS will time out in 29:06'. Under the heading 'SELECTED DOCTOR', the following information is listed: '74982 - ABDELKADER BENYAHIA', 'CUH CONSTANTINE', and 'CONSTANTINE, Algeria'. At the bottom, there is a search form with three input fields: 'PATIENT ID' (containing 'benyahiaekophta@gmail.com'), 'CALCULATION DATE' (with sub-fields 'Enter From Date' and 'Enter To Date'), and 'ORDER NUMBER'. To the right of these fields are two buttons: a dark 'SEARCH' button and a light 'SHOW ALL RESERVED ITEMS' button. A small note at the bottom of the form states: 'If no date parameters are selected then the search will give information for 3 months.'

Figure 62: ICL® Online Calculator (STAAR Surgical).

Doctor ID **74982**
ABDELKADER BENYAHIA
Date: 2025.06.23

Calculate For ☐ ICL ☐ Toric ICL

Patient ID

Patient Name

Operative Eye ☐ OD ☐ OS

Year
Month
Day

DOB 1975 1 1

Gender ☐ M ☐ F

BVD 12

Sphere

Cylinder

Axis

Power
Degrees

K1 @

K2 @

ACD

CT

WtW

CL Sphere 0

Any previous ☐ No
intervention? ☐ Yes:

STAAR Surgical
ICL Power Calculation Software

Click on the Patient ID box and enter the patient informati

The accuracy of predicting the necessary
power of an intraocular lens is directly related
to the accuracy of these measurements.

Use the **TAB** or **ENTER** Key to move to the next field.
Press **Calculate** when finished.

Figure 63 : Plateforme de Calcul STAAR Implanttable Collamer Lenses

- IPCL Calculator (Care Group India)

Select IPCL v2.0

Select IPCL

IMPLANTABLE PHAKIC Contact Lens

[My Orders](#) | [Password Change](#) | [Logout](#)

'*' indicates required fields.

*Doctor's Name : <input type="text"/> *Hospital & City Name : <input type="text"/> *Email ID : <input type="text"/>	*Patient's Name : <input type="text"/> *Patient's id : <input type="text"/> *Date of Birth : <input type="text"/>
---	---

Data Added By:

*Operative Eye <input checked="" type="radio"/> Right (OD) <input type="radio"/> Left (OS)	Refraction	*Spherical <input type="text"/> *Cylinder <input type="text"/> *Axis <input type="text" value="110"/> *Addition <input type="text"/>	BCVA <input type="text"/> CLR <input type="text" value="0"/>
--	------------	---	---

Keratometry	Power K1(Flat) <input type="text"/> K2(Steep) <input type="text"/>	Axis <input type="text" value="80"/>	*ACD(Internal) <input type="text"/> *Pachy <input type="text"/>	Axial Length(mm) Opt : <input type="text"/> US : <input type="text"/>	*SIA <input type="text" value="0.5"/> *Ins Loc <input type="text" value="0"/>
-------------	--	---	--	---	--

W to W	Digital <input type="text"/>	Optical <input type="text"/>	IOL Mast <input type="text"/>	Orb Scan <input type="text"/>	S to S <input type="text"/>	A to A <input type="text"/>
--------	------------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-----------------------------	-----------------------------

IPCL SELECTION	<input type="button" value="SPHERICAL"/>	<input type="button" value="TORIC"/>	<input type="button" value="PRESBY"/>	<input type="button" value="PRESBY-TORIC"/>
----------------	--	--------------------------------------	---------------------------------------	---

IPCL Model	Calculated Powers				Residual Powers	
	Spherical	Cylinder	Axis	Addition	Spherical	Cylinder
Lens 1	SP	CP	Axis	Add	SR	CR
Lens 2	SP	CP	Axis	Add	SR	CR
Lens 3	SP	CP	Axis	Add	SR	CR

*Note : Lens Placement must be at 0-180 degrees.

Disclaimer: The IPCL Lens Calculator will assist physicians in selecting the appropriate IOL for a patient. It is intended to be used in conjunction with a comprehensive ophthalmic examination and the appropriate diagnostic tests and measurements. We have taken utmost care to give the best result. The Physicians who use the calculator must arrive at their own independent determinations regarding the proper treatment for their patients. Care Group is not responsible for any claims you may have arising out of your use of this tool. One PI @ 12 O'clock position is recommended.

|
 |
 |

Figure 64 : Plateforme de calcul de l'implant plaque IPCL HMRUC de Constantine

Ces plateformes permettent une personnalisation fine du calcul en fonction de la réfraction cible (généralement l'émétropie) et des spécificités anatomiques de chaque patient. Le résultat fourni inclut également le modèle de l'implant, sa puissance sphérique ou torique, ainsi que son diamètre optimal pour assurer une bonne stabilité et une voûte sécuritaire.

5.10.3 L'information des patients :

- L'information préopératoire constitue un pilier fondamental de la relation médecin-patient et conditionne la validité du consentement éclairé.
- Elle doit être claire, loyale, personnalisée et documentée dans le dossier médical.
- Le patient est informé de la nature de l'intervention, de ses objectifs visuels et des principales étapes opératoires.
- Les résultats attendus sont expliqués en termes de correction réfractive, de qualité visuelle et d'indépendance aux lunettes.
- Les risques potentiels sont détaillés : hypertonie oculaire, cataracte, infection, rotation d'implant, inflammation ou besoin d'une reprise chirurgicale.
- Les alternatives thérapeutiques sont présentées : verres correcteurs, lentilles de contact, chirurgie cornéenne (LASIK, PRK, SMILE).
- Le patient est informé des soins postopératoires, des consignes de suivi et de la nécessité d'une surveillance à long terme.
- Les implications financières sont précisées lorsque l'acte ou l'implant ne sont pas remboursés.
- Le dialogue doit permettre une compréhension réelle et une décision partagée, en adéquation avec les attentes du patient.
- Ce processus d'information répond à une obligation éthique, légale et déontologique, garantissant le respect de l'autonomie du patient.

5.10.4 Préparation du matériel :

Toutes les chirurgies ont été réalisées en ambulatoire. Dès son admission, chaque patient était dirigé vers l'unité d'hôpital de jour, où débutaient les préparatifs préopératoires. Ce protocole comprenait :

- L'instillation de collyres mydriatiques et cycloplégiques pour obtenir une dilatation pupillaire optimale (tropicamide 0,5 % et phényléphrine 10 %) ;
- La vérification de l'identité du patient, du type d'implant prévu (sphérique ou torique) et de la latéralité.

- Le contrôle de l'intégrité du kit chirurgical, du modèle de l'implant et de sa puissance ;
- Le contrôle du tonus oculaire préopératoire, afin de détecter toute hypertonie contre-indiquant une chirurgie immédiate.
- Le marquage de l'axe de référence est une étape essentielle dans la préparation des patients devant bénéficier de l'implantation d'un implant torique. Ce marquage est effectué avant l'entrée au bloc opératoire, au niveau de l'unité de consultation, avant toute dilatation pupillaire, afin de garantir la précision de l'alignement selon l'axe réel de l'œil en position naturelle.
- Après instillation d'un collyre anesthésiant topique, le patient est installé en position assise à la lampe à fente, la tête bien droite, fixant un point droit devant lui. L'axe horizontal (3 h – 9 h) est identifié en faisant pivoter la fente lumineuse à l'horizontale, puis marqué à l'aide d'une aiguille de calibre 25 gauge, au niveau de la périphérie cornéenne, proche du limbe. Le marquage doit impérativement passer par le centre de la pupille, garantissant ainsi la référence à l'axe visuel du patient.
- Ce marquage initial est systématiquement vérifié en salle opératoire, avant l'insertion de l'implant torique, afin de confirmer la concordance avec l'axe programmé de l'astigmatisme et ainsi éviter toute rotation postopératoire susceptible de compromettre la correction réfractive.

5.10.5 Préparation du malade :

Avant le début de l'intervention, une mise en place rigoureuse du matériel est effectuée afin d'assurer le bon déroulement de la chirurgie dans des conditions optimales de sécurité et de stérilité. Cette préparation inclut :

- La mise en marche de la plateforme chirurgicale (infinity vision system ® Alcon) pour l'irrigation/aspiration et la gestion des fluides, ainsi que du microscope opératoire S88®, avec ajustement de l'éclairage et du zoom.
- L'activation de l'enregistreur vidéo numérique, permettant de documenter le geste chirurgical pour traçabilité ou à des fins pédagogiques.

Les instruments de base déjà préparés sur le champ opératoire comprennent (**Figure 65**) :

- Spatule intraoculaire, pince de préhension, pousse-lentille ;
- Microcoton-tips stériles (« micro-cigarettes ») pour manipuler délicatement les tissus oculaires.



Figure 65 : Kit de chargement de l'implant Evo visian Icl STAAR Surgical company, 2019)

✓ Matériel spécifique à l'implantation phake :

L'implantation d'une lentille phaque, qu'il s'agisse d'un ICL® (Implantable Collamer Lens) ou d'un IPCL® (**Figure 66, Figure 67**Figure 59) (Implantable Phakic Contact Lens), nécessite en plus un matériel dédié, comprenant :

- Injecteur spécifique à l'implant utilisé :
 - ICL STAAR Surgical : Injecteur et cartouche STAAR KS-SP ou V4c system



Figure 66: Injecteur STAAR ICL



Figure 67 : *Injecteur IPCL V2.0 care group avec Cartouche*

- Viscoélastique de haute viscosité :
 - Typiquement de type cohésif, tel que PROVISC®, pour maintenir la chambre antérieure et protéger l'endothélium.
 - Il est important de disposer d'un second viscoélastique dispersif si besoin de double protection.
- Spatule douce ou manipulateur de haptique, pour le positionnement atraumatique de la lentille dans le sulcus ciliaire.
- Produit de rinçage et aspiration :
 - Utilisation d'une canule d'irrigation/aspiration bimanuelle adaptée à la chambre antérieure pour éliminer tout résidu de viscoélastique après l'implantation.
- Collyres prêts à l'emploi :
 - Antibiotique (céfuroxime intracaméculaire (1 mg/0,1 ml),
 - Myotique éventuel (pilocarpine 2%).
- Implant phake stérile à température ambiante, vérifié avant ouverture (modèle, puissance, diamètre).
- Tous les patients ont reçu des agents dilatateurs et cycloplégiques (1 % de tropicamide et 2,5 % de phényléphrine) 1 heure avant l'intervention.

5.10.6 Protocole opératoire ICL / IPCL /TIPCL

5.10.6.1 Installation du patient et préparation préopératoire

-Le patient est placé en décubitus dorsal, avec la tête bien calée. On se positionne de manière temporale par rapport à l'œil du patient, garantissant ainsi une approche confortable et une manipulation précise des instruments.

- Désinfection rigoureuse au povidone iodée 10% le pourtour orbital 5% le cul de sac conjonctival).
- Champ stérile et mise en place du blépharostat.

Anesthésie topique (oxybuprocaine ou lidocaïne 1 %) ± sédation ou Injection rétrobulbaire selon le profil du patient.

5.10.6.2 Incision cornéenne

- Incision principale claire cornéenne de 2,8 à 3 mm selon l'implant.

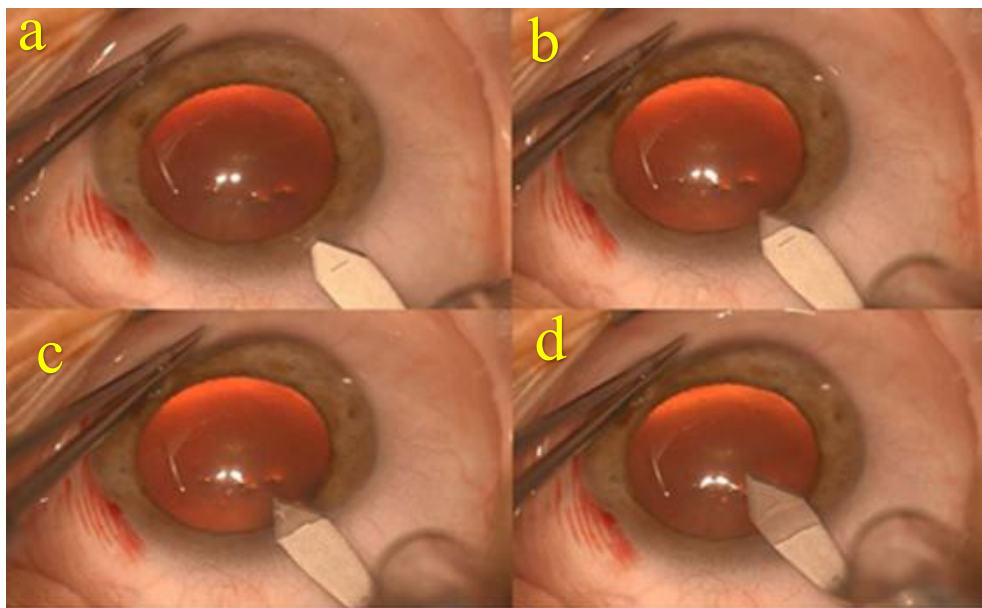


Figure 68 : Séquence opératoire en quatre étapes illustrant la réalisation de l'incision principale cornéenne dans le cadre de l'implantation d'une lentille phake (ICL ou IPCL).

- Positionnement du couteau au limbe, stabilisation de l'œil avec une pince de fixation.
- Pénétration progressive à travers la cornée claire.
- Contrôle de l'orientation pour éviter toute déchirure de Descemet ou sur-incision.
- Finalisation d'une incision autorisant un passage sécurisé de l'injecteur (2,8 à 3,2 mm).

Cette étape chirurgicale est essentielle pour assurer la stabilité du globe, minimiser l'astigmatisme induit et garantir un déroulement atraumatique de l'implantation phake.

- Paracentèses accessoires (1 mm) en supérieur/inféro-nasal pour la manipulation.

5.10.6.3 Injection de viscoélastique :

- Utilisation d'un OVD cohésif (type Provisc/Healon) pour protéger l'endothélium et créer l'espace nécessaire.

5.10.6.4 Implantation de la lentille phake :

-Pour la Préparation de l'implant quelle que soit la lentille utilisée, qu'il s'agisse d'un implant phake de type ICL (Implantable Collamer Lens), IPCL (Implantable Phakic Contact Lens) ou de leurs versions toriques (TICL, TIPCL), les étapes du protocole opératoire restent globalement similaires

-Vérification du modèle, puissance et taille de l'implant, la cartouche de l'injecteur est d'abord remplie avec un viscoélastique à base d'hydroxypropylméthylcellulose (HPMC), garantissant une lubrification optimale et une délivrance en douceur de l'implant. Ce viscoélastique facilite le déploiement progressif de la lentille tout en protégeant les structures intraoculaires pendant l'injection.

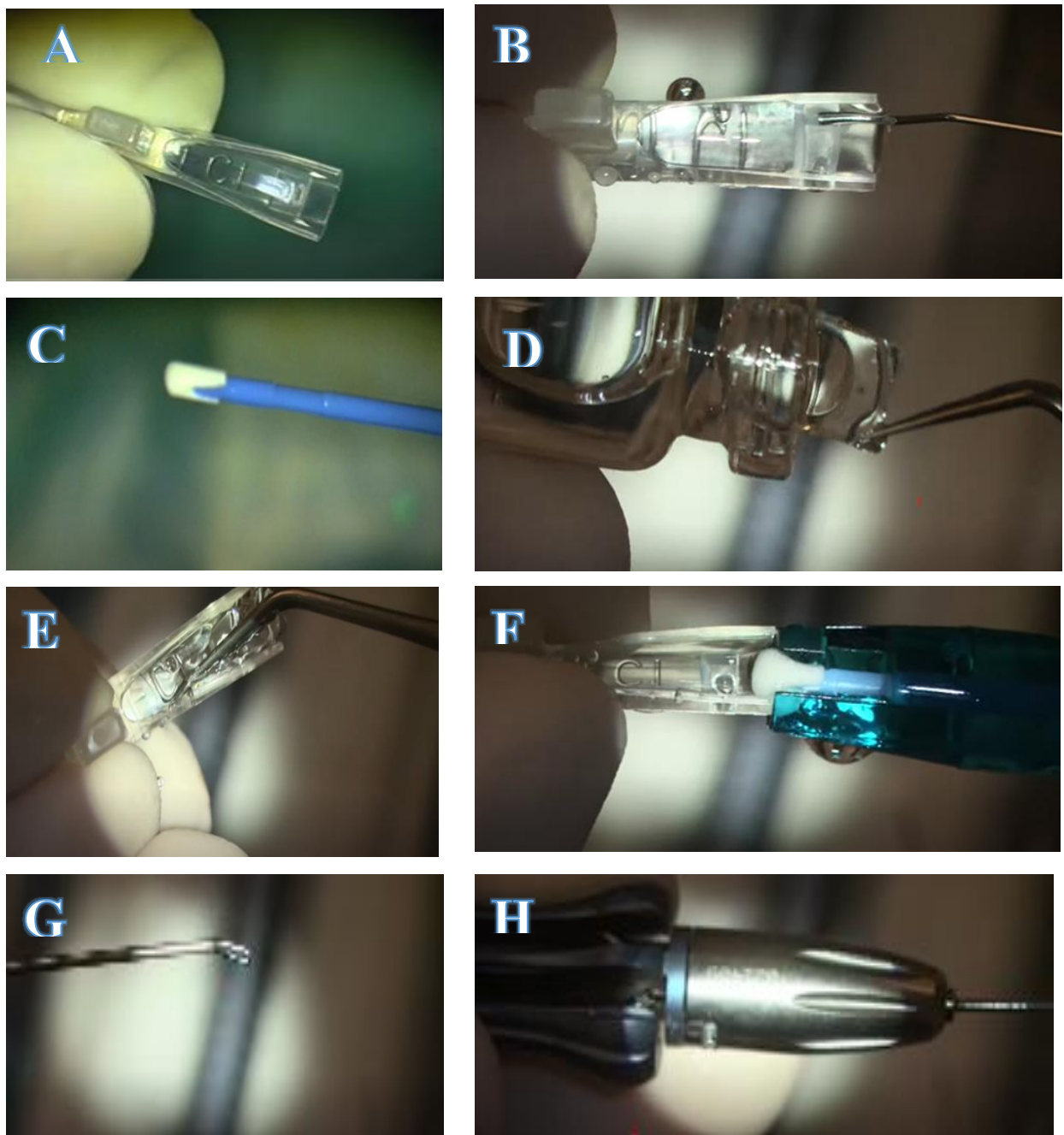


Figure 69 : Étapes chirurgicales d'implantation d'une lentille phake de chambre postérieure
procédure chirurgicale.

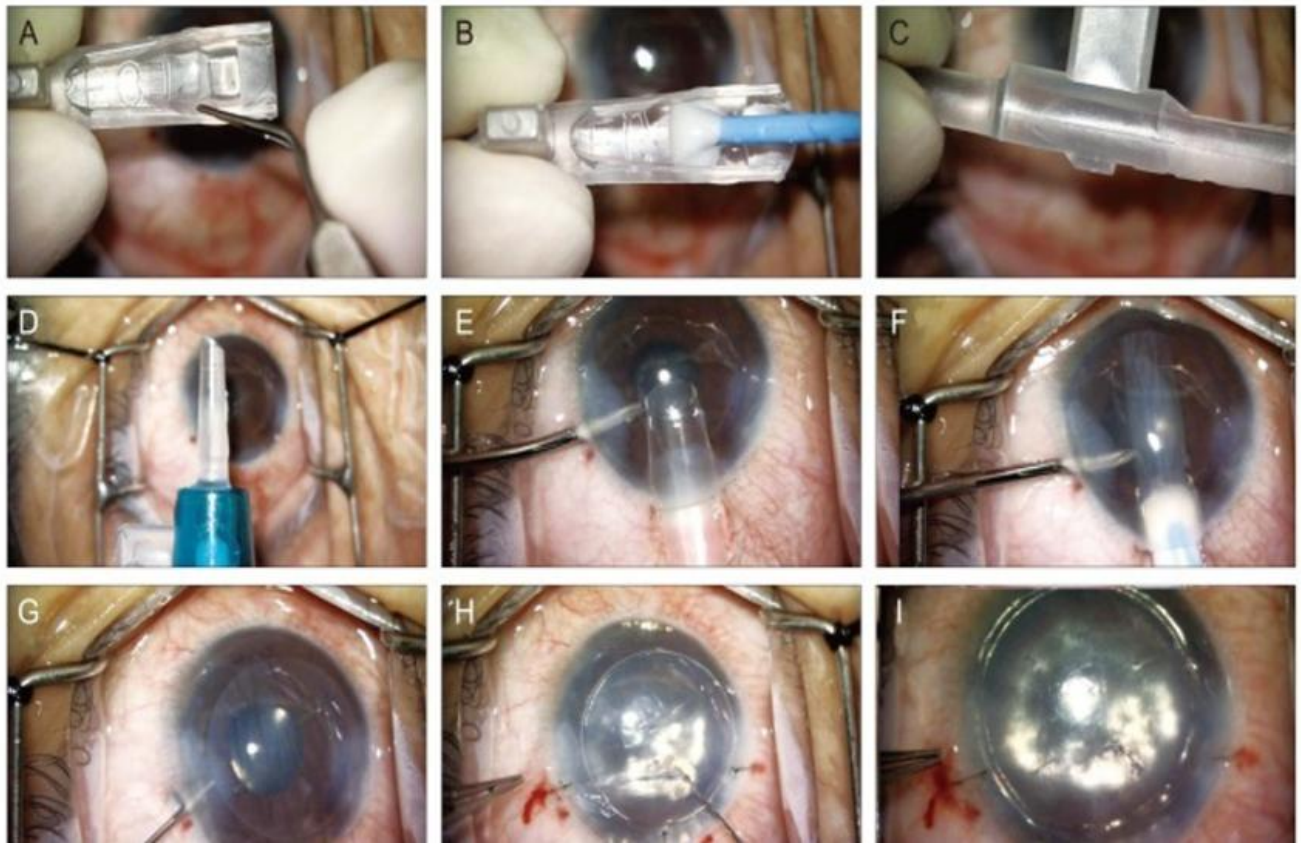


Figure 70 : Étapes chirurgicales d'implantation d'une lentille phake de chambre postérieure :

- A. Présentation de la cartouche chargée avec l'implant : la lentille est prête à être injectée, logée dans sa cartouche transparente.
- B. Lubrification de la cartouche avec viscoélastique : un agent viscoélastique est injecté pour assurer un bon glissement de l'implant.
- C. Connexion de la cartouche à l'injecteur : l'ensemble cartouche-injecteur est verrouillé pour permettre l'introduction intraoculaire.
- D. Introduction de l'embout dans la chambre antérieure : l'embout de l'injecteur pénètre par une incision cornéenne principale.
- E. Déploiement progressif de l'implant : l'implant commence à se dérouler derrière l'iris sous contrôle visuel.
- F. Poursuite du déploiement – centrage de la lentille : la lentille est guidée pour assurer sa bonne position entre l'iris et le cristallin.
- G. Vérification du centrage et de la position des haptics : les bras de fixation sont contrôlés et placés dans le sillon ciliaire.
- H. Ajustements finaux et aspiration du viscoélastique : retrait du viscoélastique par aspiration manuelle ou via irrigation-aspiration.
- I. Aspect final post opérative immédiat : implant bien centré, chambre antérieure claire, sans saignement ni traumatisme visible.

- Pour l'IPCL, le dispositif est chargé de manière à ce que les trous de l'optique et le bouton soient orientés vers le sourcil du patient et la surface antérieure orientée vers le haut.

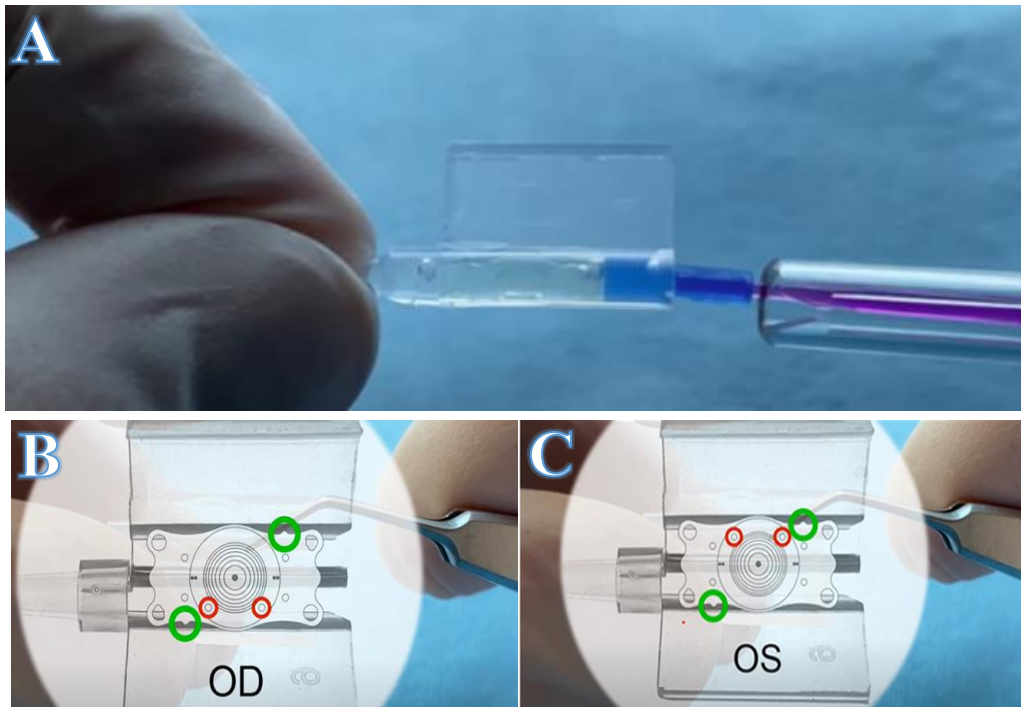


Figure 71 : Préparation de l'implant : injection du viscoélastique et orientation dans la cartouche

- Cette image montre l'étape initiale de lubrification du canal d'injection : une seringue contenant un viscoélastique est insérée dans la cartouche transparente afin de lubrifier le trajet de l'implant. Cette étape est essentielle pour réduire le risque de friction ou de pliage inadéquat lors de l'injection intraoculaire.
- L'image illustre l'orientation correcte d'un implant dans sa cartouche pour un œil droit (OD). Les repères en cercles verts et rouges (souvent présents sur l'implant lui-même) permettent de garantir le bon sens de l'optique et la bonne position des haptics. Les pinces maintiennent l'implant à travers les repères latéraux sans contact avec l'optique centrale. L'ordre et l'emplacement précis de ces points (généralement en relief) permettent d'éviter une rotation inversée.
- Position correcte dans la cartouche pour un œil gauche (OS). Les repères sont inversés par rapport à l'œil droit. L'inversion est indispensable pour respecter la géométrie torique si l'implant est aligné, et aussi pour éviter un retournement (flip) de la lentille lors de l'injection. Une mauvaise orientation pourrait induire une erreur de puissance ou une décentration visuelle importante.

- Injection douce dans la chambre postérieure.
- Positionnement précis : À l'aide d'un pousse-lentille ou d'une spatule dédiée, les quatre pieds (haptiques) de l'implant sont progressivement introduits dans le sulcus ciliaire, juste derrière l'iris.

5.10.6.5 Centrage et contrôle :

- Vérification du bon centrage de l'optique.
- Contrôle du vault, du jeu pupillaire et absence de contact cornéen ou cristallinien.
- Si lentille torique : alignement précis sur l'axe marqué au temps préopératoire ;

5.10.6.6 Aspiration du viscoélastique :

- Évacuation minutieuse du viscoélastique d'abord passive puis à faible pression à l'aide de la pièce à main irrigation/aspiration pour éviter la rétention du PVE derrière l'implant et l'hypertonie oculaire postopératoire.
- Une injection d'un agent myotique est réalisée pour réduire le diamètre pupillaire.
- Stabilité de l'implant confirmée.

5.10.6.7 Contrôle final et fermeture :

- Contrôle de la pression manuelle.
- Hydro suture des incisions, sans points.
- Injection intracamerulaire d'antibiotique.

5.10.6.8 Pansement et sortie du bloc :

- Instillation d'un collyre cortico-antibiotique.
- Le vault est évalué dès le premier jour postopératoire (lampe à fente ou OCT SA Heidelberg).
- Consignes :
 - Ne pas frotter les yeux, porter une protection nocturne, respecter le traitement postopératoire.
 - Eviter toute activité physique intense, y compris les sports, les efforts de soulèvement ou les exercices violents.
 - Différer la conduite automobile, en particulier les premiers jours,
 - Ne pas manipuler l'œil opéré et d'éviter le contact avec des produits irritants (savon, shampoing, maquillage).

-Ne pas utiliser de machines ou outils à risque susceptibles de générer des traumatismes accidentels ou des projections oculaires.

-Un traitement postopératoire standard à base de collyres corticoïdes et antibiotiques a été prescrit avec un schéma décroissant sur plusieurs jours.

- Signes d'alerte à surveiller :

Les patients ont été clairement informés des signes devant les conduire à consulter sans délai en urgence, notamment : Douleur oculaire persistante ou croissante, parfois associée à une rougeur, ou une baisse de l'acuité visuelle ou apparition d'un flou visuel par rapport à la vision du lendemain., un oedème palpébral ou sensation de pression inhabituelle. Perception anormale de corps flottants (mouches volantes) ou d'un voile sombre, pouvant évoquer une complication rétinienne.

5.11 Paramètres d'évaluation postopératoires :

5.11.1 Signes fonctionnels subjectifs :

-Acuité visuelle perçue : amélioration ressentie par rapport à la correction préopératoire.

-Photophobie, halos, éblouissements nocturnes (glare), fréquents en phase initiale.

-Fluctuations visuelles transitoires : souvent liées à la sécheresse oculaire ou au vault.

-Gêne ou sensation de corps étranger : en rapport avec une sécheresse postopératoire.

-Douleurs ou inconforts visuels : peuvent révéler une hypertonie ou une inflammation.

5.11.2 Acuité visuelle

-Acuité visuelle sans correction (AVSC) pour juger de l'efficacité réfractive.

-Acuité visuelle corrigée pour évaluer la sécurité postopératoire.

-Comparaison préopératoire et postopératoire : gain ou perte de lignes Snellen.

Dans le contexte d'une conversion en échelle LogMAR, le gain ou la perte de lignes d'acuité visuelle est défini par la différence entre la valeur LogMAR préopératoire et postopératoire :

Gain (en lignes) = (LogMAR préop – LogMAR postop) / 0,1 ^[243,244]

Interprétations standards :

- Un gain $\geq +2$ lignes correspondent à une amélioration $\geq 0,2$ LogMAR.

- Une perte ≥ -1 ligne correspond à une détérioration $\geq 0,1$ LogMAR.

-Suivi de la stabilité visuelle : contrôle à 1, 3, 6 et 12 mois.

5.11.3 Réfraction résiduelle

-Mesure de la sphère, du cylindre et de l'équivalent sphérique (SE).

L'équivalent sphérique (SE), ou équivalent sphérocyindrique selon la formule :

$$(SE) = \text{Sphère} + \text{Cylindre} / 2$$

-Taux de prédictibilité : proportion d'yeux dans $\pm 0,50$ D ou $\pm 1,00$ D.

(Le taux de prédictibilité est un indicateur-clé en chirurgie réfractive, notamment pour l'implantation de lentilles phaqes (ICL/IPCL). Il reflète la précision du résultat réfractif obtenu par rapport à l'objectif visé).

-Surveillance de la rotation des implants toriques (repères anatomiques à la LAF et auto réfractométrie).

5.11.4 Vault

-Mesuré en microns par OCT du segment antérieur.

-Plage idéale : 250 à 750 μm .

-Vault < 200 μm : risque de cataracte ; Vault > 1000 μm : risque d'hypertonie ou fermeture de l'angle iridocornéen .

5.11.5 Pression intraoculaire (PIO)

-Contrôle systématique de la PIO à chaque visite (Goldmann ou tonomètre sans contact).

-Surveillance de l'hypertonie oculaire précoce (résidu de viscoélastique, bloc pupillaire).

-PIO anormalement élevée : nécessite exploration et traitement en urgence.

5.11.6 Cellules endothéliales

-Évaluation par microscopie spéculaire à 1 mois, 6 mois, puis 1 an.

La majorité de la perte cellulaire survient durant la phase postopératoire initiale, conséquence directe du geste chirurgical. Cette perte, estimée entre **5,5 et 8,5 %** selon plusieurs séries (Alfonso 2013^[245] ; Bhandari 2016^[245] ; Ganesh 2017 ; Pjano 2017 ^[246]; Niu 2020), apparaît comme une variable dépendante de l'expérience et de la technique du chirurgien.

Au-delà de cette phase, la perte tend à se stabiliser, rejoignant des valeurs proches de la perte physiologique liée au vieillissement naturel ($\approx 0,6$ %/an ; Bourne 1997 ; Edelhäuser 2004). Les études à suivi prolongé (Shimizu 2016 ; Alfonso 2019) montrent des taux remarquablement faibles, de l'ordre de **0,4 à 0,5 % à 5 ans**, confirmant l'absence d'effet délétère continu du dispositif.

- Seuil préopératoire minimal d'endothélium (ECD) dépend de l'âge du patient, car la densité cellulaire endothéliale diminue naturellement avec les années. Les sociétés savantes et les fabricants (STAAR Surgical notamment) recommandent des valeurs plancher pour accepter une implantation d'ICL.

5.11.7 Positionnement et stabilité de l'implant

- Vérification du bon positionnement des haptiques dans le sulcus ciliaire.
- Centrage optique sur la pupille (lampe à fente, OCT si besoin).
- En cas d'implant torique : vérification de l'axe et rotation angulaire éventuelle.

5.11.8 Complications

- Rechercher des signes de réaction inflammatoire (Tyndall, cellules, synéchies).
- Complications à surveiller : bloc pupillaire, glaucome secondaire, cataracte, décollement de rétine, Œdème maculaire (Irvine Gass) et perte endothéliale

5.12 Analyse statistique :

L'analyse des données a été réalisée à l'aide du logiciel **IBM SPSS Statistics**, version 25. Les résultats ont été présentés selon la nature et la distribution des variables :

- Les variables quantitatives normalement distribuées ont été exprimées en **moyenne \pm écart-type**, tandis que celles ne suivant pas une distribution normale ont été présentées en médiane accompagnée des quartiles (Q1–Q3).
- Les variables qualitatives ont été décrites sous forme de fréquences absolues et relatives (%).

L'analyse statistique combinait des approches descriptives et inférentielles :

- Les comparaisons de données quantitatives appariées (pré- et postopératoires) ont été effectuées à l'aide du test t de Student pour échantillons appariés, lorsque la normalité était vérifiée.
- En cas de mesures répétées sur une même variable à différents temps, une analyse de variance (ANOVA à mesures répétées) a été appliquée.
- Les corrélations entre les paramètres biométriques tels que la pression intraoculaire (PIO), la profondeur de chambre antérieure (ACD), le diamètre cornéen (WTW) et la voûte (vault) ont été explorées à l'aide du :
 - Coefficient de corrélation de Pearson, pour les données à distribution normale ;
 - Coefficient de Spearman, en cas de distribution non normale.

Le seuil de signification statistique a été fixé à $p < 0,05$.

Les données d'acuité visuelle ont été converties en logarithme de l'angle minimal de résolution (logMAR) avant analyse.

Les graphes illustratifs ont été générés à l'aide de **Microsoft Excel 2016**.

CHAPITRE VI

RESULTATS

6 CHAPITRE VI : RESULTATS

6.1 Données démographiques

Des patients présentant une myopie forte, avec ou sans astigmatisme associé, ont été opérés dans notre service entre Février 2023 et juin 2024. Cinq patients ont été exclus de l'analyse en raison d'un défaut de suivi (perdus de vue). L'étude porte ainsi sur 100 yeux appartenant à 60 patients, avec un suivi postopératoire minimal de 12 mois.

6.1.1 Répartition de la population étudiée selon l'âge

Tableau 12 : Répartition selon l'âge

Statistiques	Valeurs (Ans)
Moyenne	31,5
Ecart-type	4,6
Minimum	22
Maximum	41

La moyenne d'âge de nos patients est de **31,5 ans ± 4,6 ans**. Avec un Âge minimum : **22 ans** et un Âge maximum : **41 ans**. La population est majoritairement jeune, concentrée entre **26 et 40 ans**, avec un pic clair entre **31 et 35 ans**.

Tableau 13 : Classes d'âges des patients

Age (ans)	Fréquence	Pourcentage
20-25	7	11,67 %
26-30	13	21,67 %
31-35	26	43,33 %
36-40	13	21,67 %
41-45	1	1,67 %
Total	60	100 %

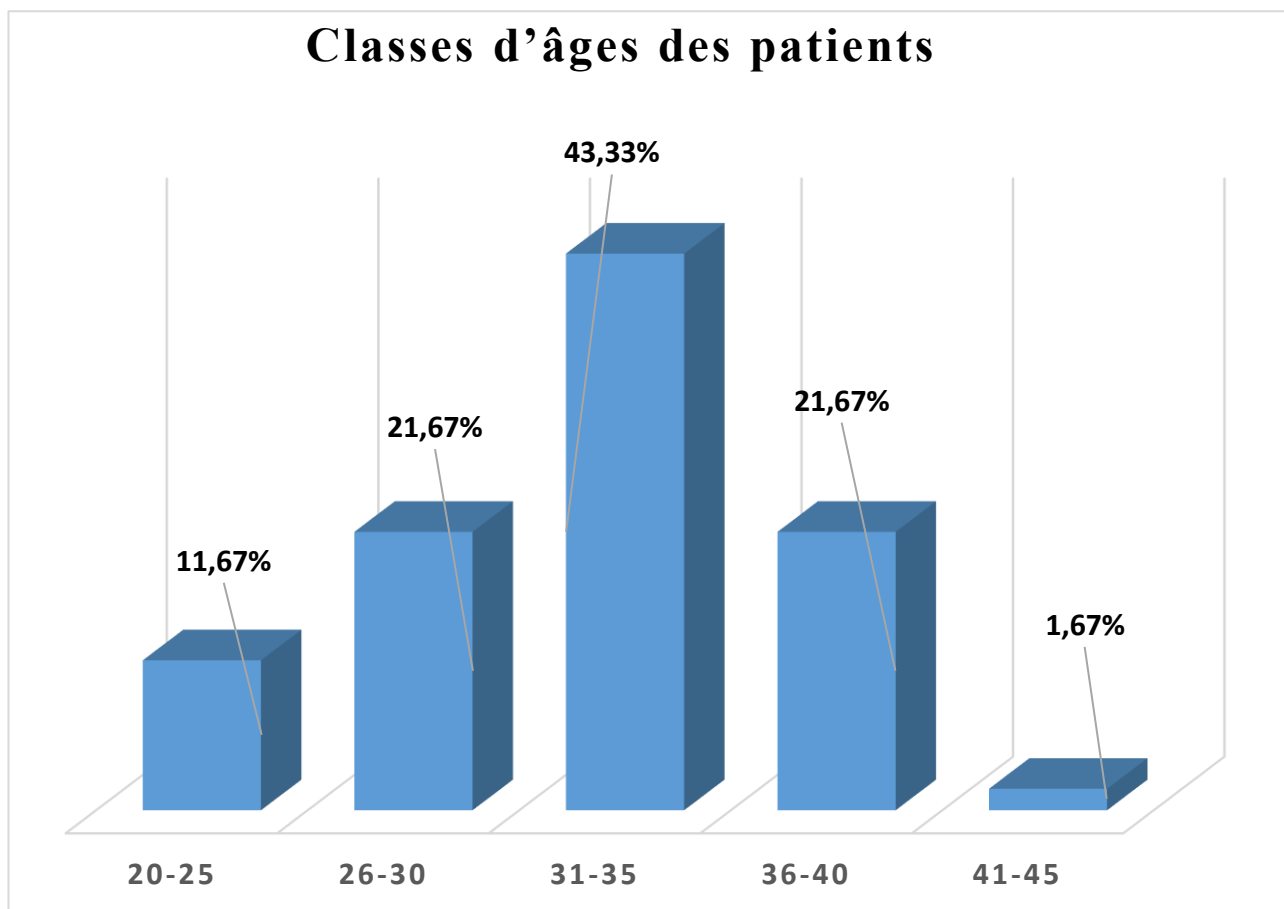


Figure 72: Classes d'âges des patients

L'analyse de la répartition des patients selon les tranches d'âge montre une nette prédominance des sujets âgés de **31 à 35 ans**, qui représentent **43,33 %** de l'ensemble. Cette classe constitue donc le cœur de la population étudiée. Les tranches **26–30 ans** et **36–40 ans** sont représentées de manière équivalente, chacune avec **21,67 %** des cas, traduisant une relative homogénéité autour de cette décennie centrale.

Les extrêmes sont moins représentés : la tranche **20–25 ans** ne regroupe que **11,67 %** des patients, tandis que la tranche **41–45 ans** est marginale, avec seulement **1,67 %** des cas.

6.1.2 Répartition de la population étudiée selon le sexe :

Tableau 14: Répartition selon le sexe.

Sexe	Nombre	Pourcentage
Homme	31	52
Femme	29	48
Sex Ratio	1,06	100

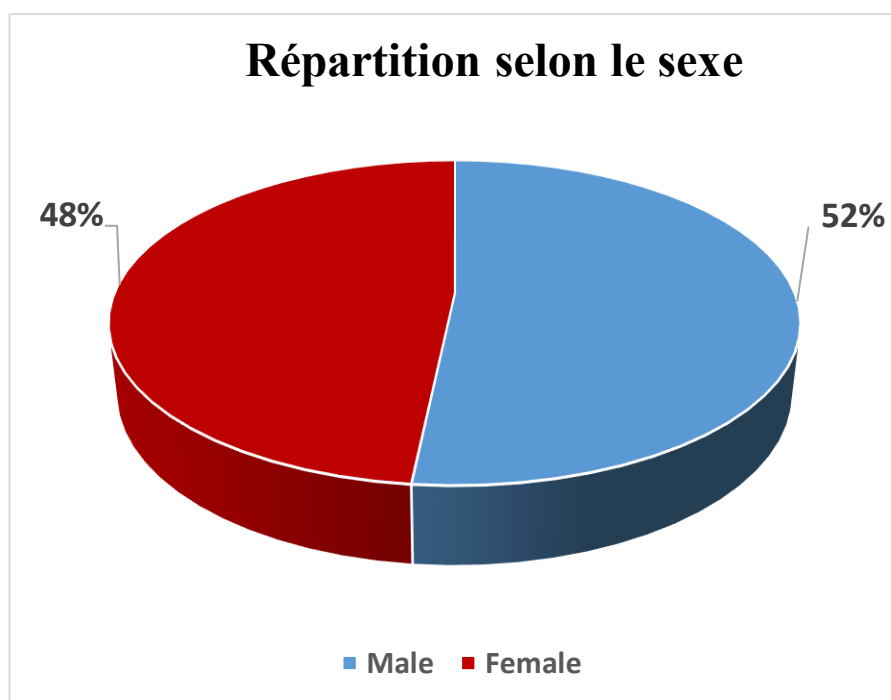


Figure 73: Répartition selon le sexe

Dans notre série, 31 patients (soit 52 %) sont des hommes, et 29 patients (soit 48 %) sont des femmes avec un sex-ratio de 1,06.

La répartition par sexe indique une légère majorité d'hommes par rapport aux femmes.

6.1.3 Répartition de la population étudiée selon les antécédents ophtalmologiques :

Tableau 15: Antécédents ophtalmologiques.

Antécédents ophtalmologiques	Valeur	Pourcentage
Verres correcteurs	27	45 %
Lentilles de contact	17	28 %
Combinée	16	27 %

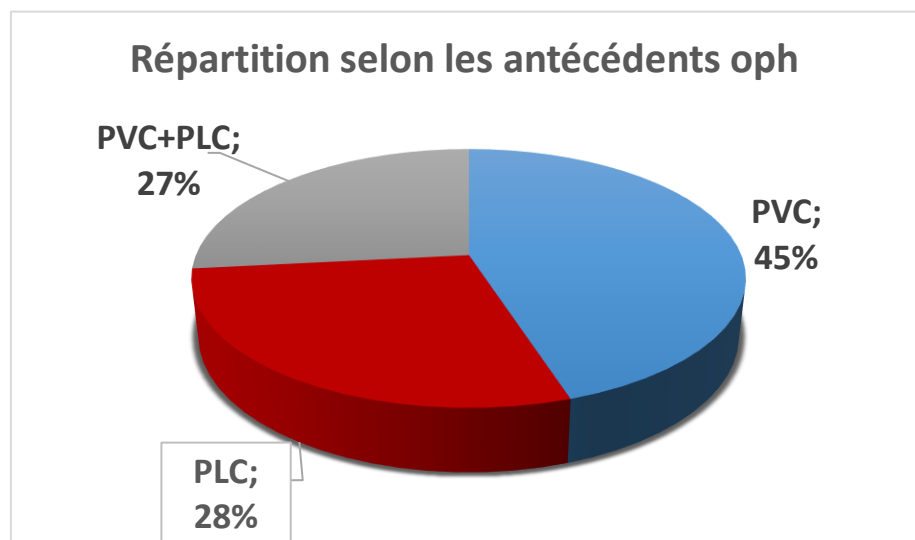


Figure 74: Répartition de la population étudiée selon les antécédents ophtalmologique.

La répartition des antécédents ophtalmologiques montre que 45 % des patients étaient porteurs de verres correcteurs seuls (PVC), 28 % porteurs de lentilles de contact seules (PLC) et 27 % avaient utilisé à la fois verres et lentilles (PVC+PLC).

6.1.4 Répartition de la population étudiée selon la latéralité

Tableau 16: Latéralité des chirurgies réalisées.

	Effectif	Pourcentage
Chirurgie OD	15	25%
Chirurgies OG	05	08%
Chirurgies ODG	40	67%

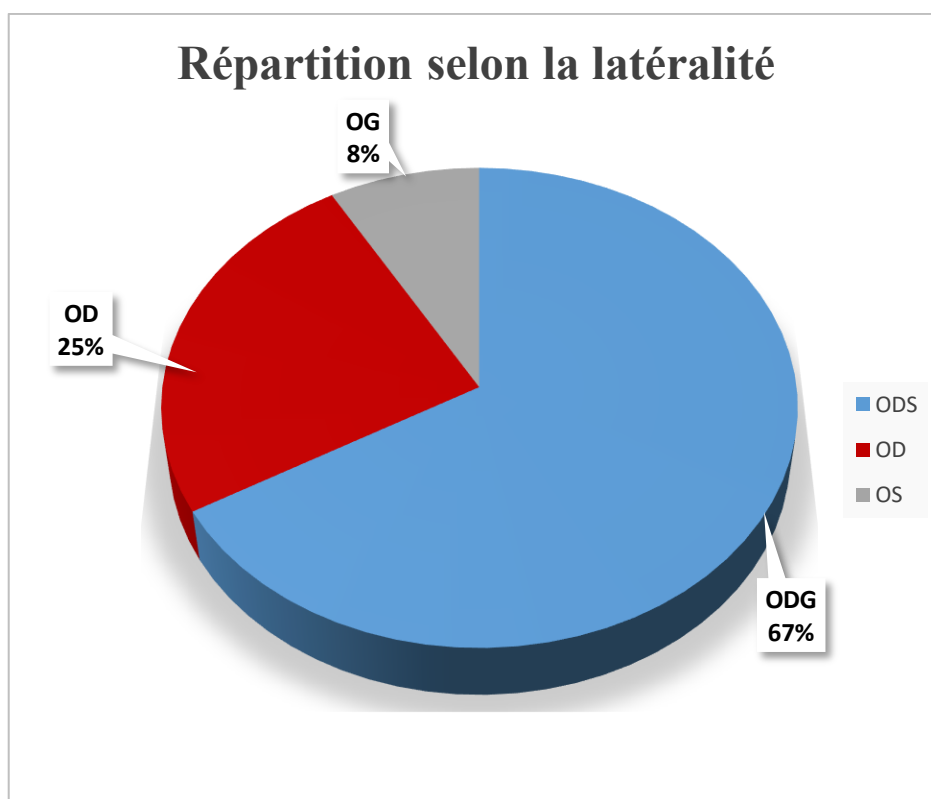


Figure 75: Répartition de la population étudiée selon la latéralité.

Dans la majorité des cas (67%), les deux yeux ont été pris en charge,

-Un quart des interventions ont concerné uniquement l'œil droit, tandis que les interventions unilatérales sur l'œil gauche sont les moins fréquentes.

6.1.5 Répartition de la population étudiée selon le type d'amétropie :
Myopie ou Astigmatisme myopique

Tableau 17: *Type d'amétropie.*

Type d'amétropie	Effectif	Pourcentage
Myopie simple	62	62%
Astigmatisme myopique	38	38%

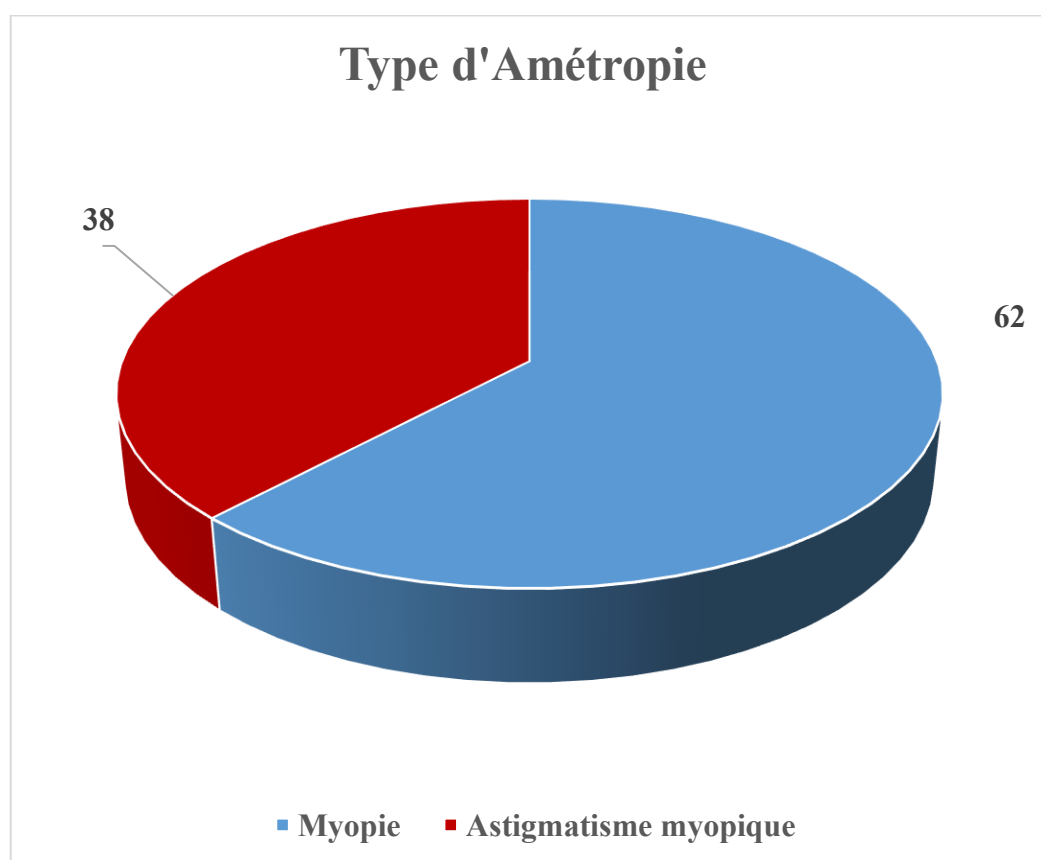


Figure 76: *Type d'amétropie : sphérique/sphérocyindrique.*

6.1.6 Répartition de la population selon la correction chirurgicale

Tableau 18: Type de correction utilisée.

Type de correction	Pourcentage (yeux)
Sphérique	78 %
Torique	22 %

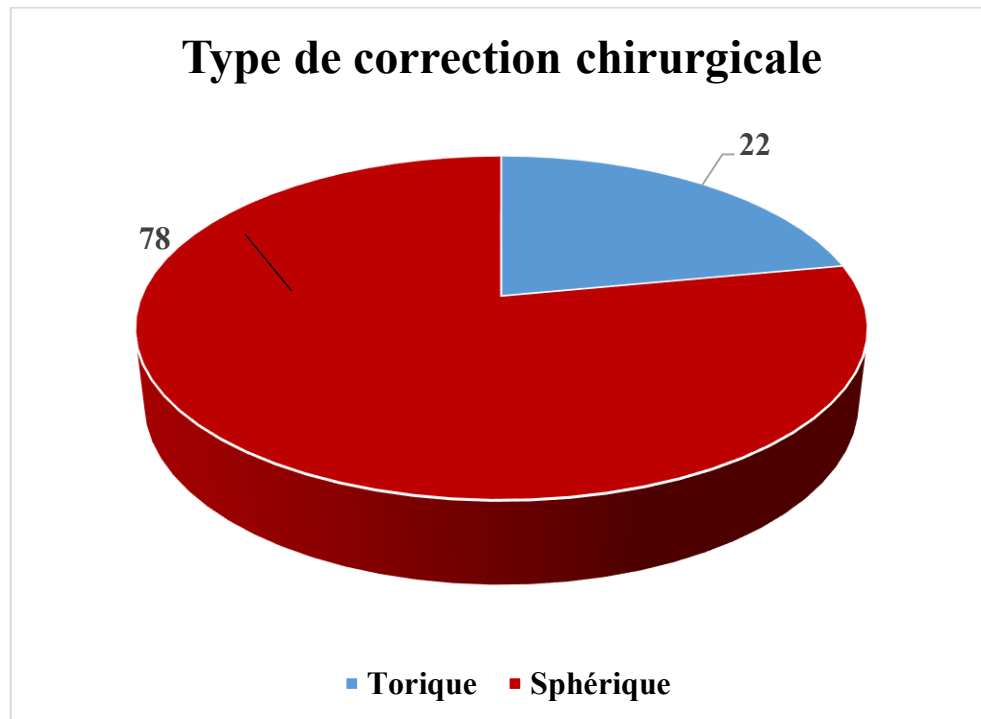


Figure 77: Type de correction chirurgicale.

- Implants sphériques : représentent **78 %** des cas, soit une nette majorité.
- Implants toriques : représentent **22 %** des cas.

6.2 Analyse des données biométriques préopératoire :

6.2.1 Diamètre cornéen (WTW)

Tableau 19: Diamètre cornéen.

WTW (mm)	Valeur (mm)
Moyenne	12,02
Écart type	0,22
Minimum	11,5
Maximum	12,5

Dans notre série, le diamètre cornéen du blanc à blanc ou (WTW) mesuré par pentacam varie de 11,5 à 12,5 mm, avec une moyenne de **12,02 ± 0,22 mm**.

La faible dispersion des valeurs (écart type de 0,22 mm) témoigne d'une population relativement homogène sur ce plan biométrique.

Tableau 20: Tranches de diamètre cornéen.

WTW (11,5 - 11,8)	WTW (11,9 - 12)	WTW (12,1)
24	60	16

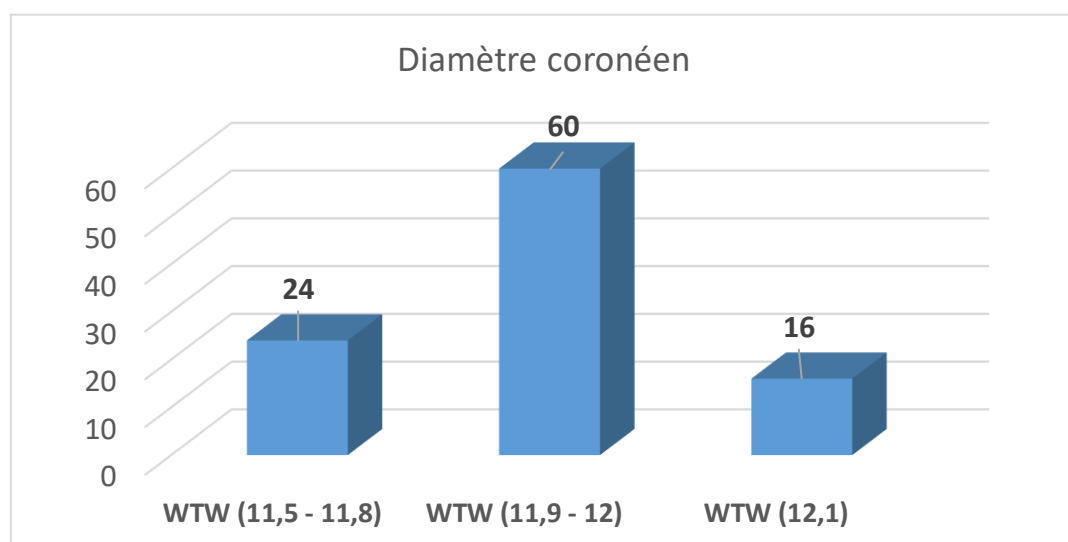


Figure 78: Distribution du diamètre cornéen (White-to-White) dans la population étudiée.

La majorité des yeux de notre série présente un diamètre cornéen compris entre 11,9 et 12,0 mm (60 yeux, soit près de 60 % de l'effectif). Les extrêmes, représentant respectivement les petits diamètres (11,5–11,8 mm : 24 yeux, 24 %) et les grands diamètres (12,1 mm : 16 yeux, 16 %), sont nettement moins fréquents.

6.2.2 Taille de l'implant (size mm)

Tableau 21: Distribution de la taille des implants phaqes utilisés.

Taille de Implant (mm)	Valeur (mm)
Moyenne	12.70
Écart type	0.39
Minimum	12.1
Maximum	13.2

La taille des implants dans notre étude varie de **12.1 mm à 13.2 mm**, avec une moyenne de **12.70 mm ± 0.39**.

Tableau 22: Répartition des tailles d'implants phaqes par modèle (ICL/IPCL).

Type d'implant	12,2	12,6	13,2	13,7
ICL	13	23	20	0
IPCL	5	27	12	0

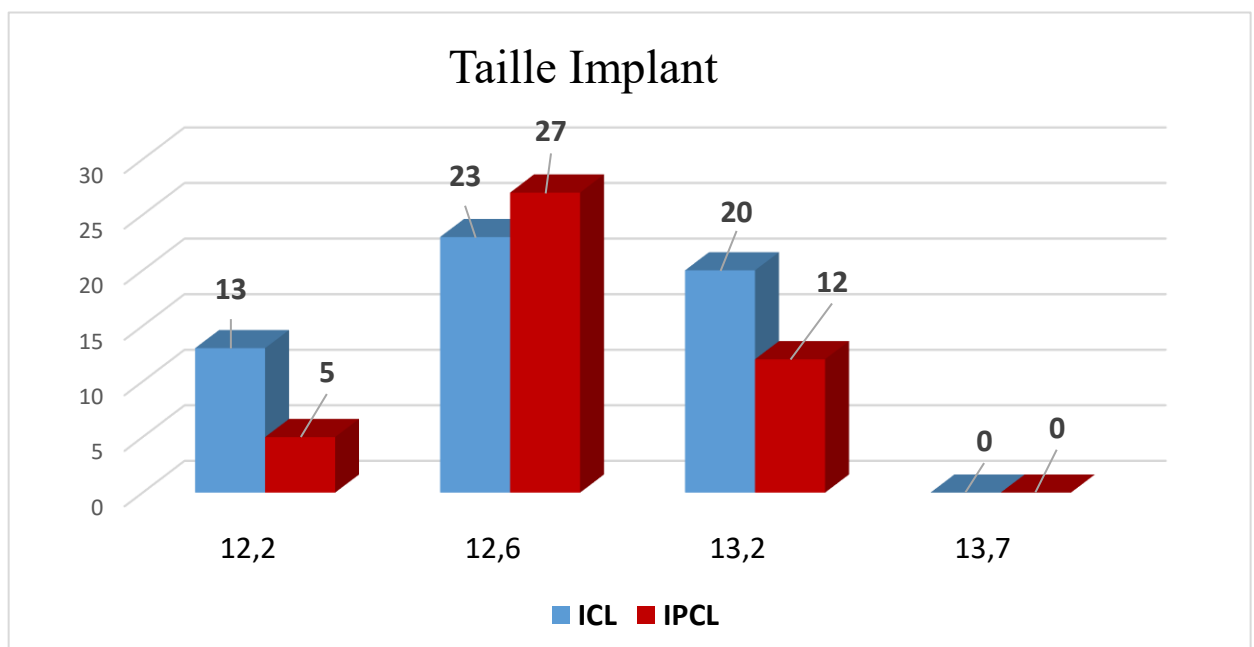


Figure 79: Distribution des effectifs par taille d'implant et type de lentille phaqes.

La distribution de la taille de l'implant, exprimée en millimètres, est relativement symétrique et centrée autour de 12.7 mm, ce qui correspond à la moyenne observée.

- Amplitude : les tailles varient de 12.1 mm à 13.2 mm, ce qui représente un intervalle assez restreint.
- Fréquence maximale : la plupart des valeurs sont concentrées entre 12.6 mm et 12.8 mm,

6.2.3 Profondeur de chambre antérieure (ACD)

Tableau 23: Analyse descriptive de la profondeur de chambre antérieure (ACD) préopératoire.

ACD (mm)	Valeur (mm)
Moyenne	3,24
Écart type	0.26
Minimum	2.85
Maximum	4.13

Moyenne ACD : 3,24 mm \pm 0.26 avec un minimum de 2,85 mm

-L'examen gonioscopique préopératoire de la population étudiée n'objective aucune anomalie d'ouverture de l'angle iridocornéen et sans éléments surajoutés.

-Tous les patients de cet échantillon seraient éligibles à une chirurgie de type ICL ou IPCL sur le critère de profondeur de chambre antérieure.

6.2.4 Epaisseur cornéenne centrale (ECC)

La pachymétrie centrale dans cette série varie de 467 à 587 μm , avec une moyenne de **505,50 $\mu\text{m} \pm 23,57 \mu\text{m}$** . On note qu'une proportion non négligeable de patients présente une épaisseur cornéenne inférieure à 500 μm , ce qui correspond au profil de cornée fine fréquemment observé dans la population du bassin méditerranéen. Cette caractéristique est prise en compte lors de l'indication et du suivi de la chirurgie réfractive par implant phaqué.

Tableau 24: Répartition de la population selon la pachymétrie centrale.

Groupe	Effectif	Pourcentage
$\leq 500 \mu\text{m}$	49	49 %
$> 500 \mu\text{m}$	51	51 %

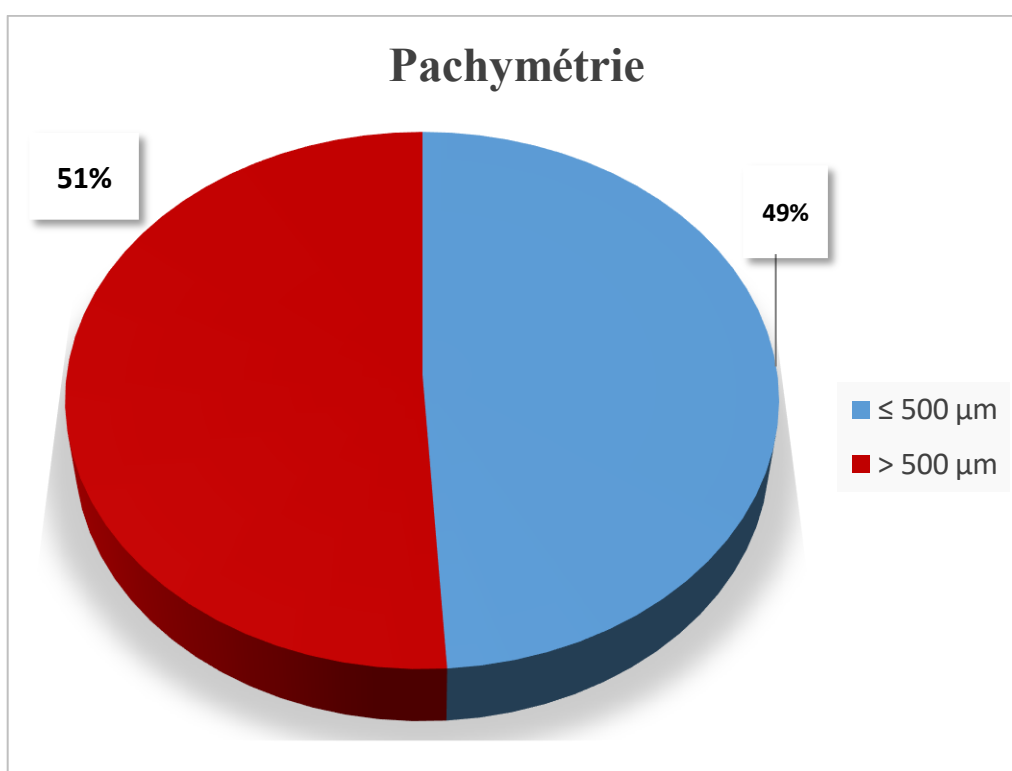


Figure 80: Répartition de la population étudiée selon la valeur de la pachymétrie centrale préopératoire.

6.2.5 Angle de chambre antérieure (ACA)

Tableau 25: Statistiques de l'angle de chambre antérieure (ACA) préopératoire.

ACA (°)	Valeur (Degré)
Moyenne	37.63
Écart type	3.25
Minimum	32.0
Maximum	48,0

L'angle de chambre antérieure (ACA) ou angle irido cornéen dans notre échantillon présente une moyenne de **37,63°**, avec une étendue allant de 32,0° à 48,0° et un écart-type de **3,25**

Ces résultats traduisent une ouverture angulaire globalement large et homogène au sein de la population étudiée, paramètre favorable pour la sécurité et la faisabilité de l'implantation phaque.

6.3 Microscopie spéculaire

Tableau 26: Analyse descriptive de la densité cellulaire endothéliale cornéenne (ECC).

ECC (c/m ²)	Valeur (c/m ²)
Minimum	2267
Maximum	3241
Moyenne	2610
Écart type	214

La densité cellulaire endothéliale (ECC) de la population étudiée varie de 2 267 à 3 241 cellules/mm², avec une **moyenne de 2 610 cellules/mm²** et un écart type de **214**. Ces valeurs sont compatibles avec les normes attendues chez l'adulte jeune et garantissent un capital cellulaire suffisant pour la réalisation en toute sécurité d'une chirurgie d'implantation phaque.

6.4 Pression intraoculaire :

Tableau 27: Paramètres de pression intraoculaire dans la population étudiée.

PIO (mmHg)	Valeur (mmHg)
Moyenne	12,83
Écart type	1,74
Minimum	10
Maximum	17

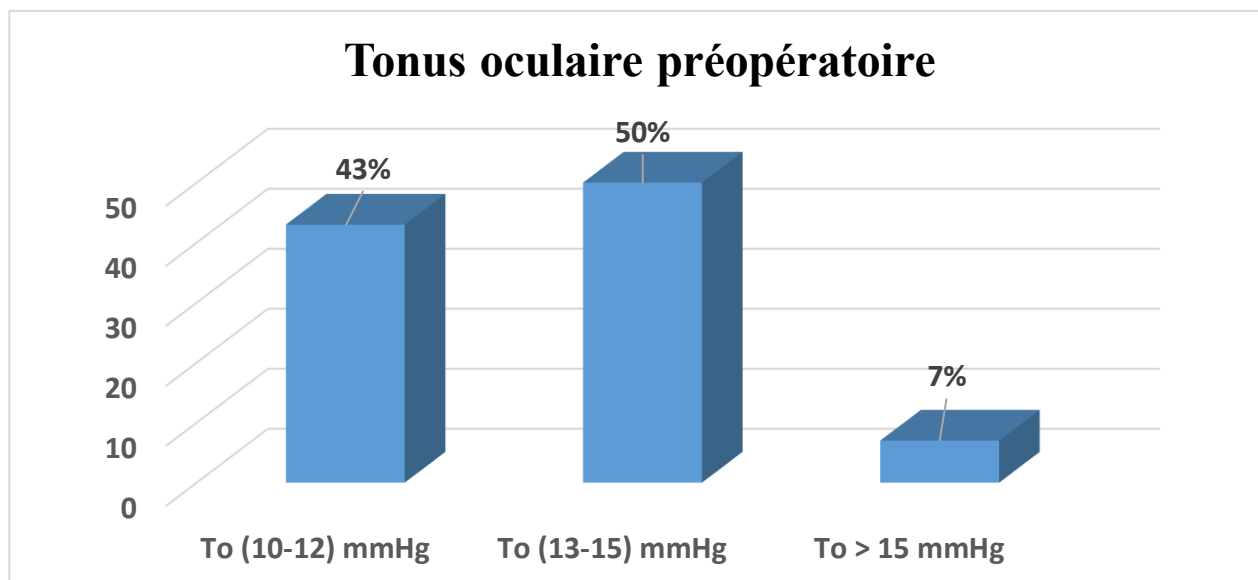


Figure 81: Proportions des patients selon les classes de pression intraoculaire préopératoire.

La pression intraoculaire préopératoire (PIO) dans la population étudiée varie de 10 à 17 mmHg, avec une moyenne de **12,83 mmHg** et un écart type de **1,74**. La majorité des patients (50 %) présentent une PIO comprise entre 13 et 15 mmHg, tandis que 43 % se situent dans la tranche 10–12 mmHg. Seuls 7 % des yeux ont une PIO supérieure à 15 mmHg.

Cette distribution témoigne d'une PIO globalement normale et homogène avant chirurgie, sans valeur extrême, ce qui est un critère important pour la sélection des candidats à l'implantation phaque.

6.5 Données chirurgicales

6.5.1 Puissance de l'implant

Tableau 28: Statistiques descriptives de la puissance des implants phaqes (en dioptries).

Puissance (Dioptrie)	Valeur (D)
Moyenne	-12.00
Écart type	2.46
Minimum	-20
Maximum	-7

- Moyenne **-12.00 ± 2.46**
- Puissance de l'implant présente une distribution centrée autour de -12 D,
- Les puissances varient de -07 D à -20 D, ce qui reflète une large gamme de corrections

6.5.2 Type d'implant

Tableau 29: Répartition des implants phaqes utilisés selon le modèle (ICL STAAR, IPCL V2.0) et la géométrie optique (sphérique ou torique).

	ICL	IPCL
SPHERIQUE	56	22
TORIQUE	0	22
TOTAL	56	44

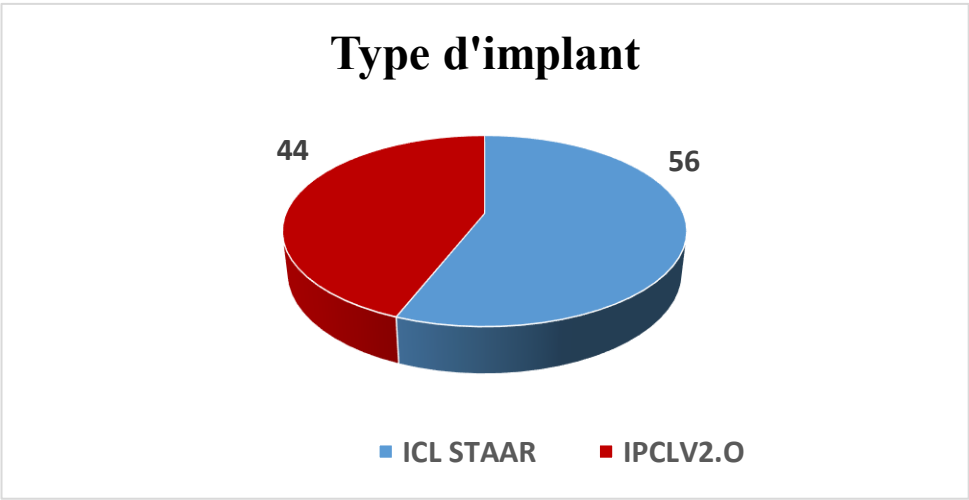


Figure 82: Répartition des types d'implants phaqes utilisés

Ce graphique circulaire illustre la distribution des types d'implants phaqes posés dans la cohorte étudiée. La majorité des yeux (56 %) ont bénéficié de l'implantation d'un **ICL STAAR**, ce qui en fait le dispositif le plus fréquemment utilisé. L'**IPCL V2.0** représente quant à lui 44 % des cas, traduisant une répartition équilibrée entre les deux principaux modèles retenus pour la correction de la forte myopie. Ce choix reflète la disponibilité et l'expérience acquise avec ces dispositifs dans notre pratique.

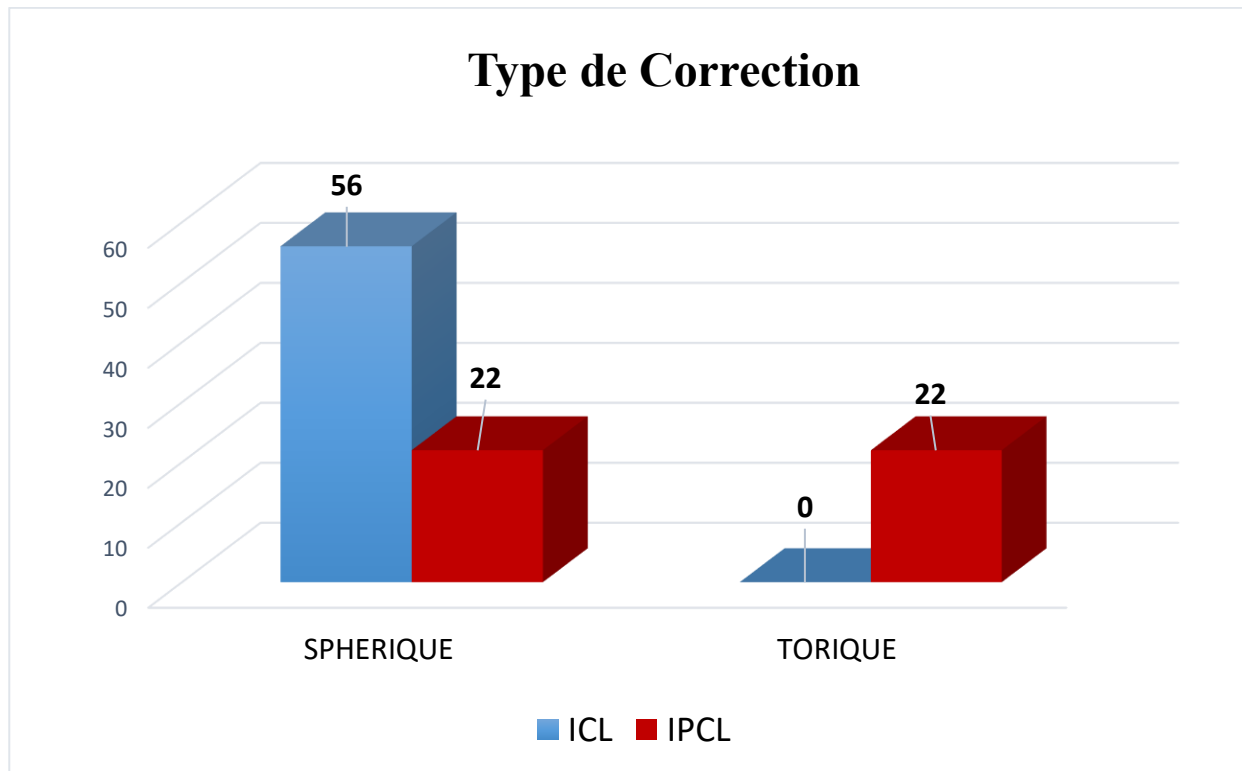


Figure 83: Distribution des types d'implants phaqes (sphérique/torique) selon le modèle utilisé.

Une prédominance du modèle **ICL EVO V4C** sphérique (56 %), tandis que l'**IPCL V2.0** est réparti équitablement entre les versions sphérique et torique (22 % chacune). Aucun implant torique ICL n'a été posé dans cette série. Cette distribution s'explique par les caractéristiques réfractives des patients inclus, la disponibilité des modèles, et la stratégie de prise en charge personnalisée selon l'astigmatisme associé.

6.5.3 Taille de l'incision

Tableau 30: Taille de l'incision lors de la chirurgie d'implantation phaqes

Taille de l'incision (mm)	Effectifs
3mm	56
2,8mm	44

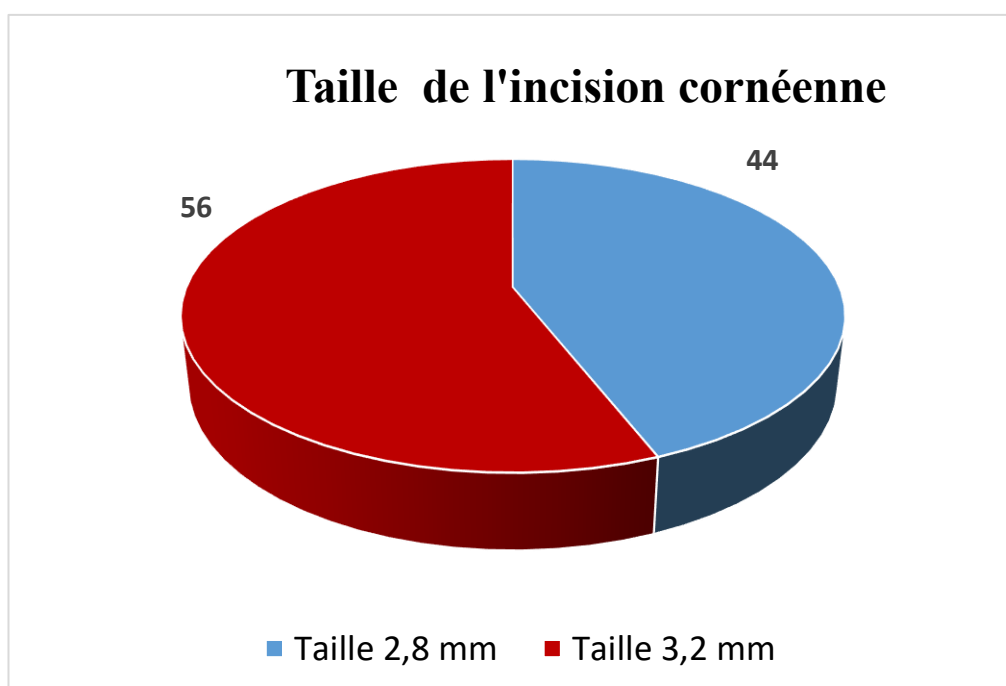


Figure 84: Distribution des tailles d'incision lors de la chirurgie d'implantation phaqes.

La répartition selon la taille de l'incision montre que 44 % des procédures ont été réalisées avec une incision de 2,8 mm, tandis que 56 % ont utilisé une incision de 3,2 mm. Le choix de la taille de l'incision a été adapté à chaque injecteur spécifique utilisé lors de l'implantation.

6.5.4 Type d'anesthésie

Tableau 31: Type d'anesthésie pratiquée lors de l'implantation.

TOPIQUE	ALR	AG
89	9	2

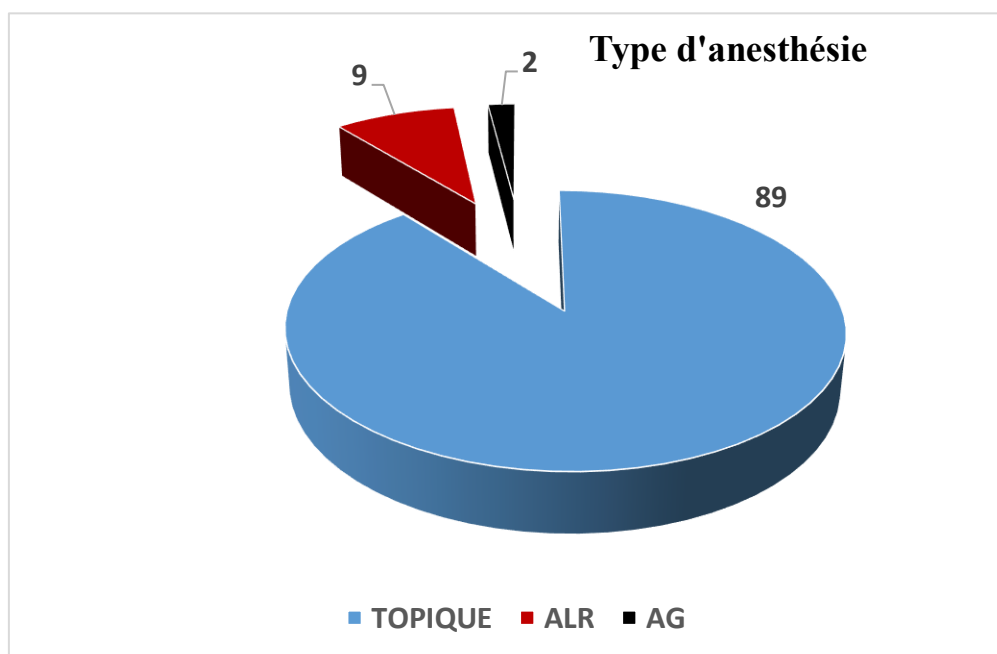


Figure 85: Distribution des modalités d'anesthésie dans la population opérée

La quasi-totalité de nos patients **89%** (89 yeux) ont été opérés sous anesthésie topique (oxybupicaine tetracaine / Cebésine) contre **9%** (09 yeux) anesthésie laterobulbaire et seulement **2%** sous anesthésie générale.

6.6 Données réfractives préopératoires

6.6.1 Acuité visuelle avec correction AVAC

Tableau 32: Statistiques descriptives de l'acuité visuelle corrigée préopératoire.

	LogMAR	Décimal
Moyenne	0,168	0,68
Écart type	0,054	($\approx 0,60$ à $0,88$)
Minimum	0,300	0,50
Maximum	0,045	0,90

L'analyse descriptive de l'acuité visuelle avec correction (AVAC) préopératoire chez les 100 yeux inclus montre une **moyenne de 0,168 logMAR** ($\pm 0,054$), correspond à une acuité visuelle décimale d'environ **0,68**, les valeurs extrêmes allaient de **0,045 logMAR** (décimal : 0,90) à **0,3 logMAR** (décimal : 0,50, soit $\sim 20/40$), traduisant une variabilité modérée des acuités préopératoires dans la population étudiée.

Cette distribution montre que, malgré une forte myopie, la majorité des patients conservaient une acuité visuelle corrigée préopératoire relativement satisfaisante.

La répartition des acuités visuelles corrigées préopératoires montre que la majorité des yeux inclus (58 %) présentent une AV comprise entre **5/10 et 7/10** (soit une décimale comprise entre 0,5 et 0,7, excluant les extrêmes).

Un tiers des yeux (34 %) ont une bonne acuité visuelle corrigée supérieure à **7/10** (décimal $> 0,7$), traduisant une conservation relative du potentiel visuel malgré la forte myopie.

Enfin, seuls 8 % des yeux affichent une acuité corrigée inférieure ou égale à **5/10** (décimal $\leq 0,5$), reflétant l'impact parfois plus marqué de la myopie sur la fonction visuelle dans certains cas.

Tableau 33: Répartition des yeux selon les tranches d'acuité visuelle corrigée préopératoire (AVAC).

AV corrigée (préop)	% d'yeux
AV > 7/10	34
5/10 <AV < 7/10	58
AV ≤ 5/10	8

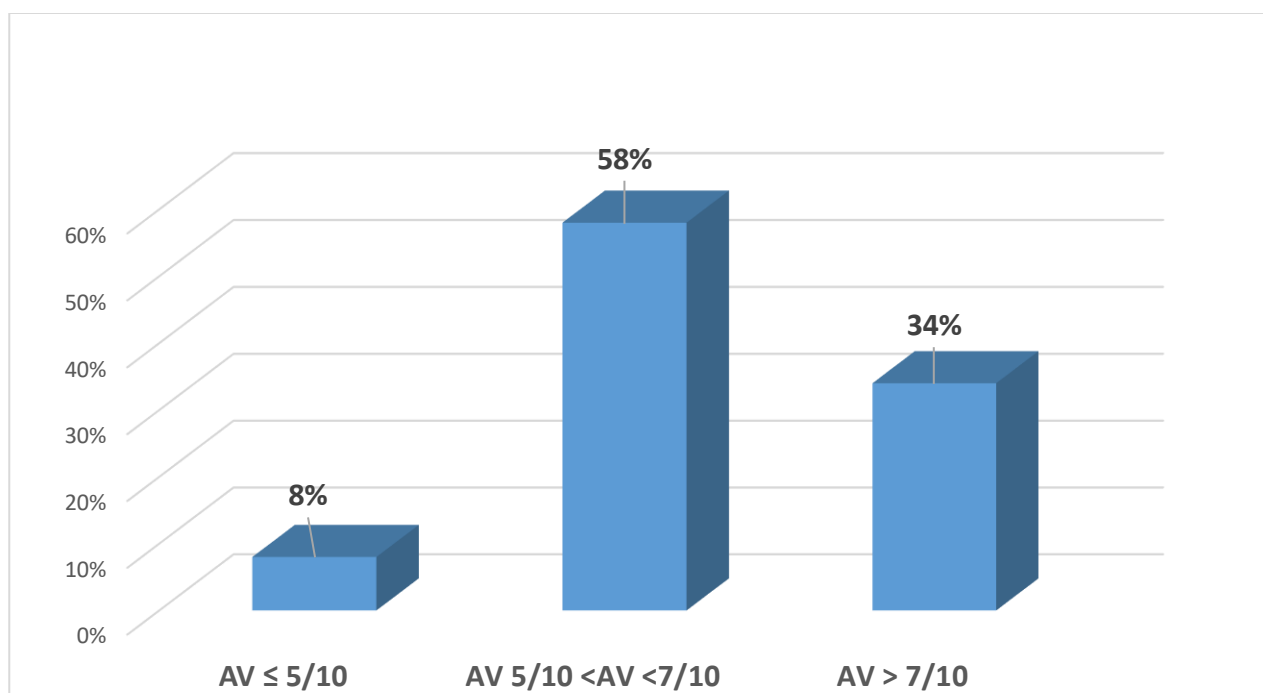


Figure 86: Distribution des tranches d'acuité visuelle corrigée avant chirurgie.

6.6.2 Réfraction préopératoire

Tableau 34: Statistiques descriptives des données réfractives préopératoires.

Puissance (Dioptrie)	Sphère	Cylindre	Équivalent sphérique (SE)
Moyenne	-11.39	-1.31	-12.05
Écart type	2.62	0.99	2.62
Minimum	-20.0	-4.5	-20.25
Maximum	-7.0	-0.25	-7.12

Les valeurs de puissance sphériques comprises entre -20,0 D et -7,0 D (moyenne : -11,39 D \pm 2,62), un cylindre variant de -4,5 D à -0,25 D (moyenne : -1,31 D \pm 0,99) et un équivalent sphérique (SE) allant de -20,25 D à -7,12 D (moyenne : -12,05 D \pm 2,62).

Ces résultats traduisent une population majoritairement composée de forts myopes, avec un astigmatisme associé modéré et élevé dans certains cas. Les amplitudes observées reflètent la diversité des corrections optiques nécessaires pour une prise en charge personnalisée.

6.6.2.1 Équivalent sphérique (SE) : Distribution et statistiques descriptives :

Tableau 35: Distribution des yeux selon les classes d'équivalent sphérique préopératoire

SE Pré Op (Tranches)	%
-6 D à -9,75D	11
10 D à -14,75 D	73
-15 D à -20 D	14
>-20 D	2

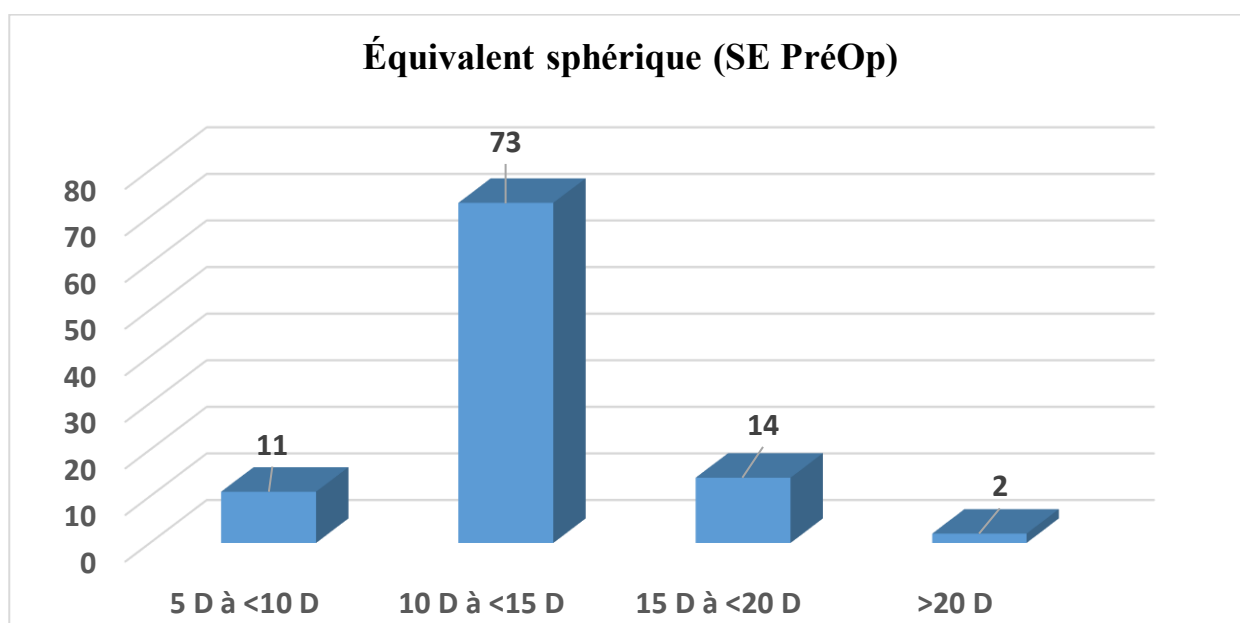


Figure 87: Distribution du nombre d'yeux selon les classes d'équivalent sphérique (SE) préopératoire.

Ce graphique présente la répartition des niveaux de myopie parmi les patients inclus dans l'étude : La distribution de l'équivalent sphérique préopératoire dans notre série met en évidence une prédominance des myopies comprises entre -10 et -15 dioptries, représentant 73 % de l'ensemble des cas. Les myopies fortes (-6D à <-10 D) et très fortes (-15 D à <-20 D) sont moins fréquentes, avec respectivement 11 % et 14 % des patients. Enfin, les myopies extrêmes (>-20 D) restent exceptionnelles (2 %).

6.6.2.2 Répartition de l'astigmatisme :

Tableau 36: Statistiques descriptives de l'astigmatisme préopératoire dans la population étudiée

Astigmatisme préopératoire	Valeur (D)
Moyenne	-1,31
Écart type	0,99
Minimum	-0,25
Maximum	-4,50

L'analyse de l'astigmatisme préopératoire dans la population étudiée montre une moyenne de -1,31 D, avec un écart type de 0,99 D. Les valeurs extrêmes varient de -0,25 D à -4,50 D.

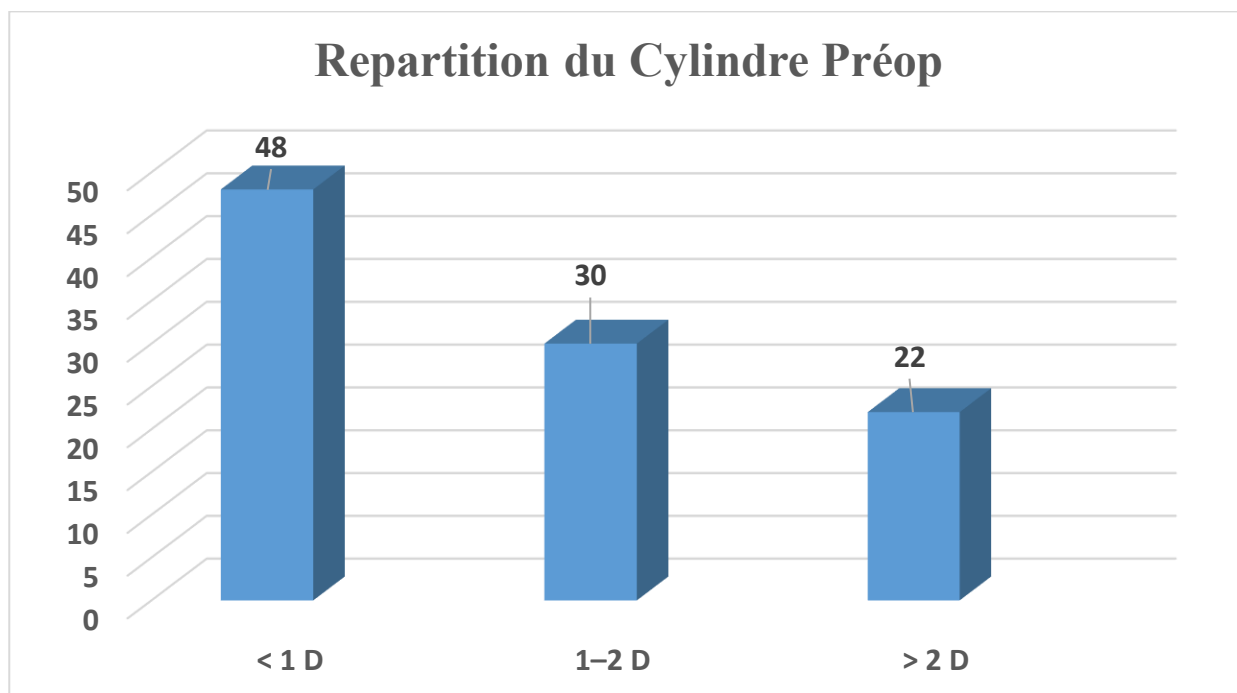


Figure 88: Distribution du nombre d'yeux selon les classes de cylindre réfractif préopératoire.

Ce graphique représente la distribution des degrés d'astigmatisme en trois classes :

<1 D (dioptrie) : La majorité des individus (48 %) présentent un astigmatisme physiologique.

1-2 D : 30 % ont un Astigmatisme modéré

>2 D : Une minorité (22 %) a un astigmatisme significatif.

6.7 Etude des résultats postopératoires

6.7.1 AVSC postopératoire /AVAC préopératoire

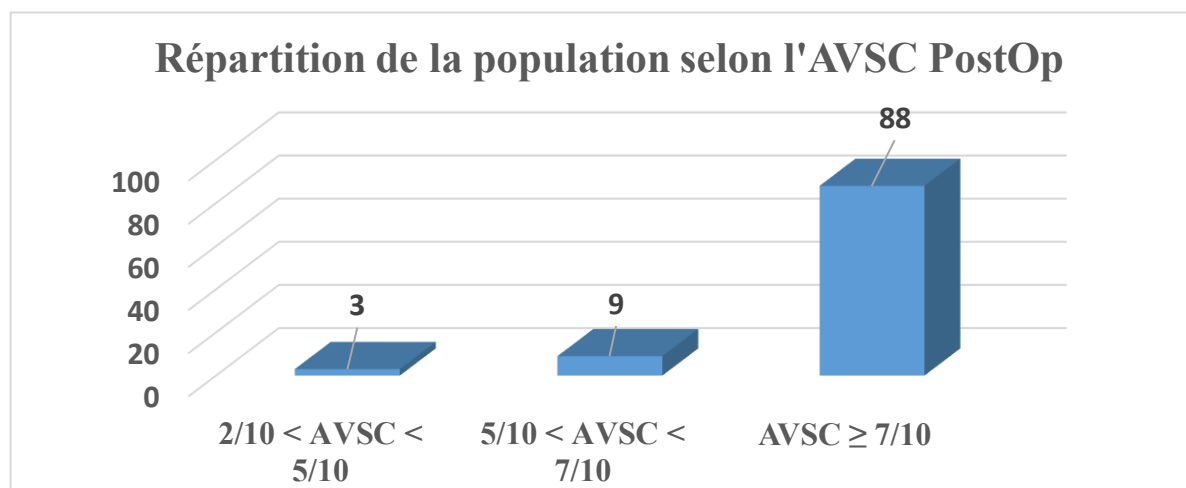


Figure 89: Répartition des yeux selon l'acuité visuelle sans correction (AVSC) après chirurgie.

Ce graphique montre que la très grande majorité des patients (88 %) atteignent une acuité visuelle sans correction (AVSC) **postopératoire supérieure ou égale à 7/10**.

Seuls 9 % se situent dans la tranche intermédiaire (entre 5/10 et 7/10), et 3 % ont une AVSC comprise entre 2/10 et 5/10.

Tableau 37 Statistiques descriptives de l'acuité visuelle sans correction (AVSC) à chaque temps postopératoire.

	AVAC préop	AVSC postop	AVSC 1M	AVSC 3M	AVSC 6M	AVSC 12M
Moyenne	0,16	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10
Écart-type	0,054	0,07	0,07	0,09	0,06	0,06
Minimum	0,045	0,02	0,020	0,010	0,023	0,00
Maximum	0,30	0,44	0,44	0,76	0,43	0,42

L'acuité visuelle à l'échelle de logMAR sans correction (AVSC) a été évaluée en postopératoire et comparée à l'acuité visuelle corrigée préopératoire (AVAC).

(ANOVA à mesures répétées : permet de comparer les moyennes d'AVSC aux différents temps de suivi.)

-Les résultats indiquent une amélioration statistiquement significative ($p < 0,001$).

Le tableau présente l'évolution de l'acuité visuelle sans correction (AVSC) exprimée en logMAR aux temps postopératoires immédiat, à 1 mois, 3 mois, 6 mois et 12 mois. Les valeurs extrêmes (minimum et maximum), la moyenne et l'écart type sont détaillés pour chaque période.

On observe une **amélioration progressive de la moyenne de l'AVSC** au fil du suivi postopératoire. La moyenne passe de **0,13 logMAR** (soit environ **7,4/10** en échelle Snellen) en postopératoire immédiat à **0,10 logMAR** à 12 mois, (soit environ **8/10** en échelle Snellen) traduisant un gain fonctionnel dans le temps.

Les valeurs minimales restent autour de **0,42–0,44 logMAR** (soit environ **0,36–0,38 en décimale**, donc vision de 3,6 à 3,8/10), sans dégradation au long du suivi.

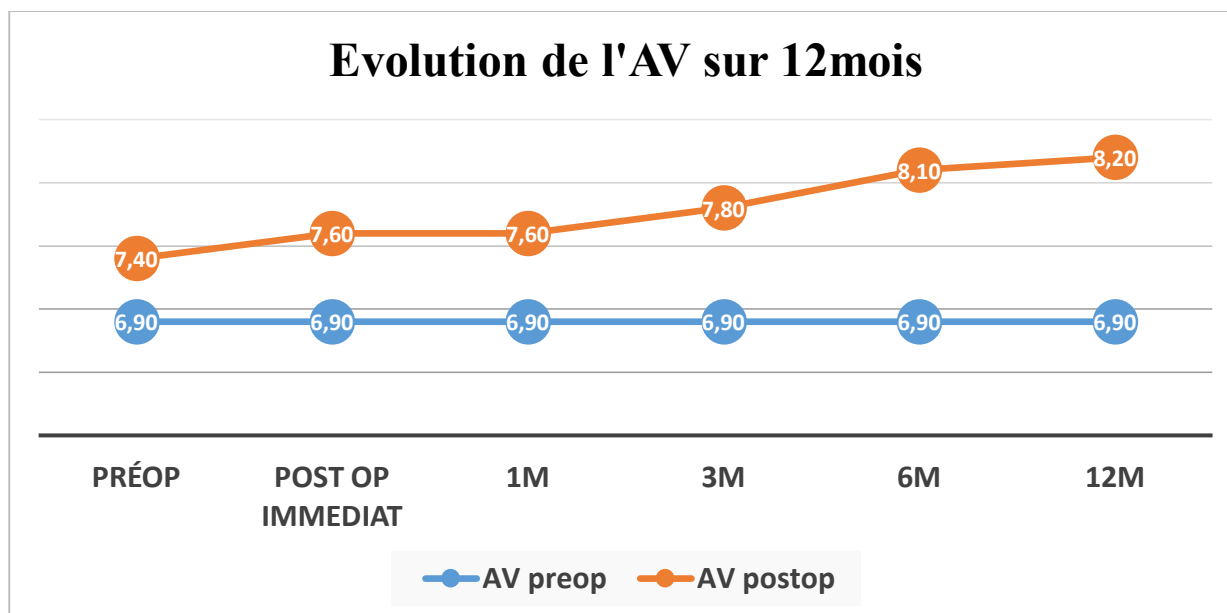


Figure 90: Progression de l'acuité visuelle sans correction après chirurgie.

Tableau 38: Distribution des gains et pertes de lignes d'acuité visuelle après chirurgie.

Catégorie de gain/perte de lignes	Nombre d'yeux
Perte ≥ 3 lignes	1
Perte 2 lignes	1
Perte 1 ligne	1
Stable	28
Gain 1 ligne	25
Gain 2 lignes	19
Gain > 3 lignes ou +	25

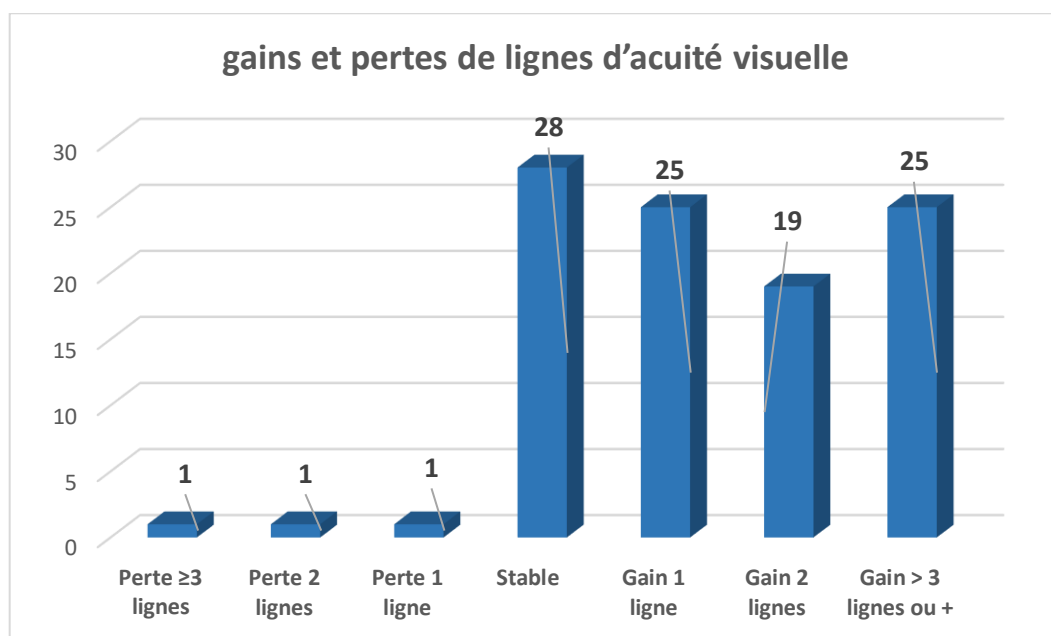


Figure 91: Nombre de lignes de vision corrigée gagnées ou perdues à un an postopératoire.

Dans notre cohorte, 70 % des yeux gagnent ≥ 1 ligne Snellen à un an. Une stabilité de l'acuité est observée dans 28 % des cas, tandis que les pertes restent marginales (3 %).

Le profil de sécurité est donc : 97 % des yeux sont stables ou améliorés, et la perte ≥ 2 lignes ne concerne que 2 %.

L'efficacité : 44 % des yeux gagnent ≥ 2 lignes, témoignant d'un bénéfice fonctionnel réel au-delà de la simple correction de l'amétropie.

6.7.2 Mesure de l'indice d'efficacité

L'indice d'efficacité est défini comme le rapport entre l'acuité visuelle sans correction (postopératoire à 12 mois) et l'acuité visuelle avec correction (préopératoire).

Formule : Indice = AVSC postop / AVAC préop

Tableau 39: *Indice d'efficacité visuelle après chirurgie : valeurs descriptives.*

Paramètre	Valeur
Total	100.0
Moyenne	1.16
ET	0.13
min	0.57
25%	1.09
50%	1.16
75%	1.21
max	1.83

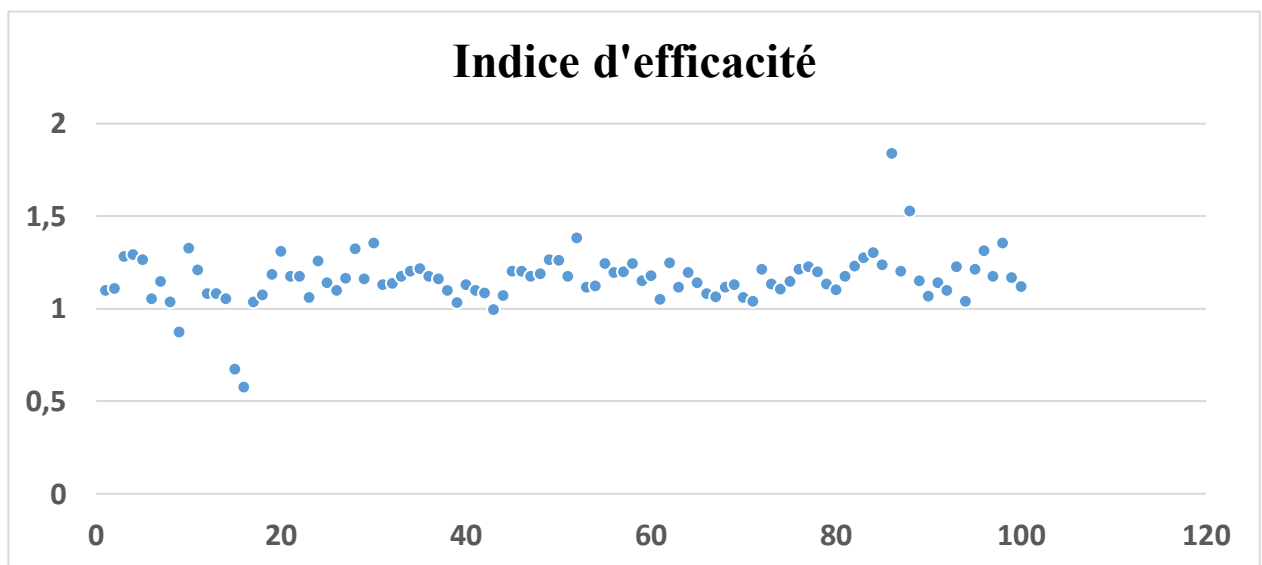


Figure 92: *Distribution individuelle de l'indice d'efficacité.*

Plus de **75 % des yeux** ont un indice >1, ce qui témoigne d'un très bon résultat fonctionnel global.

Quelques cas en-dessous de 1 indiquent des résultats plus modestes mais aucun cas extrême

6.7.3 AV cumulatifs selon SNELLEN

Tableau 40: Distribution des yeux selon les seuils d'acuité visuelle décimale avant et après intervention (12 mois).

	AV 10/10	AV 9/10	AV 8/10	AV 7/10	AV 6/10	AV 5/10	AV<5/10
Cumul préopératoire (%)	0	1	13	39	85	100	100
Cumul postopératoire (%)	7	38	71	89	98	98	99

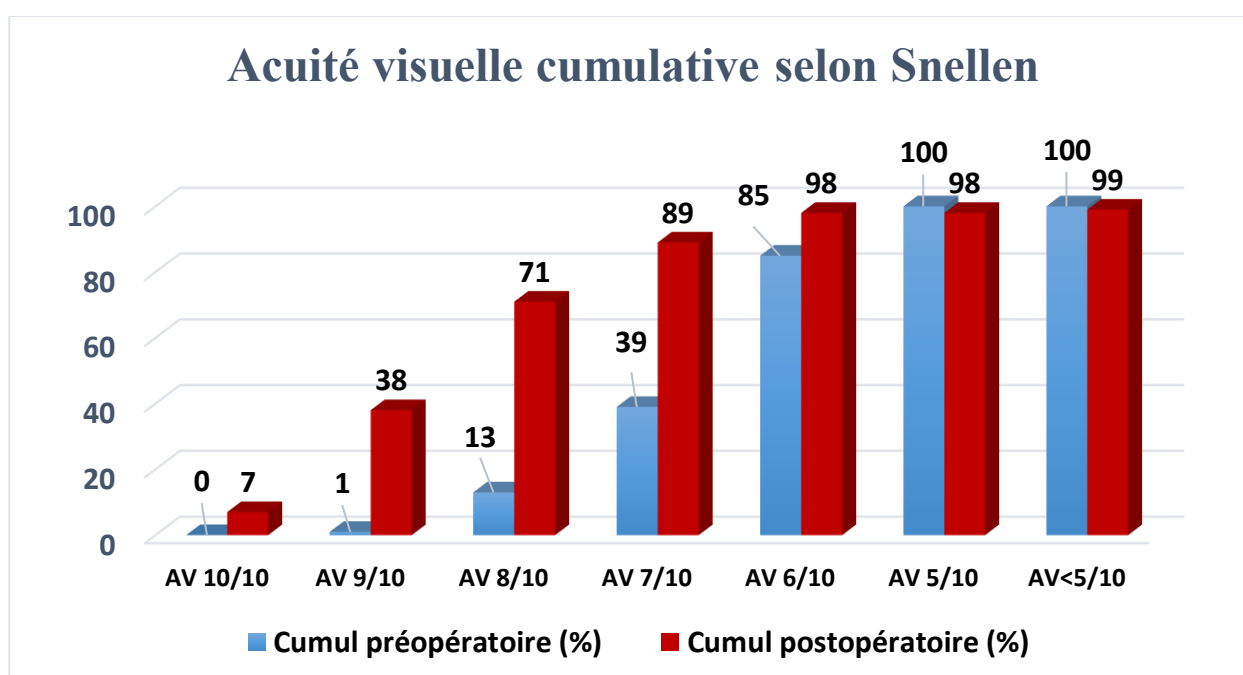


Figure 93: Proportion cumulative d'yeux atteignant les seuils d'acuité visuelle Préopératoire et à 12 mois postopératoire (Snellen).

L'Analyse de l'acuité visuelle cumulative (échelle Snellen) met en évidence une amélioration nette et significative de l'acuité visuelle sans correction (AVSC) après chirurgie, comparée à l'acuité visuelle corrigée préopératoire (AVAC).

Avant l'intervention, **seulement 1 %** des yeux atteignaient une acuité visuelle corrigée de **9/10 ou plus**, et **aucun œil n'atteignait 10/10**.

Après chirurgie, **7 %** des yeux atteignent **10/10**, et **38 %** parviennent à **9/10**, ce qui témoigne d'une excellente performance optique des implants phaqes.

L'amélioration est particulièrement marquée autour du seuil fonctionnel de **8/10**, avec une progression de **13 % en préopératoire à 71 % en postopératoire**.

Aux seuils inférieurs, les courbes tendent à se rapprocher, traduisant le fait que **près de 100 % des yeux** atteignent au minimum **5/10** après l'intervention

6.7.4 Cylindre postopératoire

Tableau 41: Comparaison des valeurs du cylindre préopératoire et postopératoire (D)

Paramètre	Cylindre Préopératoire (D)	Cylindre Postopératoire (D)	p-value
Moyenne	-1,31	-0,74	< 0,001
ET	± 0,99	± 0,26	
Minimum	-4,50	-1,50	
Maximum	-0,25	-0,25	

À la suite de l'implantation torique, associée à une incision cornéenne claire réalisée sur le méridien le plus raide, l'astigmatisme diminue en moyenne de 1,25 D et sa variabilité se resserre nettement (écart-type 0,99 → 0,26), traduisant une standardisation des résultats réfractifs postopératoires.

Analyse comparative : Test de Student pour échantillons appariés, Résultat : $p < 0,001$ → la réduction du cylindre après implantation est hautement significative sur le plan statistique.

Tableau 42 : Répartition des yeux selon la tranche de cylindre (en dioptries).

Tranche (D)	< 0,25	0,26–0,50	0,51–0,75	0,76–1,00	1,01–1,25	1,26–1,50	1,51–2,00	> 2,00
Préopératoire	2	21	25	9	14	6	1	22
Postopératoire	0	18	39	10	10	4	1	0

Analyse de distribution :

Dans notre cohorte, près de quatre yeux sur cinq présentent un astigmatisme ≤ 2 D (78 %), tandis qu'un patient sur cinq (22 %) relève d'un astigmatisme fort > 2 D — sous-groupe ayant motivé l'indication d'un implant torique modèle IPCLV2.0 uniquement.

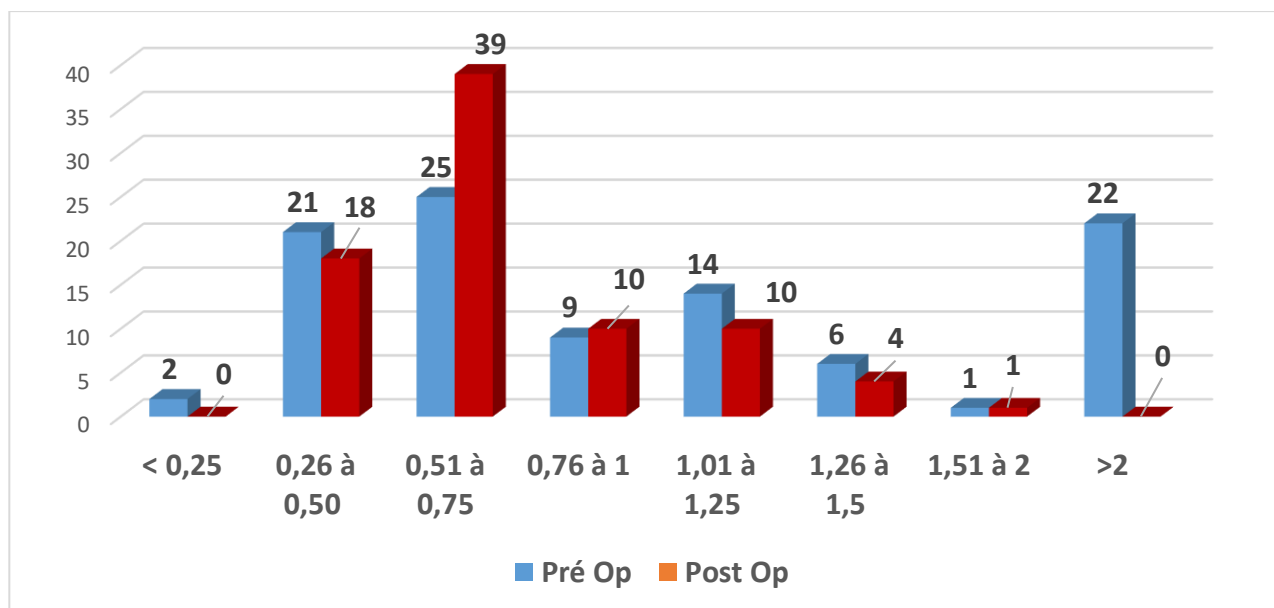


Figure 94: Répartition des yeux par tranche de cylindre réfractif comparaison pré- et postopératoire.

En postopératoire, la distribution des cylindres se concentre nettement vers les faibles valeurs : 57 % des yeux se situent entre 0,26 et 0,75 D (tranche majoritaire), 19 % entre 0,76 et 1,25 D, 5 % entre 1,26 et 2,00 D, et aucun n'excède 2,00 D. Ce déplacement global vers les faibles cylindres, associé à la disparition des astigmatismes très élevés, atteste l'efficacité de la correction torique et la pertinence de l'indication, aboutissant à une normalisation réfractive pour la grande majorité des yeux.

Test de Student $p < 0,001$ → la réduction du cylindre après implantation est hautement significative.

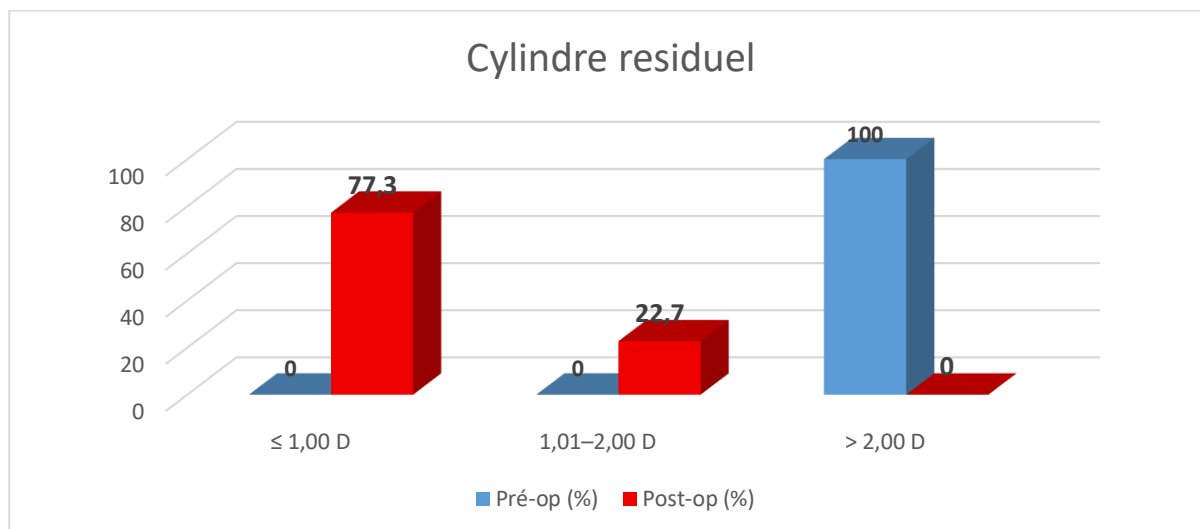


Figure 95 : Cylindre résiduel

Description :

Le graphique en barres jumelées montre :

- Une diminution significative de la moyenne du cylindre postopératoire.
- Des barres d'erreur réduites, montrant une plus grande homogénéité des résultats postopératoires.
- L'absence d'overcorrection suggère une orientation chirurgicale prudente.

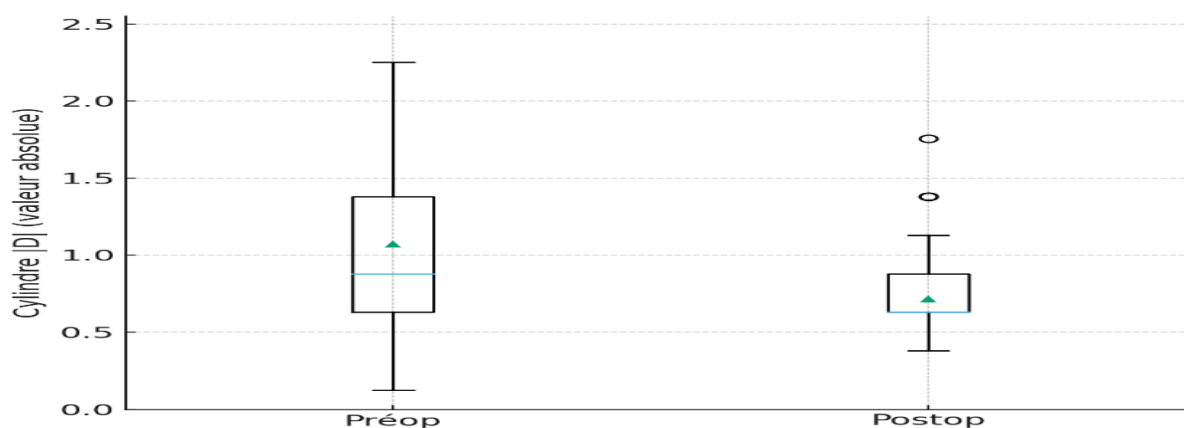


Figure 96: Variation du cylindre préopératoire et postopératoire (D)

Médiane baisse nettement en postopératoire, avec moins de valeurs extrêmes et une concentration vers les faibles cylindres.

6.7.5 Résultats de la sécurité visuelle : Analyse de l'évolution de l'acuité visuelle avec correction (AVAC)

Tableau 43: Évolution de l'acuité visuelle avec correction (AVAC) en logMAR avant et après implantation de lentilles phaqes.

	Max	Min	Moy	Et
AVAC_preop	,045	,30	,16	,054
AVAC_1MOIS	,010	,42	,09	,067
AVAC_3MOIS	0,00	,76	,09	,094
AVAC_6MOIS	0,00	,76	,08	,094
AVAC_12MOIS	0,00	,41	,07	,066

L'évaluation de l'acuité visuelle avec correction (AVAC) entre la période préopératoire et les différentes étapes du suivi postopératoire met en évidence une amélioration progressive et significative de la vision. en préopératoire, la moyenne de l'AVAC était de 0,21 logMAR, soit l'équivalent de **0,61 en échelle décimale**, traduisant une acuité modérément altérée malgré la correction optique. Dès le premier mois postopératoire, une nette amélioration est observée, avec une AVAC moyenne de 0,09 logMAR (**0,81 décimal**), témoignant d'un bénéfice visuel rapide dès les premières semaines suivant l'implantation. Cette différence entre l'AVAC préopératoire et l'AVAC postopératoire s'est révélée statistiquement significative ($p < 0,001$; test de Student).

L'indice de sécurité, défini comme le rapport entre l'AVAC postopératoire et l'AVAC préopératoire, était de **1,03 ± 0,34**, confirmant le gain visuel.

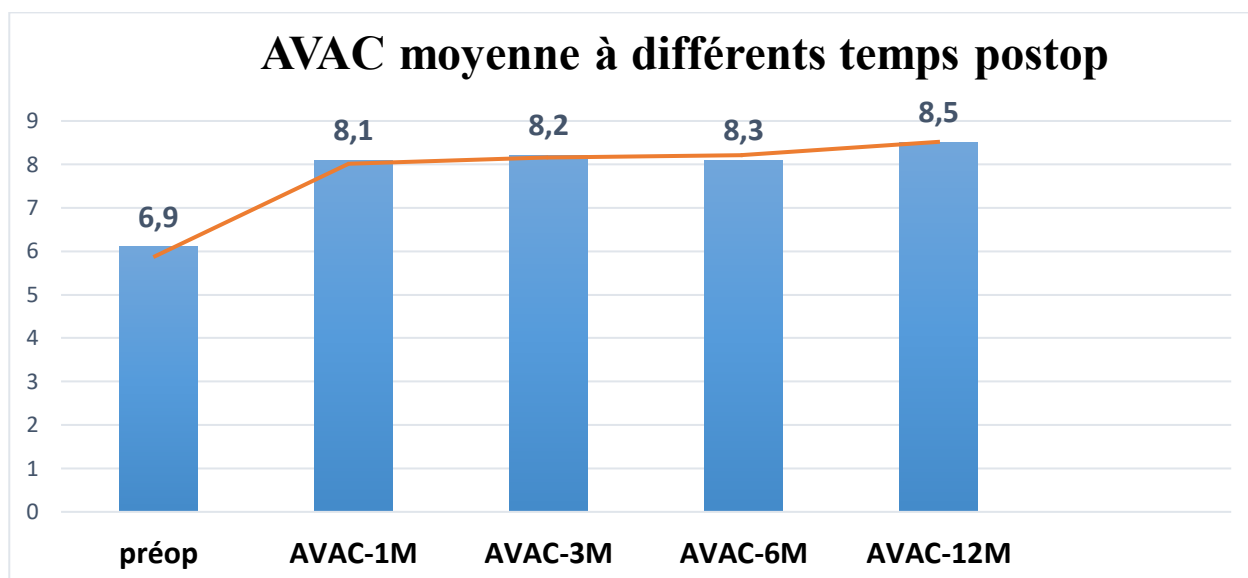


Figure 97: Évolution de l'acuité visuelle avec correction (AVAC) au cours du suivi postopératoire

L'amélioration visuelle se maintient de manière stable au cours du suivi. Aux troisième et sixième mois postopératoires, l'AVAC moyenne se situe entre 0,08 et 0,09 logMAR (soit entre **0,81 et 0,83 en échelle décimale**), ce qui souligne la stabilité de la correction réfractive. Enfin, à douze mois, l'AVAC atteint une moyenne de 0,07 logMAR (équivalente à **0,85 en décimal**), traduisant un gain fonctionnel durable et une performance visuelle optimale à long terme.

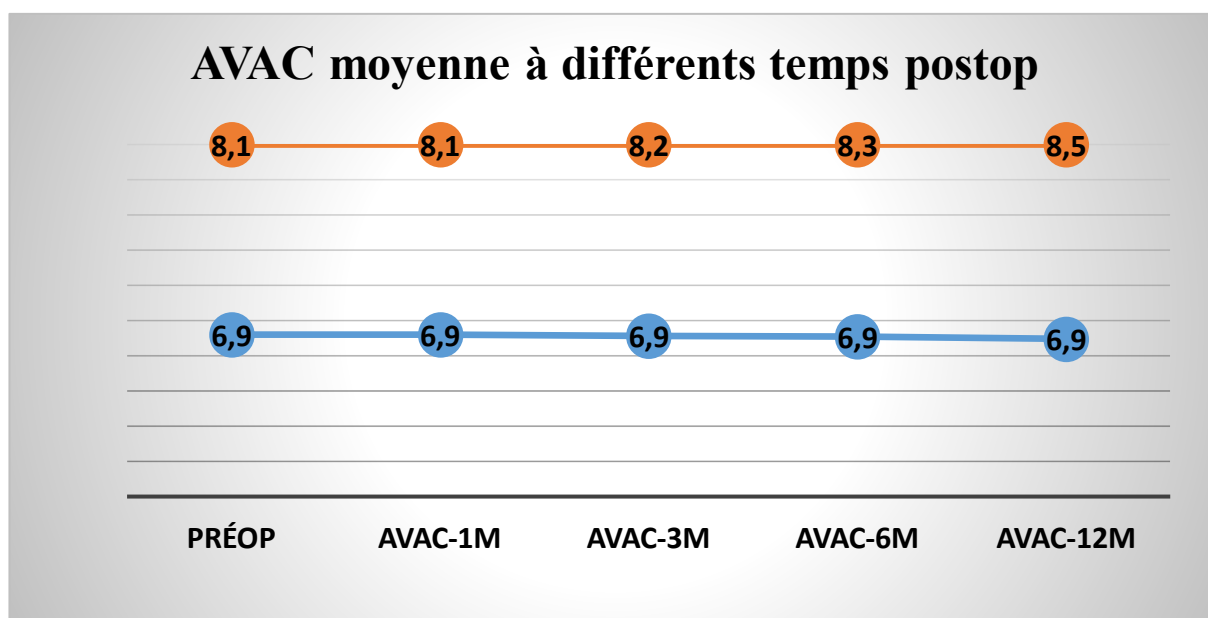


Figure 98: Progression de l'acuité visuelle avec correction (AVAC) en décimal de la période préopératoire jusqu'à 12 mois postopératoires.

6.7.6 Stabilité réfractive :

6.7.6.1 Sphère équivalent

Tableau 44: Statistiques descriptives de l'équivalent sphérique (D) avant et après chirurgie à différents temps de suivi.

	Moy	ET	Min	Max	P Value
SE PréOp	-12,33	2,57	-21,00	-6,75	< 0,0001
SE 01 Mois	-0,15	0,58	-1,25	0,75	
SE 03 Mois	-0,18	0,60	-1,50	0,75	
SE 06 Mois	-0,2	0,59	-1,50	0,75	
SE 12 Mois	-0,19	0,59	-1,25	0,75	

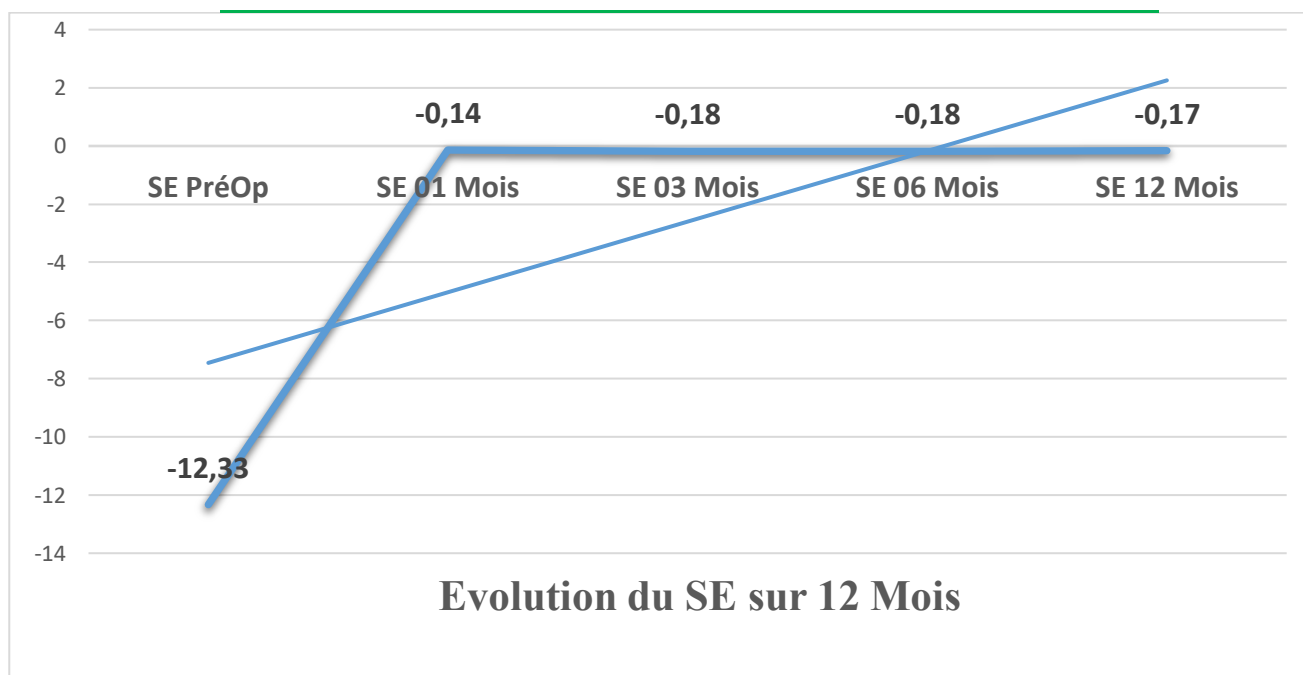


Figure 99: variation du SE manifeste et la stabilité de la réfraction.

La figure montre la variation du SE manifeste et la stabilité de la réfraction tout au long du suivi 1, 3, 6 et 12 mois après la chirurgie, l'ES manifeste moyen était de $-0,15 \pm 0,58$ et $-0,18 \pm 0,60$ et $-0,18 \pm 0,59$ et $-0,19 \pm 0,59$ D, respectivement. L'ES manifeste a été significativement diminuée, passant de $-12,33 \pm 2,66$ D en préopératoire à $-0,30 \pm 0,08$ D 12 mois après l'opération ($P < 0,001$, test de Student).

Réfraction postopératoire en équivalent sphérique (D)

Tableau 45: Répartition des yeux selon l'équivalent sphérique postopératoire (D).

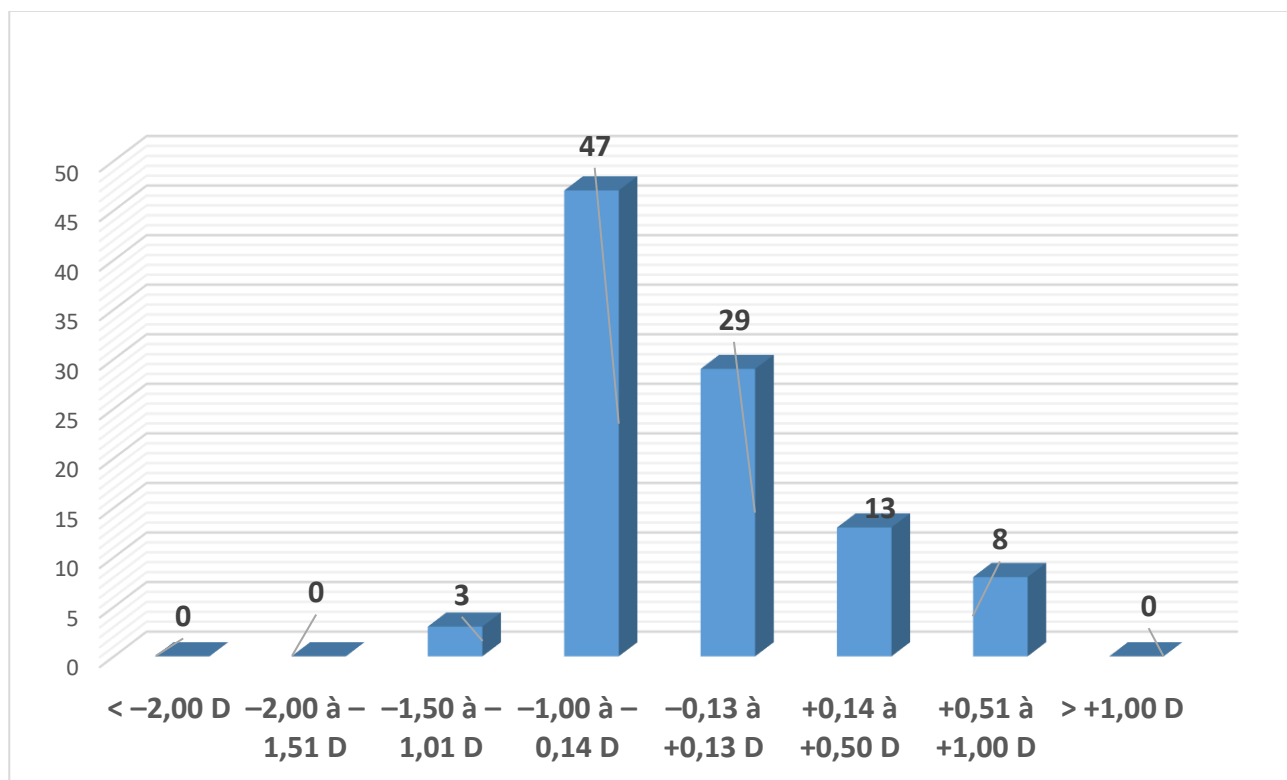


Figure 100: Répartition des erreurs réfractives résiduelles à 12 mois postopératoires

À un an de recul, 76 % des yeux présentent un équivalent sphérique (SE) compris entre $-1,00$ D et $+0,13$ D, et 29 % se situent dans une zone d'emmétropie attendue ($-0,13$ à $+0,13$ D).

Aucun cas n'a montré de résidu supérieur à $+2,00$ D ou inférieur à $-2,00$ D. Ces données traduisent des résultats réfractifs conformes aux objectifs et globalement optimaux pour la cohorte étudiée.

6.7.7 Prédicibilité réfractive

La prédictibilité réfractive est un critère fondamental pour évaluer la qualité des résultats postopératoires d'une chirurgie réfractive. Elle désigne la capacité de la procédure à corriger précisément la réfraction cible, mesurée à travers le pourcentage d'yeux atteignant $\pm 0,50$ D ou $\pm 1,00$ D du plan visuel visé. Un haut degré de prédictibilité reflète la précision biométrique, le bon positionnement de l'implant et la stabilité postopératoire.

(La figure 99) illustre la correction réfractive tentée et obtenue. À 12 mois, 67 % des yeux se situaient à $\pm 0,50$ D de la correction tentée, et 97 % à $\pm 1,00$ D de la correction tentée.

L'équation de régression et le coefficient de détermination ($R^2 = 0.9660$) montrent une forte corrélation entre la réfraction cible et obtenue, témoignant d'une excellente prédictibilité.

$$SE_{\text{obtenu}} = 0,8866 \times (SE_{\text{tenté}}) - 0,928 \quad (R^2 = 0,9660)$$

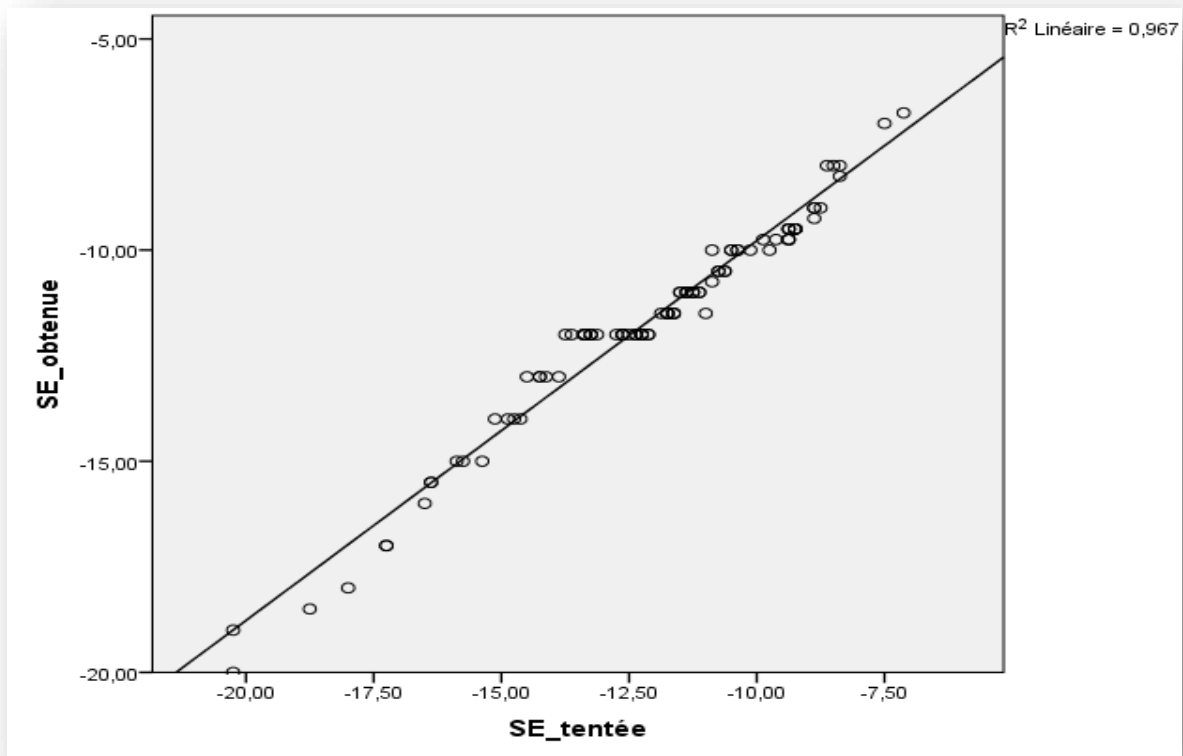


Figure 101: *Équivalent sphérique tenté versus obtenu de la réfraction manifeste.*

- Pente < 1 : Cela suggère une tendance générale à la sous-correction, plus l'amétropie tentée est importante, plus l'écart tend à s'élargir entre le SE ciblé et le SE obtenu.
- Ordonnée à l'origine négative : Cela reflète un biais systématique vers la sous-correction, indépendant du degré de myopie.
- $R^2 = 0,966$: Très forte corrélation → l'un des meilleurs indices de prédictibilité attendus. Cela confirme que le protocole de calcul (formule, base de données biométriques, méthode de sizing) utilisé dans cette cohorte est hautement fiable et reproductible.

Tableau 46: Répartition des yeux selon l'intervalle d'erreur réfractive par rapport à la cible.

Intervalle d'erreur par rapport à la cible	Pourcentage des yeux (%)
$\pm 0,50$ D	67
$\pm 1,00$ D	94

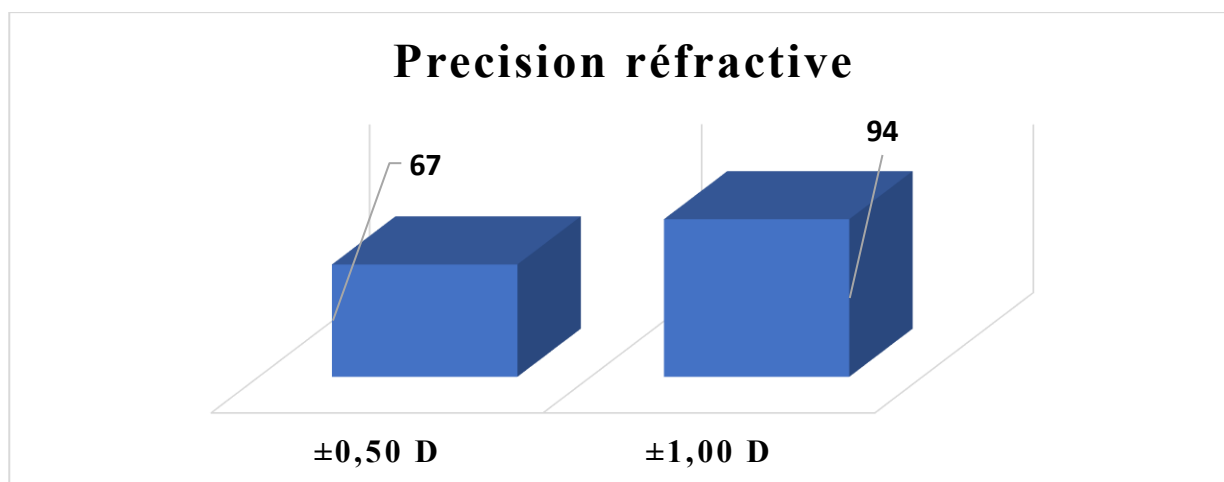


Figure 102: Pourcentage d'yeux atteignant la cible réfractive ($\pm 0,50$ D et $\pm 1,00$ D)

Ce graphique montre que la **prédictibilité réfractive** de la chirurgie est très élevée :

67 % des yeux opérés présentent un équivalent sphérique postopératoire dans l'intervalle de $\pm 0,50$ D par rapport à la cible visée, et **97 %** dans l'intervalle plus large de $\pm 1,00$ D.

6.7.8 Pression intra oculaire Postopératoire :

Tableau 47: Paramètres descriptifs de la pression intraoculaire (PIO) avant et après implantation phake.

Temps	Moyenne	Ecart-type	Min	Max	Valeur P
PIO PréOp	12,83	1,74	10	17	< 0,0001
PIO 01 Mois	15,26	2,16	12	24	
PIO 03 Mois	12,86	1,56	10	24	0,98
PIO 06 Mois	12,63	1,09	10	16	0,46
PIO 12 Mois	12,98	1,66	10	17	0,64

La pression intraoculaire (PIO) présente une légère élévation transitoire après chirurgie, puis un retour rapide à la normale :

En préopératoire, la PIO moyenne est de $12,83 \pm 1,74$ mmHg (extrêmes : 10 à 17 mmHg).

À 1 mois postopératoire, on observe une augmentation de la moyenne à $15,26 \pm 2,16$ mmHg (12 à 24 mmHg), témoignant d'une élévation transitoire souvent retrouvée en postopératoire immédiat.

Dès 3 mois, la PIO redescend à $12,86 \pm 1,56$ mmHg (10 à 24 mmHg), valeur très proche du niveau préopératoire, et reste stable à 6 et 12 mois ($12,63 \pm 1,09$ puis $12,98 \pm 1,66$ mmHg).

La comparaison statistique (test ANOVA) montre que seule la valeur à 1 mois diffère significativement du préopératoire ($p < 0,0001$), tandis que les autres points de suivi (3, 6, 12 mois) ne présentent pas de différence significative ($p > 0,05$).

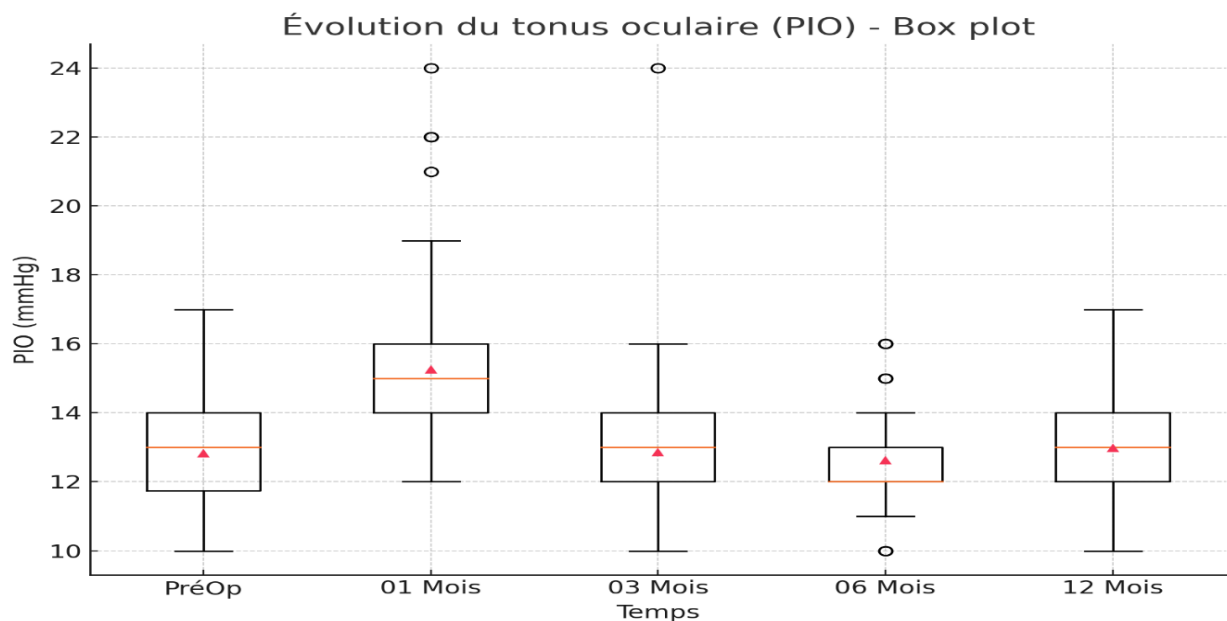


Figure 103: Evolution temporelle du tonus oculaire (PIO) après chirurgie par implant phake.

Ce box-plot illustre l'évolution du tonus oculaire (PIO) au cours du suivi péri opératoire.

On observe que la médiane et la moyenne de la PIO restent stables dans le temps, autour de 13 à 14 mmHg, de la période préopératoire jusqu'à 12 mois postopératoires.

La dispersion des valeurs reste modérée à tous les temps, avec quelques valeurs extrêmes isolées à 1 mois et 3 mois, qui dépassent 20 mmHg.

Il n'y a pas d'augmentation notable et persistante du tonus oculaire après chirurgie.

6.7.9 Densité cellulaire :

Tableau 48 : Evolution temporelle de la densité cellulaire.

	Moyenne	Ecart-type	Min	Max	Valeur P
CD PréOP	2454	203	2087	3043	< 0,0001
CD 01 MOIS	2306	190	1962	2860	
CD 03 MOIS	2279	188	1938	2826	
CD 06 MOIS	2256	186	1919	2798	
CD 12 MOIS	2285,	189	1944	2834	

La densité cellulaire endothéliale (CD) montre une diminution modérée au décours de la chirurgie, suivie d'une relative stabilité à distance :

En préopératoire, la CD moyenne est de $2\,454 \pm 203$ cell/mm² (min : 2 087 ; max : 3 043).

Dès le 1er mois postopératoire, on observe une baisse à $2\,306 \pm 190$ cell/mm².

La densité cellulaire continue de diminuer légèrement à 3 mois ($2\,279 \pm 188$), puis à 6 mois ($2\,256 \pm 186$), avant de se stabiliser à 12 mois ($2\,285 \pm 189$).

D'après l'ANOVA à mesures répétées, la densité cellulaire est significativement réduite à 1 mois postopératoire par rapport au préopératoire ($p < 0,001$).

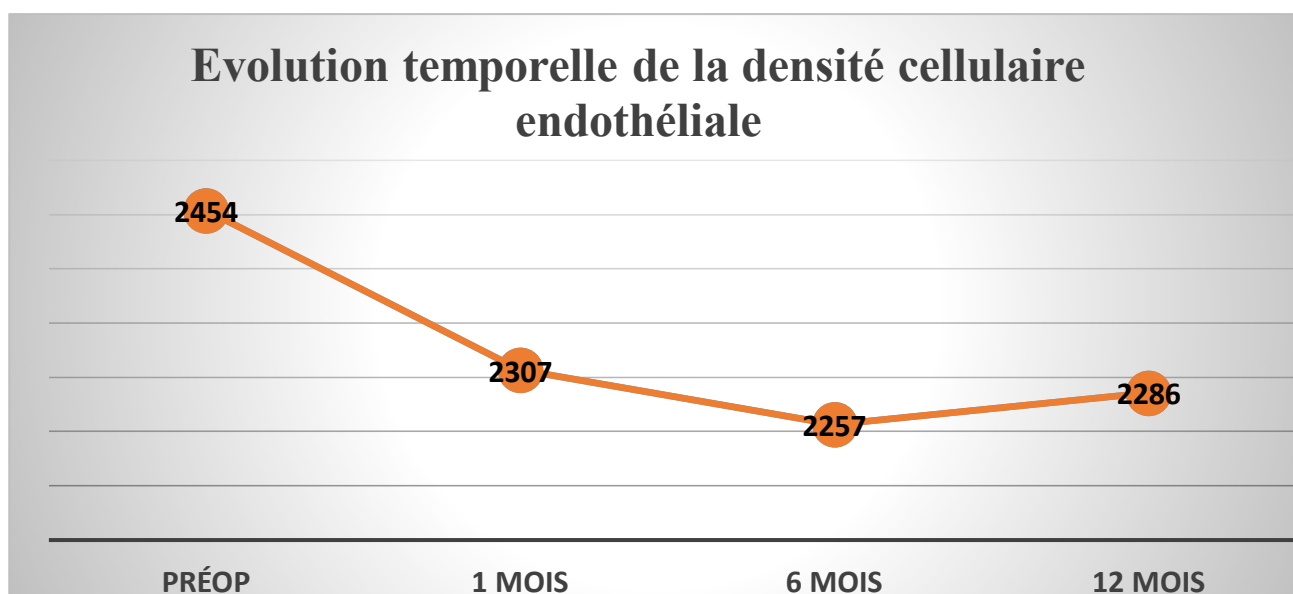


Figure 104: Variation temporelle de la densité cellulaire endothéliale cornéenne (cellules/mm²).

Le graphique montre l'évolution de la densité cellulaire endothéliale (cellules/mm²) sur une période de 12 mois après chirurgie.

On observe une baisse nette dès le 1er mois postopératoire (de 2 454 à 2 307 cellules/mm²), suivie d'une diminution plus modérée jusqu'au 6e mois (2 257 cellules/mm²), puis d'une phase de stabilisation entre 6 et 12 mois (2 286 cellules/mm² à 1 an).

La perte globale sur un an est d'environ **5,8 %** par rapport à la valeur préopératoire.

6.7.10 Profondeur de chambre antérieure

Tableau 49: Profondeur de chambre antérieure (ACD) – Données descriptives au cours du suivi.

Temps	Moyenne	Ecart-type	Min	Max	Valeur P
ACD PréOp	3,24	0,27	2,85	4,13	< 0,0001
ACD 01 MOIS	2,7	0,28	2,15	3,83	
ACD 03 MOIS	2,77	0,26	2,23	3,82	
ACD 06 MOIS	2,77	0,26	2,24	3,84	
ACD 12 MOIS	2,77	0,26	2,23	3,81	

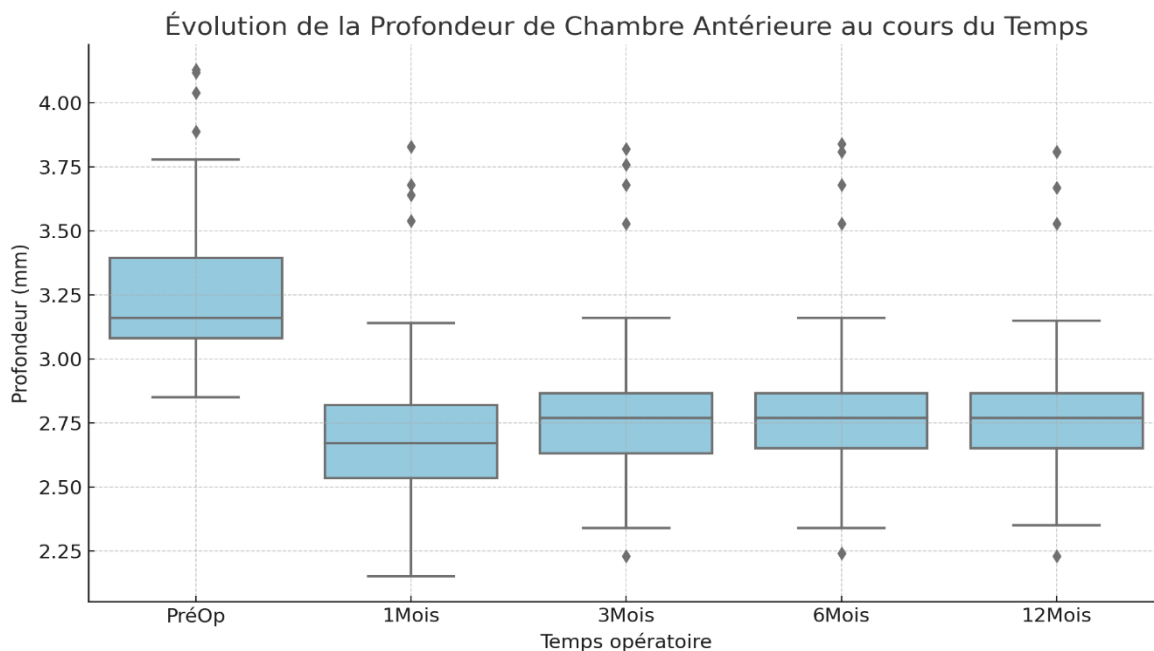


Figure 105: Évolution de la profondeur de chambre antérieure (ACD) après implantation phake.

Ce graphique en boxplots illustre l'évolution de la profondeur de chambre antérieure (ACD) à différents temps du suivi.

Il existe une diminution significative de la profondeur de la chambre antérieure après chirurgie. Résultat de l'ANOVA à mesures répétées $p < 0.0001$ Cette diminution est constante et similaire dès le 1er mois post-opératoire, sans variation significative entre les périodes de suivi (1, 3, 6, 12 mois).

Cela indique une stabilisation rapide de la profondeur après l'intervention.

Dès le 1er mois postopératoire, on observe une diminution marquée de l'ACD, avec une médiane centrée autour de 2,7 mm et une distribution plus resserrée.

Cette diminution persiste et reste stable à 3, 6 et 12 mois, sans tendance à la ré-augmentation ni nouvelle chute significative.

La présence d'outliers (points extrêmes) reste modérée à chaque temps postopératoire, traduisant une homogénéité globale des mesures.

6.7.11 Angle de chambre antérieur

Tableau 50: Statistiques descriptives angle de chambre antérieure.

	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Angle IC preop	37,6	3,2	32,0	48,0
Angle IC 6mois	30,2	3,4	28,0	37,0
Angle IC 12mois	28,2	3,5	27,0	36,0

L'étude met en évidence une diminution nette et significative de l'angle de chambre antérieure après chirurgie. L'angle moyen mesuré passe de **37,6°** en phase préopératoire à **30,2°** six mois après l'intervention, puis atteint **28,2°** au bout de douze mois. Cette évolution correspond à une diminution absolue de **9,4°** sur une année, soit une baisse relative d'environ **25 %**. Entre six et douze mois, bien que l'on observe une légère baisse supplémentaire de l'angle moyen (de 30,2° à 28,2°), cette variation reste modeste en comparaison avec la chute initiale observée durant les six premiers mois. Par ailleurs, la variabilité interindividuelle demeure globalement constante sur l'ensemble de la période étudiée.

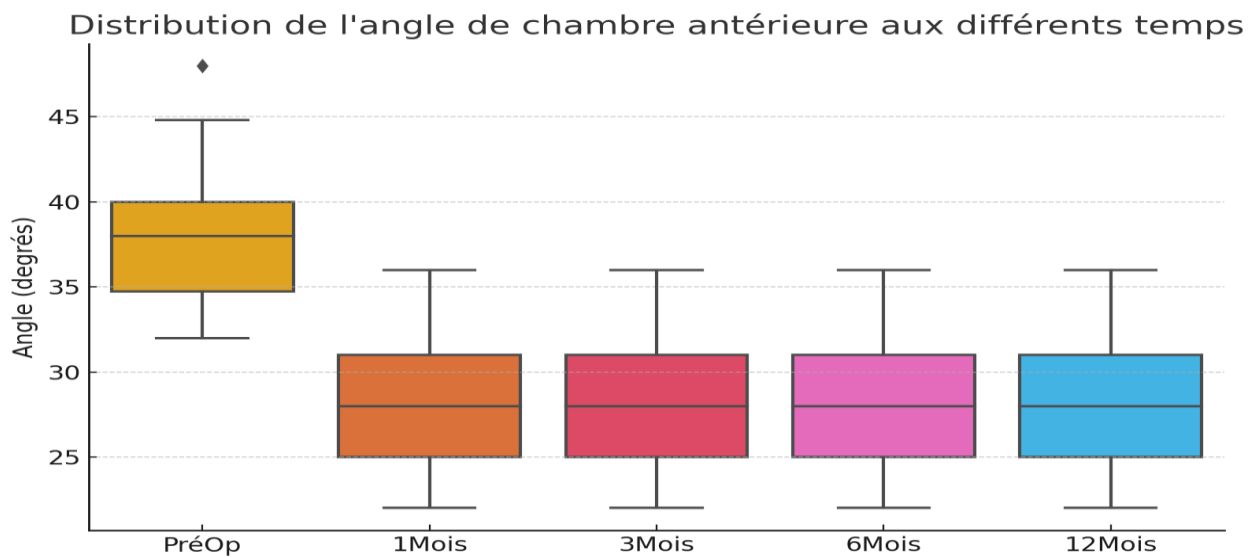


Figure 106: Distribution de l'angle de chambre antérieure à chaque moment de mesure.

En préopératoire, l'AIC présente une médiane élevée, autour de 38-40°, avec une dispersion notable et quelques valeurs extrêmes >45°.

Dès le 1er mois postopératoire, l'angle diminue significativement, avec une médiane centrée vers 28°, et cette réduction persiste de façon stable à 3, 6 et 12 mois.

Résultats de l'ANOVA à mesures répétées pour l'angle de chambre antérieure $p < 0.001$ Cela indique une différence statistiquement significative entre les différentes périodes (PréOp, 1 mois, 3 mois, 6 mois, 12 mois). La Comparaisons entre les temps post-opératoires (1M, 3M, 6M, 12M) ne montre Aucune différence significative ($p = 1.0$).

Malgré une diminution significative de la profondeur de chambre antérieure (ACD) et de l'angle irido-cornéen (ACA) dès le premier mois postopératoire, l'évolution du tonus oculaire (PIO) est restée globalement stable sur 12 mois, sans corrélation statistiquement significative entre ACD, ACA et PIO à 12 mois.

6.7.12 Vaulting

Cette analyse évalue l'évolution du vaulting mesuré à 1 mois, 3 mois et 12 mois après chirurgie. Le but est de déterminer si ces valeurs changent de manière significative au cours du suivi post-opératoire.

Tableau 51: Paramètres descriptifs du vaulting (en μm) après implantation phake à différents temps du suivi

Vaulting	Moyenne	Ecart-type	Min	Max
Vaulting 01 MOIS	415,9	103,2	255	679
Vaulting 03 MOIS	448,7	110,5	270	649
Vaulting 06 MOIS	428,3	115	255	667
Vaulting 12 MOIS	403,5	97,2	252	602

Les valeurs de vaulting montrent une évolution dynamique au fil du temps après l'intervention intraoculaire. À 1 mois, le vaulting moyen est de 415,9 μm , avec un écart-type de 103,2 μm , ce qui témoigne d'une certaine variabilité interindividuelle. Ce niveau augmente légèrement à 3 mois, atteignant 448,7 μm , avec une variabilité accrue (écart-type de 110,5 μm), suggérant que c'est à ce moment que le vaulting est maximal chez la plupart des patients.

À 6 mois, une réduction modérée est observée avec une moyenne de 428,3 μm , bien que l'écart-type reste élevé (115 μm), indiquant une dispersion importante des valeurs. Enfin, à 12 mois, le vaulting diminue davantage pour atteindre une moyenne de 403,5 μm , avec un écart-type réduit à 97,2 μm , traduisant une tendance à la stabilisation et une variabilité interindividuelle légèrement moindre.

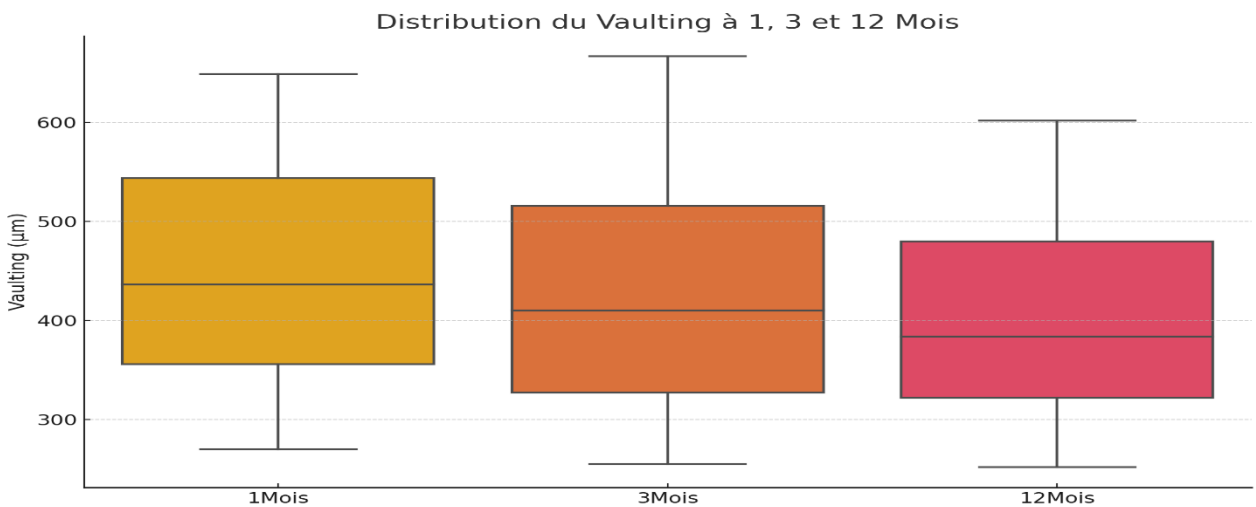


Figure 107: Évolution du vaulting de l'implant phake (1, 3, 6 et 12 mois)

L'ANOVA à mesures répétées révèle une différence statistiquement significative entre les temps ($F = 49,28$; $p < 0,001$), indiquant que le vaulting varie de façon significative entre 1 mois, 3 mois et 12 mois après chirurgie.

Le test post-hoc de Tukey a été réalisé pour comparer les valeurs de vaulting entre les différentes périodes post-opératoires.

Tableau 52: Comparaison des différences moyennes de vault entre les différentes périodes postopératoires.

Comparaison	Différence Moyenne (μm)	p-value	Significatif
1 Mois vs 12 Mois	45.20	0.0092	Oui
3 Mois vs 12 Mois	24.82	0.2354	Non
1 Mois vs 3 Mois	-20.38	0.3759	Non

Seule la comparaison entre 1 mois et 12 mois post-opératoire révèle une différence statistiquement significative ($p = 0.0092$), indiquant une diminution progressive du vaulting. Les autres comparaisons ne sont pas significatives, ce qui suggère une stabilisation entre 1 et 3 mois ainsi qu'entre 3 et 12 mois après l'intervention.

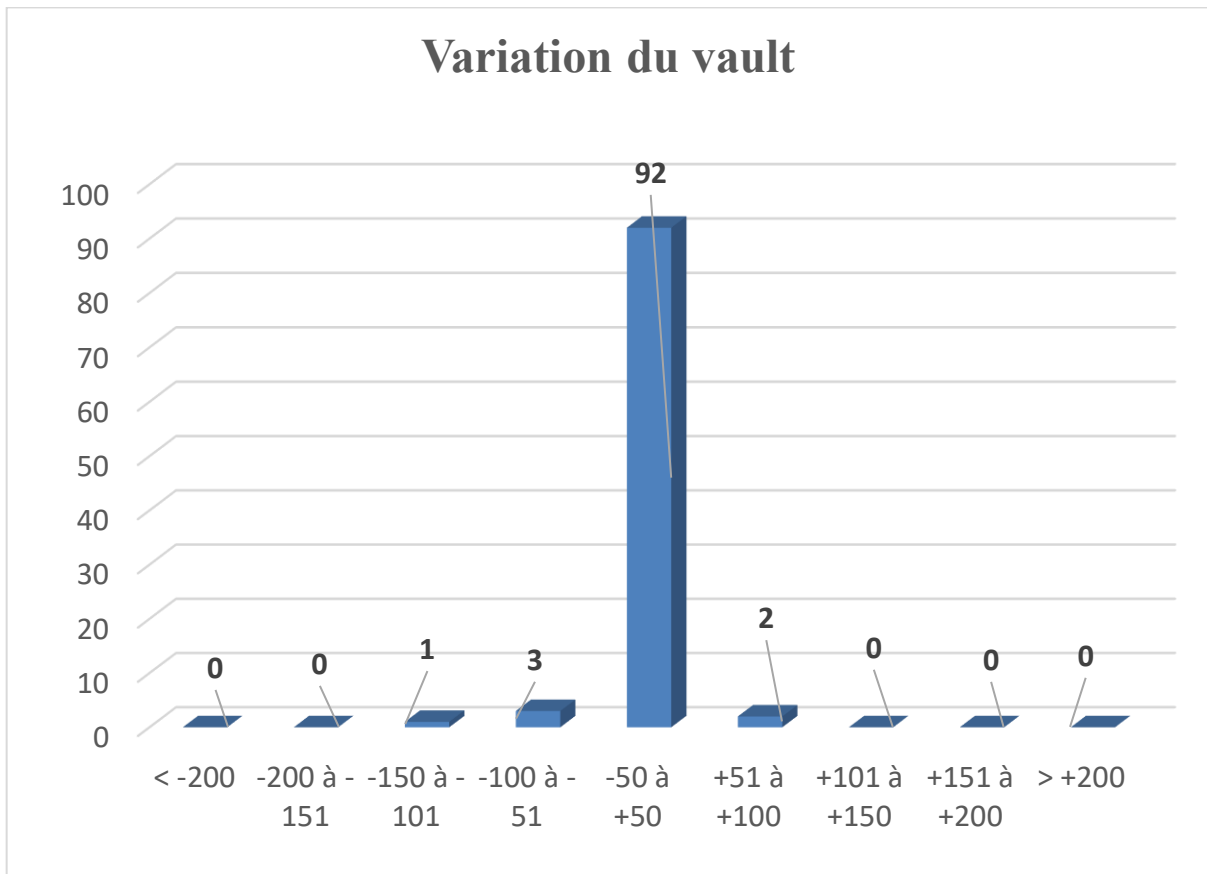


Figure 108: distribution de variation de vault final postopératoire.

La majorité des patients présentent des variations de vault modérées entre les périodes de suivi, principalement comprises entre -50 µm et +50 µm. Moins de 5 % des patients ont des variations $> \pm 100$ µm, suggérant une stabilité post-op satisfaisante dans l'ensemble.

Aucun lien significatif n'a été observé entre le vault postopératoire à 12 mois et l'angle irido-cornéen ($p = -0,126$, $p = 0,213$) ou la profondeur de chambre antérieure préopératoire ($p = -0,029$, $p = 0,778$). Ces résultats suggèrent que ces paramètres anatomiques, bien qu'utiles pour la sélection des candidats à la chirurgie phake, n'apportent pas de valeur prédictive fiable pour estimer la hauteur de voûte post-implantation. En revanche, une corrélation fortement significative a été observée entre le diamètre cornéen blanc à blanc (WTW) et la voûte à 12 mois postopératoires (Pearson = 0,993, $p < 0,001$; $R^2 = 0,955$).

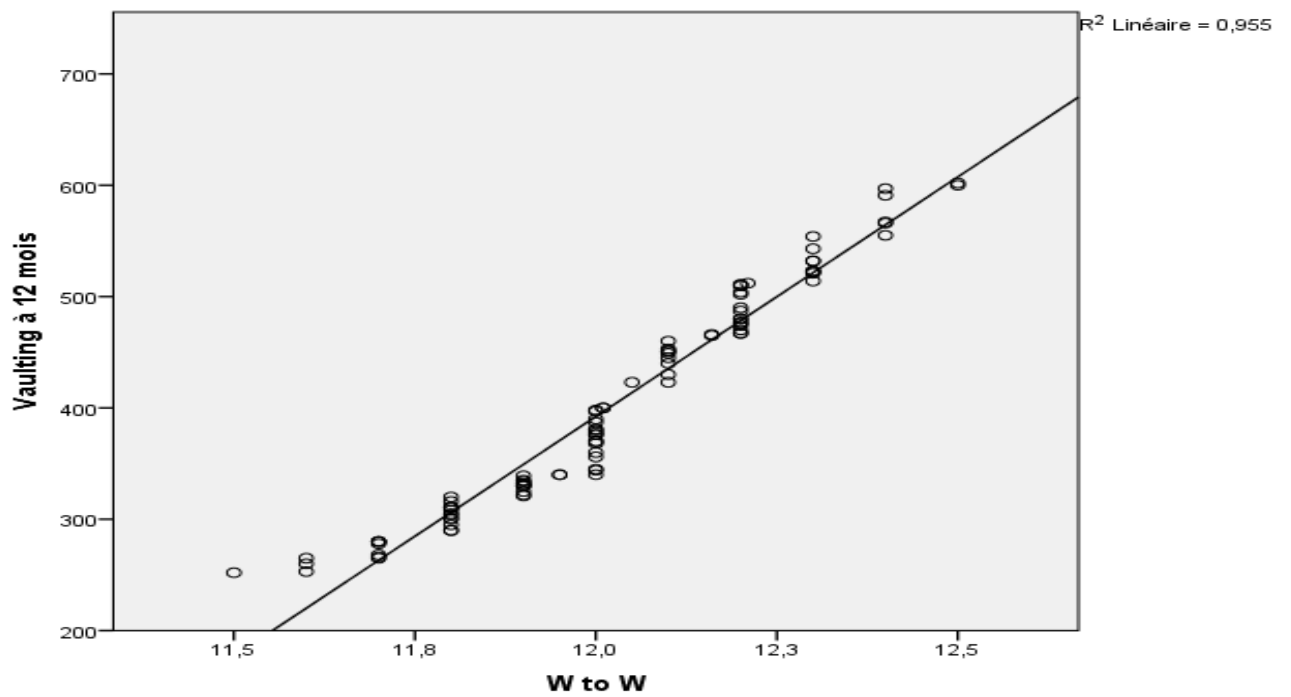


Figure 109 : Relation linéaire entre WTW et vaulting à 12 mois.

Le nuage de points montre une relation linéaire fortement positive entre la valeur du WTW (en mm) et la valeur du vault à 12 mois (en μm).

La régression linéaire superposée présente un ajustement remarquable des données, comme l'indique le $R^2 = 0,955$, signifiant que plus de 95 % de la variance du vault est expliquée par le diamètre WTW.

6.8 Complications postopératoires

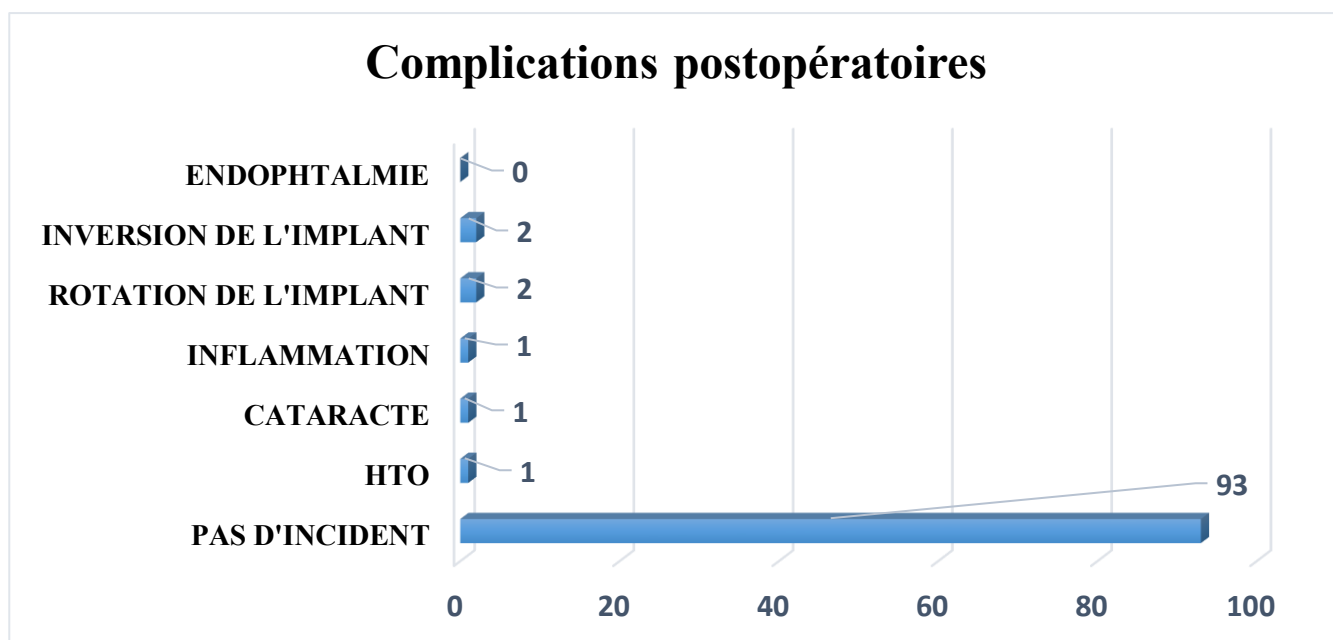


Figure 110: complications postopératoires

Le graphique met en évidence une excellente tolérance postopératoire de l'implantation phake, avec une très faible incidence de complications postopératoires observées après l'implantation de lentilles phakes ICL/IPCL. Il indique les fréquences suivantes sur un total de 100 cas :

Pas d'incident : 93 cas – soit 93 %.

Inversion de l'implant : 2 cas (2 %)

Parmi les cas d'inversion d'implant observés, le premier concerne une jeune patiente âgée de 29 ans, atteinte d'une myopie forte évaluée à -14 dioptries. Elle a bénéficié de l'implantation d'une lentille phake sphérique IPCL V2.0. Une inversion accidentelle de l'implant a été détectée en peropératoire lors de la phase d'insertion. Immédiatement on a procédé au retrait de l'implant mal orienté, suivi de sa réinjection dans le bon sens. L'intervention s'est poursuivie sans autre incident. L'évolution postopératoire a été favorable, sans apparition de complications ni altération de l'acuité visuelle.

Le deuxième cas concerne un jeune patient 32 ans présentant une myopie forte corrigée par l'implantation d'une lentille phake sphérique EVO Visian ICL d'une puissance de -10,5 dioptries. Lors de l'insertion de l'implant à travers une incision cornéenne de 3,2 mm, un déploiement incorrect de la lentille a entraîné son inversion à l'intérieur de l'œil. Cette complication a été immédiatement diagnostiquée en peropératoire, une injection complémentaire de viscoélastique a été réalisée afin d'assurer une protection de l'endothélium cornéen. L'implant a ensuite été manipulé et retourné avec précaution dans la chambre antérieure. L'intervention s'est achevée sans incident supplémentaire, et les suites postopératoires ont été simples, sans survenue de complications visuelles ou inflammatoires.

Rotation de l'implant : 2 cas (2 %), Le premier cas de rotation concerne un jeune patient âgé de 33 ans, présentant un astigmatisme myopique marqué. Ce patient avait bénéficié de l'implantation d'une lentille phake torique IPCL V2.0. Une rotation significative de l'implant a été constatée au troisième mois postopératoire, avec une verticalisation de l'implant initialement orienté selon l'axe horizontal à 180° . Ce déplacement a entraîné une baisse notable de l'acuité visuelle, avec une perte de plus de trois lignes, et un cylindre résiduel de -2,5 dioptries à 125°

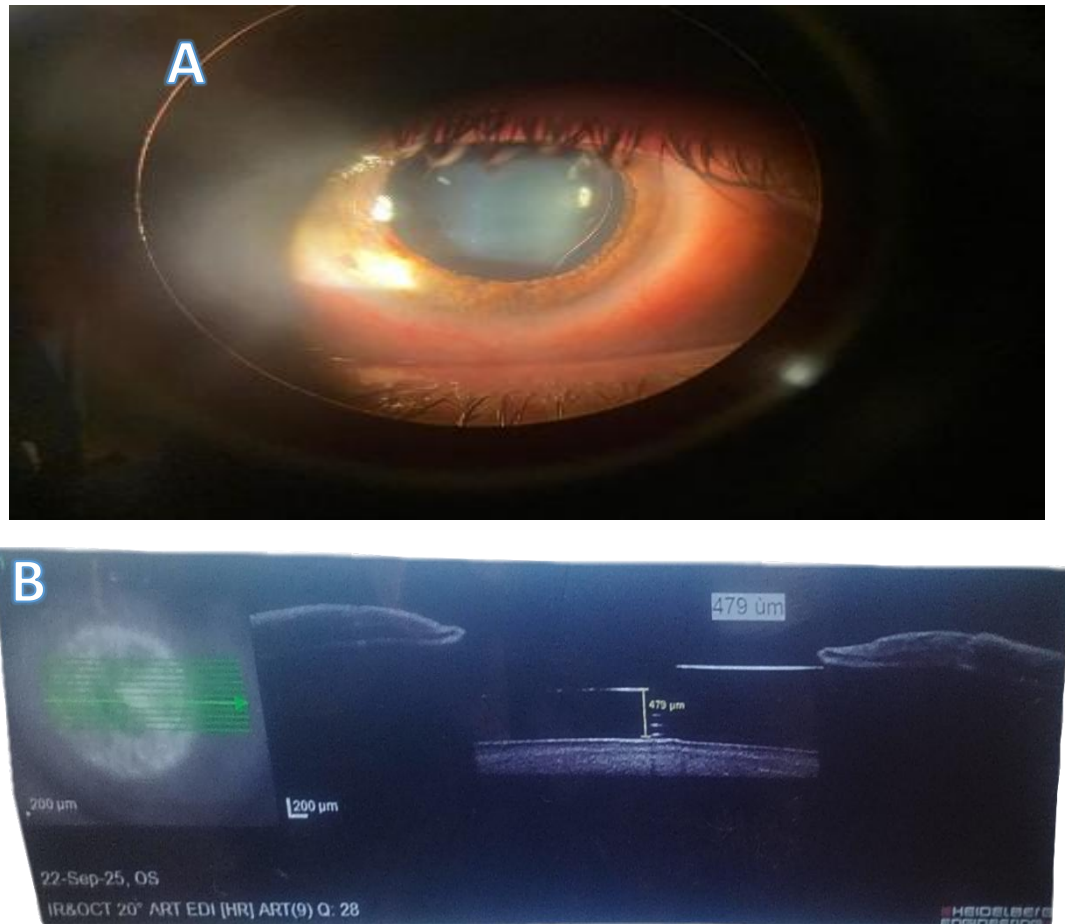


Figure 111 : Rotation d'un implant IPCL V2.0 et analyse du vault scc d'ophtalmologie HMRUC

- A. Aspect en lampe à fente montrant une rotation verticale de l'implant torique avec visualisation des repères mal orientés.*
- B. Analyse OCT / SA montrant un vault postopératoire centré mesuré à $479\mu\text{m}$, valeur située dans la plage de sécurité recommandée.*

Face à cette désorientation, une reprise chirurgicale a été indiquée pour réaligner l'implant selon son axe initialement prévu. Des repères cornéens préopératoires fiables ont été utilisés afin de repositionner précisément l'implant sur l'axe de l'astigmatisme.

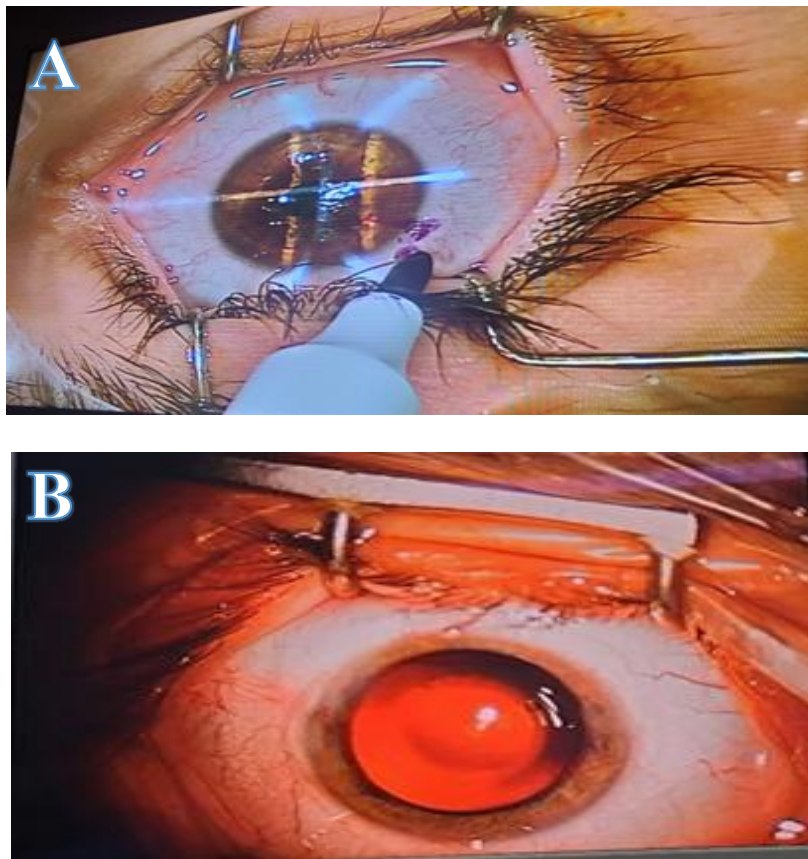


Figure 112 : *Réalignement chirurgical de l'implant torique.*

L'intervention s'est déroulée sans complication. Le patient a présenté une récupération complète de l'acuité visuelle, avec une correction stable du cylindre réfractif à $-0,50$ D à 90° , et une satisfaction visuelle pleinement retrouvée.

Le deuxième cas concerne une patiente de 27 ans, présente un astigmatisme myopique, pour lequel elle a bénéficié de l'implantation d'une lentille phake torique IPCL V2.0, avec une correction de $-9,00$ sphère et $+3,00$ cylindres à 45° .

Au cinquième mois postopératoire, la patiente a rapporté une baisse progressive de l'acuité visuelle, accompagnée de distorsions d'image, céphalées intenses, halos nocturnes et une altération globale de la qualité visuelle. L'examen ophtalmologique a révélé une modification de l'axe de correction astigmatique, confirmée par une topographie cornéenne (Pentacam).

Une reprise chirurgicale a été décidée afin de repositionner correctement l'implant. L'évolution postopératoire immédiate a été marquée par une élévation de la pression intraoculaire (HTO) et une

dispersion pigmentaire. Ces complications ont été efficacement contrôlées par un traitement médical associant collyres hypotonisants et corticostéroïdes topiques.

Par la suite, l'acuité visuelle s'est entièrement rétablie, avec une disparition des symptômes visuels subjectifs (halos, distorsions), et une quasi-disparition de l'astigmatisme cornéen à la réévaluation topographique.

Inflammation (TASS syndrom) : Toxic Anterior Segment Syndrome, ou *syndrome toxique du segment antérieur*) : 1 cas (1 %)

Un cas a été rapporté chez un jeune patient ayant présenté, dès le premier jour postopératoire, un œdème cornéen important associé à une inflammation marquée du segment antérieur. L'analyse rétrospective du cas a suggéré une possible réaction à l'injection intracamérulaire de pilocarpine comme facteur déclenchant. Un traitement intensif instauré rapidement, combinant corticostéroïdes puissants par voie topique et systémique, a permis une amélioration significative de la fonction visuelle.

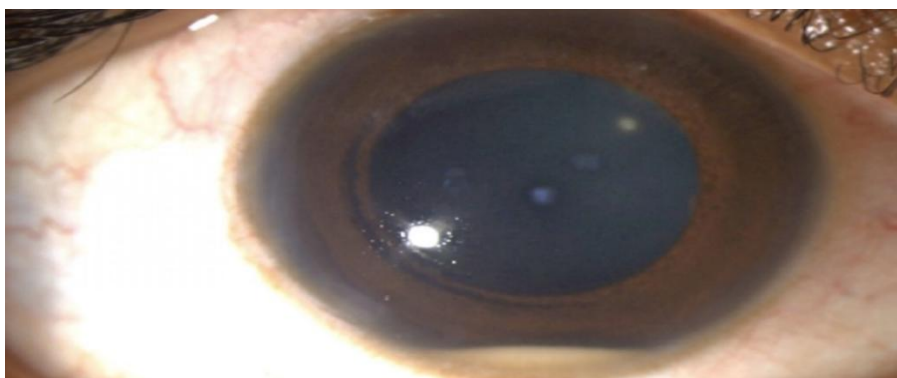


Figure 113: Vue à la lampe à fente avec un grossissement $\times 16$ Hypopyon stérile postopératoire précoce après implantation phake/HMRUC.

Au premier jour postopératoire, l'acuité visuelle se limitait au décompte des doigts. L'examen à la lampe à fente révélait une légère congestion ciliaire, un œdème cornéen modéré, ainsi qu'un hypopyon blanchâtre mobile d'environ 3 mm en chambre antérieure. La pupille apparaissait semi-dilatée (environ 6 mm) et répondait faiblement à la lumière (figure 1). Le patient rapportait une photophobie modérée, sans douleur associée. La pression intraoculaire, mesurée par tonométrie sans contact, était de 26 mm Hg. L'examen du fond d'œil ne montrait aucune atteinte du segment postérieur. Devant ce tableau clinique, le diagnostic de syndrome toxique du segment antérieur (TASS) a été retenu, écartant ainsi une endophtalmie infectieuse. Un traitement intensif instauré rapidement, combinant corticostéroïdes puissants et hypotonisants par voie topique et systémique, ainsi qu'une antibiothérapie de couverture ciprofloxacine en comprimé 750 mg deux fois par jour a permis une amélioration significative de la fonction visuelle.

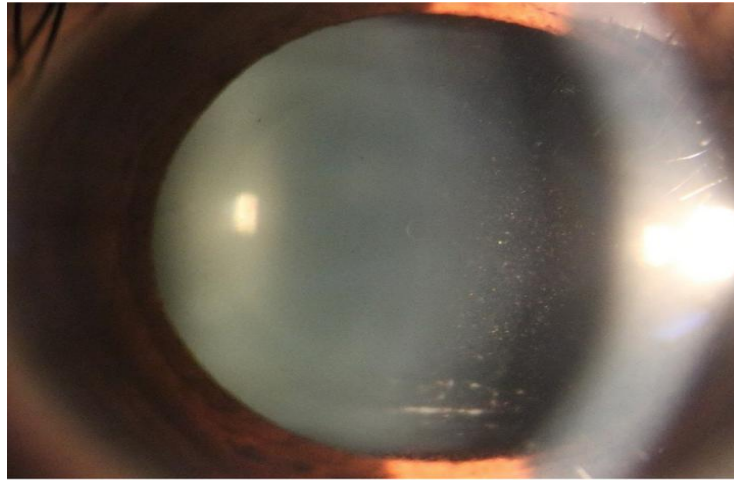


Figure 114 : Réaction inflammatoire de la chambre antérieure à 1 mois postopératoire/HMRUC.

Vue en lampe à fente montrant une réaction inflammatoire modérée avec cellules en suspension et dépôts pigmentés résiduels sur la face antérieure de l'implant ; disparition complète de l'hypopion.

A 1 MOIS 1mois postop : AVSC 4 /10 ; PRC pigmentées discret Tyndall de CA implant phaque en place pupille réactive. TO :18mmhg FO : vitré clair, absence de LPDR, microscopie spéculaire 2343 C/mm² Vault mesuré a l'OCT SA 463 μ m

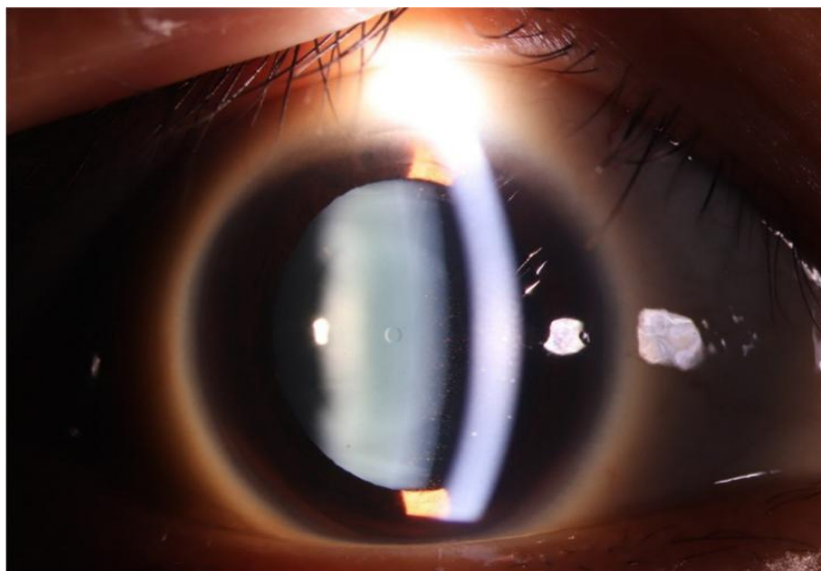


Figure 115: Aspect BM à 3 mois postopératoires/HMRUC

Aspects BM à 3 mois postopératoires avec implant clair en place chambre antérieure calme, implant bien centré, clair et présence d'un aqua port libre, sans signes de décompensation inflammatoire.

À 3 mois postop : AVSC 7/10 ; Œil calme ; TO : 12mmhg ; Vault 470 μ m ; CD 2324 c/mm² .

Cataracte post-implantation : 1 cas (1 %)

Au cours du suivi postopératoire, un patient âgé de 39 ans, fort myope (équivalent sphérique préopératoire : -16,00 D), implanté avec une lentille phake IPCL sphérique, a présenté une cataracte sous-capsulaire antérieure progressive. L'acuité visuelle a progressivement diminué, avec une perte fonctionnelle marquée, atteignant une AV corrigée de 1/10. Ce tableau a été attribué à un contact prolongé entre l'implant et la cristalloïde antérieure, favorisé par une voûte insuffisante.

Les paramètres biométriques initiaux incluaient une densité cellulaire endothéliale (DCE) de 2761 cellules/mm² et un œil calme sans autre anomalie segmentaire.

Une explantation de l'IPCL a été réalisée, suivie d'une chirurgie de la cataracte par phacoémulsification avec implantation d'une lentille intraoculaire de chambre postérieure (+3,00 D). L'évolution postopératoire a été favorable, avec une récupération d'une AV sans correction de 6/10. L'œil était calme, l'implant bien centré et l'examen du fond d'œil ne révélait aucune lésion de type LPDR.

La microscopie spéculaire réalisée à distance de la chirurgie montrait une densité cellulaire endothéliale de 2453 cellules/mm² à 12 mois, puis de 2426 cellules/mm² à 18 mois, traduisant une perte cellulaire modérée et stabilisée.

HTO (Hypertonie oculaire) : 1 cas (1 %) le cas précédent jugulé par un traitement hypotonisant oculaire

Toutefois, aucune complication majeure, telle qu'une endophtalmie ou un décollement de rétine rhégmatoïde, n'a été observée au cours du suivi.

CHAPITRE VII

DISCUSSION

7 CHAPITRES VII DISCUSSION

La gestion de la myopie forte avec ou sans astigmatisme a considérablement progressé avec l’essor de la chirurgie réfractive. Parmi les différentes alternatives thérapeutiques, l’implantation d’implants phaqes s’est affirmée comme une solution de référence, particulièrement chez les patients jeunes fortement myopes pour lesquels les techniques cornéennes telles que le LASIK ou la PKR ne sont pas indiquées [247].

L’apparition des implants phaqes de chambre postérieure, comme l’ICL (Implantable Collamer Lens) et l’IPCL (Implantable Phakic Contact Lens), a permis d’élargir les indications et d’améliorer les résultats visuels, grâce à l’évolution des matériaux et des designs qui ont renforcé la sécurité et l’efficacité tout en limitant les complications à long terme [248,249].

Les implants phaqes offrent la possibilité de corriger des amétropies importantes tout en préservant le cristallin et donc l’accommodation, un avantage essentiel chez l’adulte jeune [250]. Leur capacité à garantir une correction visuelle stable, réversible et de qualité supérieure, sans modifier l’anatomie du cristallin, en fait une option de choix, notamment lorsque les moyens optiques conventionnels (lunettes, lentilles) s’avèrent inadaptés ou mal tolérés [247].

Le choix du modèle d’implant phaue doit être fondé sur une évaluation précise de l’anatomie oculaire de chaque patient, chaque dispositif présentant ses propres avantages et risques [251]. Ainsi, une sélection rigoureuse des candidats et un suivi postopératoire attentif sont indispensables pour optimiser la sécurité et l’efficacité de cette approche. Dans cette étude, nous avons évalué les résultats réfractifs, l’efficacité, la sécurité et la prédictibilité des implants phaqes dans la myopie forte, en les confrontant aux données de la littérature internationale.

7.1 Répartition des données démographique de la population étudiée

7.1.1 Age

Tableau 53 : Comparaison des populations étudiées dans les séries publiées.

Étude / Auteurs	Année	Type d’implant	N (yeux)	Âge moyen (ans) ± ET	Intervalle / Répartition
Kamiya et al.	2018	ICL V4c	351 yeux	29,8 ± 5,1	20 – 39 ans
Guber et al	2016	ICL V4c	133 yeux	30,4 ± 6,2	22 – 40 ans
Fernández-Vega-Cueto	2018	ICL V4c	172 yeux	28,9 ± 4,7	20 – 36 ans
Niu et al. [243]	2019	ICL V4c / IPCL	204 yeux	31,2 ± 5,5	23 – 38 ans
Shimizu et al.	2016	ICL V4c	114 yeux	29,7 ± 5,0	21 – 37 ans
Notre etude	2025	ICL V4c / IPCL V2.0	100 yeux	31,5 ± 4,6	20 – 40 ans

Dans notre série, la population étudiée présentait une répartition d'âge centrée principalement sur la tranche des 31-35 ans (48,1 %), suivie des groupes 26-30 ans et 36-40 ans (chacun 24,1 %). Cette distribution illustre que l'implantation de lentilles phaqes est le plus souvent envisagée chez des adultes jeunes à la recherche d'une correction visuelle stable, mais qui souhaitent conserver leur capacité accommodative. Ce profil d'âge est cohérent avec la littérature, qui souligne que les indications de la chirurgie phaqes sont privilégiées chez les patients de 20 à 40 ans, âge où la myopie forte est généralement stabilisée et où l'accommodation est préservée ^[252,253]. Les études multicentriques comme celles de Kamiya et al. ou de Guber et al. rapportent une moyenne d'âge similaire pour les candidats à l'ICL/IPCL, comprise entre 28 et 36 ans ^[254,255].

7.1.1 Répartition selon le sexe.

Tableau 54: Répartition selon le sexe Comparaison entre les principales séries internationales et notre étude.

Etude (année)	Effectif (patients)	Hommes (%)	Femmes (%)	Sex-ratio (H/F)	Remarques
Shimizu et al., 2016 ^[256]	203	52	48	1.08	Population japonaise
Kamiya et al., 2018 ^[257]	44	44	56	0.79	Population japonaise, adultes jeunes
Packer et al., 2022 ^[258]	354	50	50	1.0	Cohorte américaine
Méta-analyses ^[259]	—	50	50	1.0	Synthèse internationale
Notre étude (2024)	60	48	52	0.92	Population algérienne, myopie forte

Dans notre série, la répartition selon le sexe des patients ayant bénéficié d'une implantation phake était équilibrée, avec 52 % d'hommes et 48 % de femmes, soit une sex-ratio proche de 1. Cette distribution montre qu'il n'existe pas de prédominance marquée d'un sexe par rapport à l'autre dans l'indication chirurgicale.

Cette tendance est retrouvée dans la majorité des grandes séries internationales (voir tableau).

7.1.2 Répartition des yeux inclus selon la latéralité

Dans notre série, la majorité des yeux ayant bénéficié d'une implantation phake l'ont été dans un contexte bilatéral (67 %), contre 25 % d'yeux droits et 8 % d'yeux gauches opérés seuls. Cette prédominance de la chirurgie bilatérale traduit la réalité clinique de la myopie forte, pathologie qui touche le plus souvent les deux yeux et justifie une correction simultanée afin d'assurer une symétrie visuelle optimale et d'améliorer la qualité de vie des patients.

Les cas unilatéraux observés dans notre étude concernaient essentiellement des patients ayant déjà bénéficié d'une PKR sur l'œil controlatéral, rendant ainsi l'implantation phake non indiquée dans ce dernier. Cette situation illustre le rôle complémentaire des différentes techniques de chirurgie réfractive en fonction du profil anatomique et réfractif de chaque patient.

Ces résultats sont en accord avec les données de la littérature récente, qui rapportent des taux de chirurgie bilatérale compris entre 60 et 72 % selon les séries internationales [260–263].

L'implantation bilatérale est désormais considérée comme la stratégie de référence, sous réserve d'une indication validée et d'un bilan préopératoire favorable.

7.1.3 Répartition selon les antécédents ophtalmologiques

Dans notre série, les antécédents ophtalmologiques révèlent une prédominance des porteurs de verres correcteurs (45 %), suivis des porteurs de lentilles de contact (28 %) et des utilisateurs combinés (27 %). Cette répartition reflète le profil typique des jeunes adultes atteints de forte myopie, souvent insatisfaits des corrections conventionnelles en raison de l'inconfort ou de la mauvaise tolérance. Le recours à la chirurgie phake apparaît ainsi comme une alternative recherchée pour sa stabilité, son efficacité et sa réversibilité.

7.1.4 Répartition des types d'amétropie

Dans notre série, la myopie simple représentait **62 %** des indications chirurgicales, tandis que l'astigmatisme myopique associé concernait **38 %** des cas. Cette répartition illustre la prédominance attendue de la myopie pure dans les indications de chirurgie phake, tout en soulignant la part non négligeable de patients présentant un astigmatisme associé nécessitant une correction adaptée par implant torique.^[264,265]

Ces résultats sont très cohérents avec les grandes séries de la littérature :

Il est désormais recommandé de traiter simultanément myopie et astigmatisme, condition essentielle pour améliorer les résultats visuels et accroître l'autonomie vis-à-vis des corrections optiques. [266,267]

La répartition observée dans notre série (62 % myopie simple, 38 % astigmatisme myopique) reflète fidèlement la réalité clinique actuelle et s'inscrit pleinement dans les tendances rapportées par la littérature internationale.

7.2 Discussions des données biométriques préopératoire :

7.2.1 Diamètre cornéen “White-to-White” (WTW)

Dans notre série, le diamètre cornéen “White-to-White” (WTW) présentait une moyenne de **12,02 ± 0,22 mm**, avec des valeurs extrêmes allant de **11,5 à 12,5 mm**. Cette variabilité est typique des populations de jeunes adultes myopes candidats à la chirurgie par implant phake.

La littérature internationale rapporte des valeurs très proches :

Tableau 55 : Diamètre cornéen (littérature internationale).

Auteur(s)	Population étudiée	WTW moyen (mm)	ET (mm)
Shimizu et al. (2016)	Divers sous-groupes	11,8 à 12,1	0,23 à 0,28
Kamiya et al. (2018)	Large cohorte japonaise	12,0 ± 0,3	0,3
Packer et al. (2022)	Patients éligibles à l'ICL (métaanalyse multicentrique)	12,0 (médiane)	Non précisé
Etude libyenne (déc. 2023– févr. 2024)	Population libyenne, 100 sujets (200 yeux)	11,71 ± 0,57	0,57
Étude chinoise multicentrique (2023)	Jeunes adultes myopes chinois, large échantillon	11,65 ± 0,38	0,38
Dan et al. (juin 2024)	Patients myopes en vue de l'implantation ICL, 1842 yeux	,11,43 ± 0,29 (Pentacam HR), 11,86 ± 0,38 (IOL-Master 700)	0,29 ou 0,38 selon méthode
Notre étude (2025)	Population locale très myope	11,95 ± 0,39	0,39

Le diamètre cornéen horizontal, ou WTW (white-to-white), reste le paramètre le plus couramment utilisé pour le dimensionnement des implants phaqes. Sa simplicité de mesure et son intégration dans les calculateurs des fabricants expliquent sa large diffusion en pratique clinique. Toutefois, plusieurs travaux ont souligné ses limites : le WTW reflète une mesure externe de la cornée et n'est pas toujours corrélé à la largeur interne du sulcus ciliaire, qui constitue en réalité la zone de contact des haptiques de l'ICL [Choi et al., 2007 ; Reinstein et al., 2013].^[268,269] Cette discordance peut conduire à des variations de voûte, avec un risque de sous- ou de surdimensionnement.

Pour pallier ces limites, certaines équipes ont proposé l'utilisation d'examens plus sophistiqués, tels que l'UBM ou l'OCT du segment antérieur, permettant de mesurer directement la distance sulcus-to-sulcus (STS) ou la largeur de la chambre antérieure (ATA). Ces méthodes se sont révélées plus précises pour prédire la voûte postopératoire [Nakamura et al., 2018 ; Nakamura et al., 2020],^[270,271] mais elles demeurent moins accessibles en routine clinique. Une méta-analyse de Packer [2016] a néanmoins montré que, malgré ses imperfections, le WTW reste un indicateur robuste et que les différences avec les méthodes basées sur le STS ne sont pas statistiquement significatives.

Dans notre série, les valeurs de WTW mesurées exclusivement au Pentacam se situaient dans les plages de référence rapportées par la littérature internationale (11,0 à 13,0 mm). L'utilisation systématique du Pentacam a permis d'uniformiser la méthode de mesure, évitant les biais liés à la variabilité inter-examineur. Bien que certains auteurs aient rapporté une tendance du Pentacam à surestimer légèrement le WTW par rapport à la mesure manuelle [Ang et al., 2018]^[272], cette homogénéité méthodologique a renforcé la fiabilité de notre protocole.

Les résultats cliniques obtenus confirment la pertinence de cette approche : aucun cas de réintervention pour voûte inadéquate n'a été observé, contrairement aux taux rapportés dans les grandes séries internationales (0,47 % à 0,80 %) [Packer, 2022].^[273,274] Ce constat suggère que, bien utilisé et interprété dans son contexte, le WTW demeure un outil fiable et efficace pour le dimensionnement des implants phaqes, surtout lorsqu'il est associé à une sélection rigoureuse des patients.

7.2.2 Pachymétrie centrale

Les données de la littérature nord-africaine et française rapportent des valeurs très proches :

Tableau 56 : Pachymétrie Centrale

Étude / Population	Effectif	Pachymétrie centrale moyenne (μm)	Référence
Mahjoub et al. (Tunisie, 2021) ^[275]	608 yeux (adultes)	522 ± 37 (461–655)	Mahjoub I, et al. J Fr Ophtalmol.
El Chehab et al. (Maghreb, 2020) ^[103]	Maghrébins vs Français	518 ± 36 (Maghrébins)	El Chehab H, et al. J Fr Ophtalmol.
Littérature européenne (synthèse) ^[28]	Adultes européens	520–550	Synthèse revues européennes
Notre étude (2025)	100 yeux	$505,50 \mu\text{m} \pm 23,57 \mu\text{m}$.	Présente série

Notre étude révèle une proportion significative de cornées $\leq 500 \mu\text{m}$ chez les patients forts myopes, ce qui pourrait refléter soit une spécificité ethnique ou régionale, soit un lien possible entre myopie élevée et amincissement cornéen.

En comparaison, les résultats de Mahjoub et al. et El Chehab et al. Confirment également des valeurs légèrement inférieures à la moyenne européenne, suggérant que les populations nord-africaines présentent souvent une pachymétrie plus réduite.

La littérature européenne place les normes de référence entre 520 et 550 μm , ce qui reste légèrement au-dessus de la moyenne observée dans notre cohorte et celles des autres études maghrébines.

- Conséquences pratiques :

1. Indication chirurgicale prudente : La proportion importante de cornées $\leq 500 \mu\text{m}$ doit inciter à la prudence, notamment en cas d'association à d'autres facteurs de risque d'ectasie.
2. Choix du type d'implant phake : Une pachymétrie fine pourrait influencer le positionnement de l'implant et l'évaluation de la sécurité vis-à-vis de l'endothélium.

3. Individualisation des seuils : Ces résultats soutiennent l'idée que les seuils standards occidentaux ne sont pas toujours transposables à toutes les populations, et justifient une approche personnalisée dans la sélection des patients.

7.3 Données chirurgicales

Tableau 57 : Données Chirurgicales.

Étude (année)	ICL (%)	IPCL (%)	Diamètre moyen (mm)	Puissance moyenne (D)	Anesthésie Topique (%)	ALR (%)	AG (%)	Remarques
Kamiya et al., 2018	100	0	12,7	-11,8 ± 2,9	94	6	0	Japon, ICL
Rizk et al., 2019	62	38	12,8 ± 0,35	-12,1	91	8	1	Égypte, ICL/IPCL
Guber et al., 2016	100	0	12,6 ± 0,35	-12,0 ± 2,8	92	7	1	Suisse, ICL,
Lisa et al., 2015	100	0	12,6 ± 0,4	-11,7 ± 2,4	95	5	0	Italie, ICL
Shimizu et al., 2016	100	0	12,5 ± 0,3	-12,3 ± 2,5	94	6	0	Japon ICL
Packer et al., 2022	91	9	12,7	-12,2	93	7	0	Méta-analyse
Ekram et al., 2022	0	100	12,6	-13,5 ± 1,5	0	100	0	Égypte, IPCL
Notre étude (2025)	56	44	12,7 ± 0,39	-12,0 ± 2,46	91	9	2	Algérie, ICL/IPCL, forte myopie

Ce tableau met en lumière la grande homogénéité des pratiques à l'échelle internationale en matière de chirurgie par implant phake chez le myope fort, tout en soulignant quelques spécificités selon les régions et l'évolution technologique.

Type d'implant

Dans notre série, la répartition ICL/IPCL = 56 % / 44 % reflète l'introduction progressive de l'IPCL V2.0, élargissant les indications. Historiquement, les séries asiatiques et européennes plus anciennes étaient quasi entièrement ICL, tandis que les cohortes récentes rapportent une montée des alternatives (Packer *et al.*, 2022 : 9 % d'IPCL). Dans notre contexte, l'essor de l'IPCL tient à des facteurs économiques (coût moindre), logistiques (meilleure disponibilité, délais plus courts) et techniques (chargement simplifié, courbe d'apprentissage plus brève), alors que l'ICL requiert une instrumentation dédiée et un repérage axial plus exigeant pour les modèles toriques. Malgré cela, l'ICL conserve une place centrale grâce à son recul

clinique (≥ 20 ans) et à des données à long terme ($\geq 5-10$ ans) attestant stabilité réfractive, profil de sécurité établi et faibles taux de réintervention, notamment avec les versions à orifice central. En pratique, le choix ICL vs IPCL intègre à la fois les critères cliniques et les contraintes réelles (coût, logistique, maniabilité) ; lorsque la prévisibilité à long terme et le niveau d'évidence priment, l'ICL tend à être privilégié. Enfin, la littérature comporte peu d'études comparatives directes sur l'efficacité et la sécurité des deux implants, d'où la nécessité d'études comparatives plus robustes (cohortes prospectives ou essais randomisés) avec des critères harmonisés (SE résiduel, cylindre, AVSC/AVAC, stabilité, vault/rotation des toriques, PIO, pertes endothéliales, réinterventions, qualité de vie).

Dimensionnement de l'implant

Le diamètre moyen des implants dans notre série (12,7 mm ; 12,1–13,2 mm) est conforme aux standards rapportés par les principales séries internationales (12,5–12,8 mm), traduisant le respect des recommandations biométriques et minimisant le risque de **vault** inadapté.

Pour les diamètres extrêmes, la littérature recommande une prudence particulière :

- **< 12,0 mm** → risque de vault excessif, nécessitant parfois des mesures complémentaires comme le *sulcus-to-sulcus* (Kojima et al., 2016).
- **> 13,0 mm** → risque de vault insuffisant et de cataracte antérieure, pouvant justifier des implants sur mesure (Tang et al., 2020).

Les études (Packer, 2022 ; Ang et al., 2018) montrent qu'une approche multimodale (WTW + ACD + sulcus) augmente la précision du sizing, surtout pour les valeurs extrêmes. Nos résultats, conformes aux grandes séries, valident notre protocole et soulignent l'importance d'une adaptation individualisée pour les cas atypiques.

Puissance de l'implant :

Dans notre cohorte, la puissance moyenne des implants (≈ -12 D) correspond aux données de la littérature sur la myopie forte (-11 à -13 D). Les implants phaqes (ICL/IPCL) se distinguent par leur large plage de correction (-3 à -23 D pour la myopie, jusqu'à $+10$ D pour l'hypermétropie), ce qui permet une adaptation personnalisée, y compris pour les myopies extrêmes inaccessibles aux techniques cornéennes classiques.

Au-delà des aspects biométriques, leur diffusion répond aux attentes croissantes des patients, désireux de se libérer des lunettes ou lentilles et d'obtenir une correction stable et réversible. La demande croissante de chirurgie réfractive, soutenue par les progrès technologiques et la vulgarisation de la technique, traduit une évolution sociétale où la liberté visuelle et la qualité de vie constituent des enjeux majeurs.

Type d'anesthésie :

Dans notre cohorte, l'anesthésie topique a été utilisée dans 91 % des cas, en accord avec les grandes séries internationales (> 85 %), où elle s'impose comme référence pour sa sécurité, son confort et sa récupération rapide (Sanders et al., 2007 ; Kamiya et al., 2018). L'ALR et l'anesthésie générale restent limitées à des cas particuliers. Les données de la littérature montrent un taux de complications peropératoires très faible avec la topique (< 1 %), contre un risque accru d'effets indésirables locaux ou systémiques avec les autres techniques. Cette convergence de résultats confirme que nos pratiques sont pleinement alignées avec les standards actuels et garantissent une prise en charge optimale du myope fort par implant phake.

7.4 Discussions des résultats postopératoires

Tableau 58 : Résultats Postopératoires (Littérature Internationale).

Author	UDVA (logMAR)	CDVA (logMAR)	Safety Index	Efficacy Index
Shimizu et al. (2012)	-0.20 ± 0.12	-0.25 ± 0.06	1.13 ± 0.24	1.03 ± 0.30
Alfonso et al. (2013)	0.009 ± 0.062	-0.015 ± 0.032	1.01	1.00
Lisa et al. (2015)	0.028 ± 0.055	0.003 ± 0.013	1.04	1.00
Cao et al. (2016a)	0.118 ± 0.096	0.018 ± 0.035	1.42 ± 0.34	1.11 ± 0.19
Yan et al. (2018)	0.84 ± 0.28*	1.00 ± 0.27*	1.24 ± 0.26	1.03 ± 0.23
Kojima et al. (2018)	-0.23 ± 0.09	-0.25 ± 0.07	1.21 ± 0.20	1.18 ± 0.22
Alfonso et al. (2019)	0.13 ± 0.10	0.19 ± 0.08	1.09 ± 0.36	0.87 ± 0.26
Martínez-Plaza et al. (2019)	-0.08 ± 0.07	-0.09 ± 0.07	1.13	1.12
Wan et al. (2019) SE (-12.13 to -18D)	0.01 ± 0.02	0.01 ± 0.02	1.04 ± 0.20	1.03 ± 0.24
Niu et al. (2020)	-0.12 ± 0.06	-0.12 ± 0.06	1.11 ± 0.15	1.06 ± 0.15
Notre étude (2025)	0.10 ± 0.06	0.02 ± 0.05	1.11 ± 0.14	1.16 ± 0.13

7.4.1 Efficacité

L'évaluation de l'efficacité visuelle constitue un pilier fondamental dans l'appréciation des résultats chirurgicaux des implants phakes tels que l'ICL (Implantable Collamer Lens) ou l'IPCL (Implantable Phakic Contact Lens). Elle se fonde notamment sur l'amélioration de l'acuité visuelle sans correction (AVSC), la stabilité du résultat, et l'analyse des indices d'efficacité. Dans notre série, les résultats sont

remarquables, avec une amélioration de l'AVSC significative et progressive, dès les premières semaines postopératoires.

1.L'amélioration de l'acuité visuelle sans correction

Dans notre étude (2025), l'acuité visuelle sans correction post-opératoire moyenne est de $0,10 \pm 0,06$ logMAR, ce qui correspond approximativement à **AVSC \approx 8/10 (entre 7/10 et 9/10)**. Ce résultat, bien qu'inférieur à l'acuité maximale théorique (logMAR 0,00), se situe dans la zone de performance attendue pour les chirurgies de correction de myopie forte par implants phaqes, et reste proche de la cible fonctionnelle.

Comparaison avec la littérature

Les résultats rapportés dans les grandes séries internationales montrent une variabilité notable des valeurs de l'AVSC post-opératoire. Les études présentant les meilleures moyennes (logMAR négatif, donc meilleure que 10/10) incluent :

Kojima et al. (2018) : $-0,23 \pm 0,09$, Shimizu et al. (2012) : $-0,20 \pm 0,12$, Niu et al. (2020) : $-0,12 \pm 0,06$,
Martínez-Plaza et al. (2019) : $-0,08 \pm 0,07$.

Ces excellents résultats sont obtenus dans des cohortes asiatiques ou européennes avec une sélection rigoureuse des candidats, une précision biométrique optimisée et une expérience chirurgicale établie.^[276–278].

D'autres études, comme Alfonso et al. (2013, 2019), Lisa et al. (2015), Wan et al. (2019), rapportent des valeurs proches de zéro ($0,00$ à $0,13$ logMAR), comparables à nos résultats, ce qui suggère une efficacité visuelle fonctionnelle satisfaisante dans les conditions réelles.

À l'inverse, certaines séries, notamment Yan et al. (2018) et Niu et al. (2019), rapportent des AVSC nettement moins bonnes ($0,84 \pm 0,28$ et $0,89 \pm 0,30$ logMAR), correspondant à une acuité inférieure à 5/10. Ces différences peuvent s'expliquer par des profils de patients plus complexes (myopies extrêmes), des contextes chirurgicaux particuliers ou des objectifs réfractifs différents.

Nos résultats, avec une acuité visuelle moyenne postopératoire de $0,10$ logMAR, s'inscrivent dans la médiane des grandes séries internationales. Cette performance trouve plusieurs justifications. D'une part, la qualité du plateau technique a permis d'obtenir des mesures biométriques fiables et reproductibles : l'utilisation combinée du Pentacam, et des autoréfractomètres a permis un dimensionnement précis des implants et une exclusion rigoureuse des anomalies cornéennes subcliniques. D'autre part, la courbe d'apprentissage chirurgicale a joué un rôle essentiel : la standardisation progressive des procédures opératoires, le choix adapté de la taille des incisions en fonction de l'injecteur, et l'optimisation de la gestion

des viscoélastiques ont permis de réduire les erreurs réfractives résiduelles et d'améliorer la prédictibilité. À cela s'ajoute une sélection stricte des patients, excluant les morphologies limites (ACD insuffisante, faible densité endothéliale, kératocône fruste), ce qui a limité les situations à haut risque de sous-performance visuelle. Enfin, la rigueur du suivi postopératoire, incluant l'évaluation systématique du vault par OCT, la surveillance endothéliale et la mesure régulière de la PIO, a contribué à la fiabilité de nos données. Ainsi, si nos résultats ne surpassent pas les meilleures séries asiatiques (Kojima, Shimizu), ils apparaissent nettement supérieurs à ceux rapportés dans les cohortes de myopies extrêmes ou de cas complexes (Yan et al., Niu et al., 2019). Ce positionnement confirme que la combinaison, d'une expertise chirurgicale consolidée et d'une sélection raisonnée des patients constitue la clé d'une efficacité visuelle durable et reproductible dans la chirurgie du myope fort par implant phake.

2. Amélioration significative du SE

Dans notre série, le SE moyen est passé de $-12,33 \pm 2,66$ D en préopératoire à $-0,17 \pm 0,59$ D à 12 mois, traduisant une réduction hautement significative du défaut réfractif ($p < 0,001$, test de Wilcoxon). Ce résultat confirme l'efficacité de l'implantation de lentilles phakes dans la correction de la myopie forte, avec un résidu postopératoire modeste et compatible avec une acuité visuelle fonctionnelle satisfaisante pour la majorité des patients.

Les valeurs rapportées dans la littérature internationale varient selon les cohortes. Les meilleures séries affichent un résidu proche de l'emmétropie : Alfonso et al. (2013) $-0,03 \pm 0,19$ D, Shimizu (2016) $-0,06 \pm 0,17$ D, Kamiya (2017) $-0,08 \pm 0,17$ D, ou encore Wan (2019, myopies modérées ≤ -6 D) $-0,01 \pm 0,24$ D. D'autres travaux, en particulier sur des patients présentant des myopies très élevées ou des profils biométriques complexes, rapportent des résidus plus marqués : Niu et al. (2019) $-0,67 \pm 1,29$ D, Alfonso et al. (2019) $-0,44 \pm 0,47$ D. Dans ce contexte, nos résultats apparaissent intermédiaires : proches des séries de Lisa et al. (2015) $-0,14 \pm 0,26$ D et Ganesh et al. (2017) $-0,164 \pm 0,20$ D.

Plusieurs éléments expliquent ce positionnement. Tout d'abord, La forte proportion de myopies extrêmes dans notre cohorte a inévitablement accru la variabilité des résultats et réduit la précision prédictive des calculateurs. Ensuite, le dimensionnement a reposé exclusivement sur les données du Pentacam, sans recours systématique aux mesures directes du sulcus (UBM, OCT du segment antérieur), ce qui a pu introduire une marge d'erreur. Enfin, certaines contraintes liées à la disponibilité locale des diamètres et puissances d'implants ont parfois restreint l'optimisation du choix final.

Ces limites ont cependant été compensées par une méthodologie rigoureuse en préopératoire, reposant sur la répétition des mesures réfractives subjectives et objectives, avec vérification de la stabilité de la réfraction

au fil du temps et recours à la cycloplégie pour éliminer toute pseudo-myopie accommodative. L'intégration conjointe de ces données réfractives et biométriques dans la planification a permis de sécuriser le calcul de la puissance implantée et de réduire le risque d'erreurs. Dans notre série, la taille d'implant la plus utilisée était 12,0 mm (moyenne \approx 12 mm). Ce choix central a vraisemblablement contribué à limiter les complications, celles-ci étant rapportées plus fréquemment avec des tailles extrêmes (< 11 mm ou > 13 mm), en raison d'un vault inadapté.

Il convient enfin de rappeler que dans le cadre des myopies extrêmes, le choix de viser une légère myopie résiduelle reste volontairement prudent. Contrairement à une hypermétropie postopératoire, souvent très difficile voire impossible à tolérer pour ces patients, un résidu myopique modeste est généralement mieux accepté et offre un compromis fonctionnel satisfaisant, en particulier pour la vision de près.

En définitive, nos résultats confirment que la combinaison d'une méthodologie préopératoire stricte (réfraction répétée, cycloplégie, biométrie complète) et d'une sélection adaptée des patients permet d'atteindre une correction efficace, positionnant notre cohorte dans la plage attendue des grandes séries internationales, avec une sécurité visuelle satisfaisante.

Dans notre série, le SE moyen est passé de $-12,33 \pm 2,66$ D en préopératoire à $-0,17 \pm 0,59$ D à 12 mois, reflétant une réduction hautement significative du défaut réfractif ($p < 0,001$, test de Wilcoxon). Ce résultat traduit une correction efficace de la myopie forte, avec un résidu réfractif modeste et compatible avec une acuité fonctionnelle satisfaisante pour la majorité des patients.

Les valeurs moyennes de SE rapportées dans les grandes séries internationales après implantation de lentilles phaqes se situent généralement entre $-0,67$ D (résidu le plus élevé, Niu et al., 2019) et $+0,07$ D (résidu hypermétropique léger, Wan et al., 2019, fortes myopies). Les meilleures corrections, proches de l'emmétropie, sont observées chez :

- Wan et al. (2019, ≤ -6 D) : $-0,01 \pm 0,24$ D
- Alfonso et al. (2013) : $-0,03 \pm 0,19$ D
- Shimizu (2016) : $-0,06 \pm 0,17$ D
- Kamiya et al. (2017) : $-0,08 \pm 0,17$ D

Ces séries montrent une précision réfractive optimale, souvent obtenue dans des cohortes avec myopies modérées à fortes mais excluant les extrêmes, et bénéficiant de protocoles biométriques avancés.

Positionnement de notre étude

Avec un SE moyen de $-0,17 \pm 0,59$ D, nos résultats :

- Se rapprochent des valeurs obtenues par Lisa et al. (2015) ($-0,14 \pm 0,26$ D) et Ganesh et al. (2017) ($-0,164 \pm 0,20$ D).
- Nos résultats, bien que conformes aux objectifs, demeurent légèrement inférieurs aux séries rapportant une quasi-absence de résidu réfractif ($\leq -0,08$ D, Kamiya, Shimizu).
- Se situent toutefois nettement au-dessus des performances rapportées dans les études avec forte variabilité ou résidu marqué (Niu et al., Alfonso 2019).

Cette performance intermédiaire pourrait être liée à plusieurs facteurs : la proportion importante de myopies extrêmes dans notre cohorte, l'utilisation exclusive du Pentacam pour le dimensionnement (sans mesure directe du sulcus), et les limites liées à la disponibilité des diamètres et puissances d'implants dans notre contexte.

3. Stabilité réfractive sur 12 mois

L'analyse des valeurs moyennes du SE manifeste à 1, 3, 6 et 12 mois postopératoires ($-0,15 \pm 0,58$; $-0,18 \pm 0,60$; $-0,18 \pm 0,59$; $-0,19 \pm 0,59$ D respectivement) met en évidence une stabilité remarquable de la réfraction dès le premier mois, sans variations cliniquement significatives au-delà. Sans progression de la myopie ni modification cliniquement pertinente du cylindre

Cette stabilité précoce est un indicateur précieux du bon positionnement de l'implant et de l'absence de complications évolutives telles que la rotation ou le déplacement de l'implant. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Kamiya et al. (2014) et Guber et al. (2016), qui soulignent la stabilité à long terme du SE après implantation de lentilles ICL ou IPCL.

Aucun œil ne présente un résidu supérieur à $+1,00$ D ou inférieur à $-2,00$ D.

Ainsi, 94 % des yeux sont dans la zone cible ± 1 D autour de l'emmétropie, ce qui traduit une prédictibilité comparable, à celle rapportée dans les grandes séries internationales.

Tableau 59 : Prédicibilité Réfractive (Série Internationales).

Auteurs	% $\pm 0.50D$	% $\pm 1.00D$	SE (D)
Alfonso et al. (2013)	98.55	100	-0.03 ± 0.19
Lisa et al. (2015)	93.9	100	-0.14 ± 0.26
Shimizu (2016)	88	96	-0.06 ± 0.17
Ganesh et al. (2017)	90	100	-0.164 ± 0.20
Kamiya et al. (2017)	100	100	-0.08 ± 0.17
Garcia-de la Rosa et al. (2018)	85	86	-0.06 ± 0.77
Kojima et al. (2018)	94.7	100	0.05 ± 0.07
Alfonso et al. (2019)	67.4	90.1	-0.44 ± 0.47
Niu et al. (2019)	69	96	-0.67 ± 1.29
Wan et al. (2019) SE ($\leq -6D$)	96	100	-0.01 ± 0.24
Wan et al. (2019) SE (-12.13 to $-18D$)	81	96	0.07 ± 0.44
Notre etude 2025	67	94	-0.17 ± 0.59

Shimizu et al. (2012) rapportent 95 % des yeux dans $\pm 0,50 D$ et 100 % dans $\pm 1,00 D$ après implantation d'ICL V4.

Alfonso et al. (2013) rapportent 98,5 % des yeux dans $\pm 0,50 D$ et 100 % dans $\pm 1,00 D$.

Fernández-Vigo et al. (2017) notent une prédictibilité de 87,5 % dans $\pm 0,50 D$ et 98 % dans $\pm 1,00 D$.

Ces résultats confirment que le protocole de sélection, de sizing et de chirurgie appliquée dans notre série permet d'atteindre une correction réfractive précise et fiable, même chez des patients fortement myopes.

4.L'indice d'efficacité moyen mesuré est de 1.16, ce qui signifie que l'AVSC postopératoire est en moyenne 16 % meilleure que l'AVAC préopératoire. Cette valeur dépasse la référence de 1.0, seuil indicatif d'un résultat positif (Alfonso et al., 2013). Elle est comparable aux données publiées par Rizk et al. (2019), qui ont rapporté un indice d'efficacité de 1.25 pour l'ICL et de 1.12 pour l'IPCL, montrant que notre population atteint les standards internationaux.

La progression postopératoire est linéaire : l'AVSC passe de 7,4/10 immédiatement après chirurgie à 8,2/10 à 12 mois, avec une stabilité remarquable à chaque point de mesure (1M, 3M, 6M, 12M). L'écart-type diminue également avec le temps (de 0,07 à 0,06), suggérant un affinement des résultats visuels et une réduction de la variabilité interindividuelle. Cela est cohérent avec les observations de Kamiya et al. (2017),

qui ont souligné que l'adaptation optique cornéenne et la stabilisation de l'implant contribuent à affiner l'acuité postopératoire sur les premiers mois.

L'analyse cumulative selon Snellen montre un résultat très parlant : la proportion de patients atteignant une AV de 8/10 ou plus passe de 13 % en préopératoire à 71 % après implantation. Ce gain est non seulement statistiquement significatif, mais également cliniquement pertinent. En effet, atteindre une acuité $\geq 8/10$ sans correction constitue un objectif de référence dans les chirurgies réfractives (Sanders et al., 2007 ; Ganesh et al., 2017).

La stabilité des résultats est un autre argument en faveur de la procédure. Un seul cas de perte ≥ 3 lignes d'AVSC a été constaté (cataracte sous corticale antérieure), ce qui confirme le haut niveau de sécurité optique. La majorité des patients ont maintenu leur niveau visuel, voire l'ont amélioré : on observe un gain de 1 à 2 lignes dans plus de 65 % des cas, et ≥ 3 lignes chez 12 % des yeux, rejoignant les chiffres rapportés par Martinez-Plaza et al. (2019) sur l'IPCL.

Ces performances sont liées à plusieurs facteurs : précision biométrique (calcul du diamètre d'implant), stricte sélection des cas ($ACD \geq 2.8$ mm, topographie normale), et choix du modèle adapté (torique ou sphérique). Les implants de dernière génération offrent une meilleure stabilité, une orientation fiable dans le sulcus, et une compatibilité biomécanique accrue, limitant les aberrations de haut degré post-chirurgie.^[279–281]

Enfin, les résultats confirment que l'implantation phake est une alternative solide au LASIK chez le myope fort ou en cas de contre-indication cornéenne. Contrairement aux traitements cornéens, l'implant ne modifie pas l'architecture cornéenne, préservant ainsi l'intégrité biomécanique et optique sur le long terme (Baikoff et al., 2005).

Notre série atteint une efficacité visuelle très satisfaisante, conforme aux publications de référence sur les implants ICL et IPCL. L'amélioration de l'AVSC, l'absence de perte fonctionnelle, et la robustesse des indices d'efficacité positionnent notre étude comme un apport pertinent à la littérature actuelle dans le domaine des chirurgies réfractives par implants intraoculaires.

5. L'astigmatisme myopique et ses implications visuelles

Le cylindre postopératoire moyen est significativement réduit par rapport aux valeurs préopératoires ($-1,31 \pm 0,99$ D $\rightarrow -0,74 \pm 0,26$ D), avec une différence statistiquement significative ($p < 0,001$). Cette réduction traduit une correction efficace, bien que non complète dans tous les cas.

La faible dispersion des valeurs de cylindre à 12 mois ($ET = 0,26$) suggère une bonne stabilité réfractive. Aucun patient ne présente d'augmentation significative du cylindre après 3 mois. Ceci est en cohérence avec Lee et al. (2018), qui rapportent une stabilité de rotation avec les implants de dernière génération.

Certains cas montrent un résidu modéré, attribuable à une rotation de l'implant torique, une estimation incomplète du cylindre cornéen ou l'absence de vectorisation de l'astigmatisme induit. Selon Holland et al. (2006), une rotation de 10° réduit l'efficacité de 30 %, et 20° l'annule totalement.

Une corrélation est observée entre astigmatisme résiduel et baisse de l'AVSC : les cylindres ≥ 1 D sont associés à une AVSC $< 7/10$. Les meilleurs résultats visuels ($\geq 9/10$) sont obtenus avec un cylindre résiduel $< 0,50$ D. Kamiya et al. (2014) confirment que même un astigmatisme $< 0,75$ D peut affecter la qualité visuelle nocturne.

Nos résultats sont comparables à ceux de la littérature, avec une réduction du cylindre légèrement moindre malgré des topographies préop normales. Cette différence peut relever de facteurs procéduraux (stratégie réfractive, variations d'axe/rotation, effet de l'incision) plutôt que d'anomalies cornéennes.

La correction de l'astigmatisme myopique par implants toriques est globalement efficace et stable. Une évaluation préopératoire rigoureuse, un alignement précis, et la prise en compte de l'AIS sont essentiels pour optimiser les résultats

Tableau 60 : Astigmatisme Post Opératoire.

Étude	Réduction du cylindre (D)	Cylindre résiduel moyen (D)	% Rotation $> 10^\circ$
Kamiya et al. (2014)	-1,20	$-0,60 \pm 0,30$	6 %
Rizk et al. (2019)	-1,50	$-0,70 \pm 0,20$	3,2 %
Notre étude (2025)	-0,57	$-0,74 \pm 0,26$	2 cas (6,8 %)

7.4.2 Sécurité

La sécurité visuelle après implantation phake est évaluée à travers l'évolution de l'acuité visuelle avec correction (AVAC) ainsi que l'indice de sécurité. Une procédure est dite sécuritaire lorsque l'AVAC postopératoire est au moins équivalente, sinon supérieure, à l'AVAC préopératoire. Nous présentons ici une analyse détaillée de nos résultats à 12 mois.

7.4.2.1 *Indice de sécurité et confrontation à la littérature :*

L'indice de sécurité, défini comme le rapport AVAC postopératoire / AVAC préopératoire, est un indicateur standardisé validé par l'American Academy of Ophthalmology. Dans notre série, l'indice était de $1,03 \pm 0,34$, ce qui indique un gain visuel corrigé global. Ce résultat est comparable à ceux de Shimizu et al. (2012) ($1,13 \pm 0,24$ pour l'ICL), et de Ganesh et al. (2017) (1,24 pour l'ICL torique), témoignant d'un haut niveau de sécurité visuelle.

Les implants phakes modernes, notamment les modèles ICL V4c et IPCL V2.0, ont permis d'optimiser la sécurité grâce à leur conception plus anatomique, une meilleure stabilité dans le sulcus et une absence de contact cornéen antérieur, réduisant le risque d'endommager l'endothélium cornéen. Les données de Fernández-Vigo et al. (2018) confirment cette évolution sécuritaire, avec un taux de complications visuelles majeures faible.^[277,282,283].

En excluant les cas compliqués, une analyse par sous-groupes aurait permis d'examiner si certains profils (forte myopie, astigmatisme élevé) bénéficient d'un gain plus marqué ; néanmoins, l'élévation de l'AVAC apparaît globalement homogène., ce qui demeure compatible avec un profil de sécurité satisfaisant au regard des critères de Sanders et al. (2007).

7.4.2.2 *La stabilité de l'AVAC*

La stabilité de l'AVAC entre 1 et 12 mois confirme la robustesse des résultats dans le temps. Cette constance renforce la prédictibilité, critère déterminant pour l'acceptation d'une technique en pratique clinique. L'ensemble des performances observées est conforme aux standards rapportés par les grandes séries internationales sur les implants ICL et IPCL.

L'AVAC moyenne préopératoire était de 0,16 logMAR ($\approx 6,9/10$ Snellen), ce qui montre une bonne acuité initiale corrigée. Cette valeur s'est améliorée de façon constante après chirurgie, atteignant 0,07 logMAR ($\approx 8,5/10$) à 12 mois.

Les valeurs extrêmes de l'AVAC postopératoire indiquent une amélioration nette chez la majorité des patients : maximum jusqu'à 0,00 logMAR (vision parfaite corrigée) à partir de 3 mois postopératoires, tandis que le minimum reste contrôlé (0,76 logMAR).

7.4.2.3 *Évolution de la Pression Intraoculaire (PIO)*

Dans notre étude prospective, la pression intraoculaire (PIO) est restée globalement stable tout au long du suivi de 12 mois, sans élévation cliniquement significative au-delà de 20 mmHg. Une élévation transitoire de la PIO a été observée chez quelques patients au 1^{er} mois postopératoire, sans dépasser 24 mmHg. Ces épisodes, limités dans le temps, étaient principalement liés à des facteurs bien connus tels que l'inflammation postopératoire précoce, l'usage de corticostéroïdes topiques, ou encore la rétention transitoire de viscoélastique. Dans tous les cas, l'hypertonie oculaire a été contrôlée médicalement à l'aide de collyres hypotonisants (bêtabloquants, inhibiteurs de l'anhydrase carbonique), sans nécessiter d'intervention chirurgicale complémentaire, avec retour à une PIO normale .

Ce profil évolutif s'inscrit dans la continuité des résultats rapportés dans la littérature. Dans leur série rétrospective portant sur 66 yeux implantés avec EVO Visian ICL, Gonzalez-Lopez et al. n'ont rapporté aucun cas de PIO > 30 mmHg à quelque moment que ce soit du suivi postopératoire ^[284]. De même, Higuera-Esteban et al. ont rapporté, chez 18 yeux, une élévation légère et transitoire de la PIO au cours du premier mois, sans hypertonie chronique ni blocage pupillaire ^[285]. Enfin, Lisa et al., dans une large cohorte de 147 yeux implantés, ont observé une stabilité tensionnelle prolongée, sans élévation pathologique de la PIO au-delà de 20 mmHg durant les 12 mois de suivi ^[286].

Ces données confirment que l'implantation de lentilles phaqes de chambre postérieure (ICL/IPCL) constitue une procédure sûre sur le plan tensionnel, à condition de respecter les précautions peropératoires (irrigation complète du viscoélastique, surveillance étroite) et d'assurer un suivi médical rigoureux en phase précoce.

Tableau 61: Perte cellulaire endothéliale Post Opératoire.

Étude (année)	Type d'implant	N yeux	DCE préop (cell/mm ²)	DCE à 12 mois (cell/mm ²)	Perte % à 1 an
Fernández-Vigo et al. (2016)	ICL V4c	50	2748	2614	4,88
Moya et al. (2015)	ICL V4	144	2772	2606	5,98
Guber et al. (2016)	ICL V4	118	2845	2673	6,04
Kamiya et al. (2009)	ICL	177	2875	2736	4,83
Fernández-Vigo et al. (2020)	IPCL V2.0	60	2650	2465	4,98
Notre étude (2024)	ICL/IPCL	100	2454	2286	4,85

La densité cellulaire endothéliale (ECC) tend à diminuer après l'implantation de lentilles phaqes de chambre postérieure (ICL), de façon plus marquée durant la première année postopératoire. La numération préopératoire constitue un critère essentiel pour évaluer les risques de perte cellulaire.

La FDA américaine recommande des seuils minimaux d'ECC ajustés à l'âge, bien que fondés sur les anciens modèles sans port central.

L'essai EVO/EVO+ de la FDA rapporte une perte moyenne de 2,3 % à 6 mois, tandis que les études sur les ICL à trou central (V4c) indiquent des pertes comprises entre 0,1 % et 3,8 % à un an. Dans les suivis plus longs (> 4 ans), les pertes varient fortement (0,43 % à 21,8 %), révélant une grande hétérogénéité méthodologique.

À moyen terme, la perte semble se stabiliser après 3 ans, avec des taux cumulés de 8,4 % à 9,7 %. Le niveau initial d'ECC conditionnerait en partie le taux de perte, permettant parfois d'anticiper le risque individuel.

Deux mécanismes sont avancés pour expliquer cette perte :

1. Le traumatisme chirurgical direct de l'endothélium périphérique.
2. La proximité prolongée de l'implant avec l'endothélium périphérique, en lien avec une voûte insuffisante.

7.4.2.5 Paramètres anatomiques (Pentacam)

Tableau 62 : Paramètres anatomiques.

Paramètre	Préop	12 mois postop	Variation
ACD (mm)	3,24± 0,27	2,77± 0,26	↓ significative
ACA (°)	37,6 ± 4,2	28,2 ± 3,5	↓ significative

Dans notre étude, la profondeur de chambre antérieure (ACD) a significativement diminué de $3,24 \pm 0,27$ mm en préopératoire à $2,77 \pm 0,26$ mm à 12 mois postopératoires ($P < 0,001$). De même, l'angle irido-cornéen (ACA) a été réduit de manière significative, passant de $37,6^\circ \pm 4,2^\circ$ à $28,2^\circ \pm 3,5^\circ$ ($P < 0,001$).

Ces modifications anatomiques sont attendues après l'implantation de lentilles phaqes de chambre postérieure, qui occupent l'espace de la chambre antérieure et induisent un refoulement de l'iris vers l'avant, réduisant ainsi à la fois la profondeur centrale (ACD) et l'ouverture angulaire (ACA).

la réduction post-opératoire de l'ACD et de l'ACA est une conséquence mécanique attendue de l'implantation IPCL/ICL. Elle reste généralement bien tolérée si la voûte est maîtrisée dans les marges de sécurité. Une surveillance conjointe de ces paramètres au fil du suivi est donc indispensable pour anticiper les complications angulaires ou cristalliniennes.

Aucune corrélation forte ni statistiquement significative n'est retrouvée entre le vault et les valeurs finales d'ACD ou d'ACA dans cette étude, ce qui est cohérent avec plusieurs études (Zhang et al., 2022 ; Kamiya et al., 2018) suggérant que **le vault est multifactoriel**.

7.4.2.6 Vault postopératoire

La **voûte** (ou *vault*) représente un paramètre clé pour assurer la sécurité postopératoire après implantation de lentilles phaqes de chambre postérieure. Elle désigne la distance entre la face postérieure de l'implant et la surface antérieure du cristallin. Un équilibre précis est essentiel : une voûte insuffisante augmente le risque de formation d'une cataracte sous-capsulaire antérieure, tandis qu'une voûte excessive peut favoriser une fermeture angulaire ou un blocage pupillaire, sources potentielles d'hypertonie oculaire.

La cible du vault demeure $\approx 250\text{--}750\text{ }\mu\text{m}$ pour la majorité des yeux. Avec les modèles EVO/EVO+ dotés d'un orifice central, plusieurs études proposent toutefois une plage acceptable élargie — $\approx 150\text{--}1000\text{ }\mu\text{m}$

— sous réserve d’angles ouverts, d’une PIO normale et de l’absence de contact lentille–cristallin ; dans ce cadre, certains experts tolèrent ponctuellement des valeurs proches de 1000 μm , en privilégiant une décision d’échange guidée par les signes fonctionnels plutôt que par un seuil unique.

La voûte postopératoire dépend du diamètre de l’implant (plus grand \rightarrow voûte plus élevée), de facteurs dynamiques pupillaires, et (3) de la biométrie du segment antérieur incluant ACD, hWTW/ATA/ACW, épaisseur/élévation cristalliniennne (CLR). Les approches récentes croisent WTW/ACD avec CLR et mesures angulaires (ATA/ACW) et s’appuient sur des nomogrammes/formules (KS/NK, WL) et modèles d’IA pour améliorer la prédiction et réduire les échanges d’implants.

Dans notre cohorte on vise 250–750 μm comme objectif et l’on considère 150–1000 μm comme plage acceptable sous surveillance clinique (OCT/UBM \pm gonioscopie), avec contrôle de la PIO et vérification de l’absence de contact.

Valeurs de voûte rapportées dans la littérature

Tableau 63 : Vaulting (Série Internationale).

Auteur	Vault (μm)
Alfonso et al. (2013)	482.7 \pm 210.5
Lisa et al. (2015)	405.5 \pm 184.7
Karandikar et al. (2015)	628.2 \pm 300.1
Eissa et al. (2016)	637 \pm 125.4
Cao et al. (2016b)	499.7 \pm 244.3
Rodríguez-Una et al. (2017)	369.9 \pm 191.0
Fernández-Vigo et al. (2017)	458.3 \pm 258.4
Totsuka et al. (2017)	382.1 \pm 176.5
Lee et al. (2018a)	512 \pm 145
Yan et al. (2018)	449 \pm 167
Notre étude (2025)	403.5 \pm 97.2

La moyenne générale rapportée dans la littérature est de 486 μm .

Dans notre série, la voûte moyenne était de $415,9 \pm 103,2 \mu\text{m}$ à 1 mois et $403,5 \pm 97,2 \mu\text{m}$ à 12 mois, avec une évolution stable et sans complication.

La comparaison avec notre série révèle une concordance satisfaisante avec les données de la littérature, nos valeurs se situant légèrement en deçà de la moyenne tout en demeurant bien au sein de la zone de sécurité.

L'analyse statistique réalisée sur notre échantillon de 100 yeux montre une corrélation de Pearson entre l'âge des patients et l'augmentation du vault mesuré à 12 mois postopératoires de $r = -0.27$, avec une $p\text{-value} = 0.007$.

Ce résultat est statistiquement significatif et indique une tendance inversement proportionnelle : à mesure que l'âge augmente, le vault tend à diminuer. Cela peut être attribué à l'augmentation progressive de la courbure antérieure du cristallin liée à l'âge, réduisant ainsi l'espace disponible entre l'implant et le cristallin. Ces résultats confirment les observations précédentes dans la littérature : Alfonso et al. (2012) ont déjà rapporté une relation inverse entre l'âge et le vault après implantation de l'ICL, avec un impact clinique important pour la sélection de la taille de l'implant. Chez les patients plus âgés, un sizing plus prudent est recommandé afin d'éviter un contact cristallinien et une possible cataracte.

Une corrélation modérément positive a été observée entre la taille de l'implant et la voûte mesurée à un mois postopératoire ($r \approx +0,47$; $p \approx 0,009$), indiquant une relation statistiquement significative., les implants de plus grande taille (13,2 mm) tendent à produire une voûte plus importante comparativement aux tailles inférieures (12,0 mm et 12,2 mm). Ce constat rejoint les données de la littérature, qui soulignent qu'un surdimensionnement de l'implant augmente la voûte et expose à des complications.

Dans notre série, un seul cas de cataracte (1 %) a été recensé, survenu à la suite d'un retournement peropératoire d'un implant IPCL au moment de l'injection. Cet événement, d'origine mécanique et post-traumatique, est typiquement associé aux modèles à géométrie symétrique (IPCL V1/V2.0).

Il se distingue du mécanisme le plus souvent rapporté dans la littérature, où la cataracte résulte d'une voûte insuffisante ($< 250 \mu\text{m}$) entraînant un contact prolongé entre l'implant et le cristallin.

Les études récentes consacrées aux modèles de dernière génération (EVO/EVO+) confirment une incidence particulièrement faible de cette complication et suggèrent un effet protecteur de l'orifice central (*aquaPORT*), qui favorise une meilleure circulation de l'humeur aqueuse et contribue à préserver la transparence cristallinienne.^[287]; plusieurs séries à 5–8 ans rapportent des taux de 0–1 % de cataracte cliniquement significative. Dans notre cas, le retournement n'a été identifié qu'au 1er mois, entraînant un contact prolongé et une cataracte corticale antérieure rapidement traitée par phakoémulsification, avec issue favorable.

Le retournement d'implant, rare mais connu, est plus probable avec des modèles symétriques (IPCL V2.0).

On a procédé à une vérification rigoureuse de l'orientation lors de l'injection pour prévenir cet événement. Puis mettre en place une surveillance OCT du vault dès M1, avec contrôle de la position et de la symétrie de l'implant, afin d'assurer un dépistage précoce et une prise en charge rapide.

7.4.3 Les incidents postopératoires observés

Dans notre série de 100 yeux opérés par implantation de lentilles phaqes de chambre postérieure (ICL ou IPCL), nous avons observé une tolérance postopératoire globale, à **93 %** des cas n'ayant présenté aucun incident. Ce résultat témoigne d'un profil de sécurité élevé pour cette technique chirurgicale, en cohérence avec les séries les plus récentes de la littérature internationale [287–289].

Tableau 64 : Complication Post Opératoire.

-	Année	Type de complication	Facteurs associés	Référence
Zeng et al	2017	Remplacement ICL (2,6 %)	Vault insuffisant/excessif	Ref. [290]
Rayner et al	2016	Remplacement ICL (1,6 %)	Vault excessif	Ref. [291]
Bhikoo et al	2018	Remplacement ICL (1,4 %)	Vault <180 µm	Ref. [292]
Lee et al	2020	Cataracte ASC (2,1 %)	Vault non mesuré, myopie élevée	Ref. [293]
Alfonso et al	2019	Cataracte ASC (0,61 %)	Vault <100 µm dans 70 % des cas	Ref. [294]
Brar et al	2021	Cataracte (0,8 %)	50 % non liées à l'ICL	Ref. [295]
Igarashi et al	2016	Cataracte ASC/nucéaire (19,6 %)	Âge élevé	Ref. [296]
Schmidinger et al	2013	Cataracte (17 %)	Myopie sévère, vault bas	Ref. [297]
Guber et al	2021	HTO (12 %), Cataracte (54,8 %)	Âge élevé, myopie élevée	Ref [298]
Igarashi et al	2016	Perte DCE : -6,2 % à 8 ans	Suivi long terme	Ref. [296]
Alfonso et al	2015	Perte DCE : -7,5 % à 5 ans	Suivi long terme	Ref. [299]

Parmi les 7 % de complications observées, les plus fréquentes ont été la rotation (2 %) et l'inversion de l'implant (2 %). La rotation concerne principalement les implants toriques (TICL ou IPCL Toric). Lorsque l'implant tourne de plus de 10°, la correction de l'astigmatisme devient inefficace, justifiant une reprise chirurgicale. Kamiya et al rapportent un taux de rotation significative de 1,1 % chez les patients porteurs de TICL, tandis que Sachdev et al. observent une réintervention dans 1,5 % des cas malgré une bonne stabilité rotationnelle des ICL V4c [300].

L'inversion de l'implant, bien que rare, constitue une complication potentiellement grave, notamment si elle entraîne une hypervoûte excessive ou un contact prolongé avec l'iris. Elle résulte d'une mauvaise orientation de l'implant lors de l'injection. Shimizu et al. insistent sur la nécessité d'une vigilance accrue au moment du positionnement pour éviter ce type d'erreur [288,301].

L'hypertonie oculaire (HTO) a été observée dans un cas (1 %). Ce phénomène peut être transitoire, lié à l'inflammation postopératoire, à une rétention de viscoélastique, à un blocage pupillaire ou à un syndrome inflammatoire stérile tel que le TASS (Toxic Anterior Segment Syndrome). Moya et al. ont décrit une incidence de HTO postopératoire de 1,6 %, généralement bien contrôlée par traitement médical [287].

Une **inflammation** modérée, manifestée par un Tyndall +++, a été observée dans un œil (1 %) ; elle a régressé rapidement sous traitement corticoïde topique. Ce type de réaction est bien documenté dans la littérature, notamment dans la série de Guber et al., qui soulignent une faible incidence d'uvéite antérieure chez les patients porteurs d'implants phaqes modernes [302].

Enfin, **aucun cas d'endophtalmie** n'a été observé. Cette absence témoigne d'un respect rigoureux des protocoles d'asepsie et de la bonne maîtrise technique. Les publications internationales rapportent une incidence extrêmement faible de cette complication (<0,05 %) [288,289].

En somme, les résultats observés dans notre cohorte confirment un niveau élevé de sécurité de l'implantation phake lorsqu'elle est réalisée dans des conditions rigoureuses de sélection et d'exécution. Les complications restent rares et, lorsqu'elles surviennent, sont le plus souvent réversibles si prises en charge précocement.

CHAPITRE VIII
RECOMMANDATIONS
CLINIQUES

8 CHAPITRE VIII : RECOMMANDATIONS CLINIQUES

8.1 Perspectives de l'avenir

- Suivi à long terme : Prolonger le suivi au-delà de 5 à 10 ans afin d'évaluer la stabilité réfractive, le risque de cataracte et l'évolution de la PIO. Documenter les changements de vault liés à l'âge.
- Optimisation du dimensionnement : Développer des algorithmes locaux intégrant ACD, WTW, ATA et STS pour améliorer la prédictibilité du vault dans la population nord-africaine. Encourager l'utilisation de l'imagerie avancée (OCT segment antérieur, UBM) pour un dimensionnement plus personnalisé.
- Études comparatives : Comparer directement ICL STAAR EVO et IPCL V2.0 en termes de performance visuelle, complications et coût-efficacité. Explorer l'intérêt de combiner pIOL avec chirurgie cornéenne (bioptics : ICL + LASIK/PRK) dans les myopies extrêmes.
- Qualité de vie et retentissement fonctionnel : Intégrer des questionnaires de qualité de vie (NEI-VFQ, QoV) pour mesurer l'impact visuel au-delà des paramètres objectifs. Évaluer les performances visuelles en conditions mésopiques et les aberrations d'ordre supérieur.
- Intelligence artificielle et personnalisation : Développer des modèles prédictifs basés sur l'IA pour anticiper le vault, la stabilité réfractive et les risques de complications. Utiliser le machine learning pour personnaliser la sélection des candidats.

8.2 Recommandations pratiques :

Sélection des patients : Réserver l'indication aux patients jeunes, avec myopie forte à extrême, non éligibles aux techniques cornéennes. Exiger une ACD $\geq 2,8$ mm et une ECC ≥ 2000 cellules/mm². Exclure les cas de kératocône non stable avec astigmatisme très irréguliers

- Glaucome ou pathologies rétinienne évolutives.
- Précision biométrique : Privilégier des mesures combinées (WTW, ATA, STS, ACD) pour optimiser le choix de la taille de l'implant. Vérifier la reproductibilité des mesures entre différents appareils.
- Suivi postopératoire rigoureux : Contrôles systématiques à J1, S1, M1, M3, M6, puis annuels. Surveillance du vault, de la PIO, de l'ECC et de la transparence cristallinienne.
- Gestion des complications : Détecter précocement un vault excessif ou insuffisant (risque de glaucome ou de cataracte). Prévoir une prise en charge adaptée : explantation ou remplacement si nécessaire.
- Intégration régionale et formation : Mettre en place des registres nationaux pour consolider les données. Développer des programmes de formation continue pour familiariser les chirurgiens aux spécificités des pIOL.

CONCLUSION

En somme, l'implantation de lentilles phaqes de chambre postérieure (ICL/IPCL) s'impose aujourd'hui comme une option de référence pour la correction des myopies fortes, en particulier chez les sujets jeunes présentant une cornée fine, une kératométrie élevée ou une contre-indication aux techniques cornéennes ablatives.

Elle assure une correction stable, prévisible et réversible, avec dans notre série une amélioration significative de l'acuité visuelle sans correction, une réduction marquée de l'erreur réfractive et un haut niveau de satisfaction des patients.

Les modèles toriques offrent une prise en charge fine et stable de l'astigmatisme myopique, tandis que les générations récentes — EVO ICL et IPCL V2.0 —, dotées d'un orifice central d'aquaPORT, présentent un excellent profil de sécurité, pour peu qu'une sélection rigoureuse des candidats, un dimensionnement personnalisé et un suivi attentif du vault soient respectés.

L'apport de l'intelligence artificielle contribue désormais à renforcer cette individualisation en optimisant le choix de la taille d'implant à partir des biométries fines (ACD, WTW, CLR, STS), via des algorithmes intégrés aux plateformes cliniques (OCOS, formules KS enrichies IA), réduisant ainsi les risques de sur- ou de sous-dimensionnement.

Parallèlement, l'émergence d'implants presbytie-corrigeants (multifocaux ou EDOF, tels que le VIVA ICL), l'intégration de l'imagerie peropératoire et la miniaturisation des incisions ouvrent la voie à une chirurgie phakorefractive toujours plus précise, moins invasive et hautement personnalisée.

Cette étude constitue la première série algérienne documentée consacrée à l'évaluation clinique et biométrique des implants phaqes modernes. Ses résultats encourageants confirment la faisabilité, la sécurité et l'efficacité de cette technique dans notre contexte, tout en soulignant la nécessité de sa diffusion au sein des structures hospitalo-universitaires nationales.

En Algérie, le développement de cette chirurgie d'excellence repose sur la formation continue des opérateurs, la maîtrise des méthodes de sizing, et l'accès élargi aux implants de dernière génération, garants d'une prise en charge moderne des fortes amétropies.

À ce titre, la chirurgie phake représente bien plus qu'une alternative : elle incarne une nouvelle ère de la correction réfractive, alliant précision, sécurité et personnalisation, ouvrant la voie à une véritable révolution visuelle au service des patients myopes de demain.

ANNEXES

ANNEXE 1 : FICHE DE CONSENTEMENT

Je soussigné Mme/Melle/M..... donne mon consentement éclairé, après avoir reçu toutes les informations, concernant l'étude qui sera réalisé par le **Dr Abdelkader BENYAHIA**, et après avoir obtenu les réponses satisfaisantes à mes questions.

Fait en double exemplaire, à..... Le.....

ANNEXE 2 – FICHE PRÉ- ET PER-OPÉRATOIRE – IMPLANTATION PHAKE ICL / IPCL

Service : Ophtalmologie / HMRUC/5°RM

Nom et Prénom : _____

Âge : _____ Sexe : ☐ M ☐ F

Numéro dossier : _____

Antécédents ophtalmiques : ☐ PVC ☐ PLC ☐ PVC/PLC

1. TYPE DE CORRECTION CHIRURGICALE

Type d'implant	<input type="checkbox"/> ICL STAAR EVO+	<input type="checkbox"/> IPCL V2.0
Correction prévue	<input type="checkbox"/> Sphérique	<input type="checkbox"/> Torique

2. INDICATION CHIRURGICALE

Indication ☐ Myopie forte ☐ Astigmatisme associé

3. DONNÉES OPHTALMOLOGIQUES PRÉOPÉRATOIRES

a. Réfraction subjective

Œil	Sphère (D)	Cylindre (D)	Axe (°)	AV corrigée (logMAR)	SE préop (D)
-----	------------	--------------	---------	----------------------	--------------

OD : _____

OS : _____

b. Acuité visuelle sans correction (AVSC) :

- OD : _____ logMAR (_____/10)
- OS : _____ logMAR (_____/10)

c. SE postopératoire cible :

- OD : _____ D
- OS : _____ D

d. Examen ophtalmologique

Paramètre	OD	OS
LAF :	Cornée : ___ Iris ___ : ___ Crystallin : ___	Cornée : ___ Iris : ___ Crystallin : ___
TO :	___ mmHg	___ mmHg
Gonioscopie	Angle ouvert / étroit / autre (préciser)	Angle ouvert / étroit / autre (préciser)
FO	Papille : ___ Rétine : ___ Macula : ___ LPDR	Papille : ___ Rétine : ___ Macula : ___ LPDR

4. BILAN TOPOGRAPHIQUE ET BIOMÉTRIQUE

Paramètre	OD	OS
Kératométrie (K1 / K2)		
Topographie cornéenne	<input type="checkbox"/> Normale <input type="checkbox"/> Suspicion <input type="checkbox"/> Ectasie	<input type="checkbox"/> Normale <input type="checkbox"/> Suspicion <input type="checkbox"/> Ectasie
Pachymétrie centrale (μm)		
ACD (mm)		
AIC (angle irido-cornéen, °)		
VCA (volume chambre antérieure, mm^3)		
WTW (White-to-White, mm)		
Longueur axiale (AL, mm)		
Cellules endothéliales ($/\text{mm}^2$)		
Hexagonalité (microscopie spéculaire)		

5. PARAMÈTRES DE L'IMPLANT

Paramètre	OD	OS
Méthode de dimensionnement	Caliper <input type="checkbox"/> Pentacam <input type="checkbox"/> OCT-A <input type="checkbox"/> STS <input type="checkbox"/>	Caliper <input type="checkbox"/> Pentacam <input type="checkbox"/> OCT-A <input type="checkbox"/> STS <input type="checkbox"/>
Puissance sphérique (D)		
Puissance cylindrique (D)		
Axe de l'implant (°)		
Taille de l'implant (mm)		

6. CHIRURGIE PROGRAMMÉE

- Œil à opérer : OD ☐ OS ☐ Bilatéral ☐
- Incision chirurgicale prévue :
 - Site : Supérieure ☐ Temporale ☐
 - Taille : 3,2 mm ☐ 2,8 mm ☐
 - Type de viscoélastique utilisé : _____
- Date d'intervention prévue : __ / __ / 20__
- Chirurgien : __ Dr A.BENYAHIA _____

7. DONNÉES PEROPÉRATOIRES

Élément	Observations
Anesthésie	Topique <input type="checkbox"/> Péri-bulbaire <input type="checkbox"/> Anesthésie générale (AG) <input type="checkbox"/>
Durée de l'intervention	_____ min
Difficultés techniques	_____
Incidents peropératoires	Aucun <input type="checkbox"/> Blessure capsulaire <input type="checkbox"/> Malposition implant <input type="checkbox"/> Mauvais déploiement de l'implant <input type="checkbox"/> Retournement de l'implant <input type="checkbox"/> Autre : _____

8. DONNÉES POSTOPÉRATOIRES PRÉCOCES

Paramètre	OD	OS
AV non corrigée (logMAR)		
Vaulting mesuré (µm)		
Tension intraoculaire		
CD		
Complications précoces	Aucune <input type="checkbox"/> Hyphéma <input type="checkbox"/> Hypertonie <input type="checkbox"/> Inflammation <input type="checkbox"/> Décentration implant <input type="checkbox"/> Autre <input type="checkbox"/>	Aucune <input type="checkbox"/> Hyphéma <input type="checkbox"/> Hypertonie <input type="checkbox"/> Inflammation <input type="checkbox"/> Décentration implant <input type="checkbox"/> Autre <input type="checkbox"/>

9. COMPLICATIONS POSTOPÉRATOIRES TARDIVES

- Cataracte
- Glaucome secondaire
- Perte de cellules endothéliales
- Décalage de l'implant
- Sous- ou sur-correction réfractive

10. CALENDRIER DE SUIVI POSTOPERATOIRE (12 MOIS) – ICL/IPCL

Temps	Examens/Paramètres à surveiller
J0 (6-24h postop)	<ul style="list-style-type: none">• Interrogatoire (douleur, vision)• LAF (position implant, inflammation, chambre antérieure)• Tension oculaire (TO)• AV non corrigée• Vaulting (OCT SA)
J1 (24h)	<ul style="list-style-type: none">• AV avec et sans correction• LAF• TO• Complications précoces
J7 (1 semaine)	<ul style="list-style-type: none">• AV avec et sans correction• LAF • TO• Vaulting• Complications précoces
M1 (1 mois)	<ul style="list-style-type: none">• AV avec et sans correction• LAF (cicatrisation, inflammation résiduelle) • TO • FO• Vaulting (OCT/UBM) • Pentacam• Cellules endothéliales
M3 (3 mois)	<ul style="list-style-type: none">• AV avec et sans correction• LAF • TO • FO• Vaulting • Cellules endothéliales • Pentacam
M6 (6 mois)	<ul style="list-style-type: none">• AV avec et sans correction • LAF • TO • FO• Cellules endothéliales • Pentacam • Vaulting
M12 (12 mois)	<ul style="list-style-type: none">• AV avec et sans correction • LAF • TO • Vaulting • FO • Cellules endothéliales

SIGNATURES

Médecin responsable : _____ Date : __ / __ / 20__

Signature du patient : _____

BIBLIOGRAPHIE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

1. BA Holden et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*. 2016;123(5):1036-42.
2. Barsam A, Allan BD. Excimer laser refractive surgery versus phakic intraocular lenses for the correction of moderate to high myopia. Cochrane Database of systematic reviews *cdsr/doi/10.1002/14651858*.
3. Waring GO. Comparison of Refractive Corneal Surgery and Phakic IOLs. *J Refract Surg. mai 1998;14(3):277-9*.
4. Koivula A, Petrelius A, Zetterström C. Clinical outcomes of phakic refractive lens in myopic and hyperopic eyes: 1-year results. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2005;31(6):1145-52.
5. Ang M, Gatinel D, Reinstein DZ, Mertens E, Alió del Barrio JL, Alió JL. *Refractive surgery beyond 2020*. *Eye*. 2021;35(2):362-82.
6. Alió JL, Toffaha BT, Peña-García P, Soria FA, Abdou AA. Phakic intraocular lenses for the correction of myopia: where are we now? *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2019;45(10):1396-409.
7. Chang JY, Lin PY, Hsu CC, Liu CJL. Comparison of clinical outcomes of LASIK, Trans-PRK, and SMILE for correction of myopia. *Journal of the Chinese Medical Association*. 2022;85(2):145-51.
8. Damgaard IB, Ang M, Farook M, Htoon HM, Mehta JS. Intraoperative Patient Experience and Postoperative Visual Quality After SMILE and LASIK in a Randomized, Paired-Eye, Controlled Study. *J Refract Surg. févr 2018;34(2):92-9*.
9. Kamiya K, Shimizu K, Igarashi A, Kobashi H. Visual and refractive outcomes of LASIK, PRK, and SMILE for myopia: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*. 2017;124(7):979-92.
10. Li L, Yuan L, Yang K, Wu Y, Hua X, Wang Y, Yuan X. Comparative analysis of IOL power calculations in postoperative refractive surgery patients: a theoretical surgical model for FS-LASIK and SMILE procedures. *BMC Ophthalmol*. 16 oct 2023;23(1):416.
11. Reinstein DZ, Archer TJ, Gobbe M. Small incision lenticule extraction (SMILE): history, fundamentals of a new refractive surgery technique and clinical outcomes. *Eye and Vision*. 2014;1:3.
12. Reinstein DZ, Archer TJ, Vida RS, Carp GI, Reinstein JFR, McAlinden C. Objective and Subjective Quality of Vision After SMILE for High Myopia and Astigmatism. *J Refract Surg. juill 2022;38(7):404-13*.
13. Sarkar S, Devi P, Vaddavalli PK, Reddy JC, Bharadwaj SR. Differences in image quality after three laser keratorefractive procedures for myopia. *Optometry and Vision Science*. 2022;99(2):137-49.
14. Bianchi GR. Initial results from a new model of posterior chamber implantable phakic contact lens: IPCL V2.0. Medical Hypothesis Discovery and Innovation *Ophthalmology Journal*. 2019;8(2):57-63.
15. Elkareem AM, Hussein FA. Visual outcome of implantable phakic contact lens for correction of high myopia. *Egyptian Journal of Ophthalmology*. 2022;15(3):150-5.

16. Elkareem AM, Nooreldin A. Visual and safety outcomes of a new implantable phakic contact lens in patients with a high degree of myopia. *Delta Journal of Ophthalmology*. 2021;22(3):192-200.
17. Taneri S, Dick HB. Comparison of Toric Implantable Collamer Lens and Toric Implantable Phakic Contact Lens for Correction of Myopic Astigmatism. *The Open Ophthalmology Journal*. 2022;16:e187436412204050.
18. Fernández-Vega-Cueto L, Lisa C, Esteve-Taboada JJ. EVO Visian implantable Collamer lens with a central port: a review. *Eye and Vision*. 2022;9:10-10.
19. Guber I, Mouvet V, Bergin C, Perritaz S, Majo F. Clinical outcomes and cataract formation rates in eyes 5 years after posterior phakic lens implantation. *JAMA Ophthalmology*. 2021;139(10):1103-10.
20. Packer M. The Implantable Collamer Lens with a central port: review of the literature. *Clinical Ophthalmology*. 2018;12:2427-38.
21. Shimizu K, Kamiya K, Igarashi A. Long-term comparison of posterior chamber phakic intraocular lens with and without a central port. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2022;48(2):150-6.
22. Jiliang Ning et al. Bibliometric analysis of phakic intraocular lens research (2000–2024). *Front Med*. 2024;11:1400.
23. Long Q, Zhang W, Zheng R, al et. Five-year results of EVO-ICL implantation for myopia: A retrospective study. *Frontiers in Medicine*. 2023;10:1206696.
24. Kamal A, Mahmoud M, Abousetta A, Aboulfotouh O. Visual outcome of implantable phakic contact lens (IPCL) for correction of high myopia. *Egyptian Journal of Ophthalmology*. 2022;55(1):26-30.
25. Vasavada VD, Praveen MR, Vasavada AR, others. Initial clinical outcomes of two different phakic posterior chamber intraocular lenses in high myopia: A comparative study. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. 2021;259:2277-84.
26. Zhou X, Wang Y, Ai L, Wu Y, Wang W, Chen Q. Five-year outcomes of EVO Implantable Collamer Lens implantation for high myopia: a multicenter study. *Eye and Vision*. 2021;8(1):37.
27. Wang Y, Zhao K, Jin Y. Corneal Thickness Profile and Corneal Volume in Healthy Eyes: A Meta-analysis and Systematic Review. *Cornea*. 2020;39(7):896-903.
28. La Rosa FA, Gross RL, Orengo-Nania S. Central corneal thickness of Caucasians and African Americans in glaucomatous and nonglaucomatous populations. *Archives of ophthalmology*. 2001;119(1):23-7.
29. Hashemi H, Beiranvand A, Yekta A, Khabazkhoob M. Global and regional estimates of prevalence of refractive errors: Systematic review and meta-analysis. *J Curr Ophthalmol*. 2019;31(1):3-22.
30. Zhang Y, Chen H, Wang Y, al et. Global trends and frontiers in implantable collamer lens research: a bibliometric analysis from 2000 to 2023. *Int J Ophthalmol*. 2024;17(2):345-55.
31. Zhang Q, Gong D, Li K, al et. From Inception to Innovation: Bibliometric Analysis of the Evolution, Hotspots, and Trends in Implantable Collamer Lens Surgery Research. *Front Med (Lausanne)*. 2024;11:1432780.
32. Ye Y, Xian Y, Liu F, al et. Comparison of Monovision Surgery Using ICL V4c or Femtosecond Laser LASIK for Myopia Correction in Presbyopia Age Patients. *Sci Rep*. 2025;15:7629.

33. Modabber M. *ICL Implantation for More Myopes*. 2024.
34. Lisa C, Alfonso J, Palacios A, al et. Multicenter Clinical Outcomes of Hole Implantable Collamer Lens Implantation in Myopic Eyes. *Sci Rep*. 2022;12:4567.
35. Alfonso J, Fernández-Vega-Cueto L, Lisa C, al et. Clinical and Aberrometric Outcomes of a New Implantable Collamer Lens for Myopia and Presbyopia Correction in Phakic Patients. *J Refract Surg*. 2023;39(9):589-96.
36. Alfonso J, Lisa C, Palacios A, others. Posterior chamber collagen copolymer phakic intraocular lenses with and without a central hole: A comparative study. *American Journal of Ophthalmology*. 2015;160(3):532-539.e1.
37. Fujisawa K, Shimizu K, Uga S, al et. Influence of central hole of ICL on aqueous humor dynamics and vault after implantation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2021;47(2):174-82.
38. Lisa C, Naveiras M, Alfonso J, others. Posterior chamber phakic intraocular lens with a central hole: Three-year follow-up. *Journal of Refractive Surgery*. 2018;34(4):228-34.
39. Packer M, Rajan M, Ligabue E. Safety and effectiveness of the Visian implantable collamer lens for myopia and myopic astigmatism: 3-year results from a multicenter study. *Ophthalmology*. 2022;129(2):147-57.
40. Shimizu K, Kamiya K, Igarashi A, Shiratani T, Kobashi H. Efficacy and safety of implantable collamer lens implantation with a central hole (hole ICL) for moderate to high myopia: 1-year follow-up. *American Journal of Ophthalmology*. 2016;166:1-10.
41. Hashemian H, Jabbarvand M, Miraftab M, et al. Outcomes and complications of implantable collamer lens and toric implantable collamer lens for the correction of high myopia with and without astigmatism: *One year prospective study*. *Clin Exp Optom*. 2013;96(3):370-5.
42. Mahmoud A, AttaAllah H. Comparative study of toric implantable collamer lens and toric implantable phakic contact lens implantation in high myopia with astigmatism. *Open Ophthalmol J*. 2022;16:e187436412204050.
43. Luo Z, Zhou Y, Guo Y, et al. Four-year visual outcomes of EVO-ICL implantation versus SMILE in high myopia: a retrospective cohort study. *BMC Ophthalmol*. 2023;23:84.
44. Modabber M. ICL Implantation for More Myopes [Internet]. ESCRS EuroTimes. 2024. Disponible sur: escrs.org/channels/eurotimes-articles/icl-implantation-for-more-myopes/
45. Kamiya K, Shimizu K, Fujisawa K, al et. Machine learning models for predicting optimal implantable collamer lens size using anterior segment optical coherence tomography parameters. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2022;48(2):195-202.
46. Liu X, Luo L, Zhang Y, al et. Development and validation of an artificial intelligence-based method for prediction of vault after implantable collamer lens implantation. *Eye and Vision*. 2023;10(1):11.
47. Sun Y, Chen H, Xie X, al et. Artificial intelligence-assisted prediction model for vault after ICL implantation using swept-source optical coherence tomography. *Translational Vision Science & Technology*. 2021;10(12):12.

48. Xiao L, Wang X, Lin L, al et. Artificial intelligence for phakic intraocular lens sizing based on anterior segment optical coherence tomography and deep learning. *American Journal of Ophthalmology*. 2023;247:30-8.
49. Meeney A, Mudhar HS. Histopathological reporting of corneal pathology by a biomedical scientist: the Sheffield Experience. *Eye*. févr 2013;27(2):272-6.
50. Olsen T. On the calculation of power from curvature of the cornea. *British Journal of Ophthalmology*. 1986;70(2):152-4.
51. Gatinel D. Topographie cornéenne. 2e éd. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2014. (*Atlas en ophtalmologie*).
52. Hoffmann DM, Hütz WW. Variations in central corneal thickness during the day: impact on IOP measurement. *British Journal of Ophthalmology*. 2005;89(1):50-2.
53. Iyamu E, Osuobeni EP, Bolarinwa SA. Ethnic differences in central corneal thickness and intraocular pressure. *Clinical Ophthalmology*. 2011;5:227-32.
54. Mimouni M, Hashemi H, Fotouhi A, al et. The relationship between central corneal thickness and refractive error in a population-based cohort. *Eye (London)*. 2013;27(7):787-92.
55. Hashemi H, Khabazkhoob M, Yekta A, Jafarzadehpur E, Emamian MH, Fotouhi A. Distribution of corneal thickness, curvature, and diameter in a large population of Iranian school children. *Cornea*. 2017;36(6):684-90.
56. Wu R, Wang F, Chen X, Xu M, Jin X, Sun M, Zhang Z, Zhang X, Zhou X. Age-related changes in corneal thickness and endothelial cell density in Chinese children and adults. *Cornea*. 2018;37(10):1280-6.
57. Bourges JL. La cornée. *Elsevier Health Sciences*; 2020.
58. Bourne WM. Biology of the corneal endothelium in health and disease. *Eye (London)*. 2003;17(8):912-8.
59. Thuret G, Muraine M, Gain P. L'endothélium cornéen: rapport 2020. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2020.
60. Niu L, Miao H, Han T, Ding L, Wang X, Zhou X. Visual outcomes of Visian ICL implantation for high myopia in patients with shallow anterior chamber depth. *BMC Ophthalmol*. déc 2019;19(1):121.
61. Alward WL. *Color atlas of gonioscopy*. Wolfe; 1994.
62. Lim DH, Lee MG, Chung ES, Chung TY. Clinical results of posterior chamber phakic intraocular lens implantation in eyes with low anterior chamber depth. *American journal of ophthalmology*. 2014;158(3):447-54.
63. LEVY P. L'implant phaue ICL en 2020: état de l'art et perspectives d'avenir. [cité 29 mars 2025]; Disponible sur: *Journal Français d'Ophtalmologie*.
64. Craven ER, Chopra V, Goldberg JL, Marion KM, Chen X, Chang CT, Chen MY. Comparison of Iridocorneal Angle Assessments in Open-Angle Glaucoma and Ocular Hypertension Patients: Anterior Segment Optical Coherence Tomography and Gonioscopy. *OPHTH*. avr 2022;Volume 16:1301-12.

65. Anatomy of the Human Crystalline Lens. In: Posterior Capsular Rent [Internet]. New Delhi: Springer India; 2017 [cité 8 juill 2025]. p. 13-6. Disponible sur: link.springer.com/10.1007/978-81-322-3586-6_2
66. Fanny D. Concepts de base de l'accommodation. *Revue Francophone d'Orthoptie*. juill 2020;13(3):106-9.
67. He JC. Refractive Index Measurement of the Crystalline Lens in Vivo. *Optometry and Vision Science*. 2022;10-1097.
68. Baudouin C, Labbé A, Puech M. La nouvelle imagerie du segment antérieur. *Laboratoires Théa*; 2009.
69. Dubbelman M, Van der Heijde GL, Weeber HA. The thickness of the aging human lens obtained from corrected Scheimpflug images. *Optometry and Vision Science*. 2001;78(6):411-6.
70. Choi KH, Chung SE, Chung TY, Chung ES. Ultrasound Biomicroscopy for Determining Visian Implantable Contact Lens Length in Phakic IOL Implantation. *J Refract Surg*. avr 2007;23(4):362-7.
71. Baikoff G. Anterior segment OCT and phakic intraocular lenses: a perspective. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2006;32(11):1827-35.
72. Zhu Q, Zhu W, Chen W, others. A prediction model for sulcus-to-sulcus diameter in myopic eyes: a 1466-sample retrospective study. *BMC Ophthalmology*. 2022;22(1):307.
73. Qu D, Yu J, Zhou Y. Comparison of the reliability of corneal curvature and eccentricity measurements in myopic eyes using four different devices. *Frontiers in Medicine*. 2025;12:1519992.
74. Kamiya K, others. Comparison of vault after implantation of posterior chamber phakic intraocular lens with and without a central hole. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2009;35(6):1012-7.
75. Emre S, others. Comparison of Anterior Segment Parameters between Cases with Myopia and Emmetropia. *Turkish Journal of Clinical and Experimental Ophthalmology*. 2021;12(3):145-50.
76. Biermann J, others. Evaluation of ciliary sulcus diameter using ultrasound biomicroscopy in emmetropic eyes and myopic eyes. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2011;37(9):1686-93.
77. Abdu M, Gammoh Y, Abd Alla H. Differences in Axial Length and Anterior Chamber Depth among Keratoconic, Myopic and Emmetropic Eyes. *Pakistan Journal of Ophthalmology*. 2023;39(4).
78. Denis D, Bui Quoc E, Aziz-Alessi A. Ophtalmologie pédiatrique: rapport 2017 de la Société française d'ophtalmologie (SFO). *Elsevier Masson, Issy-les-Moulineaux*; 2017.
79. Dolgin E. The myopia boom. *Nature*. 2015;519(7543):276.
80. Wojciechowski R. Nature and nurture: the complex genetics of myopia and refractive error. *Clinical Genetics*. avr 2011;79(4):301-20.
81. Zheng YF, Pan CW, Chay J, Wong TY, Finkelstein E, Saw SM. The economic cost of myopia in adults aged over 40 years in Singapore. *Investigative ophthalmology & visual science*. 2013;54(12):7532-7.
82. Han X, Liu C, Chen Y, He M. Myopia prediction: a systematic review. *Eye*. 2022;36(5):921-9.

83. Surico PL, Parmar UPS, Singh RB, Farsi Y, Musa M, Maniaci A, Lavallo S, D'Esposito F, Gagliano C, Zeppieri M. Myopia in Children: Epidemiology, Genetics, and Emerging Therapies for Treatment and Prevention. *Children*. 2024;11(12):1446.
84. Ovenseri-Ogbomo G, Osuagwu UL, Ekpenyong BN, Agho K, Ekure E, Ndep AO, Ocansey S, Mashige KP, Naidoo KS, Ogbuehi KC. Systematic review and meta-analysis of myopia prevalence in African school children. *PLoS One*. 2022;17(2):e0263335.
85. Nouri MT, Hartani D, Tiar M, Chachoua L, Terfani Y, Badji S. Enquête nationale sur les pathologies oculaires cécitantes en Algérie en 2008. *Revue internationale du trachome et de pathologie oculaire tropicale et subtropicale et de santé publique*. 2010;87:141-63.
86. Hsu WM, Cheng CY, Liu JH, Tsai SY, Chou P. Prevalence and causes of visual impairment in an elderly Chinese population in Taiwan: the Shihpai Eye Study. *Ophthalmology*. 2004;111(1):62-9.
87. Ikuno Y. Overview of the complications of high myopia. *Retina*. 2017;37(12):2347-51.
88. Saw S, Gazzard G, Shih-Yen EC, Chua W. Myopia and associated pathological complications. *Ophthalmic Physiologic Optic*. sept 2005;25(5):381-91.
89. BALDWIN WR, MILLS D. A longitudinal study of corneal astigmatism and total astigmatism. *Optometry and Vision Science*. 1981;58(3):206-11.
90. Attebo K, Ivers RQ, Mitchell P. Refractive errors in an older population: the Blue Mountains Eye Study. *Ophthalmology*. 1999;106(6):1066-72.
91. Stein R. Posterior Chamber Phakic Intraocular Lens: Indications, Contraindications, Technique, and Postoperative Management. *CRO Journal posterior-chamber-phakic-intraocular-lens-indications-contraindications-technique-and-postoperative-management*
92. S'anchez-Gonz'alez JM, Alonso-Aliste F, Guti'érrez-Torres L, others. Comparison of visual and refractive outcomes of phakic intraocular lenses and corneal refractive surgery in high myopia. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. 2023;261(5):1271-9.
93. Packer M. Meta-analysis and review: effectiveness, safety, and central port design of the implantable collamer lens. *Clinical Ophthalmology*. 2016;10:1059-77.
94. Moshirfar M, McCaughey MV, Reinstein DZ, others. Phakic Intraocular Lenses: A Review of the Literature. Medical Hypothesis, *Discovery & Innovation in Ophthalmology*. 2016;5(3):101-11.
95. Lisa C, Naveiras M, Alfonso-Bartolozzi B, Belda-Salmer'on L, Palacios A, Alfonso JF. Long-term evaluation of the central hole phakic posterior chamber intraocular lens in patients with high myopia: 5-year follow-up. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2021;47(1):38-44.
96. Kamiya K, Shimizu K, Igarashi A, Kobashi H. Visual and refractive outcomes of posterior chamber phakic intraocular lens implantation for low to moderate myopia. *British Journal of Ophthalmology*. 2018;102(7):911-5.
97. Igarashi A, Shimizu K, Kamiya K. Eight-year follow-up of posterior chamber phakic intraocular lens implantation for moderate to high myopia. *American Journal of Ophthalmology*. 2014;157(3):532-539.e1.

98. Guber I, Mouvet V, Bergin C, Perritaz S, Majo F. Visual Outcomes and Patient Satisfaction after Posterior Chamber Phakic Intraocular Lens Implantation. *Ophthalmology and Therapy*. 2020;9(1):117-28.
99. Zayats T, Yanovitch T, Creer RC, McMahon G, Li YJ, Young TL, Guggenheim JA. Myocilin polymorphisms and high myopia in subjects of European origin. *Molecular vision*. 2009;15:213.
100. Young TL, Ronan SM, Drahozal LA, Wildenberg SC, Alvear AB, Oetting WS, Atwood LD, Wilkin DJ, King RA. Evidence that a locus for familial high myopia maps to chromosome 18p. *The American Journal of Human Genetics*. 1998;63(1):109-19.
101. Young TL, Ronan SM, Alvear AB, Wildenberg SC, Oetting WS, Atwood LD, Wilkin DJ, King RA. A second locus for familial high myopia maps to chromosome 12q. *The American Journal of Human Genetics*. 1998;63(5):1419-24.
102. Sedaghat MR, Momeni-Moghaddam H, Gazanchian M, Reinstein DZ, Archer TJ, Randleman JB, Hosseini SR, Nouri-Hosseini G. Corneal Epithelial Thickness Mapping After Photorefractive Keratectomy for Myopia. *J Refract Surg. oct 2019;35(10):632-41*.
103. Abtahi MA, Beheshtnejad AH, Latifi G, Akbari-Kamrani M, Ghafarian S, Masoomi A, Sonbolastan SA, Jahanbani-Ardakani H, Atighechian M, Banan L, Nouri H, Abtahi SH. Corneal Epithelial Thickness Mapping: A Major Review. Taneri S, éditeur. *Journal of Ophthalmology*. 2 janv 2024;2024:1-28.
104. Ozalp O, Atalay E. Biometric Determinants of Epithelial Thickness Profile Across a Wide Range of Refractive Errors. *Ophthalmol Ther. juin 2022;11(3):1089-100*.
105. Zha Y, Feng W, Han X, Cai J. Evaluation of myopic corneal diameter with the Orbscan II Topography System. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. févr 2013;251(2):537-41*.
106. Shen M, Fan F, Xue A, Wang J, Zhou X, Lu F. Biomechanical properties of the cornea in high myopia. *Vision research*. 2008;48(21):2167-71.
107. Dupuis MM. Étude de la longueur axiale périphérique et de sa relation avec la réfraction périphérique chez des myopes. 2022 [cité 16 févr 2025]; Disponible sur: <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/26892>
108. Wojciechowski R, Cheng CY. Involvement of multiple molecular pathways in the genetics of ocular refraction and myopia. *Retina*. 2018;38(1):91-101.
109. Metlapally R, Wildsoet CF. Scleral mechanisms underlying ocular growth and myopia. *Progress in molecular biology and translational science*. 2015;134:241-8.
110. Wojciechowski R. Nature and nurture: the complex genetics of myopia and refractive error. *Clinical Genetics*. avr 2011;79(4):301-20.
111. Gatinel D. Myopie forte et lentilles de contact [Internet]. 2025 [cité 14 juill 2025]. Disponible sur: <https://www.gatinel.com/recherche-formation/myopie-forte-et-lentilles-de-contact/>
112. Ilardi V. Renaissance Vision from Spectacles to Telescopes. *American Philosophical Society*; 2007. 408 p.
113. Berthélémy S. Le port des lentilles de contact. *Actualités Pharmaceutiques*. 2015;54(547):37-40.

114. Katz J, Schein OD, Levy B, Cruiscullo T, Saw SM, Rajan U, Chan TK, Khoo CY, Chew SJ. A randomized trial of rigid gas permeable contact lenses to reduce progression of children's myopia. *American journal of ophthalmology*. 2003;136(1):82-90.
115. Wagner H, Richdale K, Mitchell GL, Lam DY, Jansen ME, Kinoshita BT, Sorbara L, Chalmers RL, Group CS. Age, behavior, environment, and health factors in the soft contact lens risk survey. *Optometry and Vision Science*. 2014;91(3):252-61.
116. Aitsebaomo AP, Wong-Powell J, Miller W, Amir F. Influence of scleral lens on intraocular pressure. *Journal of Contact lens Research and Science*. 2019;3(1):e1-9.
117. Cope JR, Collier SA, Rao MM, Chalmers R, Mitchell GL, Richdale K, Wagner H, Kinoshita BT, Lam DY, Sorbara L. Contact lens wearer demographics and risk behaviors for contact lens-related eye infections—United States, 2014. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*. 2015;64(32):865-70.
118. Malet F, George MN, Vayr F. Les lentilles de contact [rapport présenté à la] Société française d'ophtalmologie. Issy-les-Moulineaux: Elsevier, Masson; 2009.
119. Denis D. Ophtalmologie Pédiatrique: *Rapport SFO 2017*. Elsevier Health Sciences; 2017.
120. Chia A, Lu QS, Tan D. Five-year clinical trial on atropine for the treatment of myopia 2: myopia control with atropine 0.01% eyedrops. *Ophthalmology*. 2016;123(2):391-9.
121. Chua WH, Balakrishnan V, Chan YH, Tong L, Ling Y, Quah BL, Tan D. *Atropine for the treatment of childhood myopia*. *Ophthalmology*. 2006;113(12):2285-91.
122. Polling JR, Kok RGW, Tideman JWL, Meskat B, Klaver CCW. Effectiveness study of atropine for progressive myopia in Europeans. *Eye*. 2016;30(7):998-1004.
123. Trokel SL, Srinivasan R, Braren B. Excimer laser surgery of the cornea. *American journal of ophthalmology*. 1983;96(6):710-5.
124. Aslanides IM, Kymionis GD. Trans advanced surface laser ablation (TransPRK) outcomes using SmartPulseTechnology. *Contact Lens and Anterior Eye*. 2017;40(1):42-6.
125. Carones F, Vigo L, Scandola E, Vacchini L. Evaluation of the prophylactic use of mitomycin-C to inhibit haze formation after photorefractive keratectomy. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2002;28(12):2088-95.
126. Coelho LM, Sieiro RO. Mitomycin C 0.02 and 0.002% efficacy in preventing haze after photorefractive keratectomy. *Int Ophthalmol*. févr 2019;39(2):341-5.
127. Netto MV, Mohan RR, Sinha S, Sharma A, Gupta PC, Wilson SE. Effect of Prophylactic and Therapeutic Mitomycin C on Corneal Apoptosis, Cellular Proliferation, Haze, and Long-term Keratocyte Density in Rabbits. *J Refract Surg*. juin 2006;22(6):562-74.
128. Teus MA, de Benito-Llopis L, Alió JL. Mitomycin C in corneal refractive surgery. *Survey of ophthalmology*. 2009;54(4):487-502.
129. Xu H, Liu S, Xia X, Huang P, Wang P, Wu X. Mitomycin C Reduces Haze Formation in Rabbits After Excimer Laser Photorefractive Keratectomy. *J Refract Surg*. mai 2001;17(3):342-9.
130. Ağca A, Çakır İ, Tülü Aygün B, Yaşa D, Yıldırım Y, Yıldız BK, Demirok A. Visual and Refractive Outcomes of Small-Incision Lenticule Extraction in High Myopia: 5-Year Results. *Journal of Ophthalmology*. 21 oct 2018;2018:1-6.

131. Rückl T, Dexl AK, Bachernegg A, Reischl V, Riha W, Ruckhofer J, Binder PS, Grabner G. Femtosecond laser-assisted intrastromal arcuate keratotomy to reduce corneal astigmatism. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2013;39(4):528-38.
132. Alió JL, Amparo F, Ortiz D, Moreno L. Corneal multifocality with excimer laser for presbyopia correction. *Current opinion in ophthalmology*. 2009;20(4):264-71.
133. Krueger RR, Thornton IL, Xu M, Bor Z, van den Berg TJ. Rainbow glare as an optical side effect of IntraLASIK. *Ophthalmology*. 2008;115(7):1187-95.
134. Moshirfar M, Desautels JD, Quist TS, Skanchy DF, Williams MT, Wallace RT. Rainbow glare after laser-assisted in situ keratomileusis: a review of literature. *OPHTH. nov 2016;Volume 10:2245-9*.
135. Zhang Y, Chen Y guo. High incidence of rainbow glare after femtosecond laser assisted-LASIK using the upgraded FS200 femtosecond laser. *BMC Ophthalmol. déc 2018;18(1):71*.
136. U.S. Food & Drug Administration. FDA approves VisuMax Femtosecond Laser for small incision lenticule extraction (SMILE) to correct myopia. 2018; Disponible sur: www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-approves-visumax-femtosecond-laser-small-incision-lenticule-extraction-smile-correct-myopia
137. Reinstein DZ, Archer TJ, Gobbe M. Small incision lenticule extraction (SMILE) history, fundamentals of a new refractive surgery technique, and clinical outcomes. *Eye and Vision*. 2014;1(3):1-11.
138. Ang M, Mehta JS, Chan C, Tan DTH. Small incision lenticule extraction (SMILE): clinical results and advantages over LASIK. *Clinical Ophthalmology*. 2017;11:775-82.
139. Sekundo W, Kunert K, Blum M. Small incision corneal refractive surgery using femtosecond laser: clinical results in 6 months follow-up. *Journal of Refractive Surgery*. 2011;27(7):512-8.
140. Gatinel D. SMILE : indications, limites et perspectives actuelles. *Journal Francais d'Ophtalmologie*. 2022;45(8):783-92.
141. Denoyer A, Landman E, Trinh L, Faure J, Auclin F, Baudouin C. Dry eye disease after refractive surgery: comparative outcomes of small incision lenticule extraction versus LASIK. *Ophthalmology*. 2015;122(4):669-76.
142. Wei C, Liu J, Zhang C, Liu JY, Lu YM. Clinical outcomes of SMILE and WFG-LASIK used to treat myopia and astigmatism: A systematic review and meta-analysis. *Journal Français d'Ophtalmologie*. 2024;47(4):104085.
143. Coskunseven E, Kymionis GD, Tsiklis NS, Atun S, Arslan E, Siganos CS, Jankov M, Pallikaris IG. Complications of intrastromal corneal ring segment implantation using a femtosecond laser for channel creation: a survey of 850 eyes with keratoconus. *Acta Ophthalmologica. févr 2011;89(1):54-7*.
144. Ang M, Gatinel D, Reinstein DZ, Mertens E, Alió del Barrio JL, Alió JL. *Refractive surgery beyond 2020*. *Eye*. 2021;35(2):362-82.
145. Seiler T. Clear lens extraction in the 19th century-an early demonstration of premature dissemination [Internet]. Vol. 15, *Journal of refractive surgery*. SLACK Incorporated Thorofare, NJ; 1999 [cité 14 avr 2025]. p. 70-3. Disponible sur: <https://journals.healio.com/doi/abs/10.3928/1081-597X-19990101-14>

146. Fukala. Operative Behandlung der höchstgradigen Myopie durch Aphakie. Graefes Archiv für *Ophthalmologie*. août 1890;36(2):230-44.
147. Lee KH, Lee JH. Long-term results of clear lens extraction for severe myopia. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 1996;22(10):1411-5.
148. Colin J, Robinet A, Cochener B. Retinal detachment after clear lens extraction for high myopia: seven-year follow-up. *Ophthalmology*. 1999;106(12):2281-5.
149. Colin J, Robinet A, Cochener B. RETINAL DETACHMENT AFTER CLEAR LENS EXTRACTION FOR HIGH MYOPIA. *Evidence-Based Ophthalmology*. 2000;1(3):172-3.
150. Güell JL, Morral M, Kook D, Kohnen T. Phakic intraocular lenses: Part 1: Historical overview, current models, selection criteria, and surgical techniques. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. nov 2010;36(11):1976-93.
151. Apple DJ, Mamalis N, Loftfield K, Googe JM, Novak LC, Kavka-Van Norman D, Brady SE, Olson RJ. Complications of intraocular lenses. A historical and histopathological review. *Survey of ophthalmology*. 1984;29(1):1-54.
152. Alio JL. Refractive surgery with phakic IOLS: *Fundamentals and clinical practice*. 2012.
153. Alió JL, Toffaha BT. Refractive surgery with phakic intraocular lenses: an update. *International ophthalmology clinics*. 2013;53(1):91-110.
154. Malet F, contributors. Les implants phaqes : indications et techniques. In: Les lentilles de contact Rapport SFO 2009. *Elsevier Masson*; 2009. p. 237-61.
155. Elies D. History of Phakic Intraocular Lenses. *Image courtesy of Daniel Elies, MD Presentation slide*. 1998;
156. Miraftab M, Hashemi H, Asgari S. Matched optical quality comparison of 3-year results of PRK–MMC and phakic IOL implantation in the correction of high myopia. *Eye*. 2015;29(7):926-31.
157. Amer I, Ziada HA, Elgazzar AF, Abdella WS, Abdelgbar AA, Goda I, Amer RS, Abdel-Rahman Osman HO, Mohamed SA, Mansour MN, Alsadawy Hassan M, El Gabbar AGA, Hamed MA. Safety and efficacy of implantable phakic contact lens versus implantable collamer lens in myopia correction. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol*. 31 janv 2024;12(4):160-7.
158. Alfonso J, Lisa C, Palacios A, others. Posterior chamber phakic intraocular lenses to correct high myopia: five-year follow-up. *J Cataract Refract Surg*. 2011;37(4):595-604.
159. Kamiya K, Shimizu K, Igarashi A, Kobashi H. Visual and refractive outcomes of posterior chamber phakic intraocular lens implantation for low to moderate myopia: 3-year follow-up. *Am J Ophthalmol*. 2014;157(6):1289-1295.e1.
160. Shimizu K, Kamiya K, Igarashi A, others. Evaluation of intraocular pressure after implantation of posterior chamber phakic intraocular lens with a central hole (Hole-ICL). *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2016;254(3):495-500.
161. Surgical S. EVO Visian ICL with KS-AquaPORT Technology [Internet]. 2024 [cité 14 juill 2025]. Disponible sur: <https://evoicl.com/about-evo-icl/how-evo-icl-works/>
162. India CG. IPCL V2.0 (Implantable Phakic Contact Lens) Product Information [Internet]. 2024 [cité 14 juill 2025]. Disponible sur: <https://www.caregroupindia.com/ipcl-v2-0/>

163. Sachdev GS et al. Ramamurthy D, Devgan U. Safety and efficacy of a new posterior chamber phakic intraocular lens with central hole. *J Cataract Refract Surg.* 2019;45(5):415-20.
164. Moshirfar M et al. Implantable phakic contact lens sizing and vault prediction: comparative evaluation. *Clin Ophthalmol.* 2022;16:2955-63.
165. Surgical S. EVO Visian ICL Clinical Reference Guide: Vault Measurement [Internet]. 2024 [cité 14 juill 2025]. Disponible sur: <https://evoicl.com/clinical-guide/>
166. Guber I, Mouvet V, Bergin C, Perritaz S, Majo F. Clinical outcomes and cataract formation rates in eyes 5 years after posterior phakic lens implantation for myopia. *Journal of Cataract and Refractive Surgery.* 2016;42(5):728-35.
167. Wei R, Li M, Aruma A, Knorz MC, Yang D, Yu Y, Wang X, Choi J, Yao P, Zhou X. Factors leading to realignment or exchange after implantable collamer lens implantation in 10 258 eyes. *Journal of Cataract & Refractive Surgery.* 2022;48(10):1190-6.
168. Reinstein DZ, Archer TJ, Vida RS, Piparia V, Potter JG. New Sizing Parameters and Model for Predicting Postoperative Vault for the Implantable Collamer Lens Posterior Chamber Phakic Intraocular Lens. *J Refract Surg. mai 2022*;38(5):272-9.
169. Rocamora L, Orlando JI, Lwowski C, Kohnen T, Mertens E, Van Keer K. Postoperative vault prediction for phakic implantable collamer lens surgery: LASSO formulas. *Journal of Cataract & Refractive Surgery.* 2023;49(2):126-32.
170. OCOS STAAR AG – STAAR Surgical Online Calculation & Ordering System [Internet]. [cité 7 mai 2025]. Disponible sur: <https://ocos.staarag.ch/landing/>
171. Thompson V, Cummings A, Wang X. Implantable Collamer Lens Procedure Planning: A Review of Global Approaches. *OPTH. avr 2024;Volume 18*:1033-43.
172. Dougherty PJ, Rivera RP, Schneider D, Lane SS, Brown D, Vukich J. Improving accuracy of phakic intraocular lens sizing using high-frequency ultrasound biomicroscopy. *Journal of Cataract & Refractive Surgery.* 2011;37(1):13-8.
173. Reinstein DZ, Archer TJ, Silverman RH, Rondeau MJ, Coleman DJ. Correlation of Anterior Chamber Angle and Ciliary Sulcus Diameters With White-to-White Corneal Diameter in High Myopes Using Artemis VHF Digital Ultrasound. *J Refract Surg. févr 2009*;25(2):185-94.
174. Kojima T, Yokoyama S, Ito M, Horai R, Hara S, Nakamura T, Ichikawa K. Optimization of an implantable collamer lens sizing method using high-frequency ultrasound biomicroscopy. *American journal of ophthalmology.* 2012;153(4):632-7.
175. Beltrán-Murcia J, Capelo LÁR, Blázquez-Sánchez V. Analysis of vault prediction in phakic implantable phakic collamer lenses: manufacturer's calculator vs theoretical formulae vs clinical practice. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. août 2023*;261(8):2403-9.
176. Packer M. Evaluation of the EVO/EVO+ Sphere and Toric Visian ICL: Six Month Results from the United States Food and Drug Administration Clinical Trial. *OPTH. mai 2022;Volume 16*:1541-53.
177. Tang C, Sun T, Duan H, Liu Y, Qi H. Evaluation of the Performance of Two Nomograms and Four Vault Prediction Formulas for Implantable Collamer Lens Size Selection. *J Refract Surg. juill 2023*;39(7):456-61.

178. GmbH OO. Pentacam® – The Gold Standard in Anterior Segment Tomography <https://www.oculus.de/en/product/pentacam/>
179. Nishida T, Kojima T, Kataoka T, Isogai N, Yoshida Y, Nakamura T. Prediction of the trabecular iris angle after posterior chamber phakic intraocular lens implantation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2022;48(5):604-10.
180. Vault prediction using OCT and artificial intelligence... - *Google Scholar*
181. Zheng T, Zhou X, Wang L. Repeatability and agreement of two anterior segment OCT in myopic eyes. *BMC Ophthalmology*. 2020;20:133.
182. Zhang Y, Li J, Xu Q. Comparison of the Accuracy of Seven Vault Prediction Formulae for Implantable Collamer Lens. *Ophthalmology and Therapy*. 2023;12(1):123-33.
183. Yang J, Zhang H, Wang W. A vault-prediction formula for implantable collamer lens based on preoperative parameters: a retrospective clinical study. *BMC Ophthalmology*. 2023;23:350.
184. Orlando JI, Llorens M, Poyales F, al et. Development of a Web-Based Ensemble Machine Learning Application to Select the Optimal Size of Posterior Chamber Phakic Intraocular Lens. *BMC Ophthalmology*. 2021;21:350.
185. Wu H, Liu X, Chen Y. Comparison of Predictability in Vault Using NK Formula and KS Formula for Implantable Collamer Lens. *Journal of Ophthalmology*. 2024;2024:4256371.
186. Nakamura T, Nishida T, Isogai N, Kojima T, Sugiyama Y, Yoshida Y. Evaluation of implantable collamer lens sizing developed by reviewing the horizontal compression-vault coefficient. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2023;49(5):525-30.
187. Medical Q. Aviso: *Ultrasound Platform for Ophthalmology*
188. Dougherty PJ, Rivera RP, Schneider S, Lane SS. Comparison of implantable collamer lens sizing using sulcus-to-sulcus, white-to-white, and manufacturer's nomogram in 200 eyes. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2011;37(9):1635-43.
189. Hashemian SJ, Mohebbi M, Yaseri M, Jafari ME, Nabili S, Hashemian SM, Hashemian MS. Adjustment formulae to improve the correlation of white-to-white measurement with direct measurement of the ciliary sulcus diameter by ultrasound biomicroscopy. *Journal of Current Ophthalmology*. 2018;30(3):217-22.
190. Hashemi H, Khabazkhoob M, Mohazzab-Torabi S, Emamian MH, Shariati M, Dadbin N, Fotouhi A. Anterior chamber angle and anterior chamber volume in a 40-to 64-year-old population. *Eye & contact lens*. 2016;42(4):244-9.
191. Igarashi A, Shimizu K, Kamiya K. Eight-year follow-up of posterior chamber phakic intraocular lens implantation for moderate to high myopia. *American journal of ophthalmology*. 2014;157(3):532-9.
192. Kamiya K, Shimizu K, Igarashi A, Kitazawa Y, Kojima T, Nakamura T, Oka Y, Matsumoto R. Posterior chamber phakic intraocular lens implantation: comparative, multicentre study in 351 eyes with low-to-moderate or high myopia. *British Journal of Ophthalmology*. 2018;102(2):177-81.
193. Reinstein DZ, Lovisolo CF, Archer TJ, Gobbe M. Comparison of Postoperative Vault Height Predictability Using White-to-White or Sulcus Diameter-based Sizing for the Visian Implantable Collamer Lens. *J Refract Surg. janv* 2013;29(1):30-5.

194. Shimizu K, Kamiya K, Igarashi A, Shiratani T. Early clinical outcomes of implantation of posterior chamber phakic intraocular lens with a central hole (Hole ICL) for moderate to high myopia. *British Journal of Ophthalmology*. 2012;96(3):409-12.
195. Fernández-Vigo J, Macarro-Merino A, Fernández-Vigo C, al et. Posterior chamber phakic intraocular lens sizing based on different measurements of the anterior chamber. *American Journal of Ophthalmology*. 2021;225:32-43.
196. Development of an implantable collamer lens sizing model. *BMC Ophthalmology*. 2023.
197. Implantable Collamer Lens Procedure Planning: A Review of Global Nomograms. *Ophthalmology and Therapy*.
198. Yang J, Li H, Wu M, He R, Nong Y, Zou Z, Zhang C, Zhou S. A vault-prediction formula for implantable collamer lens based on preoperative parameters: a retrospective clinical study. *BMC Ophthalmology*. 2023;23:350.
199. Nakamura T, Isogai N, Kojima T, Yoshida Y, Sugiyama Y. Optimization of implantable collamer lens sizing based on swept-source anterior segment optical coherence tomography. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2020;46(5):742-8.
200. Tan W, Wang J, Zhang J, Zhang H, Zhang Y. Phakic intraocular lens sizing and vault prediction: a systematic review and meta-analysis of different calculation methods. *Eye and Vision (London)*. 2024;11:10.
201. Kamiya K, Shimizu K, Igarashi A, Matsumura K, Komatsu M. Predictability of the vault after implantable collamer lens implantation using anterior segment optical coherence tomography. *Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. 2023;261(3):687-93.
202. Packer M. The EVO ICL for Moderate Myopia: Results from the US FDA Clinical Trial. *OPHTH. déc 2022;Volume 16:3981-91*.
203. Health C for D and R. EVO/EVO+ VISIAN Implantable Collamer Lens – P030016/S035. FDA [Internet]. 18 avr 2022 [cité 6 mai 2025]; Disponible sur: <https://www.fda.gov/medical-devices/recently-approved-devices/evoevo-visian-implantable-collamer-lens-p030016s035>
204. Moshirfar M, Bundogji N, Tukan AN, Ellis JH, McCabe SE, Patil A, Ronquillo YC, Hoopes PC. Toric Implantable Collamer Lens for the Treatment of Myopic Astigmatism. *OPHTH. juill 2021;Volume 15:2893-906*.
205. Schallhorn S, Tanzer D, Sanders DR, Sanders ML. Randomized prospective comparison of visian toric implantable collamer lens and conventional photorefractive keratectomy for moderate to high myopic astigmatism. *Journal of Refractive Surgery*. 2007;23(9):853-67.
206. Mahmoud MS, AttaAllah HR. Clinical outcomes of toric implantable collamer lens (T-ICL) and toric implantable phakic contact lens (IPCL) for high myopia with astigmatism: a comparative study. *The Open Ophthalmology Journal*
207. Deshpande K, Shroff R, Biswas P, Kapur K, Shetty N, Koshy AS, Khamar P. Phakic intraocular lens: Getting the right size. *Indian Journal of Ophthalmology*. 2020;68(12):2880-7.
208. Kwong Y. Retinal complications after phakic intraocular lens implantation for high myopia: a systematic review. *American Journal of Ophthalmology*. 2019;198:32-41.

209. Javaloy J. Prophylactic laser retinopexy prior to phakic IOL implantation: indications and timing. *Clinical Ophthalmology*. 2015;9:1937-43.
210. Ikuno Y. Overview of the complications of high myopia. *Retina*. 2017;37(12):2347-51.
211. Gonzalez-Lopez F. Posterior segment evaluation before and after phakic IOL implantation in high myopia. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2018;44(5):582-90.
212. Bleckmann H, Keuch RJ. Implantation of spheric phakic posterior chamber intraocular lenses in astigmatic eyes. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2002;28(5):805-9.
213. Choi JH, Lim DH, Nam SW, Yang CM, Chung ES, Chung TY. Ten-year clinical outcomes after implantation of a posterior chamber phakic intraocular lens for myopia. *J Cataract Refract Surg [Internet]*. 2019;45. Disponible sur: <https://doi.org/10.1016/j.jcrs>
214. Kamiya K, Shimizu K, Igarashi A, Kobashi H. Factors influencing long-term regression after posterior chamber phakic intraocular lens implantation for moderate to high myopia. *American journal of ophthalmology*. 2014;158(1):179-84.
215. Mosquera SA, Verma S. Effects of torsional movements in refractive procedures. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2015;41(8):1752-66.
216. Mori T, Yokoyama S, Kojima T, Isogai N, Ito M, Horai R, Nakamura T, Ichikawa K. Factors affecting rotation of a posterior chamber collagen copolymer toric phakic intraocular lens. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2012;38(4):568-73.
217. Sanders DR, Sarver EJ. Standardized Analyses of Correction of Astigmatism With the Visian Toric Phakic Implantable Collamer Lens. *J Refract Surg. sept 2007*;23(7):649-60.
218. Joseph B, Thampi B, Joosadima A, Bhaskaran J, Raghavan R. Comparison of topical versus peribulbar anaesthesia for manual small incision cataract surgery with intraocular lens implantation. *International Journal of Research in Medical Sciences*. 19 déc 2016;4(11):4862-6.
219. Zhang H, Gong R, Zhang X, Deng Y. Analysis of perioperative problems related to intraocular Implantable Collamer Lens (ICL) implantation. *Int Ophthalmol*. 22 juin 2022;42(11):3625-41.
220. Summary of Safety and Effectiveness Data (SSED) for Visian ICL. P030016C [Internet]. FDA. 2018..pdf
221. Surgical S. How EVO ICL Works [Internet]. 2024. Disponible sur: <https://evoicl.com/about-evo-icl/how-evo-icl-works/>
222. Nakamura T, Isogai N, Kojima T, Yoshida Y, Sugiyama Y, Tanaka Y, Ichikawa K. Long-term in vivo stability of posterior chamber phakic intraocular lens: properties and light transmission characteristics of explants. *American Journal of Ophthalmology*. 2020;219:295-302.
223. Kamiya K, Shimizu K, Aizawa D, Igarashi A, Komatsu M, Nakamura A. One-year follow-up of posterior chamber toric phakic intraocular lens implantation for moderate to high myopic astigmatism. *Ophthalmology*. 2010;117(12):2287-94.
224. Sucu ME, Agca A, Tulu B. One-year follow-up of a new posterior chamber toric phakic intraocular lens implantation for moderate-to-high myopic astigmatism. *Int Ophthalmol. sept 2021*;41(9):2941-9.

225. Alhamzah A, Alharbi SS, Alfardan F, Aldebasi T, Almudhaiyan T. Indications for exchange or explantation of phakic implantable collamer lens with central port in patients with and without keratoconus. *International Journal of Ophthalmology*. 2021;14(11):1714.
226. Packer M. Meta-analysis and review: effectiveness, safety, and central port design of the intraocular collamer lens. *OPHTH. juin 2016*;1059.
227. Guber I, Mouvet V, Bergin C, Perritaz S, Othenin-Girard P, Majo F. Clinical outcomes and cataract formation rates in eyes 10 years after posterior phakic lens implantation for myopia. *JAMA ophthalmology*. 2016;134(5):487-94.
228. Naujokaitis T, Auffarth GU, Łabuz G, Khoramnia R. Endothelial Cell Loss in Patients with Phakic Intraocular Lenses. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde* [Internet]. 2024 [cité 18 juill 2025]; Disponible sur: <https://europepmc.org/article/med/38242162>
229. Packer M. Evaluation of the EVO/EVO+ Sphere and Toric Visian ICL: Six Month Results from the *United States Food and Drug Administration Clinical Trial*. *OPHTH. mai 2022;Volume 16*:1541-53.
230. Felipe A, Artigas JM, Díez-Ajenjo A, García-Domene C, Alcocer P. Residual astigmatism produced by toric intraocular lens rotation. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2011;37(10):1895-901.
231. Sudanaboina P, Murthy SI. Indications for exchange of posterior chamber phakic intraocular lens in high myopia. *Indian Journal of Ophthalmology*. 2025;73(7):988-92.
232. Olson RJ. The ESCRS postoperative endophthalmitis prospective trial 15 years later. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2021;47(7):839-41.
233. BD A. Endophthalmitis rates after implantation of the intraocular Collamer lens: Survey of users between 1998 and 2006. *J Cataract Refract Surg*. 2008;24:566-70.
234. Fernandes P, González-Méijome JM, Madrid-Costa D, Ferrer-Blasco T, Jorge J, Montés-Micó R. Implantable Collamer Posterior Chamber Intraocular Lenses: A Review of Potential Complications. *J Refract Surg. oct 2011*;27(10):765-76.
235. Mohr N, Dirisamer M, Siedlecki J, Mayer WJ, Schworm B, Harrant L, Priglinger SG, Luft N. Determinants of Subjective Quality of Vision After Phakic Intraocular Lens Implantation. *J Refract Surg. mai 2022*;38(5):280-7.
236. Niu L, Zhang Z, Miao H, Zhao J, Li M, He JC, Yao P, Zhou X. Effects of tilt and decentration of Visian Implantable Collamer Lens (ICL V4c) on visual quality: an observational study. *BMC Ophthalmol. déc 2022*;22(1):294.
237. Wannapanich T, Kasetsuwan N, Reinprayoon U. Intraocular Implantable Collamer Lens with a Central Hole Implantation: Safety, Efficacy, and Patient Outcomes. *OPHTH. mars 2023;Volume 17*:969-80.
238. Martínez-Plaza E, López-de la Rosa A, López-Miguel A, Holgueras A, Maldonado MJ. EVO/EVO+ Visian Implantable Collamer Lenses for the correction of myopia and myopia with astigmatism. *Expert Review of Medical Devices*. 2023;20(2):75-83.
239. International Council of Ophthalmology. Visual Standards: Aspects and Ranges of Vision Loss with Emphasis on Population Surveys. *ICO*; 2002.

240. Holladay JT. Proper method for calculating average visual acuity. *Journal of Refractive Surgery*. 1997;13(4):388-91.
241. Savini G, Hoffer KJ, Barboni P. Influence of axial length and corneal power on IOL power prediction error: Barrett vs Haigis vs Olsen. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2017;43(5):590-6.
242. Kane JX, Van Heerden A, Atik A, Petsoglou C. Accuracy of 12 intraocular lens power calculation formulas in extremely long eyes. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2017;43(8):765-73.
243. McGraw P, Winn B. Glare and visual performance with multifocal contact lenses. *Optometry and Vision Science*. 1993;70(12):1030-7.
244. Ferris F, Kassoff A, Bresnick G, Bailey I. New visual acuity charts for clinical research. *American Journal of Ophthalmology*. 1982;94(1):91-6.
245. Alfonso JF, Lisa C, Cueto LFV, Belda-Salmerón L, Madrid-Costa D, Montés-Micó R. Clinical outcomes after implantation of a posterior chamber collagen copolymer phakic intraocular lens with a central hole for myopic correction. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. 2013;39(6):915-21.
246. Pjano MA, Pidro A, Biscevic A, Grisevic S, Pandzic B, Cerovic V. Refractive outcomes of posterior chamber phakic intraocular lens implantation for correction of myopia and myopic astigmatism. *Medical Archives*. 2017;71(2):93.
247. Packer M, Rajan M, Ligabue E. Safety and effectiveness of the Visian implantable collamer lens for myopia and myopic astigmatism: 3-year results from a multicenter study. *Ophthalmology*. 2022;129(2):147-57.
248. Alió JL, Sádaba LM, Cuevas D, Plaza-Puche AB, Montalbán R. Phakic intraocular lens explantation: causes in 240 cases. *Journal of Refractive Surgery*. 2015;31(1):30-5.
249. Fernández-Vigo JI, Macarro-Merino A, Fernández-Vigo C, Burgos-Blasco B. Posterior chamber phakic intraocular lens sizing based on different measurements of the anterior chamber. *American Journal of Ophthalmology*. 2021;225:32-43.
250. Guber I, Mouvet V, Bergin C, Perritaz S, Majo F. Clinical outcomes and cataract formation rates in eyes 5 years after posterior phakic lens implantation for myopia. *JAMA Ophthalmology*. 2016;134(5):487-94.
251. Kamiya K, Shimizu K, Igarashi A, Kobashi H. Visual and refractive outcomes of implantable collamer lens implantation for myopia: 5-year follow-up. *Clinical Ophthalmology*. 2017;11:1151-8.
252. Eom Y, Lee JS, Lee JE, Kim HM, Song JS. Refractive and visual outcomes after Hole ICL implantation. *J Cataract Refract Surg*. 2017;43:114-21.
253. Kamiya K, Shimizu K, Igarashi A, Kobashi H. Clinical evaluation of the V4c implantable collamer lens with a central port for moderate to high myopia: 1-year follow-up. *Clin Ophthalmol*. 2016;10:91-9.
254. Liu Y, Tan D, Beuerman R. Visual performance 5 years after posterior chamber phakic intraocular lens implantation. *Ophthalmology*. 2008;115:2176-81.
255. Sanders DR, Vukich JA. Implantable contact lens for moderate to high myopia: phase 3 study results. *Ophthalmology*. 2003;110:255-66.

256. Guber I, Mouvet V, Bergin C, Perritaz S, Majo F. Clinical outcomes and cataract formation rates in patients 10 years after posterior phakic lens implantation for myopia. *JAMA Ophthalmol.* 2016;134(5):487-94.
257. Kamiya K, Shimizu K, Igarashi A, Matsumura K, Komatsu M. Posterior chamber phakic intraocular lens implantation in eyes with high myopia: 5-year follow-up. *Am J Ophthalmol.* 2018;190:113-20.
258. Packer M. Meta-analysis and review: effectiveness, safety, and central vaulting of the Visian ICL V4c. *Eur J Ophthalmol.* 2022;32(1):13-21.
259. Shimizu K, Kamiya K, Igarashi A, Shiratani T, Kobashi H. Posterior chamber phakic intraocular lens implantation in patients younger than 25 years. *J Cataract Refract Surg.* 2016;42(2):153-8.
260. Guber I, Mouvet V, Bergin C, Perritaz S, Majo F. Clinical outcomes and cataract formation rates in patients 10 years after posterior phakic lens implantation for myopia. *JAMA Ophthalmol.* 2016;134(5):487-94.
261. Kamiya K, Shimizu K, Igarashi A, Matsumura K, Komatsu M. Posterior chamber phakic intraocular lens implantation in eyes with high myopia: 5-year follow-up. *Am J Ophthalmol.* 2018;190:113-20.
262. Packer M. Meta-analysis and review: effectiveness, safety, and central vaulting of the Visian ICL V4c. *Eur J Ophthalmol.* 2022;32(1):13-21.
263. Shimizu K, Kamiya K, Igarashi A, Shiratani T, Kobashi H. Posterior chamber phakic intraocular lens implantation in patients younger than 25 years. *J Cataract Refract Surg.* 2016;42(2):153-8.
264. Alfonso J, Lisa C, Palacios A, et al. Posterior chamber phakic intraocular lens to correct myopic astigmatism. *Journal of Cataract and Refractive Surgery.* 2010;36(4):607-16.
265. STAAR Surgical. FDA Summary of Safety and Effectiveness Data (SSED) for the Toric ICL EVO [Internet]. 2018.pdf
266. Kamiya K, Shimizu K, Igarashi A, Kobashi H. Visual and refractive outcomes of posterior chamber phakic intraocular lens implantation for low to moderate myopia. *Journal of Cataract and Refractive Surgery.* 2011;37(5):787-93.
267. Kamiya K, Shimizu K, Igarashi A, Kobashi H. Comparison of toric and nontoric implantable collamer lenses in eyes with myopic astigmatism. *Journal of Cataract and Refractive Surgery.* 2012;38(4):552-7.
268. Choi K, Chung S, Chung T, Chung E. Ultrasound biomicroscopy for determining visian implantable contact lens length in phakic eyes. *Journal of Refractive Surgery.* 2007;23(4):362-7.
269. Reinstein D, Archer T, Silverman R, Rondeau M, Coleman D. Correlation of anterior chamber angle and ciliary sulcus diameters with white-to-white corneal diameter in high myopia. *Journal of Refractive Surgery.* 2013;29(1):30-8.
270. Nakamura T, Isogai N, Kojima T, Yoshida Y, Sugiyama Y. Optimization of implantable collamer lens sizing based on swept-source OCT. *Ophthalmology.* 2020;127(12):1673-81.
271. Nakamura T, Isogai N, Kojima T, Yoshida Y, Sugiyama Y. Implantable collamer lens sizing method based on swept-source anterior segment optical coherence tomography. *American Journal of Ophthalmology.* 2018;187:99-107.

272. RET Ang - Comparaison des mesures de blanc à blanc à l'aide de quatre appareils et détermination de la taille ICL Œil et vision, 2022 - Springer
273. Packer M. Meta-analysis and review: effectiveness, safety, and central port design of the implantable collamer lens. *Clinical Ophthalmology*. 2016;10:1059-77.
274. Packer M. The implantable collamer lens with a central port: review of the literature. *Clinical Ophthalmology*. 2022;16:1199-214.
275. Chebil A, Choura R, Falfou Y, Fekih O, El Matri L. Central corneal thickness in a healthy Tunisian population. *La Tunisie Medicale*. 2021;99(2):221.
276. Shimizu K, Kamiya K, Igarashi A, Shiratani T. Early clinical outcomes of implantation of posterior chamber phakic intraocular lens with a central hole (Hole ICL) for moderate to high myopia. *British Journal of Ophthalmology*. 2012;96(3):409-12.
277. Niu L, Miao H, Tian M, Fu D, Wang X, Zhou X. One-year visual outcomes and optical quality of femtosecond laser small incision lenticule extraction and Visian Implantable Collamer Lens (ICL V4c) implantation for high myopia. *Acta Ophthalmologica*.
278. Miao H, Tian M, Xu Y, Chen Y, Zhou X. Visual Outcomes and Optical Quality After Femtosecond Laser Small Incision Lenticule Extraction: An 18-Month Prospective Study. *J Refract Surg. nov 2015;31(11):726-31*.
279. Shin JY, Ahn H, Seo KY, Kim EK, Kim T im. Comparison of Higher Order Aberrations After Implantable Collamer Lens Implantation and Wavefront-guided LASEK in High Myopia. *J Refract Surg. févr 2012;28(2):106-11*.
280. Kim SW, Yang H, Yoon G, Lee YJ, Kweon MN, Kim JK, Seo KY. Higher-order aberration changes after Implantable Collamer Lens implantation for myopia. *American journal of ophthalmology*. 2011;151(4):653-62.
281. Hashemian SJ, Farrokhi H, Foroutan A, Jafari ME, Hashemian SM, Alemzadeh SA, Hashemian MS. Ocular higher-order aberrations changes after implantable collamer lens implantation for high myopic astigmatism. *Journal of Current Ophthalmology*. 2018;30(2):136-41.
282. Bianchi GR. Initial results from a new model of posterior chamber implantable phakic contact lens: IPCL V2. 0. Medical Hypothesis, *Discovery and Innovation in Ophthalmology*. 2019;8(2):57.
283. Fernández-Vigo JI, Marcos AC, Agujetas R, Montanero JM, Sánchez-Guillén I, García-Feijóo J, Pandal-Blanco A, Fernández-Vigo JA, Macarro-Merino A. Computational simulation of aqueous humour dynamics in the presence of a posterior-chamber versus iris-fixed phakic intraocular lens. *PLoS One*. 2018;13(8):e0202128.
284. Gonzalez-Lopez F. Intraocular pressure after posterior chamber phakic intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg*. 2013.
285. Higuera-Esteban A. Intraocular pressure changes after EVO-ICL implantation. *J Refract Surg*. 2013;29(11):756-61.
286. Lisa C. Posterior chamber phakic IOL for high myopia: long-term outcomes. *Eur J Ophthalmol*. 2015;25(2):93-8.

287. Moya T, Javaloy J, Montés-Micó R, Beltrán J, Muñoz G, Alfonso JF. Implantable Collamer Lens for Myopia: Assessment 12 Years After Implantation. *Journal of Refractive Surgery*. 2015;31(8):548-56.
288. Kamiya K, Shimizu K, Igarashi A, Kobashi H. Visual and refractive outcomes of posterior chamber phakic intraocular lens implantation for myopia: a 10-year follow-up. *American Journal of Ophthalmology*. 2014;157(3):532-9.
289. Fernández-Vigo JJ, Macarro-Merino A, Fernández-Pérez C, others. Long-term visual outcomes and safety after EVO-ICL implantation. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2022;48(2):210-8.
290. Zeng M, others. Vault-related lens exchange after implantation of phakic intraocular lenses. *PLOS ONE*. 2017;12(10):e0185560.
291. Rayner S, others. Clinical outcomes after ICL exchange for excessive vaulting. *Clinical Ophthalmology*. 2016;10:1231-6.
292. Bhikoo R, others. ICL rotation and exchange rates after Toric ICL implantation. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2018;44(5):585-91.
293. Lee D, others. Long-term safety and visual outcomes of ICL implantation. *PLOS ONE*. 2020;15(6):e0235612.
294. Alfonso JF, others. Endothelial cell density evolution after phakic IOLs. *Clinical Ophthalmology*. 2015;9:165-72.
295. Brar S, others. Vault correlated efficacy and safety of ICL: Five-year follow-up. *Ophthalmology and Therapy*. 2021;10(2):445-58.
296. Igarashi A, others. Eight-year clinical outcomes of posterior chamber phakic IOL implantation. *Clinical Ophthalmology*. 2016;10:649-56.
297. Schmidinger G, others. Predictability of ICL vault and its association with cataract formation. *J Cataract Refract Surg*. 2013;39:693-700.
298. Guber I, others. Long-term complications after ICL implantation. *Ophthalmology and Therapy*. 2021;10:113-26.
299. Alfonso JF, others. Long-term complications of ICL implantation: A retrospective review. *J Cataract Refract Surg*. 2019;45(3):355-62.
300. Sachdev G, Ramamurthy D, Dandapani R, others. Visual outcomes and rotational stability of toric Implantable Collamer Lens. *Indian Journal of Ophthalmology*. 2020;68(1):51-5.
301. Shimizu K, Kamiya K, Igarashi A, Kobashi H. Long-term comparison of posterior chamber phakic intraocular lens implantation and wavefront-guided LASIK for moderate to high myopia. *American Journal of Ophthalmology*. 2012;154(3):486-94.
302. Guber I, Mouvet V, Bergin C, Perritaz S, Majo F. Posterior chamber phakic intraocular lens: a 5-year retrospective study of long-term visual outcomes, complications, and endothelial cell loss. *Ophthalmology and Therapy*. 2021;10(1):113-26.

RESUME (FRANÇAIS)

Objectif : Évaluer les résultats réfractifs et la sécurité de l'implantation de lentilles intraoculaires phaqes de chambre postérieure (ICL/IPCL) chez les jeunes adultes atteints de forte myopie, avec ou sans astigmatisme associé.

Méthodes : Étude prospective portant sur **100 yeux de 60 patients** présentant une myopie supérieure ou égale à $-6,00$ D, ayant bénéficié d'une implantation d'ICL EVO Visian ou d'IPCL V2.0. L'évaluation a porté sur l'évolution de l'acuité visuelle sans correction (AVSC), avec correction (AVAC), la réfraction résiduelle, la prédictibilité, la stabilité réfractive et les complications per- et postopératoires sur 12 mois.

Résultats : L'AVSC s'est améliorée de $1,12 \pm 0,25$ logMAR ($\approx 1/10$) en préopératoire à $0,10 \pm 0,06$ logMAR ($\approx 8/10$) à 12 mois ($p < 0,001$).

L'AVAC est passée de $0,17 \pm 0,05$ logMAR à $0,15 \pm 0,04$ logMAR, traduisant un gain visuel global.

L'indice d'efficacité était de $1,26 \pm 0,18$, et l'indice de sécurité de $1,11 \pm 0,14$.

La réfraction finale moyenne était de $-0,17 \pm 0,59$ D, avec 64 % des yeux dans $\pm 0,50$ D et 94 % dans $\pm 1,00$ D de la cible.

La stabilité réfractive était acquise dès M1. Les complications observées étaient rares et mineures, sans décompensation endothéliale.

Conclusion : L'implantation de lentilles phaqes de chambre postérieure représente une option efficace, sûre et réversible pour la correction de la forte myopie chez les jeunes adultes, avec d'excellents résultats visuels et une haute prévisibilité.

ABSTRACT: ENGLISH

Purpose: To evaluate the refractive outcomes and safety of posterior chamber phakic intraocular lens (ICL/IPCL) implantation in young adults with high myopia, with or without associated astigmatism.

Methods: A prospective study involving **100 eyes of 60 patients** presenting with myopia greater than or equal to -6.00 D, who underwent implantation of an EVO Visian ICL or an IPCL V2.0.

The evaluation focused on the evolution of uncorrected visual acuity (UCVA), corrected visual acuity (CDVA), residual refraction, predictability, refractive stability, and peri- and postoperative complications over a 12-month follow-up period.

Results: UCVA improved from 1.12 ± 0.25 logMAR ($\approx 1/10$) preoperatively to 0.10 ± 0.06 logMAR ($\approx 8/10$) at 12 months ($p < 0.001$).

CDVA increased from 0.17 ± 0.05 logMAR to 0.15 ± 0.04 logMAR, indicating an overall visual gain.

The efficacy index was 1.26 ± 0.18 , and the safety index was 1.11 ± 0.14 .

The final mean spherical equivalent was -0.17 ± 0.59 D, with 64 % of eyes within ± 0.50 D and 94 % within ± 1.00 D of the target.

Refractive stability was achieved from the first postoperative month.

Observed complications were rare and minor, with no endothelial decompensation reported.

Conclusion: Posterior chamber phakic IOL implantation is a safe, effective, and reversible method for correcting high myopia in young adults, offering excellent visual outcomes and high predictability.

ملخص

الهدف:

تقييم النتائج الانكسارية وسلامة زراعة العدسات داخل العين من نوع فاك في الحجرة الخلفية لدى الشباب المصابين بقصر النظر الشديد، مع أو بدون انحراف القرنية

الطرق:

دراسة استباقية شملت مرضى شباب يعانون من قصر نظر ≥ -6.00 ديوبتر، خضعوا لزراعة عدسة إيفو، تم تحليل تطور حدة البصر غير المصححة والمصححة، والانكسار المتبقي، والاستقرار والمضاعفات قبل وبعد الجراحة، والمعايير الحيوية.

النتائج:

لوحظ تحسن كبير في حدة البصر غير المصححة منذ الشهر الأول بعد الجراحة، مع استقرار في الشهر الثاني عشر. حققت معظم العيون انكسارًا نهائيًا ضمن ± 0.50 ديوبتر من الهدف كانت المضاعفات نادرة وخفيفة.

الاستنتاج:

تعتبر زراعة العدسات الفاك في الحجرة الخلفية خيارًا فعالًا وآمنًا وقابلًا للعكس لتصحيح قصر النظر الشديد لدى الشباب، مع نتائج بصرية ممتازة وتوقع عالي الدقة.