



Royaume du Maroc المملكة المغربية

كلية الطب والصيدلة  
+٠٢٤٧١٠١+ | +٠١٤١١٤+ A +٠٠٠٠٠+  
FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

Année 2018

Thèse N° 160/18

ETUDE DE LA QUALITE DE VIE  
APRES CHIRURGIE REFRACTIVE DE SURFACE  
(à propos de 31 cas)

THÈSE

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 11/07/2018

PAR

Mlle. HAJAR LAAMARTI

Née le 28 Janvier 1991 à Rabat

POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MÉDECINE

MOTS-CLÉS :

Qualité de vie - Chirurgie Réfractive - Photokératéctomie Réfractive

JURY

- M. BENATIYA ANDALOUSSI IDRIS..... PRÉSIDENT et RAPPORTEUR  
Professeur Agrégé d'Ophtalmologie
- Mme. ABDELLAOUI MERIEM.....  
Professeur Agrégé d'Ophtalmologie
- M. RIDAL MOHAMMED .....  
Professeur Agrégé d'Oto-rhinolaryngologie
- M. HOUARI NAWFAL.....  
Professeur Agrégé d'Anesthésie-Réanimation
- M. CHRAIBI FOUAD..... MEMBRE ASSOCIÉ  
Professeur Assistant d'Ophtalmologie
- JUGES

# **TABLE DES MATIERES**

LISTE DES ABREVIATIONS .....	10
I. INTRODUCTION.....	17
II. RAPPELS .....	20
A. ANATOMIE .....	20
1. Embryologie.....	20
2. Globe oculaire.....	21
a. Contenants du globe oculaire .....	21
a.1 Couche protectrice (couche externe).....	21
a.1.1 Cornée .....	21
□ GENERALITES.....	21
□ ANATOMIE MACROSCOPIQUE.....	21
□ ANATOMIE MICROSCOPIQUE.....	23
□ INNERVATION DE LA CORNEE .....	27
□ ANATOMIE FONCTIONNELLE .....	28
a.1.2 Limbe.....	28
a.1.3 Sclère .....	29
a.1.4 Conjonctive .....	29
a.2 Couche vascularisée (couche moyenne) .....	29
a.2.1 Iris .....	29
a.2.2 Corps Ciliaire .....	30
a.2.3 Choroïde .....	30
a.3 Couche visuelle (couche interne) .....	30
a.3.1 Rétine .....	30
a.3.2 Nerf optique.....	30
b. Contenu du globe oculaire.....	31
b.1 Humeur aqueuse .....	31
b.2 Cristallin.....	31
b.3 Corps vitré .....	31
3. Les voies optiques .....	31
4. Annexes .....	32

a.	Les paupières .....	32
b.	L'appareil lacrymal.....	33
b.1	Le système sécréteur lacrymal .....	33
b.2	Le système de drainage des larmes .....	34
c.	Les muscles oculomoteurs .....	34
B.	PHYSIOLOGIE.....	34
1.	Composition Chimique de la cornée.....	34
2.	Métabolisme cornéen.....	34
3.	Propriétés optiques.....	35
a.	Transmission.....	35
b.	Réfraction.....	36
c.	Réflexion.....	36
d.	Comportement mécanique.....	37
4.	Mécanismes de transparence de la cornée.....	37
a.	Mécanismes de régulation de l'hydratation cornéenne .....	37
a.1	Fonctions de l'endothélium .....	38
a.2	Fonctions de l'épithélium .....	39
a.3	Evaporation à la surface cornéenne et film lacrymal.....	40
b.	Mécanismes d'inhibition de la réaction inflammatoire et de l'angiogenèse .....	40
5.	Maintien des barrières épithéliales et endothéliales.....	40
6.	Cicatrisation de la cornée.....	41
7.	Les mécanismes de la vision .....	42
a.	Acuité visuelle .....	42
b.	Vision des couleurs.....	43
c.	Vision de contraste .....	43
d.	Vision binoculaire .....	44
C.	PHYSIOPATHOLOGIE DES AMETROPIES .....	44
1.	Myopie.....	45
2.	Hypermétropie.....	48
3.	Astigmatisme.....	50
4.	Presbytie.....	52

D. BIOMECANIQUE CORNEENNE .....	54
1. Généralités .....	54
2. Intérêts d'évaluer les propriétés biomécaniques de la cornée en pratique clinique.	54
3. Hystérèse.....	55
4. Appareils utilisés pour l'étude de la biométrie cornéenne .....	56
a. L'Ocular Response Analyzer : ORA .....	56
b. Les index quantitatifs de l'ORA.....	59
c. CORVIS-ST (Corneal Visualization Scheimpflug Technology) .....	60
5. Modifications de la biomécanique cornéenne induites par la chirurgie réfractive ...	60
E. ABERRATIONS OPTIQUES .....	61
1. Qu'est-ce qu'un front d'onde ?.....	61
2. Aberrations oculaires .....	63
3. Principes de la reconstruction du front d'onde .....	64
4. Utilisation des polynômes de Zernike dans l'évaluation du front d'onde.....	64
5. Principes de la décomposition du front d'onde en polynômes de Zernike .....	65
6. Interprétation du front d'onde basée sur la décomposition en polynômes de Zernike	66
a. ABERRATIONS DE BAS DEGRE .....	66
□ Aberration de degré $n = 0$ ou $Z_0^0$ .....	66
□ Aberration de degré $n = 1$ ou $Z_1^{\pm 1}$ .....	66
□ Aberration de degré $n = 2$ ( $Z_2^0$ et $Z_2^{\pm 2}$ ).....	67
b. ABERRATIONS DE HAUT DEGRE (High Order Aberrations – HOA).....	67
□ Aberration de degré $n = 3$ ( $Z_3^{\pm 1}$ et $Z_3^{\pm 3}$ ).....	67
□ Aberration de degré $n = 4$ ( $Z_4^0$ , $Z_4^{\pm 2}$ et $Z_4^{\pm 4}$ ) .....	67
□ Aberration de degré $n = 5$ ( $Z_5^{\pm 1}$ , $Z_5^{\pm 3}$ et $Z_5^{\pm 5}$ ).....	68
□ Aberration de degré $n = 6$ ( $Z_6^0$ , $Z_6^{\pm 2}$ , $Z_6^{\pm 4}$ et $Z_6^{\pm 6}$ ) .....	68
7. Variation des aberrations oculaires après chirurgie réfractive.....	69
8. Impact visuel des aberrations optiques de haut ordre .....	69
9. Aberromètres.....	69
10. Les indices abérrométriques .....	70
a. Le RMS (Root Mean Square) ou coefficient moyen global .....	70

b. La PSF (Point Spread Function) .....	72
III. MATERIEL ET METHODES .....	74
A. TYPE DE L'ETUDE.....	74
B. POPULATION ETUDIEE .....	74
1. Les critères d'inclusion étaient : .....	74
2. Les critères d'exclusion étaient : .....	74
C. RECUEIL DES DONNEES .....	75
D. OUTILS UTILISES .....	77
1. Les mesures topographiques .....	77
2. Les mesures abérrométriques .....	78
3. Score NEI-RQL 42 .....	78
E. TECHNIQUES OPERATOIRES ET PROTOCOLES CHIRURGICAUX .....	83
1. Techniques opératoires.....	83
2. Protocoles chirurgicaux .....	86
F. ANALYSE STATISTIQUE .....	86
IV. RESULTATS.....	88
A. DESCRIPTION DEMOGRAPHIQUE DE NOTRE ECHANTILLON .....	88
B. DONNEES CLINIQUES DE NOTRE ECHANTILLON.....	91
C. DONNEES OPTIQUES.....	92
D. DONNEES DE LA TOPOGRAPHIE ET PACHYMETRIE EN PRE-OPERATOIRE.....	94
E. ABERROMETRIE.....	99
F. SCORE DE GATINEL.....	100
G. PARAMETRES THERAPEUTIQUES DU LASER EN PER-OPERATOIRE.....	101
H. SYMPTOMATOLOGIE POST-OPERATOIRE ET PHENOMENES INFLAMMATOIRES .....	104
I. RESULTATS FONCTIONNELS.....	105
J. QUALITE DE VIE ET CHIRURGIE REFRACTIVE .....	106
1. Application du questionnaire NEI-RQL 42 : .....	107
2. Représentation graphique des résultats du questionnaire .....	108
V. DISCUSSION.....	110
A. EPIDEMIOLOGIE DES AMETROPIES .....	110
1. Myopie.....	110

2.	Hypermétropie.....	112
3.	Astigmatisme.....	112
4.	Presbytie.....	113
B.	LA CHIRURGIE REFRACTIVE.....	113
1.	GENERALITES .....	113
2.	HISTORIQUE.....	114
3.	LASERS EN OPHTALMOLOGIE.....	117
a.	Généralités .....	117
a.1	La longueur d'onde d'émission du laser .....	117
a.2	La puissance (ou l'intensité) .....	118
a.3	La durée d'émission .....	119
a.4	La surface du spot laser sur le tissu cible.....	119
b.	Transmission du faisceau laser, principaux paramètres :.....	119
c.	Applications cliniques des lasers en Ophtalmologie : .....	119
c.1	L'action électromécanique .....	120
c.2	L'action photoablative (photodécomposition ablativ) .....	121
c.3	L'action thermique .....	121
	□ La photocoagulation (au laser vert, jaune ou rouge) .....	121
	□ La thermothérapie transpupillaire (TTT).....	122
c.4	L'action photochimique .....	122
d.	Formule de Munnerlyn : .....	122
4.	LES PROFILS DE PHOTOABLATION CORNEENNE EN CHIRURGIE REFRACTIVE.....	123
a.	Problématique des photoablations cornéennes conventionnelles .....	123
b.	Caractéristiques techniques des différents profils d'ablation.....	124
b.1	Photoablations personnalisées guidées par le front d'onde (Wavefront Guided Treatment : WFG).....	124
b.2	Photoablations optimisées ou profils asphériques (Wavefront Optimized : WFO) .....	124
b.3	Photoablations asphériques personnalisées par utilisation d'un facteur Q ajustable "Custom Q" .....	125
b.4	Photoablations guidées par Topographie Cornéenne .....	125
c.	Système de poursuite oculaire (eye-tracking).....	126

5. LES ASPECTS CLINIQUES DE LA CHIRURGIE REFRACTIVE .....	127
a. Interrogatoire : .....	127
b. Examen de la réfraction : .....	128
c. Biomicroscopie (Examen à la lampe à fente).....	130
6. LES EXPLORATIONS .....	132
a. Topographie cornéenne .....	132
a.1 Généralités .....	132
a.2 TOPOGRAPHIE PAR REFLEXION SPECULAIRE.....	133
a.3 TOPOGRAPHIE PAR ELEVATION .....	133
□ Topographie par balayage par fentes lumineuses .....	133
□ Topographie par camera rotative scheimpflug.....	133
a.4 Rendu des cartes de topographie cornéenne .....	134
a.5 Intérêts de la topographie cornéenne .....	134
b. Tomographie cornéenne (Pachymétrie) .....	135
b.1 Définition .....	135
b.2 Intérêts .....	135
c. Aberrométrie .....	136
c.1 Définition .....	136
c.2 Intérêts .....	136
c.3 Indications .....	137
c.4 Aberrométrie et corrections laser personnalisées.....	138
d. Score ANALYZER .....	138
d.1 Présentation .....	138
d.2 Valeur du score .....	139
d.3 LA CARTE « RADAR » .....	140
d.4 Courbes de pachymétrie : épaisseur moyenne et taux d'amincissement vers le TP (point le plus fin).....	141
d.5 Intérêt du logiciel score .....	142
7. LES TECHNIQUES CHIRURGICALES.....	142
a. Généralités .....	142
b. Techniques chirurgicales .....	143

b.1	TECHNIQUES DE SURFACE (SANS DECOUPE DE CAPOT).....	144
b.1.1	Photokératectomie réfractive (PKR).....	144
	□ Généralités.....	144
	□ Laser Excimer.....	144
	□ Information du patient .....	146
	□ Technique opératoire .....	146
	□ Suites opératoires .....	147
	□ Complications précoces.....	148
	□ Complications tardives : .....	149
	□ Résultats .....	150
	□ PKR et Mitomycine C .....	151
b.1.2	LASEK .....	151
b.1.3	EPI-LASIK .....	152
b.2	TECHNIQUES AVEC DECOUPE DE CAPOT (VOLET CORNEEN) : LASIK .....	153
b.2.1	Généralités.....	153
b.2.2	Evolution des techniques du LASIK.....	153
b.2.3	Laser Excimer.....	155
b.2.4	Microkératome.....	156
b.2.5	Laser Femtoseconde.....	156
b.2.6	Etapas de l'acte chirurgical.....	158
	□ Les vérifications du laser .....	158
	□ Préparation du patient.....	158
	□ Découpe intrastromale au microkératome ou au laser Femtoseconde .....	158
	□ Photoablation au laser Excimer.....	158
	□ Repositionnement du volet sur le tissu cornéen remodelé .....	159
	□ Traitement postopératoire.....	159
b.2.7	Résultats .....	160
b.2.8	Complications du traitement par LASIK .....	161
	□ Complications peropératoires.....	161
	□ Complications postopératoires .....	162
c.	Choix de la technique chirurgicale .....	163

d. Indications et contre-indications .....	163
C. QUALITE DE VIE EN OPHTALMOLOGIE .....	165
1. Généralités .....	165
2. Qualité de vie en Ophtalmologie .....	165
a. Indicateurs utilisables dans la qualité de vie en ophtalmologie.....	165
b. Déroulement d'une étude de qualité de vie .....	166
c. Echelles de qualité de vie en ophtalmologie : .....	166
c.1 Échelles génériques : permettent d'explorer les conséquences des altérations visuelles liées aux pathologies oculaire.....	167
c.2 Echelles spécifiques d'une pathologie oculaire : .....	167
c.3 Échelles de qualité de vie et réfraction :.....	167
D. COMPARAISON DE NOS RESULTATS AVEC CEUX DE LA LITTERATURE.....	168
1. Comparaison démographique .....	168
a. Age et sexe :.....	168
b. Motivations.....	169
2. La qualité de vie après chirurgie réfractive .....	169
3. Résultats de notre étude .....	173
<input type="checkbox"/> Qualité de vie et résultats réfractifs .....	173
<input type="checkbox"/> Qualité de vie et qualité de vision.....	173
<input type="checkbox"/> Qualité de vie et activités .....	173
<input type="checkbox"/> Qualité de vie et symptômes fonctionnels .....	173
<input type="checkbox"/> Qualité de vie et psychologie.....	174
<input type="checkbox"/> Qualité de vie et satisfaction globale des patients.....	174
E. PERSPECTIVES :.....	177
VI. CONCLUSION :.....	179
RESUMES.....	180
ANNEXES .....	186
TABLE DES ILLUSTRATIONS .....	188
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	192

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>AHO</b>	: Aberrations de Haut Ordre (HOA)
<b>Angle K</b>	: Angle Kappa
<b>AC</b>	: Aberration cornéenne
<b>AT</b>	: Aberration Totale
<b>AV</b>	: Acuité Visuelle
<b>AVNC</b>	: Acuité Visuelle non corrigée
<b>BFS</b>	: Best Fit Sphere
<b>BUT</b>	: Break Up Time
<b>CCN</b>	: Cellules de la crête neurale
<b>CHU</b>	: Centre Hospitalier Universitaire
<b>CO</b>	: Correction optique
<b>CORVISST</b>	: Corneal Visualization Scheimflug Technology
<b>CXL</b>	: Cross-linking
<b>D</b>	: Dioptrie
<b>DMLA</b>	: Dégénérescence Maculaire liée à l'âge
<b>ES</b>	: Equivalent Sphérique
<b>FRC</b>	: Facteur de Résistance Cornéenne
<b>FO</b>	: Fond d'œil
<b>GAG</b>	: Glycosaminoglycanes
<b>H</b>	: Hydratation
<b>HC</b>	: Hystérèse cornéen
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	: Bicarbonate
<b>IOP<sub>cc</sub></b>	: Pression Intraoculaire compensée
<b>IOP<sub>g</sub></b>	: Pression Intraoculaire non-compensée
<b>K1</b>	: Rayon de cornée le plus plat
<b>K2</b>	: rayon de cornée le plus cambré
<b>K+</b>	: Potassium
<b>KID</b>	: Kératite Interstitielle Diffuse
<b>K<sub>max</sub></b>	: Kératométrie Maximale
<b>LASIK</b>	: Laser in Situ Kératomileusis
<b>LIO</b>	: Lentilles Intraoculaires (ICL)
<b>MAVC</b>	: Meilleure Acuité Visuelle Corrigée

<b>MMC</b>	: Mitomycine C
<b>MmHg</b>	: Millimètre de mercure
<b>µm</b>	: Micromètre
<b>NEI-RQL 42</b>	: National Eye Institute Refractive Error Quality of life 42
<b>Nm</b>	: Nanomètre
<b>OCT</b>	: Tomographie par Cohérence Optique
<b>OD</b>	: Œil droit
<b>OG</b>	: Œil Gauche
<b>ODG</b>	: Œil droit et gauche
<b>ORA</b>	: Ocular Response Analyzer
<b>P1</b>	: Première Pression d'aplanation
<b>P2</b>	: Deuxième Pression d'aplanation
<b>PIO</b>	: Pression Intraoculaire
<b>PG</b>	: Pression de Gonflement du stroma
<b>PKR</b>	: Photokératectomie Réfractive
<b>PMC</b>	: Pachymétrie centrale
<b>PP</b>	: Punctum Proximum
<b>PR</b>	: Punctum Remotum
<b>PSF</b>	: Point Spread Function
<b>PTK</b>	: Photokératectomie Thérapeutique
<b>QOL</b>	: Quality of Life
<b>RMS</b>	: Root Mean Square
<b>SA</b>	: Segment Antérieur
<b>SimK</b>	: Kératométrie Simulée
<b>SMILE</b>	: Small Incision Lenticular Extraction
<b>TGF-β</b>	: Transforming Growth factor Beta
<b>TP</b>	: Thinnest Point / Point le plus fin
<b>UCVA</b>	: Uncorrected Visual Acuity
<b>UV</b>	: Ultra-violet
<b>WFG</b>	: Wavefront Guided / Traitement guidé par le front d'onde
<b>WFO</b>	: Wavefront Optimized/ Traitement optimisé par le front d'onde.
<b>ZO</b>	: Zone optique

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

<b>FIGURE 1</b> : DIAMETRES DE LA CORNEE.....	22
<b>FIGURE 2</b> : ANATOMIE MICROSCOPIQUE ET STRUCTURES DE LA CORNEE .....	23
<b>FIGURE 3</b> : COUPES TRANSVERSALES DES DEUX PAUPIERES SUPERIEURE ET INFERIEURE .....	32
<b>FIGURE 4</b> : L'EMPLACEMENT DES DEUX PUNCTUMS PROXIMUM ET REMOTUM DANS UN ŒIL NORMAL....	43
<b>FIGURE 5</b> : ILLUSTRATION DE LA MYOPIE SURLIGNANT LA CORNEE, LA PUPILLE ET LA LENTILLE ET LA MANIERE AVEC LAQUELLE L'IMAGE EST REFLETEE SUR LA RETINE (NATIONAL EYE INSTITUTE) .....	45
<b>FIGURE 6</b> : ILLUSTRATION DE L'HYPERMETROPIE SURLIGNANT LA CORNEE, LA PUPILLE ET LA LENTILLE ET LA MANIERE AVEC LAQUELLE L'IMAGE EST FOCALISEE DERRIERE LA RETINE (NATIONAL EYE INSTITUTE).....	48
<b>FIGURE 7</b> : ILLUSTRATION DE L'ASTIGMATISME SURLIGNANT LES POINTS FOCALUX MULTIPLES .....	50
<b>FIGURE 8</b> : ILLUSTRATION DE LA PRESBYTIE SURLIGNANT LA CORNEE, LA PUPILLE ET LA LENTILLE ET LA MANIERE AVEC LAQUELLE L'IMAGE EST FOCALISEE DERRIERE LA RETINE (NATIONAL EYE INSTITUTE) .....	52
<b>FIGURE 9</b> : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA TETE DE MESURE DE L'ORA AVEC E (ÉMETTEUR INFRA-ROUGE) J (EMETTEUR DE JET D'AIR CALIBRE) ET R (RECEPTEUR INFRA-ROUGE) – ILLUSTRATION DR. GATINEL D.....	57
<b>FIGURE 10</b> : L'ONDE CORRESPONDANT A LA MESURE DES DEUX PICS INFRA-ROUGES PAR L'OCULAR RESPONSE ANALYZER (ORA) : LES 2 PICS REPRESENTENT LES DEUX PRESSIONS D'APLANATION P1 ET P2. ....	58
<b>FIGURE 11</b> : PROPAGATION DU FRONT D'ONDE (ILLUSTRATION DR. GATINEL D.) .....	62
<b>FIGURE 12</b> : POLYNOMES DE ZERNIKE : REPRESENTATION EN ECHELLE DE GRIS CORRESPONDANT A L'ELEVATION VERTICALE DES 28 PREMIERS POLYNOMES DE ZERNIKE EN FONCTION DE LEUR FREQUENCE AZIMUTALE ET DE LEUR ORDRE RADIAL. ILLUSTRATION DR. GATINEL D. ....	65
<b>FIGURE 13</b> : SCORE RMS. LE FRONT D'ONDE EST ASSIMILABLE A UNE PARFAITE PORTION SPHERIQUE APRES REFRACTION. CERTAINS RAYONS PERIPHERIQUES NE SONT PAS FOCALISES EXACTEMENT COMME LES RAYONS CENTRAUX DU FAIT DU DEPHASAGE DU FRONT D'ONDE. ILLUSTRATION DR. GATINEL D. ....	71
<b>FIGURE 14</b> : DIFFERENTES ETAPES DE L'ACTE CHIRURGICAL (IMAGES DU SERVICE D'OPHTALMOLOGIE DU CHU HASSAN II DE FES).....	85
<b>FIGURE 15</b> : PREVALENCE DE LA MYOPIE DANS LE MONDE .....	111
<b>FIGURE 16</b> : LE SPECTRE DES LASERS ET LEURS DIFFERENTES ACTIONS SELON LEURS LONGUEURS D'ONDE. ....	118
<b>FIGURE 17</b> : LES DIFFERENTES ACTIONS DES LASERS EN FONCTION DE L'IRRADIANCE ET DU TEMPS D'INTERACTION.....	120
<b>FIGURE 18</b> : SYSTEME DE DELIVRANCE VU DU COTE DU PATIENT AU COURS DE LA CHIRURGIE. <b>A GAUCHE</b> : LE SYSTEME NEUROTRACK / <b>A DROITE</b> : LASER DELIVRE. ....	126
<b>FIGURE 19</b> : INTERFACE DU LOGICIEL SCORE ANALYZER (GATINEL D.) .....	139

<b>FIGURE 20</b> : LA CARTE RADAR DU LOGICIEL SCORE ANALYZER.....	140
<b>FIGURE 21</b> : LES MODIFICATIONS DE COURBURE QUE SUBIT LA CORNEE APRES CHIRURGIE REFRACTIVE (ILLUSTRATION GATINEL D.) .....	142
<b>FIGURE 22</b> : DESEPIHELIALISATION MECANIQUE AVEC UN PETIT SCARIFICATEUR. ELLE EST DEBUTEE EN PERIPHERIE POUR TESTER L'ADHERENCE. ....	146
<b>GRAPHIQUE 1</b> : SEX-RATIO DE NOTRE ECHANTILLON D'ETUDE (A GAUCHE) .....	88
<b>GRAPHIQUE 2</b> : AGE EN ANNEES DE NOTRE ECHANTILLON D'ETUDE + AGES MINIMAL ET MAXIMAL (A DROITE) .....	88
<b>GRAPHIQUE 3</b> : ANTECEDENTS MEDICAUX ET OPHTALMOLOGIQUES DANS NOTRE ECHANTILLON .....	89
<b>GRAPHIQUE 4</b> : MOTIVATIONS DERRIERE LE RECOURS A LA CHIRURGIE REFRACTIVE DANS NOTRE ECHANTILLON .....	90
<b>GRAPHIQUE 5</b> : MOYENNE DE LA PIO DANS NOTRE ECHANTILLON (A GAUCHE).....	91
<b>GRAPHIQUE 6</b> : LES VALEURS DE K1 ET K2 DANS NOTRE ECHANTILLON (A DROITE).....	91
<b>GRAPHIQUE 7</b> : MEILLEURE ACUITE VISUELLE CORRIGEE DANS NOTRE ECHANTILLON (A GAUCHE) .....	93
<b>GRAPHIQUE 8</b> : DEGRE DE MYOPIE DANS NOTRE ECHANTILLON (A DROITE).....	93
<b>GRAPHIQUE 9</b> : LES VALEURS MOYENNES DE LA SPHERE, DU CYLINDRE ET DE L'EQUIVALENT SPHERIQUE EN PREOPERATOIRE.....	93
<b>GRAPHIQUE 10</b> : LE POURCENTAGE DE PATIENTS DANS NOTRE ECHANTILLON SELON QUE LE BFS POSTERIEUR EST SUPERIEUR OU INFERIEUR A 55D ( <b>GAUCHE</b> ).....	94
<b>GRAPHIQUE 11</b> : LES MOYENNES DES VALEURS DES BFS POSTERIEURS EN ODG AINSI QUE LES EXTREMES MAXIMALE ET MINIMALE ( <b>MILIEU</b> ). ....	94
<b>GRAPHIQUE 12</b> : LE POURCENTAGE DE PATIENTS DANS NOTRE ECHANTILLON SELON QUE LA DIFFERENCE ENTRE LES BFS POSTERIEUR ET ANTERIEUR EST SUPERIEUR OU INFERIEUR A 10D ( <b>DROITE</b> ) .....	94
<b>GRAPHIQUE 13</b> : VALEURS MOYENNES DES DIFFERENCES ENTRE LE BFS ET L'ELEVATION POSTERIEURE EN ODG AINSI QUE LES EXTREMES MAXIMALE ET MINIMALE ( <b>GAUCHE</b> ).....	95
<b>GRAPHIQUE 14</b> : VALEURS MOYENNES DES DIFFERENCES ENTRE LA PACHYMETRIE APEX ET LA PACHYMETRIE MINIMALE EN ODG AINSI QUE LES EXTREMES MAXIMALE ET MINIMALE ( <b>DROITE</b> ). ...	95
<b>GRAPHIQUE 15</b> : POURCENTAGE DE PATIENTS DANS NOTRE ECHANTILLON SELON QUE LA PACHYMETRIE MINIMALE EST SUPERIEURE OU INFERIEURE A 500µM ( <b>GAUCHE</b> ) .....	96
<b>GRAPHIQUE 16</b> : MOYENNE DES PACHYMETRIES MINIMALES AVEC LES VALEURS EXTREMES EN ODG DANS NOTRE ECHANTILLON ( <b>DROITE</b> ).....	96
<b>GRAPHIQUE 17</b> : VALEURS MOYENNES DES KERATOMETRIE I-S (A 3MM) EN ODG AINSI QUE LES EXTREMES MAXIMALE ET MINIMALE ( <b>GAUCHE</b> ) .....	97
<b>GRAPHIQUE 18</b> : VALEURS MOYENNES DES PUISSANCES (MEAN POWER) A 3MM EN ODG AINSI QUE LES EXTREMES MAXIMALE ET MINIMALE ( <b>DROITE</b> ) .....	97
<b>GRAPHIQUE 19</b> : LES VALEURS MOYENNES DU TAUX D'IRREGULARITE (A 3MM) EN ODG AINSI QUE LES EXTREMES MAXIMALE ET MINIMALE ( <b>GAUCHE</b> ) .....	98

<b>GRAPHIQUE 20</b> : LES VALEURS MOYENNES DU TAUX D'IRREGULARITE (A 3.5MM) EN ODG AINSI QUE LES EXTREMES MAXIMALE ET MINIMALE ( <b>MILIEU</b> ).....	98
<b>GRAPHIQUE 21</b> : LES VALEURS MOYENNES DE KMAX EN ODG AINSI QUE LES EXTREMES MAXIMALE ET MINIMALE ( <b>DROITE</b> ).....	98
<b>GRAPHIQUE 22</b> : VALEURS MOYENNES DE LA PUPILLOMETRIE EN CONDITIONS MESOPIQUES ET SCOTOPIQUES DANS NOTRE ECHANTILLON ( <b>A GAUCHE</b> ) .....	99
<b>GRAPHIQUE 23</b> : VALEURS MOYENNES DES RMS DANS LES 5 ET 6 MM EN ODG ( <b>A DROITE</b> ) .....	99
<b>GRAPHIQUE 24</b> : VALEURS MOYENNES DU SCORE DE GATINEL EN ODG ET VALEURS MAXIMALE/MINIMALE .....	100
<b>GRAPHIQUE 25</b> : CHOIX DE LA TECHNIQUE DU TRAITEMENT PHOTOABLATIF ( <b>A GAUCHE</b> ) .....	101
<b>GRAPHIQUE 26</b> : POURCENTAGE DE PATIENTS AYANT BENEFICIE D'UN TRAITEMENT PAR LA MMC 0.02% ( <b>A DROITE</b> ).....	101
<b>GRAPHIQUE 27</b> : TYPE DE DESEPIHELIALISATION DANS NOTRE ECHANTILLON ( <b>A GAUCHE</b> ).....	102
<b>GRAPHIQUE 28</b> : MOYENNE DES STROMAS RESIDUELS ET EXTREMES MAXIMALE ET MINIMALE ( <b>A DROITE</b> ) .....	102
<b>GRAPHIQUE 29</b> : MOYENNE DES ABLATIONS MAXIMALES EN OD/OG AVEC LES VALEURS EXTREMES, AINSI QUE LA MOYENNE DES EPAISSEURS D'ABLATION CENTRALE EN OD/OG AVEC LES VALEURS EXTREMES. ....	103
<b>GRAPHIQUE 30</b> : DUREE MOYENNE DES IMPULSIONS EN OD/OG AVEC LES DUREES MINIMALE ET MAXIMALE.....	103
<b>GRAPHIQUE 31</b> : SYMPTOMATOLOGIE POST-OPERATOIRE DANS NOTRE ECHANTILLON .....	104
<b>GRAPHIQUE 32</b> : L'ACUITE VISUELLE A J+8 ET A 01 MOIS DU POST-OPERATOIRE .....	105
<b>GRAPHIQUE 33</b> : LES VALEURS MOYENNES DE LA SPHERE, DU CYLINDRE ET DE L'EQUIVALENT SPHERIQUE A 01 MOIS DU POST-OPERATOIRE.....	106
<b>GRAPHIQUE 34</b> : MOYENNE DES 13 SCORES DE L'ECHELLE NEI-RQL 42 DANS NOTRE ECHANTILLON D'ETUDE.....	108
<b>TABLEAU 1</b> : LES 13 SCORES DU NEI-RQL42 QUESTIONNAIRE ET LES ITEMS CORRESPONDANTS A CHAQUE SCORE. ....	80
<b>TABLEAU 2</b> : MANUEL D'UTILISATION DE L'ECHELLE DU QUESTIONNAIRE NEI-RQL 42 .....	81
<b>TABLEAU 3</b> : LES VALEURS KERATOMETRIQUES EN PREOPERATOIRE DANS NOTRE ECHANTILLON .....	92
<b>TABLEAU 4</b> : LES 13 SCORES DU NEI-RQL 42 QUESTIONNAIRE ET LES ITEMS CORRESPONDANTS A CHAQUE SCORE + LE CALCUL DE LA MOYENNE ET DE L'ECART TYPE (ET) DE CHAQUE ITEM PUIS DE CHAQUE SCORE. ....	107
<b>TABLEAU 5</b> : GRADING ET DESCRIPTION CLINIQUE DU HAZE CORNEEN [59] .....	150
<b>TABLEAU 6</b> : COMPARAISON ENTRE LES DONNEES DE NOTRE ETUDE ET CEUX DE LA LITTERATURE POUR CE QUI EST DE L'AGE.....	168

<b>TABLEAU 7</b> : COMPARAISON ENTRE LES DONNEES DE NOTRE ETUDE ET CEUX DE LA LITTERATURE POUR CE QUI EST DU SEXE.....	168
<b>TABLEAU 8</b> : COMPARAISON ENTRE LES DONNEES DE NOTRE ETUDE ET CEUX DE LA LITTERATURE POUR CE QUI EST DES MOTIVATIONS A LA CHIRURGIE REFRACTIVE DE NOTRE ECHANTILLON D'ETUDE.....	169
<b>TABLEAU 9</b> : MOYENNES ET ECART-TYPES DES 13 SCORES DANS L'ECHELLE DU NEI-RQL 42 ET DANS NOTRE SERIE.....	171
<b>TABLEAU 10</b> : COMPARAISON ENTRE LES TAUX DE SATISFACTION DECRITS DANS LA LITTERATURE ET LES RESULTATS DE NOTRE ETUDE .....	176

# **INTRODUCTION**

## **I. INTRODUCTION**

La qualité de vie prend de plus en plus d'importance dans le domaine de la santé. Sa prise en compte, en plus de traduire le souci du praticien d'être plus proche de son patient, débouche du légitime souhait de la communauté médicale et des autorités sanitaires d'avoir une vision plus globale de la manière dont le patient vit sa maladie.

On distingue deux méthodes d'appréciation de la qualité de vie :

- L'entretien psychologique : approche qualitative qui permet une évaluation globale de la qualité de vie;
- Les outils psychométriques : constitués le plus souvent de questionnaires, qui permettent une évaluation quantitative de la qualité de vie.

Les troubles réfractifs (ou amétropies) viennent siéger en pole position des affections ophtalmologiques entravant grandement la qualité de vie. Et la chirurgie réfractive, bien qu'ayant démontré son efficacité sur des mesures objectives de la réfraction, qu'il s'agisse de myopie, d'hypermétropie, d'astigmatisme ou de presbytie, reste néanmoins un sujet discuté en matière d'impact sur le ressenti subjectif des patients.

L'objectif de notre étude va être d'appliquer à un échantillon de population ayant bénéficié d'une chirurgie réfractive, une adaptation française validée de l'échelle NEI-RQL-42 (National Eye Institute-Refractive error Quality of Life instrument-42) qui est une échelle américaine évaluant la qualité de vie après chirurgie réfractive, explorant à la fois la qualité de vision, les troubles fonctionnels,

l'influence de la réfraction sur les activités quotidiennes ainsi que son impact psychologique.

La chirurgie réfractive trouve-t-elle une justification dans l'amélioration de la qualité de vie des sujets amétropes ? Notre étude contribuera à apporter des éléments de réponse à cette question et permettra donc une meilleure sélection des patients à opérer.

# RAPPELS

## II. RAPPELS

### A. ANATOMIE

#### 1. Embryologie

Trois périodes résument le développement embryologique de l'œil [2] :

- L'EMBRYOGENESE : s'étend de la fécondation à la fin de la troisième semaine. Les cellules de la crête neurale vont participer à la formation du stroma cornéen et de la majorité des structures visuelles. Seuls l'endothélium des vaisseaux et les muscles striés ont une origine différente. L'ébauche des yeux apparaît vers le 22ème jour.
- L'ORGANOGENESE : s'étend jusqu'à la fin de la 8ème semaine. La surface ectodermique est destinée à former l'épithélium cornéen. Une fois celui-ci formé, les cellules dérivées de la crête neurale (CCN) vont constituer l'endothélium cornéen. Vers la mi-gestation, toutes les couches de la cornée sont présentes, à l'exception de la membrane de Bowman. La maturation de la cornée est initiée dans ses couches les plus profondes, pour progresser plus superficiellement.
- La différenciation du reste des éléments oculaires survient par la suite. A la naissance, la cornée est relativement large par rapport au reste du globe oculaire. La plus grande partie de sa croissance se fait entre l'âge de 6 mois et un an. Elle atteint sa taille adulte en 1 et 2 ans.

## **2. Globe oculaire**

Le globe oculaire est la partie principale de l'appareil de vision. Grossièrement sphérique, ses diamètres antéro-postérieur, vertical et transversal sont d'environ 25, 23 et 23,5 mm respectivement (le diamètre antéro-postérieur peut varier selon l'âge et l'amétropie).

### **a. Contenants du globe oculaire**

#### **a.1 Couche protectrice (couche externe)**

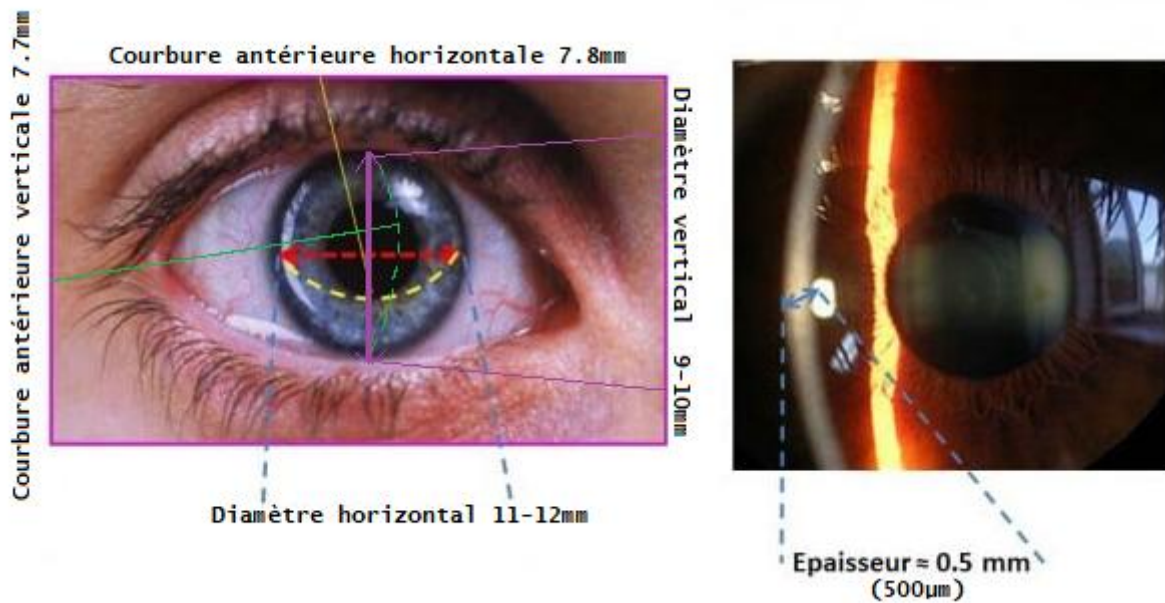
##### **a.1.1 Cornée**

###### **▪ GENERALITES**

La cornée [3], en plus d'être le premier dioptré du système optique oculaire, représente les 2/3 du pouvoir réfractif de l'œil. Ses propriétés optiques dépendent de son anatomie à savoir : sa forme, sa courbure (puissance), son épaisseur (transparence), la régularité de sa surface oculaire et la composition de chacune de ses couches.

###### **▪ ANATOMIE MACROSCOPIQUE**

A l'état normal, la cornée est avasculaire, de géométrie courbe, recouverte d'un film lacrymal (7  $\mu\text{m}$ ) par le biais duquel elle est exposée à l'environnement externe. Elle est enchâssée comme un verre de montre dans la partie antérieure de la sclérotique et représente le 1/6ème de la tunique extérieure de l'œil. Elle est protégée par les paupières qui la recouvrent partiellement ou totalement. Sa face postérieure concave est baignée par l'humeur aqueuse et forme la paroi antérieure de la chambre antérieure de l'œil. En périphérie se trouve le limbe, tissu très vascularisé, réservoir en cellules à haute capacité proliférative qui constituent la seule source de régénération de l'épithélium cornéen.



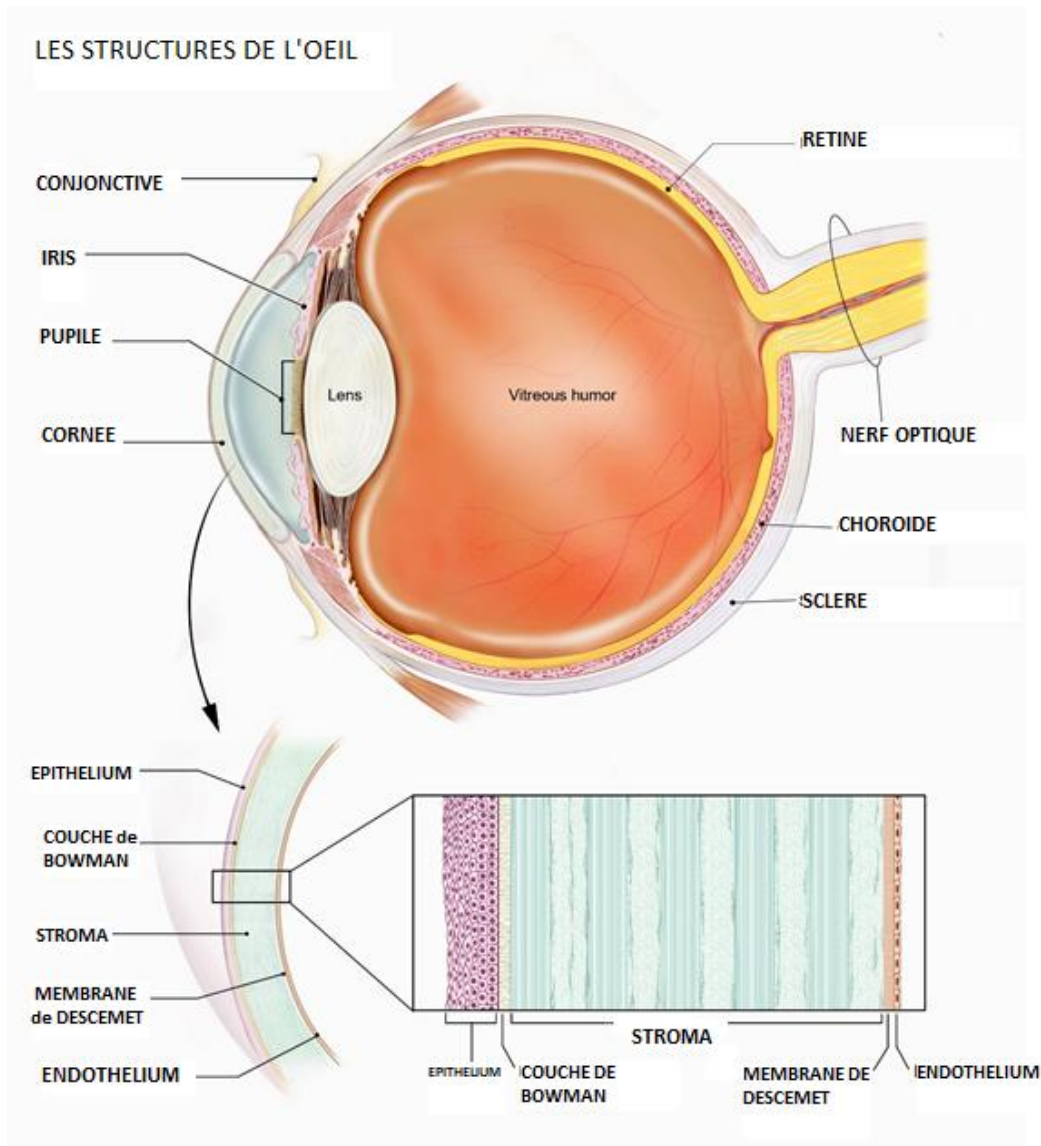
**Figure 1** : Diamètres de la cornée

La cornée est convexe et asymétriquement asphérique (asphérotorique). Son diamètre varie selon les individus, le sexe et l'âge. Elle mesure 11 à 12 mm horizontalement et 9 à 10 mm verticalement.

La cornée est prolate; son rayon de courbure est inférieur au centre par rapport à la périphérie. Au niveau de la face antérieure de la cornée, ce rayon est de 7.8 mm horizontalement et de 7.7mm verticalement, alors qu'au niveau interne, ce rayon de courbure est de 6.6 mm en vertical et 6.2 mm en horizontal. La mesure de ce rayon de courbure est appelée kératométrie. Dans la zone des 3 mm centraux, le rayon de courbure varie entre 7.5 et 8 mm. A cet endroit, la courbure est presque sphérique.

L'épaisseur de la cornée (ou pachymétrie) varie de 550 µm environ en son centre pour augmenter en périphérie jusqu'à un maximum de 700 µm.

## ▪ ANATOMIE MICROSCOPIQUE



**Figure 2 :** Anatomie microscopique et structures de la cornée

Juste sous le film lacrymal, on retrouve la première des 5 couches constituant la cornée :

- ❖ **L'épithélium cornéen** : indissociable du film lacrymal et en continuité avec l'épithélium conjonctival. Il représente 10 % de l'épaisseur cornéenne totale (30 à 50  $\mu\text{m}$ ). C'est un épithélium à renouvellement rapide, pavimenteux stratifié, non kératinisé. Il comprend 5 à 7 assises de cellules dans sa partie centrale et 8 à 10 dans sa partie périphérique. Au sein de cet épithélium, on retrouve des lymphocytes, des cellules de Langerhans

présentatrices d'antigènes et des mélanocytes. Ces cellules non-épithéliales sont essentiellement présentes à la périphérie de l'épithélium, dans la région limbique. L'épithélium cornéen est composé de 3 types de cellules reposant sur une membrane basale :

- Cellules superficielles : les plus différenciées, de tailles inégales. Elles se répartissent en 2 ou 3 couches et sont destinées à desquamer. La membrane cytoplasmique de ces cellules est hérissée de nombreuses microvillosités qui assurent l'ancrage du film lacrymal ainsi que les échanges avec celui-ci.
  - Cellules intermédiaires : ce sont des cellules de transition (entre les cellules superficielles et basales)
  - Cellules basales : elles forment une couche unique et reposent directement sur la membrane basale. Cylindriques et régulières, elles sont si hautes (18 $\mu$ m) qu'elles représentent à elles seules plus de 1/3 de l'épaisseur de l'épithélium. Ces cellules représentent la couche germinative de l'épithélium cornéen.
  - Membrane basale : mesure environ 80 Å, elle est synthétisée par les cellules épithéliales et sépare la couche de Bowman de l'épithélium cornéen. Elle participe au transfert des informations et au maintien de l'architecture cornéenne. Plusieurs facteurs peuvent induire son épaissement (âge, diabète, dystrophies...)
- ❖ **Membrane de Bowman** : mesure de 8 à 10  $\mu$ m d'épaisseur et est située entre la membrane basale de l'épithélium cornéen et le stroma (sans limites clairement individualisables). Elle est composée de fibrilles de collagènes qui ont une striation transversale et mesurent de 20 à 30 nm de diamètre et de 240 à 270 nm de long, sans périodicité bien nette. Elle est

acellulaire, à l'exception de quelques expansions des cellules de schwann entourant les terminaisons nerveuses qui rejoignent l'épithélium cornéen. Elle est dotée d'une surface régulière, bien que sa face postérieure soit bien moins définie. La couche de Bowman est synthétisée au cours de la vie embryonnaire et n'est plus régénérée au cours de la vie. Toute blessure de celle-ci est donc définitive et entrainera des opacités (sa rupture, notamment au cours d'un geste de chirurgie réfractive de surface, peut participer à l'apparition d'un voile sous-épithélial)

❖ **Stroma** : mesure environ 500  $\mu\text{m}$ . Il constitue à lui seul 90% de l'épaisseur cornéenne et est en grande partie responsable de la stabilité, de la solidité et de la transparence cornéenne. Il est composé de :

- Lamelles de collagène : leur nombre varie entre 200 et 250. Chaque lamelle (mesurant 2 $\mu\text{m}$  d'épaisseur et 9 à 260  $\mu\text{m}$  de largeur) est elle-même constituée de fibrilles de collagène qui représentent l'élément de base unitaire du stroma. Ces lamelles sont empilées de manière à être parallèles les unes par rapport aux autres et par rapport à la surface cornéenne. Cette disposition lamellaire permet de maintenir une courbure cornéenne appropriée mais permet également de résister à la pression intraoculaire.
- Substance fondamentale : riche en mucopolysaccharides et en eau. Elle occupe l'espace compris entre les fibres de collagène et permet donc d'assurer leur cohésion et leur espacement strictement ordonné.
- Stromacytes (également appelés fibrocytes ou kératocytes cornéens): occupent 2 à 3 % du volume stromal total. Ce sont des cellules de type conjonctif. Elles ont un rôle fondamental dans la biosynthèse de

la matrice extracellulaire. Lors d'un traumatisme, ces cellules vont s'activer, migrer et intervenir dans les phénomènes de cicatrisation.

Le stroma cornéen est avasculaire mais on y retrouve quelques cellules de schwann, des lymphocytes B/T ainsi que des cellules de Langerhans. Le stroma est la couche qui est découpée et sculptée en chirurgie réfractive cornéenne. Son épaisseur détermine en partie, les possibilités offertes.

- ❖ **Membrane de Descemet** : mesure environ 10  $\mu\text{m}$ . Elle sépare le stroma de la monocouche endothéliale. C'est une membrane acellulaire, sécrétée par l'endothélium et constituée de fibrilles de collagène de petit diamètre, réparties en lamelles, et baignant dans une matrice glycoprotéique. Elle est élastique (bien que dépourvue de fibres élastiques), très résistante et perméable à l'eau. On peut la diviser en deux feuillets:
  - Antérieur : mesure 3  $\mu\text{m}$ . Sécrété par les cellules embryonnaires à partir du 4ème mois de gestation. Son épaisseur est fixe tout au long de la vie.
  - Postérieur : sécrété par les cellules endothéliales après la naissance et tout au long de l'existence, ce qui explique l'augmentation de son épaisseur avec l'âge. Il n'y a pas de véritable structure d'ancrage de cette partie à l'endothélium, ce qui explique que l'endothélium soit facilement détachable du stroma.

- ❖ **Endothélium** : la couche la plus postérieure de la cornée. Il est en contact avec l'humeur aqueuse en arrière et la membrane de Descemet en avant. L'endothélium est formé d'une monocouche de cellules (environ 3500 cellules/mm<sup>2</sup>) uniformes, hexagonales, aplaties, dites en « nid-d'abeilles ». Les cellules endothéliales sont interconnectées par un réseau complexe de jonctions qui leur permet d'assurer un rôle de barrière face à l'humeur aqueuse et de réguler les échanges avec celle-ci.

Récemment, une nouvelle entité anatomique, appelée « **couche de Dua** » a été identifiée au sein du tissu cornéen. Elle se situe entre le stroma et la membrane de Descemet et pourrait avoir un intérêt dans la chirurgie de greffe profonde de la cornée.

- **INNERVATION DE LA CORNEE**

La cornée est un tissu très richement innervé, le plus innervé de tous les tissus de l'organisme (40 fois plus innervé que la pulpe dentaire). Le stroma antérieur, la membrane de Descemet et l'endothélium sont dénués de toute innervation sensitive. Cette innervation sensitive va dépendre de la branche ophtalmique afférente du ganglion trigéminé par l'intermédiaire des nerfs ciliaires longs et courts, qui seront renforcés par des rameaux secondaires venus de l'épiscière et de la conjonctive. Il existe également une innervation sympathique qui dépend du ganglion cervical supérieur.

## ▪ ANATOMIE FONCTIONNELLE

La cornée représente, à elle seule, les deux tiers du pouvoir réfractif de l'œil. Elle a une puissance dioptrique de 43 dioptries (D). Elle se décompose en un dioptré cornéen antérieur de 49 D et un dioptré cornéen postérieur de - 6 D. La puissance du cristallin étant de 22 D au repos. Ce pouvoir optique important découle de deux caractéristiques:

- ❖ La cornée possède une courbure plus importante que celle du cristallin (au repos)
- ❖ La cornée est au contact de l'air ambiant, offrant une plus grande différence d'indice de réfraction aux rayons lumineux incidents (indice de la cornée = 1,376 / indice de l'air = 1 / différence d'indices = 0,376. La différence d'indice entre l'humeur aqueuse et le cristallin est 10 fois moins importante :  $1.40 - 1.33 = 0.07$ )

### a.1.2 Limbe

Le limbe représente la zone de jonction entre la périphérie cornéenne transparente et la sclère opaque. Dans la couche basale de l'épithélium limbique se situent les cellules souches limbiques qui constituent la seule source de régénération de l'épithélium cornéen. En cas de destruction de ces cellules, on observe un syndrome d'insuffisance en cellules souches limbiques, caractérisé par un envahissement de la surface cornéenne par des cellules conjonctivales, suivi d'une invasion vasculaire, d'un pannus et d'une perte de la transparence cornéenne.

Tout dysfonctionnement du limbe retentit également sur l'homéostasie oculaire, puisque ce dernier représente un véritable réservoir de cellules inflammatoires, d'immunoglobulines, de constituants des voies du complément et des cellules de Langerhans.

Enfin, le limbe est le lieu de résorption de l'humeur aqueuse, il est au cœur de la régulation de la pression intraoculaire.

### **a.1.3 Sclère**

C'est la plus externe des tuniques du globe oculaire. Fibreuse et inextensible, c'est la plus solide et la plus résistante des membranes de l'œil, elle en assure ainsi la protection.

### **a.1.4 Conjonctive**

La conjonctive est une muqueuse tapissant la face postérieure des paupières (conjonctive palpébrale) et se réfléchissant sur la face antérieure du globe oculaire (conjonctive bulbaire).

## **a.2 Couche vascularisée (couche moyenne)**

Egalement appelé « Uvée », cette couche comprends 3 parties:

### **a.2.1 Iris**

Fait suite au corps ciliaire. Il est perforé en son centre par un orifice circulaire; la pupille. Celle-ci se comporte comme un diaphragme, de taille d'ouverture variable selon l'intensité lumineuse. Le diamètre pupillaire normal varie entre 4 et 5 mm, avec des extrêmes allant de 1,5 mm dans les myosis très serrés à 9 mm lors des mydriases totales. Cela dépend principalement des conditions d'éclairage. On distingue :

- Le domaine photopique (ou domaine de la vision diurne) est la forme particulière que prend la vision en conditions d'éclairage important. Cette vision est essentiellement assurée par les cônes de la rétine de l'œil.
- Le domaine scotopique (ou domaine de la vision nocturne) : cette vision est principalement assurée par les bâtonnets de la rétine.
- Le domaine mésopique (ou domaine de la vision crépusculaire), c'est la forme particulière que prend la vision au crépuscule ou en conditions

d'éclairage moyen. Ce type de vision est assuré conjointement par les bâtonnets et les cônes de la rétine.

La mydriase (augmentation du diamètre de la pupille par contraction du muscle dilatateur de l'iris) est une réaction normale à la pénombre. Alors que le myosis (qui est une diminution du diamètre de la pupille par contraction des muscles annulaire & ciliaire de l'iris) est une réaction physiologique qui se produit en condition d'éclairage.

### **a.2.2 Corps Ciliaire**

Anneau saillant situé dans un plan frontal entre l'iris en avant et la choroïde en arrière, il joue un rôle fondamental dans l'accommodation (par le biais du muscle ciliaire) et la sécrétion de l'humeur aqueuse (par le biais des procès ciliaires).

### **a.2.3 Choroïde**

C'est une véritable éponge vasculaire située entre la sclère en dehors et la rétine en dedans. Elle est riche en cellules pigmentées et en éléments vasculaires et nerveux.

## **a.3 Couche visuelle (couche interne)**

### **a.3.1 Rétine**

Membrane nerveuse hypersensible qui tapisse le fond de l'œil. C'est un tissu fragile, formé de 10 couches de cellules réparties en deux feuillets ; pigmentaire et neurosensoriel (ce dernier contenant la structure réceptrice de la lumière).

### **a.3.2 Nerf optique**

Toutes les fibres optiques issues des cellules visuelles convergent vers un point précis de la rétine (la papille, ou tache aveugle, appelée ainsi puisque dépourvue de fibres nerveuses) pour former un cordon arrondi, appelé nerf optique.

## **b. Contenu du globe oculaire**

### **b.1 Humeur aqueuse**

L'humeur aqueuse est un liquide incolore, limpide et transparent, produit par les procès ciliaires et renouvelé toutes les 2 à 3 heures. Elle a un rôle nourricier et réparateur en plus d'être responsable du maintien de la pression intraoculaire (PIO).

### **b.2 Cristallin**

Lentille biconvexe (plus cambrée en arrière qu'en avant), qui participe à la focalisation des rayons lumineux sur la rétine et à l'accommodation. Il est transparent, avasculaire, faisant 9mm de diamètre et 3.5 à 5 mm d'épaisseur (au repos).

### **b.3 Corps vitré**

Le corps vitré –appelé également humeur vitrée ou vitré tout simplement– est une masse gélatineuse, claire, qui remplit la cavité oculaire en arrière du cristallin. Il permet de maintenir l'œil en tension, et joue un rôle dans l'amortissement des chocs. Le corps vitré constitue également un des quatre dioptries de l'œil (en plus de la cornée, de l'humeur aqueuse et du cristallin). Son indice de réfraction est de 1,336.

## **3. Les voies optiques**

Elles permettent la transmission de l'influx nerveux aux centres corticaux de la vision. Elles comprennent :

- La rétine : représente le début de la voie optique.
- Le nerf optique.
- Le chiasma optique : au niveau duquel se réunissent les 2 nerfs optiques.
- La bandelette optique.
- Les radiations optiques.

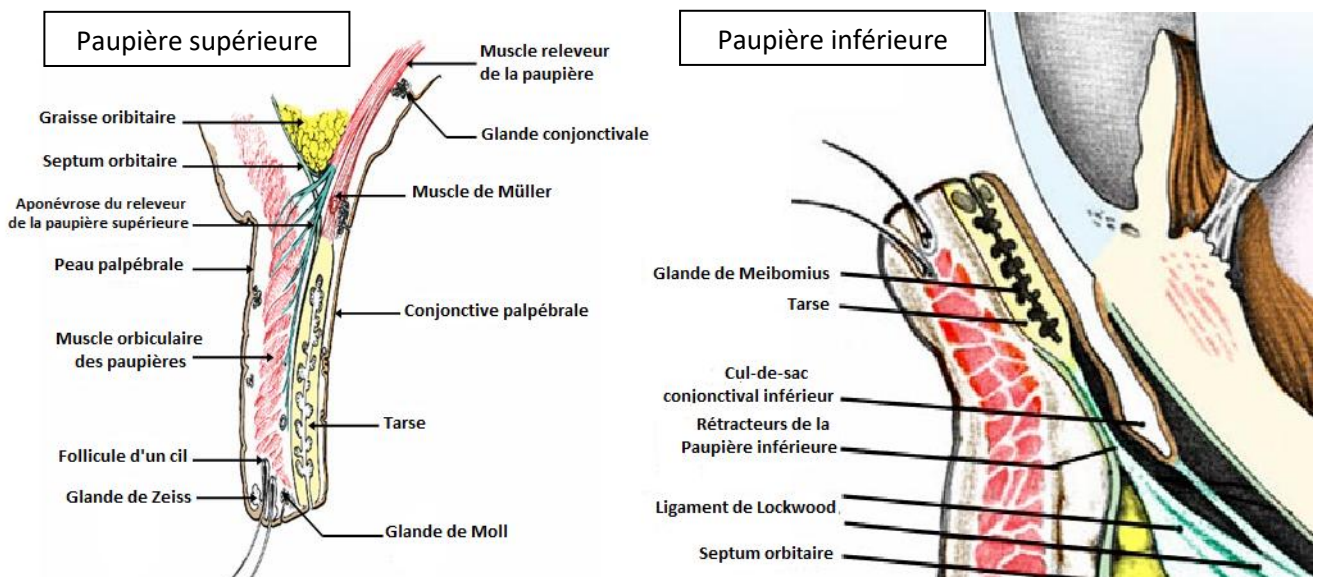
- Le centre cortical visuel : comprend deux aires : l'aire visuelle et l'aire visuo-psychique.

#### 4. Les annexes

Ensemble des structures qui assurent la protection du globe oculaire et permettent sa mobilité.

##### a. Les paupières

Les paupières sont des lames cutané-musculo-membraneuses mobiles, recouvrant la partie antérieure du globe oculaire. La paupière supérieure est plus mobile que la paupière inférieure et recouvre la totalité de la cornée lors de sa fermeture.



**Figure 3** : Coupes transversales des deux paupières supérieure et inférieure

Les paupières ont un rôle dans la protection du globe oculaire, dans le drainage lacrymal et dans l'expression de la mimique. Chaque paupière possède 2 faces (antérieure et postérieure), un bord libre et 2 angles.

## **b. L'appareil lacrymal**

L'appareil lacrymal assure la sécrétion et l'excrétion du film lacrymal. Il comprend :

### **b.1 Le système sécréteur lacrymal**

Composé par la glande lacrymale principale, les glandes lacrymales accessoires (séreuse et mucineuse) et par les glandes de l'appareil cilié : sudoripares, sébacées et glandes de Meibomius.

Le film lacrymal (d'une épaisseur de  $7\mu\text{m}$ ) a un rôle lubrifiant et stabilisateur de la cornée. Il participe également au pouvoir réfractif de l'œil en formant une première interface traversée par les rayons lumineux d'un indice = 1.33. Il est composé de trois couches distinctes :

- Une couche lipidique ( $0.1\ \mu\text{m}$ ) : sécrétée par les glandes de Zeiss et celles de Meibomius présentes au niveau de la marge palpébrale. Elle a pour fonction de limiter l'évaporation des larmes et de favoriser l'étalement du film lacrymal afin donc de lisser le dioptre cornéen et d'assurer une bonne qualité visuelle
- Une couche intermédiaire aqueuse : la plus épaisse, elle est sécrétée par les glandes lacrymales. Elle assure les fonctions de protection et de nutrition de la cornée.
- Une couche profonde mucineuse : sécrétée par les cellules caliciformes conjonctivales. Elle rend hydrophile la surface oculaire ce qui aide également à stabiliser le film lacrymal. Cette couche empêche la formation de gouttes sur la cornée et assure une humidification de la totalité de la surface de la conjonctive et de la cornée par la couche aqueuse.

## **b.2 Le système de drainage des larmes**

Constitué par un réseau de voies drainant le lac lacrymal. Ces voies s'étendent du bord interne des paupières aux fosses nasales et comprennent les points (ou méats) lacrymaux, les canalicules lacrymaux, le sac lacrymal et le canal lacrymo-nasal.

## **c. Les muscles oculomoteurs**

La motilité du globe oculaire est assurée par 6 muscles oculomoteurs comprenant 4 muscles droits et 2 muscles obliques (supérieur et inférieur). Leurs innervation est assurée par les III<sup>e</sup>, IV<sup>e</sup> et VI<sup>e</sup> paires crâniennes.

# **B. PHYSIOLOGIE**

## **1. Composition Chimique de la cornée**

La cornée [1] est composée principalement d'eau (78%), de fibres de collagène (16%), et en moindre quantité de mucopolysaccharides (4%), de lipides et de sels minéraux.

## **2. Métabolisme cornéen**

La cornée a une activité métabolique relativement lente et qui implique les cellules épithéliales, endothéliales et les kératocytes. Elle établit ses échanges avec 3 milieux:

- Le film lacrymal : fournit la majorité de l'**oxygène** (90% de l'oxygène absorbé sera consommé par l'épithélium). Pendant le sommeil, l'oxygène provient de la conjonctive palpébrale supérieure.
- L'humeur aqueuse qui fournit le **glucose** (principal nutriment de la cornée) ainsi que les autres nutriments. La cornée consomme 40 à 90 µg de glucose/h dont 40% destiné pour l'épithélium. Le glucose traverse la

barrière endothéliale par transport actif, sa dégradation se fait au niveau des cellules épithéliales de manière aérobie (métabolisme du glucose en acide pyruvique) et anaérobie (métabolisme du glucose en acide pyruvique qui est converti en acide lactique).

- Les vaisseaux limniques: fournissent les **grosses molécules**.

La cornée, dépendamment des échanges qu'elle régule peut se comporter comme :

- Une membrane semi-perméable afin de faciliter, d'une part, les échanges hydriques à travers ses couches antérieure et postérieure (diffusion de glucose, d'oxygène et autres substances) et d'autre part, afin de faciliter la diffusion intraoculaire des agents pharmacologiques (l'épithélium cornéen permet la diffusion des drogues hydrophobes liposolubles et freine la diffusion des drogues hydrophiles ionisées. Le stroma quant à lui, permet la diffusion des drogues hydrophiles et freine la diffusion des drogues liposolubles. L'endothélium, enfin, empêche la diffusion des grosses molécules).
- Une membrane plasmique afin de permettre des échanges passifs et actifs.

### 3. Propriétés optiques

#### a. Transmission

Le taux de transmission de la lumière par la cornée augmente avec la longueur d'onde dans le spectre de la lumière visible. La propagation dans le sens des rayons lumineux de la lumière à travers le stroma est due à l'uniformité du diamètre des fibrilles de collagène ainsi qu'à leur disposition régulière. En effet, elles sont séparées par des intervalles de 450 Å (bien inférieures à la longueur d'onde de la lumière) ce qui permet aux rayons de les traverser sans interactions (selon la théorie

de Maurice : la lumière ne subit pas d'interférences quand elle traverse une fente de taille inférieure à la moitié de la longueur d'onde du rayon lumineux en question).

### **b. Réfraction**

L'interface antérieure (air-cornée) représente 80 % du pouvoir réfractif total de l'œil [5] (différence d'indice = 0.376). Ce pouvoir est de 43D. L'interface postérieure (humeur aqueuse-endothélium cornéen) a un pouvoir réfractif plus faible car la différence d'indices réfractifs des deux milieux est moindre (0.04).

L'importance de l'interface antérieure dans le pouvoir réfractif de l'œil explique que la régularité de l'épithélium soit essentielle à la qualité de la vision. Ce qui fait que toute pathologie de l'épithélium cornéen entraîne un retentissement visuel important.

La cornée est asphérique : son rayon de courbure varie du centre vers la périphérie. La cornée normale est prolata (son rayon de courbure augmente en périphérie) dans 80 % des cas et oblate (diminution du rayon de courbure en périphérie) dans 20 % des cas. L'asphéricité cornéenne permet de diminuer les aberrations sphériques.

### **c. Réflexion**

L'intégralité de la lumière qui pénètre l'œil ne participe pas à la formation de l'image rétinienne une partie de cette lumière est diffusée, une partie absorbée et un faible pourcentage de cette lumière subit une réflexion. On parle de réflexion spéculaire dans la mesure où la cornée va se comporter comme un miroir convexe : une source lumineuse va se réfléchir sur les surfaces des éléments optiques de l'œil, qui sont au nombre de 4 (faces antérieures et postérieures de la cornée et du cristallin). Les images formées prennent l'appellation d'images de Purkinje. L'étude du reflet d'une image sur la cornée permet de calculer sa courbure et d'en déduire sa kératométrie.

#### **d. Comportement mécanique**

La cornée est un tissu viscoélastique ce qui lui confère une résistance mécanique à la pression très importante (plus importante que celle de la sclère)

#### **4. Mécanismes de transparence de la cornée**

##### **a. Mécanismes de régulation de l'hydratation cornéenne**

Le maintien de la transparence cornéenne implique que le stroma cornéen soit maintenu dans un état de déshydratation relative : on parle de déturgescence stromale. L'hydratation (H) du stroma cornéen est linéairement liée à l'épaisseur cornéenne.

Les transferts d'eau entre le stroma et l'humeur aqueuse se font fonction du gradient d'osmolarité entre les deux compartiments ainsi que de l'effet des glycosaminoglycanes (GAG) du stroma. Le gradient d'activité ionique entraîne une pression hydrostatique permettant une diffusion d'eau du stroma vers la chambre antérieure. À l'inverse, la répulsion des molécules de glycosaminoglycanes chargées négativement crée un appel d'eau vers le stroma (on parle de pression de gonflement du stroma cornéen). L'hydratation du stroma cornéen dépend de :

- La pression intraoculaire (PIO).
- La pression de gonflement du stroma (PG) qui varie entre 50 à 60 mmHg en situation normale.
- Des fonctions de barrière et de pompe de l'endothélium et de l'épithélium cornéens.

En situation physiologique et en état stable, la  $PG > PIO$  et ces deux pressions créent un flux d'eau vers le stroma qui est contrebalancé par la pompe endothéliale. Lorsque la PIO atteint ou dépasse la PG, les capacités de déturgescence de la pompe endothéliale sont dépassées. Si la barrière épithéliale est intacte, l'eau s'accumule en arrière de l'épithélium et un œdème sous-épithélial apparaît. La PG du stroma est

elle-même influencée par l'épaisseur cornéenne. Quand l'épaisseur cornéenne est multipliée par 1,5, la PG est divisée par 3.

### a.1 Fonctions de l'endothélium

La barrière endothéliale est due aux jonctions intercellulaires serrées focales qui sont perméables à l'eau et aux petites molécules mais imperméables aux grosses molécules. Elle est 3 fois plus perméable à l'eau que la barrière épithéliale.

La fonction de pompe endothéliale repose sur:

- L'adénosine triphosphatase (ATPase) sodium-potassium ( $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ) située sur les parois basolatérales de la cellule endothéliale : transporte 3 ions  $\text{Na}^+$  en extracellulaire pour 2 ions  $\text{K}^+$  en intracellulaire.
- L'anhydrase carbonique intracellulaire : permet la synthèse d'ions  $\text{HCO}_3^-$
- Un échangeur sodium-proton : fait entrer des ions  $\text{Na}^+$  du stroma vers l'intérieur de la cellule endothéliale et fait sortir des ions  $\text{H}^+$  de la cellule vers le stroma.
- Un cotransporteur sodium-bicarbonate : fait sortir de la cellule 2 ions  $\text{HCO}_3^-$  et 1 ion  $\text{Na}^+$  vers l'humeur aqueuse.
- Une voie d'élimination apicale du bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) : rôle primordial dans la physiologie des flux aqueux à travers l'endothélium.

Les mouvements d'eau à travers l'endothélium se font en fonction du gradient osmotique (pas de mécanisme de transport direct des molécules d'eau au niveau de l'endothélium). Globalement, la concentration en ions sodium est plus importante dans le stroma que dans l'humeur aqueuse mais comme une partie des ions sodium du stroma est liée aux glycosaminoglycanes (GAG), l'activité ionique est plus faible dans le stroma. L'augmentation de l'activité ionique des ions  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{Na}^+$  dans l'humeur aqueuse crée un gradient osmotique entre le stroma et la chambre

antérieure et donc un flux d'eau du stroma vers la chambre antérieure à travers les cellules endothéliales.

Après destruction de l'endothélium et de la membrane de Descemet, l'œdème cornéen est très important et l'épaisseur cornéenne peut atteindre 5 fois l'épaisseur normale.

La fonction de pompe endothéliale est le principal facteur qui permet de contrebalancer la PG du stroma. La décompensation endothéliale survient en dessous de 300–500 cellules/mm<sup>2</sup>.

### **a.2 Fonctions de l'épithélium**

La barrière épithéliale repose sur les jonctions étanches et sur le glycocalyx (surface des cellules épithéliales). Il existe un transport ionique au niveau de l'épithélium dont le rôle dans le maintien de l'hydratation du stroma est mineur.

Le flux net de sodium et de chlore à travers l'épithélium vers les larmes génère un potentiel électrique d'environ 30 à 40 mV qui contribue à la fonction de déturgescence du stroma.

Le port de lentilles de contact entraîne une hypoxie épithéliale source :

- D'amincissement épithélial.
- D'altérations de la barrière épithéliale.
- D'acidose lactique.
- De diminution des microvillosités des cellules épithéliales ce qui entraîne une diminution de l'ancrage du film lacrymal, lui-même source de sécheresse oculaire.

Après désépithélialisation cornéenne, on obtient une augmentation d'épaisseur de la cornée qui ne dépasse pas le double de l'épaisseur normale.

### **a.3 Evaporation à la surface cornéenne et film lacrymal**

Elle joue un rôle relatif dans la fonction de déturgescence du stroma.

### **b. Mécanismes d'inhibition de la réaction inflammatoire et de l'angiogenèse**

Une cornée se soit d'être dépourvue de vaisseaux et de cellules inflammatoires afin de conserver sa transparence. Des processus physiologiques immunitaires permettent de limiter toute réaction inflammatoire au sein de la cornée.

La néovascularisation cornéenne peut apparaître suite à une multitude de circonstances telles que le port de lentilles de contact, les infections, inflammations, traumatismes et brûlures chimiques. En effet, des vaisseaux anormaux se développent à partir des cellules endothéliales des capillaires des plexus péricornéens et envahissent le stroma et/ou l'épithélium en se dirigeant vers le site lésionnel. De nombreux facteurs participent à la formation de néovaisseaux, les chimiokines principalement. De récentes études impliquent un déséquilibre entre facteurs proangiogéniques et antiangiogéniques ce qui provoque la multiplication et la migration des cellules endothéliales vasculaires et l'apparition de néovaisseaux.

## **5. Maintien des barrières épithéliales et endothéliales**

La barrière épithéliale permet d'empêcher l'invasion du stroma par des micro-organismes et contribue à la régulation de l'hydratation cornéenne. Le renouvellement permanent de l'épithélium cornéen permet le maintien de cette barrière. Après désépithélialisation complète de la cornée, une couche basale se reforme à partir de l'épithélium germinatif limbique et l'épithélium cornéen est reconstitué en 5 à 7 jours et mature en 30 jours.

L'endothélium humain quant à lui est un tissu quasiment incapable de se multiplier après la naissance. Néanmoins, ses cellules sont très résistantes à l'apoptose et les réserves cellulaires endothéliales sont très importantes.

## 6. Cicatrisation de la cornée

Les lésions qui déclenchent le processus de cicatrisation sont de nature variée, elles peuvent être de nature mécanique, thermique, chimique, infectieuse, secondaire à des rayonnements ultraviolets (comme c'est le cas pour le laser excimer)... etc. En induisant une mort cellulaire, ces processus lésionnels déclenchent une réaction inflammatoire et initient les différentes phases de la cicatrisation :

- Phase de détersion du tissu lésé : dès cette phase, le système activateur du plasminogène/plasmine (qui permet de cliver des protéines de la matrice extracellulaire, d'activer des enzymes telles que les procollagénases ainsi que la voie du TGF- $\beta$ ) et les métalloprotéinases (dégradent les protéines de la matrice extracellulaire) sont activés et permettent une détersion du stroma lésé.
- Phase de prolifération et de migration cellulaires.
- Phase de réparation.
- Phase d'arrêt progressif du processus cicatriciel.

Le haze cornéen, est une sorte de voile qui peut apparaître après une photokératectomie réfractive (PKR). Son origine est mixte, il s'agirait à la fois d'une désorganisation des fibrilles de collagène du stroma et de l'augmentation du nombre des cellules kératecytaires au niveau de la cornée (les kératecytes sont des corps réfringents). Une sécrétion augmentée de TGF- $\beta$  diminue la production de collagénases, ce qui va forcément affecter le processus de cicatrisation puisque celles-ci sont fortement impliquées dans la détersion du tissu lésé.

Les vitesses de cicatrisation de la cornée sont très variables selon la couche concernée:

- Epithélium : quelques heures à quelques jours

- Membrane basale épithéliale et membrane de Descemet : plus de 6 mois
- Stroma : plusieurs années
- Membrane de Bowman : ne se reconstitue jamais.

## 7. Les mécanismes de la vision

L'œil représente l'organe de la vision de par ses différentes composantes anatomiques. Pour ce faire, plusieurs facteurs et éléments entrent en jeu.

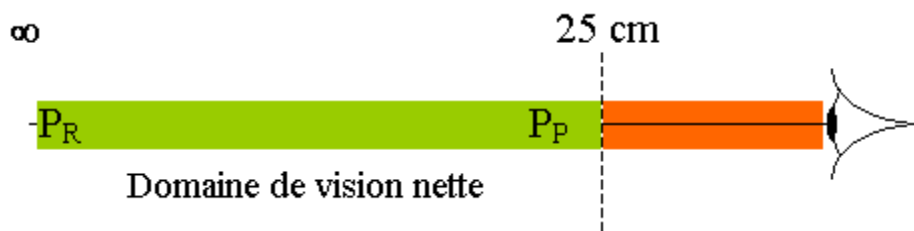
### a. **Acuité visuelle**

Se définit comme la capacité de l'œil à discerner visuellement les détails les plus fins. Les émissions lumineuses qui pénètrent l'œil traversent les différents dioptries (cornée, humeur aqueuse, cristallin et corps vitré) qui se chargent de leur convergence afin qu'ils soient focalisés exactement sur la rétine, si bien que l'image projetée est vue de façon nette chez le sujet emmétrope. Ce processus se fait grâce à un mécanisme appelé mécanisme d'accommodation.

L'accommodation est la faculté que possède le cristallin à augmenter sa puissance de focalisation (via la mise en jeu des muscles ciliaires). Elle permet la vision de près chez le sujet emmétrope (œil dépourvu d'erreurs réfractives). En vision de loin, pour un œil emmétrope, l'image d'un objet lointain se forme naturellement sur la rétine. L'œil est alors au repos. En vision de près, l'image se forme derrière la rétine et donc devrait être floue. Pour remédier à cela, les muscles ciliaires se contractent, les fibres zonulaires se relâchent et le cristallin se bombe. Il devient plus convergent. On dit que l'œil accommode, c'est à dire qu'il avance le point focal devant la rétine afin de conserver la concentration des rayons lumineux. Cette capacité d'accommodation est néanmoins limitée. On définit deux points:

- Le punctum proximum (PP), qui est le point le plus proche que l'on peut voir distinctement.

- Le punctum remotum (PR) qui se définit comme étant le point le plus éloigné que peut voir l'œil sans mettre en jeu son accommodation.



**Figure 4** : L'emplacement des deux punctums proximum et remotum dans un œil normal

Pour un œil normal, le PR est à l'infini et le PP à environ 25 cm.

La capacité d'accommodation de l'œil se mesure en dioptries : c'est la différence de vergence entre le PP et le PR. L'amplitude de cette accommodation diminue avec l'âge du fait de la perte en souplesse du cristallin. Le PP se situe au-delà de la distance de lecture normale. On parle alors de presbytie.

#### b. Vision des couleurs

L'œil est capable, grâce à certaines cellules rétiniennes appelées cônes, de percevoir les couleurs fondamentales qui sont le rouge, le vert et le bleu. La combinaison de ces couleurs fondamentales à des dosages variables permet la vision des couleurs. Pour une vision normale, on recense 15 000 nuances.

#### c. Vision de contraste

Le contraste d'une image est une propriété intrinsèque de cette image qui quantifie la différence de luminosité entre les parties claires et celles sombres. La chirurgie réfractive donne parfois une diminution de la vision des contrastes et certains patients le décrivent spontanément sans qu'on ait à leur poser la question. Un trouble de la vision de contraste fait que le sujet a du mal à voir les caractères d'imprimerie noirs sur une page blanche, des lignes blanches sur une route noire...

#### **d. Vision binoculaire**

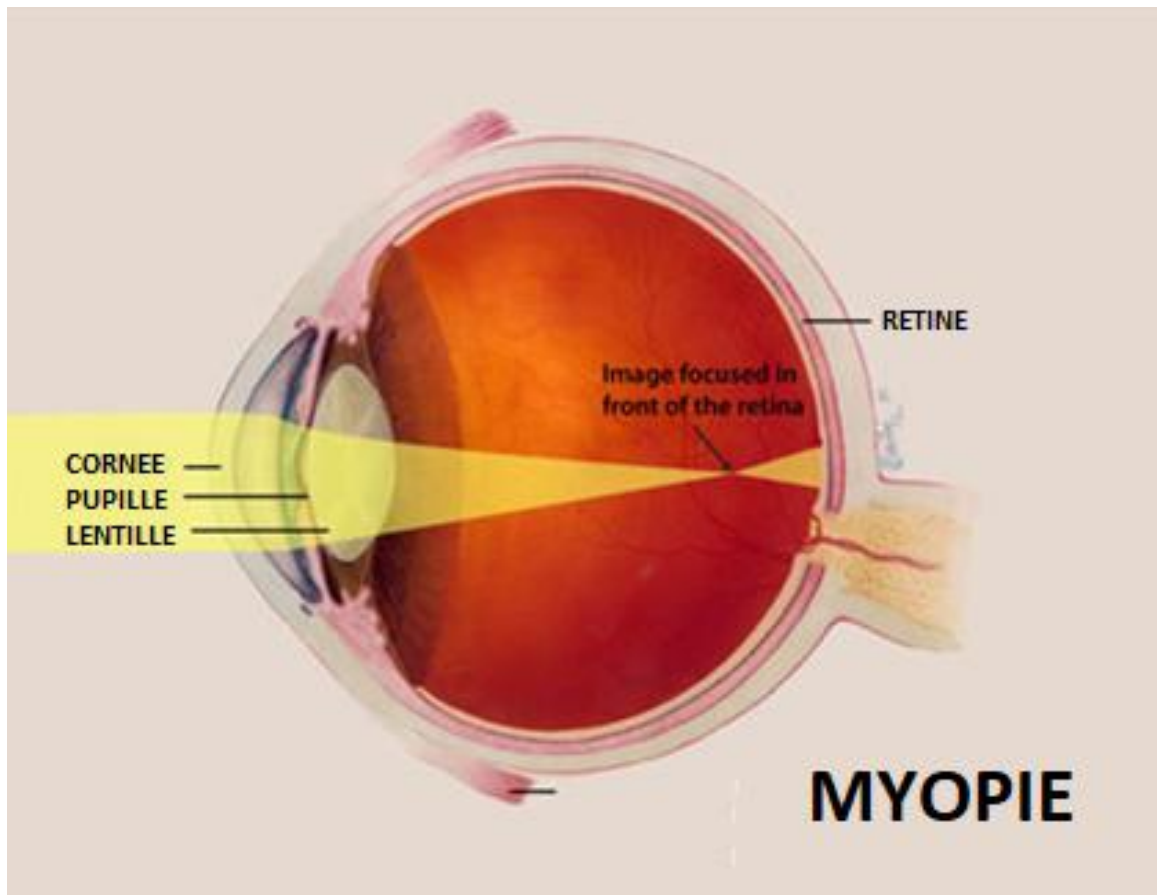
La vision binoculaire est rendue possible grâce à la synergie d'action des différents muscles oculaires. Il existe, pour chaque œil, 6 muscles oculomoteurs auxquels s'ajoutent les muscles : releveur de la paupière supérieure, ciliaire circulaire, le sphincter pupillaire et le dilatateur pupillaire. Chaque muscle oculomoteur possède un antagoniste homolatéral et un synergiste controlatéral.

### **C. PHYSIOPATHOLOGIE DES AMETROPIES**

Dans un œil emmétrope, l'image donnée d'un objet lointain est située sur la rétine. On dit aussi que la rétine est au plan focal de l'ensemble cornée-cristallin. En vision de près, le pouvoir d'accommodation du cristallin permet d'avancer le foyer image pour maintenir sur la rétine l'image de l'objet observé. Moins l'optique oculaire est en mesure de focaliser correctement l'image des objets sur la rétine, plus la vision s'en trouve détériorée. Les troubles de la réfraction sont les plus courants des troubles de la vision.

Il existe deux types d'anomalies de réfraction : les anomalies axiales et/ou d'indice de réfraction. Les principaux troubles de la réfraction, qui peuvent être un mélange de ces deux types d'anomalies, sont :

## 1. Myopie



**Figure 5** : Illustration de la myopie surlignant la cornée, la pupille et la lentille et la manière avec laquelle l'image est reflétée sur la rétine (National Eye Institute)

La myopie est la plus fréquente des amétropies. C'est une cause fréquente de vision floue de loin et est généralement provoquée par une longueur axiale excessive de l'œil.

Le myope voit toujours net de près et toujours flou au-delà de son punctum remotum (PR). La quantification de la distance à laquelle débute le flou visuel du myope est un paramètre important qui permet de quantifier le degré de myopie (il est égal à l'inverse de la distance du punctum remotum en mètres). Il s'exprime habituellement en dioptries (D). Plus cette distance est proche de l'œil, plus la myopie est forte, plus le nombre de dioptries nécessaires à sa correction sera élevé.

La myopie affecte en général les deux yeux, avec une magnitude (degré de myopie) relativement équivalente entre eux. Parfois, il existe une différence plus marquée. On parle alors d'anisométrie.

Chez les enfants, le flou induit par la myopie peut ne pas être ressenti comme tel et il est important d'assurer le dépistage de la myopie dès la petite enfance, pour réduire le risque d'amblyopie (due à un défaut de fonction du cerveau visuel : la vision d'un des deux yeux ne s'est pas correctement développée et l'enfant n'a pas appris à s'en servir pendant la période de développement visuel).

Il existe différents types de myopie selon le mécanisme à l'origine du trouble.

On distingue :

- La myopie axiale : le plus souvent induite par un allongement excessif de l'œil. Elle apparaît dans l'enfance ou vers l'adolescence. Comme le degré de myopie est proportionnel à l'excès d'allongement du globe oculaire, plus celui-ci intervient précocement dans la croissance de l'œil et plus l'allongement du globe risque d'être prononcé. Sur le plan anatomique, cet excès de longueur est faible (quelques dixièmes de millimètres), mais à l'échelle de l'optique de l'œil, il est suffisant pour que l'image recueillie par la rétine soit floue.
- La myopie réfractive : correspond généralement à une myopie faible (moins de 3 D), pour laquelle l'œil ne présente pas une longueur axiale excessive par rapport à la distribution rencontrée dans la population non myope. Les éléments réfractifs du segment antérieur de l'œil (cornée et cristallin) semblent trop puissants vis à vis de cette longueur axiale.
- La myopie d'indice : est une myopie acquise qui traduit la présence d'une cataracte nucléaire. Elle est liée à l'augmentation de l'indice de réfraction du noyau du cristallin qui s'opacifie. L'augmentation de l'indice de réfraction

induit une augmentation de la puissance optique du cristallin qui devient plus puissant et donc plus convergent.

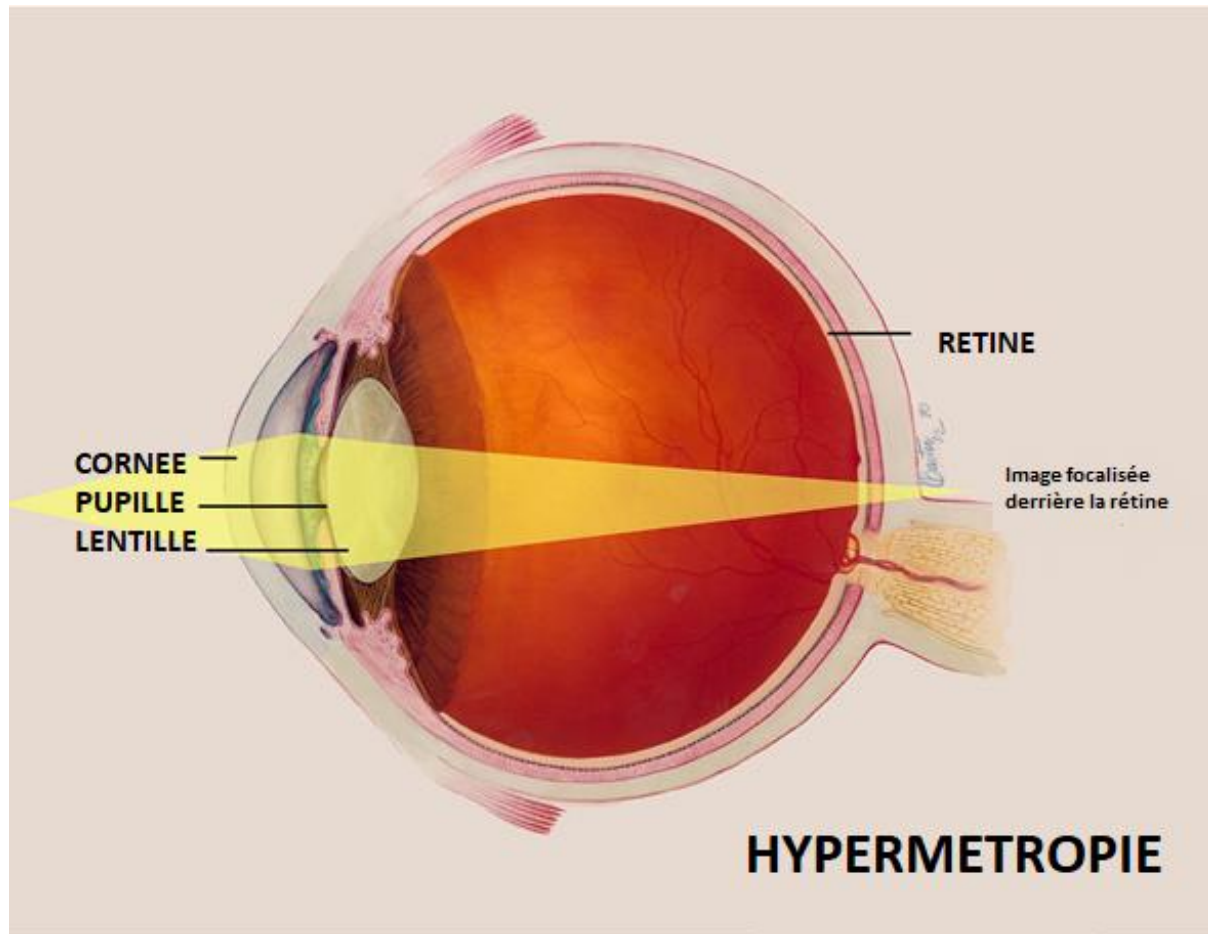
- La myopie cornéenne : est une myopie induite par l'augmentation de la puissance du dioptré cornéen chez un sujet initialement emmétrope. Elle s'observe dans les cas de kératocône, où la cornée présente une courbure accentuée.

La myopie peut se corriger par l'utilisation de verres ou lentilles concaves. On parle alors de correction optique externe. Elle peut également se corriger par chirurgie, qui peut s'exercer soit sur la cornée (remodelage) ou sur le cristallin.

- La chirurgie réfractive utilise le Laser Excimer pour modifier la géométrie de la face antérieure de la cornée de l'œil myope. Le remodelage au laser Excimer de la cornée peut être effectué en profondeur (par LASIK) ou en surface (par Photokératectomie Réfractive ou PKR).
- La chirurgie cristallinienne consiste à remplacer le cristallin par un implant artificiel (équivalent de la chirurgie de la cataracte).
- La mise en place de lentilles intraoculaires (ICL : implantable contact lenses) est également une bonne alternative lorsque le laser n'est pas réalisable (ce sont des lentilles placées à l'intérieur du globe par voie chirurgicale).

Le choix du site et de la technique chirurgicale sera effectué en fonction de nombreux paramètres (âge, degré de myopie, pachymétrie...etc.)

## 2. Hypermétropie



**Figure 6** : Illustration de l'hypermétropie surlignant la cornée, la pupille et la lentille et la manière avec laquelle l'image est focalisée derrière la rétine (National Eye Institute)

L'hypermétropie est un défaut optique fréquent, caractérisé par l'existence d'un œil trop court. L'image formée sur la rétine par un œil hypermétrope au repos est floue, car la distance cornée-rétine est plus courte que la distance de focalisation du couple cornée-cristallin. Les rayons lumineux convergent alors dans un plan situé en arrière de la rétine. La vision de loin est parfois conservée, alors que les objets situés à quelques mètres paraissent plus ou moins flous.

Dans certains cas, beaucoup moins fréquents, l'hypermétropie est liée à une puissance cornéenne insuffisante. La cornée n'est pas assez bombée et les rayons incidents ne convergent pas assez.

Si la vision de loin est bonne, pour être nette, la vision de près requiert chez les patients hypermétropes un effort supplémentaire qui peut induire des symptômes variés de fatigue visuelle. Ces symptômes dépendent de l'âge du sujet hypermétrope, de son degré d'hypermétropie, et de l'existence d'une presbytie associée. Ils peuvent se manifester sous forme de : maux de tête, rougeurs oculaires intermittentes, sensibilité accrue à la lumière, brouillard visuel intermittent... etc.

On peut distinguer, selon leur puissance, deux types d'hypermétropie :

- L'hypermétropie faible et modérée : souvent bien tolérée (en raison de la compensation accommodative) et n'oblige pas le patient à se corriger en permanence. Une large proportion de ces hypermétropies passent inaperçue et ne se démasque que vers l'âge de la presbytie (où la puissance de l'effort accommodatif compensateur diminue).
- L'hypermétropie moyenne à forte : elle induit une gêne importante en vision de près et de loin, l'accommodation ne suffisant plus à sa compensation totale. Ce trouble nécessite une correction permanente et apparaît en général tôt dans l'enfance. Il est souvent associé à des troubles de la vision binoculaire (strabisme) ou à une amblyopie.

Enfin, il existe un dernier type d'hypermétropie, appelé hypermétropie secondaire, qui va être observé après certaines chirurgies oculaires comme c'est le cas dans la chirurgie de la myopie par kératotomie radiaire (où on peut parfois observer un shift hypermétropique), et dans la chirurgie de la cataracte (par retrait de l'implant ou par usage d'un implant non suffisamment puissant).

La correction de l'hypermétropie peut être optique; par le port de verres de lunettes ou de lentilles de contact convexes, qui vont faire converger les rayons vers le plan rétinien. La puissance de ces verres, exprimée en Dioptrie, est positive. La correction peut également se faire de manière chirurgicale.

### 3. Astigmatisme

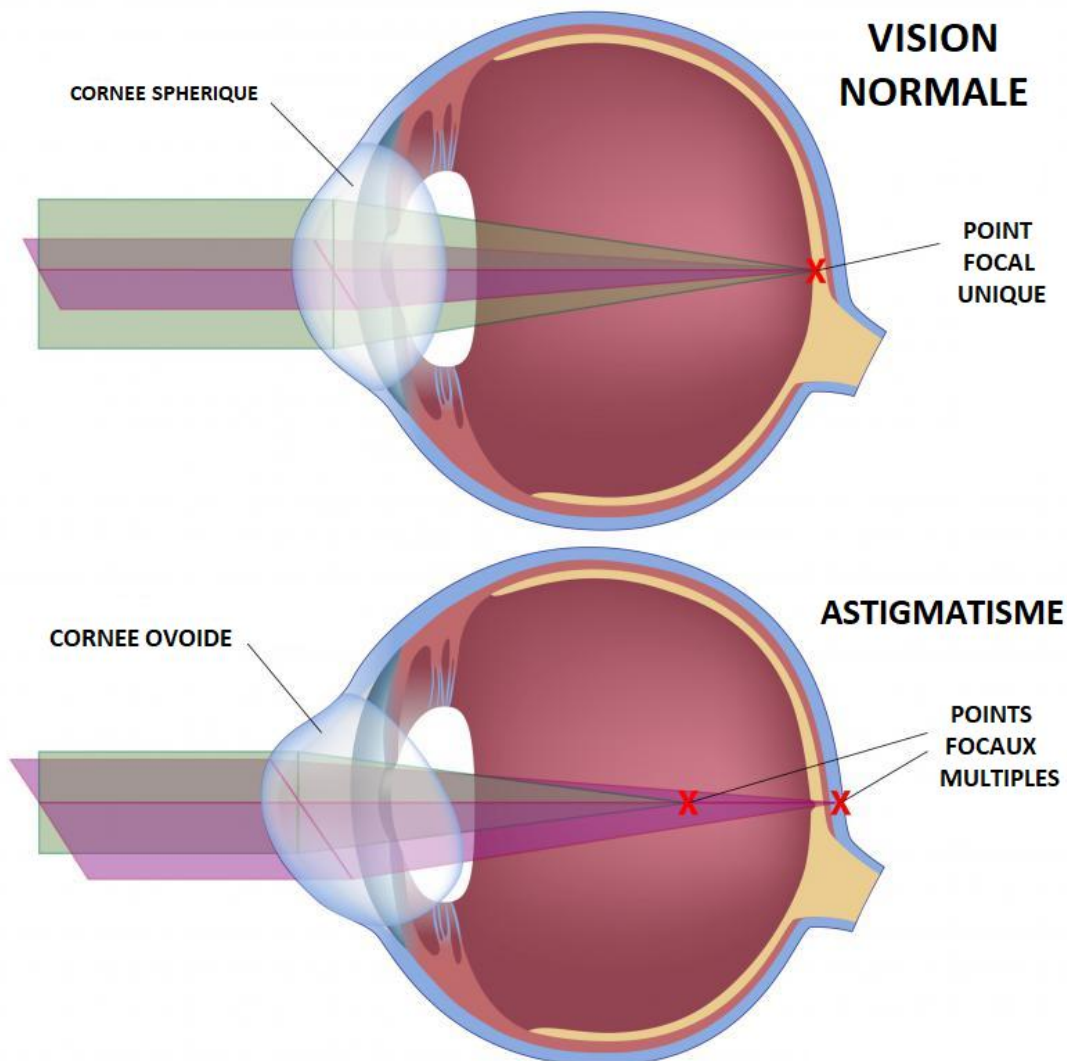


Figure 7 : Illustration de l'astigmatisme surlignant les points focaux multiples

L'astigmatisme est un défaut optique qui provoque un flou visuel d'intensité variable. Il est couramment associé à la myopie ou à l'hypermétropie. Il apparaît lorsqu'il existe une variation excessive de la courbure cornéenne entre ses méridiens (lignes qui passent par le centre de la cornée). Du fait de ce caractère orienté, le flou visuel ressenti dépend de l'orientation des cibles visuelles observées.

Il ne faut pas confondre la « toricité », qui est une caractéristique géométrique, et l'astigmatisme, qui est une aberration optique. L'astigmatisme est donc la résultante de la toricité. L'astigmatisme rencontré en ophtalmologie s'exprime en dioptries et en degré d'axe :

- La puissance de l'astigmatisme correspond à l'écart de focalisation maximale entre deux rayons issus d'un même point et réfractés par les méridiens de courbure extrême (soit le moins cambré et le plus cambré).
- L'axe exprimé en degré correspond à l'angle d'un des deux méridiens (le moins cambré quand la puissance est de signe négatif et le plus cambré quand la puissance est de signe positif).

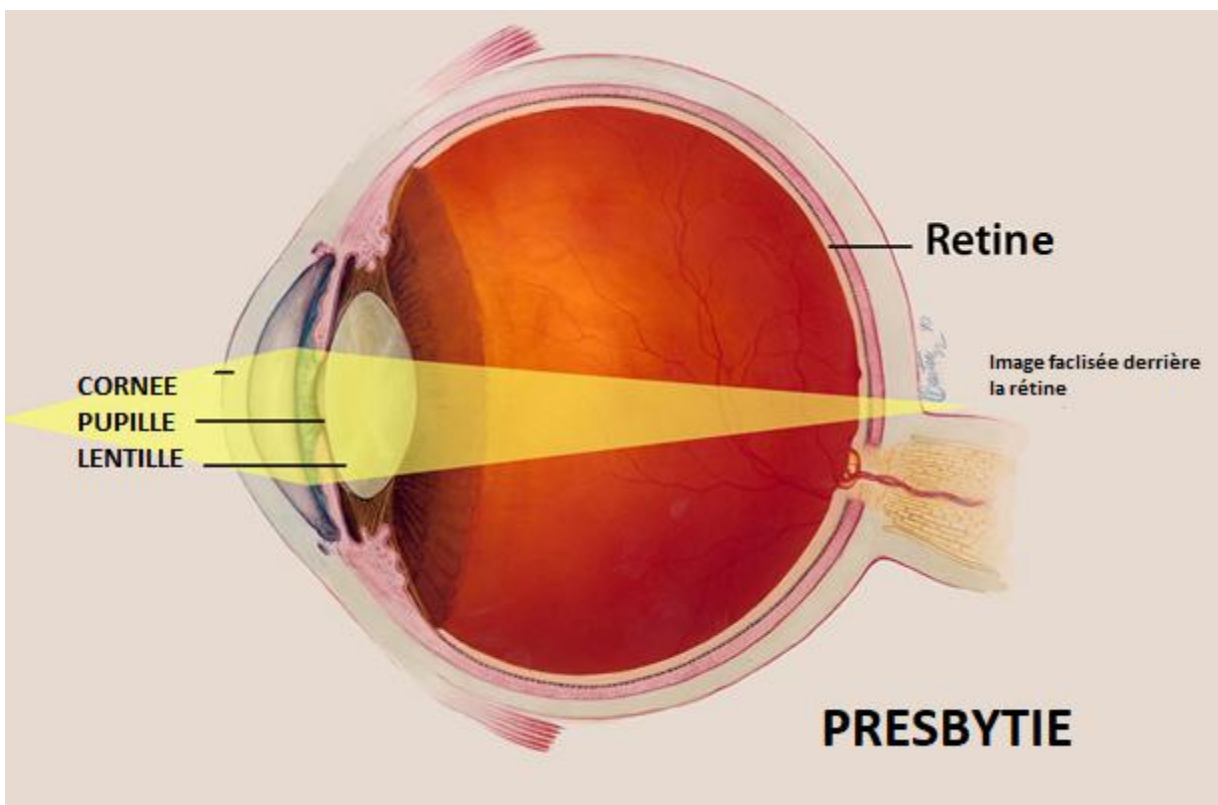
Le flou visuel induit par l'astigmatisme concerne aussi bien la vision de loin que celle de près, il n'y a pas de distance où la vision est nette.

L'astigmatisme peut être corrigé par l'utilisation de lentilles (ou verres de contacts) dites toriques, dont les courbures sont différentes entre les méridiens. Cette différence est conçue pour annuler celle de l'œil. Plus l'astigmatisme est important, plus la correction par verres de lunette peut s'avérer difficile à tolérer, en raison de distorsions optiques parfois incompatibles avec un confort visuel acceptable.

Il peut également être corrigé par chirurgie réfractive par le biais du laser excimer qui va régulariser la surface cornéenne, afin de corriger l'astigmatisme. La vision sera dès lors améliorée de loin comme de près. Les profils d'ablation pour la

correction de l'astigmatisme sont géométriquement plus complexes. Il est important de bien aligner le traitement avec l'axe de l'astigmatisme, d'ailleurs, les techniques de photoablation personnalisées avec reconnaissance irienne permettent une concordance parfaite entre l'orientation de l'astigmatisme et du traitement laser photoablatif.

#### 4. Presbytie



**Figure 8** : Illustration de la presbytie surlignant la cornée, la pupille et la lentille et la manière avec laquelle l'image est focalisée derrière la rétine (National Eye Institute)

La presbytie correspond à une gêne croissante en vision de près, qui apparaît un peu après l'âge de 40 ans et qui est provoquée par la réduction progressive de la capacité de l'œil à effectuer la mise au point en vision rapprochée. Elle traduit la diminution progressive du pouvoir d'accommodation de l'œil qui est directement lié à la réduction de l'élasticité du cristallin et de sa capsule.

Le statut de la vision de loin et l'absence ou la présence d'un défaut optique éventuel, conditionnent le type et l'importance des symptômes de la presbytie :

- Chez le sujet emmétrope : la presbytie se traduit par l'apparition d'une gêne en vision de près. Au fil des ans, la vision de près continue à se dégrader, et oblige à porter une correction de plus en plus forte.
- Chez le sujet myope devenu presbyte : le retrait de la correction de loin peut permettre une vision de près plus nette, mais au dépend de la vision de loin qui devient alors floue.
- Chez le sujet hypermétrope devenu presbyte : l'installation de la presbytie est particulièrement mal vécue. Le sujet ressent une réduction globale de la qualité de sa vision : non seulement la vision de près diminue, mais la vision de loin, qui était modérée, se dégrade aussi rapidement vers la quarantaine.

L'installation de la presbytie à la quarantaine est inéluctable et se traduit par une difficulté croissante pour lire de petits caractères en vision de près, en particulier quand la luminosité ambiante est faible, rendant nécessaire le recours à une aide optique.

La presbytie se corrige logiquement par le port de verres convexes destinés à suppléer au manque de puissance focale. La valeur de cette addition est fonction du degré de la presbytie, lui-même en rapport avec l'âge. La chirurgie réfractive et la chirurgie de la cataracte peuvent également permettre de corriger ce trouble.

## **D. BIOMECHANIQUE CORNEENNE**

### **1. Généralités**

La science de la biomécanique oculaire en est encore à ses tout débuts, bien que son importance soit unanimement reconnue.

L'eau, qui compose à 78% la cornée est par nature quasi incompressible. Elle n'entre pas en jeu dans les variations locales de la biomécanique cornéenne. C'est essentiellement le couple collagène–Matrice extracellulaire (MEC) du stroma qui détermine les variations de propriétés viscoélastiques du tissu. La microarchitecture du stroma cornéen consiste en un enchevêtrement de fibrilles de collagène, organisées en lamelles, espacées et orientées régulièrement. Cette organisation fibrillaire est d'une régularité primordiale puisqu'elle permet de maintenir la transparence cornéenne.

### **2. Intérêts d'évaluer les propriétés biomécaniques de la cornée en pratique clinique**

En pratique clinique [15], il est important d'évaluer les propriétés biomécaniques de la cornée, notamment :

- Dans le cadre du dépistage et du suivi des patients glaucomateux et de ceux ayant bénéficié de chirurgie réfractive, puisque certaines ectasies cornéennes induites en postopératoire, pourraient reposer sur la décompensation d'un état biomécanique cornéen initialement précaire. Il existe une concentration de la résistance biomécanique au niveau des couches antérieures de la cornée, ce qui explique justement le risque plus élevé de survenue d'ectasie après chirurgie avec découpe de capot, comparé au même risque lors de l'utilisation des techniques de surface. La

bonne étude des paramètres biomécaniques en préopératoire permettrait donc l'aide à la détection des cornées dites « à risque biomécanique ».

- Pour quantifier l'effet bénéfique de certaines procédures thérapeutiques comme le cross-linking (CXL) ou l'insertion d'anneaux intra-cornéens.
- Pour apprécier les conséquences biomécaniques de certaines affections oculaires, qu'elles soient locales (dystrophie, sécheresse oculaire... etc.) ou générales (Diabète, Marfan...etc.)

### 3. Hystérèse

Propriété décrite par James Ewing en 1890. Elle explique la caractéristique qu'ont certains systèmes physiques de réagir à une force qui leurs est appliquée de manière différée dans le temps. Différée dans la mesure où ils ne reviennent pas instantanément à leur forme d'origine : ils absorbent une partie de l'énergie mécanique incidente, qu'ils dissipent sous une autre forme.

Le comportement mécanique du tissu cornéen peut être modélisé comme un système au comportement viscoélastique :

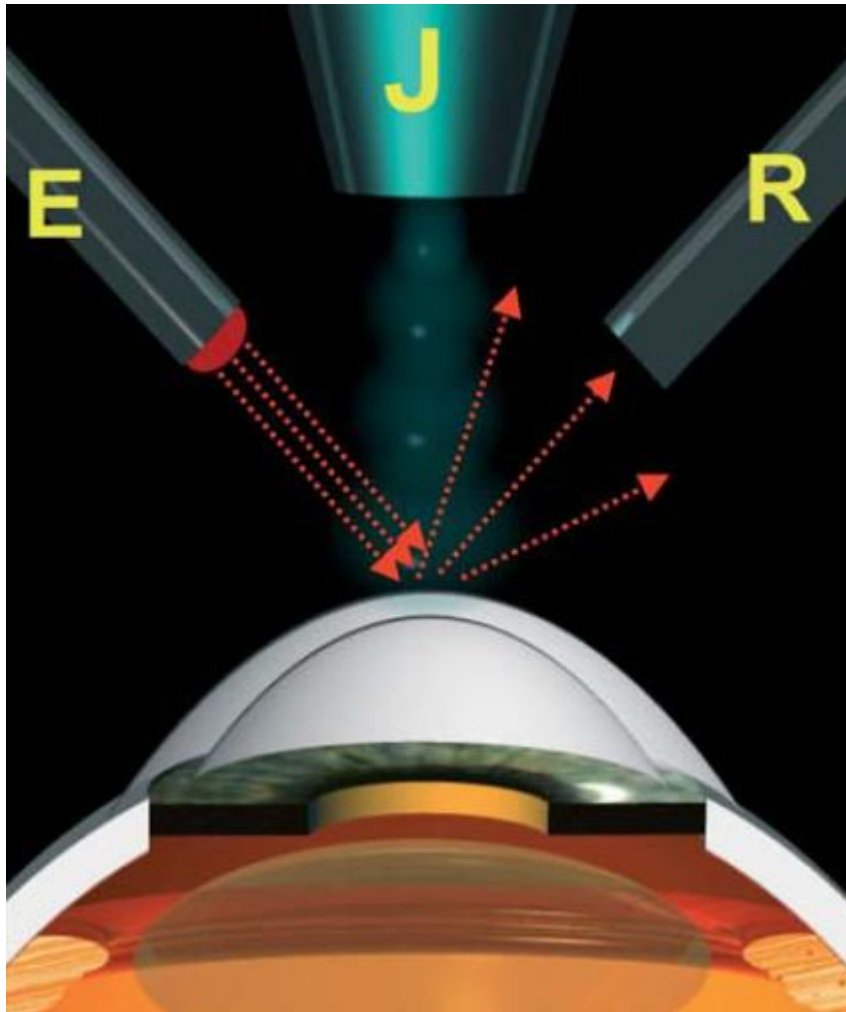
- Comportement élastique : un système parfaitement élastique peut stocker de l'énergie avant de la restituer quasi intégralement.
- Comportement visqueux : un système visqueux oppose une résistance qui s'accroît de façon non proportionnelle à l'intensité de la déformation exercée. Il existe une dissipation de l'énergie sous forme thermique (liée à la friction des lamelles de collagènes du tissu cornéen), ce qui explique un retour différé à l'état d'équilibre d'origine.

Les systèmes visqueux possèdent une hystérèse élevée, à l'inverse des systèmes élastiques.

#### **4. Appareils utilisés pour l'étude de la biométrie cornéenne**

##### **a. L'Ocular Response Analyzer : ORA**

L'Ocular Response Analyzer®, ORA (Reichert Ophthalmic Instruments, Depew, NY, USA) est le premier appareil dévoué en clinique à l'approche de la biométrie cornéenne. Il permet de déterminer les propriétés biomécaniques de la cornée [7-8-10-12] à l'aide d'une indentation prononcée du centre de la cornée, en émettant un jet d'air calibré dirigé vers le dôme de cette dernière. La cinétique de déformation de l'apex cornéen est analysée grâce à la quantification du taux de réflexion spéculaire d'un rayonnement laser infrarouge pointé sur le centre de la zone aplanie par le jet d'air. Plus la courbure cornéenne est moindre, plus cette lumière infrarouge sera réfléchie.

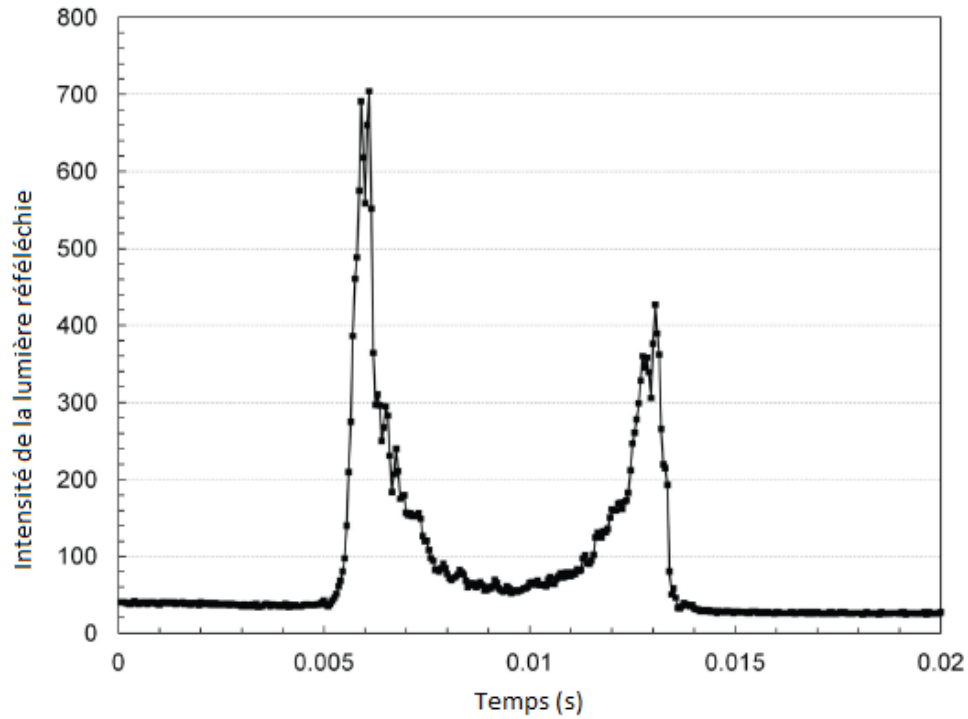


**Figure 9** : Représentation schématique de la tête de mesure de l'ORA avec E (Émetteur infra-rouge) J (Émetteur de jet d'air calibré) et R (Récepteur infra-rouge) – Illustration Dr. Gatinel D.

On note non par une, mais deux mesures d'aplanation successives (correspondant à 2 pics infra-rouge) :

- La première pression d'aplanation,  $P_1$  : au moment de la déformation cornéenne initiale secondaire à l'augmentation de pression due à l'émission du jet d'air. La cornée va réfléchir la lumière infra-rouge en majorité vers le récepteur. Le flux d'air est alors interrompu. Il faut noter que plus la pression intraoculaire est élevée, plus la pression d'air équivalente à fournir pour obtenir cette première aplanation est importante.

- La deuxième pression d'aplanation, P2 : provoquée par la réduction de la pression de l'air, ce qui provoque un retour progressif de la cornée vers son état d'équilibre en passant par un deuxième état d'aplanation.



**Figure 10** : L'onde correspondant à la mesure des deux pics infra-rouges par l'Ocular Response Analyzer (ORA) : les 2 pics représentent les deux pressions d'aplanation P1 et P2.

Ces deux pressions sont exprimées en mmHg. Du fait des propriétés viscoélastiques de la cornée, le retour à l'aplanation est plus lent et les pressions P1 et P2 sont donc différentes l'une de l'autre :  $P2 < P1$ . Plus le différentiel est accru, plus la capacité de la cornée à absorber l'énergie mécanique (la force du jet d'air) est importante. La différence de survenue temporelle de ces deux pics est considérée comme le reflet de l'hystérésis de la cornée, c'est à dire son profil de viscoélasticité.

## b. Les index quantitatifs de l'ORA

A partir des 2 valeurs de P1 et P2, l'ORA va mesurer d'autres index :

- L'Hystérèse cornéenne, HC (ou CH: pour **Corneal Hysteresis**) :  $CH = P1 - P2$ . Le HC est le résultat de l'amortissement visqueux du tissu cornéen créé par la viscosité des glycosaminoglycanes (GAG) et des protéoglycanes (PG). Sa valeur est positive, globalement proportionnelle au degré de viscosité de la cornée, et inversement proportionnelle à son degré d'élasticité.
- Le Facteur de Résistance Cornéenne, FRC (ou CRF: pour **Corneal Resistance Factor**):  $CRF = P1 - k \times P2$  (avec  $k=0.7$  / cette valeur ayant été déterminée à partir d'études cliniques et de modèles statistiques). Le FRC est un paramètre qui a été calculé par régression linéaire, de manière à être moins corrélé à l'épaisseur cornéenne centrale : il accorde une moindre pondération à la valeur de P2.
- La pression Intraoculaire compensée (IOPcc : pour **Corneal-Compensated IntraOcular Pressure**):  $IOPcc = P2 - k \times P1$  (avec  $k=0.43$  / cette valeur ayant été déterminée à partir d'études cliniques et de modèles statistiques). On parle de pression non compensée, puisqu'elle représente une mesure de la pression intraoculaire qui est libre de toute influence de l'épaisseur cornéenne (comparée à l'IOPg qui est mesurée par le tonomètre à aplanation de Goldmann).
- La Pression Intraoculaire non compensée (IOPg: pour **Goldmann-correlated IntraOcular Pressure**).  $IOPg = (P1 + P2)/2$ .

Le CH est en valeur moyenne de 11.02 ( $\pm 1.22$ ) mmHg. Sa valeur (de même que pour celle du FRC) est réduite dans les yeux atteints de Kératocône. Bien que ça puisse en partie être mis sur le compte de l'épaisseur cornéenne élevée, c'est surtout dû à la structure altérée des GAG et des PG (adhésion lamellaire altérée).

### c. CORVIS–ST (Corneal Visualization Scheimpflug Technology)

L'ORA réalise une tonométrie dynamique mais n'accède pas à la mesure de l'élasticité proprement dite, contrairement au CORVIS–ST (Oculus Optikgeräte GmbH, Allemagne) qui est une machine plus récente, reprenant les modalités de sondage de la cornée par jet d'air, mais y associant une analyse morphologique [11] plus complète de la déformation qu'avec l'ORA, et ce grâce à une caméra Scheimpflug à ultra vitesse qui va filmer la réaction de la cornée au jet d'air.

## 5. Modifications de la biomécanique cornéenne induites par la chirurgie réfractive

Certaines techniques de chirurgie réfractive sont soustractives, c'est-à-dire qu'elles entraînent des modifications du pouvoir réfractif de la cornée par remodelage de celle-ci. Dans ces techniques, la possible réaction biomécanique est bien souvent négligée, bien qu'il ait été démontré qu'une partie des effets non prédits par les profils d'ablation sont liés à des modifications de la géométrie du mur cornéen d'origine biomécanique [9].

Les techniques de dépistage fondées sur la topographie n'ont pas une sensibilité ni une spécificité absolue. En ajoutant de nouveaux paramètres issus de l'analyse préopératoire de l'état biomécanique de la cornée, on pourrait accroître la précision du dépistage des cornées à risque d'ectasie, qui est une complication redoutée après chirurgie réfractive et ne pouvant être évitée dans la majorité des cas malgré une sélection soigneuse des patients. Si l'ORA ne permet pas, à lui seul, de détecter de manière certaine les patients à risque (porteurs de kératocône fruste ou de formes débutantes infracliniques de kératocône), c'est un outil qui peut contribuer à cette sélection, notamment dans les cas où la topographie cornéenne ne permet pas de trancher.

Après PKR, les modifications de la biomécanique cornéenne sont liées à l'ablation de stroma cornéen superficiel par le laser excimer [13–14]. Lors d'une chirurgie par LASIK, la création d'un capot cornéen contribue à affaiblir biomécaniquement la cornée. Dans l'étude de Kamiya & al [136], la diminution du HC et du FRC était significativement plus importante après Lasik qu'après PKR, ce qui tend à montrer que la PKR est une technique moins invasive d'un point de vue biomécanique que le LASIK.

Il faut garder en tête que l'interprétation des valeurs respectives du HC et du FRC pour une cornée donnée doit se faire en fonction d'autres paramètres susceptibles d'affecter les valeurs de pressions mesurées lors des aplanations (notamment la pachymétrie et la pression intraoculaire).

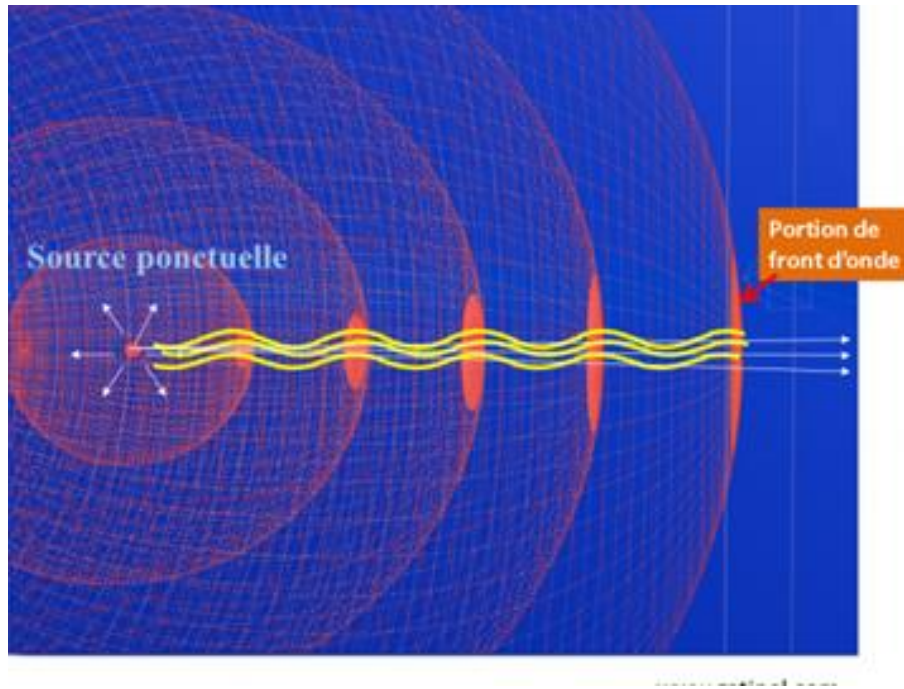
## **E. ABERRATIONS OPTIQUES**

Ils existent deux idées concernant la lumière en tant qu'entité, celle qui considère la lumière comme étant une onde et celle qui la voit comme une particule : c'est la dualité de la théorie corpusculaire et ondulatoire de la lumière. Les aberrations optiques sont des événements physiques qui découlent des propriétés ondulatoires de la lumière.

### **1. Qu'est-ce qu'un front d'onde ?**

Une onde est définie par sa fréquence (nombre d'oscillations par unité de temps) et par sa vitesse de propagation. La longueur d'onde d'une onde lumineuse monochromatique est fonction de ces deux paramètres. Le spectre visible correspond à des longueurs d'onde situées entre 400 et 700nm. Un front d'onde (wavefront) [16] matérialise la direction des rayons lumineux formant l'image d'un objet, comme étant la surface virtuelle réunissant les surfaces « élémentaires » individuelles perpendiculaires à chacun de ces rayons lumineux. Le front d'onde en résultant est une surface perpendiculaire aux rayons émis par une source lumineuse.

Il se propage comme les vaguelettes à la surface d'un plan d'eau après y avoir lancé un caillou. Dans un milieu homogène, une source lumineuse monochromatique émet des fronts d'onde qui se propagent à vitesse constante dans toutes les directions à partir de la source.



**Figure 11** : Propagation du front d'onde (Illustration Dr. Gatinel D.)

Étant donné que divers milieux optiques ont un indice de réfraction différent pour chaque longueur d'onde de lumière, si un front d'onde plan se propageant dans l'air, rencontre un milieu d'indice supérieur dont la surface forme un plan différent, son chemin optique sera dévié. Sur le plan oculaire, le fait de connaître le front d'onde permet de définir le retard (ou déphasage) ou l'avance de phase infligé par les dioptries oculaires à une onde lumineuse incidente. La déformation d'un front d'onde traduit un déphasage. Le résultat de ce déphasage sur la qualité visuelle est l'induction d'aberrations optiques.

Pour être compréhensible, l'analyse du front d'onde requiert que les aberrations qui s'y trouvent soient caractérisées (qualifiées) et quantifiées (taux).

## 2. Aberrations oculaires

L'optique paraxiale ou « optique de premier ordre » repose sur l'hypothèse selon laquelle la hauteur des rayons lumineux incidents proches de l'axe optique est faible et les systèmes optiques considérés ainsi sont dépourvus d'aberrations [19]. Dans ces conditions idéales, les surfaces sphériques génèrent des images parfaites.

Les systèmes optiques de la vie réelle, l'œil humain en l'occurrence, ne sont pas parfaits et la description de leurs propriétés optiques sort du domaine paraxial. Les écarts par rapport aux conditions idéales de l'optique paraxiale sont connus sous le nom d'aberrations de Haut Ordre [20] (HOA pour High Order Aberrations). On distingue deux grands types d'aberrations [18]:

- **Les aberrations chromatiques** (ou aberrations de second ordre) : découlent du fait que l'indice de réfraction est en réalité fonction de la longueur d'onde.
- **Les aberrations monochromatiques** (ou aberrations de haut ordre) : se répartissent en sous-groupes (aberrations sphériques, aberrations de type coma... etc.)

Les aberrations oculaires sont habituellement quantifiées en termes d'aberrations du front d'onde, exprimées en microns. Elles entraînent une augmentation de la dispersion de la lumière émanant d'une source ponctuelle de lumière. Selon l'ampleur de cette dispersion, une réduction de la sensibilité aux contrastes et de l'acuité visuelle peut être observée.

Environ 15 % des erreurs d'optique sont des aberrations de haut ordre, causées par des imperfections dans diverses parties de l'œil, notamment dans la cornée et le cristallin. Seul l'aberromètre permet de les mettre en évidence et seul un traitement personnalisé permet de les corriger.

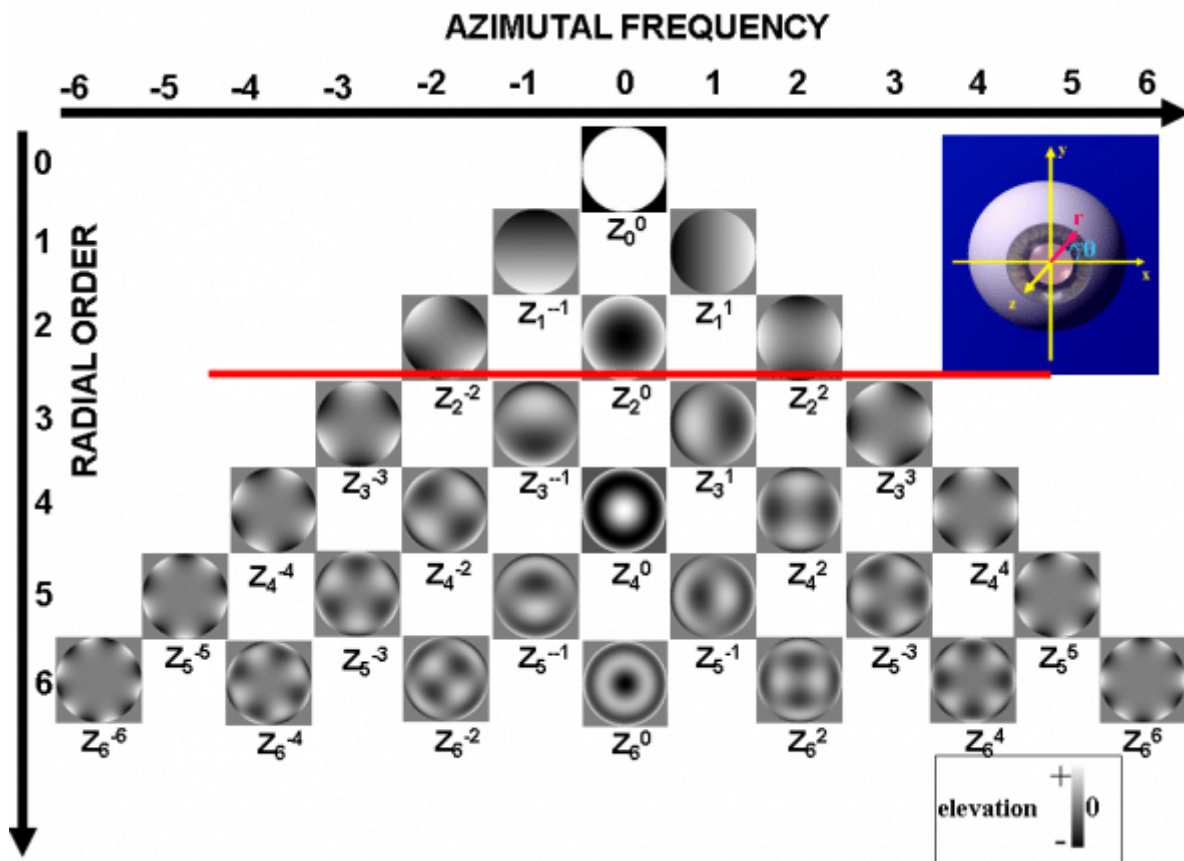
### **3. Principes de la reconstruction du front d'onde**

Le front d'onde total est converti en la somme d'aberrations élémentaires qui sont pondérées de manière sélective. La méthode actuellement privilégiée d'ajustement des surfaces pour caractériser l'enveloppe du front d'onde utilise les polynômes de Zernike. Ce développement mathématique est utilisé pour décomposer les aberrations optiques d'un système optique en aberrations bien décrites. Ces aberrations incluent la sphère et le cylindre, mais l'analyse de Zernike permet également d'extraire des aberrations de degré supérieur à 3 (dites de haut ordre).

### **4. Utilisation des polynômes de Zernike dans l'évaluation du front d'onde**

En clair, le front d'onde est défini par la sommation de surfaces élémentaires correspondant chacune à un degré et un type particulier d'aberration optique. Leur modélisation mathématique correspond aux polynômes de Zernike. Cette modélisation dépend du diamètre pupillaire, les polynômes étant définis à partir d'un disque comme rayon d'unité.

Ces fonctions sont habituellement représentées sous forme de pyramide.



**Figure 12** : Polynômes de Zernike : Représentation en échelle de gris correspondant à l'élévation verticale des 28 premiers polynômes de Zernike en fonction de leur fréquence azimutale et de leur ordre radial. Illustration Dr. Gatinel D.

### 5. Principes de la décomposition du front d'onde en polynômes de Zernike

L'objectif principal de la décomposition est de déterminer la valeur des coefficients pour chacun des polynômes. Elle s'effectue par l'intermédiaire d'un calcul matriciel effectué par ordinateur, qui consiste à minimiser la différence entre le front d'onde réellement mesuré et la somme des polynômes de Zernike.

La décomposition en polynômes de Zernike est une approximation du front d'onde mesuré. Elle peut être sujette à des imprécisions ou des erreurs, notamment pour les fronts d'onde fortement déformés. Il faut garder en tête que le processus de reconstruction du front d'onde donne lieu à un éventail d'aberrations, qui interagissent positivement ou négativement lorsqu'on les additionne, pour obtenir

une approximation de la forme du front d'onde initial. En effet, certaines aberrations en compensent d'autres et pour la même magnitude, certaines aberrations sont plus déterminantes que d'autres pour l'acuité visuelle. La valeur du diamètre pupillaire à laquelle la reconstruction du front d'onde est effectuée est essentielle.

## 6. Interprétation du front d'onde basée sur la décomposition en polynômes de Zernike

Les polynômes de Zernike s'écrivent :  $Z_n^m$  où « n » correspond au degré de l'aberration et « m » la coordonnée polaire. Les aberrations y sont classées par degré « n », correspondant au plus grand exposant qu'il faut utiliser pour en fournir une expression mathématique.

- Le degré pair d'une aberration indique que celle-ci est symétrique, c'est-à-dire que le déphasage est identique pour l'ensemble des points situés à une même distance du centre pupillaire.
- A l'inverse, un degré impair traduit une aberration asymétrique, les rayons focalisés par une moitié de pupille ne focaliseront pas au même endroit que ceux focalisés par l'autre moitié.
- Enfin, pour les aberrations orientées selon un axe particulier (comme l'astigmatisme ou le coma), il convient de rajouter une coordonnée polaire ou « m », déterminant une modulation de l'aberration selon l'angle considéré.

Par ordre de degré croissant, les aberrations optiques sont classées en :

### a. ABERRATIONS DE BAS DEGRE

- Aberration de degré  $n = 0$  ou  $Z_0^0$

Il s'agit de l'aberration de type piston (le front d'onde émergeant est plan : il n'a subi aucun déphasage) qui n'entraîne pas de déformation des images.

- Aberration de degré  $n = 1$  ou  $Z_1^{\pm 1}$

Il s'agit du tilt. Le tilt est une erreur prismatique. Il implique que le front d'onde idéal reste idéal en ce qui concerne sa forme mais qu'il est incliné par rapport à sa position d'origine.

- Aberration de degré  $n = 2$  ( $Z_2^0$  et  $Z_2^{\pm 2}$ )

Qui correspond aux amétropies sphéro-cylindriques. On distingue :

- Le défocus **parabolique** ou  $Z_2^0$ , induisant un déphasage parabolique et correspondant à l'erreur réfractive sphérique (myopie ou hypermétropie).
- Le défocus **cylindrique** ou  $Z_2^{\pm 2}$ , induisant un déphasage en forme de « selle à cheval » et correspondant à l'astigmatisme.

#### **b. ABERRATIONS DE HAUT DEGRE (High Order Aberrations – HOA)**

Les polynômes qui correspondent aux aberrations d'ordre radial 3 et plus dans la classification de Zernike déterminent les aberrations de haut degré.

- Aberration de degré  $n = 3$  ( $Z_3^{\pm 1}$  et  $Z_3^{\pm 3}$ )

Reflètent la présence d'une asymétrie des propriétés réfractives de l'œil, qui peut être la conséquence d'une asymétrie géométrique, d'une irrégularité de type tilt ou d'un décentrement des surfaces oculaires. Depuis l'introduction de l'eye-tracking, ce type d'aberrations n'est plus vu aussi fréquemment après LASIK ou PKR.

- Le coma ou  $Z_3^{\pm 1}$ , induisant une déformation en « virgule » du front d'onde.
- Le trefoil ou  $Z_3^{\pm 3}$ , correspondant à une déformation en « étoile à 3 branches ».

- Aberration de degré  $n = 4$  ( $Z_4^0$ ,  $Z_4^{\pm 2}$  et  $Z_4^{\pm 4}$ )

On distingue :

- L'aberration sphérique ou  $Z_4^0$ , correspondant à un déphasage de la périphérie du front d'onde par rapport au front d'onde central. Cette aberration est proportionnelle au carré du diamètre pupillaire. Elle induit un

effet qui est en direction opposée à celle du défocus  $Z_2^0$  du même signe.

Ainsi, lorsqu'elles ont le même signe, ces aberrations se compensent.

– L'astigmatisme de quatrième ordre ou  $Z_4^{\pm 2}$ .

– Le tetrafoil de quatrième ordre ou  $Z_4^{\pm 4}$ .

Grâce à l'amélioration des profils photoablatifs, le taux des aberrations de degré 4 n'augmente plus autant après chirurgie réfractive cornéenne.

Les aberrations de degré  $n \geq 4$  reflètent la présence d'aberrations optiques non systématisées qui contribuent à la déformation de l'enveloppe du front d'onde. Leur taux est généralement faible et leur rôle dans la dégradation des performances visuelles n'est le plus souvent pas très significatif.

▪ Aberration de degré  $n = 5$  ( $Z_5^{\pm 1}$ ,  $Z_5^{\pm 3}$  et  $Z_5^{\pm 5}$ )

On distingue

–  $Z_5^{\pm 1}$  ou coma de cinquième ordre.

–  $Z_5^{\pm 3}$  ou trefoil de cinquième ordre.

–  $Z_5^{\pm 5}$ .

▪ Aberration de degré  $n = 6$  ( $Z_6^0$ ,  $Z_6^{\pm 2}$ ,  $Z_6^{\pm 4}$  et  $Z_6^{\pm 6}$ )

On distingue :

–  $Z_6^0$  ou aberration sphérique de 6ème ordre.

–  $Z_6^{\pm 2}$  ou astigmatisme de 6ème ordre.

–  $Z_6^{\pm 4}$

– et  $Z_6^{\pm 6}$ .

Les analyseurs de front d'onde ont la capacité de déceler et de classer ces aberrations optiques.

## **7. Variation des aberrations oculaires après chirurgie réfractive**

L'apparition de plaintes visuelles après chirurgie réfractive cornéenne a auparavant été corrélée à l'induction d'aberrations optiques. L'augmentation des aberrations cornéennes et/ou totales après l'utilisation de différentes techniques de chirurgie réfractive a été largement rapportée dans la littérature. L'ampleur de cette augmentation est corrélée de manière positive à l'importance de l'amétropie traitée. L'augmentation de la magnitude des HOA est également proportionnelle au diamètre pupillaire.

## **8. Impact visuel des aberrations optiques de haut ordre**

La détection du front d'onde effectuée après chirurgie réfractive a révélé une diminution de l'acuité visuelle en faible contraste et de la sensibilité aux faibles contrastes impliquant la vision nocturne du patient et conduisant à des symptômes tels que des halos et des éblouissements. Ces facteurs postopératoires peuvent conduire à une diminution de la satisfaction du patient et, à l'inverse, l'élimination ou la limitation de ces variables peut conduire à une augmentation de la satisfaction du patient et à une plus grande qualité de vision après chirurgie réfractive [17].

## **9. Aberromètres**

L'aberrométrie permet d'étudier la qualité optique de l'oeil par l'analyse du front d'onde et de préciser la qualité de l'image rétinienne. Il existe plusieurs dispositifs, nous ne détaillerons que le système utilisé dans notre étude.

### **SYSTEME DE TYPE HARTMANN-SHACK:**

Le système d'Hartmann-Shack est le système d'analyse le plus répandu, il est aussi connu sous le terme d'aberrométrie réfléctive sortante. Il va analyser la réflexion du front d'onde après projection fovéolaire. Ce front d'onde revient déformé, lors de son trajet retour, après son passage par une pupille de 5 à 6 mm

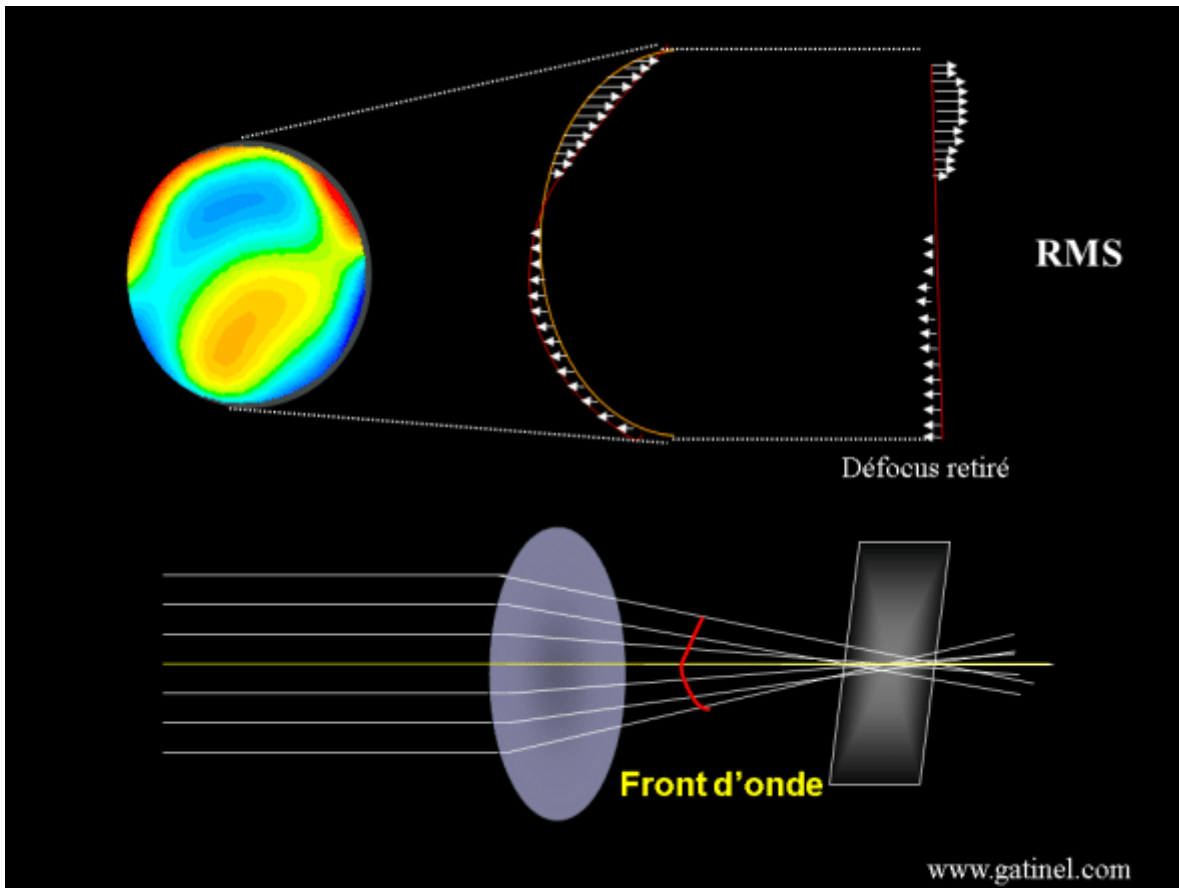
au moins, et est recueilli par un ensemble de microlentilles. Ce capteur est capable d'analyser les rayons à leur sortie et ainsi de déterminer leur disposition par rapport à la grille initiale. Les déviations enregistrées, liées au déphasage des rayons lumineux, permettent de calculer la déformation du front d'onde par intégration afin d'obtenir une représentation tridimensionnelle, et ainsi d'analyser les aberrations optiques de l'oeil étudié.

Au service d'ophtalmologie du CHU Hassan II de Fès, l'aberromètre utilisé, le Zywave II (Bausch & Lomb), fonctionne sur ce système.

## **10. Les indices abérrométriques**

### **a. Le RMS (Root Mean Square) ou coefficient moyen global**

Indicateur qui représente l'écart quadratique à la moyenne, il est utilisé pour représenter la déviation du front d'onde par rapport à un front d'onde idéal de référence. En l'absence de déphasage, le front d'onde mesuré présente un RMS égal à 0. La présence d'aberrations traduit au contraire l'existence de déphasages au sein du front d'onde et le RMS est calculé selon ce déphasage. La valeur du RMS (exprimée en micron) correspond à la racine carrée (Root) de la moyenne (Mean) des sommes des carrés (Square) des déphasages (écart à la moyenne) divisée par le nombre moyen des points de mesure.



**Figure 13** : Score RMS. Le front d'onde est assimilable à une parfaite portion sphérique après réfraction. Certains rayons périphériques ne sont pas focalisés exactement comme les rayons centraux du fait du déphasage du front d'onde.

Illustration Dr. Gatinel D.

On peut mesurer le RMS pour une aberration donnée ou pour un ensemble d'aberrations de degrés différents. Le taux RMS des aberrations optiques jugé comme normal pour une pupille de 6 mm est estimé à moins de 0.5 microns.

La valeur du taux RMS est très sensible au diamètre de la pupille analysée, il augmente de manière exponentielle avec l'ouverture de celle-ci. Les chiffres de RMS doivent donc s'interpréter en tenant compte de facteurs comme le diamètre pupillaire et le diamètre du front d'onde mesurés. Ils ont un impact important sur la valeur des HOA.

**b. La PSF (Point Spread Function)**

Ou Fonction d'Étalement du Point et convolution de l'image (version francophone moins utilisée). Il est possible de décomposer une image observée en un ensemble de points élémentaires. Chaque point de cette image est défini comme une source lumineuse ponctuelle d'intensité donnée. Connaître la façon dont le système optique traite l'image d'un point élémentaire (fonction d'étalement du point), permet d'appliquer cette transformation à tous les points composant l'image initiale pour obtenir une simulation de l'image rendue. Ce processus s'appelle convolution de l'image par la fonction d'étalement du point (ou PSF = Point Spread Function).

Plus l'image formée du point source est punctiforme, plus le système optique est performant. Même pour un système optique parfait, supposé sans aberrations optiques, la PSF n'est pas un point mais un disque dit d'Airy, en raison des effets de la diffraction des ondes lumineuses par les bords de l'ouverture.

Les aberromètres calculent la PSF oculaire à partir du recueil du front d'onde par le biais d'un outil mathématique, la transformée de Fourier. La PSF est donc un paramètre fondamental dans l'évaluation de tout système d'imagerie optique. En Ophtalmologie, elle fournit une estimation directe de la qualité d'image rétinienne.

# **MATERIEL ET METHODES**

### III. MATERIEL ET METHODES

#### A. TYPE DE L'ETUDE

Il s'agit d'une étude transversale réalisée au sein du service d'Ophtalmologie du CHU Hassan II de Fès sur une période de 18 mois, allant de Septembre 2016 à Février 2018.

#### B. POPULATION ETUDIEE

Notre étude a porté sur 31 patients (62 yeux) myopes, recrutés suite à une annonce publiée sur le siteweb de la faculté de Médecine et de Pharmacie de Fès informant les étudiants intéressés par la chirurgie réfractive, de se présenter en consultation d'ophtalmologie du CHU Hassan II de Fès.

##### 1. Les critères d'inclusion étaient :

- Patients âgés de  $> 18$  ans.
- Une myopie  $< -6D$  associée ou non à un astigmatisme chez des patients désirant bénéficier d'une chirurgie réfractive.
- Une stabilité réfractive (variation de moins de 0.5D sur les 2 dernières années).
- Une meilleure acuité visuelle corrigée (MAVC) supérieure ou égale à 10/10<sup>e</sup>.

##### 2. Les critères d'exclusion étaient :

- La présence d'antécédents ophtalmologiques médicaux (inflammation, infection oculaire, glaucome... etc.) ou chirurgicaux (chirurgie rétinienne, chirurgie du cristallin, chirurgie de la cornée, antécédent de chirurgie réfractive qu'elle soit de surface ou en profondeur... etc.)
- La présence de contre-indications à la chirurgie réfractive type PKR, à savoir les patients avec un mur stromal postérieur estimé à moins de 300  $\mu\text{m}$

d'épaisseur, ou porteurs d'un kératocône avéré ou fruste, d'amblyopie, de phories...

- La présence d'un syndrome sec majeur.
- Patients tabagiques et ceux présentant des signes d'intolérance aux lentilles de contact.
- Une myopie  $> -6D$
- Une MAVC  $< 10/10è$ .

Nous avons basé notre étude sur les résultats d'un questionnaire (NEI RQL-42) autoadministré de 42 questions simples (voir annexe) visant à obtenir des patients opérés des renseignements objectifs sur leur vie après l'opération et des données subjectives sur le ressenti de leur vision postopératoire et leur satisfaction. Les questions étaient à choix multiples. Les données de ce questionnaire ont été complétées par les données médicales présentes dans les dossiers médicaux et dûment anonymisées.

### **C. RECUEIL DES DONNEES**

Les données recueillies dans les dossiers des patients étaient les suivantes :

- **Les données démographiques** : âge, sexe, antécédents médicaux (atopie, maladies de système... etc.) et ophtalmologiques (le type et l'âge de port de la première correction, le rythme de changement de la correction optique, la date du dernier outil de correction utilité, le port de lentilles, les symptômes ressentis (sécheresse oculaire, œil rouge à répétition), les traitements reçus), la ou les motivations ayant poussé le patient à avoir recours à la chirurgie réfractive, l'intérêt et moyen de prise de connaissance..
- **Les données optiques** : tous les patients ont bénéficié d'un examen de la réfraction visant à déterminer leurs amétropie (myopie seule ou associée à un astigmatisme) ainsi qu'à en quantifier l'importance. Cet examen incluait

la mesure de la réfraction, la mesure de la puissance des verres de correction portés, la mesure de l'acuité visuelle avec (MAVC) et sans correction ainsi qu'un test duochrome.

- **Les données cliniques** : à savoir la mesure de la pression intraoculaire (PIO), l'examen en lampe à fente, la kératométrie, la réalisation de BUT (Break Up Time), l'examen des paupières et des glandes de Meibomius, l'examen de la cornée et du SA ainsi qu'un fond d'œil (FO).
- **Les données topographiques** : incluaient la pachymétrie ainsi que la topographie spéculaire et d'élévation.
- **Les données abérrométriques** : comprenaient la pupillométrie mésopique et scotopique et les valeurs du RMS dans les 5 et 6 mm.
- **Les données de la chirurgie réfractive** : à savoir la technique chirurgicale utilisée (Proscan ou Zyoptix HD), l'utilisation ou pas de MMC (et en cas d'utilisation de la MMC, sa concentration ainsi que sa durée d'application), la technique de désépithélialisation de la surface cornéenne, le diamètre de la zone optique traitée, l'épaisseur du stroma résiduel, le maximum d'ablation et la durée des impulsions.
- **Les données de l'exam post-opératoire** comprenaient : les symptômes et phénomènes inflammatoires, la date de résolution de la symptomatologie, la mesure de l'acuité visuelle sans correction, la mesure de la réfraction, un examen de la cornée à la biomicroscopie et les valeurs de la Kératométrie.
- Enfin, nous avons collecté **les données du questionnaire NEI RQL-42** portant sur la qualité de vie après chirurgie réfractive à 01 mois de la chirurgie.

## D. OUTILS UTILISES

### 1. Les mesures topographiques

Tous nos patients ont bénéficié d'une topographie cornéenne par topographe ORBSCAN IIz (Bausch & Lomb) qui est un topographe mixte qui combine analyse spéculaire (par disque Placido) et analyse en élévation (balayage par fentes lumineuses). Cet examen permet d'obtenir une carte d'élévation des deux faces coréennes antérieure et postérieure, une topographie spéculaire et une pachymétrie optique. Les mesures incluait :

- Le BFS antérieur et postérieur (Le BFS ou Best Fit Sphere est une sphère hypothétique calculée par l'ordinateur et qui va s'approcher le plus possible de la forme de la cornée étudiée. L'ordinateur va comparer la surface réelle de la cornée à cette surface hypothétique et va montrer ce qui se trouve au-dessus du BFS en couleurs chaudes et au-dessous du BFS en couleurs froides)
- La différence entre les BFS postérieur et antérieur.
- La différence entre le BFS et l'élévation postérieure.
- La kératométrie maximale (Kmax).
- La pachymétrie (épaisseur cornéenne) apex et la pachymétrie minimale (thinnest point = point le plus fin) et la différence entre les deux valeurs.
- La moyenne des pachymétries située à 7mm – la pachymétrie minimale.
- La kératométrie I-S (dans les 3mm).
- Les moyennes de la puissance moyenne (mean power), du cylindre (astig.power), de l'irrégularité (irreg) et des axes des méridiens principaux (steep axis et flat axis) ainsi que leurs écarts types respectifs dans les aires des 3 et 5 mm centraux.

- Les autres données présentes par défauts sont la simK (ou kératométrie simulée, avec les valeurs du cylindre, les puissances et les axes des 2 méridiens principaux (flat et steep)), le diamètre cornéen moyen (white to white), le diamètre pupillaire moyen, la valeur du point d'épaisseur minimal (point le plus fin = thinnest point) avec ses coordonnées (x,y), la profondeur centrale de la chambre antérieure (Anterior chamber depth : ACD) calculée depuis l'épithélium (ACD epi), l'angle K (kappa) et les coordonnées de son intersection avec la surface cornéenne antérieure (angle kappa : angle présent entre l'axe pupillaire –qui est la droite perpendiculaire à la surface cornéenne en passant par le centre de la pupille– et l'axe visuel –qui relie le point de fixation au premier point nodal puis le 2<sup>ème</sup> point nodal à la fovéa)

## 2. Les mesures abérrométriques

Tous nos patients ont bénéficié d'un examen abérrométrique par l'aberrromètre Zywave (Bausch & Lomb) qui permet une analyse du front d'onde à la recherche d'aberrations qu'elles soient de grand ou de petit ordre. Cet examen incluait la mesure du :

- RMS dans les 5mm.
- RMS dans les 6mm.
- Pupillométrie mésopique.
- Pupillométrie scotopique.

## 3. Score NEI-RQL 42

Un questionnaire de satisfaction a été proposé et remis aux patients puis rempli à la fin de la consultation post-opératoire à un (01) mois. Ce questionnaire, dénommé score NEI-RQL42 a été élaboré [21] par la RAND corporation [Research

AND Development] et financé par l'institut national des yeux (National Eye Institute-NEI) dans le but d'évaluer de manière subjective les différents paramètres de la vision et leurs impact sur le ressenti et la qualité de vie du patient en postopératoire d'une chirurgie réfractive.

Il a été publié pour la première fois en 2003 aux États-Unis pour être utilisé spécifiquement chez les patients atteints d'amétropies. C'est une échelle conçue pour être autoadministrée; c'est-à-dire que le patient peut à lui seul lire et remplir le questionnaire. Sa validation initiale [22-25] a inclut des mesures de la fiabilité de l'étude par l'analyse de sa cohérence interne, et une validation externe par comparaison à une échelle de qualité de vie générale et à une échelle de qualité de vie liée à la vue. Des traductions suivies de validation ont déjà été réalisées au Brésil [26][28], en Iran [27] et en Turquie [29].

Cette échelle est constituée de 42 questions à choix multiples. Chaque modalité de réponse, après recodage selon le manuel d'utilisation de l'échelle [30-32], correspond à un score compris entre 0 et 100, 100 étant associé à la réponse la plus favorable. Un algorithme permet de compiler les réponses à ces 42 questions en 13 scores (ou axes), portant chacun sur une dimension particulière. Ces 13 scores évaluent les différentes composantes de 0 (mauvaise qualité de vie) à 100 (bonne qualité de vie) et explorent les dimensions de la qualité de vie en lien avec les éléments suivants

**Tableau 1** : Les 13 scores du NEI-RQL42 questionnaire et les items correspondants à chaque score.

	SCORES	NOMBRE D'ITEMS	ITEMS CORRESPONDANTS
1	Netteté de la vision	(4 items)	23, 37b, 39b, 40b
2	Attentes du patient	(2 items)	1, 28
3	Vision de près	(4 items)	2, 7, 8, 11
4	Vision de loin	(5 items)	4, 5, 6, 9, 10
5	Fluctuations diurnes	(2 items)	3, 20
6	Limitation des activités	(4 items)	12, 33, 34, 35
7	Phénomènes visuels lumineux	(2 items)	17, 38b
8	Symptômes visuels	(7 items)	18, 19, 24, 25, 36b, 41b, 42b
9	Dépendance à une correction	(4 items)	13, 14, 15, 16
10	Préoccupation en rapport avec la vision	(2 items)	21, 22
11	Correction sous-optimale	(2 items)	31, 32
12	Apparence physique	(3 items)	27, 29, 30
13	Satisfaction de la correction	(1 items)	26

**Tableau 2 : Manuel d'utilisation de l'échelle du questionnaire NEI-RQL 42**

ITEMS	CATEGORIE DE REPONSE	VALEUR
1, 28	1 ----->	100
	2 ----->	50
	3 ----->	0
	4 ----->	100
2, 9, 10, 12	1 ----->	100
	2 ----->	75
	3 ----->	50
	4 ----->	25
	5 ----->	0
	6 ----->	*
3	1 ----->	100
	2 ----->	100
	3 ----->	200/3
	4 ----->	100/3
	5 ----->	0
4, 5, 6, 11, 23	1 ----->	100
	2 ----->	200/3
	3 ----->	100/3
	4 ----->	0
7, 8, 20, 21, 22, 24, 25	1 ----->	100
	2 ----->	75
	3 ----->	50
	4 ----->	25
	5 ----->	0
13, 14, 34, 35	1 ----->	0
	2 ----->	50
	3 ----->	100
15, 16	1 ----->	100
	2 ----->	200/3
	3 ----->	100/3
	4 ----->	0
	5 ----->	*
17, 18, 31, 32	1 ----->	0
	2 ----->	25
	3 ----->	50
	4 ----->	75

	5 ----->	100
19	1 -----> 2 -----> 3 -----> 4 -----> 5 -----> 6 ----->	100 100 75 50 25 0
26, 27	1 -----> 2 -----> 3 -----> 4 -----> 5 -----> 6 ----->	100 80 60 40 20 0
29	1 -----> 2 ----->	100 0
30, 33	1 -----> 2 ----->	0 100
36b(+), 37b(+), 38b(+), 39b(+), 40b(+), 41b(+), 42b(+)	(b=1) -----> (b=2) -----> (b=3) -----> (b=4) -----> (a=2 & B=manquante) --->	0 25 50 75 100

\* indique que la personne ne fait pas la dite activité à cause d'une raison sans rapport avec sa vision. Si cette réponse est sélectionnée, la considérer comme "manquante".

(+) Les items 36b-42b ont 04 niveaux de réponse, mais sont étendus à 5 niveaux à travers les items 36a-42a. Si a=2, alors b a été laissé vide. S'il y a une contradiction entre a & b, l'utilisateur se doit de trouver un moyen pour la contourner. Dans plusieurs cas, choisir la réponse b (en ignorant la réponse a) en cas de contradiction s'avère être le choix raisonnable.

**FORMULE :**

Calcul de chaque score

**Somme des scores pour chaque item des 13 axes avec absence de non réponse****Nombre d'items avec absence de non réponse**

Il n'existe pas de score global synthétique et les résultats doivent être interprétés axe par axe. Nous déplorons de ne pouvoir utiliser une échelle Marocaine validée sur le plan psychométrique ; aucun processus de validation d'une échelle locale de qualité de vie spécifique à la chirurgie réfractive n'ayant encore vu le jour. Nous utiliserons donc dans notre étude une adaptation transculturelle traduite en français et validée en 2011 par Djadi-Prat et al [110-111]. Cette version française conserve l'ensemble des questions, sans modification aucune de leurs ordre afin de conserver au maximum les caractéristiques de l'échelle américaine.

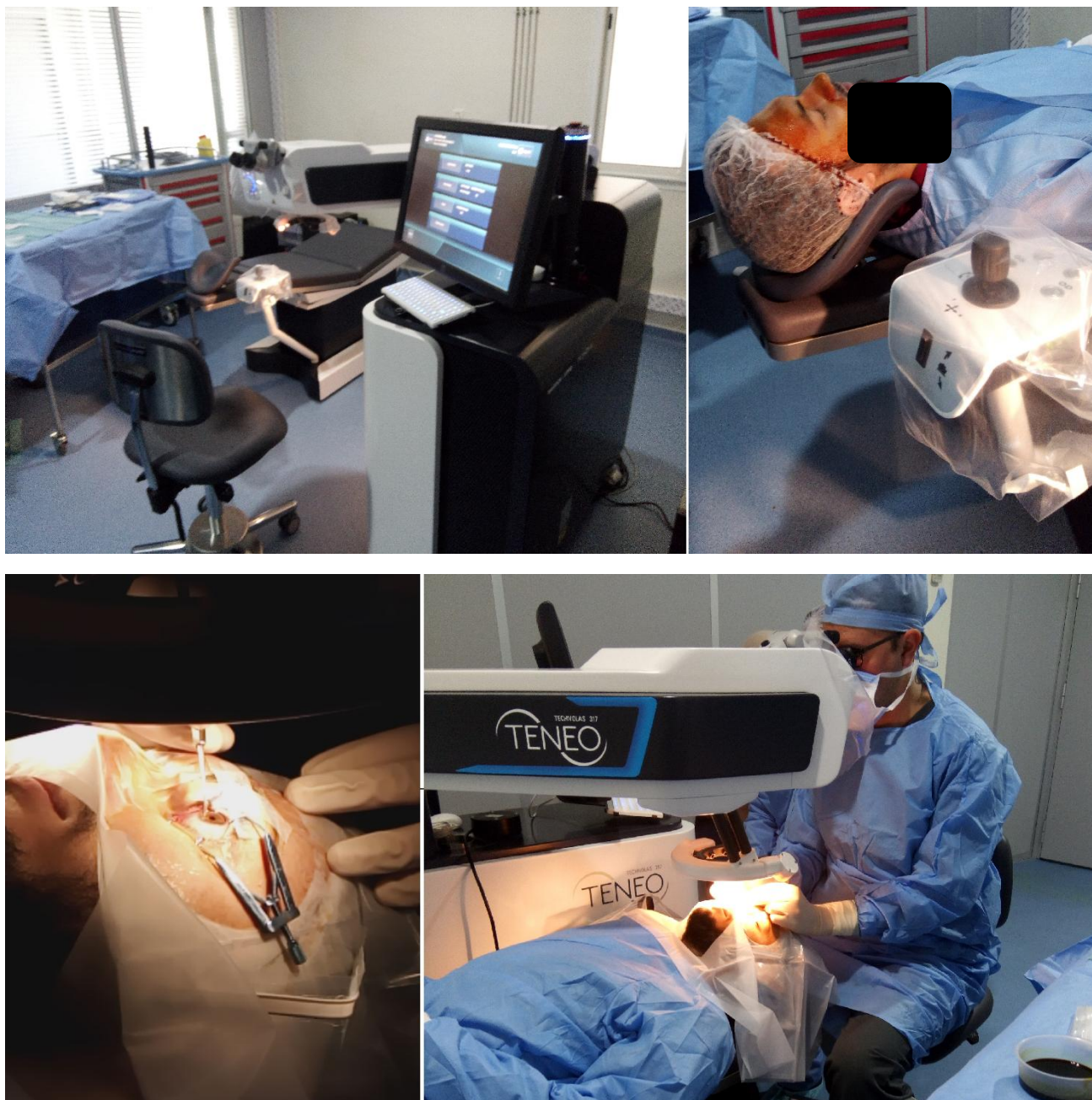
**E. TECHNIQUES OPERATOIRES ET PROTOCOLES CHIRURGICAUX****1. Techniques opératoires**

Le geste de chirurgie réfractive a été réalisé au moyen du Technolas Teneo 317 de Bausch & Lomb. Cet appareil utilise un système de balayage et réalise des profils d'ablations cornéens en pente douce avec zone de transition, il est également équipé d'un eye-tracker en 4D qui assure un suivi parfait des mouvements de l'œil du patient. Le geste opératoire est réalisé sous anesthésie topique, sur les deux yeux lors de la même séance. Les temps opératoires sont les suivants :

- Préparation du patient : aseptie des paupières et mise en place du champ.
- Anesthésie du patient : instillation d'oxybuprocaine (cebesine®)
- Désépithélialisation : mécanique (par scarificateur ou par brosse rotative). Elle doit être rapide afin d'éviter la déshydratation stromale. La surface désépithélialisée doit être égale à la surface traitée par le laser afin de favoriser la cicatrisation et de limiter le risque de kératalgies

postopératoires récidivantes. La surface de traitement doit être lisse et sèche avant le traitement photoablatif.

- Traitement photoablatif par laser excimer (standard ou personnalisé). Il faut se délimiter à une profondeur d'ablation ne dépassant pas les 100µm afin d'éviter la survenue de haze.
- Rinçage soigneux.
- En fin d'intervention, une lentille thérapeutique à visée antalgique est mise en place.



**Figure 14** : différentes étapes de l'acte chirurgical (images du service d'ophtalmologie du CHU Hassan II de Fès)

## **2. Protocoles chirurgicaux**

Dans notre étude, nous avons eu recours à l'utilisation de Mitomycine C 0.02% pour les myopies modérées (entre -3 et -6D) dans 24 yeux (soit dans 38.7% de notre échantillon), avec un temps d'application variant entre [15 et 30s] et ce en traitement prophylactique du haze cornéen.

## **F. ANALYSE STATISTIQUE**

Les variables continues avec distribution gaussienne étaient exprimées sous forme de moyenne  $\pm$  déviation standard (DS) et les variables qualitatives en nombre et en pourcentage (%).

La collecte des données a été réalisée grâce au logiciel Excel et le calcul des différents taux et scores a été réalisé grâce au logiciel SPSS.

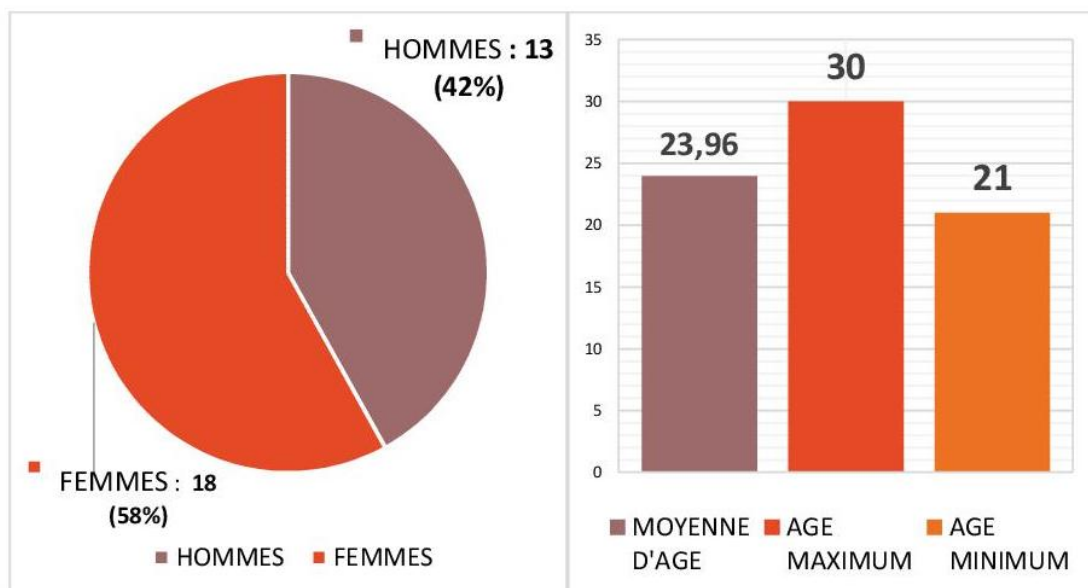
# RESULTATS

## IV. RESULTATS

Le taux de réponse au questionnaire NEI RQL-42 était de 90.32 % (soit 28 questionnaires remplis sur un total de 31)

### A. DESCRIPTION DEMOGRAPHIQUE DE NOTRE ECHANTILLON

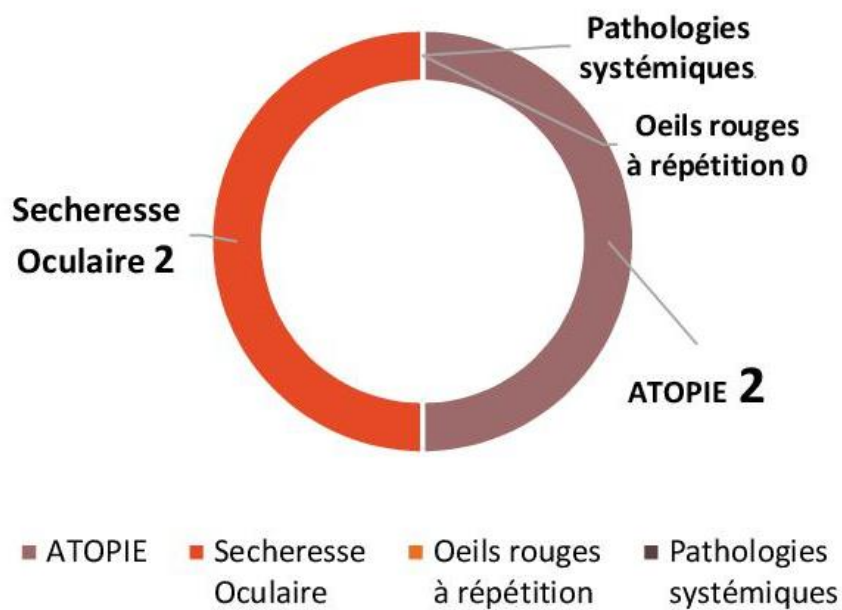
Au total, 31 patients ont été recrutés dans le service d'ophtalmologie du CHU Hassan II de Fès entre Septembre 2016 et Février 2018 et notre étude a porté sur 62 yeux. Notre échantillon était constitué de 13 hommes et 18 femmes, avec un sexe ratio home/femme de 0.72. Il y avait 31 yeux gauches et 31 yeux droits. L'âge moyen de nos patients était de  $23.96 \pm 2.33$  ans, avec des extrêmes de 21 et 30 ans.



**Graphique 1** : Sex-Ratio de notre échantillon d'étude (à gauche)

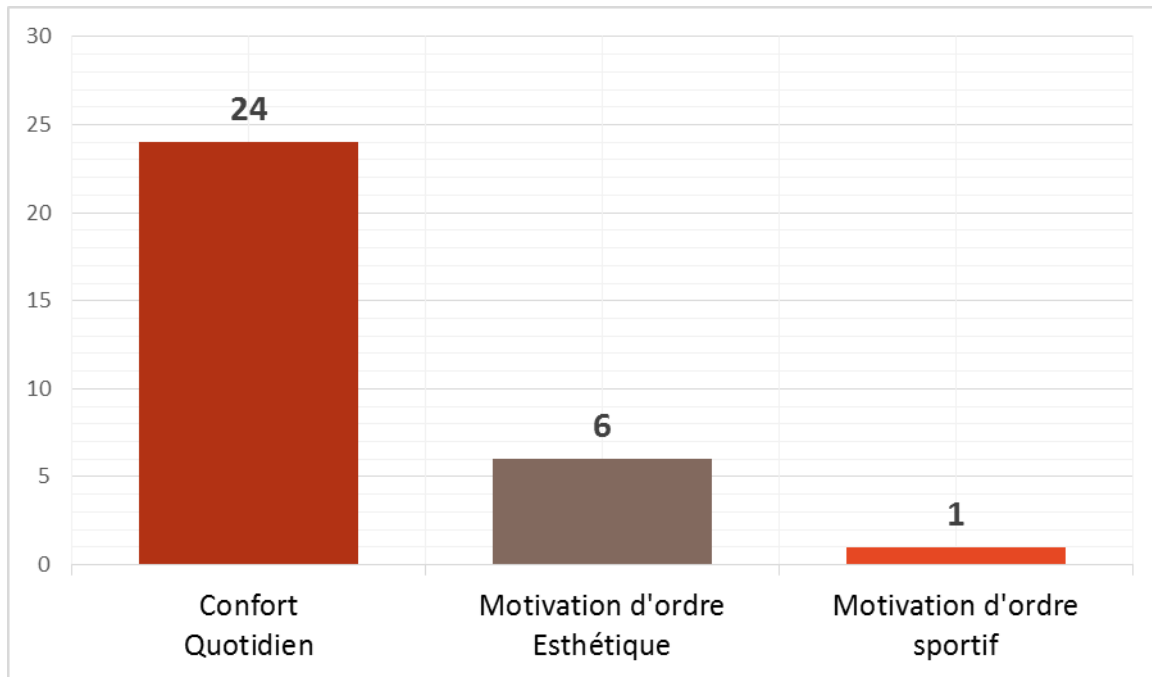
**Graphique 2** : Age en années de notre échantillon d'étude + âges minimal et maximal (à droite)

Sur L'ensemble de nos 31 patients, 2 (6.45%) présentaient une nation d'atopie et 2 (6.45%) des antécédents de sècheresse oculaire. Aucun de nos patients ne présentait une notion d'œil rouge à répétition ou des antécédents de pathologies systémiques.



**Graphique 3** : Antécédents médicaux et ophtalmologiques dans notre échantillon

Les motivations des patients désirant bénéficier de chirurgie réfractive étaient dominées par le confort quotidien (24 cas soit 77.41%), suivi par la motivation d'ordre esthétique (6cas soit 19.35%) puis par les motivations d'ordre sportif chez un seul de nos patient (3.22%).



**Graphique 4 :** Motivations derrière le recours à la chirurgie réfractive dans notre échantillon

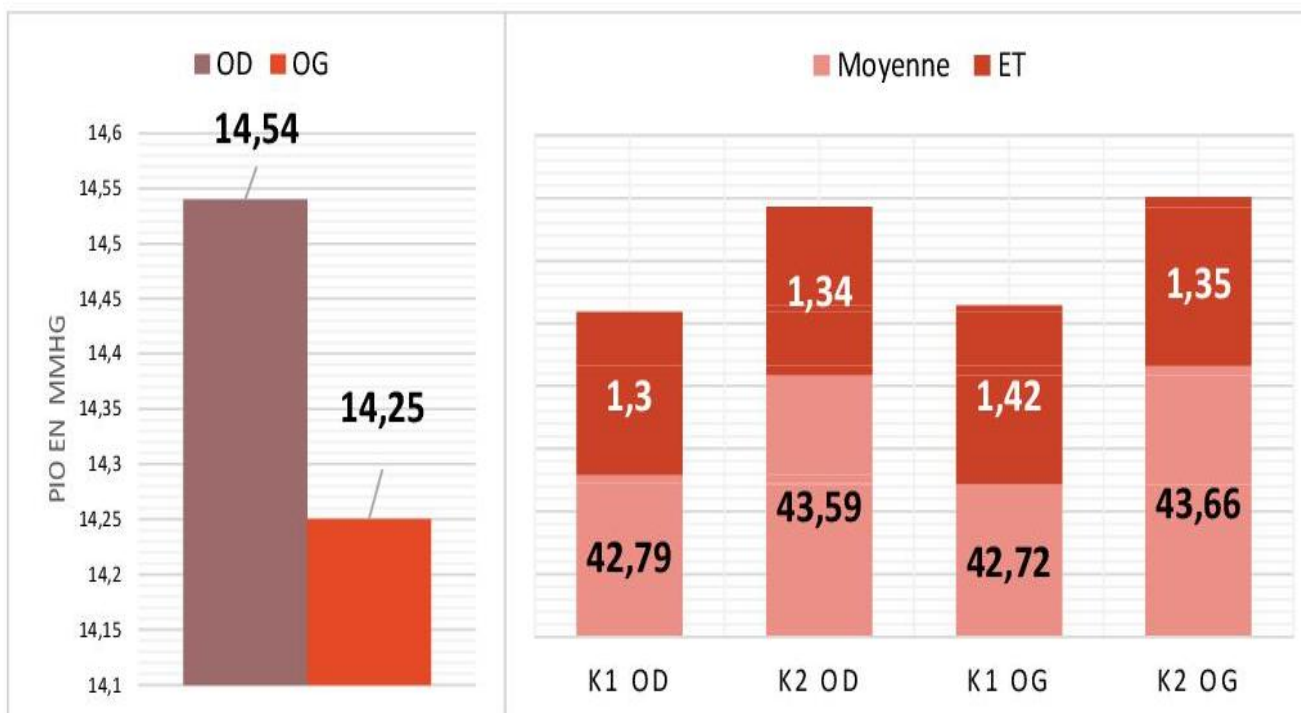
Les patients ont pris connaissance de la possibilité d'opérer leur amétropie par un proche déjà opéré dans 16.12% des cas, par leur ophtalmologiste dans 54.83% des cas et par internet dans 12.9% des cas. Le rôle du médecin traitant dans l'information des patients de notre échantillon apparait donc tout à fait important. En contrepartie, le rôle des médias (télévision et presse écrite) est négligeable ; seuls 6.45% de nos patients mentionnent les médias comme leur source d'information.

Les opérations de chirurgie réfractive ont été effectuées par 4 chirurgiens. 10 patients (32.25%) étaient porteurs de lentilles (souples) avant le geste chirurgical (8 patients les ayant bien tolérés, contre 2 ayant abandonnés leur utilisation).

## B. DONNEES CLINIQUES DE NOTRE ECHANTILLON

Tous nos patients présentaient un examen biomicroscopique sans anomalies.

Tous nos patients avaient une pression intraoculaire (PIO) dans les normes avec une moyenne de  $14.54 \pm 2.88\text{mmHg}$  au niveau de l'OD et  $14.25 \pm 2.98\text{mmHg}$  au niveau de l'OG avec des extrêmes allant de 10 à 21mmHg.



**Graphique 5** : Moyenne de la PIO dans notre échantillon (à gauche)

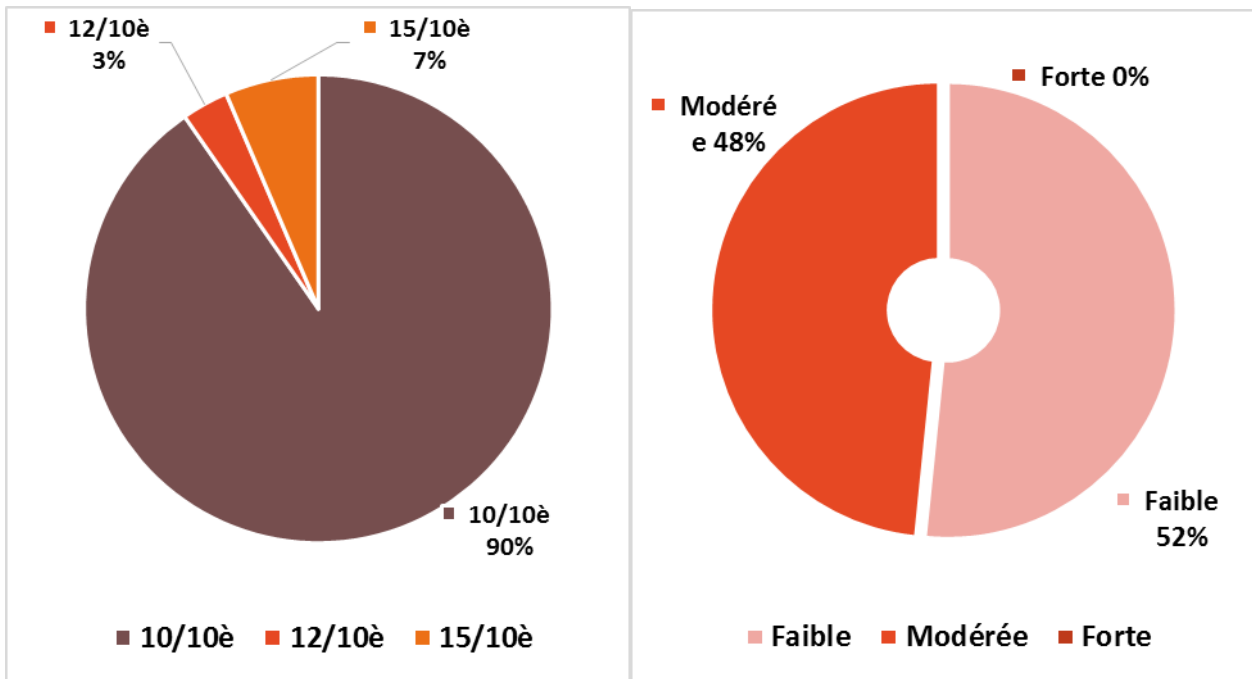
**Graphique 6** : Les valeurs de K1 et K2 dans notre échantillon (à droite)

**Tableau 3** : Les valeurs kératométriques en préopératoire dans notre échantillon

KERATOMETRI E	K1		K2	
	Moyenne	ET	Moyenne	ET
OD	42.79	± 1.30	43.59	±1.34
OG	42.72	±1.42	43.66	±1.35

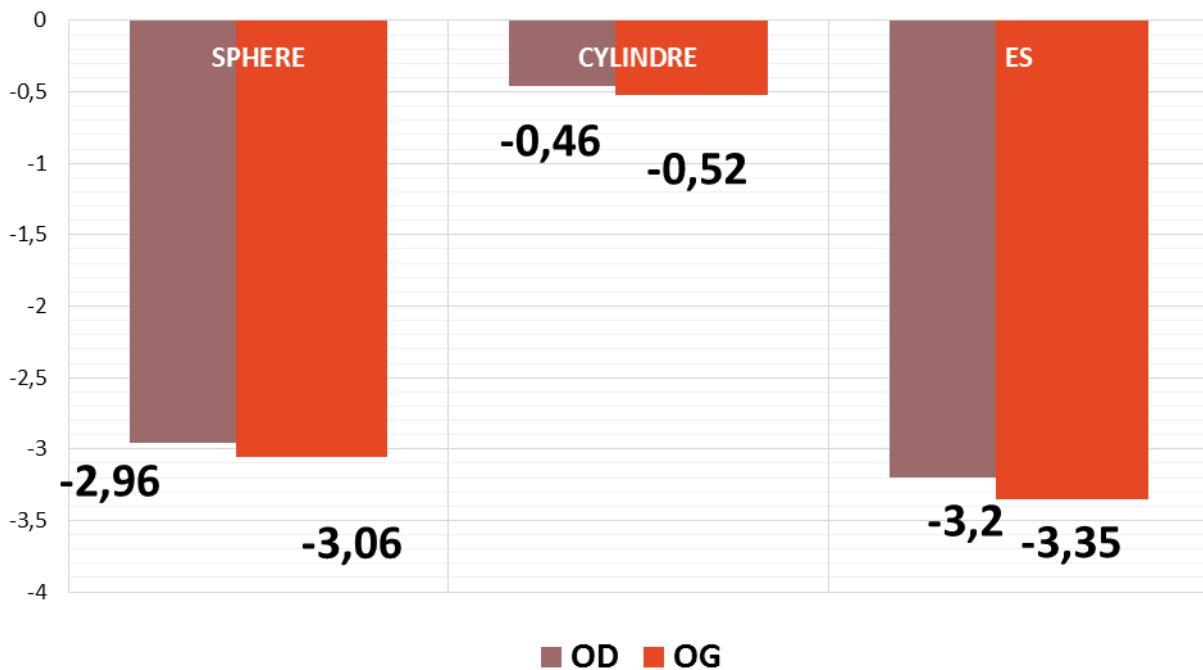
### C. DONNEES OPTIQUES

- Nos 31 patients (100%) avaient tous une meilleure acuité visuelle corrigée (MAVC) bilatérale supérieure ou égale à 10/10<sup>e</sup> (1 de nos patients (3.22%) avait une MAVC à 12/10<sup>e</sup> et 2 patients (6.45%) avaient une MAVC à 15/10<sup>e</sup>)
- Sur les 62 yeux inclus dans notre étude, 32 (51.61%) étaient porteurs d'une myopie légère ( $-3 \leq \text{sphère} \leq 0\text{D}$ ) et 30 yeux (48.38%) étaient porteurs d'une myopie modérée ( $-6 \leq \text{sphère} \leq -3\text{D}$ ).
- Aucun de nos patients n'avait une myopie forte ( $> -6\text{D}$ ).
- La sphère moyenne préopératoire était de  $-2.96 \pm 1.32\text{D}$  en OD et de  $-3.06 \pm 1.38\text{D}$  en OG, avec des extrêmes de  $[-0.75\text{D}, -5.75\text{D}]$
- Le cylindre moyen préopératoire était de  $-0.46 \pm 0.5\text{D}$  en OD et de  $-0.58 \pm 0.54\text{D}$  en OG, avec des extrêmes de  $[-2.25\text{D}, 0\text{D}]$
- L'équivalent sphérique (ES) moyen préopératoire était de  $-3.2 \pm 1.38$  en OD et de  $-3.35 \pm 1.4$  en OG, avec des extrêmes de  $[-6.25, -1]$



Graphique 7 : Meilleure Acuité Visuelle Corrigée dans notre échantillon (à gauche)

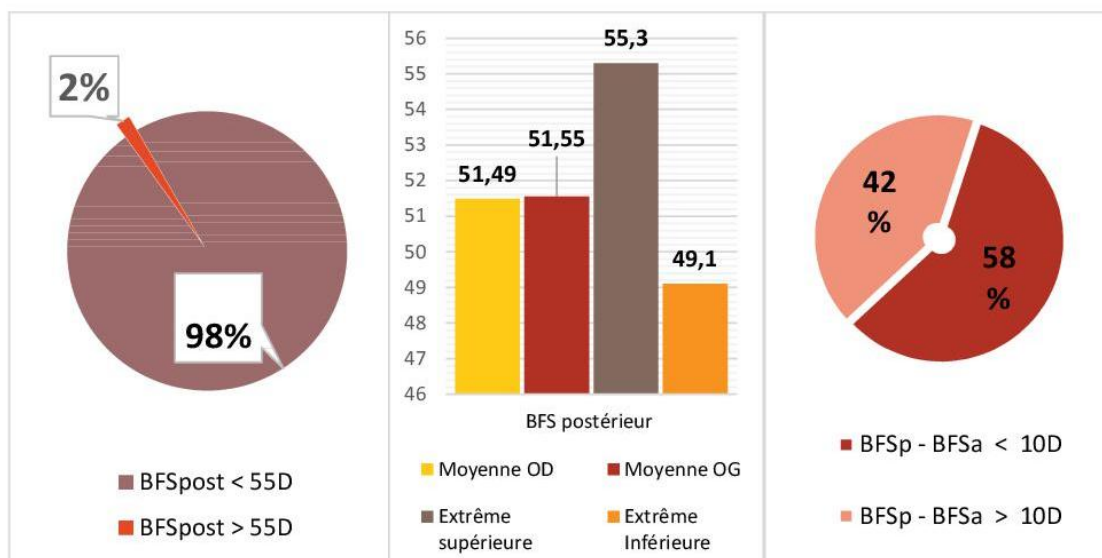
Graphique 8 : Degré de myopie dans notre échantillon (à droite)



Graphique 9 : les valeurs moyennes de la Sphère, du cylindre et de l'équivalent sphérique en préopératoire.

## D. DONNEES DE LA TOPOGRAPHIE ET PACHYMETRIE EN PRE-OPERATOIRE

- Sur l'ensemble de notre échantillon (62 yeux), 61 (98.38%) avaient un BFS postérieur inférieur à 55D. Seul un œil (1.61%) dans notre échantillon avait une valeur supérieure à 55D. La moyenne des valeurs du BFS postérieur était de  $51.49 \pm 1.64D$  en OD et de  $51.55 \pm 1.85D$  en OG, avec des extrêmes de [49.1D–55.3D]
- La différence entre le BFS postérieur et le BFS antérieur était strictement inférieure à 10D dans 36 yeux (58.06%). Cette différence était supérieure ou égale à 10D dans 26 yeux (41.93%) avec des extrêmes de [8D–11.3D].

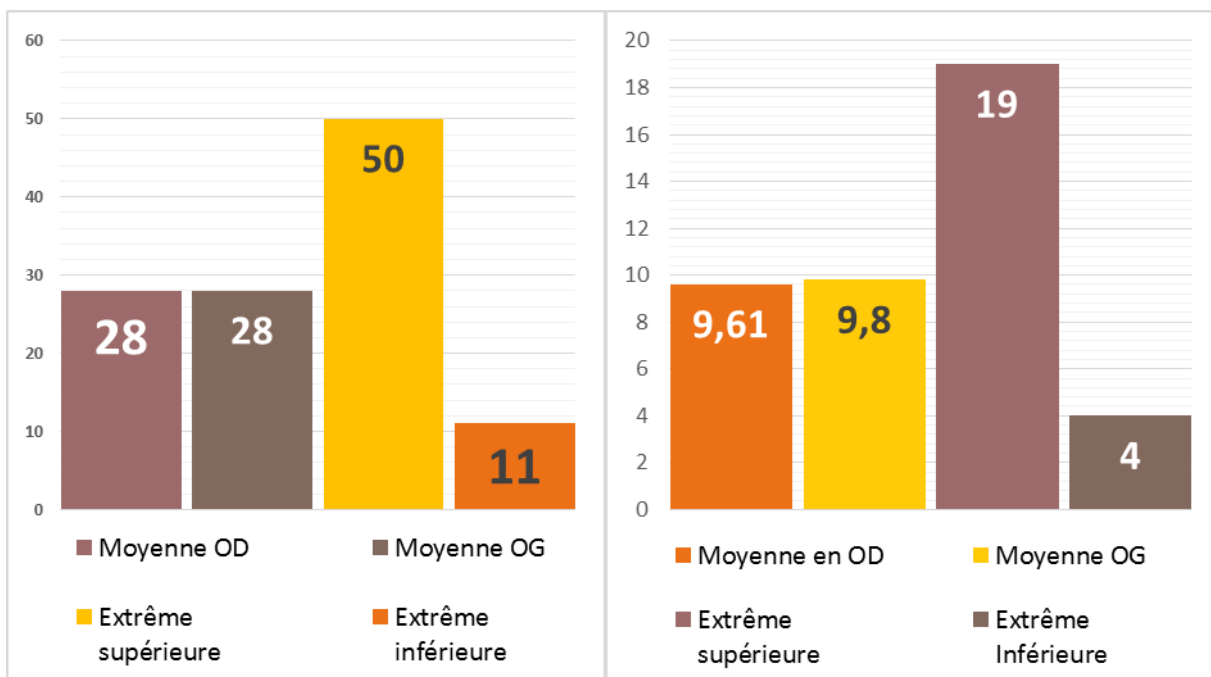


**Graphique 10** : Le pourcentage de patients dans notre échantillon selon que le BFS postérieur est supérieur ou inférieur à 55D (Gauche).

**Graphique 11** : Les moyennes des valeurs des BFS postérieurs en ODG ainsi que les extrêmes maximale et minimale (milieu).

**Graphique 12** : Le pourcentage de patients dans notre échantillon selon que la différence entre les BFS postérieur et antérieur est supérieur ou inférieur à 10D (Droite)

- La différence entre le BFS et l'élévation postérieure était inférieure ou égale à 0.05mm (50µm) chez tous nos patients, avec une moyenne de  $28 \pm 8 \mu\text{m}$  en OD et de  $28 \pm 10 \mu\text{m}$  en OG, et des extrêmes de [11µm–50µm].
- Dans 50 yeux (soit 80.64%), la différence entre la pachymétrie apex et la pachymétrie minimale était strictement inférieure à 15µm. Dans 12 yeux, (soit 19.35%), cette valeur était supérieure ou égale à 15µm, avec une moyenne de  $9.61 \pm 4.14 \mu\text{m}$  en OD et  $9.8 \pm 4.23 \mu\text{m}$  en OG, avec des extrêmes de [4–19µm].

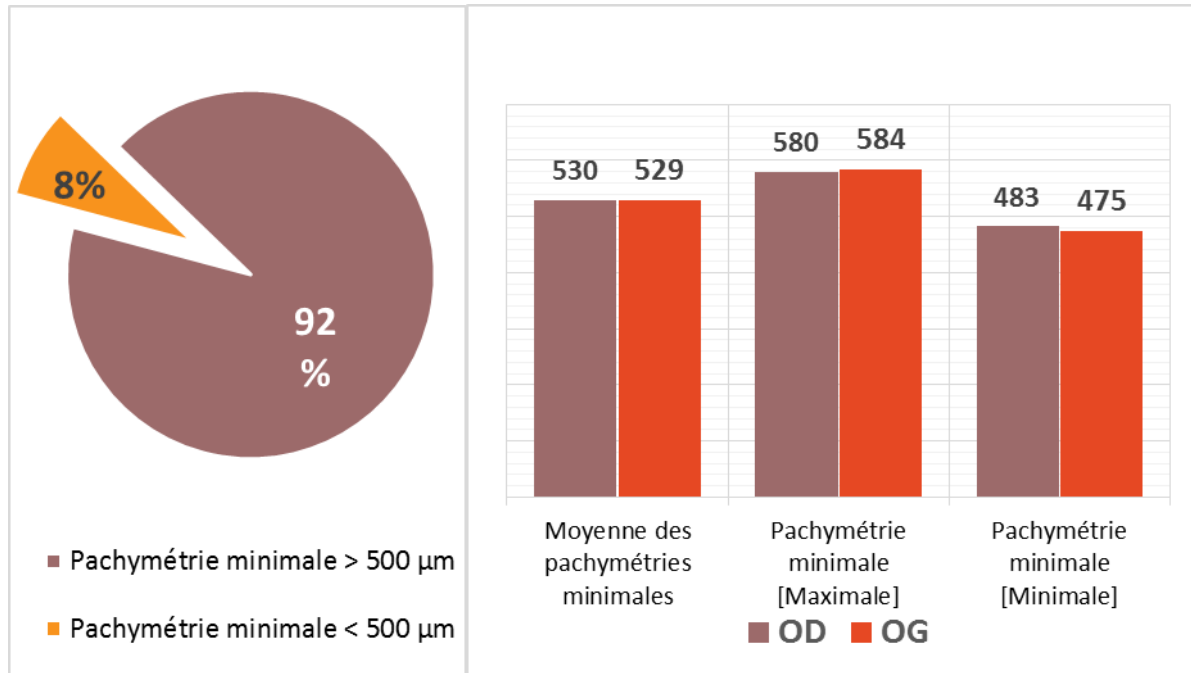


**Graphique 13** : Valeurs moyennes des différences entre le BFS et l'élévation postérieure en ODG ainsi que les extrêmes maximale et minimale (**Gauche**)

**Graphique 14** : Valeurs moyennes des différences entre la pachymétrie apex et la pachymétrie minimale en ODG ainsi que les extrêmes maximale et minimale (**Droite**).

- Dans notre échantillon, 57 yeux (91.93%) étaient porteurs d'une pachymétrie minimale  $> 500 \mu\text{m}$  alors que dans 5 yeux (8.06%), la pachymétrie minimale était inférieure à  $500 \mu\text{m}$ . La moyenne des pachymétries minimales dans notre

échantillon était de  $530 \pm 25 \mu\text{m}$  en OD et de  $529 \pm 25 \mu\text{m}$  en OG, avec des extrêmes de  $[475 \mu\text{m} - 584 \mu\text{m}]$

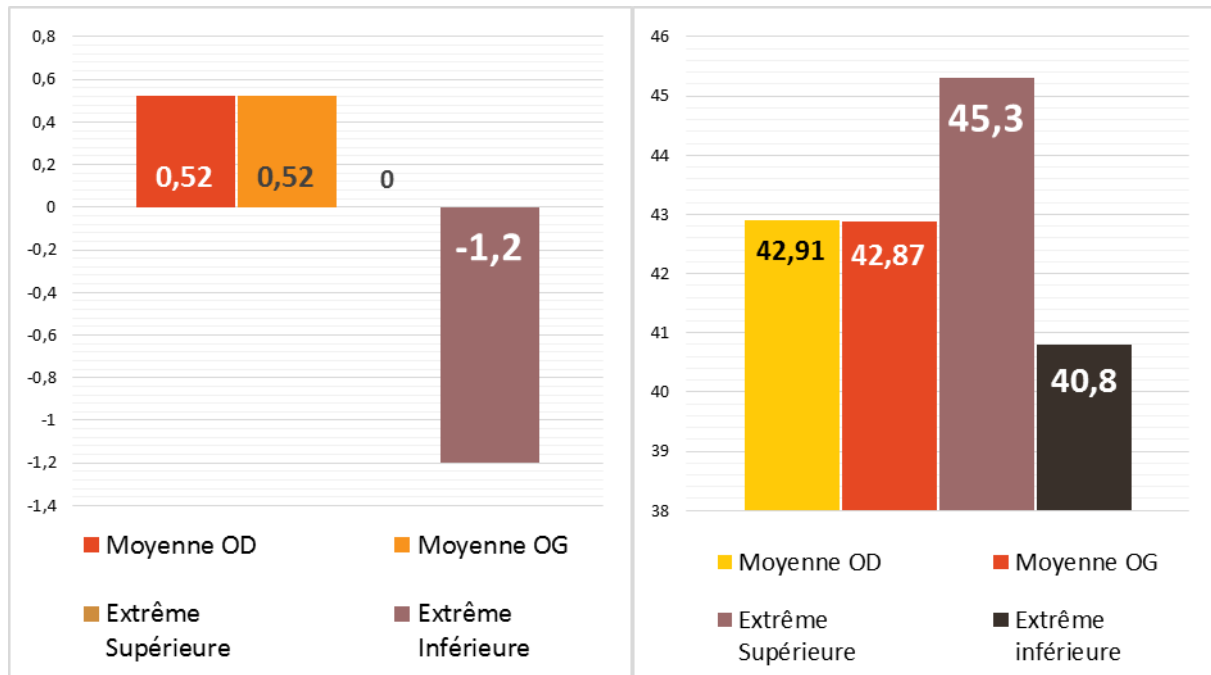


**Graphique 15** : Pourcentage de patients dans notre échantillon selon que la pachymétrie minimale est supérieure ou inférieure à  $500 \mu\text{m}$  (Gauche)

**Graphique 16** : Moyenne des pachymétries minimales avec les valeurs extrêmes en ODG dans notre échantillon (Droite)

- La différence entre la moyenne des pachymétries à 7mm et la pachymétrie minimale était inférieure à  $100 \mu\text{m}$  dans 59 yeux (95.16%) et supérieure à  $100 \mu\text{m}$  dans 3 yeux (soit 4.83%), avec des extrêmes de  $[91 \mu\text{m} - 106.4 \mu\text{m}]$ .
- Tous les yeux de notre échantillon (100%) avaient une kératométrie I-S (à 3mm) inférieure à 1.4D. La moyenne des kératométries I-S (à 3mm) était de  $0.52 \pm 0.33\text{D}$  en OD et de  $0.52 \pm 0.35\text{D}$  en OG, avec des extrêmes de  $[0\text{D} - 1.2\text{D}]$ .
- Tous les yeux de notre échantillon (100%) étaient porteurs d'une puissance moyenne (mean power) à 3mm inférieure à 46D. La moyenne des

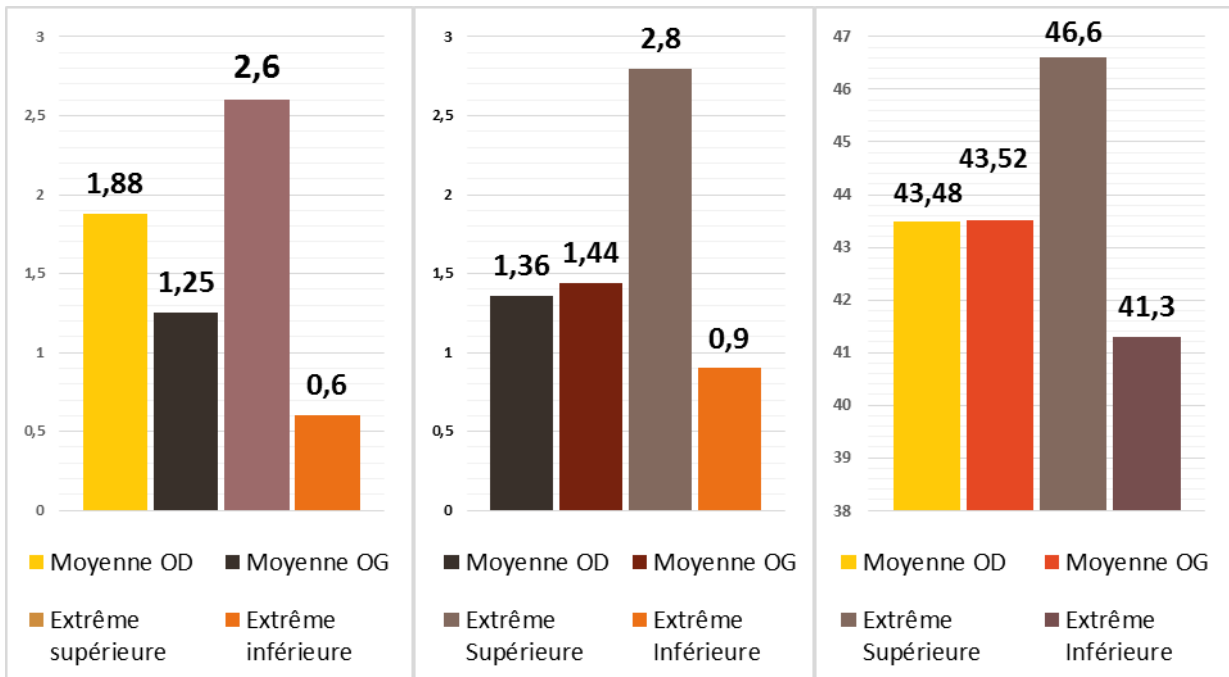
puissances moyennes à 3mm était de  $42.91 \pm 1.25D$  en OD et de  $42.87 \pm 1.34D$  en OG, avec des extrêmes de [40.8D–45.3D].



**Graphique 17 :** Valeurs moyennes des kératométrie I-S (à 3mm) en ODG ainsi que les extrêmes maximale et minimale (**Gauche**)

**Graphique 18 :** Valeurs moyennes des puissances (mean power) à 3mm en ODG ainsi que les extrêmes maximale et minimale (**Droite**)

- Le taux d'irrégularités (à 3mm) était strictement inférieur à 1.5D dans 46 yeux (74.19%) et supérieur ou égal à 1.5D dans 16 yeux (25.8%). La moyenne du taux d'irrégularités dans les 3mm était de  $1.18 \pm 0.44D$  en OD et de  $1.25 \pm 0.49D$  en OG, avec des extrêmes de [0.6D–2.6D]
- Le taux d'irrégularités (à 5mm) était strictement inférieur à 2D dans 55 yeux (74.19%) et supérieur ou égal à 2D dans 7 yeux (25.8%). La moyenne du taux d'irrégularités dans les 5mm était de  $1.36 \pm 0.34D$  en OD et de  $1.44 \pm 0.41D$  en OG, avec des extrêmes de [0.9D–2.8D]
- Tous les yeux de notre échantillon (100%) avaient un  $K_{max} < 47D$ . La moyenne des  $K_{max}$  dans notre échantillon était de  $43.48 \pm 1.32D$  en OD et de  $43.52 \pm 1.41D$  en OG, avec des extrêmes de [41.3D–46.6D].



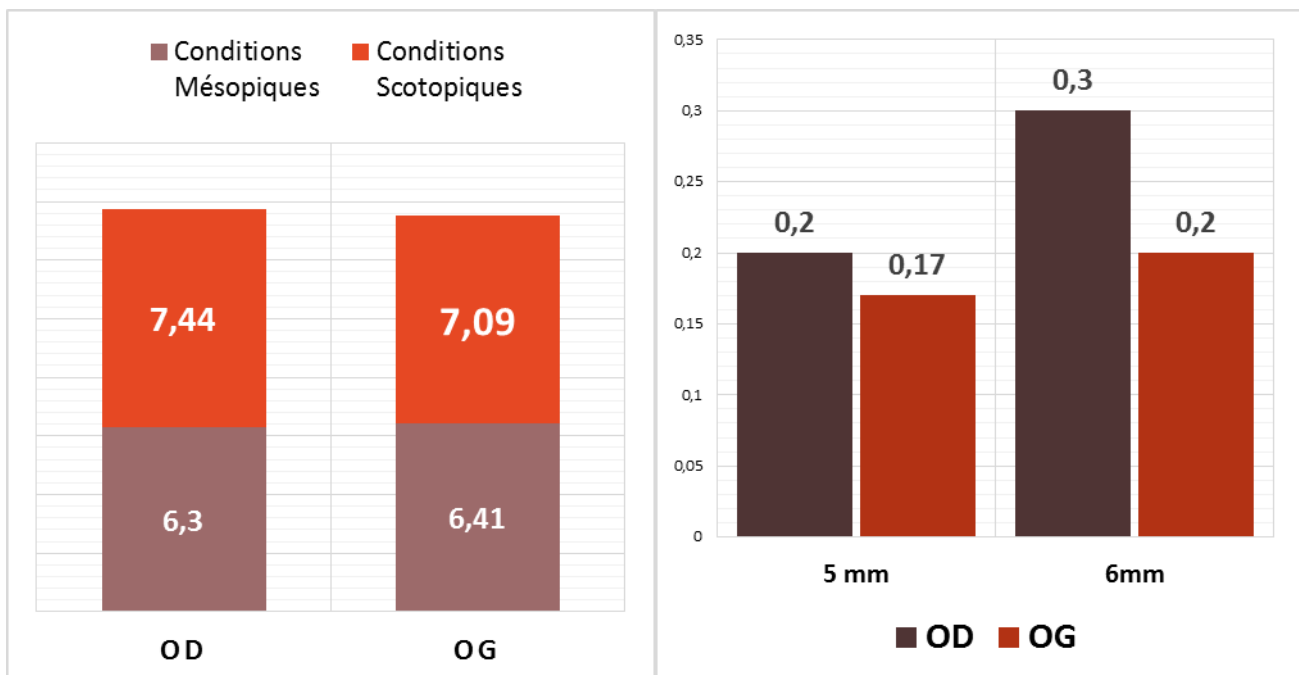
**Graphique 19** : Les valeurs moyennes du taux d'irrégularité (à 3mm) en ODG ainsi que les extrêmes maximale et minimale (**Gauche**)

**Graphique 20** : Les valeurs moyennes du taux d'irrégularité (à 3.5mm) en ODG ainsi que les extrêmes maximale et minimale (**milieu**)

**Graphique 21** : Les valeurs moyennes de Kmax en ODG ainsi que les extrêmes maximale et minimale (**Droite**)

## E. ABERROMETRIE

- La valeur moyenne de la pupillométrie en conditions mésopiques était de  $6.3 \pm 0.73$  mm en OD, et de  $6.41 \pm 1.13$  mm en OG, avec des extrêmes de [3.71 mm–8.31 mm].
- En condition scotopiques, la valeur moyenne des dilatations pupillaires était de  $7.44 \pm 0.57$  mm en OD, et de  $7.09 \pm 0.57$  mm en OG, avec des extrêmes de [5.76 mm–8.11 mm]
- Dans les 5 mm, la moyenne des valeurs du RMS était de  $0.2 \pm 0.07$  en OD et de  $0.17 \pm 0.07$  en OG, avec des extrêmes de [0.08–0.46].
- Dans les 6 mm, la moyenne des valeurs du RMS était de  $0.3 \pm 0.12$  en OD et de  $0.2 \pm 0.1$  en OG (soit inférieure à  $0.5 \mu\text{m}$ , seuil de normalité du taux RMS des HOA pour une pupille de 6 mm), avec des extrêmes de [0.16–0.69].

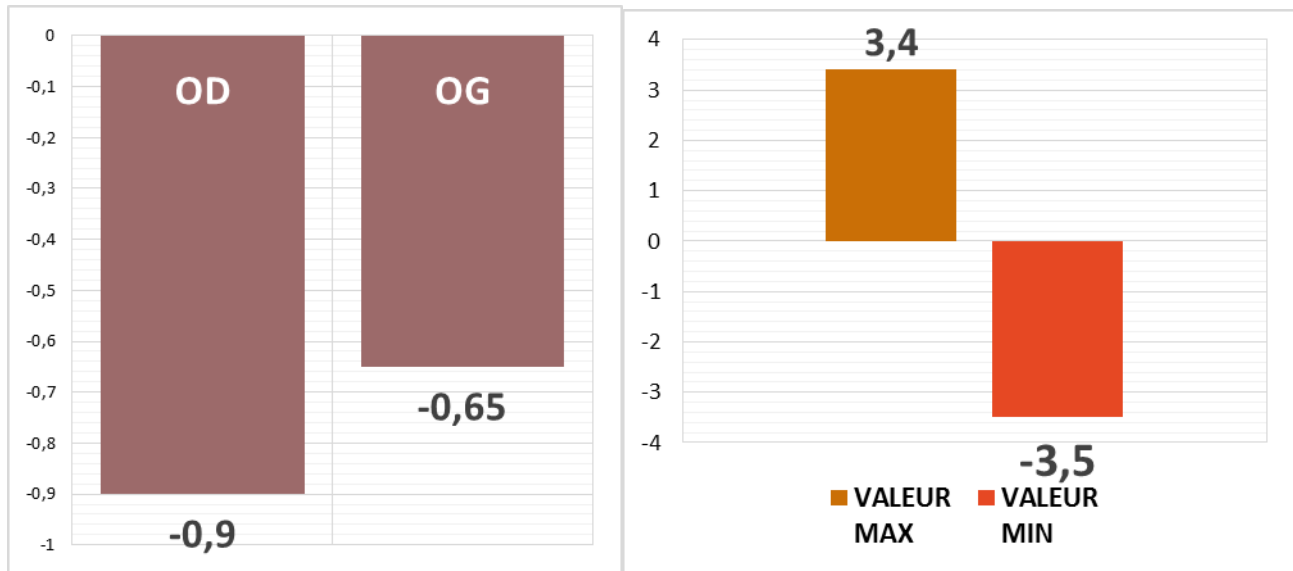


**Graphique 22** : Valeurs moyennes de la pupillométrie en conditions mésopiques et scotopiques dans notre échantillon (à gauche)

**Graphique 23** : Valeurs moyennes des RMS dans les 5 et 6 mm en ODG (à droite)

## F. SCORE DE GATINEL

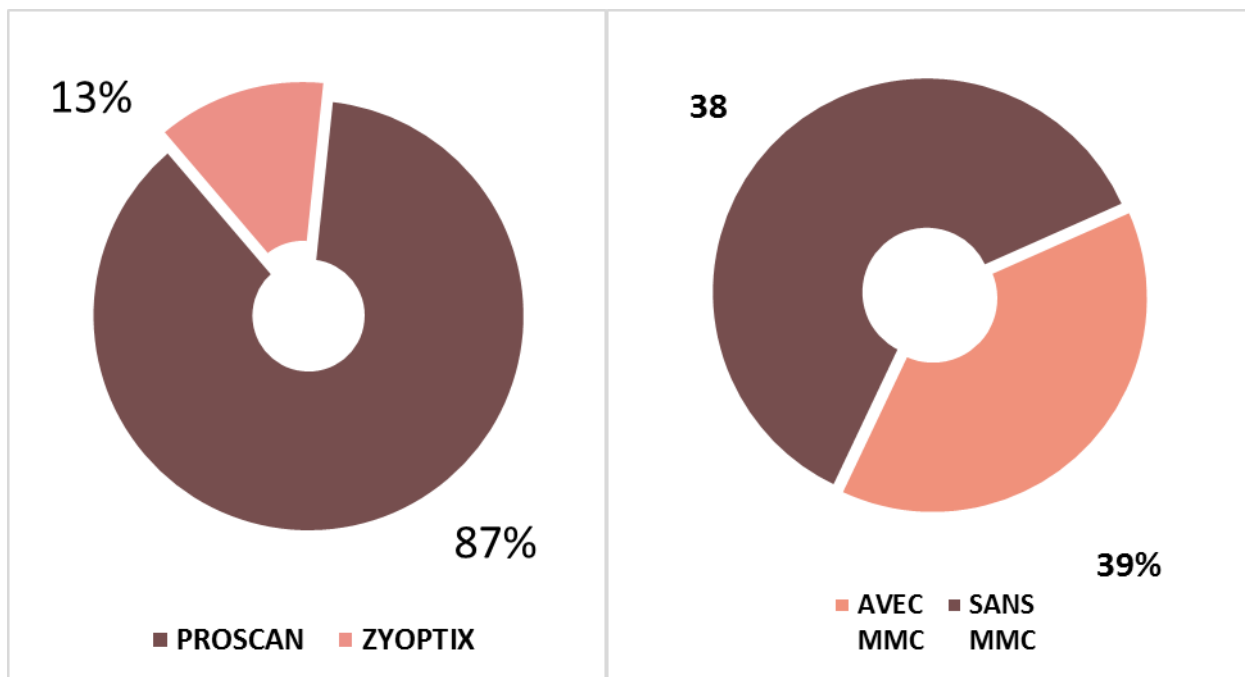
Dans notre échantillon, le score de Gatinel était inférieur à 0 dans 56 yeux (90.32%) et supérieur ou égal à 0 dans 6 yeux (9.67%). La moyenne de ce score était de  $-0.9 \pm 1.15$  en OD, et de  $-0.65 \pm 1.89$  en OG, avec des extrêmes de  $[-3.5, +3.4]$ .



Graphique 24 : Valeurs moyennes du score de Gatinel en ODG et valeurs maximale/minimale

## G. PARAMETRES THERAPEUTIQUES DU LASER EN PER-OPERATOIRE

- Tous nos patients (100%) ont bénéficié d'un traitement de surface type PKR.
- Sur les 62 yeux inclus dans notre échantillon, 54 (soit 87.09%) ont bénéficié d'un traitement photoablatif par PROSCAN et 8 yeux (soit 12.9%) ont bénéficié d'un traitement photoablatif personnalisé par ZYOPTIX HD.
- 24 yeux (soit 38.7%) de notre échantillon ont bénéficié d'un traitement par Mitomycine C 0.02% en traitement prophylactique du haze cornéen, d'une durée moyenne de  $26.5 \pm 5.79s$ , avec des extrêmes de [15–30s]. Tous avaient une myopie modérée ( $-6 \leq \text{sphère} \leq -3D$ )

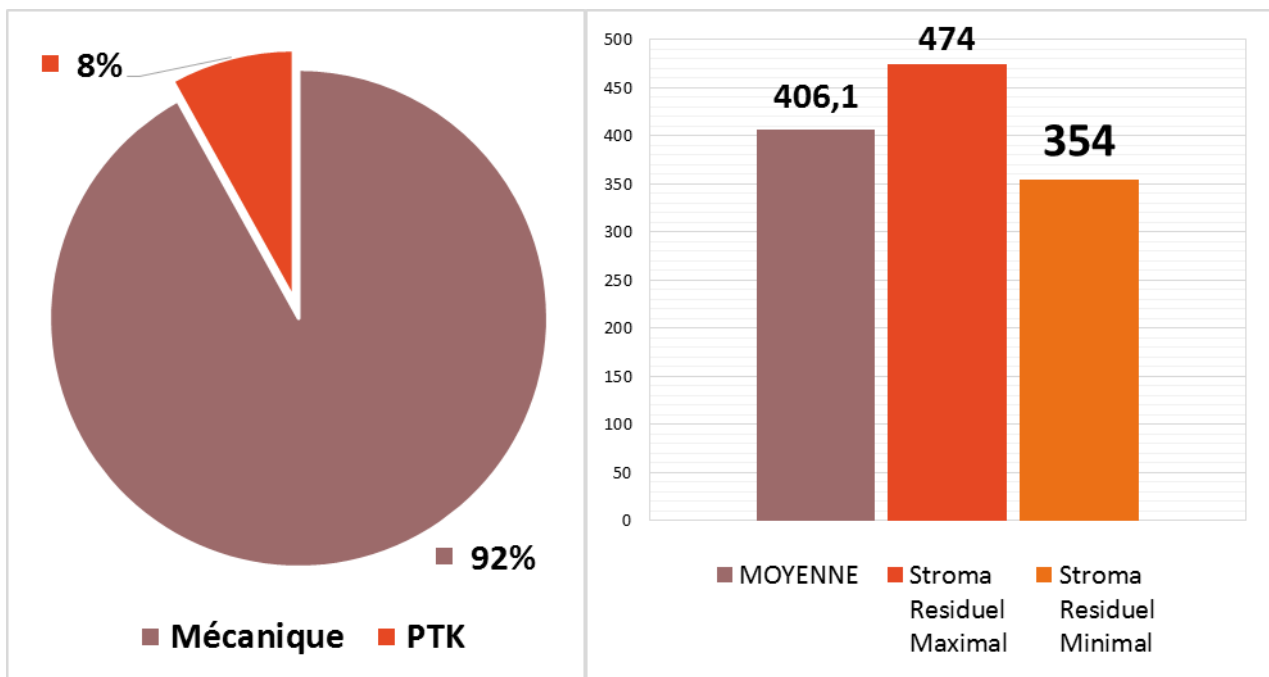


Graphique 25 : Choix de la technique du traitement photoablatif (à gauche)

Graphique 26 : Pourcentage de patients ayant bénéficié d'un traitement par la MMC 0.02% (à droite)

- 57 yeux (soit 91.93%) ont bénéficié d'une désépithélialisation mécanique (par scarificateur ou brosse rotative) et 5 yeux (8.06%) ont bénéficié d'une désépithélialisation par photokératectomie thérapeutique (PTK).

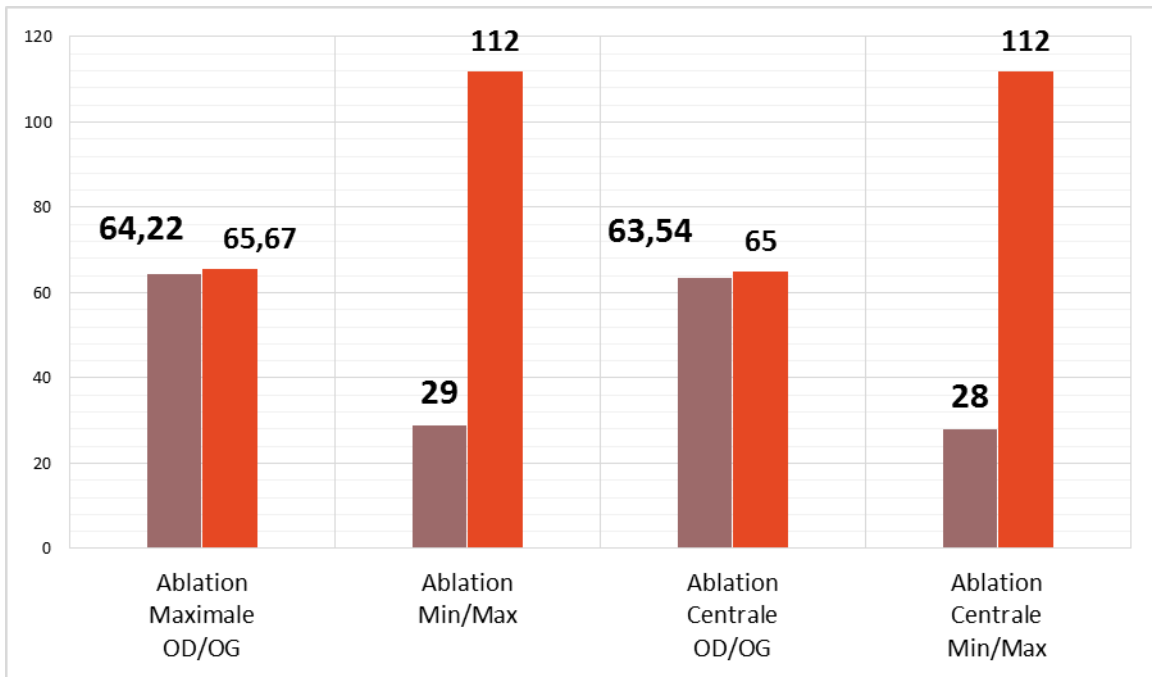
- La moyenne des diamètres des zones optiques était de  $6.53 \pm 0.12$  mm en OD et de  $6.5 \pm 0.17$  mm en OG avec des extrêmes de [6–7 mm].
- La moyenne des diamètres des zones traitées était de 8.82/8.6 mm en ODG avec des extrêmes de [6.5–10.5 mm].
- La moyenne des stromas résiduels était de  $407.5 \pm 35.4 \mu\text{m}$  en OD, et de  $406.1 \pm 30.8 \mu\text{m}$  en OG, avec des extrêmes de [354–474  $\mu\text{m}$ ]



Graphique 27 : Type de désépithélialisation dans notre échantillon (à gauche)

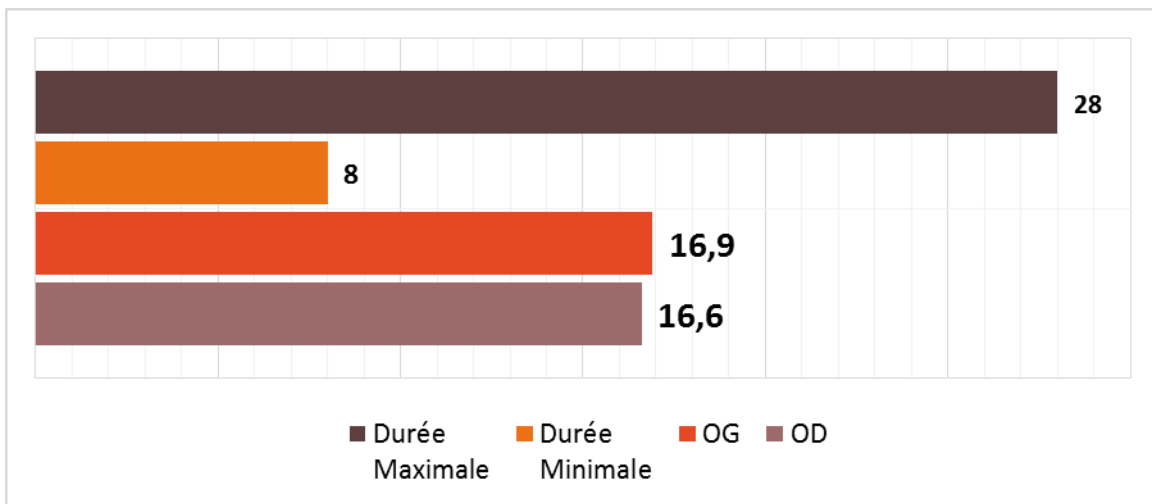
Graphique 28 : Moyenne des stromas résiduels et extrêmes maximale et minimale (à droite)

- L'épaisseur maximale d'ablation était en moyenne de  $64.22 \pm 22.9 \mu\text{m}$  en OD et de  $65.67 \pm 22.05 \mu\text{m}$  en OG, avec des extrêmes de [29–112  $\mu\text{m}$ ].
- La moyenne des épaisseurs d'ablation centrale était de  $63.54 \pm 23.05 \mu\text{m}$  en OD, et de  $65 \pm 21.96 \mu\text{m}$  en OG, avec des extrêmes de [28–112  $\mu\text{m}$ ].



**Graphique 29** : Moyenne des ablations maximales en OD/OG avec les valeurs extrêmes, ainsi que la moyenne des épaisseurs d’ablation centrale en OD/OG avec les valeurs extrêmes.

- La durée moyenne des impulsions était de  $16.6 \pm 5.8s$  en OD, et de  $16.9 \pm 5.4s$  en OG, avec des extrêmes de [8–28s]

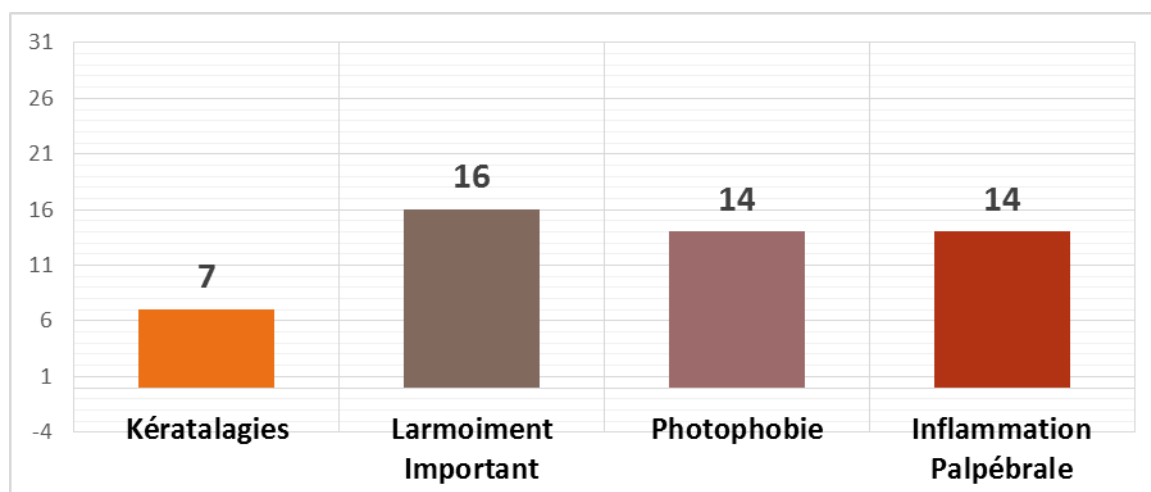


**Graphique 30** : Durée moyenne des impulsions en OD/OG avec les durées minimale et maximale

## H. SYMPTOMATOLOGIE POST-OPERATOIRE ET PHENOMENES

### INFLAMMATOIRES

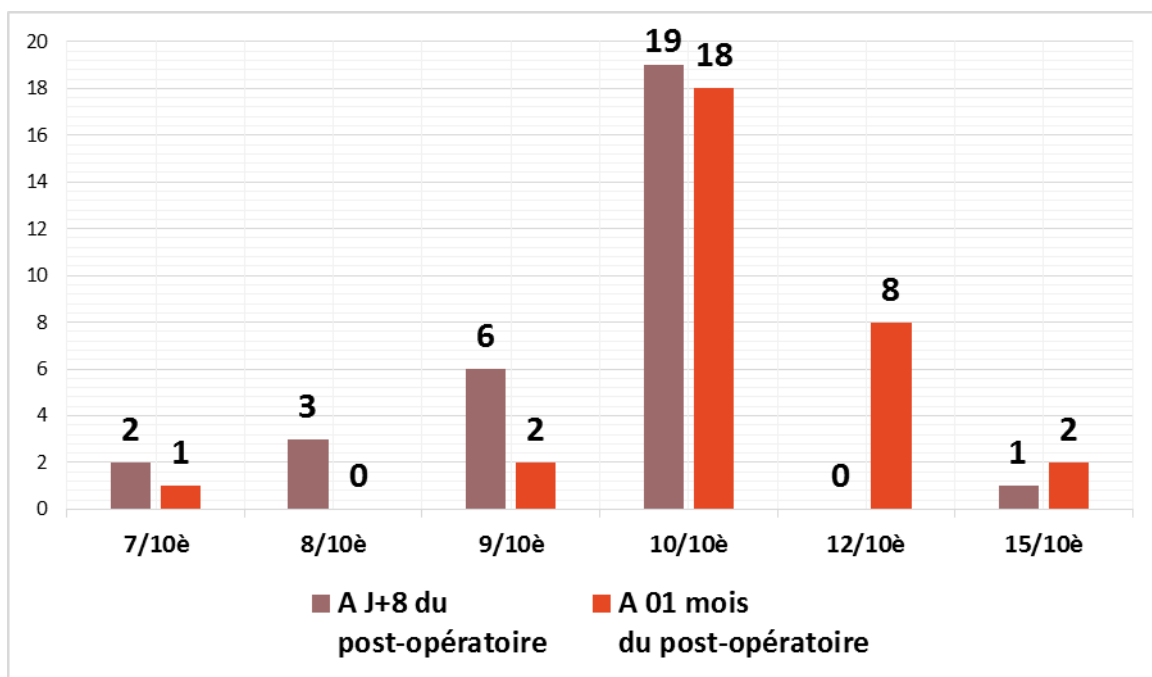
- Sur nos 31 patients, 7 (22.58%) ont présenté des kératalgies postopératoires immédiates, 16 (51.61%) ont présenté un larmoiement important, 14 (45.16%) ont présenté une photophobie, et 14 (45.16%) ont présenté une inflammation palpébrale.
- Tous ces symptômes se sont résolus après une durée allant de 2 à 5 jours en postopératoire chez 100% de nos patients. Il en va de même pour la cicatrisation épithéliale.



Graphique 31 : Symptomatologie postopératoire dans notre échantillon

## I. RESULTATS FONCTIONNELS

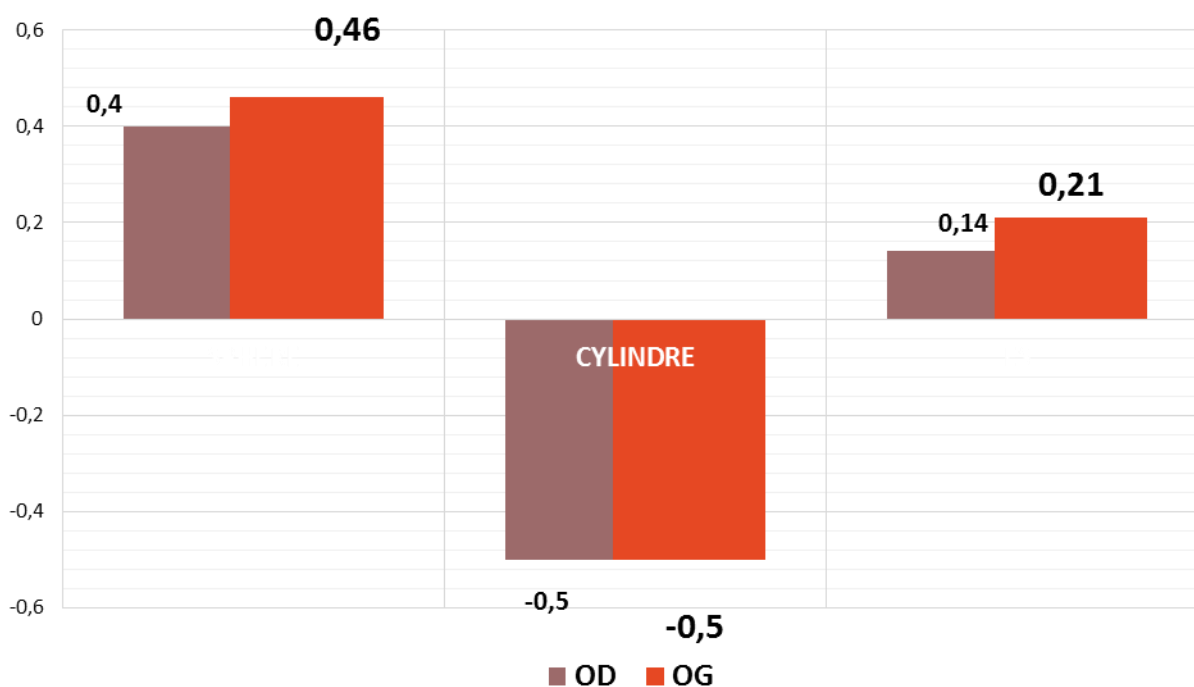
- Lors du premier contrôle postopératoire (à J+8), l'acuité visuelle non corrigée allait de 8/10èmes à 15/10èmes chez 28 patients (soit 90.32%) et était de 7/10ème chez 3 patients (soit 9.67%).
- A J+30, 28 patients (90.32%) avaient une AVNC > 10/10ème (18 (58.06%) à 10/10ème, 8 (25.8%) à 12/10ème et 2 (6.45%) à 15/10ème), 2 patients (6.45%) avaient une AVNC à 9/10ème et 1 patient (3.22%) avait une AVNC à 7/10ème.



**Graphique 32 : L'acuité visuelle à J+8 et à 01 mois du postopératoire**

- A 01 mois en postopératoire, la sphère avait une valeur moyenne de  $0.40 \pm 0.55D$  en OD et de  $0.46 \pm 0.46D$  en OG, avec des extrêmes de  $[-0.5D, +2D]$
- Le cylindre avait une valeur moyenne de  $-0.5 \pm 0.38D$  en OD, et de  $-0.5 \pm 0.43$  en OG, avec des extrêmes de  $[-1.75D, 0D]$
- L'équivalent sphérique s'est rapproché du 0 après le geste chirurgical, en passant en OD de  $-3.2 \pm 1.38$  en préopératoire à  $0.14 \pm 0.49$  en

postopératoire et en OG de  $-3.35 \pm 1.4$  en préopératoire à  $0.21 \pm 0.45$  en postopératoire, avec des extrêmes de  $[-0.625, +1.75]$



**Graphique 33** : Les valeurs moyennes de la Sphère, du cylindre et de l'équivalent sphérique à 01 mois du post-opératoire

## J. QUALITE DE VIE ET CHIRURGIE REFRACTIVE

Sur nos 31 patients, 28 ont accepté de remplir le questionnaire (soit un taux de 90.32%) et l'ont rendu à la fin de la consultation postopératoire de 01 mois.

Les scores moyens de l'échelle NEI-RQL 42 reflètent une bonne qualité de vie des patients en postopératoire dans cet échantillon (Graphique 27). Neuf scores sur 13 sont supérieurs à 70 : « Netteté de la vision », « vision de près », « vision de loin », « fluctuations diurnes », « limitation des activités », « phénomènes visuels lumineux », « correction sous-optimale », « apparence physique » et « satisfaction de la correction ». Trois scores ont des valeurs entre 65 et 70 : « Symptômes visuels », « dépendance à une correction » et « préoccupation en rapport avec la vision ». Seul le score « attentes du patient » est inférieur à 50 (6.69).

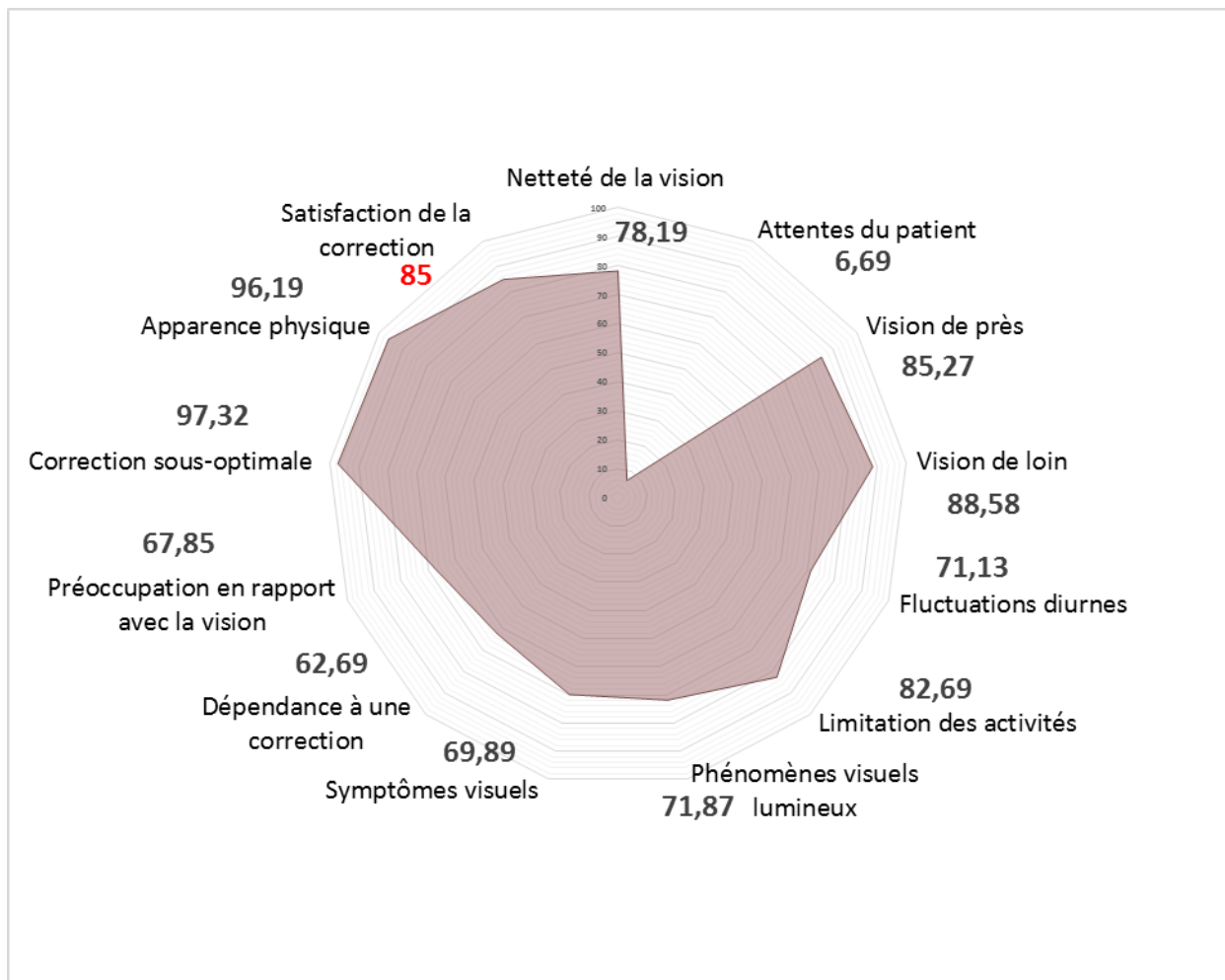
### 1. Application du questionnaire NEI-RQL 42 :

**Tableau 4** : Les 13 scores du NEI-RQL 42 questionnaire et les items correspondants à chaque score + le calcul de la moyenne et de l'écart type (ET) de chaque item puis de chaque score.

			Score/ITEM	Score/AXE	
			MOYENNE	MOYENNE	ET
1	NETTETE DE LA VISION	Q23	79,76	<b>78.19</b>	<b>±11.08</b>
		Q37b	92,85		
		Q39b	73.21		
		Q40b	66.96		
2	ATTENTES DU PATIENT	Q01	3.57	<b>6.69</b>	<b>±4.41</b>
		Q28	9.28		
3	VISION DE PRES	Q02	81,28	<b>85.27</b>	<b>±4.14</b>
		Q07	88.39		
		Q08	82.14		
		Q11	89.28		
4	VISION DE LOIN	Q04	95.23	<b>88.58</b>	<b>±6.28</b>
		Q05	94.04		
		Q06	79.76		
		Q09	87.50		
		Q10	86.36		
5	FLUCTUATIONS DIURNES	Q03	76.19	<b>71.13</b>	<b>±7.15</b>
		Q20	66.07		
6	LIMITATION DES ACTIVITES	Q12	80.76	<b>82.69</b>	<b>±3.60</b>
		Q33	78.57		
		Q34	85.71		
		Q35	85.71		
7	PHENOMENES VISUELS LUMINEUX	Q17	70.53	<b>71.87</b>	<b>±1.89</b>
		Q38b	73.21		
8	SYMPTOMES VISUELS	Q18	63.39	<b>69.89</b>	<b>±10.95</b>
		Q19	61.60		
		Q24	76.78		
		Q25	80.35		
		Q36b	82.14		
		Q41b	72.32		
		Q42b	52.67		
9	DEPENDANCE A UNE	Q13	96.42	<b>62.69</b>	<b>±34.99</b>

	CORRECTION	Q14	89.28		
		Q15	34.78		
		Q16	30.30		
10	PREOCCUPATION EN RAPPORT AVEC LA VISION	Q21	72.32	67.85	±6.31
		Q22	63.39		
11	CORRECTION SOUS OPTIMALE	Q31	96.42	97.32	±1.26
		Q32	98.21		
12	APPARENCE PHYSIQUE	Q27	92.14	96.19	±3.93
		Q29	96.42		
		Q30	100		
13	SATISFACTION DE LA CORRECTION	Q26	85		±11.99

## 2. Représentation graphique des résultats du questionnaire



Graphique 34 : Moyenne des 13 scores de l'échelle NEI-RQL 42 dans notre échantillon d'étude.

# DISCUSSION

## V. DISCUSSION

### A. EPIDEMIOLOGIE DES AMETROPIES

Chez l'adulte, la myopie n'est pas l'amétropie la plus répandue. La première place revient à l'hypermétropie. Mais nombre d'hypermétropes s'ignorent et compensent avec plus ou moins de facilité leur amétropie latente par un effort d'accommodation. La myopie ne possède pas ce privilège et même à faible puissance elle constitue un handicap visuel. Elle représente de ce fait l'amétropie la plus corrigée.

#### 1. Myopie

Des études basées sur des populations larges démontrent que dans la population de 4 à 74 ans, il existe une prévalence :

- De la myopie faible de 43 %
- De la myopie forte de 3,2 %
- De la myopie extrême de 0,2 %.

Ces proportions peuvent être plus élevées en Asie et beaucoup moins élevées dans la population d'Afrique et d'Océanie. En Australie, on retrouve une prévalence de la myopie faible à 21 %, de la myopie forte à 2% et de la myopie extrême à 0,3 %.

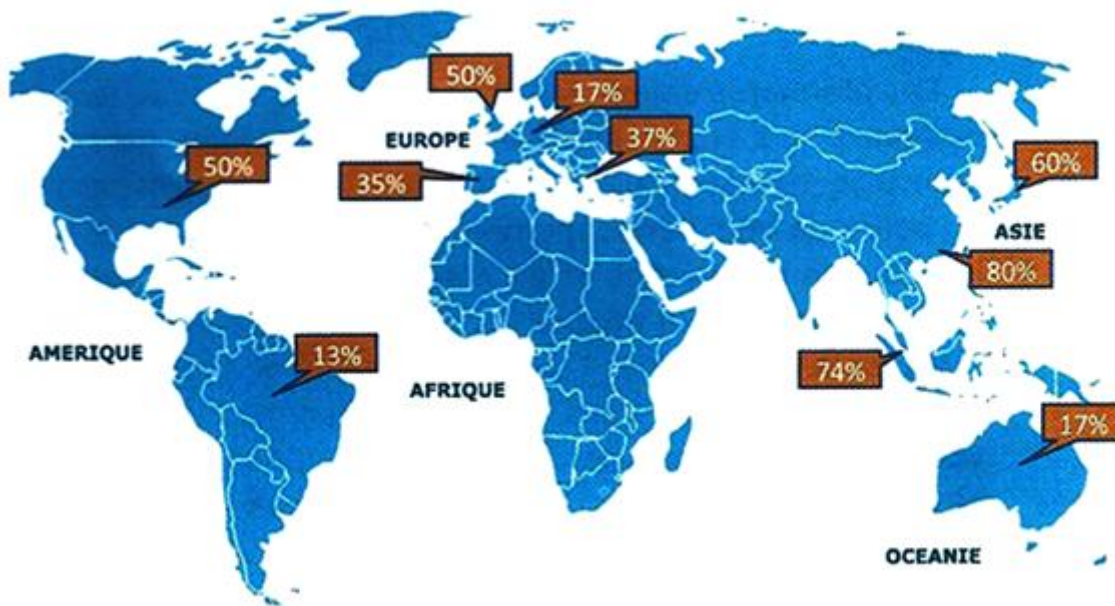


Figure 15 : Prévalence de la myopie dans le monde

La genèse de la myopie est complexe. Deux facteurs y jouent un rôle majeur : l'hérédité et l'environnement. Tout laisse penser qu'ils sont intriqués.

- Génétique

Des études d'héritabilité ont mis en évidence une prévalence familiale de la myopie. Les enfants issus d'un, et a fortiori de deux parents myopes, ont plus de risque d'être myopes que des enfants de parents emmétropes [36–38]

Le mode de transmission de la myopie n'est pas univoque. Plusieurs études ont montré plusieurs modes de transmission mendélienne aussi bien autosomique dominant que récessif, de rares cas de transmission liée à l'X ont même été observés.

- Environnement

La myopie est également sous la dépendance de facteurs environnementaux notamment :

- La vision de près prolongée : l'incidence de la myopie est beaucoup plus élevée chez des enfants effectuant des études longues que chez leurs parents qui n'ont pas fait d'études [34].

→ L'importance de l'exposition à la lumière du jour : Plus les activités extérieures augmentent, et moins le risque de myopie est élevé [33] [35]

La prévalence de la myopie ces dernières 20 années a beaucoup augmenté dans certaines parties de l'Asie, montrant le rôle de l'environnement. Aux USA la prévalence est plus forte de 15 % qu'il y a 35 ans.

## 2. Hypermétropie

Il est plus difficile de statuer la prévalence de l'hypermétropie car elle varie selon les chercheurs et est aussi âge dépendante. La plupart des enfants nés à terme sont modérément hypermétropes (environ +2 D), alors que les enfants prématurés et au poids bas sont plutôt moins hypermétropes ou myopes (environ +0,24 D).

A l'hypermétropie modérée voire forte s'associe pendant l'enfance l'astigmatisme plus ou moins important, mais les deux tendent à disparaître vers l'âge de 5 ans. Même si à cet âge, la prévalence de l'erreur réfractive diminue, sa distribution reste toujours en hypermétropie modérée.

Entre 10 et 15 ans la prévalence de l'hypermétropie continue à diminuer et la fréquence de la myopie augmente. Avec le développement de la presbytie, l'hypermétropie latente devient manifeste et contribue à l'augmentation de la prévalence de l'hypermétropie.

La différence inter-sexe de l'hypermétropie n'est pas connue, mais l'ethnicité peut avoir une influence. La prévalence de l'hypermétropie est la plus reportée chez les Américains et Africains-américains.

## 3. Astigmatisme

Fréquent également, assez souvent associé à une myopie ou une hypermétropie.

#### 4. Presbytie

C'est une anomalie « physiologique » de la réfraction. Elle touche tout individu après un certain âge, quelle que soit son amétropie.

### **B. LA CHIRURGIE REFRACTIVE**

#### 1. GENERALITES

La chirurgie réfractive regroupe les interventions destinées à réduire la dépendance des yeux à la correction optique. Elle permet en remaniant la forme de la surface cornéenne, de corriger de manière définitive la vision des patients dont l'œil présente une amétropie.

Les amétropies opérables comportent la myopie, l'hypermétropie, l'astigmatisme et la presbytie. Ces défauts optiques traduisent un défaut de focalisation des rayons lumineux captés dans le plan de la rétine. Après la chirurgie, l'œil opéré acquiert un caractère emmétrope ; c'est-à-dire qu'il devient indépendant de manière accrue ou totale à la correction optique précédemment utilisée.

Les techniques de laser de surface, notamment la Photokératectomie Réfractive (PKR) et le LASIK (ou Laser in Situ Keratomileusis ou Kératectomie par laser in situ) qui est une technique avec ablation de volet, sont les actes les plus pratiqués pour corriger la vision. Ils se situent même sur la liste des chirurgies les plus pratiqués dans le monde, toutes spécialités confondues.

La chirurgie réfractive est réalisée en ambulatoire, sous anesthésie locale, le plus souvent de manière bilatérale. Elle nécessite un bilan préopératoire soigneusement mené. Ce bilan permettra d'éliminer les contre-indications à la chirurgie et de choisir la technique opératoire la plus adéquate une fois l'indication posée.

## 2. HISTORIQUE

Dans les années 1850 a eu lieu la première lensectomie réfractive. Lors de cette procédure, le cristallin a été enlevé dans le but de corriger une myopie. La fin du 19ème siècle a connu la première chirurgie cornéenne réparatrice d'astigmatisme par incision horizontale dans le stroma cornéen.

Hjalmar August Schiøtz, pionnier de l'ophtalmologie en Norvège fut le premier à avoir recours à une chirurgie réfractive avec incision afin de corriger les erreurs réfractives.

En 1936, l'ophtalmologiste japonais Tsutomu Sato a repris les recherches de son homologue norvégien et a tenté de les affiner en conduisant de multiples recherches portant sur la kératotomie radiaire, forme pionnière de chirurgie réfractive visant à corriger le kératocône et la myopie par le biais de multiples incisions au niveau de la cornée.

En 1948, l'espagnol Jose Barraquer (1916–1998), considéré par plusieurs comme le père fondateur de la chirurgie réfractive, fut le premier à réaliser une chirurgie lamellaire cornéenne afin de remodeler la cornée. Barraquer fit l'ablation d'une lamelle de cornée, la congela pour pouvoir la tailler à la forme désirée, puis sutura la dite lamelle à la cornée. Cette technique étant considérée comme précurseuse du kératomileusis.

Les années 70 à 80 connurent l'apparition et le développement d'une multitude de nouvelles techniques visant à prendre en charge les différentes erreurs réfractives. En 1974, Svyatoslav Fyodorov fit l'ablation de morceaux de verre qui s'étaient logés dans les yeux d'un jeune enfant porteur de correction optique pour sa myopie. Afin de sauver la vision de l'enfant, Fyodorov réalisa de multiples incisions radiales profondes dans le stroma, débutant au niveau de la pupille et s'étendant jusqu'à la périphérie cornéenne dans une forme mimant la forme des

rayons d'une roue. Après guérison complète de la cornée, Fyodorov se rendit compte que l'acuité visuelle de l'enfant s'était grandement améliorée. La Kératotomie Radiaire vit ainsi le jour. En effet, cette procédure consiste à réaliser au niveau de la cornée antérieure entre 11 et 16 incisions équidistante l'une par rapport à l'autre. Cette technique fut introduite aux états unis en 1978 et fut dès lors utilisée dans la correction de la myopie.

En 1980, un nouveau type de LASER, appelé Laser EXCIMER, fit son introduction dans le domaine de l'ophtalmologie. Initialement développé dans les années 1970 afin de graver des puces électroniques, ce sera 3 scientifiques travaillant chez IBM qui se rendront compte du potentiel de ce laser. En effet, Rangaswamy Srinivasan, James Wynne et Samuel Blum découvrirent bien par hasard, que lors de son application sur du tissu biologique, l'ablation tissulaire accomplie par le rayonnement laser ne s'accompagnait d'aucune trace visible de brûlure ou lésion particulière. Le point fort de la technologie excimer réside en effet dans le fait qu'elle permet l'émission d'un rayonnement laser situé dans l'ultraviolet, où les photons sont plus énergétiques; l'énergie transportée par ces photons est alors supérieure à l'énergie de cohésion des atomes au sein des molécules. Un photon ultraviolet (UV) peut ainsi agir de manière ciblée en rompant une liaison interatomique.

Dans le cas de la chirurgie réfractive cornéenne, cette interaction allait permettre d'enlever une couche très fine de tissu cornéen à chaque impact. Les 3 scientifiques venaient en quelques sortes de découvrir le scalpel le plus fin au monde, ils publièrent dès lors leurs découverte. Un premier brevet concernant des applications médicales du rayonnement excimer fut déposé et enregistré en 1988. Ce ne sera néanmoins que plusieurs années plus tard que, Srinivasan en association avec plusieurs ophtalmologistes, commenceront à l'utiliser en chirurgie réfractive

afin de faire l'ablation d'une épaisseur bien déterminée de la surface cornéenne. Stephen Trokel, professeur associé d'ophtalmologie au Columbia Presbyterian Medical Center de l'université de New-York, fut un des premiers ophtalmologistes à travailler avec Srinivasan [137] en vue d'une application en chirurgie oculaire. Il en fit notamment usage en 1987. Ce type de laser rendit obsolète les techniques antérieures comme la kératotomie radiaire et le kératomileusis sans laser. Il révolutionna la chirurgie réfractive en permettant d'assurer un degré de précision jusque-là impossible à atteindre par d'autres techniques.

La chirurgie réfractive a connu une forte expansion depuis les années 90 de façon contemporaine au grand essor qu'a connu la technologie EXCIMER ainsi que par la mise à disposition du laser FEMTOSECONDE. Les différentes techniques lasers ont rapidement supplanté les techniques jusque-là incisionnelles. Le développement de nouvelles techniques d'exploration oculaire comme la topographie cornéenne et l'aberrométrie ont également participé à l'expansion de ce type de chirurgie, en la rendant plus sûre et donc plus performante.

En 2003, plus de 55% des chirurgiens américains avaient pratiqués la technique du LASIK. Ce chiffre est beaucoup plus faible en France en raison de l'important investissement en matériel et de l'expertise nécessaire à la pratique de cette activité à haute exigence en termes de résultats. On estime à environ 200 000 le nombre d'actes de chirurgie réfractive réalisés chaque année en France et à plus de 700 000 réalisés au monde. Et bien que le nombre de techniques chirurgicales proposées soit en augmentation progressive, la Photokératectomie (PKR) et le LASIK demeurent largement en tête des actes les plus pratiqués.

### 3. LASERS EN OPHTALMOLOGIE

#### a. Généralités

Les lasers sont des sources de lumière très particulière, car ils émettent en règle générale une seule longueur d'onde dans une seule direction, permettant ainsi d'obtenir une tache lumineuse de petite taille et de grande intensité. Selon le matériau actif et le mode de fonctionnement, il existe différents types de lasers [41] [43] [44] avec des rayonnements dont la longueur d'onde et l'intensité conditionnent l'effet tissulaire et par conséquent les indications médicales. De très nombreux lasers ont été conçus depuis le tout premier laser développé en 1960. Néanmoins, seuls quelques-uns ont fait l'objet d'un développement médical en raison d'une panoplie de critères dont le coût, l'efficacité et la fiabilité. Pour les applications médicales, il est possible de distinguer quatre caractéristiques principales :

#### a.1 La longueur d'onde d'émission du laser

Un laser n'émet dans la majorité des cas qu'à une longueur d'onde unique, parfois à plusieurs. Dans certains cas, on peut aussi obtenir successivement différentes longueurs d'onde. Enfin, il est également possible de doubler la fréquence d'un laser et par conséquent diviser par 2 sa longueur d'onde (le principe de doublage de fréquence est appliqué de façon courante aux lasers de photocoagulation, comme c'est le cas pour le laser Nd:YAG qui peut ainsi émettre dans le vert à 532 nm à partir de sa longueur d'onde fondamentale, et à 1064 nm et ce par le biais de cristaux biréfringents non linéaires tels que le KTP : (potassium titanyl phosphate) qui permet de transformer jusqu'à 30 % de l'intensité incidente en intensité de fréquence double.)

La longueur d'onde est liée à l'énergie  $E$  par  $E = h c / \lambda$  où  $h$  est la constante de Planck et  $c$  la vitesse de la lumière. Ainsi les photons des rayonnements de petites

longueurs d'onde (bleus et ultraviolets) sont plus énergétiques que ceux des rayonnements de grande longueur d'onde (rouges et infrarouges).

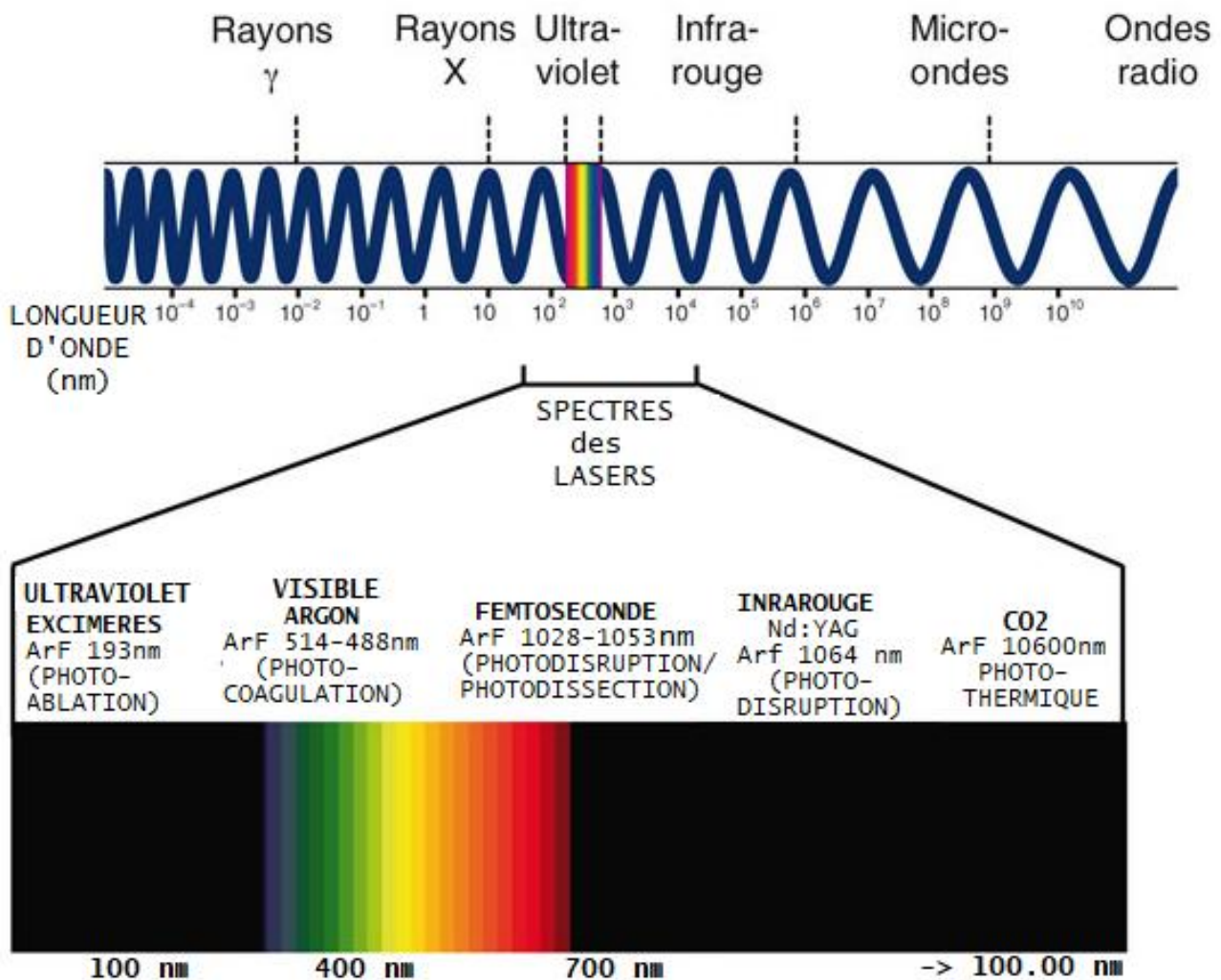


Figure 16 : Le spectre des lasers et leurs différentes actions selon leurs longueurs d'onde.

### a.2 La puissance (ou l'intensité)

Le mode de fonctionnement, c'est à dire la façon avec laquelle un laser délivre ses impulsions, diffère grandement d'un laser à l'autre, ce qui rend la puissance moyenne le meilleur critère de comparaison entre les différents lasers.

### a.3 La durée d'émission

### a.4 La surface du spot laser sur le tissu cible.

## b. Transmission du faisceau laser, principaux paramètres :

Entre la sortie de la cavité laser et la rétine, le faisceau laser est le plus souvent transmis par une fibre optique puis par un système de miroirs au niveau du biomicroscope. Les paramètres d'utilisation des lasers sont les suivants :

- **L'énergie du rayonnement E** est égale au produit de la puissance par la durée totale d'irradiation :  $E$  (en joules) =  $P$  (en watts)  $\times$   $t$  (en secondes)
- **L'irradiance I** (ou densité de puissance) est définie comme le rapport de la puissance sur la surface du faisceau à la surface du tissu :  $I = P/S$ .  
L'irradiance s'exprime en  $W/cm^2$
- **La fluence F** correspond au rapport de l'énergie sur la surface du spot :  $F = E/S$  en  $J/cm^2$

Ces paramètres sont particulièrement importants pour comparer les doses d'irradiation laser correspondant à des effets a priori différents.

Les paramètres « puissance » et « irradiance » ont longtemps été utilisés lors des premières applications en ophtalmologie. Plus récemment, l'avènement de la PKR au laser excimer et de la thérapie photodynamique au laser diode du proche infrarouge, ont fait préférer l'utilisation de la fluence parce que ce paramètre intègre la surface d'irradiation.

## c. Applications cliniques des lasers en Ophtalmologie :

L'ophtalmologie a été la première spécialité utilisant les effets thérapeutiques des lasers. Actuellement, cette spécialité reste la seule à utiliser tous leurs effets tissulaires. Il existe quatre principales applications cliniques qui reposent toutes sur l'interaction laser-tissu. Cette distinction dépend du temps d'exposition, car ces

quatre actions requièrent une dose d'énergie spécifique totale comprise entre 1 et 1000 J/cm<sup>2</sup>. On distingue :

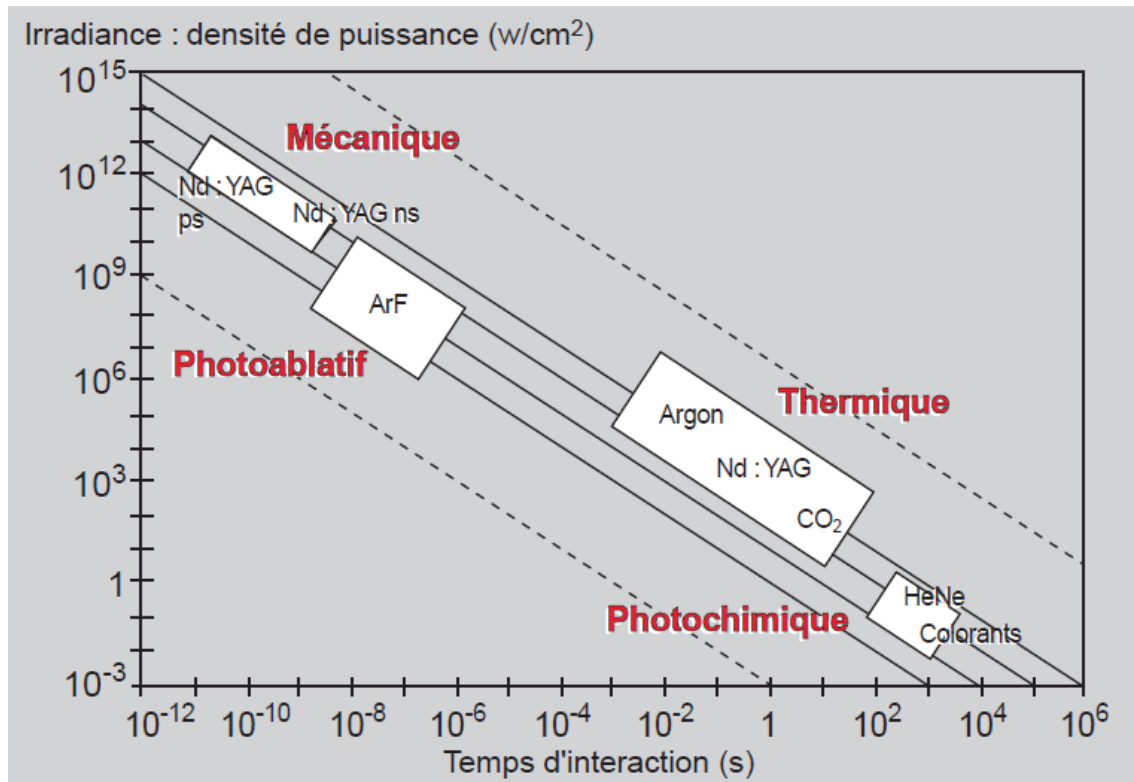


Figure 17 : Les différentes actions des lasers en fonction de l'irradiance et du temps d'interaction.

### c.1 L'action électromécanique

Est obtenue avec des impulsions de 10ps (picosecondes) à 10ns (nanosecondes) et des irradiances de l'ordre de 10<sup>7</sup> à 10<sup>12</sup> W/cm<sup>2</sup>. Une impulsion laser très courte focalisée sur une cible tissulaire va permettre de créer des irradiances élevées et donc d'obtenir localement des champs électriques élevés. Ces champs permettent de porter la matière à l'état de plasma, et l'onde de choc associée à la formation/expansion du plasma va engendrer des ondes de pression extrêmement importantes et par conséquent entraîner une rupture mécanique de la structure tissulaire, comme c'est le cas pour le laser Femtoseconde : on parle de photodisruption ou plasma-disruption.

### **c.2 L'action photoablative (photodécomposition ablative)**

Consiste en une rupture de la matière et en l'expulsion des fragments à une vitesse supersonique [42]. Elle est obtenue avec des impulsions de 10 à 100 ns. Dans ce cas, plus que l'irradiance, c'est le domaine spectral qui est important et qui nécessite des photons énergétiques (dont l'énergie est supérieure à l'énergie de liaisons des molécules biologiques : des photons ayant une énergie de l'ordre de 3 à 5 eV sont capables de dissocier des liaisons peptidiques ou des liaisons carbone-carbone des chaînes polypeptidiques). C'est ainsi que des lasers émettant dans l'UV (tels que les lasers excimer type ArF (193 nm/6,4 eV), ou encore les lasers Nd:YAG quadruplés en fréquence (266 nm/4,7 eV)) sont bien adaptés à la photoablation. Le laser ArF est notamment très utile en chirurgie réfractive (autant pour la PKR que pour le LASIK). Chaque impulsion de ce laser détruit les liens moléculaires entre les cellules de la cornée avec une précision de l'ordre de 0,25  $\mu\text{m}$ .

### **c.3 L'action thermique**

Repose sur l'initiation d'une source de chaleur au niveau tissulaire, conduisant à une élévation de température conditionnant la dénaturation tissulaire. Elle est obtenue avec des impulsions de 1 ms à quelques secondes et des irradiances de l'ordre de  $10^1$  à  $10^6$  W/cm<sup>2</sup>. En ophtalmologie, deux techniques utilisent l'action thermique des lasers :

- La photocoagulation (au laser vert, jaune ou rouge)

Représente la principale et la plus ancienne application du laser en ophtalmologie. Son principe de base consiste en une transformation de la lumière en chaleur au niveau des pigments de la rétine et de la choroïde, chaleurs dans la diffusion va entraîner la constitution de dommage (représenté par une dénaturation des protéines des couches chorioretiniques) qui se traduit à l'observation par le

blanchiment des impacts, visibles au biomicroscope. Les lasers utilisés en photocoagulation émettent entre 490 et 590 nm.

- La thermothérapie transpupillaire (TTT)

Technique plus récente dont les indications restent actuellement limitées. Elle est proposée depuis quelques années pour le traitement des néovaisseaux occultes rétrofovéaux de la DMLA lorsqu'ils sont symptomatiques et associés à des phénomènes exsudatifs.

#### c.4 L'action photochimique

Obtenue avec des durées d'illumination s'étendant d'une dizaine de secondes à une dizaine de minutes avec des irradiances généralement très faibles. La thérapie photodynamique (PDT) utilise l'énergie lumineuse pour activer un photosensibilisant en présence d'oxygène.

#### d. Formule de Munnerlyn :

C'est l'équation qui va permettre de calculer l'épaisseur de cornée exacte à retirer avec le laser excimer en chaque point pour corriger le trouble réfractif. Cette formule simplifiée établit que :  $P = 1/3 \times CO \times (ZO)^2$

- ❖ Où P est la profondeur d'ablation centrale en microns.
- ❖ CO est la correction optique en dioptrie.
- ❖ Et ZO le diamètre de la Zone Optique en millimètres.

La formule de Munnerlyn [47] ne tient pas compte des variations possibles de l'asphéricité cornéenne. Son utilisation permet d'estimer rapidement la profondeur du tissu à ablater et d'en apprécier la variation avec le diamètre de la zone optique (ceci est particulièrement important en LASIK, où il faut préserver une épaisseur suffisante de cornée)

#### **4. LES PROFILS DE PHOTOABLATION CORNEENNE EN CHIRURGIE REFRACTIVE**

Ces dix dernières années, la chirurgie réfractive a connu un essor considérable. Elle ne tend plus seulement à restaurer une bonne acuité visuelle mais vise l'excellence en termes de performance visuelle. Les nouveaux algorithmes de traitement ne sont plus uniquement basés sur l'erreur réfractive sphérocyindrique mais également sur le profil topographique et abérrométrique de chaque patient. On parle de traitements personnalisés ou customisés selon les caractéristiques optiques propres à chaque patient. Les traitements personnalisés devraient occuper une place de choix dans les situations où il existe un risque particulièrement élevé de voir le taux d'aberrations optiques augmenter de manière visuellement significative (dans les cas par exemple de fortes amétropies sphérocyindriques, ou en présence de larges pupilles). En fait, il est légitime de postuler que tous les traitements gagnent à être mieux centrés et alignés sur une zone optique adaptée aux dimensions de la pupille du patient, peu importe le type de correction visé. Les techniques de reconnaissance irienne pourraient gagner à être généralisées aux traitements conventionnels, malgré la problématique du matériel et du coût.

##### **a. Problématique des photoablations cornéennes conventionnelles**

La dégradation de la qualité visuelle rapportée par les patients, tels que halos ou éblouissements, représente la principale plainte fonctionnelle après chirurgie réfractive par photoablation cornéenne. Ces plaintes sont généralement liées à un taux accru de HAO (particulièrement de type sphérique) induites par le traitement. Les profils de photoablation cornéenne ont grandement évolué depuis la formule décrite par Munnerlyn et al. Avec l'intérêt généré par l'aberrométrie et par la meilleure compréhension des phénomènes optiques impliqués dans la dégradation de l'image rétinienne, de nouveaux algorithmes de traitement, incluant la correction des HAO, ont vu le jour.

**b. Caractéristiques techniques des différents profils d'ablation****b.1 Photoablations personnalisées guidées par le front d'onde (Wavefront Guided Treatment : WFG)**

Ce profil d'ablation vise à sculpter la cornée tout en corrigeant les aberrations optiques préexistantes et en tenant de diminuer l'induction d'aberrations optiques supplémentaires. Pour se faire, le laser excimer doit être de petit diamètre et doit être délivré à l'aide d'une technologie de type « flying spot » ou à balayage de façon à pouvoir traiter de fines irrégularités stromales avec une précision de l'ordre du micron. Les systèmes d'asservissement aux poursuites oculaires « eye-tracker » sont des dispositifs indispensables à la réalisation d'un traitement personnalisé, dont le centrage est primordial.

**b.2 Photoablations optimisées ou profils asphériques (Wavefront Optimized : WFO)**

Élaborées en 2004 par Mrochen et al, ce modèle vise à diminuer l'induction d'aberrations sphériques après traitement, mais en préservant les aberrations optiques préexistantes. Cet algorithme tient compte d'un effet optique observé avec le traitement personnalisé guidé, tenu en partie responsable de l'induction d'aberrations sphériques. L'angle d'incidence de ce laser avec la cornée périphérique est à l'origine d'une dispersion de l'énergie du faisceau, entraînant une diminution de la profondeur d'ablation en périphérie cornéenne et par conséquent, une augmentation du taux d'aberrations sphériques par oblatisation (cambrure plus prononcée en périphérie qu'au centre de la cornée).

### **b.3 Photoablations asphériques personnalisées par utilisation d'un facteur Q ajustable "Custom Q"**

L'asphéricité est une caractéristique géométrique d'une surface optique désignant son absence de sphéricité. En se basant donc sur l'idée qu'une asphéricité cornéenne idéale pourrait permettre de meilleures performances visuelles, ce profil d'ablation a été développé de manière à pouvoir induire l'asphéricité désirée en fonction de la valeur Q déterminée en préopératoire (Q est l'un des quatre composants mathématiques de l'asphéricité cornéenne, il est positif pour les surfaces oblates et négatif pour les surfaces prolates). L'idée d'une asphérisation intentionnelle de la surface cornéenne a pour but de contrôler le taux d'aberration sphérique induit par cette même surface.

### **b.4 Photoablations guidées par Topographie Cornéenne**

Autant les analyseurs de front d'onde permettent des mesures très précises lorsqu'il s'agit de yeux présentant un taux faible ou modéré d'AOH, autant il leur est difficile d'analyser des cornées ayant un taux élevé d'HOA (surface cornéenne très irrégulière). Ces limitations de la photoablation guidée par le front d'onde ont conduit au développement de la photoablation topo-guidée qui vise à corriger les aberrations optiques de haut degré d'origine cornéenne, en plus de l'erreur réfractive sphéro-cylindrique. Ces profils sont établis à partir d'un calcul de différence d'élévation entre les irrégularités de la cornée du patient, et une surface idéale dont la courbure est calculée pour être emmétropisante.

### c. Système de poursuite oculaire (eye-tracking)



**Figure 18** : Système de délivrance vu du côté du patient au cours de la chirurgie. **A gauche** : le système Neurotrack / **A droite** : laser délivré.

Le centrage de la correction au laser excimer est un paramètre fondamental pour garantir une correction précise et efficace. C'est un point important quel que soit le type de défaut visuel à corriger. Les lasers modernes sont équipés de systèmes sophistiqués regroupés sous le terme «eye-tracking system», qui vont permettre au système chargé de délivrer les impacts laser de suivre l'œil, même si celui-ci effectue des petits déplacements pendant la chirurgie [48]. Lors de la correction chirurgicale au laser, le chirurgien indique au patient un point de fixation, qui est le plus souvent une mire de couleur verte ou rouge. La coopération du patient est très importante.

L'œil effectue spontanément des petites microsaccades, même quand il fixe un repère immobile. Les systèmes de poursuite oculaire qui équipent les lasers excimers sont munis d'une caméra vidéo à haute fréquence capable de repérer la pupille irienne qui est éclairée par des lampes infrarouges illuminant la surface oculaire sans pour autant éblouir le patient. Si l'œil se déplace pendant le traitement, ou bien qu'il tourne sur son axe (cyclorotation), le laser rectifie en temps réel la position des miroirs qui sont chargés de guider les impacts vers la cornée.

Ceci s'effectue alors que les lasers les plus récents ont une fréquence égale ou supérieure à 500 Hertz soit 500 tirs par seconde.

Ces systèmes de poursuite oculaire sophistiqués peuvent être complétés par des mécanismes permettant de stabiliser l'œil, comme c'est le cas pour le système Neurotrack, qui prévient la survenue d'une cyclorotation par le biais de 4 diodes orangées (laser excimer Wavelight EX500) qui forment un rectangle à grand axe horizontal, au centre duquel se situe la mire à fixer. L'œil du patient tend à s'aligner instinctivement selon le grand axe du rectangle formé par les diodes.

A l'issue de chaque traitement délivré, le laser excimer fournit un relevé spécifique qui comporte un graphique en coordonnées cartésiennes destiné à représenter le déplacement éventuel du centre de la pupille vis à vis de sa position initiale.

## **5. LES ASPECTS CLINIQUES DE LA CHIRURGIE REFRACTIVE**

### **a. Interrogatoire :**

Etape primordiale du bilan préopératoire, l'interrogatoire représente le premier contact du chirurgien avec le patient et permet donc de relever une multitude de paramètres, notamment :

- L'âge
- L'ancienneté du défaut réfractif
- Les antécédents ophtalmologiques (antécédents de phories, de strabisme, de glaucome, d'allergie conjonctivale, de syndrome sec, de chirurgie oculaire, de kératocône... etc.), familiaux et personnels.
- Le port de lunettes et le rythme de changement.
- Le port de lentilles souples ou rigides, et la recherche des signes d'intolérance, l'ancienneté du port

- Les motivations derrière l'intérêt porté à la chirurgie réfractive.
- Les activités et loisirs.

#### **b. Examen de la réfraction :**

L'examen de la réfraction a pour but de déterminer et quantifier l'importance de l'amétropie de l'œil. Il s'effectue par la mesure du pouvoir réfractif oculaire par des méthodes objectives et subjectives, en vue de déterminer l'acuité visuelle avec correction. Il comprend :

- La mesure des anomalies de la réfraction. Il faut distinguer ici entre deux notions: la première étant la réfraction objective –relevée à l'aide du réfractomètre automatique (le patient va fixer une mire dans un oculaire que le médecin déplacera successivement sur chaque œil, un faisceau infrarouge est émis puis recueilli par l'instrument après réflexion sur la rétine)– et qui a pour but de mesurer le pouvoir réfractif indépendamment de la perception du patient. La seconde notion est la réfraction subjective, qui va faire suite à l'examen objectif de la réfraction et qui fait appel aux réponses du patient afin de préciser les données objectives et d'assurer le meilleur confort visuel.
- La mesure de la puissance des verres de lunette portés ainsi que le recueil d'informations en cas d'éventuel port de lentilles de contact. Cette mesure sert également à documenter la stabilité du défaut à corriger (stabilité réfractive : en général, elle est inférieure à 0.5D sur 2 ans) en comparant la réfraction mesurée le jour de la consultation avec celles mentionnées figurant sur d'anciennes ordonnances ou dans le dossier du patient si celui-ci est disponible.

- La mesure de l'acuité visuelle, d'abord sans correction puis avec correction pour chaque œil, monoculaire tout d'abord puis binoculaire. Cet examen s'effectue au travers d'une monture automatisée sur laquelle des verres de correction de puissance variable sont présentés, et avec une projection de lettres sur un écran situé à 5 mètres. La puissance du premier verre testé permet de déterminer la correction dite de la **sphère** – on parlera de myopie si la sphère est négative et d'hypermétropie si celle-ci est positive. La puissance du second verre testé permet quant à elle de déterminer l'intérêt d'une correction d'astigmatisme dite correction du **cylindre**. La correction cylindrique comporte un chiffre (en dioptries) et un axe (en degré). La meilleure acuité visuelle corrigée (MAVC) est celle obtenue avec la correction la plus précise possible. Elle est quantifiée en dixièmes et correspond au pouvoir séparateur de l'œil (capacité de l'œil à percevoir les détails les plus fins). Elle est propre à chaque individu et même à chaque œil. L'acuité visuelle monoculaire est celle d'un seul œil. L'acuité visuelle binoculaire quant à elle est celle des deux yeux ouverts en même temps. Elle est le plus souvent supérieure à l'acuité visuelle monoculaire.
- La cycloplégie reste un acte médical incontournable. Elle permet l'étude objective et subjective de la réfraction et la mise en place de la correction optique totale. Chez le patient jeune, l'accommodation –dont la puissance est considérable– empêche d'évaluer correctement la valeur de l'élément sphérique de la réfraction (la cycloplégie n'apportant pas d'information supplémentaire sur la puissance et l'axe de l'astigmatisme mesuré à l'autoréfractomètre). Bien qu'il n'existe pas de cycloplégique idéal, deux produits répondent de façon optimale s'ils sont bien utilisés : l'atropine et le cyclopentolate (Skiacol<sup>®</sup>). La cycloplégie est indispensable pour connaître la

réfraction objective et subjective d'un patient en minimisant les effets accommodatifs, devant tout trouble oculomoteur ou plainte fonctionnelle de fatigue visuelle. Elle est également indispensable pour prescrire une correction optique totale.

- Le test duochrome, qui est une technique subjective d'appréciation de la réfraction. Ce test permet de vérifier et d'affiner la correction optique. La théorie de ce test est une application de la loi physique en vertu de laquelle la réfraction d'un faisceau lumineux traversant un dioptré varie selon la longueur d'onde de la source lumineuse. La lumière blanche est composée de différentes longueurs d'ondes. Ainsi, les longueurs d'ondes les plus courtes (aux alentours de 400 nm) seront plus freinées au passage d'un milieu réfringent alors que les plus longues (autour de 750 nm) seront moins déviées. Ainsi, chez le sujet emmétrope, le foyer du vert est légèrement en avant de la rétine et le foyer du rouge légèrement en arrière de la rétine. C'est pourquoi un œil myope distinguera mieux un contraste dans le rouge, alors qu'un œil hypermétrope aura un meilleur contraste dans le vert. Ce chromatisme de l'œil humain est utilisé pour vérifier si une correction optique déterminée par le clinicien à l'examen est satisfaisante ou au contraire perfectible.

### **c. Biomicroscopie (Examen à la lampe à fente)**

L'examen au biomicroscope comprend :

- L'œil humain est un organe facilement accessible, mais dont la taille (23 mm de diamètre) rend difficile son étude précise à l'œil nu. D'où l'intérêt du biomicroscope (ou lampe à fente) qui est un instrument grossissant qui permet d'examiner l'œil du patient candidat à la chirurgie réfractive. Cet

examen permet tout d'abord d'examiner les annexes (à savoir les paupières et glandes de Meibomius), d'inspecter la surface oculaire (conjonctive, cornée) ainsi que les structures plus internes de l'œil (cristallin et rétine). Il est effectué afin de dépister d'éventuelles anomalies de la surface oculaire qui pourraient interférer ou compromettre le résultat de l'intervention. La cornée, notamment, se doit d'être indemne de toute anomalie, les kératites en particulier. On recherchera également l'absence de syndrome sec sévère ou compliqué par l'étude de la sécrétion lacrymale de base.

- De même, le cristallin fait l'objet d'un examen attentif, afin de déceler les signes d'une cataracte débutante.
- L'examen du fond d'œil est enfin réalisé par le biais d'une lentille additionnelle spéciale de forte vergence (lentille de VOLK) qui permet la formation d'une image virtuelle inversée de la rétine dans le plan focal du biomicroscope. Cette lentille permet de visualiser la rétine et le nerf optique, et de s'assurer de l'absence de pathologie à leur niveau. Noter que l'existence d'une pathologie rétinienne (rétinopathie diabétique, maculopathie, etc.) ou du nerf optique contre-indique la chirurgie réfractive.
- Enfin, la mesure de la pression intra oculaire (PIO) doit faire partie de l'examen préopératoire. Même s'il est rarement retrouvé dans cette population jeune, un glaucome chronique sous-jacent doit être dépisté, d'autant plus que le sujet est myope. Un glaucome évolué sera obligatoirement une contre-indication. Un glaucome mal équilibré devra être pris en charge correctement. En effet, lors du LASIK, l'hypertonie induite par la succion que ce soit par le microkératome ou par le laser femtoseconde peut entraîner des lésions de la couche des fibres nerveuses

réiniennes et du nerf optique. À ce facteur s'ajoute la corticothérapie postopératoire systématiquement prescrite dans le cadre de la prévention de l'inflammation postopératoire, pouvant induire une hypertonie voire un glaucome. Certaines procédures, le LASIK notamment, induisent une hypertonie peropératoire.

## 6. LES EXPLORATIONS

### a. Topographie cornéenne

#### a.1 Généralités

Lors du traitement chirurgical du défaut optique, la cornée va recevoir le faisceau du laser. Ainsi, lors du bilan initial, il est primordial d'évaluer certaines de ses caractéristiques, comme sa courbure, sa régularité, son épaisseur, et son élévation.

La topographie [49–50] est une méthode précieuse d'examen de la cornée et elle doit être pratiquée chez tout patient demandeur de chirurgie réfractive. Elle permet de recueillir des informations relatives à la courbure ou à l'élévation (relief) de la cornée. Les images recueillies sont analysées de façon automatisée par un logiciel, et des cartes en couleur sont fournies au praticien pour interprétation. Son évaluation en préopératoire, en plus de permettre le choix des modalités techniques de la chirurgie, va rechercher toute anomalie cornéenne contre-indiquant l'intervention [124–132]. En postopératoire, elle permet de visualiser la modification de la forme de la cornée provoquée par la chirurgie et de contrôler sa stabilité.

Le plateau technique du service d'ophtalmologie du CHU Hassan II est équipé de plusieurs topographes cornéens (Orbscan/Pentacam), dont les données complémentaires permettent d'établir une cartographie précise de la cornée de chaque œil.

## a.2 TOPOGRAPHIE PAR REFLEXION SPECULAIRE

Le fonctionnement des topographes cornéens dits spéculaires repose sur la projection d'une mire faite de cercles concentriques noirs et blancs sur la cornée et l'analyse de son reflet. Inventée par l'ophtalmologiste portugais Antonio Placido en 1880, cette mire est aujourd'hui située sur une coupole hémisphérique située à l'avant de l'instrument. Lors de la mesure, celle-ci est éclairée et son image est projetée sur la cornée, alors que le patient en fixe un point situé au centre. Une photographie numérique de l'image du reflet cornéen des mires est ensuite effectuée et l'appareil calcul la courbure en chaque point de la cornée selon la déformation des mires. Plusieurs topographes basés sur ce principe sont disponibles sur le marché, le plus fréquemment utilisé étant le OPD Scan III (NIDEK) qui permet en plus la collecte des données abérrométriques.

## a.3 TOPOGRAPHIE PAR ELEVATION

- Topographie par balayage par fentes lumineuses

Les topographes type ORBSCAN (Bausch and Lomb/Technolas perfect vision) permettent d'étudier les variations de la courbure de la cornée en balayant la surface cornéenne par des fentes lumineuses, ce qui permet de réaliser une reconstruction 3D du volume cornéen. Point particulièrement important, l'Orbscan permet d'étudier les variations du relief cornéen non seulement antérieur mais également postérieur. En ce faisant, il permet indirectement de calculer la pachymétrie point par point en mesurant tout simplement la distance séparant les deux faces antérieure et postérieure de la cornée. L'Orbscan est également muni d'un disque placido qui permet un recueil direct des données de la courbure antérieure de la cornée.

- Topographie par camera rotative scheidpflug

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

l'élévation de la cornée. Ces appareils sont tous munis d'un disque placido, à l'exception du Pentacam. Tout comme avec l'Orbscan, le balayage rotatif par une fente lumineuse permet d'établir des cartes pachymétriques en chaque point et d'étudier les différentes variations de l'épaisseur cornéenne.

#### **a.4 Rendu des cartes de topographie cornéenne**

Les informations recueillies en topographie sont rendues sous formes de multiples cartes colorées [51–54][122]. En général, pour les cartes de courbure, les couleurs chaudes (rouge, orange, etc.) traduisent une courbure élevée, et inversement pour les couleurs froides (bleu, violet, etc).

#### **a.5 Intérêts de la topographie cornéenne**

En chirurgie réfractive, l'étude des cartes de topographie cornéenne, confrontée au degré de correction optique à apporter et au contexte clinique global de chaque patient, permet de valider l'indication opératoire ou au contraire de dépister une éventuelle anomalie cornéenne pouvant constituer une contre-indication à l'opération, comme la présence d'une cornée trop fine et/ou d'une suspicion de kératocône infraclinique.

La topographie de la cornée est particulièrement déterminante dans le choix de la technique chirurgicale [6]. En effet, le dépistage des cornées à risque est primordial pour le LASIK (et la PKR à moindre degré), vu la probabilité chez ces patients de survenue d'ectasie postopératoire malgré le bon déroulement de la chirurgie.

La présence et/ou l'association des signes topographiques suivants doit faire alerter le praticien et lui faire évoquer la possibilité de présence d'une cornée à risque [123][134–135]:

- Asymétrie cornéenne  $> 1.4D$  calculée par l'indice I-S.
- Kératométrie centrale  $> 47D$ .

- Asymétrie de Kératométrie centrale  $> 1D$  entre les deux yeux.
- BFS postérieur  $> 50 \mu\text{m}$ .
- Elévation plus marquée de la face postérieure vis-à-vis de la sphère de référence ( $> 25\mu\text{m}$ ).
- Pachymétrie minimale  $< 500 \mu\text{m}$ .
- Amincissement central accru ( $< 500\mu\text{m}$ ).
- Perte (&/ou réduction) de l'énantiomorphisme entre les deux yeux.
- Différence entre épaisseur centrale et épaisseur périphérique  $> 100\mu\text{m}$ .
- Excentricité (souvent inféro-temporale) des points remarquables (point le plus fin, points les plus élevés antérieur et postérieur)

## **b. Tomographie cornéenne (Pachymétrie)**

### **b.1 Définition**

La tomographie cornéenne est la mesure de l'épaisseur cornéenne en tout point de la surface analysée. Elle est accomplie par des systèmes de balayages ou de tomographie par cohérence partielle.

Avant la généralisation des topographes d'élévation, l'épaisseur de la cornée était anciennement mesurée par une échographie aux ultrasons (pachymétrie ultrasonique), en utilisant une petite sonde qui était apposée sur la cornée après anesthésie locale de celle-ci. Son inconvénient est qu'elle ne fournit que des données locales et est opérateur-dépendante. Elle n'est donc pas aussi intéressante que les techniques tomographiques modernes.

### **b.2 Intérêts**

Les topographes de type ORBSCAN et PENTACAM permettent une lecture continue de l'épaisseur cornéenne et de ses variations, et non simplement d'un ou plusieurs points isolés. Cette lecture continue permet d'un côté de s'assurer que la

zone où se trouve le point plus mince n'est pas manquée, et d'un autre, elle permet d'apprécier les gradients d'épaisseur de la cornée.

La mesure étendue de l'épaisseur cornéenne et de ses variations est primordiale pour la détection des formes frustes infracliniques de kératocône, et joue donc un rôle essentiel dans la prévention de l'ectasie.

Le logiciel de dépistage automatisé SCORE Analyzer comporte deux cartes permettant d'apprécier le profil de l'épaisseur moyenne de la cornée, et la vitesse d'amincissement entre la périphérie et le point le plus fin.

La mesure de l'épaisseur cornéenne peut également être accomplie par tomographie à cohérence optique (OCT). Sa précision reste néanmoins encore moindre que celle de la tomographie optique.

### **c. Aberrométrie**

#### **c.1 Définition**

L'examen abérrométrique, effectué à l'aide d'un aberromètre, renseigne de manière objective sur la qualité optique de l'œil. Son intérêt est double : il permet le recueil et la quantification du front d'onde ainsi que l'étude des aberrations optiques qui le déforment. La mesure d'un taux plus élevé d'aberrations optiques de haut degré peut alerter sur la présence d'une anomalie débutante à type de kératocône infraclinique débutant ou kératocône fruste (qui est défini comme un kératocône infraclinique, avec un examen à la lampe à fente normal, et un œil controlatéral atteint de kératocône avéré).

#### **c.2 Intérêts**

L'examen abérrométrique trouve tout son intérêt dans la détection et la quantification de certains défauts optiques de l'œil. Ces défauts peuvent entacher l'organe de vision même après correction avec des lunettes ou des lentilles de

contact. L'examen abérrométrique permet de corrélérer certains symptômes visuels à une anomalie optique particulière.

### c.3 Indications

L'aberrométrie permet d'explorer l'étape optique de la vision, depuis la pénétration cornéenne des faisceaux lumineux émis par l'objet observé jusqu'à leurs interaction avec les pigments rétinien photosensibles. Les symptômes d'appel (à type de halos, images fantômes, présence de spicules lumineux autour des lumières vives) sont liés à la dégradation de la qualité optique de l'œil corrigé au mieux pour les défauts optiques réfractifs. Leurs causes peuvent émaner de la cornée (chez les patients souffrants de kératocônes ou ayant des antécédents de traumatisme cornéen, de greffe cornéenne ou encore de chirurgie réfractive par kératotomie radiaire...etc.) ou du cristallin (en particulier quand celui-ci s'opacifie, notamment dans les cas de cataracte nucléaire). Dans notre étude l'aberrométrie trouve toute son importance dans le dépistage des aberrations optiques en préopératoire et dans l'affinement de la correction optique appliquée.

La présence et/ou l'association des signes abérrométriques suivants doit faire alerter le praticien et lui faire évoquer la possibilité de présence d'une cornée à risque [133]:

- Présence d'aberrations cornéennes de troisième ordre (type coma, tréfoil) ou d'astigmatisme secondaire.
- Tréfoil cornéen  $>$  à  $0,07 \mu\text{m}$ .
- Coma cornéenne  $>$  à  $0,14 \mu\text{m}$ .
- Astigmatisme secondaire cornéen supérieur à  $0,03\mu\text{m}$ .

Coma totale  $>$  à  $0,12 \mu\text{m}$ .

#### **c.4 Aberrométrie et corrections laser personnalisées**

La réalisation d'un traitement laser photoablatif sur une zone optique décentrée ou de taille trop réduite peut également être à l'origine d'un taux élevé d'aberrations optiques de haut degré (HOA). L'aberromètre permet dès la consultation préopératoire, une mesure précise du diamètre de la pupille irienne ainsi que celle du taux des aberrations optiques de haut degré (HOA) coréennes (AC) et totales (AT). Quand ces aberrations ont un taux supérieur à la normale ( $> 0.5 \mu\text{m}$  pour une pupille de 6mm) ou qu'elles occasionnent chez le patient une gêne importante, un traitement dit customisé (personnalisé) peut alors être proposé. Il permet de traiter tant l'erreur réfractive initiale que les aberrations optiques préexistantes.

La réalisation préalable d'une cartographie de l'iris permettra l'identification du patient ainsi qu'un meilleur alignement lors de l'intervention, pour une précision encore accrue du traitement délivré.

#### **d. Score ANALYZER**

Le logiciel Score Analyzer est un programme informatique conçu par les Dr Damien Gatinel et Alain Saad entre 2009 et 2011 et qui est destiné à fournir une aide à la décision clinique en chirurgie réfractive pour le dépistage précoce des formes débutantes de kératocône infraclinique et la prévention de l'ectasie cornéenne. Il découle des conclusions d'un travail de recherche clinique débuté en 2002, et utilise les données fournies par le topographe Orsbcam Ilz (Bausch & Lomb).

##### **d.1 Présentation**

Le logiciel reprend l'affichage classique dit en « quadmap » (4 cartes) et le complète par de nouveaux indices quantitatifs rassemblés dans des cartes conçues pour une interprétation rapide et aisée.

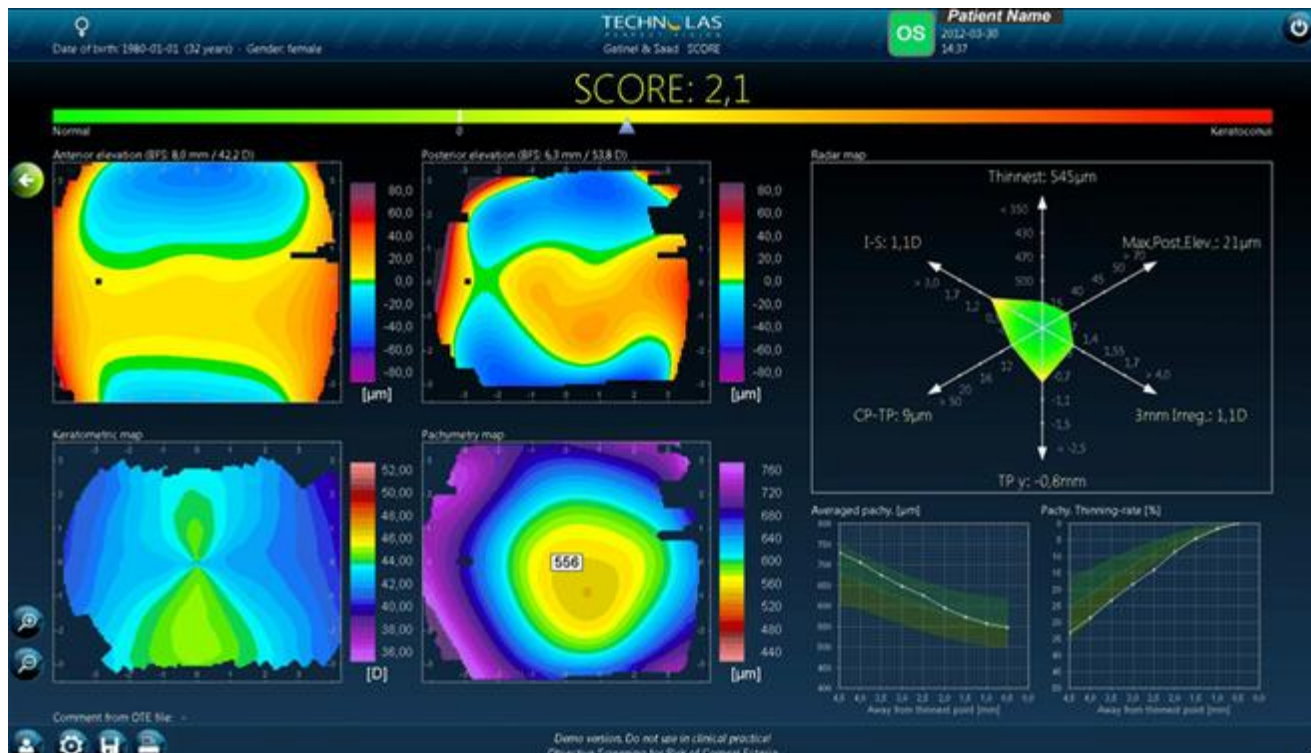


Figure 19 : Interface du logiciel score Analyzer (Gatinel D.)

Le SCORE Analyzer doit être utilisé pour le dépistage précoce des formes infracliniques débutantes de kératocônes chez des sujets : myopes, jamais opérés de chirurgie réfractive, et âgés de moins de 50 ans. Ces caractéristiques découlent de celles des yeux inclus dans le groupe témoin ayant servi à l'élaboration du logiciel.

#### d.2 Valeur du score

La valeur du score correspond au résultat d'une fonction discriminante établie à partir de 12 indices topographiques spéculaires, d'élévation et pachymétriques. La valeur « zéro » est le seuil optimal pour une détection sensible et spécifique.

- Une valeur négative (score < 0) correspond à une cornée jugée comme indemne d'une forme fruste de kératocône.
- Une valeur positive (score > 0) correspond à une cornée jugée comme atteinte d'une forme fruste de kératocône.

## d.3 LA CARTE « RADAR »

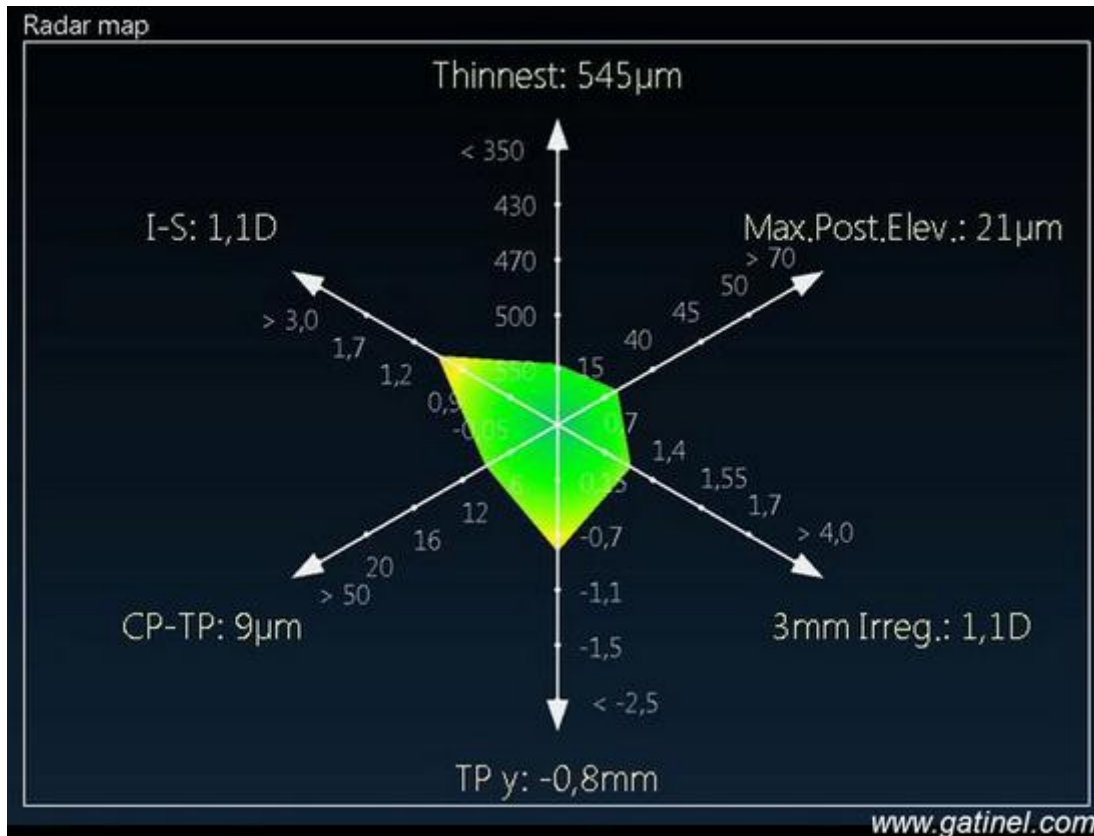


Figure 20 : La carte Radar Du logiciel score Analyzer

Le radar est une carte présentant 6 des indices topographiques les plus discriminants utilisés pour le calcul du score. Les valeurs de chaque indice sont portées sur un demi-axe, et les 6 demi-axes reliés entre eux de manière à ce que les points de coordonnées reliés de chacun des indices forment un polygone. Une échelle de couleur allant du vert au rouge permet une analyse visuelle rapide des résultats. La couleur jaune correspond à la valeur limite (moyenne  $\pm$  deux déviations standards d'une population normale). Les couleurs orange et rouge correspondent à des valeurs anormales.

Les variables utilisées pour la construction du radar sont:

1. **L'épaisseur du point le plus fin** (thinnest point) : en microns, correspond à l'épaisseur minimale de la cornée.
2. **L'élévation maximale postérieure** (Max.Post.Elev) : correspond à la distance maximale (dans les 3mm centraux) entre les données postérieures cornéennes et la sphère de référence postérieure calculée.
3. **L'irrégularité dans les 3mm centraux de la face antérieure** (3mm Irreg) : en dioptries. Elle est proportionnelle à la déviation standard des valeurs prises par la courbure locale de la surface antérieure.
4. **Le décentrement vertical du point le plus fin** (Thinnest Point : TP) en millimètres : correspond au déplacement du point le plus fin vis-à-vis du centre géométrique de la cornée.
5. **La différence entre l'épaisseur centrale moyenne** (zone centrale diamètre 2 mm) **et l'épaisseur la plus fine** (Central Thickness-Thinnest Point).
6. **La valeur de la différence I-S** (I-S) : en Dioptries, correspond à la différence entre les valeurs moyennes kératométriques de 5 points équidistants localisés à 1.5 mm du point le plus fin (TP) au niveau de la surface cornéenne antérieure supérieure (S) et inférieure (I). Elle reflète le degré d'asymétrie verticale de la surface cornéenne antérieure.

#### **d.4 Courbes de pachymétrie : épaisseur moyenne et taux d'amincissement vers le TP (point le plus fin)**

La courbe d'épaisseur moyenne (Averaged Pachymetry) est constituée des valeurs moyennes d'épaisseur de la cornée de la périphérie vers le centre (point le plus fin), selon 9 anneaux concentriques de largeur égale à 0.5 mm, contigus de la périphérie vers le centre de la cornée.

La courbe du taux d'amincissement (Pachymetry Thinning-Rate %) correspond à la vitesse d'amincissement du mur cornéen vers le point le plus fin : chaque valeur est exprimée comme un pourcentage, qui reflète la réduction d'épaisseur entre deux anneaux contigus.

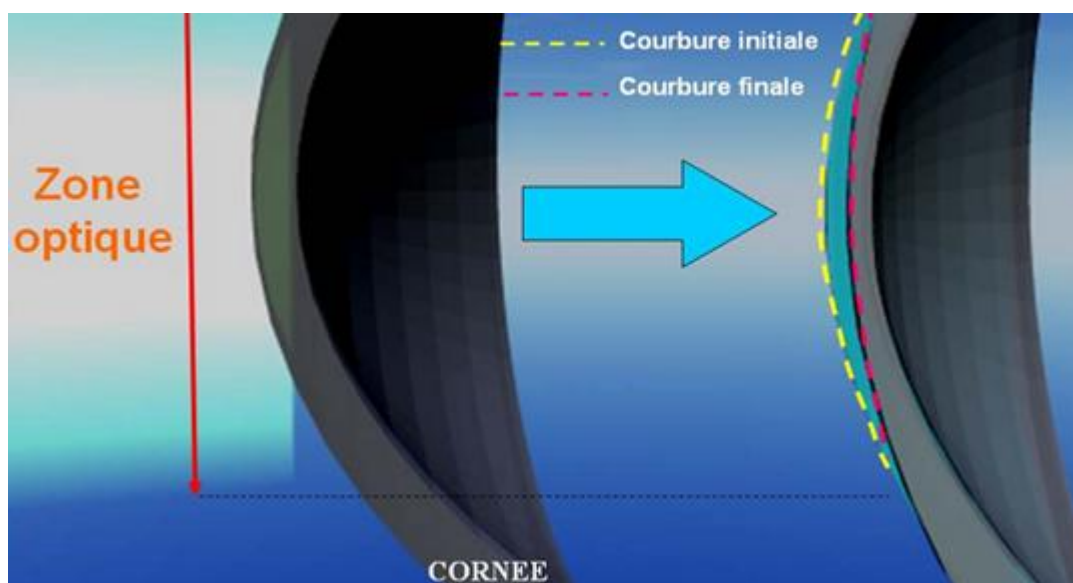
#### d.5 Intérêt du logiciel score

L'intérêt de ce système automatisé est multiple. En combinant un ensemble d'indices discriminants issus de la topographie Placido, d'élévation et d'épaisseur cornéenne en un chiffre unique, ce score permet une évaluation bien plus exhaustive de chaque cornée étudiée.

### 7. LES TECHNIQUES CHIRURGICALES

#### a. Généralités

Quand une correction par laser de l'erreur réfractive est envisagée, le choix de la technique peut être multiple [56] [59–61]]. Les différentes techniques utilisées ont toutefois toutes un point commun : elles visent à modifier la puissance optique de la cornée en changeant sa courbure antérieure de manière à compenser le défaut réfractif à corriger. Ce changement est accompli grâce à un remodelage géométrique effectué grâce au laser excimer.



**Figure 21** : Les modifications de courbure que subit la cornée après chirurgie réfractive (Illustration Gatinel D.)

Selon l'endroit où la sculpture laser est délivrée, on distingue plusieurs techniques de chirurgie réfractive cornéenne au laser:

- Les techniques avec découpe de capot (volet cornéen) à savoir le LASIK.
- Des techniques sans découpe de capot, dites de surface, à savoir la photokératectomie réfractive (PKR) et ses variantes (LASEK et Epi-LASIK)
- SMILE (Small Incision Lenticular Extraction) : chirurgie qui permet de corriger les défauts visuels intégralement avec le laser femtoseconde (sans avoir besoin du laser Excimer) qui va tailler directement au niveau de la cornée un lenticule correspondant au trouble visuel à supprimer. Ce lenticule va ensuite être disséqué puis retiré par une pince à travers une toute petite incision.
- INLAYS : cette technique consiste à mettre en place un implant oculaire intra-cornéen après découpe d'un capot assez épais.
- ICL (pour lentille intraoculaire) : qui est une technique alternative lorsque le recours au laser n'est pas envisageable.
- Etc...

#### **b. Techniques chirurgicales**

Les lasers excimers émettent un rayonnement ultraviolet dont l'effet sur les tissus est une photodécomposition ablatrice réalisant un remodelage très précis du stroma cornéen. La photoablation cornéenne est la phase commune à toutes les chirurgies réfractives ablatives, PKR, LASEK, épiLASIK ou LASIK.

## **b.1 TECHNIQUES DE SURFACE (SANS DECOUPE DE CAPOT)**

### **b.1.1 Photokératectomie réfractive (PKR)**

#### ▪ Généralités

La photokératectomie réfractive (PKR) a longtemps été la technique de référence en raison de sa simplicité et de son efficacité [55]. Rapidement supplantée par le LASIK en raison d'une récupération visuelle légèrement retardée et de présence de douleurs en postopératoire, elle est à nouveau très plébiscitée pour sa sécurité à long terme avec notamment de meilleurs résultats pour ce qui est de l'apparition d'une ectasie cornéenne à distance [62].

L'utilisation ajoutée d'agents pharmacologiques tels que la Mitomycine C (MMC – antinéoplasique antibiotique qui agit comme un agent alkylant par inhibition de la synthèse de l'ADN, de l'ARN cellulaire et des protéines et qui empêche la cicatrisation fibreuse), a permis d'élargir les indications de la PKR en réduisant le phénomène de haze (brume en anglais), qui est un voile sous-épithélial qui apparaît entre un et trois mois après la PKR [63-64], sous forme d'opacité fine, correspondant à la fois à une désorganisation de la matrice extracellulaire ainsi qu'à l'augmentation de corps réfringents dans les kératocytes. Le haze disparaît spontanément en quelques mois. Il peut devenir pathologique et entraîner une altération de la transparence cornéenne, une régression réfractive et une diminution de la meilleure acuité visuelle corrigée (MAVC).

#### ▪ Laser Excimer

Le mot excimer est une contraction du terme « dimère excité ». Le milieu d'excitation des lasers excimer est gazeux et composé de gaz rares (Helium, Argon, Krypton etc.) ou d'halides (Fluorine, Brome, etc.). Ces éléments sont à l'état naturel, peu enclins à s'assembler, sauf sous certaines conditions physiques qui doivent être réunies dans la cavité laser : ils peuvent alors former un dimère excité. A

proprement parler, un dimère est l'assemblage de deux atomes identiques, et on devrait plutôt employer le terme « exiplexe » pour caractériser l'assemblage de deux monomères différents. Le point fort de la technologie excimer réside dans le fait qu'elle permet l'émission d'un rayonnement laser d'onde courte, comprise entre 150 et 200nm, situé dans l'ultraviolet (UV), où les photons sont plus énergétiques ; l'énergie transportée par ces photons est supérieure à l'énergie de cohésion des atomes au sein des molécules. Un photon UV peut ainsi agir de manière ciblée en provoquant la rupture des liaisons intercellulaires et ainsi permettre d'enlever une couche très fine de tissu cornéen à chaque impact. L'énergie délivrée lors de ces impacts doit être reproductible afin que l'ablation tissulaire soit prédictible et qu'il en résulte une surface uniforme. Pour un laser Excimer 193nm, la fluctuation de l'énergie des impacts est de l'ordre de 5 à 10 %. L'utilisation des longueurs d'onde comprises entre 230 et 350 nm est bannie des applications médicales.

La programmation des corrections est de façon schématique, guidée en partie par la loi de Munnerlyn :  $D = (n-1)(1/R2 - 1/R1)$  où :

- D : Effet dioptrique.
- R1 Rayon de courbure initial.
- R1 Rayon de courbure final.

En Photokératectomie réfractive (PKR), la correction est délivrée par le laser excimer à la surface de la cornée après désépithélialisation.



**Figure 22** : Désépithélialisation mécanique avec un petit scarificateur. Elle est débutée en périphérie pour tester l'adhérence.

- Information du patient

Comme pour tout acte chirurgical, l'information au patient doit être intelligible, comparative avec les autres techniques de correction, notamment celles non chirurgicales et aussi complète que possible. En plus des résultats attendus, l'information du patient doit porter sur tous les risques de complications, ainsi que sur l'évolution de la réfraction au fil des années et l'effet de la presbytie sur celle-ci.

- Technique opératoire

Avant l'acte chirurgical, il convient de réaliser un calibrage minutieux du laser selon les instructions de son constructeur. L'opération est réalisée sous anesthésie topique souvent sur les deux yeux lors de la même séance. Les temps opératoires sont les suivants :

- ↳ Anesthésie topique du patient (instillation de deux gouttes de cebesine)
- ↳ Installer le patient et positionner sa tête : pansement sur l'œil adelphe, aseptie des paupières, mise en place des champs opératoires et du blépharostat.
- ↳ Réaliser le centrage en déclenchant l'eye-tracker.
- ↳ Dégager les cils de l'air du traitement.

→ Débrider l'épithélium : il existe trois techniques :

- La désépithélialisation mécanique : avec un scarificateur ou une brosse rotative mécanique. L'épithélium est gratté sur un diamètre choisi en évitant de léser la membrane de Bowman.
- La désépithélialisation à l'alcool : avec un marqueur de diamètre égal à la zone traitée. Une solution alcoolique à 20% est déposée au centre de l'indentateur pendant une durée de 15 à 30 secondes. La solution est alors absorbée avec une mouillette puis quelques mouvements rotatoires sont imprimés à l'indentateur avant de le retirer afin de faciliter la découpe épithéliale. L'épithélium est ensuite retiré à l'aide d'une mouillette.
- La désépithélialisation au laser : le laser photoablate l'épithélium cornéen.

Cette technique reste peu utilisée.

Dans tous les cas, la désépithélialisation doit être rapide afin d'éviter une déshydratation du stroma, source de surcorrection.

→ Absorber l'excès de liquide.

→ Effectuer l'ablation en contrôlant la position de l'eye-tracker (la profondeur de la photoablation ne doit pas dépasser 100  $\mu\text{m}$  pour les ablations de surface en raison du risque de haze)

→ Une lentille thérapeutique est éventuellement mise en place en fin d'intervention.

- Suites opératoires

Les suites opératoires immédiates sont assez douloureuses. Au troisième jour, la cicatrisation prend souvent l'aspect d'une pseudodendrite qu'il faut ne pas confondre avec une dendrite d'origine herpétique. La lentille thérapeutique a un effet antalgique, mais augmente le risque de complications infectieuses et d'infiltrats sous-épithéliaux.

Le traitement postopératoire fait appel à un collyre antibiotique + un collyre à base de corticoïdes (Loteprednol Etabonat Tobramycine : Zylet® 0.5%/0.3%), un collyre cicatrisant, un collyre anti-inflammatoire non stéroïdien (Fluorométholone : Flucon® 0.001) diminuant la réaction inflammatoire et la douleur induite, un collyre pour lavage oculaire et éventuellement un antalgique par voie systémique.

- Complications précoces

- ↳ Douleur : 10% des patients se plaignent d'une douleur qui disparaît dans les premières 12 à 36 heures. Elle est atténuée par la prise d'antalgiques de palier 1.
- ↳ Les infiltrats sous-épithéliaux stériles : apparaissent rapidement après l'intervention (48 heures) souvent en périphérie sans inflammation associée et sont corrélés à l'association d'AINS et de lentilles de contact. Ils régressent rapidement sous corticoïdes locaux.
- ↳ Kératites infectieuses : Exceptionnelles (0.1 à 0.2%), elles se présentent sous forme d'abcès de cornée associant une réaction inflammatoire (incriminant souvent une bactérie à Gram positif) et pouvant se compliquer secondairement d'un haze dense.
- ↳ Réactivation d'un herpès cornéen : la PKR (comme le LASIK) présente le risque d'une réactivation herpétique. Un antécédent d'herpès oculaire reste une contre-indication relative à la chirurgie réfractive. Cette réactivation peut également être favorisée par le traumatisme chirurgical, l'exposition aux rayons UV et la prise d'une corticothérapie locale.
- ↳ Retard de cicatrisation épithéliale : au-delà de 3 à 4 jours, il témoigne d'une sécheresse oculaire sous-jacente. Doit également faire rechercher une automédication par des anesthésiques. En l'absence de surinfection, il ne nécessite qu'une surveillance hebdomadaire.

- Halos, éblouissements : fréquents dans les 4 à 6 semaines suivants la PKR, après la cicatrisation complète de l'épithélium. Ils apparaissent en conditions scotopiques lorsque la pupille est dilatée.
- Ilots centraux : exceptionnels. Ils se traduisent par des zones d'élévation centrales ou paracentrales d'au moins 1D, d'un diamètre d'au moins 01 mm et mesurés au moins 01 mois après la photoablation. Ils sont confirmés et mesurés par la topographie.
- Décentrement : > 01 mm. Peut entraîner une diminution de la MAVC, une diplopie monoculaire, des éblouissements ou des images fantômes. Il peut également induire un astigmatisme cornéen. Il faut impérativement le prévenir en préopératoire par un bon centrage de l'eye-tracker.
- Érosions cornéennes récidivantes : peuvent se manifester par des kératalgies, un larmoiement et une photophobie le matin au réveil. Ces symptômes peuvent durer de quelques minutes à plusieurs heures. L'érosion a tendance à apparaître en périphérie de la zone de photoablation lorsque la zone désépithélialisée est plus grande que la zone traitée par laser.
- Complications tardives :
  - Haze diffus : le haze physiologique est un voile sous-épithélial visible à partir du premier mois sous forme d'opacités sous-épithéliales fines, réticulées, sans retentissement visuel, correspondant à une activation et migration des kératocytes et du collagène nouvellement synthétisés, et disparaissant spontanément en 6 à 12 mois. Il peut devenir pathologique avec altération de la transparence cornéenne, régression réfractive et diminution de la meilleure acuité visuelle corrigée (MAVC). Les facteurs étiologiques principaux sont la profondeur de la photoablation (qui ne doit

pas dépasser 100µm), l'homogénéité du faisceau laser, la sécheresse cornéenne durant ou après le traitement photoablatif, et l'exposition solaire dans les mois suivant l'intervention chirurgicale. La fréquence de survenue du haze est exponentiellement reliée au degré de la myopie et à la présence d'aberrations de haut ordre (HOA). C'est en prévention du haze que dans notre étude, nous utilisons la MMC en application topique chez les patients avec une myopie  $> -3D$ .

**Tableau 5 : Grading et description clinique du haze cornéen [59]**

Grade du Haze	Description Clinique
0	Cornée parfaitement transparente, pas de haze
0.5 +	Trace de Haze à peine détectable
1+	Haze faible n'affectant pas la réfraction
1,5+	Haze affectant très légèrement la réfraction
2+	Haze modéré affectant la réfraction
3+	Opacité rendant impossible la réfraction, chambre antérieure accessible au biomicroscope
4+	Examen de la chambre antérieure difficile
5+	Examen de la chambre antérieure impossible au biomicroscope

→ Complications réfractives : Sous correction/régression ou au contraire, une surcorrection.

▪ Résultats

Après PKR, la récupération visuelle n'est pas immédiate.

→ MYOPIE

- Pour des myopies  $< -3D$ , la probabilité d'emmétropisation à 1D est comprise entre 91 et 97,6 %.
- Pour des myopies  $< -6D$ , les études montrent un pourcentage d'emmétropisation à  $\pm 0,5 D$  compris entre 53 % et 84%.

Une des limites de la correction des myopies moyennes à fortes, est l'incidence du haze postopératoire. Celui-ci, quasi constant à 1 mois, disparaît le plus souvent entre 2 et 3 mois. Il peut persister secondairement 1 an, voire plus, pour les corrections importantes.

→ HYPERMETROPIE

La PKR hypermétropique est efficace pour des corrections inférieures à +3D.

La stabilisation est plus tardive que dans les corrections myopiques ; environ 6 à 9 mois après la chirurgie.

▪ PKR et Mitomycine C

La mitomycine C (MMC) est appliquée après photoablation, sur une éponge imbibée d'un diamètre inférieur à la surface désépithélialisée. Sa durée d'application varie de 12 secondes à 2 minutes suite à quoi, elle est rincée abondamment.

De nombreuses études ont prouvé l'efficacité de la mitomycine C sur la prévention du haze lorsqu'elle est utilisée au cours d'une PKR de première intention, surtout lors de corrections importantes. Une récente revue de la littérature réalisée par Chen en 2011 [138] a permis d'analyser différentes études comparant deux groupes de myopie opérés par PKR avec et sans application de mitomycine en fin d'intervention. Les résultats montrent une différence significative dans la réduction du haze et une légère surcorrection dans les groupes traités avec mitomycine par rapport aux groupes contrôles.

**b.1.2 LASEK**

- **Définition** : technique dérivée de la PKR dont il partage les temps principaux [65], à la différence que l'épithélium préalablement pelé manuellement après application d'alcool dilué, est repositionné à la surface de la cornée après délivrance du faisceau laser.

- **Technique et principe** : Cette variante de la PKR a été proposée il y a une dizaine d'années pour réduire la douleur et l'inflammation transitoire observée après les techniques de contact comme la PKR. L'idée était de permettre une cicatrisation plus rapide, les cellules épithéliales réappliquées recouvrant immédiatement la zone ayant reçu le laser. Du LASEK était également attendu une réduction du risque du haze. Les études cliniques bien conduites n'ont pas confirmé ce bénéfice.
- **Résultats** : Le bénéfice induit par le repositionnement du feuillet épithélial n'est pas clairement démontré. Le LASEK est aujourd'hui une technique délaissée au profit de la PKR.

### b.1.3 EPI-LASIK

- **Définition** : technique de chirurgie réfractive cornéenne de surface, où le pelage épithélial est effectué de manière mécanique avec un épikératome. Après photoablation, l'épithélium est conservé et repositionné sur le stroma cornéen.
- **Principe et technique** : Malgré son appellation où figure le terme «LASIK», cette technique s'apparente aux techniques de surface comme le LASEK. L'épi-LASIK vise à augmenter l'efficacité obtenue avec le LASEK, le pelage épithélial n'étant plus manuel mais automatisé. Pour se faire, le chirurgien doit utiliser un épikératome, microkératome mécanique classique où la lame métallique est remplacée par un séparateur en plastique. Après délivrance de la correction au laser excimer sur la surface stromale, le feuillet épithélial est remis en place et maintenu par une lentille de contact.
- **Résultats** : comme pour le LASEK, l'intérêt de la réapplication de l'épithélium sur le stroma cornéen juste après la réalisation de la photoablation n'est pas clairement démontré. Les douleurs ne sont pas

moindres, et le taux de haze semble équivalent. L'épithélium réapposé n'adhère pas sur la cornée, il s'atrophie et gêne la repousse du néo-épithélium. L'épi-LASIK est aujourd'hui peu pratiqué, beaucoup de chirurgiens ayant opté pour un retour vers la PKR classique. Il n'empêche que les indications de l'épi-LASIK sont exactement superposables à celles de la PKR, bien que ses résultats dans la littérature, restent moins bons.

## **b.2 TECHNIQUES AVEC DECOUPE DE CAPOT (VOLET CORNEEN) : LASIK**

### **b.2.1 Généralités**

Le LAser in Situ Kératomileusis (LASIK) est la chirurgie réfractive cornéenne la plus réalisée au monde et couvre plus de 90 % des indications de chirurgies des amétropies. Apparue en 1989, cette technique associe la découpe et le soulèvement d'un volet cornéen superficiel au laser femtoseconde, à une sculpture intrastromale au laser excimer [58]. Certains chirurgiens, qui n'ont pas accès à la technologie femtoseconde, utilisent également un instrument qui permet de découper le capot sans laser. Cet instrument appelé microkératome mécanique a toutefois un degré de précision moindre qu'avec le laser femtoseconde.

La sélection des indications doit s'appuyer sur un interrogatoire et un examen tous deux soigneusement menés. La pratique du LASIK implique une bonne connaissance de l'instrumentation, dont les paramètres seront modifiés en fonction des données préopératoires.

### **b.2.2 Evolution des techniques du LASIK**

Le LASIK est le résultat de moult tâtonnements antérieurs. Toutes les techniques qui l'ont précédé reposent toutefois sur le principe du kératomileusis (sculpture de la cornée) précédée par la réalisation d'une découpe lamellaire plane de la cornée. Certaines réalisent une sculpture réfractive dans l'épaisseur du capot,

d'autres (préfigurant le LASIK) sous le capot cornéen superficiel. Voici les principales techniques qui peuvent être considérées comme les ancêtres du LASIK :

- **Kératomileusis avec congélation et usinage sur cryotour** : cette technique consiste en une découpe réfractive sur la face postérieure (profonde) du capot. Pour se faire, José Barraquer a imaginé l'usinage capot rigidifié par congélation. Le capot était détaché de la cornée, et usiné sur un tour à lentilles de contact modifié: le cryotour. Une fois sculptée sur le cryotour, le capot était décongelé puis replacé en position initiale et maintenu par une suture au monofil chirurgical. Cette technique a été pratiquée entre 1975 et 1985 avant de tomber en désuétude (difficulté de réalisation et résultats fonctionnels peu prévisibles). Ces travaux ont néanmoins prouvé que la chirurgie cornéenne avec découpe de capot était une technique prometteuse.
- **Kératomileusis sans congélation avec résection au microkératome sur la face stromale** : Krumeich et Swinger ont mis au point en 1984 la technique de kératomileusis sans congélation; technique qui reprenait celle de Barraquer, en remplaçant le cryotour par un établi (le BKS 1000 du nom de ses inventeurs). Une lamelle superficielle de cornée était tout d'abord découpée, suivie par la découpe réfractive au microkératome sur la face postérieure de la lamelle primaire, grâce au BKS 1000. La lamelle cornéenne était maintenue sur un moule grâce à un système d'aspiration. Malgré une amélioration sensible des résultats fonctionnels cette technique a souffert des mêmes travers que le kératomileusis avec congélation, à savoir une précision réfractive insuffisante.

- **Kératomileusis in-situ avec résection au microkératome dans le stroma cornéen postérieur** : En 1986, Luis Antonio Ruiz a proposé une technique de kératomileusis in-situ pour la myopie. Après découpe du capot, une découpe réfractive était réalisée au microkératome dans le lit stromal postérieur. Les résultats fonctionnels de cette technique étaient décevants en raison d'une zone optique trop petite et souvent décentrée. Ruiz a ensuite fait évoluer sa technique en proposant en 1991 le kératomileusis in-situ automatisé (ou ALK pour **A**utomated **L**amellar **K**eratoplasty), en rendant le mouvement du microkératome mécanisé, ce qui a permis de réaliser une découpe réfractive parfaitement centrée sur la découpe primaire. Pour simplifier encore plus sa technique, Ruiz a proposé de laisser une charnière périphérique sur le volet de la découpe primaire, pour faciliter son bon positionnement et éviter d'avoir à réaliser des sutures. Et c'est cette dernière technique qui préfigure le LASIK moderne. Ne lui manquait que la précision offerte par la photoablation au laser excimer, précision qui fait du LASIK et de la PKR les deux techniques chirurgicales les plus précises au monde. Les lasers femtoseconde et excimer de dernière génération sont aujourd'hui rassemblés au sein d'une même plateforme, ce qui permet d'ajuster les dimensions précises du capot cornéen au profil d'ablation délivré.

### **b.2.3 Laser Excimer**

Le laser excimer, comme précédemment mentionné, permet de modifier l'épaisseur et la courbure de la cornée. Après soulèvement du capot, le faisceau du laser excimer, piloté par un ordinateur couplé au système de délivrance, va être projeté sur la surface cornéenne dénudée pour sculpter le tissu cornéen en profondeur, au sein du stroma cornéen. Le laser excimer est le laser le plus fin pour

la chirurgie cornéenne: un impact possède une précision de l'ordre de 0.25 microns (soit 0.00025 mm).

#### **b.2.4 Microkératome**

Le microkératome permet de découper une lentille superficielle du stroma cornéen avec une lame oscillante (entre 8000 et 20 000 tours/mn) actionnée par un moteur électrique ou une turbine à gaz. La translation du microkératome est guidée par les rails de l'anneau de succion et peut être motorisée ou manuelle, sur un mode linéaire ou circulaire. L'anneau de succion assure la mise en tension du globe, dont la pression intraoculaire (PIO) monte à plus de 60mmHg et sert de guide au microkératome en maintenant l'œil immobile. L'étanchéité doit être parfaite pour éviter toute perte de succion au cours de la découpe, source de complications (à type de boutonnière de volet, volet libre...etc.). La survenue de complications et l'apparition des lasers femtosecondes ont abouti progressivement à l'abandon des microkératome. Actuellement, la plupart des centres de chirurgie réfractive ont délaissé le microkératome pour n'utiliser que le laser femtoseconde.

#### **b.2.5 Laser Femtoseconde**

Une femtoseconde correspond à 0.000000000000001 soit  $10^{-15}$  secondes, c'est-à-dire un millionième de milliardième de seconde. Le laser femtoseconde [39-40], de par son appellation, est un laser qui délivre des impulsions ultra-brèves, de l'ordre de quelques centaines de femtosecondes pour les applications médicales. Les lasers femtoseconde créent une photodisruption par cavitation avec une fréquence de pulse ultracourte. Les minispots, d'espacement variable, se rejoignent au sein du stroma cornéen et créent une incision linéaire sans effet thermique ni onde de choc [45]. Il n'y a aucune ablation de tissu mais des microdissections intralamellaires par la création et l'expansion de bulles de cavitation qui séparent les lamelles de stroma cornéen, qui se prêtent bien à ce clivage gazeux. Les lasers

femtoseconde permettent donc d'obtenir des découpes cornéennes très précises sans effet délétère pour le stroma avoisinant. En chirurgie ophtalmique, de nombreuses publications attestent de l'avantage procuré par les lasers femtoseconde, dont voici les principaux :

- Faible dépendance de la découpe vis-à-vis des caractéristiques kératométriques et biomécaniques de la cornée.
- Meilleure prédictibilité de la profondeur de découpe : l'épaisseur obtenue est proche de l'épaisseur programmée.
- Meilleure homogénéité des découpes avec possibilité de personnaliser le tracé des découpes : le diamètre des capots peut être choisi avec une précision de 0.1 mm. Le périmètre ainsi que l'angulation des bords du capot peuvent également être ajustés.
- Possibilité de recentrer le tracé du volet cornéen [46] sur le centre de la pupille, ce qui permet d'optimiser les dimensions du lit stromal offert à la sculpture réalisée par le laser excimer, et se traduit par une meilleure qualité optique en post opératoire.
- La découpe se fait sans effets thermiques, donc sans brûlure, en raison de la durée extrêmement brève des impulsions femtosecondes.

Les inconvénients de la technologie femtosecondes sont liés à :

- Son coût : les procédures de LASIK femtoseconde sont plus chères que les procédures de LASIK mécanique.
- L'apparition de bulles blanches opaques pendant la découpe, liée à l'accumulation de produits de dégazage des impacts laser dans le stroma cornéen.

→ Le rainbow glare : effet indésirable le plus souvent transitoire et très rare qui se caractérise par la perception de halos colorés autour des sources de lumière blanche.

### **b.2.6 Etapes de l'acte chirurgical**

- Les vérifications du laser

Pratiquées avant l'entrée du patient au bloc.

- Préparation du patient

Après le bon positionnement horizontal de la tête du patient, et l'administration d'une anesthésie topique, une aseptie par Bétadine diluée à 5 %, permet la désinfection des paupières et des culs-de-sac conjonctivaux et est suivie d'un rinçage doux au sérum physiologique. Un champ opératoire est mis en place et le blépharostat permet de dégager les cils de l'aire du traitement et d'ouvrir largement la fente palpébrale. L'eye-tracker peut être mis en route à ce moment-là.

- Découpe intrastromale au microkératome ou au laser Femtoseconde

Une fois la succion obtenue (vérifiée par l'apparition d'une bonne mydriase), la découpe du volet cornéen est effectuée. Le volet peut être réalisé à des profondeurs allant d'une découpe ultrafine de 90 à 100  $\mu\text{m}$ , en moyenne. Son diamètre est déterminé préalablement en fonction du diamètre cornéen et de l'amétropie à traiter. Après la découpe, le capot est soulevé délicatement avec une canule en dégageant la charnière et en évitant le contact avec la conjonctive.

- Photoablation au laser Excimer

Le LASIK permet de réaliser le remodelage de la cornée « in situ ». Ce temps opératoire conditionne le résultat optique. Toute chirurgie réfractive doit respecter une épaisseur résiduelle minimale centrale, égale à environ la moitié de l'épaisseur de la cornée, soit 300 $\mu\text{m}$  environ. Le pourcentage de tissu ablaté doit rester

inférieur à 30–40% de l'épaisseur cornéenne totale. Les profils d'ablation varient selon l'amétropie :

- Réduction de la courbure antérieure de la cornée pour un myope, transformant une cornée initialement prolate en une cornée oblate.
- Augmentation de la courbure chez un hypermétrope, rendant la cornée plus prolate qu'initialement.

A noter que le traitement photoablatif peut être conventionnel ou personnalisé (customisé). Le système de détection automatisé et de compensation des mouvements oculaires (eye-tracker) permet d'assurer un bon centrage du traitement, même si l'œil présente des microsaccades pendant la délivrance du laser. La reconnaissance irienne quant à elle, permet de réduire le risque de «cyclotorsion» (désaxage).

- Repositionnement du volet sur le tissu cornéen remodelé

Après la sculpture réfractive au laser excimer, l'interface est lavée puis le capot stromal est repositionné. Le blépharostat est maintenu volontairement 1 à 2 minutes : en effet, le capot adhère rapidement grâce à un gradient de pression osmotique au sein du tissu cornéen. On vérifie le bon positionnement du lenticule après quelques clignements des paupières. La couche épithéliale du patient n'est pas altérée, ce qui explique la rapidité de la récupération visuelle et l'absence de douleurs per- et postopératoires.

- Traitement postopératoire

Le patient sort du bloc opératoire soit avec une paire de lunettes protectrice soit avec des coques transparentes qu'il mettra pendant quelques nuits pour éviter tout frottement oculaire involontaire. Un traitement lubrifiant est prescrit sur plusieurs mois afin de protéger l'épithélium d'un syndrome sec, associé à une corticothérapie locale de 2 à 3 semaines prévenant toute réaction inflammatoire.

### b.2.7 Résultats

Les résultats du Lasik sont en constante évolution. Il n'existe pas de consensus, les résultats variant, en fonction des lasers utilisés, de la technique et des indications. De plus, la multiplicité des critères utilisés complique les analyses et les comparaisons.

#### → MYOPIE

La plupart des études retrouvent entre 80 et 95 % d'emmétropes à + 1D à 6 mois pour les myopies faibles à moyennes. Pour les myopies fortes, les résultats varient en fonction du degré des myopies inclus. Pour des chiffres allant de - 6 à - 12D, le pourcentage de yeux emmétropes à + 1D se situe entre 50 et 70 % avec des extrêmes de 40 à 80 % selon les séries. La prédictibilité diminue de façon certaine avec l'importance de la myopie.

#### → HYPERMETROPIE

Le Lasik hypermétropique a bénéficié des microkératomes récents permettant des découpes larges et ainsi de grandes zones optiques, gage de stabilité et de prédictibilité. Là encore, les résultats des différentes séries sont difficilement comparables en raison de l'hétérogénéité des groupes.

La prédictibilité dans les hypermétropies faibles (jusqu'à +3D) est de 90 à 93% de yeux emmétropes à 1D près. Entre + 3 et + 5D, la prédictibilité est d'environ 80%. Elle est de 38 % de + 5 à + 9,5D.

La prédictibilité et la stabilité du traitement de l'hypermétropie semblent inversement proportionnelles à la kératométrie (moins bonnes si  $> 45D$ ), à la valeur de l'hypermétropie et directement proportionnelles au diamètre de la zone optique. L'épaisseur du capot et sa taille semblent également jouer un rôle dans la stabilité des résultats.

Le Lasik permet de corriger efficacement des hypermétropies plus fortes, bien plus que la PKR. Il apparaît comme une technique efficace et sûre jusqu'à environ +4D.

### **b.2.8 Complications du traitement par LASIK**

#### ▪ Complications peropératoires

↳ Complications liées à la découpe :

- Découpe cornéenne transfixiante : par profondeur de découpe incontrôlée avec section éventuelle de l'iris, du cristallin, avec issue de vitré dans certains cas plus graves. Ce type de complications a disparu du fait de la simplification du montage des microkérateurs de dernières générations.
- Blocage avec découpe incomplète : l'une des complications les plus fréquentes. Sa bonne prévention en préopératoire passe par une vérification du bon fonctionnement du microkérateurs.
- Capot libre : la survenue de cette complication peut être favorisée par une kératométrie plate (< 41 D) ou un dysfonctionnement du microkérateurs. Le capot peut être repositionné en fin d'intervention, une fois l'ablation excimer terminée. Cette complication, quand elle est bien gérée peut ne pas avoir de conséquences réfractives.
- Boutonnière (button hole flap) et capot de faible épaisseur [57] : la survenue de cette complication peut être favorisée par une kératométrie > 46 D ou un dysfonctionnement du microkérateurs. Le traitement laser ne peut être appliqué que si le capot est complet et suffisamment régulier pour obtenir une bonne adhérence post-opératoire.
- Saignement limbique : se voit dans les découpes de grand diamètre. Les porteurs de lentilles sont plus exposés à cette complication en raison de la néovascularisation cornéenne.

- Décollements épithéliaux : leur survenue augmente le risque de kératite interstitielle et d'invasion épithéliale.
- ↳ Complications liées à l'ablation : il s'agit avant tout du décentrement et des îlots centraux.
- Complications postopératoires
- ↳ Complications infectieuses : rares mais redoutées. La plus fréquente étant la kératite interstitielle infectieuse.
- ↳ Déplacement du capot : précoce (dans les 24 premières heures) ou tardif (peut se voir plusieurs mois après la chirurgie). Le repositionnement du capot doit se faire le plus vite possible afin d'éviter la survenue d'invasion épithéliale ou de kératite interstitielle.
- ↳ Plis du capot : il peut s'agir de micro ou de macro-plis. Ils imposent un repositionnement du capot.
- ↳ Invasion épithéliale : complication potentiellement grave.
- ↳ Kératite interstitielle diffuse (KID) (ou sand of the Sahara ou encore SOS syndrome) est une inflammation stérile de l'interface, relativement fréquente et qui peut survenir dans les 2 à 3 jours du post-opératoire. Son étiologie reste discutée.
- ↳ Kératite ponctuée superficielle : complication en rapport avec le syndrome sec post-opératoire qui résulte de la section des nerfs cornéens, qu'il soit ou pas associé à un syndrome sec préexistant.
- ↳ Complications rétiniennes : controversées. Il peut s'agir d'un décollement de la rétine, de membranes néovasculaires, ou d'hémorragies sous-maculaires.
- ↳ Aberrations optiques : restent l'un des problèmes les plus fréquemment rencontrés. Elles sont dues soit à des zones optiques trop étroites, soit à

des décentrements lors de l'application du traitement ou encore à la survenue de plis du capot en postopératoire. Leurs manifestations cliniques peuvent comporter des éblouissements, des images fantômes, des diplopies monoculaires, des halos... etc.

→ Ectasie cornéenne : la plupart des cas d'ectasie post-LASIK surviennent sur des kératocônes frustes ou débutants passés inaperçus ou dans le traitement des myopies  $> -15D$ . La bonne prévention de cette complication implique une bonne présélection des patients à opérer, à savoir une pachymétrie minimale de  $500\ \mu m$ , avec bien évidemment une cornée libre (à la topographie cornéenne) de toutes caractéristiques évocatrices de kératocône.

### c. Choix de la technique chirurgicale

Le choix entre ces différentes techniques concerne essentiellement la correction de la myopie. Le choix du site et de la technique se fait généralement sur la base de nombreux paramètres : l'âge, le type et degré du trouble réfractif, l'épaisseur de la cornée, l'association à une cataracte, les caractéristiques topographiques cornéennes... etc. Chez les patients hypermétropes, la cornée est généralement plus épaisse et résistante que chez les myopes, la correction par LASIK s'impose donc comme technique de choix. A noter également le risque accru de régression en cas de traitement par PKR chez les hypermétropes.

### d. Indications et contre-indications

Le médecin doit évaluer de nombreux facteurs pour déterminer l'éligibilité d'un candidat à la chirurgie réfractive. Les points les plus importants étant:

- Age  $> 18$  ans
- Stabilité du trouble réfractif (variation  $< 0.5D$  sur 2 ans).
- En cas de myopie, celle-ci doit être inférieure à  $10D$

- En cas d'hypermétropie, celle-ci doit être inférieure à 6D
- En cas d'astigmatisme, celui-ci doit être inférieur à 4D
- Diverses situations oculaires (monophtalmie, phorie-tropie, nystagmus, amblyopie, syndrome sec, kératocône fruste ou avéré, cicatrice cornéenne, antécédents d'herpès oculaire ou d'uvéite, cataracte, glaucome, décollement de rétine, rétinopathie diabétique, maculopathies...) ou générales (Maladies de système, SIDA, grossesse et allaitement) constituent une contre-indication au procédé car elles risquent d'accroître les risques de complications.

Le LASIK présente l'avantage d'une récupération visuelle rapide et d'un confort opératoire supérieur à celui des techniques de surfaces. Pour être réalisable, il faut que la cornée soit suffisamment épaisse et soit libre de déformations asymétriques significatives. Quand le LASIK n'est pas indiqué pour ces raisons, il est en général possible de proposer une technique de surface. Les techniques de laser de surface exposent moins au risque de sécheresse oculaire que le LASIK. En cas de pathologie cornéenne avérée comme une kératite active (ulcère de cornée, érosion profonde) ou un kératocône suspect, la réalisation d'une chirurgie réfractive au laser est généralement contre-indiquée.

## **C. QUALITE DE VIE EN OPHTALMOLOGIE**

### **1. Généralités**

La fonction visuelle est une composante essentielle de la vie de tous les jours du fait de sa relation étroite avec la qualité de vie. Ce qui fait de son évaluation une étape importante pour la bonne appréhension du confort visuel ressenti par les patients. Au-delà de la mesure de l'acuité visuelle standard, de nombreux paramètres vont permettre l'évaluation visuelle, notamment la vision des couleurs, la vision des contrastes, le champ visuel, la vision en conditions méso/scotopiques, la résistance à l'éblouissement... tous des caractéristiques qui doivent être pris en considération lors de l'évaluation de la qualité de vie, bien que ne reflétant pas entièrement le degré d'handicap visuel expérimenté par le patient lors des différentes activités de la vie quotidienne.

L'évaluation de la qualité de vie au travers des questionnaires personnalisés et validé sur le plan psychométrique, permet donc une meilleure appréciation de tous les facteurs suscités [67-70].

### **2. Qualité de vie en Ophtalmologie**

#### **a. Indicateurs utilisables dans la qualité de vie en ophtalmologie**

L'élaboration et la validation de questionnaires spécialisés permettent de mesurer l'état de santé tel que perçu par le patient. Ils font généralement appel à des indicateurs de qualité de vie liés à la santé, développés soit dans une population générale (mesures génériques), soit dans un échantillon souffrant d'une pathologie spécifique (mesures spécifiques). Les outils génériques étant peu spécifiques (et donc peu adéquats à la pathologie oculaire) ont conduit au développement de questionnaires de qualité de vie en ophtalmologie.

### **b. Déroulement d'une étude de qualité de vie**

Une fois le questionnaire développé et validé sur le plan psychométrique, il peut être administré à des patients dans le cadre d'une étude de qualité de vie selon plusieurs modalités. Il peut être autoadministré lorsque le patient répond seul aux questions posées, sans intervention extérieure. Différents moyens peuvent être proposés pour recueillir les réponses :

- Par formulaire : qui peut être adressé par voie postale, ou encore par médias électroniques, dont Internet qui commence à être utilisé dans le cadre d'études de qualité de vie.
- Par enquêteur : celui-ci pose les questions au patient et prend note ou enregistre ses réponses. Un des avantages de cette méthode de recueil des données, est qu'on peut penser que la fiabilité des réponses est meilleure qu'avec les questionnaires auto-administrés. Toutefois, l'inconvénient de ce mode d'administration est sa relative lourdeur de mise en œuvre, nécessitant un investissement en temps et en personnel conséquent.

Une fois les données recueillies, elles sont exploitées statistiquement afin d'établir les différents scores, qui peuvent être confrontées à des données cliniques objectives ou démographiques (telles l'âge, le sexe, le niveau d'études). Pour mettre en évidence d'éventuelles relations statistiques entre scores de qualité de vie et les autres données d'étude, les tests statistiques les plus utilisés sont le coefficient de corrélation de Pearson, et celui de Spearman.

### **c. Echelles de qualité de vie en ophtalmologie :**

En ophtalmologie, différentes échelles de qualité de vie ont été proposées, validées et utilisées. Certaines des dimensions explorées par ces questionnaires sont particulières aux symptômes fonctionnels oculaires, tandis que d'autres explorent leur retentissement physique, psychologique et social.

### **c.1 Échelles génériques : permettent d'explorer les conséquences des altérations visuelles liées aux pathologies oculaire**

- **Le National Eye Institute Visual Function Questionnaire-51 (NEI-VFQ-51)** qui mesure la qualité de vie des patients atteints de pathologies oculaires chroniques [71], telles que la cataracte, le glaucome, les dégénérescences maculaires liées à l'âge, la rétinopathie diabétique.
- **Le National Eye Institute Visual Function Questionnaire-25 (NEI-VFQ-25)** qui peut s'appliquer dans le cadre du glaucome, cataracte congénitale...
- **Le Visual Function Index-14 (VF-14)** : utilisé pour les maladies rétinienne [72], les candidats à la greffe de cornée [73], la cataracte et sa chirurgie [74, 75].

### **c.2 Echelles spécifiques d'une pathologie oculaire :**

- **Le Visual Symptoms and Quality of Life Questionnaire (VSQ)** a été proposé pour la chirurgie de la cataracte du second œil.
- **L'Adult Strabismus-20 (AS-20)** : utilisé chez les patients traités pour strabisme.

### **c.3 Échelles de qualité de vie et réfraction :**

- **Le Refractive Status and Vision Profile (RSVP) questionnaire** : l'un des premiers à avoir été appliqué à la chirurgie réfractive [76].
- **Le National Eye Institute Refractive Error Quality of Life Instrument (NEI-RQL42)**: échelle qui explore l'impact de la réfraction sur la qualité de vie en 42 questions explorant 13 dimensions de qualité de vie.
- **Le Quality of Life Impact of Refractive Correction (QIRC)** : développé et validé pour les populations nécessitant la correction d'une erreur réfractive par lunettes, lentilles de contact ou chirurgie [77].

- **Le Contact Lens Impact on Quality of Life (CLIQ)** : développé et validé pour les porteurs de lentilles de contact [78].
- **Le Myopia-specific Quality of Life Questionnaire (MQLQ)** : questionnaire étudiant quatre principales dimensions (fonction visuelle, symptômes visuels, vie sociale, psychologie). Il a été développé pour étudier l'effet du LASIK sur une population myope [79].
- **Le Vision Quality of Life Index (VisQoL)** est une échelle comportant six questions permettant de façon simple et rapide d'apprécier l'effet des traitements ou moyens de correction destinés à améliorer la vision [80].

## **D. COMPARAISON DE NOS RESULTATS AVEC CEUX DE LA LITTERATURE**

### **1. Comparaison démographique**

#### **a. Age et sexe :**

**Tableau 6** : Comparaison entre les données de notre étude et ceux de la littérature pour ce qui est de l'âge

Brunette et al	Saragoussi et al	Lellouch et al	Shams et al	Ziaei et al	Notre étude
38±10.2	33.8±6.9	35.1±9.9	26.06±2.01	28.4±6+8	<b>23.96±2.33</b>

**Tableau 7** : Comparaison entre les données de notre étude et ceux de la littérature pour ce qui est du sexe

Brunette et al	Saragoussi et al	Lellouch et al	Ziaei et al	Notre étude
59.1% F	54.95% F	67.8% F	75% F	<b>58.06% F</b>

Notre échantillon d'analyse (31 patients) présente les caractéristiques attendues des patients traités par chirurgie réfractive de surface, avec une population jeune, à prédominance féminine.

## b. Motivations

**Tableau 8** : Comparaison entre les données de notre étude et ceux de la littérature pour ce qui est des motivations à la chirurgie réfractive de notre échantillon d'étude

	McGhee et al	Notre étude
Confort quotidien	83.30%	77.41%
Motivation esthétique	59.50%	19.35%
motivation d'ordre sportif	70%	3.22%

Dans notre étude, la motivation des patients pour la chirurgie réfractive est de l'ordre du confort quotidien bien plus qu'un souci d'esthétique, tous sexes confondus. Mc Ghee et al. [81] retrouvent les mêmes motivations pour la chirurgie. L'ambition de la majorité des patients est donc d'obtenir l'abandon de leur équipement optique pour un meilleur confort quotidien.

## 2. La qualité de vie après chirurgie réfractive

En terme de qualité de vie, plusieurs études ont déjà montré qu'améliorer la fonction visuelle améliorerait de multiples fonctions de la qualité de vie et qu'une détérioration visuelle était associée à un déclin des fonctions physiques et mentales et ce bien avant les multiples avancées qu'a connu la chirurgie réfractive ces dernières années. C'est le cas notamment de nombreux travaux traitant de la chirurgie de cataracte [82–84], de l'impact de l'altération de la vision sur la qualité de vie chez des patients atteints de pathologies oculaires tels que la rétinopathie diabétique (RD), la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA), la rétinite à cytomégalovirus (CMV) [85]... etc.

L'utilisation de questionnaires pour apprécier le statut fonctionnel des patients n'a donc rien de nouveau [86–91]. Ces questionnaires s'intéressent au vécu du patient, à l'impact de sa maladie sur les différents aspects de sa vie personnelle

et/ou professionnelle, ou encore sur l'aspect psychologique du patient [92–93]. Et le besoin d'étudier la qualité de vie et le statut fonctionnel perçu par le patient pour évaluer le plein impact d'un traitement ou d'une maladie » a été reconnu par l'Institut National des yeux (NEI : National Eye Institute) [94].

La qualité de vie liée à la réfraction et à ses moyens de correction a été étudiée à l'aide de l'échelle NEI-RQL-42 qui a montré une bonne sensibilité pour différencier et comparer sur 13 paramètres de qualité de vie, des populations emmétropes, des populations amétropes, corrigées par des moyens optiques (lentilles ou lunettes) et des populations amétropes corrigées par la chirurgie.

**Tableau 9** : Moyennes et écart-types des 13 scores dans l'échelle du NEI-RQL 42 et dans notre série.

	SCORES	NOMBRE D'ITEMS	ITEMS CORRESPONDANTS	Echelle du NEI-RQL 42		NOTRE SERIE	
				Moyenne	ET	Moyenne	ET
1	Netteté de la vision	(4 items)	23, 37b, 39b, 40b	83.85	18.36	<b>78,19</b>	11,08
2	Attentes du patient	(2 items)	1, 28	43.57	38.22	<b>6,69</b>	4,41
3	Vision de près	(4 items)	2, 7, 8, 11	83.94	18.03	<b>85,27</b>	4,14
4	Vision de loin	(5 items)	4, 5, 6, 9, 10	83.48	15.85	<b>88,58</b>	6,28
5	Fluctuations diurnes	(2 items)	3, 20	74.58	23.13	<b>71,13</b>	7,15
6	Limitation des activités	(4 items)	12, 33, 34, 35	85.28	21.92	<b>82,69</b>	3,6
7	Phénomènes visuels lumineux	(2 items)	17, 38b	76.40	26.41	<b>71,87</b>	1,89
8	Symptômes visuels	(7 items)	18, 19, 24, 25, 36b, 41b, 42b	79.20	16.79	<b>69,89</b>	10,95
9	Dépendance à une correction	(4 items)	13, 14, 15, 16	42.38	34.75	<b>62,69</b>	34,99
10	Préoccupation en rapport avec la vision	(2 items)	21, 22	61.31	26.04	<b>67,85</b>	6,31
11	Correction sous-optimale	(2 items)	31, 32	92.74	17.28	<b>97,32</b>	1,26
12	Apparence physique	(3 items)	27, 29, 30	79.31	27.00	<b>96,19</b>	3,93
13	Satisfaction de la correction	(1 items)	26	74.85	22.55	<b>85</b>	11,99

Freitas et al. [95] ont utilisé un questionnaire relativement complexe pour apprécier la qualité de vie de patients après PKR. Plusieurs domaines sont étudiés notamment : la qualité de vision, le statut fonctionnel, le statut mental, le bien-être général, la qualité de vie et la satisfaction par le traitement encouru. Cette étude montre une amélioration de la qualité de vie des patients dans tous les domaines pour les myopies inférieures à - 6D.

Bernth Peterson et al. [96] quant à eux concluent qu'il est difficile de retrouver des compétences perdues quand les patients se sont adaptés à une vie pauvre en terme de qualité de vision, c'est-à-dire après plusieurs années de vie avec une amétropie quelconque. Le geste chirurgical ne change pas radicalement la qualité de vie d'un patient qui dépend grandement de la qualité de vie en préopératoire. Mais cette corrélation ne signifie pas un lien de causalité, constat que les résultats de notre étude semblent affirmer.

D'autres auteurs améliorent la qualité de vie de leurs patients myopes faibles et moyens après photokératectomie réfractive. Ben Sira et al. [97] et McGhee et al. [98] rapportent que sur leurs échantillons d'études, 77,5% et 85.5% respectivement, améliorent leur qualité de vie. Mais souvent peu d'items sont consacrés à la qualité de vie. Exemple : Ben Sira et al. [97] n'y accordent qu'un seul item : influence de la chirurgie sur la qualité de vie en générale. Réponses possibles : amélioration/pas d'effet/diminution. C'est ce qui contribue également à rendre très difficile la comparaison entre les différentes études disponibles, chaque chirurgien élaborant son questionnaire sans validation préalable. L'avantage de notre étude est d'avoir pu évaluer la qualité de vie des patients à partir d'un questionnaire validé.

### 3. Résultats de notre étude

- Qualité de vie et résultats réfractifs

Les scores moyens «Netteté de la vision», « vision de près », « vision de loin », «correction sous-optimale », sont élevés (78.19, 85.27, 88.58 et 97.32 respectivement) et témoignent de manière indirecte de l'efficacité de la chirurgie vis-à-vis des attentes réfractives des patients.

- Qualité de vie et qualité de vision

La chirurgie réfractive cornéenne induit des aberrations optiques de haut degré pouvant altérer la qualité de vision (sensibilité aux contrastes et vision nocturne). Les halos sont particulièrement fréquents et représentent classiquement une cause spécifique d'insatisfaction. Deux scores de l'échelle de qualité de vie sont à mettre en lien avec la qualité de vision; le score « fluctuations diurnes » et le score « phénomènes visuels lumineux » dont les valeurs moyennes dans notre étude sont relativement élevées (71.13 et 71.87 respectivement).

- Qualité de vie et activités

Le score moyen élevé du score « limitation des activités » (82.69) traduit l'impact grandement favorable de la chirurgie et témoigne d'un plus grand sentiment de sécurité dans la pratique d'activités sportives (ou de loisir) qui n'étaient pas (ou moins) compatibles avec le port d'une correction optique.

- Qualité de vie et symptômes fonctionnels

Le score moyen de qualité de vie ayant trait aux « symptômes » est relativement élevé dans notre étude (69.89) et exprime un faible niveau de gêne, due aux signes fonctionnels d'inconfort non directement liés à la vision. Il s'agit principalement de signes de sécheresse oculaire ou de larmoiement.

En cas d'insuffisance du résultat réfractif, les symptômes fonctionnels représentent une importante raison d'insatisfaction qui va impacter de manière très défavorable la qualité de vie des patients.

- Qualité de vie et psychologie

Erickson et al. dans leurs étude [100] semblent penser que l'estime de soi et le bien-être des patients porteurs de myopies faibles et moyennes, restent sans différence significative entre le préopératoire et le postopératoire, puisqu'ils seraient influencés par une certaine attente, un idéal du traitement. Ils ne s'estiment pas « handicapés » par leur pathologie et aspirent à une vision normale sans correction.

Le score moyen « apparence physique » est très élevé dans notre étude (96.19), témoignant d'un impact favorable fort de la chirurgie réfractive sur un indice lié à l'image de soi. L'estime de soi se réfère en partie à l'image corporelle. La chirurgie réfractive, en supprimant un équipement optique, peut transformer un visage et ainsi améliorer l'image de soi ou encore l'image de l'estime de soi. En contrepartie, le score « préoccupations en rapport avec la vision » est bien plus bas (67.85), ce qui traduit un état d'anxiété persistant lié à la vision.

Le score « attentes du patient » est le plus faible (6.69), de même que dans les études de Saragoussi et al. [23] et McDonnell et al. [111]. La valeur de ce score est d'interprétation discutable en raison du libellé « complexe » de la question, y compris dans la version anglo-saxonne du questionnaire.

- Qualité de vie et satisfaction globale des patients

Le score moyen « satisfaction » est élevé (85.00). En chirurgie réfractive, la satisfaction est fortement conditionnée par l'efficacité réfractive, qui est finalement l'objectif ultime de ce type de chirurgie.

Rushood et al. [99], pour une série de patients myopes faibles après PKR, trouvent que l'âge, la réfraction postopératoire et la survenue de haze influencent le niveau de satisfaction. Quant à Ben Sira et al. [97], ils trouvent que la satisfaction est inversement proportionnelle à la réfraction préopératoire.

On en déduit donc que la satisfaction est une entité multifactorielle à plusieurs composants. On peut être satisfait d'un traitement mais percevoir des symptômes visuels gênants ou encore ne pas être complètement satisfait de la rapidité d'évolution postopératoire. C'est là qu'intervient la notion de qualité de vision dans l'évaluation de la satisfaction. Gimbel et al. [120] et Ben Sira et al. [97] trouvent des niveaux élevés de satisfaction (90 % et 80 % respectivement) après PKR malgré la survenue de symptômes visuels gênants (80 % et 17 %).

Notre étude montre que les symptômes visuels sont des déterminants importants de la satisfaction globale, mais ils semblent d'autant mieux acceptés s'ils restent d'intensité modérée en regard d'un bon résultat réfractif et qu'ils ont fait l'objet d'une information préalable en consultation pré-chirurgicale. Il faut prévenir les patients des risques encourus et bien les informer quant aux résultats escomptés. Par exemple prévenir les patients myopes, qu'à l'âge de la presbytie, le traitement leur enlève le bénéfice de pouvoir lire de près sans lunettes, à moins d'une sous-corrrection en vision de loin.

Il faut également définir les attentes des patients car le niveau de satisfaction en dépend [98]. Ces scores sont cohérents avec le taux de satisfaction de notre étude qui correspond à 89.28% de nos patients « très ou totalement satisfaits » et 10.71% « assez satisfaits ». Ce pourcentage est en total accord avec les chiffres de la littérature.

**Tableau 10** : Comparaison entre les taux de satisfaction décrits dans la littérature et les résultats de notre étude

AUTEURS	PATIENTS	Sphère préopératoire	TECHNIQUE	TAUX DE REPONSE	% de SATISFACTION
Kahle et al (1992) [116]	26		PKR	100.00 %	<b>84.00 %</b>
Gimbel et al (1993) [120]	52		PKR		<b>90.00 %</b>
Fichte et al (1994) [103]	74	- 1.25 à - 6.00	PKR	100.00 %	<b>92.00 %</b>
Freitas et al (1995) [114]	45	- 1.00 à - 12.00	PKR	100.00 %	<b>92.00 %</b>
Halliday et al (1995) [102]	108	- 1.25 à - 11	PKR	98.00 %	<b>89.81 %</b>
Hamberg–Nyström et al (1995) [113]	113	- 1.50 à - 6.50	PKR	100.00 %	<b>70.00 %</b>
Piovella et al (1995) [115]	44	- 5.75 à - 24.5	PKR	100.00 %	<b>87.10 %</b>
Schallhorn et al (1995) [101]	30	- 2.00 à - 5.50	PKR	100.00 %	<b>100.00 %</b>
McGhee et al (1996) [108]	100	- 5.84 ± 3.4	PKR	90.00 %	<b>85.50 %</b>
Ben Sira et al (1997) [121]	173	- 7.05 ± 3.73	PKR	100.00 %	<b>80.00 %</b>
Rushood et al (1997) [118]	28	- 0.50 à - 5.00	PKR	100.00 %	<b>90.95 %</b>
Hersh et al (1997) [104]	612	- 4.21 ± 1.32	PKR	100.00 %	<b>53.80 %</b>
Shah et al (1998) [119]	6280		PKR	100.00 %	<b>82.30 %</b>
Hadden et al (1999) [107]	162	- 6 à - 10	PKR	95.00 %	<b>98.00 %</b>
Brunette et al (2000) [105–106]	929	- 5,32 ± 2,85	PKR	74.3 %	<b>91.80 %</b>
NEI–RQL 42 (2001)	665	- 0.5 à - 6	PKR	100.00 %	<b>74.85 %</b>
Shams et al (2015) [12]	32			100.00 %	<b>86.98 %</b>
Sia et al (2015) [117]	108	-3.51 ± 1.63	PKR	100.00 %	<b>93.00 %</b>
Decaestecker et al (2015) [109]	28	-3,76 ± 1,81	PKR	100.00 %	<b>71.40 %</b>
<b>NOTRE ETUDE (2018)</b>	<b>62</b>	<b>-3.01 ± 1.34</b>	<b>PKR</b>	<b>90.32 %</b>	<b>85.00 %</b>

## **E. PERSPECTIVES :**

L'étude des scores de qualité de vie permet une approche multidimensionnelle des résultats de la chirurgie réfractive. Les limites méthodologiques de notre étude sont liées à l'indisponibilité d'une évaluation préopératoire de la qualité de vie. Le recul de 01 mois postopératoire ne permet également pas de détecter les cas possibles de mécontentement, dus à d'éventuelles complications tardives. Cependant, l'utilisation d'un questionnaire de qualité de vie déjà validé, traduit et adapté en français avec des arguments de validation, explorant quantitativement différents aspects de la qualité de vie des patients opérés, revêt une valeur informative indiscutable.

Le fait que tous les patients aient été traités au même centre et avec la même plateforme laser constitue un point intéressant de l'étude mais en limite la portée générale.

Nous espérons que ce travail sera le tremplin qui permettra à d'autres études détaillant les intrications entre la qualité de vie et les différents composants ayant trait à la chirurgie réfractive, de voir le jour.

# CONCLUSION

## VI. CONCLUSION :

L'intérêt croissant porté par les professionnels de la santé à l'évaluation de la qualité de vie des patients témoigne de nos jours d'un changement, de plus en plus profond, dans la pratique médicale. Les moyens de l'évaluation de la qualité de vie liée à la santé sont essentiellement représentés par les échelles de qualité de vie qui sont, à leur tour, basées pour la grande majorité, sur des questionnaires dont la pertinence est basée sur une validation psychométrique préalable.

Notre travail a eu pour objectif d'évaluer la qualité de vie de nos patients à 01 mois d'une chirurgie réfractive par photokératectomie réfractive (PKR) :

- Sur le plan quantitatif par l'intermédiaire de la mesure des chiffres de la sphère en pré et en post-opératoire. Nous avons mis en évidence, une amélioration de la qualité visuelle par majoration des chiffres réfractifs.
- Et sur le plan qualitatif, à l'aide d'un questionnaire de satisfaction, en s'aidant de l'échelle NEI-RQL 42 qui a montré une bonne sensibilité pour différencier et comparer sur 13 paramètres de qualité de vie, des populations amétropes corrigées par la chirurgie réfractive.

En chirurgie réfractive, la satisfaction est fortement conditionnée par l'efficacité réfractive, qui est finalement l'objectif ultime de ce type de chirurgie. Notre étude montre que les symptômes visuels sont des déterminants importants de la satisfaction globale, mais ils semblent d'autant mieux acceptés s'ils restent d'intensité modérée en regard d'un bon résultat réfractif et qu'ils ont fait l'objet d'une information préalable en consultation pré-chirurgicale.

# RESUMES

## RESUME

**TITRE :** ETUDE DE LA QUALITE DE VIE APRES CHIRURGIE REFRACTIVE DE SURFACE AU SERVICE D'OPHTALMOLOGIE DU CHU HASSAN II DE FES : A PROPOS DE 31 CAS

**Objectifs :** Les erreurs réfractives et leurs outils de correction peuvent avoir un grand impact sur la qualité de vision ainsi que sur le ressenti subjectif des sujets et leur qualité de vie, impact non correctement quantifié par les mesures standards de l'acuité visuelle. Cette étude a eu pour objectif d'évaluer la qualité de vie dans une population de myope ayant bénéficié de chirurgie réfractive par photokératectomie réfractive (PKR) à travers une adaptation française validée de l'échelle NEI-RQL-42.

**Lieu de l'étude :** Service d'Ophtalmologie du CHU Hassan II de Fès, Maroc.

**Méthodes :** 62 yeux de 31 patients ont été inclus dans cette étude. Tous étaient porteurs d'une myopie faible à modérée ( $-3.01 \pm 1.34D$ ), associée ou pas à un astigmatisme allant jusqu'à  $-1.75D$  (traité par laser dans le même temps opératoire). Tous avaient bénéficié de photokératectomie réfractive par le biais du laser excimer Technolas 317 (technologie Bausch & Lomb). Le diamètre moyen de la zone de traitement était de 8.82/8.6mm. La qualité de vie a été évaluée à la consultation postopératoire de 01 mois par le biais d'une traduction validée du questionnaire NEI-RQL 42, qui est un questionnaire autoadministré comprenant 42 questions compilée en 13 scores portant chacun sur une dimension particulière. Chaque modalité de réponse correspond à un score compris entre 0 et 100, 100 étant associé à la réponse la plus favorable. Il n'existe pas de score global synthétique, et les résultats doivent être calculés et interprétés axe par axe.

**Résultats:** A la consultation postopératoire de 01 mois, 28 patients (90.32%) avaient une MAV non corrigée à 10/10è. 45 yeux (72.58%) avaient une sphère  $\leq$  à 0.5D et 9 yeux (14.51%) avaient une sphère  $\leq$  à 1.0D. La moyenne du score de qualité de vie portant sur la satisfaction était de 85. Dans l'ensemble, 9 scores sur 13 étaient élevés ( $>70$ ). Seul le score "attentes des patients" était bas (6.69) en raison du libellé « complexe » de la question, y compris dans la version anglo-saxonne du questionnaire.

**Conclusion:** La correction de la myopie à travers la photokératectomie réfractive est associée à des score élevés dans la plupart des axes de l'échelle NEI-RQL 42. Le score satisfaction était très élevé ce qui traduit un impact positif de ce type de chirurgie sur la qualité de vie globale des sujets porteurs de myopie faible à modérée.

**MOTS-CLES :** Qualité de vie ; Chirurgie réfractive, Photokératectomie réfractive.

## **ABSTRACT:**

### **TITLE: QUALITY OF LIFE FOLLOWING LASER SURFACE ABLATION: A STUDY OF 31 CASES**

**Objectives and background:** Refractive errors and the means by which it is corrected may impact substantially on quality of vision and health related quality of life in ways not captured adequately by standard measures of visual acuity. The purpose of this study was to evaluate the quality of life (QOL) in a population of myopic patients who underwent photorefractive keratectomy (PRK) using the validated National Eye institute- Refractive Error Quality of life Instrument-42 (NEI-RQL 42) questionnaire.

**Setting:** Ophthalmology department, Hassan II University Hospital, Fez, Morocco.

**Methods:** sixty-two eyes of 31 patients were studied. All had low to moderate myopia ( $-3.01 \pm 1.34D$ ), some associated to astigmatism of up to  $-1.75D$  (that was treated by laser simultaneously). All had undergone PRK using the Technolas 317 excimer laser (Bausch & Lomb technology). The average treatment zone diameter used was 8.82/8.6mm. QOL was measured at the 01 month check-up, using a validated self-administered French translation of the NEI-RQL 42 questionnaire which contains 42 questions in 13 subscales with a total score of zero to 100, in the sense that 0 represents the worst possible status and 100 represents the best possible status. To calculate subscale scores, every item in each subscale was averaged together.

**Results:** At the 01 month post-operative mark, 28 patients (90.32%) achieved 10/10 or better UCVA. 45 eyes (72.58%) were within 0.5D and 9 Eyes (14.51%) were within 1.0D of attempted correction. Mean total QOL satisfaction subscale was 85 in PRK. Overall, 9 out of 13 QOL subscales were significantly high (>70). Only “patients’ expectations” scored low (6.69), mainly due to the patients having trouble fully understanding the meaning behind the questions associated to that subscale.

**Conclusion:** Correction of myopia using PRK is associated with high QOL scores in most NEI-RQL42 subscales. Global satisfaction was high which translates the positive impact of this kind of surgery on the overall quality of life in people with low to moderate myopia.

**KEYWORDS:** Quality of life; Refractive Surgery; Photorefractive Keratectomy.

## ملخص

**عنوان:** دراسة جودة الحياة بعد جراحة سطحية للقرنية : 31 حالة

**هدف و خلفية الدراسة :** الأخطاء الانكسارية، و طرق علاجها تؤثر بشكل كبير على جودة الرؤية بشكل

خاص و جودة الحياة بشكل عام، خاصة أن التدابير القياسية لحدة النظر تعد غير كافية لتقييمها بطريقة محددة. الهدف من هذه الدراسة سيكون تقييم جودة الحياة عند مجموعة من الأشخاص مصابين بقصر النظر بعد خضوعهم لعملية اقتطاع القرنية و ذلك عن طريق استعمال نسخة مترجمة و مصدقة من استطلاع مصمم من طرف المعهد

الوطني للعيون :استطلاع NEI-RQL42

**مكان الدراسة :** قسم طب العيون، المركز الاستشفائي الجامعي الحسن الثاني، فاس

**أساليب الدراسة :** شملت دراستنا 62 عين تابعة ل31 شخصا، كلهم كانوا يعانون من قصر نظر منخفض

إلى معتدل (  $3.01 \pm 1.34$  ديوبتر)، البعض منهم كان يعاني في الوقت ذاته من لانقضية (أو أستيجماتيزم) في حدود -1.75- ديوبتر (و التي تم علاجها بالموازاة باستعمال الليزر). كلهم خضعوا لعملية اقتطاع القرنية باستعمال آلة ليزر الهيجان (المعروف باسم ليزر إكزيمر Excimer) من نوع TECHNOLAS 317 (تقنية باوش و لاومب). معدل قطر نطاق تطبيق الليزر كان يساوي 8.6/8.82 مم. جودة الحياة ثم تقييمها بعض مرور شهر من تاريخ العملية الجراحية، و ذلك عن طريق استعمال نسخة مترجمة إلى الفرنسية و مصدقة من استطلاع مصمم من طرف المعهد الوطني للعيون بالولايات المتحدة الأمريكية، و الذي يحتوي على 42 سؤال مصنفة إلى 13 مقياس. مجموع النقاط قد يتفاوت من 0 إلى 100 حيث أن 0 يمثل أسوأ حالة ممكنة و 100 تمثل أفضل وضع ممكن

**نتائج الدراسة :** بعد مرور شهر على العملية الجراحية، 28 شخصا (90.32%) تمكنوا من تحقيق حدة

بصر غير مصححة بلغت 10/10 فما فوق. 45 عين (72.58%) سجلت 0.5 ديوبتر أم أقل كقوة ، و 9 أعين (14.51%) سجلت 1.0 ديوبتر أم أقل كقوة. متوسط مجموع مقياس الرضا كان يساوي 85. و عموما، 9 مقاييس من ضمن 13 كانت مرتفعة بشكل ملحوظ (  $>70$  )، ماعدا مقياس "توقعات المريض" الذي سجل أدنى رقم (6.69)، الشيء الذي يمكن تفسيره كون معظم الأشخاص ذكروا مواجهة بعض الصعوبة لفهم الأسئلة المتعلقة بهذا المقياس.

**استنتاج :** تصحيح قصر النظر باستعمال تقنية اقتطاع القرنية مرتبطة بنتائج جودة حياة عالية في معظم

مقاييس NEI-RQL42، خصوصا مقياس الرضا، الشيء الذي يترجم الأثر الإيجابي لهذا النوع من الجراحة على جودة حياة الأشخاص المصابين بقصر النظر المنخفض إلى معتدل.

**الكلمات الدالة :** جودة الحياة؛ جراحة الانكسار؛ اقتطاع القرنية.

# ANNEXES

## ANNEXES

### ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRE QUALITE DE VIE : TRADUCTION FRANÇAISE ET ADAPTATION DU NEI-RQL-42

Merci de prendre quelques instants pour répondre à ce questionnaire. Vous disposez d'autant de temps que nécessaire.

Certaines questions peuvent sembler répétitives ou surprenantes. Il est important de répondre à **toutes** les questions le plus précisément possible. Il est conseillé de lire l'ensemble des propositions de réponse pour chaque question avant de répondre. En cas de difficulté pour répondre à une question, choisissez la réponse qui vous semble la plus adaptée en ajoutant si besoin un commentaire dans la marge.

**1. Si votre vue vous semblait parfaite sans aucune correction supplémentaire (lunettes, lentilles, autres...), quelle différence cela serait-il dans votre vie ?**

(Cocher une seule case, décrivant le mieux votre réponse)

- Aucune différence..... 1
- Une petite amélioration..... 2
- Une grande amélioration..... 3
- J'ai déjà une vue parfaite sans correction.....4

#### QUESTIONS AU SUJET DE VOS ACTIVITÉS :

Les questions et affirmations suivantes s'intéressent à l'influence de votre vision sur vos activités. Elles concernent votre vision actuelle après la chirurgie, au besoin améliorée par votre correction optique habituelle (lunettes, lentilles)

**2. Lorsque vous effectuez un travail ou un passe-temps nécessitant une bonne vision de près, tels que : faire la cuisine, bricoler, coudre, utiliser des outils manuels, ou travailler sur ordinateur, vous ressentez :**

(Cocher une seule case)

- Aucune difficulté..... 1
- De légères difficultés..... 2
- Des difficultés modérées..... 3
- Beaucoup de difficultés..... 4
- Je ne fais pas ces activités à cause de ma vision..... 5
- Je ne fais pas ces activités pour d'autres raisons.....6

**3. En cas de variations dans la netteté de votre vision au cours de la journée, vous éprouvez :**

(Cocher une seule case)

- Absence de variations dans la netteté de ma vision 1
- Aucune difficulté..... 2
- De légères difficultés..... 3

- Des difficultés modérées..... 4
- Beaucoup de difficultés..... 5

**4. Vous appréciez les distances dans certaines circonstances comme descendre les escaliers ou garer une voiture : (Cocher une seule case)**

- Sans aucune difficulté..... 1
- Avec de légères difficultés..... 2
- Avec des difficultés modérées..... 3
- Avec beaucoup de difficultés..... 4

**5. Pour voir sur les côtés, comme lorsqu'une voiture sort d'une pente de garage ou d'une rue latérale, ou lorsque quelqu'un sort d'un bâtiment, vous ressentez :**

(Cocher une seule case)

- Aucune difficulté..... 1
- Légères difficultés..... 2
- Difficultés modérées..... 3
- Beaucoup de difficultés..... 4

**6. Lorsque vous passez d'une zone éclairée à une zone sombre, comme en entrant dans une salle de cinéma obscure, vous vous adaptez à l'obscurité :**

(Cocher une seule case)

- Sans aucune difficulté..... 1
- Avec de légères difficultés..... 2
- Avec des difficultés modérées..... 3
- Avec beaucoup de difficultés..... 4

**7. Lorsque vous lisez les caractères courants dans les journaux, vous ressentez : (Cocher une seule case)**

- Aucune difficulté..... 1
- De légères difficultés..... 2
- Des difficultés modérées..... 3

Beaucoup de difficultés..... 4   
 Je n'essaie jamais à cause de ma vision..... 5

**8. Lorsque vous lisez de petits caractères dans un annuaire téléphonique, sur une boîte de médicament, ou sur un contrat/document juridique, vous ressentez :**  
 (Cocher une seule case)

Aucune difficulté..... 1   
 De légères difficultés..... 2   
 Des difficultés modérées..... 3   
 Beaucoup de difficultés..... 4   
 Je n'essaie jamais à cause de ma vision..... 5

**9. Vous conduisez la nuit :** (Cocher une seule case)

Sans aucune difficulté..... 1   
 Avec de légères difficultés..... 2   
 Avec des difficultés modérées..... 3   
 Avec beaucoup de difficultés..... 4   
 Je ne conduis jamais la nuit à cause de ma vision..... 5   
 Je ne conduis jamais la nuit pour d'autres raisons..... 6

**10. Vous conduisez dans des conditions difficiles, telles que mauvais temps, heures de pointe, sur autoroute, ou en ville :** (Cocher une seule case)

Sans aucune difficulté..... 1   
 Avec de légères difficultés..... 2   
 Avec des difficultés modérées..... 3   
 Avec beaucoup de difficultés..... 4   
 Je ne conduis jamais dans ces conditions à cause de ma vision..... 5   
 Je ne conduis jamais dans ces conditions pour d'autres raisons..... 6

**11. Dans votre vie quotidienne, votre vision vous pose :**  
 (Cocher une seule case)

Aucune difficulté..... 1   
 De légères difficultés..... 2   
 Des difficultés modérées..... 3   
 Beaucoup de difficultés..... 4

**12. Lorsque vous pratiquez des activités sportives ou d'autres activités de plein air que vous appréciez (comme la promenade, la nage, l'aérobic, les sports d'équipe, ou le jogging), votre vision vous pose :** (Cocher une seule case)

Aucune difficulté..... 1   
 De légères difficultés..... 2

Des difficultés modérées..... 3   
 Beaucoup de difficultés..... 4   
 Je ne fais pas ces activités à cause de ma vision..... 5   
 Je ne fais pas ces activités pour d'autres raisons..... 6

**QUESTIONS AU SUJET DE VOTRE VISION :**

**13. Avez-vous besoin d'une correction supplémentaire (lunettes, lentilles bifocales, loupe. . .) quand vous devez lire de façon ponctuelle, par exemple une indication de direction, un menu ou un reçu ?** (Cocher une seule case)

Oui tout le temps..... 1   
 Oui parfois..... 2   
 Non..... 3

**14. Avez-vous besoin d'une correction supplémentaire (lunettes, lentilles bifocales, loupe. . .) quand vous devez lire de façon prolongée, par exemple un livre, un article de magazine, ou un journal ?** (Cocher une seule case)

Oui tout le temps..... 1   
 Oui parfois..... 2   
 Non..... 3

**15. Quand vous conduisez la nuit, avez-vous besoin de lunettes ou de lentilles de contact ?** (Cocher une seule case)

Oui tout le temps..... 1   
 Oui parfois..... 2   
 Non..... 3   
 Je ne conduis pas la nuit à cause de ma vision..... 4   
 Je ne conduis pas la nuit pour d'autres raisons..... 5

**16. À la nuit tombante, quand il commence tout juste à faire sombre, avez-vous besoin de lunettes ou de lentilles de contact pour conduire ?** (Cocher une seule case)

Oui tout le temps..... 1   
 Oui parfois..... 2   
 Non..... 3   
 Je ne conduis pas à la nuit tombante à cause de ma vision..... 4   
 Je ne conduis pas à la nuit tombante pour d'autres raisons..... 5

Les questions suivantes concernent votre vision actuelle après la chirurgie, au besoin améliorée par votre correction optique habituelle (lunettes, lentilles, loupe, autres. . .)

**17. La nuit, face à de fortes lumières, percevez-vous des dispersions lumineuses ou des halos qui vous gênent ou altèrent votre vision ? (Cocher une seule case)**

- Tous le temps..... 1   
 La plupart du temps..... 2   
 Parfois..... 3   
 Rarement..... 4   
 Jamais..... 5

**18. Ressentez-vous des douleurs ou un inconfort au niveau des yeux (par exemple brûlures, démangeaisons, ou sensibilité douloureuse) ? (Cocher une seule case)**

- Tous le temps..... 1   
 La plupart du temps..... 2   
 Parfois..... 3   
 Rarement..... 4   
 Jamais..... 5

**19. Êtes-vous gêné(e) par une sécheresse des yeux ? (Cocher une seule case)**

- Je n'ai pas de sécheresse..... 1   
 Pas du tout..... 2   
 Très peu..... 3   
 Modérément..... 4   
 Assez..... 5   
 Beaucoup..... 6

**20. Êtes-vous gêné(e) par des variations dans la netteté de votre vision au cours de la journée ? (Cocher une seule case)**

- Jamais..... 1   
 Rarement..... 2   
 Occasionnellement..... 3   
 Régulièrement..... 4   
 Tout le temps..... 5

**21. Vous arrive-t-il de vous faire du souci pour votre vue ou votre vision ? (Cocher une seule case)**

- Jamais..... 1   
 Rarement..... 2   
 Occasionnellement..... 3   
 Régulièrement..... 4   
 Tout le temps..... 5

**22. Vous arrive-t-il de penser ou de vous préoccuper de votre vue ou votre vision ? (Cocher une seule case)**

- Jamais..... 1   
 Rarement..... 2   
 Occasionnellement..... 3   
 Régulièrement..... 4   
 Tout le temps..... 5

**QUESTIONS AU SUJET DE LA CORRECTION DE VOTRE VISION**

Les questions suivantes concernent votre vision actuelle après la chirurgie, au besoin améliorée par votre correction optique habituelle (lunettes, lentilles, loupe, autres.)

**23. En ce moment, comment évaluez-vous la netteté de votre vision opérée, au besoin améliorée par une correction optique supplémentaire (lunettes, lentilles...) (Cocher une seule case)**

- Parfaitement nette..... 1   
 Assez nette..... 2   
 En partie nette..... 3   
 Pas nette du tout..... 4

**24. Quelle intensité de douleur ou d'inconfort ressentez-vous au niveau des yeux (par exemple, brûlures, démangeaisons, ou sensibilité douloureuse) ? (Cocher une seule case)**

- Aucune..... 1   
 Faible..... 2   
 Modérée..... 3   
 Sévère..... 4   
 Très sévère..... 5

**25. Avez-vous des maux de tête qui vous semblent en relation avec votre vision ou votre correction visuelle ? (Cocher une seule case)**

- Jamais..... 1   
 Rarement..... 2   
 Occasionnellement..... 3   
 Régulièrement..... 4   
 Tout le temps..... 5

**26. Êtes-vous satisfait(e) de votre correction chirurgicale, au besoin améliorée par votre correction optique habituelle (lunettes, lentilles...) ? (Cocher une seule case)**

- Totalement satisfait(e)..... 1
- Très satisfait(e)..... 2
- Assez satisfait(e)..... 3
- Peu satisfait(e)..... 4
- Très peu satisfait(e)..... 5
- Pas du tout satisfait(e)..... 6

**27. D'un point de vue esthétique, êtes-vous satisfait(e) de votre correction chirurgicale, au besoin améliorée par votre correction optique habituelle (lunettes, lentilles..) ? (Cocher une seule case)**

- Totalement satisfait(e)..... 1
- Très satisfait(e)..... 2
- Assez satisfait(e)..... 3
- Peu satisfait(e)..... 4
- Très peu satisfait(e)..... 5
- Pas du tout satisfait(e)..... 6

**28. Si votre vue vous semblait parfaite sans aucune correction (lunettes, lentilles ou autres), dans quelle mesure pensez-vous que cela changerait votre vie ? (Cocher une seule case)**

- Aucun changement..... 1
- Un petit progrès..... 2
- Un grand progrès..... 3
- J'ai déjà une vue parfaite sans correction..... 4

**29. D'un point de vue esthétique, la correction que vous avez actuellement est-elle la meilleure que vous ayez jamais eue ? (Cocher une seule case)**

- Oui..... 1
- Non..... 2

**30. D'un point de vue esthétique, y a-t-il un moyen de correction de votre vision qui vous semblerait meilleur que celui que vous avez ? (Cocher une seule case)**

- Oui..... 1
- Non..... 2

**31. Au cours des quatre dernières semaines, avez-vous**

**utilisé pour des raisons esthétiques, un moyen de correction ou un traitement inconfortable ? (Cocher une seule case)**

- En permanence..... 1
- La plupart du temps..... 2
- Parfois..... 3
- Rarement..... 4
- Jamais..... 5

**32. Au cours des quatre dernières semaines, avez-vous utilisé pour des raisons esthétiques un moyen de correction ou un traitement inadapté à votre vision ? (Cocher une seule case)**

- En permanence..... 1
- La plupart du temps..... 2
- Parfois..... 3
- Rarement..... 4
- Jamais..... 5

**33. À cause de votre vision, vous sentez-vous obligé(e) de limiter vos activités sportives ou autres activités de plein air (promenade, aérobic, sports collectifs, jogging...) ? (Cocher une seule case)**

- Oui..... 1
- Non..... 2

**34. Y a-t-il des activités sportives ou de loisir que vous aimeriez pratiquer mais auxquelles vous renoncez à cause de votre vision ou de votre moyen de correction ? (Cocher une seule case)**

- Oui, beaucoup..... 1
- Oui un peu..... 2
- Non..... 3

**35. Y a-t-il des activités de la vie quotidiennes que vous aimeriez faire mais auxquelles vous renoncez à cause de votre vision ou de votre moyen de correction ? (Cocher une seule case)**

- Oui, beaucoup..... 1
- Oui un peu..... 2
- Non..... 3

**Avez-vous été confronté(e) aux problèmes suivants au cours des quatre dernières semaines ? Si oui, à quel degré ? Cela vous a-t-il gêné ?** *Merci de répondre même si le problème ne concerne qu'un seul des deux yeux.*

		<i>Cochez une seule case</i>	<i>Si oui, à quel degré avez-vous été gêné ?</i>
			<i>Cochez une seule case</i>
36.	<b>Larmoiement ?</b>	a.	b.
		Oui..... 1 <input type="checkbox"/>	Très..... 1 <input type="checkbox"/>
		Non..... 2 <input type="checkbox"/>	Assez..... 2 <input type="checkbox"/>
			Peu..... 3 <input type="checkbox"/>
			Pas du tout..... 4 <input type="checkbox"/>
37.	<b>Vision déformée</b>	a.	b.
		Oui..... 1 <input type="checkbox"/>	Très..... 1 <input type="checkbox"/>
		Non..... 2 <input type="checkbox"/>	Assez..... 2 <input type="checkbox"/>
			Peu..... 3 <input type="checkbox"/>
			Pas du tout..... 4 <input type="checkbox"/>
38.	<b>Eblouissement</b>	a.	b.
		Oui..... 1 <input type="checkbox"/>	Très..... 1 <input type="checkbox"/>
		Non..... 2 <input type="checkbox"/>	Assez..... 2 <input type="checkbox"/>
			Peu..... 3 <input type="checkbox"/>
			Pas du tout..... 4 <input type="checkbox"/>
39.	<b>Brouillard Visuel</b>	a.	b.
		Oui..... 1 <input type="checkbox"/>	Très..... 1 <input type="checkbox"/>
		Non..... 2 <input type="checkbox"/>	Assez..... 2 <input type="checkbox"/>
			Peu..... 3 <input type="checkbox"/>
			Pas du tout..... 4 <input type="checkbox"/>
40.	<b>Gêne visuelle ?</b>	a.	b.
		Oui..... 1 <input type="checkbox"/>	Très..... 1 <input type="checkbox"/>
		Non..... 2 <input type="checkbox"/>	Assez..... 2 <input type="checkbox"/>
			Peu..... 3 <input type="checkbox"/>
			Pas du tout..... 4 <input type="checkbox"/>
41.	<b>Sensibilité douloureuse au niveau des yeux ?</b>	a.	b.
		Oui..... 1 <input type="checkbox"/>	Très..... 1 <input type="checkbox"/>
		Non..... 2 <input type="checkbox"/>	Assez..... 2 <input type="checkbox"/>
			Peu..... 3 <input type="checkbox"/>
			Pas du tout..... 4 <input type="checkbox"/>
42.	<b>Fatigue de vos yeux ?</b>	a.	b.
		Oui..... 1 <input type="checkbox"/>	Très..... 1 <input type="checkbox"/>
		Non..... 2 <input type="checkbox"/>	Assez..... 2 <input type="checkbox"/>
			Peu..... 3 <input type="checkbox"/>
			Pas du tout..... 4 <input type="checkbox"/>

Fin du questionnaire. Merci de votre participation.

# **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] Borderie V, Touzeau O, Bourcier T, Laroche L. Physiologie de la cornée. 2005 EMC (Elsevier Masson SAS)
- [2] Creuzet S, Etchevers H. Embryologie de l'oeil. Rapport SFO 2017, Elsevier-Masson, pp.739-756, 2017, 978-2-294-75022-9.
- [3] Allouch-Nahmias C, Goldschmit P, Borderie V, Touzeau O, Gaujoux T, Laroche L, Goemaere I, Rault J. Anatomie de la cornée. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Ophtalmologie, 21-003-A-10, 2011.
- [4] Bogan SJ, Waring III GO, Ibrahim O, Drews C, Curtis L. Classification of Normal Corneal Topography Based on Computer-Assisted Videokeratography. Arch Ophthalmol. 1990;108(7):945-949
- [5] Wary P, Maÿ F. Réfraction oculaire. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Ophtalmologie, 21-070-A-10, 2007.
- [6] Gatinel D. Topographie cornéenne. Atlas d'ophtalmologie 2014 Elsevier Masson
- [7] Medeiros FA, Weinreb RN. Evaluation of the Influence of Corneal Biomechanical Properties on Intraocular Pressure Measurements Using the Ocular Response Analyzer. J Glaucoma 2006;15:364-370)
- [8] Terai N, Raiskup F, Haustein M, Pillunat LE, Spoerl E. Identification of Biomechanical Properties of the Cornea: The Ocular Response Analyzer. Current Eye Research, 37(7), 553-562, 2012
- [9] Guilbert E, Gatinel D. Modifications de la biomécanique cornéenne induites par la chirurgie réfractive. Réalités ophtalmologiques N° 207 Novembre 2013
- [10] Gatinel D. Evaluation des propriétés biomécanique de la cornée avec l'Ocular Response Analyzer (ORA®) : principes et applications en clinique. Réflexions Ophtalmologiques N°102 - Tome 12 - février 2007

- [11] Tejwani S, Shetty R, Kurien M, Dinakaran S, Ghosh A. Biomechanics of the Cornea Evaluated by Spectral Analysis of Waveforms from Ocular Response Analyzer and Corvis-ST. PLoS ONE 9(8): e97591. 2014
- [12] Kotecha A, Elsheikh A, Roberts CR, Zhu H, Garway-heath DF. Corneal Thickness and age-related biomechanical properties of the Cornea measured with Ocular Response Analyzer. IOVS, December 2006, Vol. 47, No. 12
- [13] Stoicescu ML, Cochener B. La biomécanique cornéenne avant et après photoablation. Journal Français d'ophtalmologie. 2007.
- [14] Dupps WJ Jr, Roberts C. Effect of acute biomechanical changes on corneal curvature after Photokeratectomy. Journal of Refractive Surgery 2001 Nov-Dec;17(6):658-69
- [15] Gatinel D. Biomécanique Cornéenne. Décembre 2016 <https://www.gatinel.com/recherche-formation/biomecanique-corneenne>
- [16] Gatinel D. Analyse du front d'onde oculaire. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Ophtalmologie, 21-200-A-17, 2009
- [17] Gatinel D. Place actuelle des traitements abérrométriques dans les photoablations cornéennes réfractives au laser Excimer. Edition Spéciale. Avril 2009. CLV
- [18] Kwan WCK, Ping Yip S, Yap MKH. Monochromatic aberrations of the human eye and myopia Clin Exp Optom 2009; 92: 3: 304-312.
- [19] Gatinel D. Aberrométrie de l'oeil sain. Septembre 2013. <https://www.gatinel.com/recherche-formation/aberrometrie/aberrometrie-oeil-normal>
- [20] Gatinel D. Aberrations de Haut degré. Septembre 2012. <https://www.gatinel.com/glossaire/aberrations-de-haut-degre/>

- [21] Berry S, Mangione CM, Lindblad AS, McDonnell PJ. Development of the National Eye Institute refractive error correction quality of life questionnaire: focus groups. *Ophthalmology* 2003;110:2285—91.
- [22] Hays RD, Mangione CM, Ellwein L, Lindblad AS, Spritzer KL, McDonnell PJ. Psychometric properties of the National Eye Institute–Refractive Error Quality of Life instrument. *Ophthalmology* 2003;110:2292—301.
- [23] McDonnell PJ, Mangione C, Lee P, Lindblad AS, Spritzer KL, Berry S. Responsiveness of the National Eye Institute Refractive Error Quality of Life instrument to surgical correction of refractive error. *Ophthalmology* 2003;110: 2302—9.
- [24] Nichols JJ, Twa MD, Mitchell GL. Sensitivity of the National Eye Institute Refractive Error Quality of Life instrument to refractive surgery outcomes. *J Cataract Refract Surg* 2005; 31:2313–2318.
- [25] Nichols JJ, Mitchell L, Saracino M, Zadnik K. Reliability and validity of refractive error-specific quality-of-life instruments. *Archives of Ophthalmology*, 121, 1289–1296.
- [26] Nunes LM, Schor P. Evaluation of the impact of refractive surgery on quality of life using the NEI–RQL (National Eye Institute–Refractive Error Quality of Life) instrument. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, 68, 789–796.
- [27] Pakpour AH, Zeidi IM, Saffari M, Labiris G, Fridlund B. Psychometric properties of the national eye institute refractive error correction quality-of-life questionnaire among Iranian patients. *Oman J Ophthalmology* Vol.6 N°1 2013;6:37–43.
- [28] Nunes LM, Cotizo V, Schor P. Validação de versão em língua portuguesa do questionário NEI–RQL como instrumento de avaliação da qualidade de vida

- relacionada à visao, em candidatos a cirurgia refrativa. *Revista Brasileira de Oftalmologia*, 63, 110–118 (2004).
- [29] Toker E, Onal S, Eraslan M, Eyriparmak M. The Turkish version of the National Eye Institute Refractive Error Quality of Life Instrument: translation, validity and reliability *Qual Life Res* (2008) 17:1269–1276
- [30] Hays RD, Spitzer KL. National Eye Institute–Refractive Error Quality of Life Instrument (NEI–RQL–42), version 1.0: Self–administered format. Los Angeles, Calif: Rand Health Sciences (2001).
- [31] RAND. National Eye Institute Refractive Error Quality of Life Instrument (NEI–RQL–42) Self–Administered Format August 2001. Version 1.0
- [32] Hays RD, Spritzer KL. National Eye Institute Refractive Error Quality of Life Instrument (NEI–RQL–42™), Version 1.0: A Manual for Use and Scoring. Los Angeles, CA. February 2002
- [33] Sherwin JC, Hewitt AW, Coroneo MT, Kearns LS, Griffiths LR, Mackey DA. The Association between Time Spent Outdoors and Myopia Using a Novel Biomarker of Outdoor Light Exposure. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, July 2012, Vol. 53, No. 8. 4363–4370.
- [34] Huang HM, Chang DST, Wu PC. The Association between Near Work Activities and Myopia in Children—A Systematic Review and Meta–Analysis. *PLoS ONE* 10(10): e0140419.
- [35] Dirani M, Tong L, Gazzard G, Zhang X, Chia A, Young TL, Rose KA, Mitchell P, Saw SM. Outdoor activity and myopia in Singapore teenage children. *Br J Ophthalmol* 2009;93:997–1000.
- [36] Verhoeven V. Large scale international replication and meta–analysis study confirms association of the 15q14 locus with myopia. The CREAM consortium. *Hum Genet* (2012) 131:1467–1480

- [37] Hornbeak DM, Young TL. Myopia Genetics: A Review of Current Research and Emerging Trends. *Curr Opin Ophthalmol*. 2009 September ; 20(5): 356–362.
- [38] Young TL. The Molecular Genetics of Human Myopia: An Update. *Optom Vis Sci*. 2009 January ; 86(1): E8–E22.
- [39] L Gualdi, F Gualdi. *Principles of Physics of Femtosecond Laser 2014*. 24–09–2013
- [40] Touboul D. *Principes physiques, indications et perspectives du laser femtoseconde*. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Ophtalmologie, 21–206–A–31, 2011.
- [41] Desmettre T, Mordon S, Quentel G. *Lasers en ophtalmologie : principes et applications cliniques*. EMC (Elsevier SAS, Paris), Ophtalmologie, 21–782–A–10, 2006.
- [42] Smadja D, Reggiani–Mello G, Touboul D, Colin J. Les profils de photoablation cornéenne en chirurgie réfractive. Partie 1 : la quête de l'excellence. *Journal français d'ophtalmologie* 2012. 35, 126–135
- [43] Palanker D. *Ophthalmic Laser Therapy – Mechanisms and Applications*. Department of Ophthalmology and Hansen Experimental Physics Laboratory, Stanford University
- [44] Mardin CY, Tornow RP, Kruse FE. *Lasers in Ophthalmology*. 1875–3892 2010 Published by Elsevier B.V/
- [45] Albou–Ganem C. Correction intrastromale au laser femtoseconde. [http://www.em-consulte.com/em/SFO/rapport/file\\_100017.html](http://www.em-consulte.com/em/SFO/rapport/file_100017.html)
- [46] Gatinel D. *Laser Femtoseconde*. Décembre 2016. <https://www.gatinel.com/recherche-formation/laser/laser-femtoseconde>

- [47] Gatinel D. Qu'est-ce que la formule de Munnerlyn ? Septembre 2013.  
<https://www.gatinel.com/2011/01/quest-ce-que-la-formule-de-munnerlyn>
- [48] Gatinel D. Système de Guidage des poursuites oculaires – Eye Tracker. Juin 2016  
<https://www.gatinel.com/chirurgie-refractive/les-techniques-operatoires/systeme-de-guidage-des-poursuites-oculaires/>
- [49] Gatinel D, Malet J, Hoang-Xuan T, Azar DT. Corneal Elevation Topography: Best Fit Sphere, Elevation Distance, Asphericity, Toricity and Clinical Implications. *Cornea*. 2011 May ; 30(5): 508-515.
- [50] Schlegel Z, Hoang-Xuan T, Gatinel D. Comparison of and correlation between anterior and posterior corneal elevation maps in normal eyes and keratoconus-suspect eyes. *J Cataract Refract Surg* 2008; 34:789-795. 2008 ASCRS and ESCRS.
- [51] Bogan SJ, Waring III GO, Ibrahim O, Drews C, Curtis L. Classification of Normal Corneal Topography Based on Computer-Assisted Videokeratography. *Arch Ophthalmol*. 1990;108(7):945-949.
- [52] Touzeau O, Allouch C, Borderie V, Laroche L. Biométrie oculaire par Orbscan. *Journal Français d'Ophtalmologie* Vol 28 n°6, 2005
- [53] Jeong SY, Chin HS, Oh JH. Anterior Elevation Maps as the Screening Test for the Ablation Power of Previous Myopic Refractive Surgery. *Korean J Ophthalmol* Vol.20, No.1, 2006
- [54] Hersh PS. A Standardized Classification of Corneal Topography after Laser Refractive Surgery. *Journal of Refractive Surgery* Volume 13 September/October 1997
- [55] Proust H, Hoffart L. Chirurgie réfractive cornéenne. Traitement de surface. *EMC - Ophtalmologie* 2013;10(1):1-6 [Article 21-206-A-30]

- [56] Lebuissou DA, Amar R. Optique et chirurgie réfractive. EMC – Traité de Médecine Akos 2012;7(3):1–8 [Article 6–0360].
- [57] Saad A, Azar D, Melki S, Gatinel D. Complications du Lasik : étiologie, prise en charge et prévention. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Ophtalmologie, 21–206–A–35, 2010.
- [58] Kocaba V, Burillon C. Chirurgie réfractive cornéenne : LASIK. EMC – Ophtalmologie 2012;9(4):1–7 [Article 21–206–A–32].
- [59] Chalumeau BA, Boutboul S, Moldovan M, Laroche L. Chirurgie Réfractive Cornéenne. Editions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS 2002 [Article 21–206–A–30]
- [60] Chirurgie cornéenne et réfractive Précis d'ophtalmologie clinique, 2e édition 2012, Elsevier Masson SAS.
- [61] Gatinel D. Chirurgie réfractive : quoi de neuf ? Réalités Ophtalmologiques – N° 162 – Avril 2009
- [62] Garg S, McColgin AZ, Steinert RF. Phototherapeutic Keratectomy. American Academy of ophthalmology NOV 12, 2013 <https://www.aao.org/munnerlyn-laser-surgery-center/phototherapeutic-keratectomy-3>
- [63] Leccisotti A. Mitomycin C in Photorefractive Keratectomy Effect on Epithelialization and Predictability. Cornea 2008;27:288–291)
- [64] Almosa AA, Fawzy SM. Effect of Mitmomyacin C on myopic versus Astigmatic Photorefractive Keratectomy. Journal of Ophthalmology Volume 2017, Article ID 2841408, 5 pages.
- [65] Steinert RF, McColgin AZ. Surface Ablation: Photorefractive Keratectomy, LASEK, Epi-LASIK, and Epi-LASEK. American Academy of Ophthalmology.

<https://www.aao.org/munnerlyn-laser-surgery-center/surface-ablation-photorefractive-keratectomy-lasek>

- [66] Saragoussi D, Saragoussi JJ. LASIK, photokératectomie réfractive et qualité de vision : étude des facteurs pronostiques et enquête de satisfaction. *J Fr Ophtalmol* 2004;27:755—64.
- [67] Letzelter N. Les Etudes de Qualité de Vie en Ophtalmologie.
- [68] Mercier M, Schraub S. Qualité de vie : quels outils de mesure ? 27es journées de la SFSPM, novembre 2005
- [69] Saragoussi JJ. Presbytie et qualité de vie [http://www.em-consulte.com/em/SFO/rapport/file\\_100038.html](http://www.em-consulte.com/em/SFO/rapport/file_100038.html)
- [70] Lesueur L, Munoz-Sastre MT, Mullet E, Dabadie D, Arnée JL. Les prédicteurs de qualité de vie en chirurgie réfractive. *Journal Français d'Ophtalmologie* Vol 26, N° 7 - septembre 2003 pp. 699-709.
- [71] Mangione CM, Lee PP, Pitts J. Psychometric properties of the National Eye Institute Visual Function Questionnaire (NEI-VFQ). NEI-VFQ Field Test Investigators. *Arch Ophthalmol*, 1998 ; 116 : 1496-1504.
- [72] Linder M, Chang TS, Scott IU. Validity of the visual function index (VF-14) in patients with retinal disease. *Arch Ophthalmol*, 1999 ; 117 : 1611-6.
- [73] Boisjoly H, Gresset J, Fontaine N. The VF-14 index of functional visual impairment in candidates for a corneal graft. *Am J Ophthalmol*, 1999 ; 128 : 38-44.
- [74] Rosen PN, Kaplan RM, David K. Measuring outcomes of cataract surgery using the Quality of Well-Being Scale and VF-14 Visual Function Index. *J Cataract Refract Surg*, 2005 ; 31 : 369-78.

- [75] Steinberg EP, Tielsch JM., Schein OD. National study of cataract surgery outcomes. Variation in 4-month postoperative outcomes as reflected in multiple outcome measures. *Ophthalmology*, 1994 ; 101 : 1131-40.
- [76] Schein OD, Vitale S, Cassard SD, Steinberg EP. Patient outcomes of refractive surgery. The refractive status and vision profile. *J Cataract Refract Surg*, 2001 ; 27 : 665-73.
- [77] Pesudovs K, Garamendi E, Elliott DB. The Quality of Life Impact of Refractive Correction (QIRC) Questionnaire: development and validation. *Optom Vis Sci*, 2004 ; 81 : 769-77.
- [78] Pesudovs K, Garamendi E, Elliott DB. The Contact Lens Impact on Quality of Life (CLIQ) Questionnaire: development and validation. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2006 ; 47 : 2789-96.
- [79] Lee J, Park K, Cho W. Assessing the value of laser in situ keratomileusis by patient-reported outcomes using quality of life assessment. *J Refract Surg*, 2005 ; 21 : 59-71.
- [80] Misajon R, Hawthorne G, Richardson J. Vision and quality of life: the development of a utility measure. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2005 ; 46 : 4007-15.
- [81] Mc Ghee CN, Craig JP, Sachdev N, Weed KH, Brown AD. Functional, psychological, and satisfaction outcomes of laser in situ keratomileusis for high myopia. *J Cataract Refract Surg*, 2000;26:497-509.
- [82] Bernth-Peterson P. Outcome of cataract surgery: a prospective, observational study. *Acta Ophthalmol*, 1982;60:235-42.
- [83] Bernth-Peterson P. Visual functioning in cataract patients: methods of measuring and results. *Acta Ophthalmol*, 1981;59:198-205.

- [84] Brenner MH, Curbow B, Javitt C. Vision change and quality of life in the elderly: response to cataract surgery and treatment of other chronic ocular conditions. *Arch Ophthalmol*, 1983;111:680–5.
- [85] Mangione CM, Berry S, Spritzer K. Identifying the content area for the 51-item national eye institute visual function questionnaire; results from focus groups with visually impaired persons. *Arch Ophthalmol*, 1998;116:227–33.
- [86] Steinberg EP, Tielsch JM, Schein OD. The vf-14. An index of functional impairment in patients with cataract. *Arch Ophthalmol*, 1994;112:630–8.
- [87] Cassard SD, Donald LP, Damiano AM. Reproducibility and responsiveness of the vf-14. *Arch Ophthalmol*, 1995;113:1508–13.
- [88] Mangione CM, Phillips RS, Seddon JM. Development of the “activities of daily vision scale”. A measure of visual functional status. *Med Care*, 1992;30:1111–26.
- [89] Lundstrom M, Roos P, Jensen S, Fregell G. Catquest questionnaire for use in cataract surgery care: description, validity, and reliability. *J Cataract Refract Surg*, 1997;23:1226–36.
- [90] Wilson MR, Coleman AL, Yu F, Bing EG. Functional status and well-being in patients with glaucoma as measured by the medical outcomes study short form-36 questionnaire. *Ophthalmology*, 1998; 105:2112–6.
- [91] Usitalo RJ, Brans T, Pessi T, Tarkkanen A. Evaluating cataract surgery gains by assessing patients' quality of life using the vf-7. *J Cataract Refract Surg*, 1999;25:989–94.
- [92] Holmes SJ, Mc Kenna SP. Development of a questionnaire to assess the quality of life of adults with growth hormone deficiency. *Endocrinology and Metabolism*, 1995;2:63–9.

- [93] Burman P, Broman JE, Hetta J. Quality of life in adults with growth hormone (gh) deficiency: response to treatment with recombinant human gh in a placebo-controlled 21-month trial. *J Clin Endocrinol Metab*, 1995;80:3585–90.
- [94] National Advisory Eye Council. National Eye Institut, nih. Vision research: a national plan: 1994–1998. nih publication no. 93–3186. washington, dc: us. department of health and human services, phs, nih, 1993; 331.
- [95] Freitas C, Oliveiros BM, Marques E, Leite EB. Effect of photorefractive keratectomy on visual functioning and quality of life. *J Refract Surg*, 1995;11:327–34.
- [96] Bernth-Peterson P, Ehlers N. Cataract extraction in the “nineties”. *Acta Ophthalmol*, 1983;61:392–6.
- [97] Ben Sira A, Loewenstein A, Lipshitz I, Levanon D, Lazar M. Patient satisfaction after 5.0mm photorefractive keratectomy for myopia. *J Refract Surg*, 1997;13:129–34.
- [98] Mc Ghee CN, Orr D, Kidd B, Stark C, Bryce IG, Anastas CN. Psychological aspects of excimer laser surgery for myopia: reasons for seeking treatment and patient satisfaction. *Br J Ophthalmol*, 1996; 80:874–9.
- [99] Rushood AA, Nassim HM, Azeemuddin T. Patient satisfaction after photorefractive keratectomy for low myopia using the visual analogue scale. *J Refract Surg*, 1997;13:438–40.
- [100] Erickson DB, Ryan RA. Cognitive styles and personality characteristics strongly influence the decision to have photorefractive keratectomy. *J Refract Surg*, 1995;11:267–81.
- [101] Schallhorn SC, Blanton CL, Kaupp SE, Sutphin J, Gordon M, Goforth H, Butler FK. Preliminary Results of Photorefractive Keratectomy in Active–

Duty United States Navy Personnel. Ophthalmology Volume 103, Number 1, January 1996

- [102] Halliday BL. Refractive and Visual Results and patient satisfaction after excimer laser photorefractive Keratectomy for myopia. British Journal of Ophthalmology 1995 79: 881–887
- [103] Fichte CM, Bell AM. Ongoing results of excimer laser photorefractive keratectomy for myopia: Subjective patient impressions. J CATARACT REFRACT SURG—VOL 20, SUPPLEMENT 1994.
- [104] Hersh PS, Doyle Stulting R, Steinert RF, Waring III GO, Thompson KP, O’Connell M, Doney K, Shein OD, Doney K. Results of Phase III Excimer Laser Photorefractive Keratectomy for Myopia. Ophthalmology Volume 104, Number 10, October 1997
- [105] Brunette IB, Grosset J, Boivin JF, Boisjoly H, Makni H. Functional Outcome and Satisfaction after Photorefractive Keratectomy. Part 1: Development and Validation of a Survey Questionnaire. Volume 107, Number 9, September 2000 by the American Academy of Ophthalmology Published by Elsevier Science Inc.
- [106] Brunette IB, Gresset J, Boivin JF, Boisjoly H, Makni H. Functional Outcome and Satisfaction after Photorefractive Keratectomy. Part 2 : Survey of 690 Patients. Volume 107, Number 9, September 2000 by the American Academy of Ophthalmology Published by Elsevier Science Inc.
- [107] Hadden OB, Ring P, Morris AT, Elder MJ. Visual, refractive and Subjective outcomes after photorefractive keratectomy for myopia of 6 to 10 diopters using the Nidek laser. J CATARACT REFRACT SURG—VOL 25, JULY 1999
- [108] McGhee CNJ, Orr D, Kidd B, Stark C, Bryce IG, Anastas CN. Psychological aspects of excimer laser surgery for myopia: reasons for seeking treatment

and patient satisfaction. *British Journal of Ophthalmology* 1996;80:874–879

- [109] Decaestecker C, Rouland JF. Evolution de la qualité visuelle après photokératectomie réfractive : évaluation quantitative et qualitative abérrométrique et enquête de satisfaction. Faculté de Médecine Henri Warembourg. 2015
- [110] Djadi-Prat J, Saragoussi JJ, Lebuissou DA, Arson B, Saragoussi D. Qualité de vie après Lasik : partie I. Validation de la traduction française de l'échelle NEI-RQL-42. *Journal français d'ophtalmologie* (2011) 34, 143—156
- [111] Djadi-Prat J, Saragoussi JJ, Lebuissou DA, Arson B, Saragoussi D. Qualité de vie après LASIK : partie II. Qualité de vie et satisfaction d'une population de patients opérée par LASIK. *Journal français d'ophtalmologie* (2011) 34, 294—302.
- [112] Shams N, Mobaraki H, Kamali M, Jafarzadehpour E. Comparison of quality of life between myopic patients with spectacles and contact lenses, and patients who have undergone refractive surgery. *Journal of Current Ophthalmology* 27(2015)32–36.
- [113] Hamberg-Nyström H, Tengroth B, Fagerholm P, Epstein D, Van der Kwast EM. Patient Satisfaction Following Photorefractive Keratectomy for Myopia. *Journal of Refractive Surgery*. 1995;11(3):S335–S336.
- [114] Freitas C, Oliveros BO, Marques E, Leite EB. Effect of Photorefractive Keratectomy on Visual Functioning and Quality of Life. *Journal of Refractive Surgery*. 1995;11(3):S327–S334.
- [115] Piovella M, Camesasca F, Fattori C. Excimer Laser Photorefractive Keratectomy for High Myopia. Four-year Experience with a Multiple Zone

Technique. American Academy of Ophthalmology 1995. Volume 104, Issue 10, Pages 1554-1565.

- [116] Kahle F, Seiler T, Wollensak J. Report on psychosocial findings and satisfaction among patients 1 year after excimer laser photorefractive keratectomy. *Refractive and Corneal Surgery*. 1992 Jul-Aug;8(4):286-9.
- [117] Sia RK, Ryan DS, Stutzman RD, Pasternak JF, Peppers L, Eaddy JB, Logan LA, Torres MF, Bower KS. Wavefront-guided versus wavefront-optimized photorefractive keratectomy: Clinical outcomes and patient satisfaction. *J Cataract Refract Surg* 2015; 41:2152-2164 Q 2015 ASCRS and ESCRS.
- [118] Rushood AA, Nassim HM, Azeemuddin T. Patient satisfaction after photorefractive keratectomy for low myopia using the visual analogue scale. *Journal of refractive Surgery* 1997.
- [119] Shah S, Perera S, Chatterjee A. Satisfaction ater Photorefractive Keratectomy. *Journal of refractive Surgery* 1998. Apr;14(2 Suppl):S226-7.
- [120] Gimbel HV, Van Westenbrugge JA, Johnson WH, Willerscheidt AB, Sun R, Ferensowicz M. Visual, refractive, and patient satisfaction results following bilateral photorefractive keratectomy for myopia. *Refract Corneal Surg*. 1993 Mar-Apr;9(2 Suppl):S5-10.
- [121] Ben-Sira A, Loewenstein A, Lipshitz I, Levanon D, Lazar M. Patient satisfaction after 5.0mm photorefractive Keratectomy for Myopia. *J Refract Surg*. 1997 Mar-Apr;13(2):129-34.
- [122] Sinjab M. A Guide to Interpreting Corneal Tomography. CATARACT & REFRACTIVE SURGERY TODAY EUROPE JANUARY 2012
- [123] Cavas Martinez F, De la Cruz Sanchez E, Nieto Martinez J, Fernandez Canavate J, Fernandez Pacheco DG. Corneal topography in keratoconus: state of the art. Cavas-Martínez et al. *Eye and Vision* (2016) 3:5.

- [124] Hashemi H, Beiranvand A, Khabazkhoob M, Fotouhi A. Corneal topography patterns in the Tehran eye study: Warning about the high prevalence of patterns with a skewed radial axis. *Middle East Afr J Ophthalmol* 2014;21:72–6.
- [125] Hersch PS, Shah SL, Summit AB. Corneal Topography of Excimer Laser Photorefractive Keratectomy Using a 6--mm Beam Diameter. *Ophthalmology* 1997;104:1333–1342
- [126] Corbett MC, O'Brart DPS, Saunders DC, Rosen ES. The interpretation of corneal topographic Maps. *Eur J Implant Ref Surg*, Vol 6, June 1994
- [127] Gatinel D. Les principales cartes topographiques cornéennes. *Réalités Ophtalmologiques* N° 171, 2010
- [128] Ambrosio R, Alonso RS, Luz A, Coca Velarde LG. Corneal–thickness spatial profile and corneal–volume distribution: Tomographic indices to detect keratoconus. *J CATARACT REFRACT SURG – VOL 32, NOVEMBER 2006*
- [129] Gatinel D. Topographie cornéenne. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Ophtalmologie, 21–200–A–16, 2009.
- [130] Liu Z, Huang AJ, Pflugfelder SC. Evaluation of corneal thickness and topography in normal eyes using the Orbscan corneal topography system. *774 Br J Ophthalmol* 1999;83:774–778.
- [131] Hersh PS, Scher KS, Irani R. Corneal topography of photorefractive keratectomy versus laser in situ keratomileusis. *Ophthalmology* 1998; 705:672–679.
- [132] Friedman NJ. Pearls for Interpreting Corneal Topography Maps 2013. <https://www.ophtalmologyweb.com/Featured-Articles/142292-Pearls-for-Interpreting-Corneal-Topography-Maps>

- [133] Alió JL, Shabayek MH. Corneal higher order aberrations: a method to grade keratoconus. *Journal of Refractive Surgery* 2006 Jun;22(6):539–45
- [134] Saad A, Gatinel D. Topographic and Tomographic Properties of Fruste Keratoconus Corneas. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* November 2010, Vol.51, 5546–5555.
- [135] Fournié P, Touboul D, Arné JL, Colin J, Malecaze F. Kératocône. *Journal Français d’Ophtalmologie* (2013) 36, 618–626)
- [136] Kamiya K, Hagishima M, Fujimura F, Shimizu K. Factors affecting corneal hysteresis in normal eyes. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, vol. 246, no. 10, pp. 1491–1494, 2008.
- [137] Trokel SL, Srinivasan B, Braren B. Excimer laser surgery of the cornea. *Am J Ophthalmol*, 1983 ;96 :710
- [138] Chen SH, Feng YF, Stojanovic A, Wang QM. Meta-analysis of clinical outcomes comparing surface ablation for correction of myopia with and without 0.02% mitomycin C. *J Refract Surg* 2011;27:530–41