



UNIVERSITÉ DE LILLE

**FACULTÉ DE MÉDECINE HENRI WAREMBOURG**

Année : 2024

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT  
DE DOCTEUR EN MÉDECINE

**Correction des fortes amétropies en chirurgie réfractive cornéenne  
laser : à propos de 865 yeux**

Présentée et soutenue publiquement le 30 octobre 2024 à 18h00  
au Pôle Recherche

**par Manon CARÉMÉ**

---

**JURY**

**Président :**

**Monsieur le Professeur Pierre LABALETTE**

**Assesseurs :**

**Monsieur le Professeur Jean-François ROULAND**

**Monsieur le Docteur Vincent DEDES**

**Directeur de thèse :**

**Monsieur le Docteur William BASSON**

---

## **AVERTISSEMENT**

La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs.

# TABLE DES MATIÈRES

## ABRÉVIATIONS

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>I) La cornée.....</b>	<b>2</b>
1) Anatomie macroscopique.....	2
2) Anatomie microscopique.....	3
a) Film lacrymal.....	3
b) Épithélium.....	4
c) Membrane de Bowman.....	4
d) Stroma.....	4
e) Couche de Dua.....	5
f) Membrane de Descemet.....	5
g) Endothélium.....	5
h) Innervation.....	6
3) Cicatrisation.....	7
4) Pouvoir réfractif.....	8
a) Rappels sur la réfraction.....	8
b) Pouvoir réfractif cornéen.....	11
5) Moyens d'exploration.....	12
a) Mesure de la pachymétrie.....	12
b) Mesure de la courbure cornéenne .....	12
- Kératomètres.....	12
- Topographes.....	13
- OCT de cornée.....	15
<b>II) Les amétropies.....</b>	<b>17</b>
1) Œil emmétrope.....	17
2) Myopie.....	17
a) Définition.....	17
b) Types de myopie.....	18
c) Principes de correction.....	18
d) Épidémiologie et évolution avec l'âge.....	19
e) Facteurs de risque.....	20
f) Myopie forte.....	20

3) Hypermétropie.....	21
a) Définition.....	21
b) Types d'hypermétropie.....	21
c) Principes de correction.....	22
d) Épidémiologie et évolution avec l'âge.....	22
e) Forte hypermétropie.....	23
4) Astigmatisme.....	24
a) Définition.....	24
b) Formulation.....	24
c) Classification.....	25
d) Principes de correction.....	28
e) Épidémiologie et évolution avec l'âge.....	28
5) Accommodation et presbytie .....	29
a) Accommodation.....	29
b) Presbytie et principes de correction.....	30
<b>III) La chirurgie réfractive.....</b>	<b>32</b>
1) Prémisses de la chirurgie réfractive cornéenne.....	32
a) Chirurgie incisionnelle.....	32
b) Chirurgie de soustraction tissulaire.....	33
2) Avènement des lasers.....	34
a) Principes de fonctionnement.....	35
- Laser Excimer.....	36
- Laser femtoseconde.....	37
b) Description des techniques actuelles.....	37
- PKR.....	39
- LASIK.....	46
- SMILE.....	56
3) Implants intra-oculaires.....	64
a) Implants phaques de chambre postérieure.....	64
b) Implants pseudo-phaques.....	68

4) Choix de la technique.....	70
a) Contre-indications.....	70
b) Myopies fortes.....	73
c) Hypermétropies fortes.....	76
d) Astigmatisme fort.....	80
e) Presbytie.....	83
<b>MATÉRIEL ET MÉTHODE.....</b>	<b>84</b>
<b>I) Population.....</b>	<b>84</b>
<b>II) Recueil de données.....</b>	<b>85</b>
1) Temps pré-opératoire.....	86
2) Temps opératoire.....	86
3) Temps post-opératoire.....	91
- Contrôle post-opératoire précoce.....	91
- Contrôle post-opératoire à un mois.....	92
- Contrôle post-opératoire tardif.....	92
- Autres données recueillies.....	93
4) Questionnaire.....	93
<b>III) Analyse statistique.....</b>	<b>95</b>
<b>RÉSULTATS.....</b>	<b>96</b>
<b>I) Caractéristiques de la population et comparaison entre les groupes.....</b>	<b>96</b>
<b>II) Description du groupe myopie forte et comparaison entre les sous-groupes.....</b>	<b>108</b>
1) Description du groupe.....	108
2) Définition des sous-groupes.....	108
3) Comparaison entre les sous-groupes.....	109
4) Comparaison selon la technique opératoire : LASIK vs SMILE.....	112
<b>III) Description du groupe hypermétropie forte et comparaison entre les sous-groupes.....</b>	<b>113</b>
1) Description du groupe.....	113
2) Définition des sous-groupes.....	113
3) Comparaison entre les sous-groupes.....	114

<b>IV) Description du groupe astigmatisme fort et comparaison entre les sous-groupes .....</b>	<b>117</b>
1) Description du groupe.....	117
2) Définition des sous-groupes.....	117
3) Comparaison des sous-groupes définis sur la puissance du cylindre.....	119
4) Comparaison des sous-groupes définis sur l'axe du cylindre.....	121
<b>V) Résultats du questionnaire.....</b>	<b>123</b>
<b>DISCUSSION.....</b>	<b>133</b>
<b>I) Principaux résultats de l'étude.....</b>	<b>134</b>
<b>II) Comparaison à la littérature.....</b>	<b>139</b>
<b>III) Forces et limites.....</b>	<b>146</b>
<b>IV) Perspectives et hypothèses.....</b>	<b>149</b>
1) Analyses futures relatives à notre étude.....	149
2) Perspectives en chirurgie réfractive.....	149
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>152</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>154</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>169</b>

## ABRÉVIATIONS

AV : acuité visuelle

AVSC : acuité visuelle sans correction

MAVC : meilleure acuité visuelle corrigée

D : dioptrie

DPV : décollement postérieur du vitré

ES : équivalent sphérique

Excimer : Excited Dimer

Kmoy : kératométrie moyenne

KR : kératotomie radiaire

LASER : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

LASIK : Laser Assisted In situ Keratomileusis

MMC : mitomycine C

OBL : opaque bubble layer

OCT : tomographie à cohérence optique

PKR : photo kératectomie réfractive

PTA : pourcentage de tissu altéré

RST : residual stroma thickness ou mur résiduel stromal postérieur

SMILE : SMAll Incision Lenticule Extraction

Trans-PKR : photo kératectomie réfractive trans-épithéliale

UV-B : rayonnement ultraviolet B

ZO : zone optique

## INTRODUCTION

75% des adultes français déclarent porter une correction optique selon une enquête récente réalisée par le Syndicat National des Ophtalmologistes de France (1).

Les **fortes amétropies** nécessitent de puissantes corrections optiques. La dépendance constante à une correction et l'inconfort, qu'il soit esthétique ou optique, lié au port permanent de lunettes ou de lentilles de contact affecte la qualité de vie des patients. Dès lors, nombre d'entre eux se tournent vers la chirurgie réfractive, domaine de l'ophtalmologie pour lequel la demande est croissante (2).

L'avènement des techniques modernes de **chirurgie réfractive laser** a révolutionné la correction des amétropies par le modelage cornéen. Aujourd'hui, la chirurgie réfractive laser s'impose comme une alternative durable, efficace et sûre aux dispositifs correcteurs traditionnels. Ces avancées et la demande grandissante ouvrent la voie à un élargissement des indications des traitements réfractifs. Toutefois, jusqu'où pouvons-nous étendre nos pratiques tout en garantissant des résultats sûrs et optimaux ?

Cette étude rétrospective monocentrique propose d'explorer les données recueillies à propos de 865 yeux amétropes forts opérés de chirurgie réfractive laser :

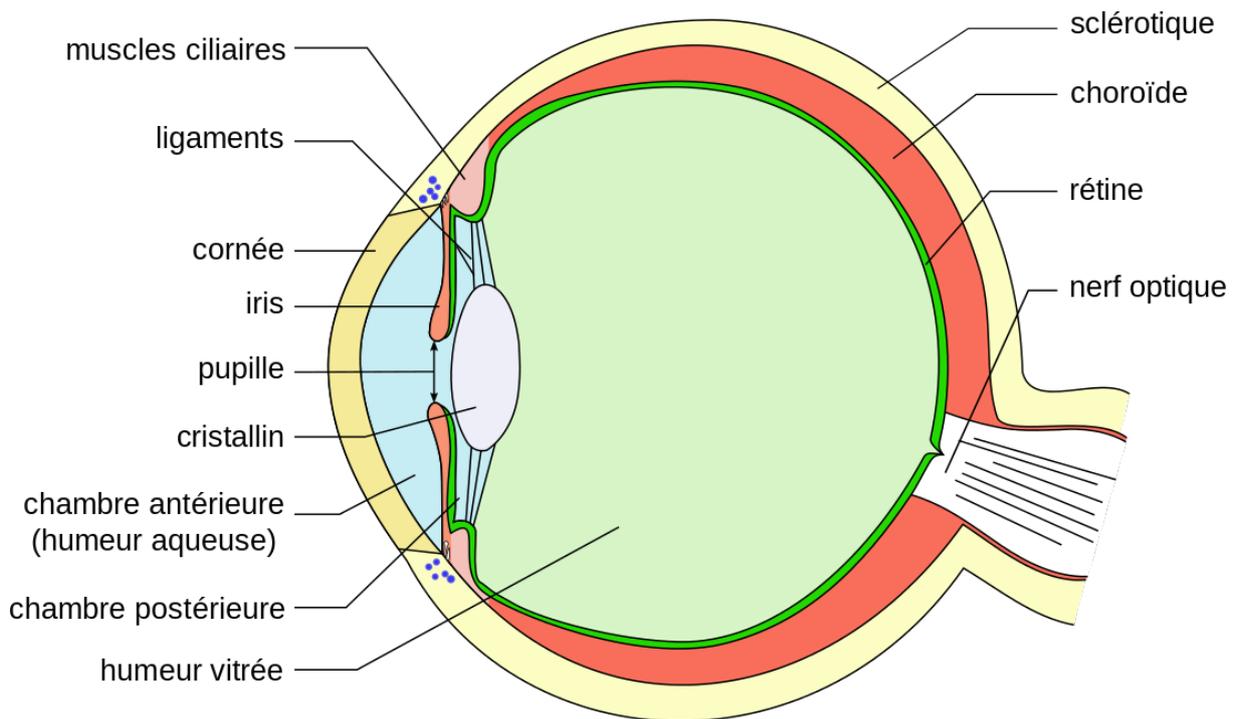
- 546 yeux ont une myopie de 6 dioptries et au-delà.
- 176 yeux ont un astigmatisme de 3 dioptries et au-delà.
- 186 yeux ont une hypermétropie de 4 dioptries et au-delà.
- 18 yeux ont une myopie forte et un astigmatisme fort.
- 25 yeux ont une hypermétropie forte et un astigmatisme fort.

Cette étude s'attache à offrir une vision globale et contextualisée de la chirurgie réfractive laser dans le traitement des fortes amétropies, par l'analyse de critères objectifs à court et moyen termes, tout en recueillant les retours des patients inclus.

## I) La cornée

### 1) Anatomie macroscopique

La cornée est située à la partie antérieure du globe oculaire et représente environ un cinquième de sa surface. Elle est en contact avec l'environnement extérieur par sa face antérieure et avec l'humeur aqueuse par sa face postérieure.



**Figure 1.** Schéma de l'œil humain en coupe.

(Talos, disponible sur <https://commons.wikimedia.org>)

La cornée est l'un des rares tissus du corps humain à être optiquement transparent. Cette propriété est essentielle dans la transmission des rayons lumineux vers le cristallin puis la rétine. Sa surface est convexe. Sa forme se rapproche de celle d'une coupole ovoïde d'un diamètre vertical d'environ 11 mm et horizontal de 12 mm.

La cornée est de configuration asphérique prolata : elle est plus bombée au centre qu'en périphérie, autrement dit son rayon de courbure décroît depuis le centre vers la périphérie.

L'épaisseur cornéenne centrale est en moyenne de 540 microns. Cette épaisseur cornéenne augmente depuis le centre vers la périphérie.

## **2) Anatomie microscopique**

Histologiquement, la cornée est composée de plusieurs couches distinctes. D'avant en arrière, on identifie : l'épithélium, la membrane de Bowman, le stroma, la couche de Dua, la membrane de Descemet et l'endothélium. Nous décrirons également le film lacrymal, ne faisant pas partie anatomiquement du tissu cornéen mais dont le lien étroit avec celui-ci est essentiel.

### **a) Film lacrymal**

Le film lacrymal est dynamique. Il est en contact direct avec l'air et tapisse la surface cornéenne. Il est produit par les glandes lacrymales et les structures annexes, et se renouvelle à chaque clignement palpébral.

Le film lacrymal mesure quelques microns d'épaisseur et est composé de la superficie vers la profondeur : d'une couche lipidique, une couche aqueuse et une couche mucinique.

Ces différentes couches lui confèrent de nombreuses propriétés : protection mécanique et immunitaire, maintien de l'hydratation, nutrition et élimination des déchets, mais aussi fonction réfractive par son interface avec l'air.

b) Épithélium

Il s'agit de la couche cornéenne la plus externe. Cet épithélium est pavimenteux stratifié non kératinisé, d'une épaisseur d'environ 50 microns. Il possède un rôle de barrière, d'échanges et facilite la dispersion du film lacrymal. Les cellules de l'épithélium cornéen se renouvellent rapidement, en quelques jours, à partir des cellules souches situées au niveau du limbe.

c) Membrane de Bowman

La membrane de Bowman est une fine couche de 8 à 12 microns, principalement composée de fibres de collagène. Elle assure la jonction entre l'épithélium et le stroma. Elle permet le maintien de la forme de la cornée et joue le rôle de barrière protectrice face aux agressions mécaniques ou infectieuses.

d) Stroma

Le stroma cornéen représente la majeure partie du tissu cornéen avec une épaisseur d'environ 450 microns. Il est composé de fibres de collagène disposées de manière régulière en lamelles et synthétisées par des kératocytes.

Le stroma confère une importante résistance mécanique tout en maintenant la transparence et la courbure cornéennes.

Le stroma cornéen est la cible des chirurgies réfractives laser.

e) Couche de Dua

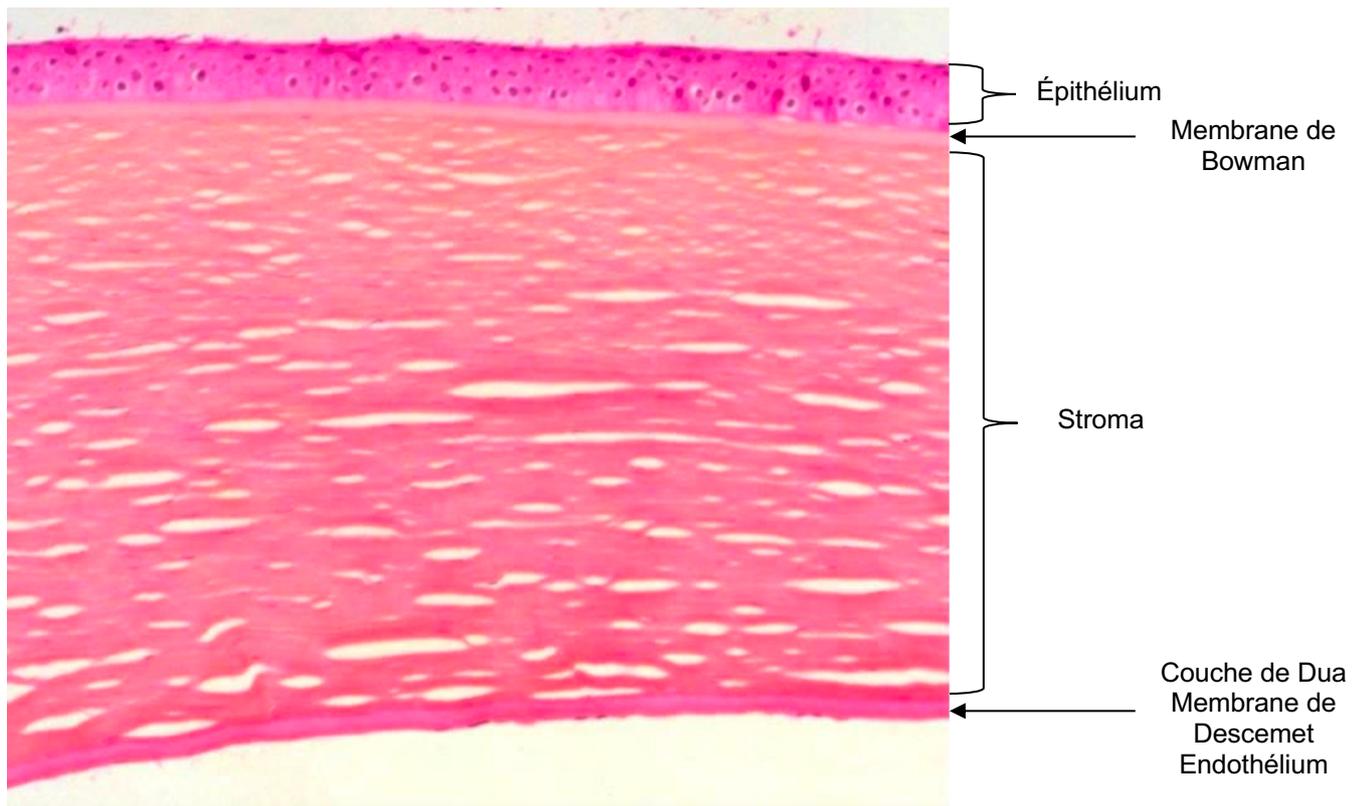
La couche de Dua a été décrite pour la première fois en 2013. Son épaisseur serait de 10 à 15 microns. Cette couche serait composée de fibrilles de collagène très compactes, plus denses que celles présentes dans le stroma sus-jacent (3).

f) Membrane de Descemet

La membrane de Descemet est la membrane basale de l'endothélium cornéen. Son épaisseur augmente progressivement au cours de la vie pour atteindre 10 à 12 microns à l'âge adulte. Elle est produite par les cellules endothéliales. Elle joue le rôle de support structurel de l'endothélium.

g) Endothélium

L'endothélium est la couche la plus profonde de la cornée, en contact avec l'humeur aqueuse circulant dans la chambre antérieure. Il s'agit d'une monocouche de cellules hexagonales homogènes. L'endothélium est arégénératif. Son épaisseur est de 5 microns. La densité cellulaire endothéliale décroît naturellement avec l'âge. Sa fonction est capitale dans la régulation de l'hydratation du stroma pour maintenir la transparence optique.



**Figure 2.** Coupe histologique de la cornée. (Pr Sevestre, Service d'anatomie et cytologie pathologiques, Centre Hospitalier Universitaire d'Amiens)

#### h) Innervation

La cornée est le tissu du corps humain le plus densément innervé avec environ 16 000 terminaisons nerveuses par  $\text{mm}^3$ . La périphérie cornéenne est plus densément innervée que le centre (4).

Les fibres nerveuses cornéennes sont issues de la première branche du nerf trijumeau via les nerfs ciliaires. Elles pénètrent dans la cornée au limbe pour se ramifier dans le stroma profond, puis deviennent de plus en plus superficielles pour former un maillage sous l'épithélium. Elles sont responsables de la sensibilité cornéenne, avec réflexe de clignement et réflexe lacrymal.

### 3) Cicatrisation

Après une agression, tel qu'un traitement réfractif, le processus de cicatrisation cornéenne est initié par une réaction inflammatoire en cascade qui permettra de régénérer les cellules stromales et épithéliales perdues. Le délai de cicatrisation varie en fonction de la couche cornéenne concernée.

La **cicatrisation épithéliale** est rapide. Elle est initiée par la migration des cellules souches limbiques dès les premières heures suivant l'effraction épithéliale. La cicatrisation s'effectue de manière centripète et de la profondeur vers la surface. Après migration, les cellules prolifèrent et se différencient pour reconstituer un épithélium pluristratifié (5).

La **cicatrisation stromale** est plus lente. L'apoptose kératocytaire au niveau de la zone lésée va entraîner la différenciation des cellules adjacentes en fibroblastes. Les fibroblastes synthétisent de nouvelles fibrilles de collagène. Le remodelage stromal et notamment la réorganisation des fibres collagéniques se poursuit jusqu'à plusieurs mois après le traumatisme. La cicatrisation physiologique se manifeste cliniquement par de fines opacités cornéennes, superficielles et transitoires (6).

Toute **anomalie de cicatrisation** peut engendrer une perte de la transparence cornéenne. Dans le stroma, la cicatrisation pathologique est en lien avec une prolifération fibroblastique excessive et une organisation insuffisante des nouvelles fibres de collagène. Des opacités nuageuses stromales, plus ou moins denses, sont alors observées en lampe à fente. Cette diminution de la transparence cornéenne est bien connue en chirurgie réfractive et appelée « haze » (terme signifiant « brume » en anglais).

La pratique d'une chirurgie réfractive cornéenne, quelle que soit la technique utilisée, induit une section des terminaisons nerveuses. L'atteinte des fibres dépend de la profondeur du traitement. La densité nerveuse ne retrouve son état pré-opératoire qu'après plusieurs mois voire années (7).

Cette atteinte peut induire une diminution de la sensibilité cornéenne et donc altérer la lubrification oculaire pour une période variable. Les symptômes en lien avec une sécheresse oculaire post-opératoire sont fréquents.

#### **4) Pouvoir réfractif**

##### a) Rappels sur la réfraction

En optique géométrique, un rayon lumineux est représenté par une flèche indiquant la direction dans laquelle l'énergie se propage. Un milieu de propagation est un matériau capable de transmettre la lumière.

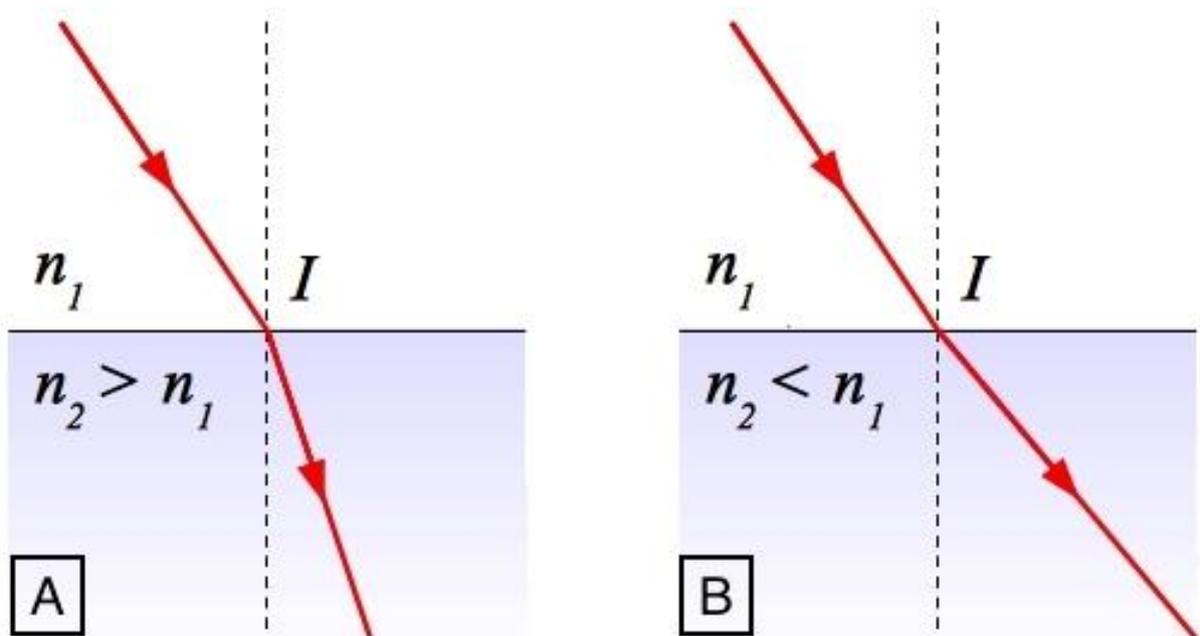
Lorsque les ondes lumineuses rencontrent une interface entre deux milieux uniformes, une partie se propage dans ce nouveau milieu : c'est le phénomène de réfraction.

**Indice de réfraction** : la lumière se propage à des vitesses différentes selon les différents milieux. La capacité d'un milieu à dévier la lumière par rapport à l'air est représentée par l'indice  $n$  de réfraction. Il est toujours supérieur ou égal à 1.

**Loi de réfraction** : une onde lumineuse traversant une interface entre deux milieux homogènes subit un changement brutal de vitesse qui entraîne une modification de sa direction.

Lorsque la lumière se propage d'un milieu à faible indice de réfraction vers un milieu à indice de réfraction plus élevé, elle est déviée en direction de la normale à la surface, provoquant ainsi un **effet de convergence**.

Lorsque la lumière se propage d'un milieu à indice de réfraction élevé vers un milieu à indice de réfraction plus faible, elle est déviée en s'éloignant de la normale à la surface, provoquant ainsi un **effet de divergence**.



**Figure 3.** Propagation des rayons lumineux en fonction des indices de réfraction.

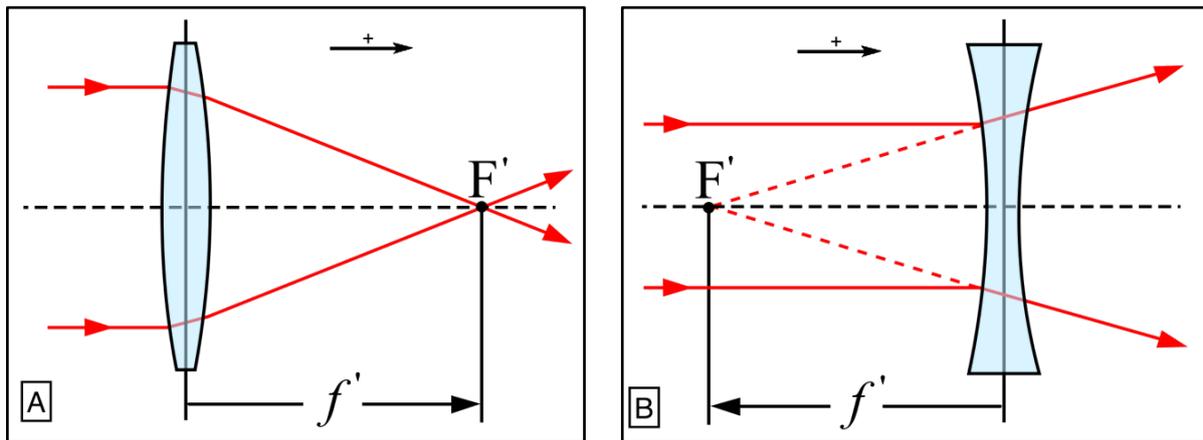
A) Le rayon incident se propage d'un milieu d'indice bas vers un milieu d'indice plus élevé ; il est dévié vers la surface normale.

B) Le rayon incident se propage d'un indice élevé vers un indice plus bas ; il est dévié en s'éloignant de la surface normale. (B. Mollier)

**Une dioptrie (D)** sphérique est l'unité de mesure du pouvoir réfractif d'une lentille ou d'un système optique. Elle correspond à l'inverse de la distance focale, exprimée en mètres.

**La distance focale** est la distance qui sépare le centre optique d'une lentille de son foyer, point où convergent les rayons lumineux. Par convention en optique, toutes les distances focales sont positives lorsqu'elles sont orientées dans le sens de propagation de la lumière.

$$\text{Dioptrie (D)} = 1 / \text{distance focale (en mètres)}$$



**Figure 4.** Soit  $f'$  la distance focale entre le centre de la lentille et son foyer  $F'$ .

A) Système optique convergent. B) Système optique divergent.

(Henrik, disponible sur <https://commons.wikimedia.org>)

Ainsi, dans un système optique convergent, la puissance dioptrique est positive. Dans un système optique divergent, la puissance dioptrique est négative (6).

Plus le rayon de courbure d'une surface réfringente sphérique est petit, plus la puissance de la surface sera importante et inversement (8).

b) Pouvoir réfractif cornéen

La cornée est la première structure de l'œil rencontrée par la lumière. Son rôle optique principal est la convergence des rayons lumineux pour obtenir la formation d'une image nette sur la rétine.

Sa capacité réfractive compte approximativement pour les deux tiers de l'ensemble du dioptre oculaire, le reste étant assuré par le cristallin. Le pouvoir convergent cornéen est en moyenne de 43 dioptries (de 40 à 45 dioptries selon les individus).

La forte puissance réfractive de la cornée résulte d'une part de sa courbure importante. Les procédures de chirurgie réfractive laser visent à moduler la courbure cornéenne pour modifier son pouvoir réfractif. D'autre part, la puissance réfractive cornéenne est également liée au gradient d'indice de réfraction entre les différents milieux. La différence d'indice de réfraction entre l'air (indice de l'air égal à 1) et la cornée (indice cornéen théorique égal à 1,376) contribue à son important pouvoir optique (9).

## 5) Moyens d'exploration

Les paramètres cornéens doivent être minutieusement explorés avant toute chirurgie réfractive. Ils permettent de déterminer la faisabilité opératoire et de dépister d'éventuelles pathologies cornéennes à risque de complications.

### a) Mesure de la pachymétrie

L'épaisseur cornéenne centrale, ou pachymétrie, peut être mesurée par divers moyens sans contact : station de pré-test multifonctionnelle de dernière génération (couplant réfractométrie / kératométrie / pachymétrie / tonométrie par mesure automatique), topographe d'élévation, OCT de cornée.

### b) Mesure de la courbure cornéenne :

La courbure cornéenne peut être mesurée à l'aide de plusieurs techniques, permettant de quantifier sa forme et sa puissance optique.

#### 1) Kératomètres

Les kératomètres permettent d'effectuer des mesures de la courbure cornéenne antérieure en sa zone centrale (sur environ 3 mm de diamètre). Ces paramètres sont obtenus par l'utilisation de kératomètres automatiques ou par mesure manuelle au kératomètre de Javal.

La kératométrie exprime le rayon de courbure cornéen le plus plat (K1), le rayon de courbure le plus cambré (K2) et le rayon de courbure moyen (K<sub>moy</sub>) en millimètres. A partir de ce rayon de courbure, on peut calculer le pouvoir réfractif cornéen en dioptries.



**Figure 5.** Exemple du Tonoref III permettant les mesures automatiques de l'erreur de réfraction sphéro-cylindrique objective, de la kératométrie, de la pression intra-oculaire et de la pachymétrie. (Nidek S.A.)

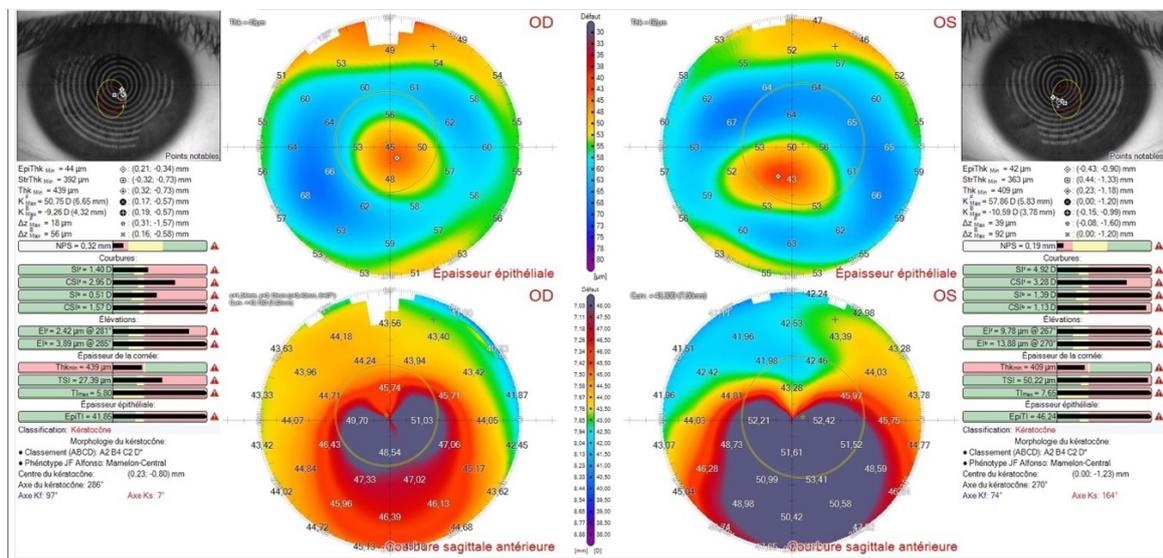
## 2) Topographes

Les topographes fournissent une cartographie de la cornée. Ils s'intéressent à beaucoup plus de points d'analyse que les kératomètres et sur la totalité de la surface cornéenne. Après acquisition, le topographe délivre des cartes exprimées selon une échelle colorimétrique. Il existe deux types de topographes :

- Topographie par réflexion spéculaire : cette méthode permet d'étudier la courbure antérieure de la cornée par acquisition de l'image du reflet cornéen des mires de Placido. Il n'y a pas d'analyse de la face postérieure et les acquisitions sont dépendantes de la qualité du film lacrymal.

- Topographie d'élévation : cette méthode est basée sur le balayage optique d'une fente lumineuse (exemple : Orbscan) ou d'une caméra rotative Scheimpflug (exemple : Pentacam). La topographie d'élévation analyse la face antérieure ainsi que la face postérieure de la cornée, permettant d'étudier leurs variations de relief et le volume cornéen. Des cartes d'élévation des faces cornéennes antérieure et postérieure, des cartes pachymétriques et des cartes kératométriques sont générées.

De nos jours, la topographie cornéenne a un rôle primordial avant toute chirurgie réfractive pour dépister une anomalie cornéenne pouvant contre-indiquer l'intervention ou certaines procédures, comme par exemple l'existence d'un kératocône.

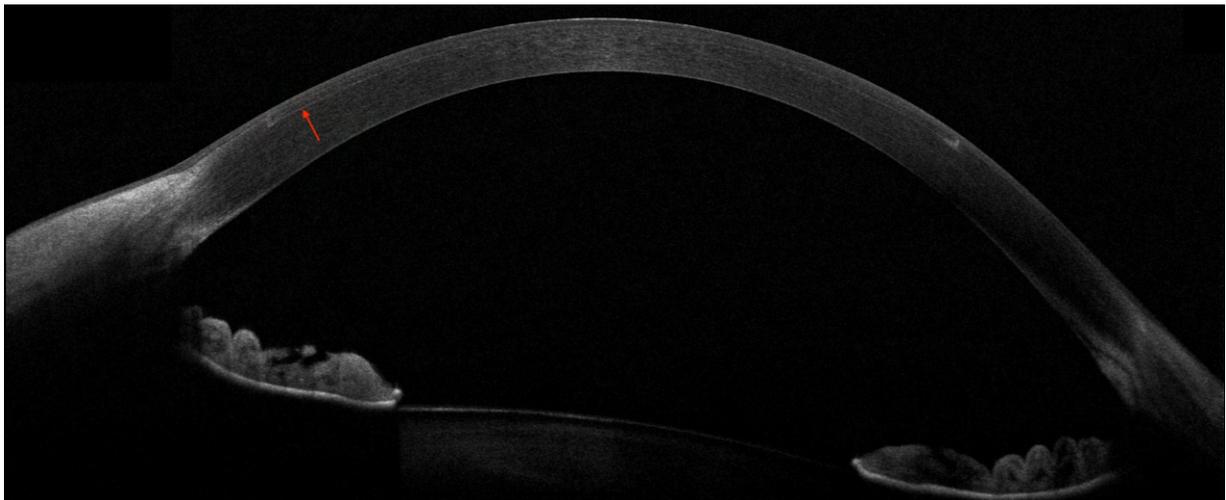


**Figure 6.** Aspect de kératocône bilatéral en topographie d'élévation (MS39 de Schwind). Le kératocône est une pathologie évolutive de la cornée caractérisée par un amincissement progressif et une déformation conique. Son diagnostic est une contre-indication absolue à la chirurgie réfractive cornéenne laser. (Cabinet Ophtalmologique des Flandres de Lille)

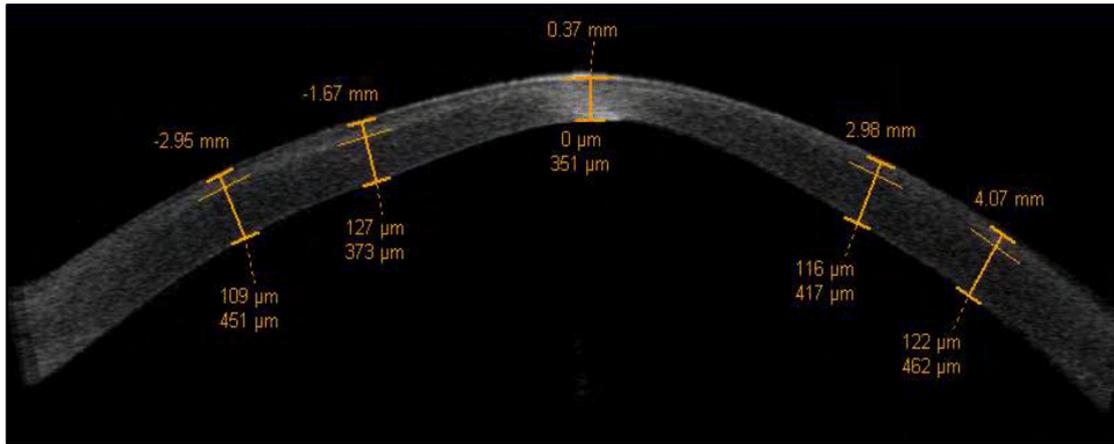
c) OCT de cornée

L'OCT de cornée permet d'obtenir des images en coupe de la cornée. L'acquisition repose sur le balayage d'un faisceau infrarouge sur la cornée, avec captation par l'appareil des faisceaux réfléchis sur les différentes couches cornéennes. En résulte une image détaillée en coupe transversale.

L'OCT de cornée en chirurgie réfractive a un intérêt dans certaines situations pré ou post-opératoires : suspicion d'ectasie cornéenne secondaire, retouche envisagée (évaluation de la profondeur et localisation d'un capot de LASIK), visualisation de réaction inflammatoire (SOS syndrome, invasion épithéliale...).



**Figure 7.** Coupe OCT d'une cornée opérée de LASIK. La flèche rouge désigne l'interface. (Cabinet Ophtalmologique des Flandres de Lille)



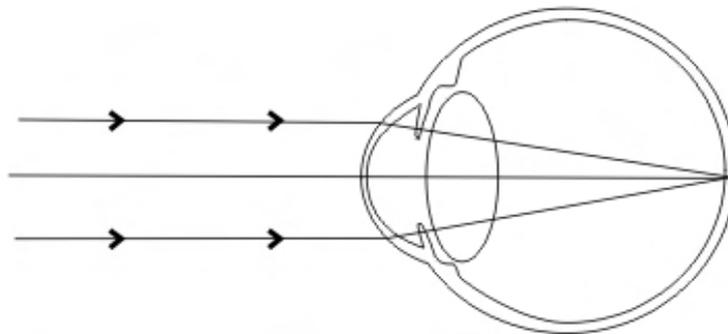
**Figure 8.** Coupe OCT d'une ectasie cornéenne post-LASIK. (D. Gatinel, disponible sur [www.gatinel.com](http://www.gatinel.com))

## II) Les amétropies

### 1) Œil emmétrype

L'emmétropie correspond à un équilibre idéal entre les différents éléments optiques de l'œil humain (longueur axiale et puissance réfractive du système cornée-cristallin) pour que les rayons lumineux convergent précisément sur la rétine sans nécessiter de correction optique.

Pour un œil emmétrype, l'image d'un objet situé à l'infini est vu net sans accommodation.



**Figure 9.** Œil emmétrype au repos.

Le point focal de l'ensemble cornée-cristallin est situé sur la rétine.

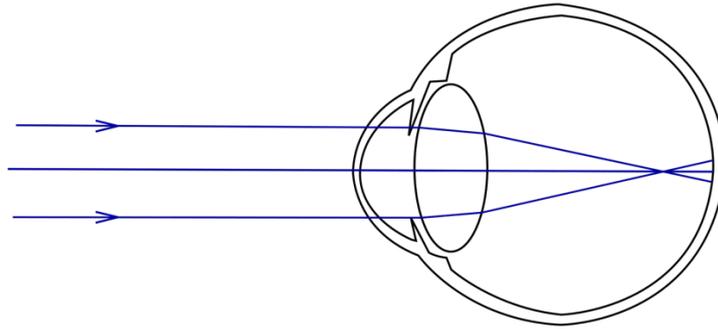
(A. Baris Toprak, disponible <https://commons.wikimedia.org>)

### 2) Myopie

#### a) Définition

La myopie est une amétropie sphérique caractérisée par une focalisation du point image en avant de la rétine. L'image d'un objet situé à l'infini sera vue floue.

Le patient myope voit net de près mais toujours flou de loin au-delà d'une certaine distance.



**Figure 10.** Œil myope.

Le point focal de l'ensemble cornée-cristallin est situé en avant de la rétine.

(A. Baris Toprak, disponible <https://commons.wikimedia.org>)

b) Types de myopie

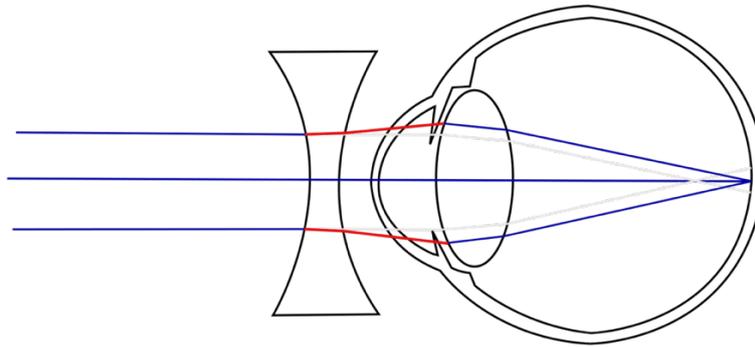
La myopie est dite **axiale** lorsque l'œil est « trop long » comparativement au pouvoir réfractif du système optique cornée-cristallin. On parle de longueur axiale augmentée. C'est le phénomène le plus fréquent.

La myopie est dite **d'indice** lorsque le système réfractif cornée-cristallin est trop convergent comparativement à la longueur de l'œil. C'est le cas lorsque la cornée est trop cambrée ; l'exemple pathologique le plus parlant est celui du kératocône. Elle peut aussi résulter d'un changement d'indice de réfraction des tissus ; comme lors de l'apparition d'une cataracte nucléaire.

Ces phénomènes peuvent s'associer.

c) Principes de correction

En pratique quotidienne, on quantifie le degré de myopie selon une mesure exprimée en dioptries. La dioptrie représente alors la puissance nécessaire des verres correcteurs pour compenser le défaut de focalisation. La myopie peut être corrigée par un verre ou une lentille concave, ou divergent, de puissance négative.

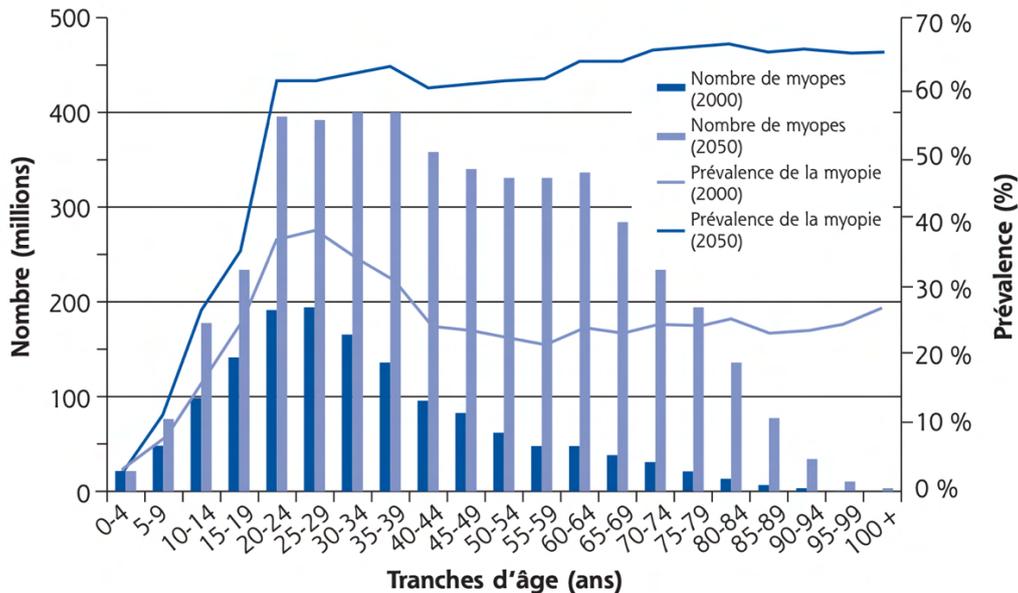


**Figure 11.** Œil myope corrigé par un verre divergent.  
(A. Baris Toprak, disponible <https://commons.wikimedia.org>)

d) Épidémiologie et évolution avec l'âge

La myopie se manifeste généralement dans l'enfance ou l'adolescence et progresse jusqu'au début de l'âge adulte. Cette donnée fait partie intégrante du raisonnement en chirurgie réfractive, puisque la stabilité de la réfraction est le garant d'un résultat durable.

Devenue un véritable problème de santé publique, la myopie est le trouble visuel le plus représenté dans le monde, et sa prévalence augmente rapidement. Les estimations récentes prévoient qu'environ 50% de la population mondiale sera myope d'ici 2050 si la tendance actuelle se poursuit. La prévalence de la myopie varie selon les régions du monde et les groupes d'âge (10).



**Figure 12.** Nombre et prévalence actuels de la myopie, et projection en 2050.  
(Holden et al.)

e) Facteurs de risque

Il est admis que si un parent est myope, ses enfants ont un risque accru de le devenir à leur tour. Le risque est encore plus important si les deux parents sont myopes (11). D'autres facteurs environnementaux et comportementaux sont associés à un risque accru de myopie, en particulier chez les enfants, comme un temps d'activité de près prolongé et un temps d'activité en extérieur réduit (12).

f) Myopie forte

La majorité des auteurs s'accorde sur les seuils suivants pour définir la sévérité de la myopie :

- Légère si comprise entre -0,25 et -3,00 D.
- Modérée si comprise entre -3,00 et -6,00 D.
- Forte lorsqu'elle dépasse -6,00 D. La myopie forte peut également être définie par une mesure de la longueur axiale > à 26mm.

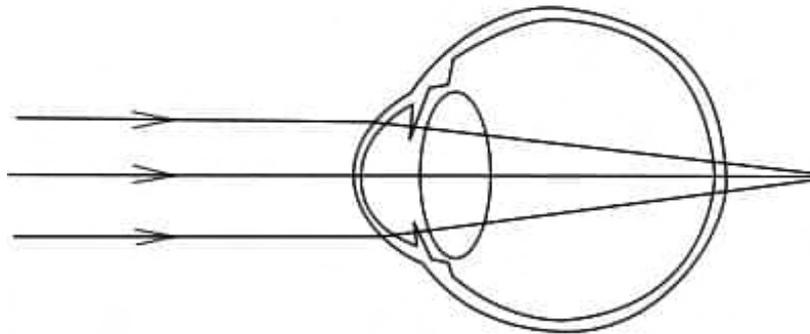
### 3) Hypermétropie

#### a) Définition

L'hypermétropie est une amétropie sphérique. L'image d'un objet se forme en arrière de la rétine, lorsque l'œil est au repos.

Le patient hypermétrope voit d'autant plus flou que les objets qu'il observe sont proches. La vision des objets peut rester relativement nette en fonction du degré d'hypermétropie et de la capacité d'accommodation du sujet.

L'hypermétrope jeune sollicite en permanence son réflexe d'accommodation pour ramener l'image sur la rétine. La capacité d'accommodation diminue lors du vieillissement physiologique, entraînant une majoration de la gêne liée à l'hypermétropie avec l'âge.



**Figure 13.** Œil hypermétrope.

Le point focal de l'ensemble cornée-cristallin est situé en arrière de la rétine.

(A. Baris Toprak, disponible <https://commons.wikimedia.org>)

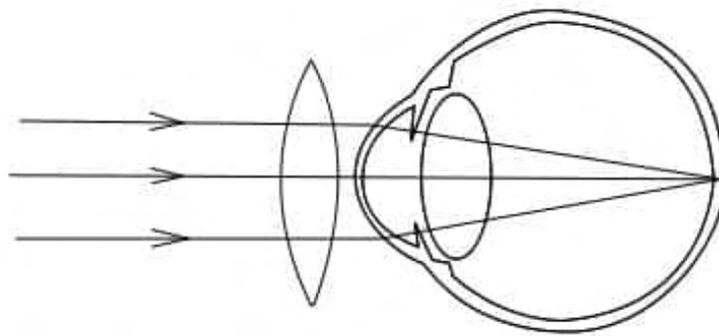
#### b) Types d'hypermétropie

L'hypermétropie est dite **axiale** lorsque l'œil est « trop court » comparativement au pouvoir réfractif du système optique cornée-cristallin.

L'hypermétropie est dite **de puissance** lorsque le système réfractif cornée-cristallin n'est pas assez convergent comparativement à la longueur de l'œil. C'est le cas des sujets ayant une cornée trop plate ou des sujets aphaques.

c) Principes de correction

L'hypermétropie peut être corrigée par un verre ou une lentille convexe, ou convergent, de puissance positive.



**Figure 14.** Œil hypermétrope corrigé par un verre convergent.  
(A. Baris Toprak, disponible <https://commons.wikimedia.org>)

d) Épidémiologie et évolution avec l'âge

Les données épidémiologiques sur l'hypermétropie sont moins étoffées que celles concernant la myopie. Les renseignements sur l'hypermétropie sont difficilement chiffrables, puisque sa description nécessite une réfraction sous cycloplégie chez les sujets ayant une grande réserve accommodative.

L'hypermétropie est physiologique en dessous d'une certaine puissance chez les jeunes enfants. Elle diminue progressivement avec la croissance du globe oculaire jusqu'à atteindre, dans les situations idéales, l'emmétropisation fonctionnelle au début de l'adolescence (13).

La prévalence chez l'adulte jeune est de l'ordre de 20 à 30%. Cette prévalence reste stable jusqu'à l'âge de 50 ans puis a tendance à augmenter pour atteindre 60% chez les sujets âgés de 70 à 80 ans (14).

e) Forte hypermétropie

Selon les définitions, l'hypermétropie est distinguée entre :

- Hypermétropie faible à modérée : de +0,75 à +4,00 D. Souvent tolérée sans correction optique par les sujets concernés au prix d'un effort d'accommodation.
- Hypermétropie forte : au-delà de +4,00 D. L'accommodation n'est plus suffisante pour compenser l'hypermétropie. Le port d'une correction optique est nécessaire.

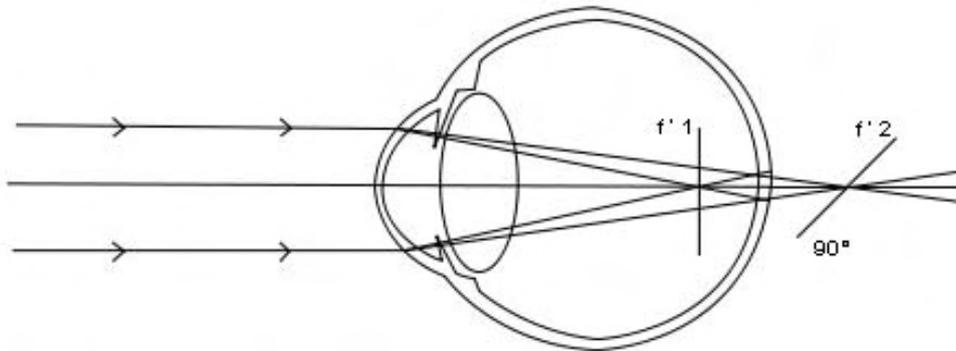
La frontière entre hypermétropie faible à modérée et hypermétropie forte reste mal définie, il n'existe pas de consensus dans la littérature à ce jour. De même, la prévalence de l'hypermétropie forte dans la population adulte n'est pas connue.

#### 4) Astigmatisme

##### a) Définition

Un système optique est stigmatique lorsque l'image d'un point est ponctuelle. Au contraire, la perte du caractère ponctuel de l'image définit un système dit « astigmatique ».

L'astigmatisme est une amétropie cylindrique. Dans un œil astigmatique, la puissance optique diffère selon l'axe du méridien considéré. Un point objet produit alors deux images focales distinctes, qui ne se superposent pas, entraînant une vision floue à toute distance.



**Figure 15.** Astigmatisme régulier.

Les rayons lumineux ne convergent pas en un seul point mais en deux droites focales. (A. Baris Toprak, disponible <https://commons.wikimedia.org>)

##### b) Formulation

La puissance de l'astigmatisme est mesurée en dioptries et correspond à la différence de puissance maximale entre deux méridiens. Cette mesure s'accompagne d'un axe exprimé en degrés, qui correspond à l'angle entre le méridien le plus cambré et le plan horizontal.

La puissance de l'astigmatisme peut être exprimée aussi bien en cylindre négatif qu'en cylindre positif selon une règle de conversion.

Tout astigmatisme peut être associé à une amétropie sphérique.

La réfraction est ainsi décomposée optiquement en une composante sphérique et une composante cylindrique. L'**équivalent sphérique** modélise la puissance effective de focalisation de l'œil, soit la composante sphérique statistiquement indépendante de l'astigmatisme. L'équivalent sphérique est égal à la somme de la sphère et de la moitié du cylindre :

$$\text{Équivalent sphérique} = \text{Puissance sphérique} + \frac{\text{Puissance cylindrique}}{2}$$

c) Classification

L'**astigmatisme total** d'un œil résulte de l'addition de l'astigmatisme cornéen et de l'astigmatisme interne.

L'**astigmatisme cornéen** résulte d'une différence de puissance dioptrique entre les méridiens de la cornée. En pratique clinique, l'astigmatisme cornéen est extrapolé à l'astigmatisme de la face antérieure de la cornée. Il est mesuré avec un réfractomètre automatique ou un topographe.

L'**astigmatisme interne** résulte de la combinaison des autres dioptries de l'œil (face antérieure et face postérieure du cristallin, segment postérieur).

Un astigmatisme peut être décrit selon sa **symétrie** (astigmatisme régulier ou irrégulier), selon son **axe** (astigmatisme direct, inverse ou oblique), et selon la **position des droites focales par rapport à la rétine**.

### 1) Symétrie : astigmatisme régulier ou irrégulier

Dans l'astigmatisme **régulier**, les deux méridiens principaux sont perpendiculaires l'un à l'autre et le pouvoir réfractif d'un héli-méridien est symétrique à l'autre héli-méridien (du même méridien).

Dans l'astigmatisme **irrégulier**, les courbures ne suivent pas de schéma prévisible. Les deux méridiens principaux ne sont pas orthogonaux et les puissances de courbure sont inégales sur un même méridien. En pratique, un astigmatisme irrégulier est difficilement corrigible en verre cylindrique. La topographie cornéenne est l'examen de choix pour permettre son analyse. La pathologie principalement associée aux astigmatismes irréguliers est le kératocône.

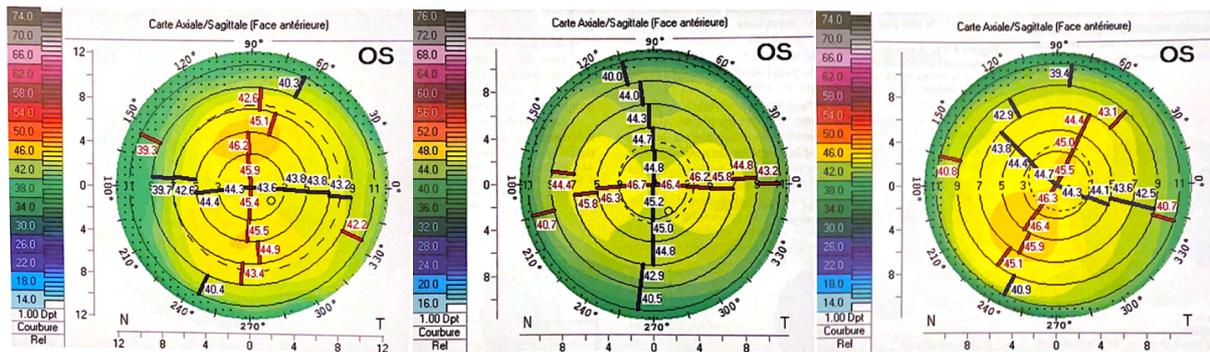
### 2) Axe : astigmatisme direct, inverse ou oblique

Les astigmatismes réguliers peuvent être définis selon leur axe.

L'astigmatisme est dit « **direct** » ou « conforme à la règle » si le méridien le plus puissant (le plus cambré) est d'axe vertical, c'est-à-dire autour de 90°. C'est le cas le plus fréquemment observé.

L'astigmatisme est dit « **inverse** » ou « non conforme à la règle » si le méridien le plus puissant est d'axe horizontal, c'est-à-dire autour de 180°.

L'astigmatisme est dit « **oblique** » dans les situations intermédiaires. L'axe de l'astigmatisme sera compris entre 30 et 60° ou entre 120 et 150°.



**Figures 16 à 18.** Astigmatismes réguliers cornéens vus en topographie cornéenne (Pentacam). De gauche à droite : Astigmatisme « direct », le méridien le plus cambré est vertical. Astigmatisme « inverse », le méridien le plus cambré est horizontal. Astigmatisme « oblique », le méridien le plus cambré est à plus de 30° de l'axe vertical ou horizontal. (Albou-Ganem C. et Cochener-Lamard B. Chirurgie réfractive, volume 2, édition Lavoisier, 2016)

### 3) Astigmatisme myopique, hypermétropique ou mixte

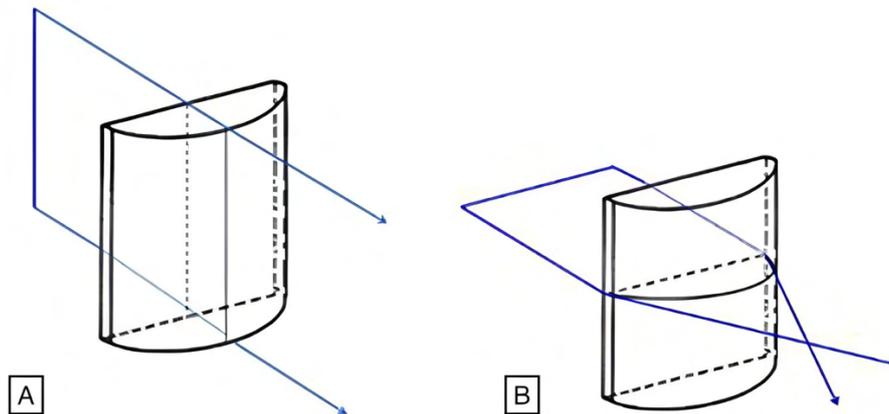
Les astigmatismes réguliers peuvent également être classés en fonction de la position des droites focales formées par un point objet par rapport au plan rétinien.

- **Myopique simple** : une des focales est en avant du plan rétinien.
- **Myopique composé** : les deux focales sont en avant du plan rétinien.
- **Hypermétropique simple** : une des focales est en arrière du plan rétinien.
- **Hypermétropique composé** : les deux focales sont en arrière du plan rétinien.
- **Mixte** : la focale antérieure est en avant du plan rétinien et la focale postérieure est en arrière du plan rétinien.

d) Principes de correction

L'astigmatisme ne peut être corrigé par un verre sphérique seul. Lorsqu'il est régulier, il peut être corrigé par un verre cylindrique ou une lentille torique.

Lorsqu'il est associé à une amétropie sphérique, la correction se fait au moyen de verres sphéro-cylindriques.



**Figure 19.** Verre cylindrique positif.

A) Les rayons traversant le méridien vertical ne sont pas déviés.

B) Les rayons traversant le méridien horizontal convergent.

(disponible sur [www.crylight.com](http://www.crylight.com))

e) Épidémiologie et évolution avec l'âge

L'astigmatisme est l'amétropie la plus fréquente. La moitié de la population mondiale aurait un astigmatisme supérieur à 0.50 D. La prévalence des astigmatismes de plus de 1,75 D ne serait que de 3,3%, tous âges confondus. Les astigmatismes réguliers directs sont majoritaires comparativement aux astigmatismes inverses ou obliques, avec respectivement une prévalence estimée à 47%, 34% et 19% (15-16).

La cornée des nouveau-nés présente de hauts degrés d'astigmatisme, plutôt inverse (17). Avec la croissance de l'enfant, l'astigmatisme inverse diminue pour tendre vers un astigmatisme direct de faible puissance (18). À l'âge adulte, l'astigmatisme direct est le plus fréquemment rencontré. Après 40 ans, l'astigmatisme tend de nouveau à basculer vers un axe inverse (19-20).

## 5) Accommodation et presbytie

### a) Accommodation

L'accommodation est le processus par lequel le cristallin augmente sa puissance optique pour focaliser les rayons lumineux sur la rétine. L'accommodation est souvent comparée à l'autofocus d'un appareil photo et permet à l'œil humain de voir net à différentes distances.

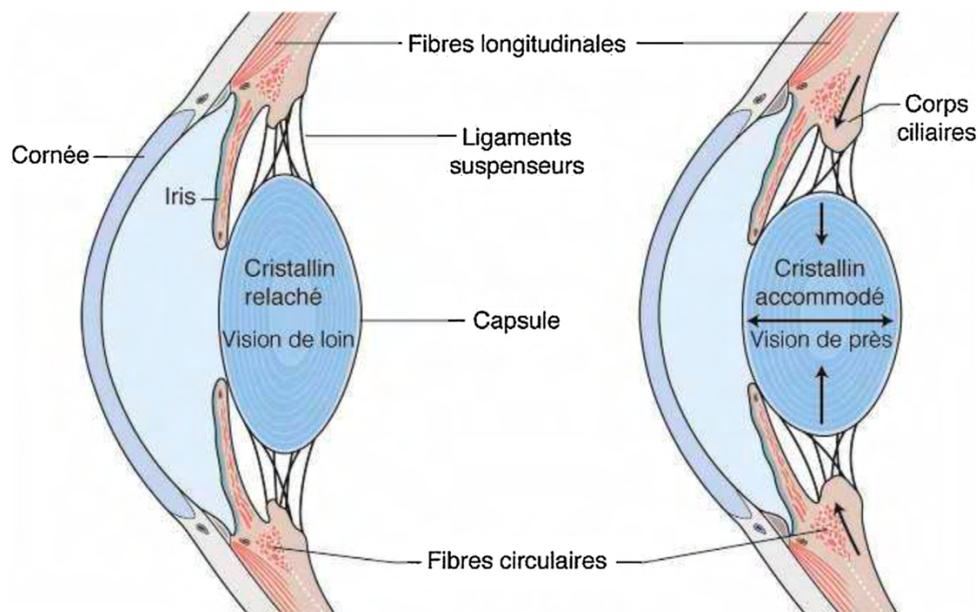
Les principaux acteurs de l'accommodation sont : le cristallin, le muscle ciliaire et la zonule.

Le **cristallin** est une lentille biconvexe transparente entourée d'une capsule. Avec une puissance dioptrique « de repos » d'environ 21 dioptries, le cristallin participe à un tiers du pouvoir réfractif oculaire.

Le **muscle ciliaire** est un muscle lisse contrôlé par le système nerveux autonome via le nerf oculomoteur. Il s'insère en dehors à la sclère et en dedans au corps ciliaire, par le biais de fibres longitudinales et circulaires.

Les **fibres zonulaires**, ou ligament suspenseur du cristallin, créent le lien sur 360° entre le corps ciliaire et l'équateur du cristallin.

L'accommodation est liée à la variation de courbure du cristallin. Cette déformation est possible grâce à l'élasticité cristallinienne. Lors de l'effort d'accommodation, la contraction du muscle ciliaire va rapprocher les corps ciliaires du cristallin et relâcher la traction zonulaire exercée. Le cristallin prend alors une forme passive plus sphérique. Sa puissance chez le sujet jeune peut augmenter jusqu'à 30 dioptries.



**Figure 20.** Modifications du corps ciliaire, de la zonule et du cristallin au cours de l'accommodation. (Albou-Ganem C. et Cochener-Lamard B. Chirurgie réfractive, volume 2, édition Lavoisier, 2016)

#### b) Presbytie et principes de correction

La diminution physiologique de l'élasticité cristallinienne avec l'âge entraîne une perte progressive de l'accommodation, dénommée **presbytie**. L'œil presbyte ne peut plus effectuer de mise au point efficace en vision rapprochée. La presbytie est croissante et progressive à partir de la cinquième décennie.

Le manque de puissance convergente au cours de la presbytie nécessite l'adjonction d'une correction optique convexe (ou moins concave dans le cas de patients myopes). Le regard pour la vision de près se portant vers le bas, cette addition peut être appliquée dans le bas d'un verre de lunettes : c'est le principe des verres **progressifs**.

Les autres méthodes de correction sont fixes : qu'il s'agisse des lentilles, des implants intra-oculaires ou des modifications apportées à la cornée, elles deviennent partie intégrante de l'œil et ne peuvent bénéficier de l'effet du « mouvement du regard ».

Le principe de **multifocalité** fait référence à la capacité d'un système optique à fournir plusieurs points focaux pour corriger la vision à différentes distances. Le système multifocal va répartir les rayons lumineux : certains convergeront sur la rétine pour un objet vu de près et d'autres convergeront sur la rétine pour un objet vu au loin.

Il est également possible d'adopter une approche selon laquelle chaque œil est optimisé pour une distance différente : c'est le principe de la **monovision**. La monovision consiste à laisser ou introduire une myopie sur l'œil non dominant pour améliorer la vision de près sans correction. L'œil dominant sera corrigé pour la vision de loin.

Ces deux principes n'offrent pas de vision parfaite à toutes les distances, et le patient presbyte doit intégrer la notion de compromis visuel. En pratique, la multifocalité et la monovision peuvent être combinées.

### **III) La chirurgie réfractive**

La chirurgie réfractive regroupe l'ensemble des méthodes ayant pour but de **corriger de manière durable les troubles de la réfraction**. Elle a pour principal objectif d'affranchir le patient du port de verres correcteurs et de lentilles de contact.

Ces interventions figurent parmi les procédures les plus pratiquées dans les pays industrialisés. Actuellement, la technique de chirurgie réfractive cornéenne est la plus répandue. En France, 150 000 interventions de chirurgie réfractive ont été pratiquées en 2013 selon l'Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé. Ce chiffre avoisinerait les 200 000 interventions par an actuellement en France, comme chez nos confrères anglais, espagnols et allemands (21).

#### **1) Prémices de la chirurgie réfractive cornéenne : débuts du remodelage de la cornée, avant l'ère du laser (1960-1980)**

L'histoire de la chirurgie réfractive est récente et a transformé la prise en charge des amétropies au fil des décennies. Elle est marquée par des progrès technologiques significatifs constants, passant des premières tentatives de remodelage de la cornée jusqu'aux techniques laser modernes. Voici un aperçu des grandes étapes de cette histoire.

##### **a) Chirurgie incisionnelle**

Le principe de la chirurgie incisionnelle est basé sur l'affaiblissement biomécanique de la cornée périphérique pour entraîner un aplatissement central du dôme cornéen.

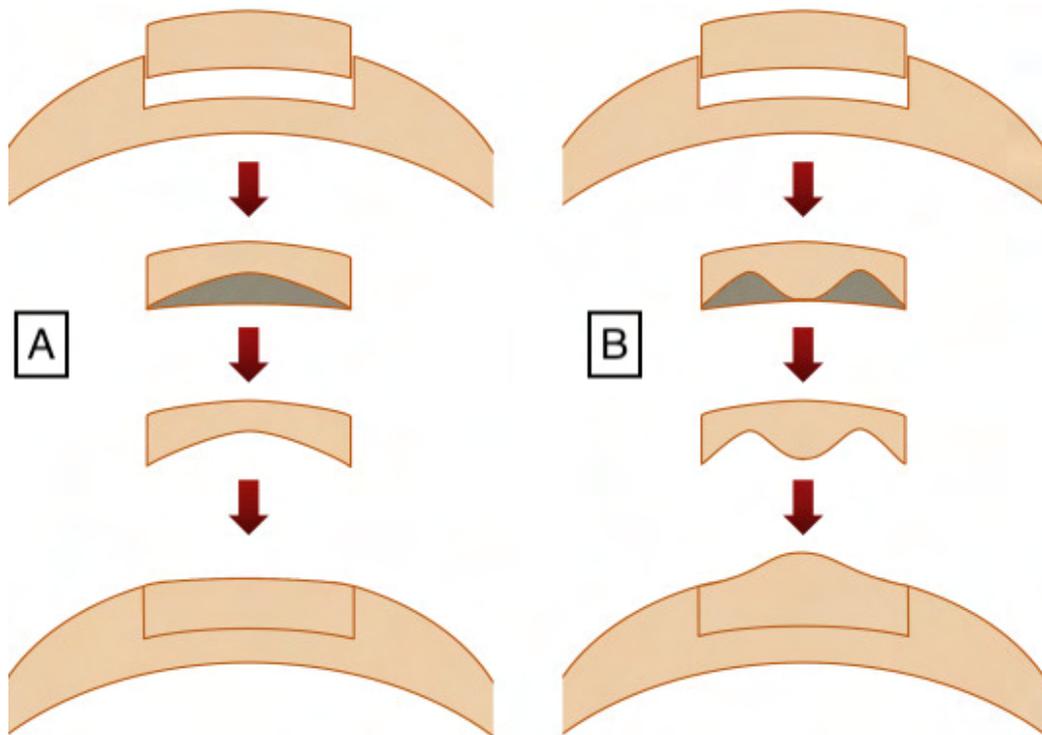
Dès 1930, Sato expérimente au Japon le traitement de la myopie et de l'astigmatisme par scarification profonde de la cornée (22).

L'idée est reprise au début des années 1970 par l'ophtalmologiste russe Fyodorov. Il propose un protocole de chirurgie incisionnelle permettant de traiter les myopies : la **kératotomie radiaire** (27). Cette technique s'est ensuite étendue en Amérique du Nord puis en Europe et fut largement employée dans les années 80. La procédure consiste à réaliser manuellement des incisions cornéennes profondes, radiaires et périphériques au bistouri. Le nombre et la longueur des incisions sont choisis en fonction du degré de myopie à corriger. Seules les myopies faibles à modérées peuvent être corrigées. La variabilité des résultats, l'instabilité de la vision et l'inconfort pour le patient en font aujourd'hui une pratique désuète (28).

#### b) Chirurgie de soustraction tissulaire

La chirurgie de soustraction tissulaire consiste à supprimer une partie du tissu cornéen afin de modifier la courbure cornéenne.

Dans le début des années 1960 en Colombie, Barraquer développe une technique nommée « **Keratomileusis** » (kerato = cornée, mileusis = sculpter) (29). L'intervention consiste à découper puis prélever un lambeau cornéen antérieur incluant du stroma. La découpe primaire est réalisée à l'aide d'un microkératome, instrument chirurgical permettant de réaliser une découpe fine et régulière des couches superficielles de la cornée. La seconde découpe, à visée réfractive, est ensuite appliquée ex vivo à la face postérieure de la lentille extraite. Cette étape de remodelage est réalisée, après congélation du lenticule, grâce à un instrument appelé « cryotour ». Le profil d'ablation dépend de l'amétropie traitée et de sa sévérité. En fin d'intervention, le lambeau remodelé est repositionné sur la surface cornéenne.



**Figure 21.** Chirurgie de soustraction tissulaire.

A) Profil de découpe pour la correction d'une myopie.

B) Profil de découpe pour la correction d'une hypermétropie.

(George O. Waring Corneal, Surgery 4th edition, 2009)

Le concept de découpe suivi d'un remodelage cornéen était né.

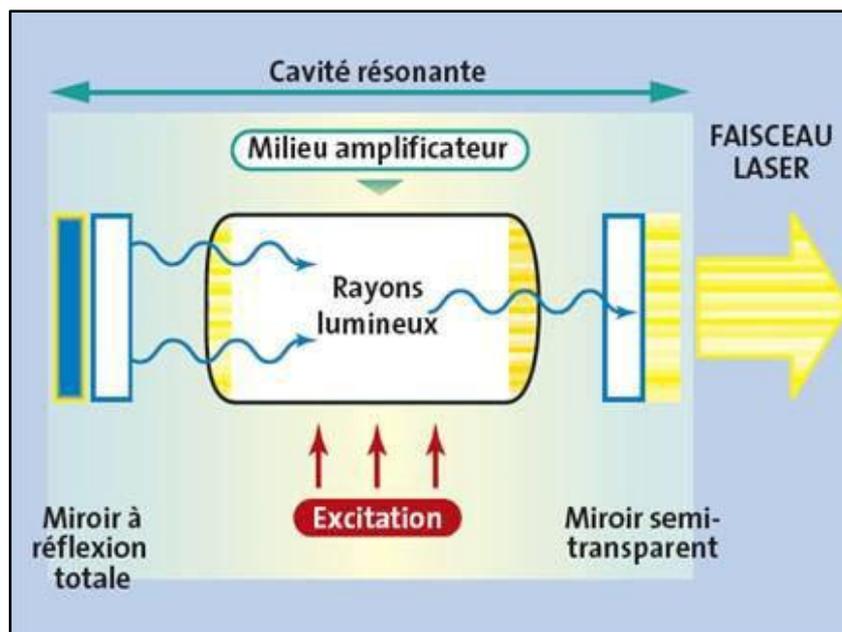
## 2) L'avènement des lasers (à partir des années 1980)

Un laser (acronyme de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) est un dispositif qui produit un faisceau photonique cohérent dans le temps et dans l'espace. Le faisceau résultant est monochromatique (émission d'une seule longueur d'onde) et très concentré, contrairement à la lumière ordinaire qui se disperse dans toutes les directions. Le premier laser est créé en 1960 par le physicien Maiman (30).

a) Principes de fonctionnement

Le laser est composé d'un résonateur ou cavité amplificatrice, d'un milieu dit optiquement actif et d'une source d'énergie externe.

Après stimulation par la source d'énergie externe, l'excitation du milieu optiquement actif permet d'obtenir une émission de photons simultanée de même fréquence, de même phase et de même direction. Ces photons rebondissent entre des miroirs aux extrémités de la cavité amplificatrice, stimulant ainsi l'émission de nouveaux photons et augmentant la lumière cohérente dans le milieu. Un des miroirs n'est que partiellement réfléchissant, permettant la sortie du faisceau laser (8).



**Figure 22.** Structure schématique d'un laser.  
(disponible sur <https://www.researchgate.net>)

## 1) Laser Excimer

Le laser Excimer fait son apparition dans les années 1970. Il faudra attendre une décennie avant le début de ses applications en médecine. En 1983, Trokel réalise les premières ablations tissulaires sur cornée de vache au laser Excimer (31). En 1988 aux Etats-Unis, la première intervention à visée réfractive au laser Excimer sur un œil humain voyant est pratiquée (32).

Son nom dérive des termes "**excited dimmer**," faisant référence aux molécules excitées qui génèrent le faisceau laser (« dimères excités »). Le laser Excimer émet des photons ayant une longueur d'onde spécifique de 193 nm appartenant au spectre du rayonnement ultraviolet. Les photons sont délivrés en impulsions rapides et précises, appelées tirs. Chaque tir enlève une quantité extrêmement fine et précise de matière : la rupture des liaisons intra-moléculaires entraîne la vaporisation du tissu ciblé, sans dissipation de chaleur et sans endommagement des structures sous-jacentes. C'est le phénomène de **photo-ablation**. La répétition de ces tirs permet d'obtenir la courbure cornéenne nécessaire à la correction du défaut réfractif.

L'utilisation du laser Excimer a révolutionné la chirurgie réfractive cornéenne en offrant une méthode hautement précise de remodelage cornéen.

## 2) Laser femtoseconde

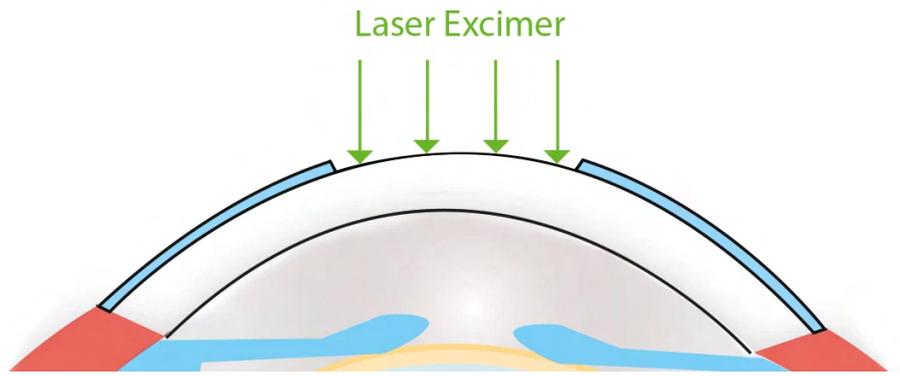
Le laser femtoseconde a été développé dans les années 1990 et ses premières applications en ophtalmologie ont débuté à la fin du XX<sup>ème</sup> siècle (33).

Son principe repose sur l'émission d'impulsions lumineuses extrêmement brèves dont la durée est de l'ordre de quelques femtosecondes, l'équivalent d'un millionième de milliardième de seconde. Le laser femtoseconde émet une longueur d'onde proche de l'infrarouge et permet des découpes intra tissulaires très précises sans générer de chaleur. L'exposition à ce rayonnement provoque une cassure des liaisons entre électrons et atomes (ionisation). En résulte la création de bulles microscopiques de cavitation (plasma) qui s'agrègent, entraînant une rupture localisée du tissu de manière contrôlée. Lorsque les impulsions sont juxtaposées de manière contiguë, le tissu exposé peut être coupé dans tous les plans imaginables en trois dimensions du tissu cornéen (34).

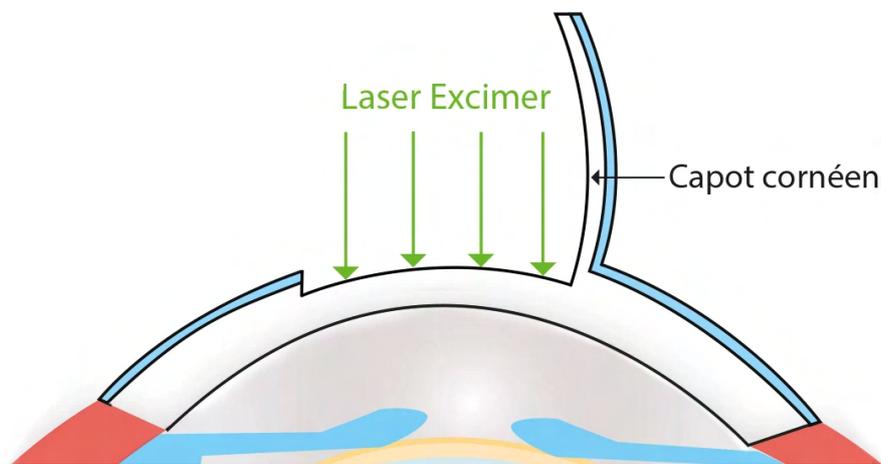
### b) Description des techniques actuelles

Les progrès technologiques en chirurgie réfractive ont permis d'accroître les possibilités chirurgicales. La PKR, le LASIK et le SMILE sont des techniques de correction chirurgicale utilisant le laser Excimer et/ou le laser femtoseconde.

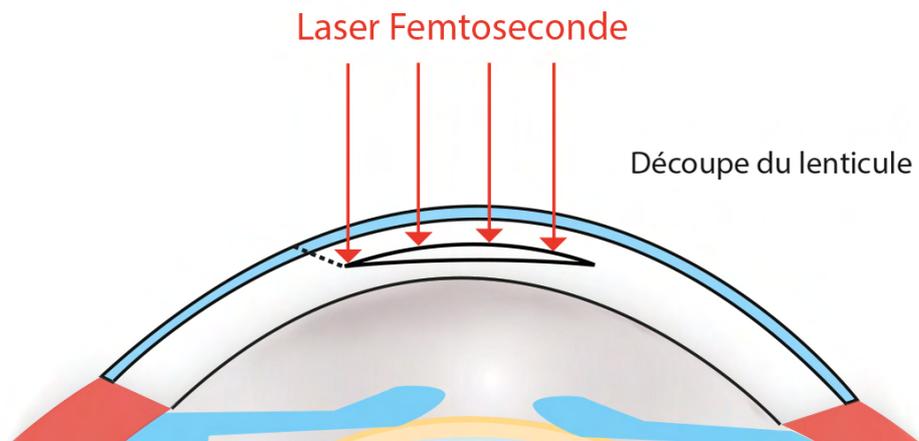
Les schémas suivants permettent un aperçu des trois méthodes opératoires avant de décrire précisément le déroulement de chacune.



**Figure 23.** Schéma du principe de traitement par la technique PKR. Le traitement photo-ablatif est appliqué après retrait de l'épithélium cornéen.



**Figure 24.** Schéma du principe de traitement par la technique LASIK. Un volet cornéen est créé et soulevé avant l'application du traitement photo-ablatif.



**Figure 25.** Schéma du principe de traitement par la technique SMILE. Un lentille intra-stromal est créé puis extrait.  
(Trinh L. disponible sur [www.liemtrinh.com](http://www.liemtrinh.com))

## 1) PhotoKératectomie Réfractive (PKR)

La photokératectomie à visée réfractive, réalisée depuis 1991 en France, est la plus ancienne technique chirurgicale réfractive utilisant un laser. Elle permet aujourd'hui de corriger la myopie, l'hypermétropie et l'astigmatisme.

### i. Technique opératoire

Conditions opératoires : l'intervention doit être réalisée dans une pièce où les conditions d'hygrométrie et de température sont contrôlées pour permettre le bon fonctionnement du laser. La salle opératoire doit également respecter les conditions d'asepsie définies pour ce type d'intervention : filtration et renouvellement de l'air, flux laminaire constant, matériel jetable à usage unique, port d'une tenue de bloc opératoire, d'un calot et de sur-chaussures pour les soignants et le patient.

Préparation du laser : la procédure débute par le calibrage du laser Excimer, consistant au contrôle de l'émission laser et au choix du profil d'ablation.

Avant chaque nouveau traitement, un test de fluence est réalisé. La fluence mesure le flux d'énergie délivrée par unité de surface.

Le chirurgien entre les valeurs de la réfraction à corriger, puis choisit le diamètre de l'aire traitée : c'est la **zone optique (ZO)**. L'élargissement de la ZO de traitement améliore la qualité de vision, en réduisant les halos et éblouissements nocturnes post-opératoires. Cependant, pour une ablation d'une même puissance, plus le diamètre de la ZO est important, plus l'épaisseur de tissu cornéen consommé sera grande (35). Ainsi, avant la chirurgie, le praticien décide d'un compromis entre ZO la plus grande possible et conservation d'une épaisseur stromale résiduelle suffisante.

Installation : le patient est installé en décubitus dorsal sur le lit chirurgical de la plateforme laser. Sa tête est positionnée de sorte à orienter horizontalement le plan irien. Une anesthésie topique est réalisée par chlorhydrate d'oxybuprocaine ou chlorhydrate de tétracaïne. Les paupières sont badigeonnées à deux reprises d'un antiseptique à usage oculaire en incluant les culs-de-sac conjonctivaux. Un champ stérile recouvre la zone périorbitaire et un blépharostat est positionné afin de maintenir l'ouverture palpébrale.

Centrage : l'étape de centrage du traitement est essentielle. Elle peut être réalisée avant ou après retrait de l'épithélium. Le traitement est centré sur le point de fixation du patient qui est invité à porter son regard sur un point de repère. Le système de « eye tracking » intégré permettra la détection et la poursuite des mouvements oculaires du patient pendant le traitement laser.

Ablation de l'épithélium : le débridement épithélial cornéen est réalisé par grattage mécanique, parfois facilité par l'application d'une solution de cocaïne, ou moins fréquemment par application d'une solution alcoolique. Le diamètre de la zone désépithélialisée doit être supérieur à la zone de traitement, tout en préservant l'épithélium périphérique pour favoriser la cicatrisation. Apparue à la fin des années 2000, une technique d'ablation épithéliale sans contact par le laser Excimer peut aujourd'hui être pratiquée : la trans-PKR (36).

Délivrance du traitement : une fois le stroma antérieur exposé, le traitement photo-ablatif est appliqué. Les lasers Excimer de dernière génération sont capables de traiter une dioptrie en une seconde (37). Durant toute la procédure, le patient a pour

consigne de fixer un repère lumineux. Les systèmes de « eye tracking » suivent les micro-déplacements de l'œil et adaptent instantanément le positionnement des tirs.

Selon l'amétropie à corriger, le laser Excimer délivre différents profils d'ablation :

- La photo-ablation myopique est centrale de manière à aplatir la cornée.
- La photo-ablation hypermétropique est périphérique de manière à faire bomber le centre de la cornée. Elle nécessite une zone de traitement de plus grand diamètre.
- Le profil d'ablation torique peut être programmé en cylindre négatif pour aplatir le méridien le plus cambré (astigmatisme myopique) ou en cylindre positif pour cambrer le méridien le plus plat (astigmatisme hypermétropique ou mixte).
- La photo-ablation peut être multifocale pour augmenter la profondeur de champ chez les patients presbytes.

Mitomycine C : suite à l'étape de photo-ablation, un traitement adjuvant par application de Mitomycine C (MMC) peut être réalisé. La MMC est un agent antimitotique utilisé pour réduire le risque de « haze » post-opératoire en minimisant la prolifération des fibroblastes. L'apparition d'un « haze » est corrélée à la sévérité de l'amétropie corrigée. L'application de MMC est particulièrement recommandée en cas de forte amétropie ou lors d'une retouche (38-39). Un disque de cellulose imbibé de MMC est appliqué sur le stroma cornéen immédiatement après le traitement laser pendant une durée de 10 à 30 secondes. La cornée périphérique doit être respectée et un lavage abondant au décours diminue le risque de toxicité locale.

Post-opératoire : en fin d'intervention, une lentille thérapeutique est posée. La lentille aura un effet antalgique et sera retirée par l'ophtalmologiste après fermeture épithéliale autour du cinquième jour post-opératoire. Un traitement local par antibiotique est débuté dès la fin d'intervention au bloc opératoire. Des antalgiques per os sont habituellement prescrits les premiers jours.

ii. Avantages de la PKR

La PKR permet une correction plus précise et uniforme comparativement à la kératotomie radiaire, avec un risque réduit d'instabilité. Avec un recul de plus 30 ans d'expérience, la PKR a largement démontré sa fiabilité et sa sûreté dans de multiples études.

La PKR est de réalisation technique **simple** sur le plan opératoire. Les retouches sont également facilement réalisables si l'épaisseur stromale résiduelle est suffisante.

Le risque d'**ectasie cornéenne** post-opératoire après PKR est quasi nul si les contre-indications pré-opératoires sont respectées. Son incidence est estimée entre 0,02 et 0,03% (40-42). La technique de PKR a connu un nouvel essor depuis la découverte et les progrès du dépistage des cornées à risque d'ectasie. La PKR est particulièrement adaptée aux cornées fines ou irrégulières.

La PKR n'implique pas la réalisation d'un volet cornéen et s'affranchit donc des complications qui lui sont liées. Elle doit être privilégiée dans les cas de **professions à risque** ou la pratique de **sport de contact**.

La **sécheresse oculaire** est la complication la plus fréquente après une chirurgie réfractive laser et est commune aux trois techniques décrites. Son étiologie est multifactorielle. Les symptômes et les signes cliniques sont parfois en inadéquation. Un dépistage pré-opératoire et une optimisation de la surface oculaire avant la chirurgie sont essentiels. Les symptômes de sécheresse oculaire sont moindres en PKR en comparaison à une technique LASIK (43).

Sur le plan **financier**, un critère souvent influent pour le patient dans le choix de la technique, la PKR reste actuellement la moins onéreuse. La Sécurité Sociale considère toute chirurgie réfractive comme une opération de confort et l'intervention n'est pas prise en charge.

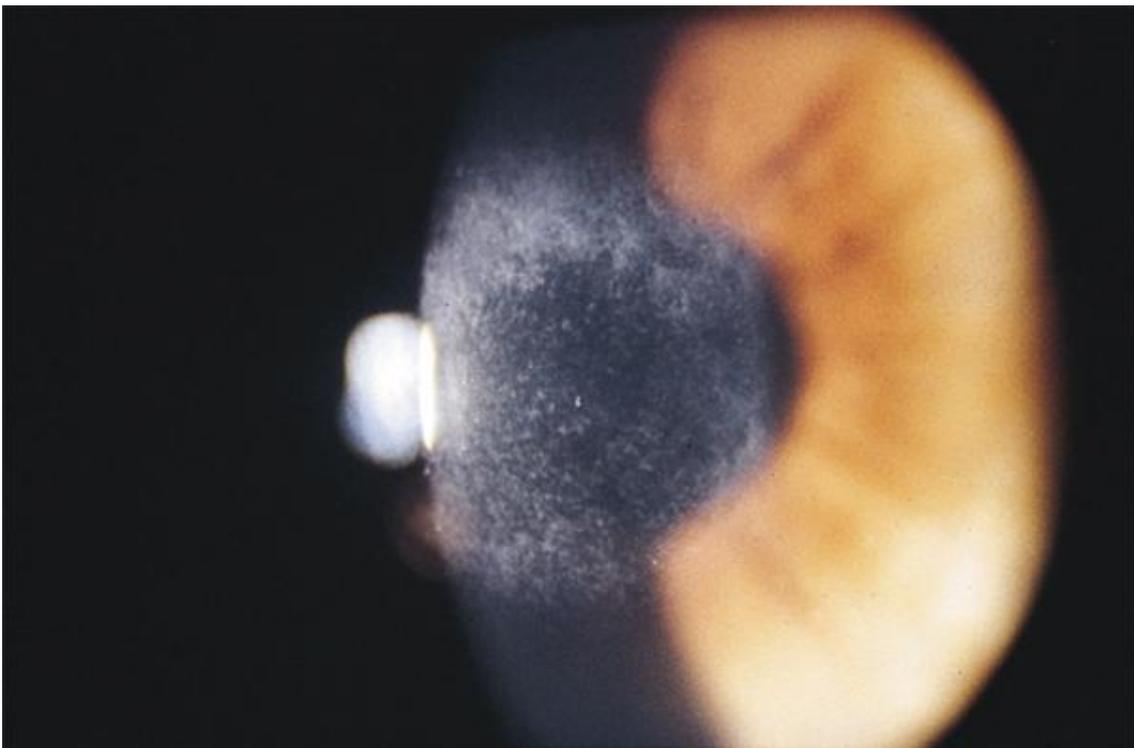
### iii. Inconvénients et complications de la PKR

Les **douleurs post-opératoires** sont relativement intenses lors des premiers jours car la couche épithéliale de la cornée doit se régénérer. Le temps de **recupération visuelle** est différé de 3 à 5 jours. Le temps de stabilisation réfractive est de 1 à 3 mois.

Le risque d'**infection** est rare et prévenu par l'instillation d'une antibioprofylaxie locale de la classe des quinolones durant les premiers jours post-opératoires.

Le **phénomène de régression** peut être définie comme la tendance de l'œil humain à retrouver sa réfraction d'origine après une période de réfraction cible obtenue. Selon les données issues de la littérature, la régression des fortes hypermétropies et fortes myopies semble plus importante à la suite d'une PKR, comparativement aux techniques LASIK ou SMILE. La théorie de l'épaississement épithélial en regard des zones stromales photo-ablatées et l'hypothèse de l'altération de la biomécanique cornéenne pourraient expliquer en partie la régression (44).

La fréquence de survenue et la sévérité du **haze** sont en lien étroit avec la sévérité de l'amétropie corrigée (45). Il est admis que la profondeur d'ablation ne doit pas excéder 80 à 100 microns (46). Sa prévention repose sur l'adjonction per-opératoire d'un agent antimitotique. Le haze étant favorisé par l'exposition aux UV-B (47), l'éviction et la protection solaire durant les premiers mois post-opératoires sont recommandées aux patients ayant bénéficié d'une chirurgie réfractive cornéenne. Son traitement post-opératoire repose communément sur l'instillation de collyres anti-inflammatoires (48). Une fois le stade cicatriciel atteint, après plusieurs mois, le traitement corticoïde n'est plus efficace sur l'éclaircissement de la cornée et une reprise chirurgicale peut alors être indiquée (49).



**Figure 26.** Photographie en lampe à fente d'un haze.  
(Rapport SFO 2015 : Surface Oculaire, Chapitre 20)

## 2) Le LASIK

Le LASIK (Laser-Assisted In Situ Keratomileusis), introduit dans les années 1990, est rapidement devenu la technique de chirurgie réfractive la plus populaire. Il utilise le principe du protocole de Barraquer pour le pratiquer in situ.

### i. Technique opératoire

Les premières étapes de contrôle de l'émission laser, d'installation, de préparation du patient et de centrage restent les mêmes que celles précédemment décrites. S'ajoute au choix de la zone optique celui de la profondeur et diamètre du capot. La réalisation du LASIK comporte trois temps opératoires : la préparation du volet cornéen, le traitement photo-ablatif, et le repositionnement du capot.

Préparation du volet cornéen : le volet cornéen ou capot était auparavant créé grâce à un microkératome. De nos jours, la découpe est très majoritairement réalisée à l'aide du laser femtoseconde.

Le capot cornéen est circulaire et s'étend sur environ 300°. Il comporte une charnière qui le rattache à la cornée. L'épaisseur standard d'un volet est de 100 à 130 microns. Le capot comporte la couche épithéliale et une partie du stroma.

Le choix de la profondeur du capot résulte d'un compromis entre un volet qui ne doit être ni trop épais pour garder un mur stromal postérieur suffisant, ni trop fin pour éviter son endommagement lors des manœuvres chirurgicales.

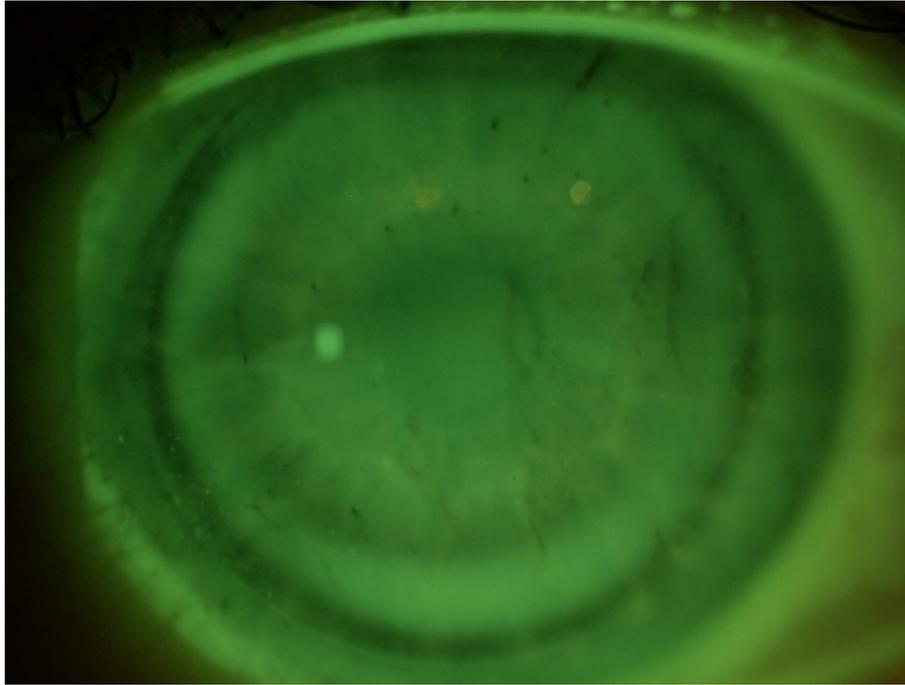
Un cône d'aplanation est appliqué (phase de docking) et maintenu sur la cornée durant la découpe par un système de succion automatisée. La découpe du volet est réalisée sur le premier œil puis sur le second.

Traitement photo-ablatif : le patient est ensuite installé sous le système de délivrance du laser Excimer. Le chirurgien vient soulever et récliner le capot du côté de la charnière, généralement placée en supérieure, à l'aide d'une spatule.

Après reconnaissance de l'œil du patient, le laser Excimer délivre le traitement photo-ablatif personnalisé sur le stroma exposé.

Repositionnement du capot : le chirurgien remet soigneusement le capot en place, le volet est réhydraté et l'interface est rincée. Le volet doit être repositionné de manière précise : des marques de repère sont effectuées au préalable avec un crayon dermographique. Le repositionnement est complété par un geste de lissage cornéen pour prévenir l'apparition de microplis. Un collyre antibio-corticoïde est instillé en toute fin d'intervention. La procédure est répétée pour l'œil opposé.

Post-opératoire : il est formellement contre-indiqué au patient de se frotter l'œil pour éviter un déplacement du capot. Des lunettes de protection teintées sont parfois proposées pour éviter les traumatismes (y compris nocturnes) et la photophobie transitoire. Un traitement antibioprofylaxique est indiqué durant les premiers jours post-opératoires, un traitement corticoïde et lubrifiant est prescrit pour une durée totale d'environ un mois. Un contrôle du positionnement du capot par l'ophtalmologiste est recommandé dans les heures suivants l'intervention.



**Figure 27.** Photographie en lampe à fente avec filtre jaune après instillation de fluorescéine : aspect post-opératoire précoce d'un LASIK hypermétropique. La zone de traitement principale en anneau périphérique est visible.

(Centre Pôle Vision de Lille)

ii. Avantages du LASIK

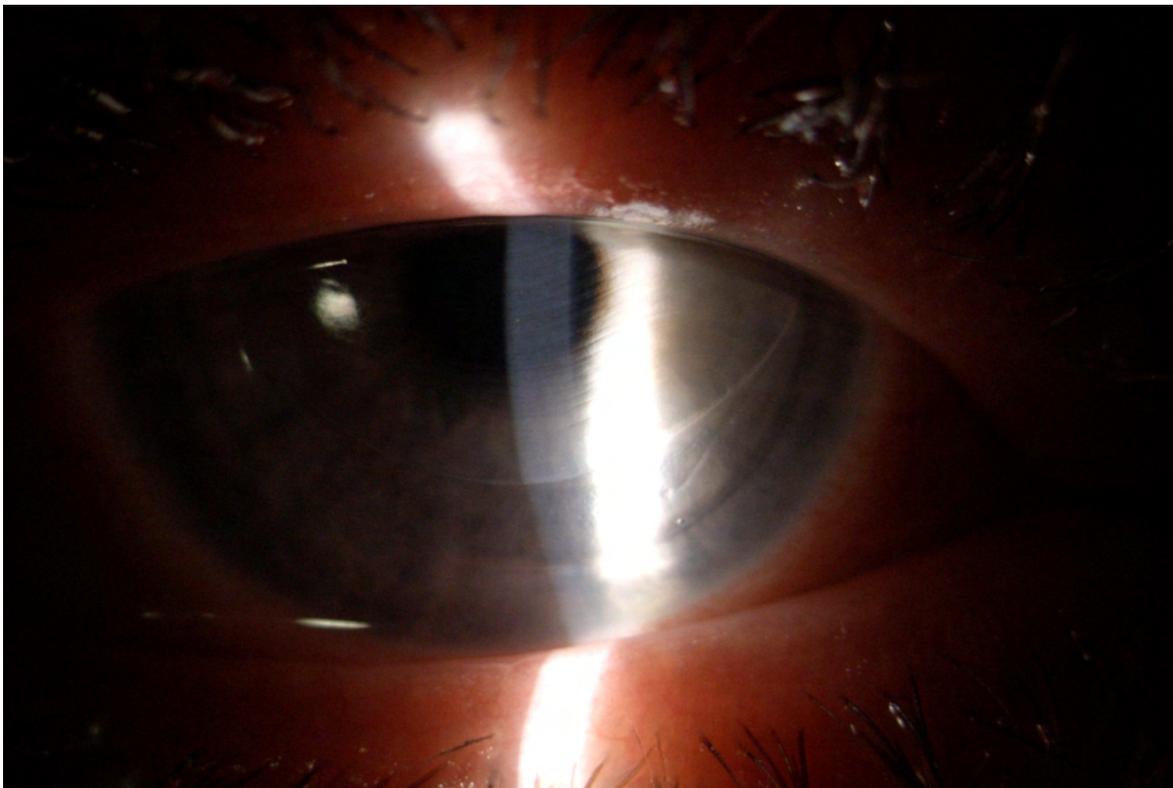
La **récupération visuelle** est rapide, avec un effet assez spectaculaire et immédiat, notamment chez le myope. Les **douleurs post-opératoires** sont légères à modérées et transitoires (de l'ordre de quelques heures). Le patient est autonome avec une vision sans correction dès le lendemain.

La **réalisation du capot au laser femtoseconde** permet de s'affranchir des complications spécifiques liées aux microkératomes mécaniques, telles que les incidents de découpe (perforation centrale du volet ou « buttonhole », capots libres ou « free cap », capots incomplets, irrégularités de coupe, décentrement de la découpe), l'imprécision de la profondeur de découpe, les abrasions épithéliales et la variabilité dans l'exécution du geste chirurgical (50).

iii. Inconvénients et complications du LASIK

La technique LASIK est associée à un risque de complications liées au volet cornéen, dont l'incidence reste faible.

Les **plis du capot** ou le **déplacement du capot** peuvent nécessiter une ré-intervention chirurgicale. L'incidence de repositionnement est estimée à 0,35% dont un tiers pour déplacement et deux tiers pour plis du capot. Les facteurs de risque sont : une épaisseur fine du capot, un large diamètre du capot et la myopie forte (importante modification de convexité du lit stromal) (51).



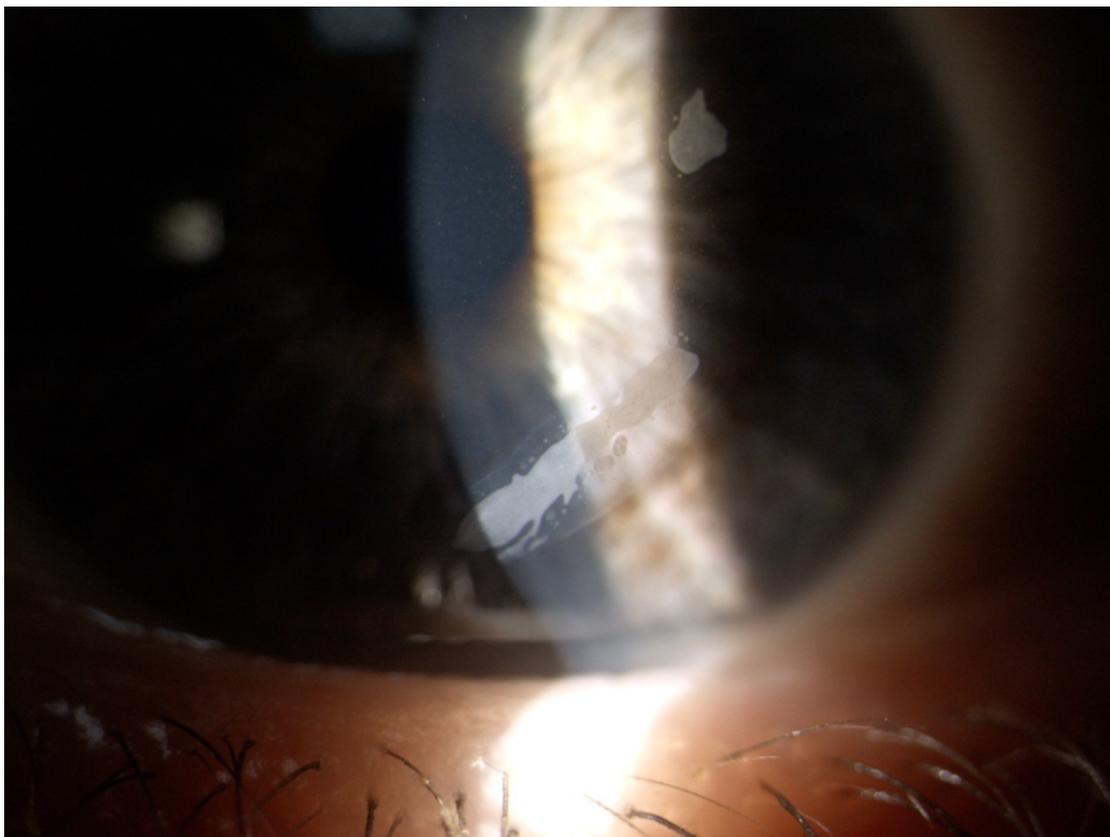
**Figure 28.** Photographie en lampe à fente : déplacement et plis du capot à quelques heures d'une intervention par technique LASIK. (Centre Pôle Vision de Lille)

Le **SOS syndrome**, ou kératite lamellaire diffuse également appelée « syndrome des sables du Sahara », est une complication inflammatoire précoce de l'interface, d'origine inconnue. Son incidence après une procédure LASIK est estimée à 0,9% (52). Cliniquement, l'examen en lampe à fente met en évidence des infiltrats avec un aspect de dunes irrégulières. Son traitement repose sur la corticothérapie et un éventuel lavage de l'interface.



**Figure 29.** Kératite lamellaire diffuse post-LASIK.  
(Centre Pôle Vision de Lille)

La **colonisation épithéliale de l'interface** est une complication indolore et non inflammatoire. La présence de cellules épithéliales au niveau de l'interface peut résulter soit d'un ensemencement per-opératoire, soit d'une migration cellulaire épithéliale sous le volet à partir des bords. En lampe à fente, les cellules épithéliales sont visibles et prennent un aspect perlé ou de traînée blanchâtre. Sa prévalence se situe entre 0 et 3,9 % pour un LASIK initial (53). Ce risque est fortement majoré en cas de retouche avec soulèvement du capot et peut atteindre 10 à 20% (54,55). En cas de progression de l'invasion vers l'aire pupillaire, un lavage de l'interface avec grattage des cellules est recommandé.



**Figure 30.** Photographie en lampe à fente : invasion épithéliale post-LASIK.  
(Centre Pôle Vision de Lille)

L'**ectasie cornéenne** secondaire est un processus pathologique évolutif caractérisé par un amincissement et une déformation progressive de la cornée, entraînant une courbure accentuée et irrégulière. Cliniquement, le patient se plaindra d'une fonction visuelle dégradée s'aggravant dans le temps, expliquée par la réapparition d'une myopie et/ou d'un astigmatisme. L'ectasie survient dans un délai post-opératoire variable. Elle est 4,5 fois plus fréquente après un LASIK qu'après une PKR. Son incidence après LASIK est estimée entre 0,033% et 0,66% mais semble en constante diminution grâce à l'amélioration du dépistage pré-opératoire des cornées à risque (56-58).

Les facteurs de risque de l'ectasie post-LASIK ont été largement décrits par Randleman (59,60) et ceux communément retenus sont les suivants :

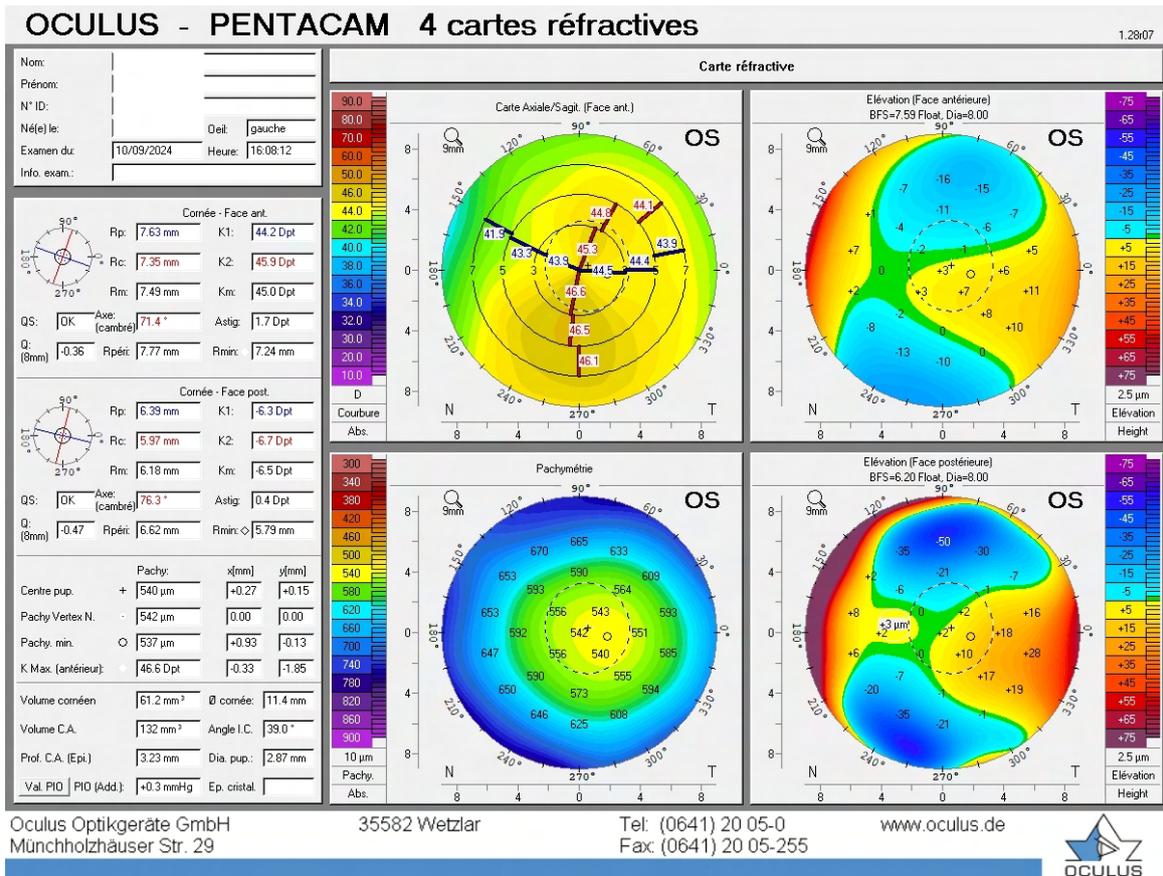
- cornée suspecte de kératocône révélée par des anomalies topographiques,
- pachymétrie pré-opératoire inférieure à 500 microns,
- mur postérieur résiduel postérieur estimé à moins de 300 microns,
- pourcentage de tissu altéré (PTA) supérieur à 40%,
- âge jeune au moment de la chirurgie (moins de 21 ans),
- myopie forte.

La prévention de l'ectasie secondaire est primordiale car les possibilités thérapeutiques sont limitées. Le clinicien doit réaliser avec soin le dépistage des cornées « à risque » lors du bilan pré-opératoire. Avant même la réalisation de la topographie, un œil « à risque » est suspecté devant la présence de frottements oculaires répétés, une instabilité de la réfraction, et une réduction de la pachymétrie centrale.

De nombreux indices topographiques ont été développés avec des valeurs seuil aidant au dépistage (61,62). Les plus fréquemment rapportés sont présentés dans le tableau suivant :

<b>Cornée à risque d'ectasie</b>		<b>Indice topographique</b>
Augmentation de courbure centrale		<b>Kmax</b> (kératométrie maximale) > 47 D
Augmentation de l'asymétrie cornéenne	Courbure plus marquée en inférieur	<b>Indice I-S</b> (Inferior-Superior) : différence de moyenne kératométrique entre 5 points de l'hémisphère inférieur et 5 points de l'hémisphère supérieur, sur les 3 mm centraux Valeur suspecte si I-S > 1.4 D
	Astigmatisme irrégulier	<b>SRAX</b> (skew of steepest radial axis) : déviation entre les deux héli-méridiens les plus cambrés > 20°
Perte de l'énantiomorphisme = perte de l'effet miroir entre les deux yeux		-Asymétrie de forme -Différence de Kmax centrale > 1 D -Différence de pachymétrie > 20microns

La combinaison de plusieurs des facteurs précédemment cités rend la cornée suspecte et doit remettre en question l'indication ou le choix de la technique opératoire.



**Figure 31.** Topographie cornéenne « à risque » sur Pentacam. Asymétrie verticale de cambrure avec une hémicorne inférieure plus cambrée et léger SRAX.

La patiente a bénéficié d'une PKR. (Centre Pôle Vision de Lille)

Les **halos** sont perçus comme une auréole diffuse autour d'une source lumineuse ou d'un objet. Même lorsque les résultats réfractifs de la chirurgie sont considérés comme entièrement satisfaisants, les halos sont fréquents après une chirurgie réfractive cornéenne, quelle que soit la technique. Ils sont consécutifs aux aberrations induites par les bords de la zone de traitement. Les symptômes se majorent dans les ambiances scotopiques, du fait de la dilatation pupillaire. Les rayons lumineux qui traversent la pupille en périphérie sont moins bien réfractés et détériorent la qualité de l'image rétinienne. La correction de fortes amétropies et les grands diamètres pupillaires sont des facteurs de risque connus de halos après chirurgie réfractive cornéenne (63).

Plusieurs études retrouvent une incidence des halos plus élevés après un LASIK comparativement à la PKR (64). Cependant, cette incidence a diminué depuis l'optimisation des profils d'ablation délivrés par les plateformes laser actuelles et l'utilisation de plus larges zones optiques (63,65). Les études récentes s'accordent sur une équivalence d'incidence de ces symptômes entre LASIK et SMILE (66-68).

Les symptômes de **sécheresse oculaire** sont plus importants après un LASIK qu'après une PKR ou un SMILE. Ils sont le plus souvent réversibles (69-73).

### **3) Extraction lenticulaire à visée réfractive assistée par laser femtoseconde : la technique SMILE (Zeiss)**

Ayant fait son apparition au début des années 2010, le SMILE (SMall Incision Lenticule Extraction, marque déposée par Carl Zeiss Meditec) présente, dans certains cas, une alternative aux procédures précédemment décrites. La technique consiste en la création par le laser femtoseconde d'un lenticule intra-cornéen, puis en son extraction par le chirurgien. La correction de la myopie, des astigmatismes modérés et plus récemment de l'hypermétropie sont possibles en technique SMILE.

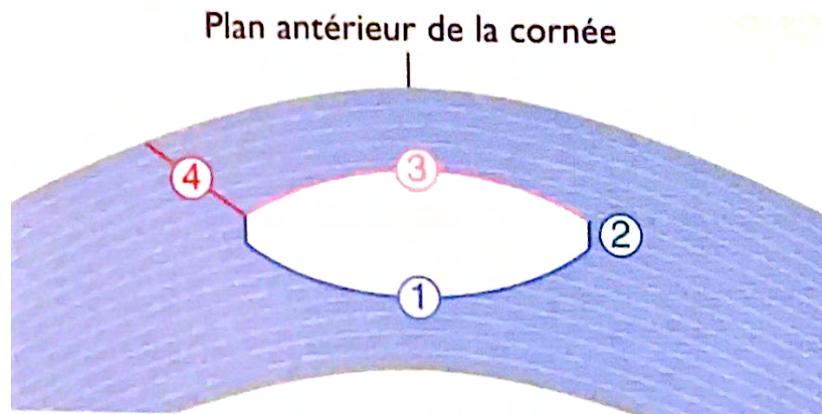
#### **i. Technique opératoire**

Les premières étapes d'installation et de préparation du patient restent les mêmes que celles précédemment décrites. S'ajoute au choix de la zone optique, celui des paramètres de découpe du lenticule (diamètre, profondeur de la face antérieure du lenticule, position et largeur de l'incision).

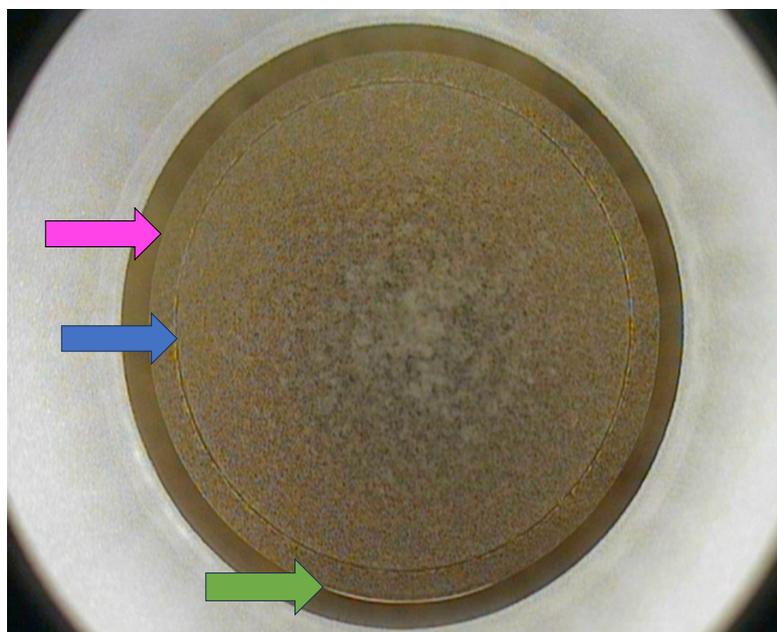
Création du lenticule : le cône d'aplanation est centré, appliqué puis arrimé sur la cornée. Le laser femtoseconde crée chronologiquement :

- une découpe centripète du plan postérieur du lenticule (« lenticule cut »),
- une découpe verticale formant les bords sur lenticule (« side cut »),
- une découpe centrifuge du plan antérieur (« cap cut ») de diamètre toujours légèrement plus large que le « lenticule cut »,
- la découpe d'une incision de 2 à 4 mm sur le méridien souhaité reliant la surface de la cornée au bord du lenticule.

Le lenticule, réalisant une fine couche de tissu en forme de disque, ainsi créé est prêt à être extrait. Le lenticule est ensuite réalisé sur l'œil adelphe.

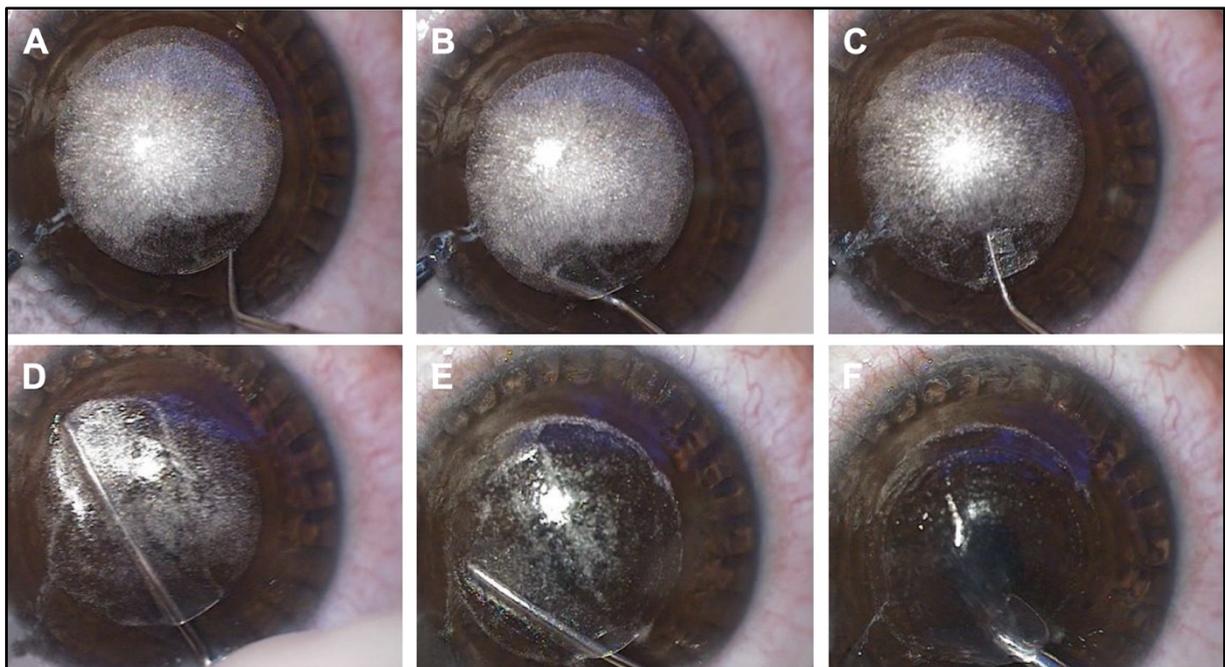


**Figure 32.** Schéma du lenticule en coupe. A noter que cette illustration n'est pas tout à fait exacte dans la représentation du lenticule puisque la découpe antérieure (en rose) devrait apparaître de diamètre supérieur comparativement à la découpe postérieure (bleu). (Albou-Ganem C. et Cochener-Lamard B. Chirurgie réfractive, volume 1, édition Lavoisier, 2016).



**Figure 33.** Après traitement laser, deux cercles concentriques sont visibles : le liseré externe correspond au « cap cut » (flèche rose), le liseré interne correspond au « lenticule cut » (flèche bleue). L'incision est indiquée par la flèche verte. (Centre Pôle Vision de Lille).

Extraction manuelle du lenticule : une fois les lenticules créés sur les deux yeux, le patient est placé sous le microscope opératoire de la plateforme. Le chirurgien commence par l'ouverture de la micro-incision à l'aide d'une courte spatule, puis repère chacun des plans du lenticule. A l'aide d'une spatule mousse, le praticien procède au clivage du plan antérieur du lenticule pour le séparer de la cornée sus-jacente. Le plan postérieur est ensuite séparé de la cornée sous-jacente. L'extraction du lenticule est réalisée une fois ses attaches périphériques libérées. L'interface est rincée au sérum. Un traitement antibio-corticoïde est instillé en fin de procédure. Le chirurgien procède au retrait du lenticule controlatéral.



**Figure 34.** Extraction manuelle du lenticule.

A) Ouverture de l'incision. B) Repérage du plan antérieur. C) Repérage du plan postérieur. D) Dissection du plan antérieur. E) Dissection du plan postérieur. F) Extraction du lenticule. (Titiyal JS et al. Small incision lenticule extraction techniques: patient selection and perspectives. Clin Ophthalmol. 2018)

Post-opératoire : si l'intervention se déroule sans complication per-opératoire, le patient peut n'être revu par l'ophtalmologiste qu'à un mois de sa chirurgie. Le traitement antibiotique est poursuivi durant quelques jours, le traitement anti-inflammatoire et lubrifiant est prescrit pour une durée d'environ un mois.

ii. Avantages du SMILE

**Douleurs et récupération visuelle** : les douleurs post-opératoires sont variables mais souvent peu intenses, avec une sensation de grain de sable et un larmoiement pendant deux à trois heures.

La récupération visuelle est rapide, toutefois une vision légèrement embuée peut être rapportée. Ce flou visuel régresse progressivement en quelques jours voire semaines. Pour la myopie et l'astigmatisme, les résultats réfractifs ont rapidement démontré leur fiabilité, leur stabilité et leur comparabilité à ceux publiés en LASIK (75-81). Plusieurs publications rapportent un taux d'aberrations moins élevé en SMILE qu'en LASIK chez les patients myopes (82,83).

**Chirurgie « mini-invasive »** : la technique d'extraction lenticulaire est une intervention moins invasive. Les promoteurs de la méthode mettent en avant le respect de la biomécanique cornéenne et la réduction des dommages nerveux. Sur ces points, certains auteurs suggèrent effectivement un meilleur maintien de la résistance cornéenne, réduisant théoriquement le risque d'ectasie post opératoire (84,85).

**Sécheresse oculaire** : la technique d'extraction lenticulaire permet un respect des nerfs situés en dehors de la zone d'ablation et de l'incision cornéenne. Les études actuelles relèvent une meilleure récupération de la sensibilité cornéenne et une sécheresse oculaire post-opératoire moindre comparativement au LASIK (69-73).

**Invasion épithéliale** : le risque d'invasion épithéliale semble moindre comparativement au LASIK, probablement du fait de la taille de l'incision qui limite les zones de passage des cellules épithéliales (86).

**Ectasie post-opératoire** : le SMILE tend à être la technique avec le taux d'ectasie cornéenne le plus bas (56).

Le SMILE présente pour autre avantage de ne nécessiter qu'une seule plateforme, le laser femtoseconde. De plus, le SMILE n'implique pas la réalisation d'un volet cornéen et s'affranchit donc des complications qui lui sont liées.

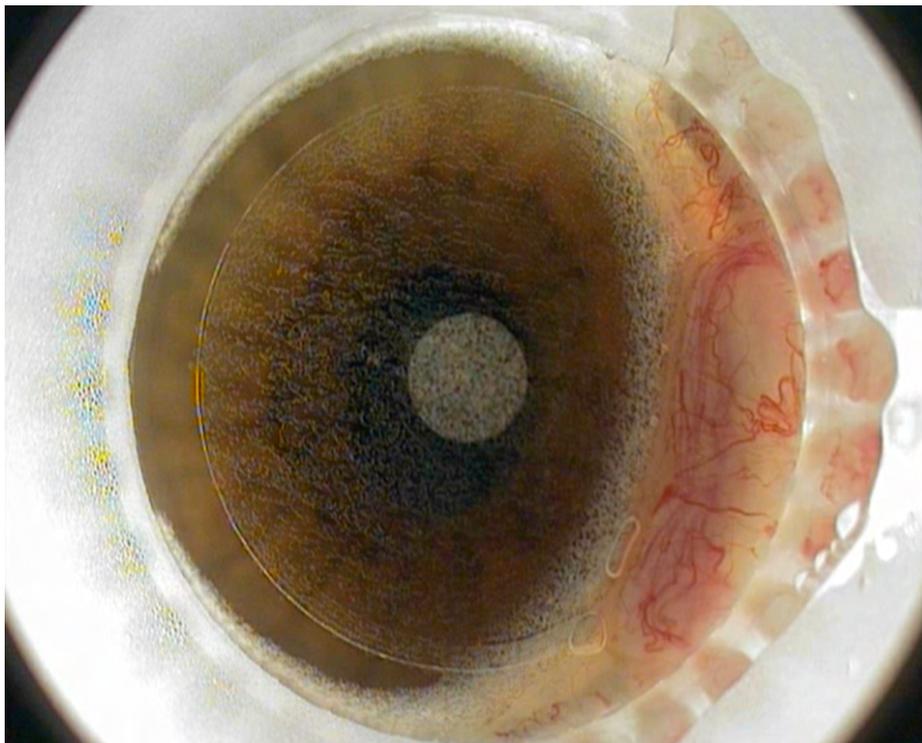
iii. Inconvénients et complications du SMILE

**Récupération visuelle** : comme décrit précédemment, la récupération visuelle peut être retardée de quelques jours comparativement au LASIK.

**Incidents per-opératoires** : la dissection et l'extraction des lentilles constitue l'étape la plus difficile et un taux plus important d'incidents per-opératoires comparativement aux autres techniques est rapporté (87-92).

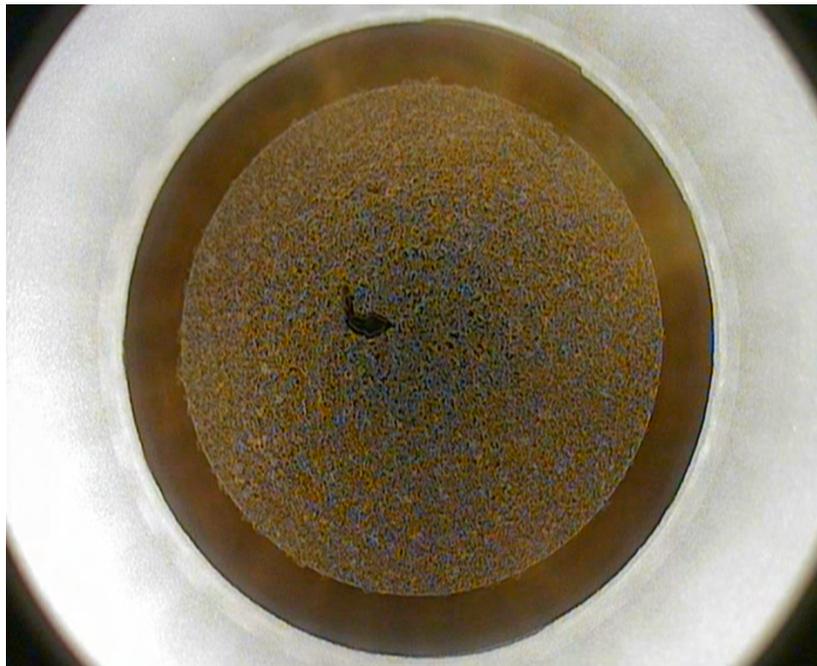
L'extraction du lenticule nécessite une courbe d'apprentissage technique, pouvant expliquer en partie les incidents per-opérateurs.

La littérature rapporte des cas plus fréquents de **lâchage de succion** pendant la délivrance du traitement qu'en femto-LASIK, notamment du fait d'un temps de traitement plus long (88). La gestion du lâchage de succion dépend du stade opératoire et peut amener à un arrêt de la chirurgie ou à sa conversion. Le repositionnement du cône d'aplanation peut s'avérer difficile lorsqu'une **Opaque Bubble Layer** (OBL) atteint l'axe optique (le patient ne voit plus le repère lumineux à fixer pendant la phase de docking). L'OBL correspond à une opacification transitoire dans l'interface intrastromale due à l'accumulation de bulles de cavitation.



**Figure 35.** Lâchage de succion avec issue de conjonctive sous le cône d'aplanation pendant la délivrance du traitement laser. (Centre Pôle Vision de Lille)

L'interface stromale peut également être le siège de « **black spots** » rendant plus difficile l'extraction du lenticule. Les « black spots » résultent de la présence de gouttelettes d'eau, de débris ou d'air entre le cône d'aplanation et la surface oculaire. Ils laissent une zone d'interface non traitée, rendant la dissection plus difficile. Les OBL entraînent la même conséquence.



**Figure 36.** Black spots. (Centre Pôle Vision de Lille)

Les complications décrites précédemment liées à la création du lenticule sont corrélées à des difficultés ultérieures lors de la dissection et du retrait du lenticule. Des cas de lésions du stroma postérieur, de déchirures du plan antérieur ou postérieur, de rétention de fragments de lenticule, de dissection de faux plans ont été décrits.

**Ectasie post-opératoire** : la technique SMILE n'est pas exempte de cas d'ectasie secondaire. Plusieurs cas d'ectasies post-SMILE ont été décrits (93-97).

**Retouche** : en cas de nécessité d'un retraitement, la technique SMILE peut difficilement être réitérée sur un même œil. Deux techniques peuvent alors être envisagées : reprise par PKR avec ajout de Mitomycine, ou conversion en LASIK. Le logiciel Circle, programme disponible sur le Visumax de Zeiss, permet une découpe circulaire qui rejoint le plan de découpe du lenticule pour créer un capot. Ces deux techniques de retraitement semblent efficaces et sûres (98,99).

### 3) Les implants intra-oculaires

Les implants phaques constituent une alternative réfractive lorsque le traitement laser cornéen est impossible, notamment en cas de forte amétropie ou de cornée « à risque ».

Les premiers implants phaques, développés dès les années 1960, étaient historiquement insérés en chambre antérieure. Les implants de chambre antérieure ont progressivement tous été retirés du marché en raison des fréquentes complications associées (décompensation endothéliale et/ou hypertonie).

Aujourd'hui, deux techniques d'implantation phaques sont disponibles : les implants de chambre postérieure, technique majoritairement utilisée, et les implants à fixation irienne, dont le recours s'est considérablement réduit dans cette indication.

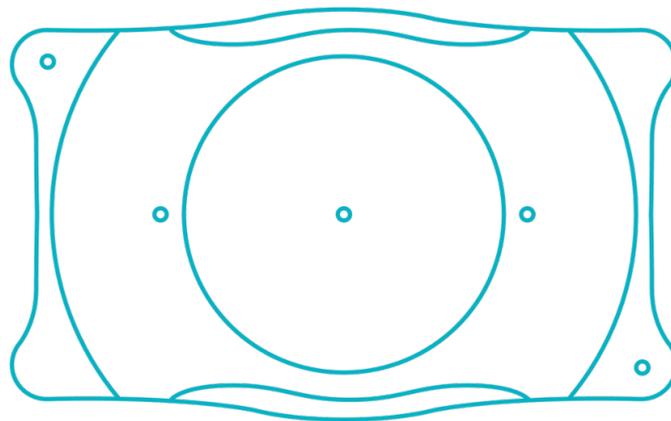
#### a) Implants phaques de chambre postérieure

Les implants phaques de chambre postérieure sont des implants pré-cristalliniens insérés dans le sulcus. Ils ont pour intérêt de corriger l'amétropie sans modifier significativement le profil cornéen et sans supprimer l'accommodation. Des implants sphériques et sphéro-cylindriques existent.

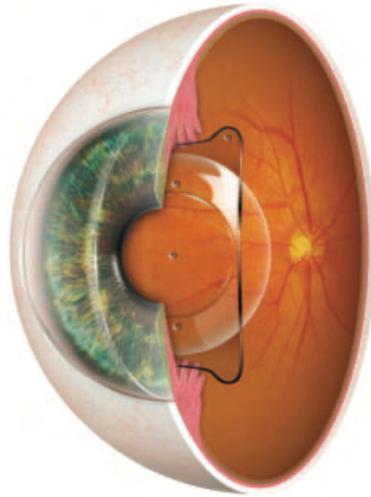
Leur implantation requière des conditions préalables strictes : profondeur de chambre antérieure suffisante, angle irido-cornéen ouvert, absence de syndrome de dispersion pigmentaire, absence d'anomalie endothéliale qualitative ou quantitative, absence d'anomalie zonulaire.

L'implant plaque de chambre postérieure le plus utilisé actuellement est commercialisé par le laboratoire Staar : l'ICL. Progressivement optimisés, les derniers modèles ICL comporte des orifices au centre de l'optique et entre les haptiques facilitant le passage de l'humeur aqueuse. Cette configuration évite la réalisation d'une iridectomie ou d'une iridotomie périphérique qui était requise par les modèles antérieurs.

L'intervention se déroule au bloc opératoire en condition rigoureuse d'asepsie et de stérilité, sous anesthésie topique. La mise en place des implants aux deux yeux est possible sur une même session opératoire. La chirurgie est ambulatoire. L'implant chargé dans un injecteur est inséré au travers d'une incision d'environ 3 mm et sera positionné dans le sulcus par l'opérateur. Un traitement antibiotique intra camérulaire est injecté en fin de procédure. Un collyre antibio-corticoïde est prescrit pour une durée d'un mois (14).



**Figure 37.** Design de l'implant plaque de chambre postérieure ICL. (Staar Surgical)



**Figure 38.** Implant phaue positionné dans le sulcus.  
(Levy P. Les Cahiers d’Ophtalmologie, 2021)

i. Avantages

Les implants phaques ont pour principaux avantages :

- la correction de fortes voire très fortes amétropies,
- la réversibilité de la technique,
- l’absence d’induction d’aberrations optiques,
- une zone optique de taille supérieure à celle obtenue par photoablation,
- de générer moins de sécheresse oculaire comparativement aux techniques de soustraction tissulaire (100).

ii. Inconvénients et complications

Le **coût** de l’intervention est supérieur à celui des techniques laser.

La technique d’implantation nécessite une formation chirurgicale spécifique avec **courbe d’apprentissage**.

L'implant phaqué reste un dispositif **non définitif** si l'on prend en compte le fait que le patient nécessitera, à plus ou moins long terme, une chirurgie de cataracte. L'extraction de l'implant phaqué sera alors nécessaire en début d'intervention.

Les **risques communs à toute chirurgie intra-oculaire** sont également à prendre en compte. Le taux d'endophtalmie lié aux implants phaques semble inférieur à celui des endophtalmies après chirurgie de cataracte (101). Les études récentes ne retrouvent pas de risque accru de décollement de rétine, ni de perte en cellules endothéliales à long terme (102-104).

Des **complications spécifiques liées au site d'implantation** sont décrites : dispersion pigmentaire et glaucome, blocage pupillaire, cataracte secondaire, décentrement ou déplacement de l'implant. Ces risques sont mineurs grâce à la configuration des implants phaques actuels (105).

## b) Implants pseudo-phaqes

Le cristallin est un site chirurgical réfractif à part entière, à l'image de la cornée ou de la chambre postérieure. Le cristallin est retiré et un implant de puissance choisie est introduit dans le sac capsulaire. La technique opératoire de référence d'extraction du cristallin dans les pays industrialisés est la phacoémulsification.

Les chirurgies de cristallin ne doivent être théoriquement proposées qu'aux patients presbytes, lorsque son indication est uniquement réfractive.

L'extraction peut se faire soit sur cristallin clair, aussi appelée preLEx (presbyopic Lens Exchange), soit sur une cataracte déjà existante.

Plusieurs types d'implants peuvent être choisis, en fonction du profil réfractif et des attentes du patient. Beaucoup de praticiens s'orientent vers les implants multifocaux. Le principe de monovision peut également être appliqué avec des implants monofocaux. Enfin plus récemment, les implants à profondeur de champ ou EDOF (Extended Depth of Focus) ont fait leur apparition.

### i. Avantages

Les implants intra-oculaires après extraction du cristallin ont pour principaux avantages de proposer une solution définitive, d'avoir une meilleure taille de zone optique effective comparativement aux chirurgies réfractives laser, de permettre une restauration de la transparence « cristallinienne » parfaite, de pouvoir corriger simultanément l'amétropie, même extrême, et la presbytie.

ii. Inconvénients et complications

Le retrait du cristallin entraîne la perte de l'accommodation résiduelle.

Le principal facteur limitant de la chirurgie sur cristallin clair est **vitréo-rétinien**. Un patient myope jeune (entre 40 et 54 ans) à un risque 25 fois supérieur de présenter un décollement de rétine comparativement à un patient non myope de plus de 75 ans après chirurgie de cataracte (106). Ce sur-risque s'explique par des facteurs tels que l'âge jeune des patients, l'absence de décollement postérieur du vitré pré-opératoire, la présence d'une myopie forte. Ces risques sont très fréquemment combinés chez les patients candidats à l'extraction du cristallin clair. Le risque de décollement de rétine chez l'hypermétrope reste en revanche faible (107).

Comme toute procédure intra-oculaire, la chirurgie du cristallin clair expose au risque d'endophtalmie. Son taux semble comparable à celui d'une chirurgie de cataracte (108). Les complications de la phacoémulsification comme la rupture capsulaire ou l'œdème maculaire post-opératoire ne sont pas spécifiques de la chirurgie sur cristallin clair (109).

Les effets photiques des implants multifocaux peuvent être source d'insatisfaction (110).

Les erreurs réfractives résiduelles sont parfois difficiles à anticiper sur des yeux fortement amétropes, malgré des méthodes de calcul d'implants et des outils de mesure biométrique de plus en plus précis (14).

## IV) Choix de la technique

### 1) Contre-indications

Les tableaux suivants présentent les **contre-indications absolues** à une chirurgie réfractive cornéenne, quelle que soit la technique :

<b>Contre-indications absolues locales</b>	<b>Risque encouru</b>
Kératocône avéré	Ectasie post-opératoire
Syndrome sec oculaire très sévère	Retard de cicatrisation et majoration des symptômes post-opératoires
Insuffisance limbique	Anomalies de cicatrisation, complications infectieuses
Hypo- ou anesthésie cornéenne ou exposition anormale cornéenne	Anomalies de cicatrisation, complications infectieuses
Processus cornéen inflammatoire ou infectieux, évolutifs ou récents, et plus largement toute pathologie oculaire non contrôlée	Anomalies de cicatrisation, complications infectieuses et inflammatoires
Cataracte associée	Erreur réfractive

<b>Contre-indications absolues générales</b>	<b>Risque encouru</b>
Toute maladie systémique non contrôlée pouvant altérer la cicatrisation : pathologie auto-immune (telles que lupus, granulomatose avec polyangéite, polyarthrite rhumatoïde, péri-artérite noueuse, syndrome de Gougerot, maladies inflammatoires chroniques de l'intestin...), diabète, immunodépression	Anomalies de cicatrisation, complications infectieuses et inflammatoires
Femme enceinte	Erreur réfractive (l'imprégnation hormonale modifie l'hydratation cornéenne et la réfraction)
Âge jeune classiquement < 18 ans (sauf conditions particulières, notamment carrière professionnelle)	Erreur de réfraction

La liste suivante, non exhaustive, présente les **contre-indications relatives** à une chirurgie réfractive cornéenne et les alternatives pouvant être proposées (89) :

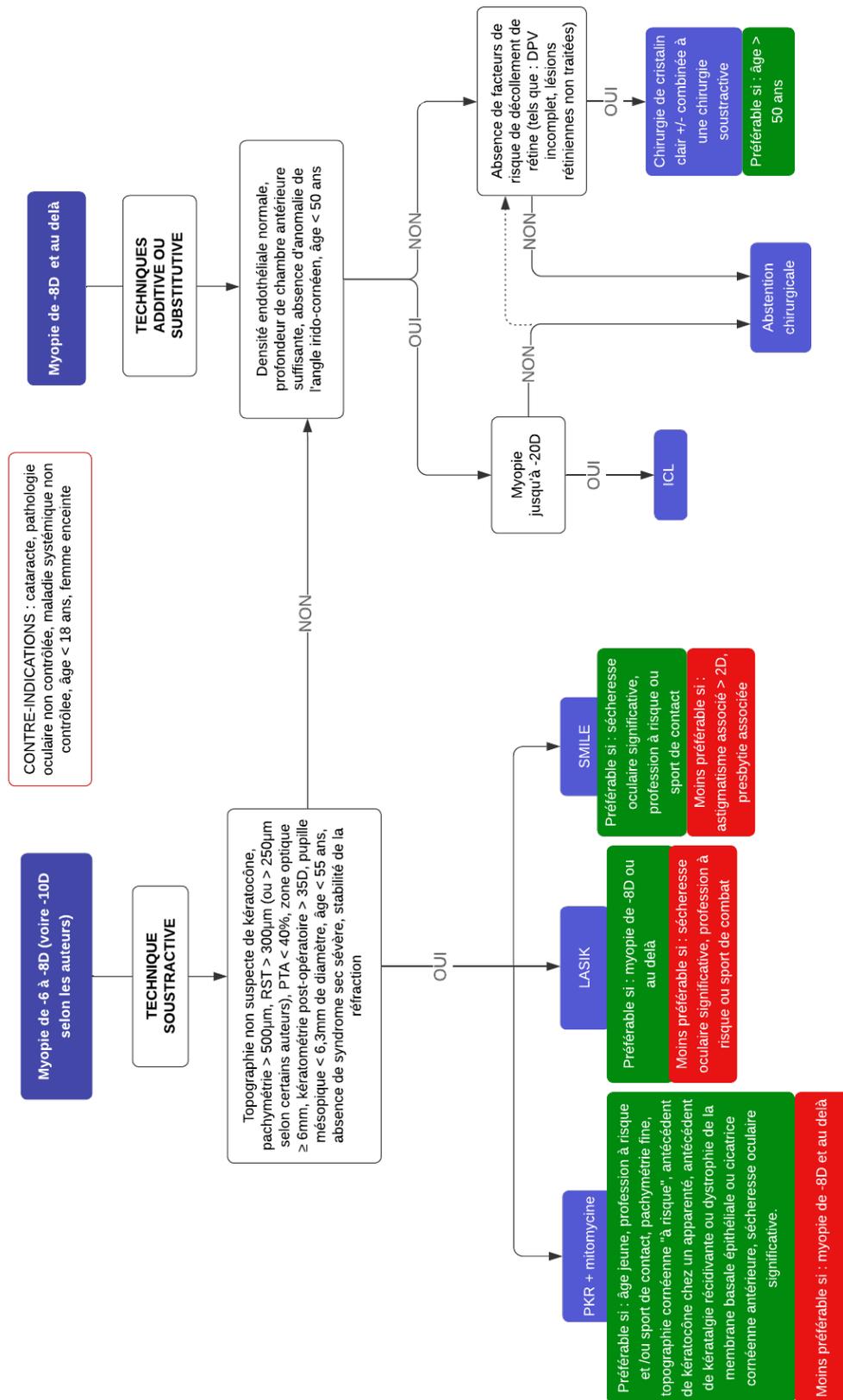
<b>Contre-indications relatives</b>	<b>Risque encouru</b>	<b>Option thérapeutique</b>
Myopie et/ou astigmatisme évolutif	Erreur réfractive et régression	Abstention chirurgicale temporaire et surveillance
Patient diabétique	Retard de cicatrisation	Privilégier LASIK ou SMILE
Syndrome sec oculaire modérée	Retard de cicatrisation et majoration des symptômes post-opératoires	Substituts lacrymaux, privilégier PKR ou SMILE
Cornée « à risque » topographique et/ou antécédent familial de kératocône	Ectasie post-opératoire	Contrôle topographique pour juger de l'évolutivité, privilégier la PKR
Pachymétrie fine	Ectasie post-opératoire	Privilégier la PKR
Antécédent d'herpès oculaire	Récidive herpétique	Prophylaxie péri-opératoire par valaciclovir, privilégier le SMILE (pas d'exposition aux UV du laser Excimer)
Anomalie de la membrane basale épithéliale (ex : dystrophie de Cogan)	Défect épithélial	Privilégier la PKR (renforcera l'adhésion épithéliale)
Large diamètre pupillaire	Halos et éblouissements	Privilégier une large zone optique
Profession à risque ou pratique sportive de contact	Déplacement du volet si LASIK	Privilégier PKR ou SMILE
Patient monophthalme	Baisse d'acuité visuelle définitive	

## 2) Myopies fortes

La myopie forte concerne 1 cas sur 10 en chirurgie réfractive cornéenne (14). La motivation des patients myopes forts est souvent importante. La myopie forte affecte la qualité de vie des patients : totalement dépendant à leur correction optique, les verres de lunettes sont inesthétiques et limitants sur le plan fonctionnel par pénalisation du champ visuel. Les puissances de correction en lentilles souples sont restreintes et les lentilles rigides ont également leurs limites et sont parfois plus difficiles d'accès.

### a) Choix de la technique

Plusieurs choix s'offrent au chirurgien face à un patient myope fort désireux d'une chirurgie réfractive. L'arbre décisionnel suivant présente les différentes techniques ablatives, additive, et substitutive, et s'inspire de plusieurs auteurs (111,112).



**Figure 39.** Algorithme décisionnel pour le choix de la technique réfractive dans la myopie forte. RST (residual stromal thickness) = mur résiduel stromal postérieur. PTA = pourcentage de tissu altéré. DPV = décollement postérieur du vitré.

## b) Inconvénients

Les principaux inconvénients des corrections laser chez les myopes fort sont :

- Un temps de traitement plus long pour le laser Excimer.
- Un important volume de photo-ablation du tissu cornéen avec un risque plus élevé d'ectasie iatrogène, favorisée par un RST < 300 microns et un PTA > 40%.
- Un risque accru de plis et déplacement du capot favorisé par la finesse du capot et un lit stromal moins convexe après traitement.
- Un risque accru de haze, prévenu par l'adjonction de MMC en PKR.
- Un risque de régression réfractive d'origine multifactorielle (hyperplasie cornéenne épithéliale centrale, augmentation de la longueur axiale, cataracte nucléaire).
- Une possible réduction de la qualité de vision notamment scopique (sphéricité cornéenne très oblate inductrice de halos et éblouissements), favorisée par une ZO < à 6 mm, un Kmoy < 35 D et un diamètre pupillaire mésopique large.
- Des possibilités de retraitement moindre.

Comme pour tout patient myope fort, une surveillance régulière ophtalmologique s'impose après l'intervention pour dépister les complications éventuelles de la myopie : lésions rétinienne périphériques, glaucome, maculopathie myopique et néovaisseaux choroïdiens, cataracte précoce... (113,114)

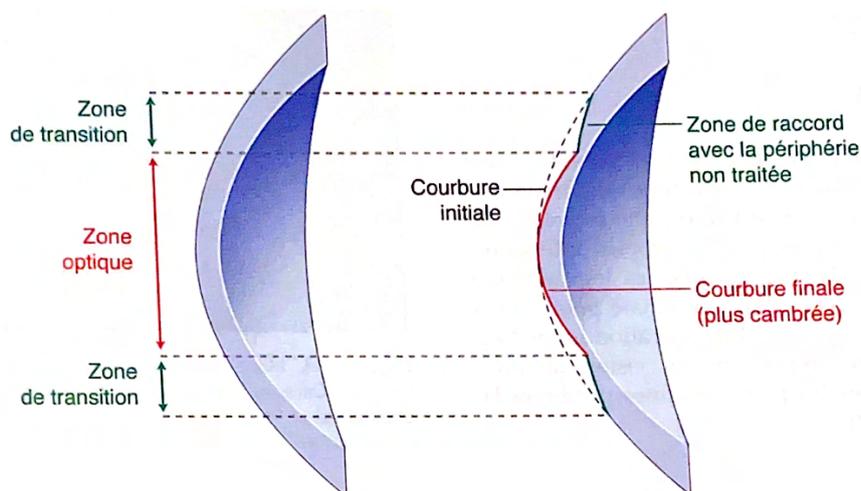
### 3) Hypermétropies fortes

#### a) Spécificités

La chirurgie réfractive de l'hypermétrope fort nécessite quelques prérequis.

Si la réfraction sous cycloplégie retrouve une sphère très supérieure à celle de la correction optique portée, alors ces patients sous-corrigés ont un risque de spasme accommodatif post-opératoire. Dans ce cas, le patient doit au préalable s'accoutumer à une correction se rapprochant de sa correction optique totale. L'augmentation de la sphère peut être graduelle si la différence est trop importante. La chirurgie ne pourra être proposée qu'après plusieurs mois de port.

Le traitement de l'hypermétropie, a fortiori si elle est importante, nécessite la réalisation d'une large zone de photo-ablation. Le profil d'ablation doit être le plus large possible afin d'obtenir une zone de transition en pente la plus « douce » possible. Le but est de minimiser la régression et les aberrations optiques (115).



**Figure 40.** Profil de correction hypermétropique.

(Albou-Ganem C. et Cochener-Lamard B. Chirurgie réfractive, volume 2, édition Lavoisier, 2016)

Le centrage du traitement doit être rigoureux : la fixation chez l'hypermétrope est la plupart du temps légèrement décalée en nasal (116,117). Tout décentrement, d'autant plus s'il est temporel, sera délétère et peut engendrer une baisse de la meilleure acuité visuelle corrigée (118, 119).

Une kératométrie finale très bombée (supérieure à 50 D) serait source de mauvais résultat optique (120-122).

Le risque d'ectasie secondaire semble extrêmement faible, mais non nul (123).

b) Inconvénients

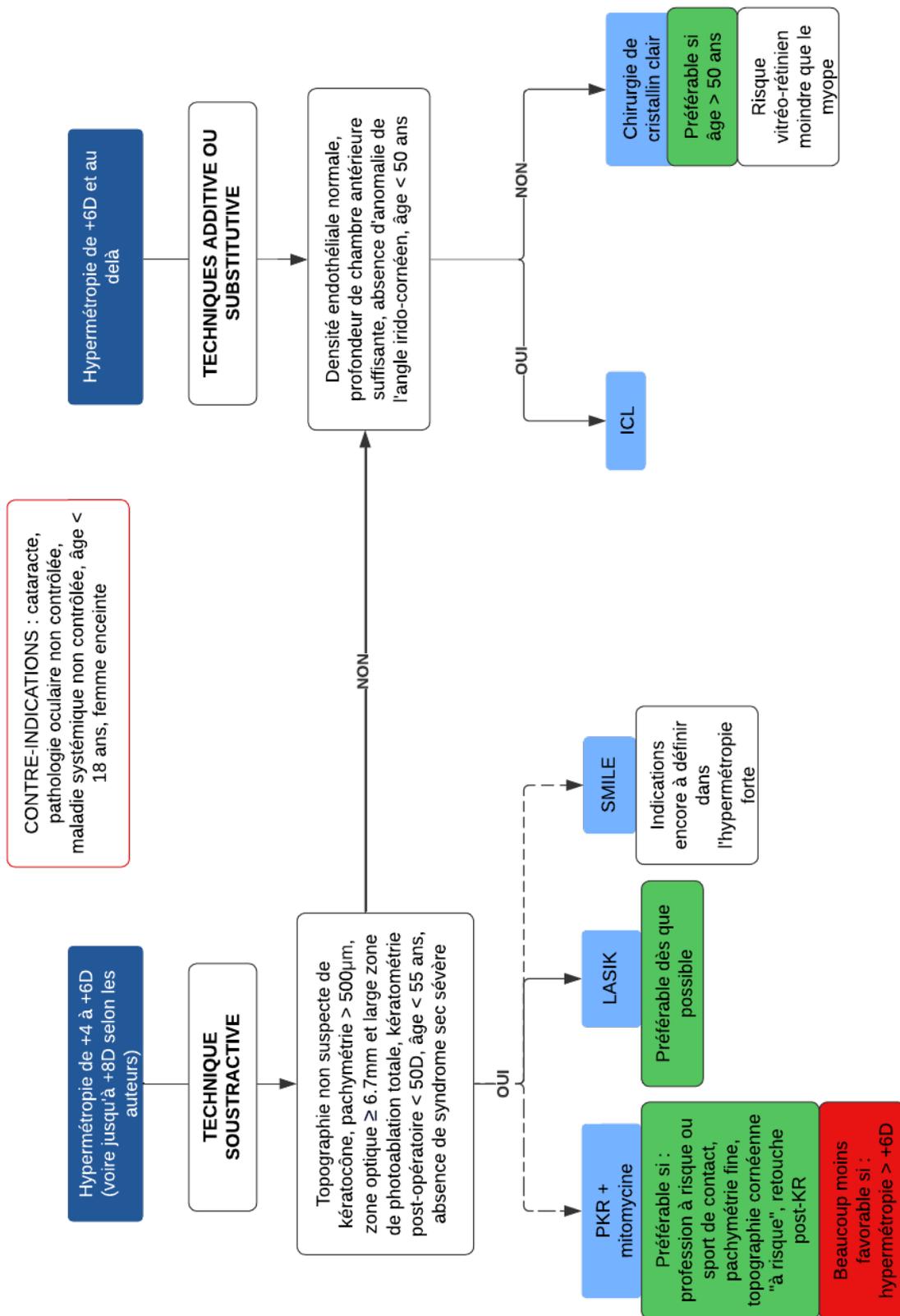
Les options en chirurgie réfractive laser sont moindres pour les hypermétropes. L'introduction du LASIK a significativement modifié leur prise en charge en réduisant le phénomène de régression, reléguant ainsi la PKR au second plan (14,124). Plus récemment, le SMILE hypermétropique a obtenu son autorisation de mise sur le marché. Afin d'accentuer la courbure cornéenne, le lentille doit être conçu avec une épaisseur importante en périphérie et minimale au centre, tout en permettant une extraction facilitée. Le SMILE hypermétropique a démontré son efficacité, sa sécurité et sa stabilité, bien que les études se limitent actuellement à des corrections allant jusqu'à +7 D (125,126).

Anatomiquement, il est admis que les yeux hypermétropes ont une cornée de petit diamètre souvent bombée pouvant entraîner des difficultés per-opératoires pour les étapes d'amarrage et de maintien du cône d'aplanation, et pour la réalisation de larges capots.

Le phénomène de régression, par hyperplasie épithéliale au fond de la rigole périphérique de photo-ablation, est d'autant plus important que l'hypermétropie est forte (128,129).

Le taux de retraitement est plus élevé que dans la forme myopique (130,131).

L'arbre décisionnel suivant présente les choix en chirurgie réfractive s'offrant à un patient avec une forte hypermétropie. Ce graphique présente les différentes techniques ablatives, additive, et substitutive.



**Figure 41.** Algorithme décisionnel pour le choix de la technique réfractive dans l'hypermétropie forte. KR = kératotomie radiaire.

#### **4) Astigmatismes forts**

##### **a) Chirurgie réfractive soustractive**

La limite théorique supérieure de traitement laser d'un astigmatisme est habituellement de 5 D. La correction d'un astigmatisme fort nécessite de connaître certaines spécificités.

Tout patient bénéficiant d'un bilan de chirurgie réfractive doit arrêter le port de lentilles dans les jours qui précèdent les mesures pré-opératoires et qui précèdent l'intervention. Ce dogme est d'autant plus important à appliquer en cas d'astigmatisme fort pour éviter les inexactitudes de réfraction et de topographie cornéenne. Un arrêt de 7 à 14 jours pour les lentilles souples et un arrêt de 14 à 21 jours pour les lentilles rigides sont recommandés (132).

La principale difficulté chez l'astigmate fort est l'alignement du traitement sur l'axe ciblé. Un décalage de  $10^\circ$  de cyclotorsion diminue l'efficacité de correction de 30%. La position de décubitus pendant l'intervention induit une rotation de l'œil. Les lasers Excimer modernes sont dotés d'une fonctionnalité de reconnaissance irienne permettant de corriger automatiquement la cyclotorsion. Le risque de sous-corrrection en lien avec les difficultés précédemment décrites est d'autant plus important que l'astigmatisme est fort (138,139).

En LASIK, la charnière du volet doit être suffisamment périphérique pour ne pas être exposée au faisceau laser Excimer. Son positionnement peut être adapté en fonction de l'axe du cylindre. L'opérateur doit protéger la charnière pendant la délivrance du traitement.

Les résultats réfractifs sont satisfaisants en PKR associée à la mitomycine et en LASIK, avec une tendance à la supériorité du LASIK (135-138).

Concernant la technique SMILE, toutes les plateformes laser femtoseconde n'assurent pas la compensation de la cyclorotation du globe oculaire, qui sera corrigée manuellement. De plus, cette technique subit une perte importante d'efficacité pour les forts astigmatismes, et un incrément de la correction par rapport à la valeur originale du cylindre de réfraction est nécessaire. Ces deux facteurs sont sources d'imprécision dans la correction des forts astigmatismes en SMILE (146, 147).

#### b) Chirurgie incisionnelle

Le traitement de l'astigmatisme par chirurgie incisionnelle connaît un regain d'intérêt avec l'avènement du laser femtoseconde. Cette approche a l'avantage de ne pas induire de réduction du volume cornéen.

La localisation des incisions est définie selon des nomogrammes. L'efficacité relaxante d'une incision est d'autant plus importante qu'elle est longue, profonde et proche de l'axe visuel. Cependant, plus l'incision est proche de l'axe optique, moins la qualité de vision sera conservée (14,147,148).

Dans les cas de fort astigmatisme, la technique incisionnelle peut être utilisée en complément d'une procédure photo-ablative. Dans un premier temps, les incisions relaxantes cornéennes sont pratiquées mécaniquement ou au laser femtoseconde dans le but de réduire substantiellement le cylindre. Dans un second temps, le traitement photo-ablatif traite le cylindre résiduel et la sphère éventuellement associée.

Les incisions peuvent également être pratiquées lorsqu'il existe un cylindre résiduel après un traitement ablatif dont l'équivalent sphérique est proche de 0.

La chirurgie incisionnelle relaxante reste peu répandue et un faible nombre de publications y sont consacrées.

#### c) Implants toriques

Les implants toriques, phaqes ou pseudo-phaqes, sont souvent réservés aux astigmatismes avec forte amétropie sphérique. En effet, ils sont associés à une erreur d'angle plus importante que la chirurgie laser (150).

## 5) Presbytie

En l'état actuel des connaissances, il n'existe pas de moyen permettant de restaurer une réelle accommodation.

La **monovision** a l'avantage de pouvoir être testée avant la chirurgie par un essai en lentilles. Elle est souvent une bonne alternative pour les myopes presbytes. Le recours à une technique **multifocale** est bien toléré par les hypermétropes presbytes.

La compensation de la presbytie en chirurgie soustractive cornéenne fait appel, au premier plan, au presbyLASIK. Le déroulement de l'intervention est similaire à un LASIK « classique » si ce n'est que le traitement ablatif délivré réalise un profil « multifocal ». Une mini-monovision peut être associée. Chaque laboratoire a développé son propre algorithme de profil d'ablation multifocale, ayant chacun leur dénomination (Laser Blended Vision de Zeiss, Supracore de Technolas, PresbyMAX de Schwind ...). Le presbyLASIK a démontré des résultats réfractifs satisfaisants, avec un taux de satisfaction plus important chez les hypermétropes. Peu d'études décrivent les résultats spécifiques aux fortes amétropies associées (150-153).

La chirurgie du cristallin clair avec mise en place d'implants corrigeant la presbytie est une alternative très satisfaisante (154).

## MATÉRIEL ET MÉTHODE

### I) Population

Les dossiers des participants inclus dans l'étude ont été sélectionnés à partir de la base de données Oplus du centre Pôle Vision de Lille.

Les patients ont été inclus de manière rétrospective. Le recueil s'est effectué par œil. Les critères d'inclusion étaient les suivants :

- Le patient a bénéficié d'une chirurgie laser à visée réfractive au centre Pôle Vision durant une période s'étendant de février 2019 à février 2020 ou de janvier 2022 à juillet 2024.
- L'œil opéré a reçu un traitement laser pour une forte amétropie. L'équivalent sphérique (ES) et le cylindre de la réfraction subjective pré-opératoire ont permis de définir les groupes suivants :
  - « myopie forte » pour un **équivalent sphérique  $\leq$  à -6D**.
  - « hypermétropie forte » pour un **équivalent sphérique  $\geq$  à 4D**.
  - « astigmatisme fort » pour un **cylindre  $\geq$  à 3D**.

Les interventions ont été pratiquées par 6 chirurgiens différents. Les opérateurs sont les Drs Basson W., Doucet C., Mery J-G., Sabatier M., Santerre N. et Vincent F.

La technique opératoire utilisée, l'âge au moment de la chirurgie, l'amétropie et le traitement de l'œil adelphe n'étaient pas des critères de sélection.

Les yeux dont la meilleure acuité visuelle corrigée pré-opératoire était strictement inférieure à 7/10<sup>ème</sup> (échelle de Monoyer) ont été exclus.

## II) Recueil des données

Les données ont été semi-anonymisées par le recueil des 5 premières lettres du nom de famille, la première lettre du prénom et la date de naissance.

Les dossiers correspondants ont été analysés sur le logiciel Oplus du Centre Pôle Vision et sur le logiciel Oplus du Cabinet Ophtalmologique des Flandres pour les patients y ayant réalisé des consultations post-opératoires.

La fiche technique du traitement laser était retrouvée dans le dossier Oplus de Pôle Vision.

L'échelle de Monoyer a été utilisée pour quantifier l'acuité visuelle de loin dans cette étude. L'intervalle entre les lignes de l'échelle de Monoyer n'est pas constant sur toute l'étendue de l'échelle. Pour cette raison, elle n'est pas adaptée au calcul d'une variation ou d'une moyenne. Une fonction logarithmique est plus pertinente pour quantifier et comparer la fonction visuelle (155). Nous avons utilisé le logarithme décimal de l'angle minimal de résolution (MAR) pour les analyses statistiques, défini par la relation : Acuité LogMAR =  $-\log(\text{AV décimale})$ . Un tableau de conversion est disponible en Annexe 1.

Au moment du recueil, une valeur d'acuité visuelle notée « faible » dans le dossier patient a été catégorisée dans la ligne inférieure (ex : « 10/10<sup>ème</sup> faible » était enregistré dans la catégorie de valeur « 9/10<sup>ème</sup> » dans le tableau de recueil). Toutes les acuités visuelles recueillies ont été mesurées avant une éventuelle retouche. Les patients dont la réfraction cible était différente de 0 n'ont pas été inclus dans l'analyse des acuités visuelles sans correction post-opératoires.

## **1) Temps pré-opératoire**

Chaque patient a bénéficié d'au moins une consultation pré-opératoire avec un chirurgien spécialisé.

Le bilan pré-opératoire comportait un temps dédié à la mesure précise de la réfraction subjective, un examen en lampe à fente, un examen du fond d'œil dilaté, une topographie cornéenne (Pentacam®).

Les données recueillies en pré-opératoire étaient les suivantes :

- La correction optique portée.
- La meilleure acuité visuelle corrigée (échelle de Monoyer).
- La kératométrie par mesure automatisée (Tonoref III).
- La réfraction subjective.
- La réfraction sous cycloplégie par Cyclopentolate chlorhydrate par mesure automatisée (Tonoref III).
- La pachymétrie (Pentacam).
- Le diamètre cornéen horizontal (Pentacam).

## **2) Temps opératoire**

L'intervention chirurgicale se déroulait au sein du Centre Pôle Vision. Le consentement signé du patient était récupéré avant l'intervention.

Le laser femtoseconde VisuMax 500 de Zeiss était utilisé pour toutes les procédures LASIK et SMILE. La plateforme laser comprenait notamment un lit chirurgical pivotant et un microscope chirurgical avec caméra vidéo intégrée. Le laser émettait à une longueur d'onde de 1043 nm, une fréquence d'impulsion de 500 kHz et une durée d'impulsion de 220 à 580 femtosecondes.

Le laser Excimer MEL 90 de Zeiss était utilisé sur la période s'étendant de février 2019 à octobre 2023. Les procédures ont ensuite été effectuées avec le laser TENERO Modèle 2 TECHNOLAS commercialisé par Bausch+Lomb à partir de novembre 2023. Ces lasers Excimer émettaient à une longueur d'onde de 193 nm, une fréquence de 250 à 500 Hz et une taille des spots d'environ 1 mm. Ils possédaient des systèmes de eye tracking performants.

Pour un fonctionnement optimal, la pièce contenant les lasers devait être maintenue à une température de 18 à 22°C et une hygrométrie d'environ 40%.

Le déroulement de chaque intervention est décrit dans le paragraphe consacré aux différentes techniques de chirurgie réfractive laser. Au centre Pôle Vision, le chirurgien était assisté par une aide opératoire.



**Figure 42.** Procédure LASIK. Installation du patient sous le laser femtoseconde (Visumax 500). (Centre Pôle Vision de Lille)



**Figure 43.** Procédure LASIK. Préparation du matériel stérile à usage unique.

(Centre Pôle Vision de Lille)



**Figure 44.** Procédure LASIK. Installation du patient sous le laser Excimer (MEL 90).

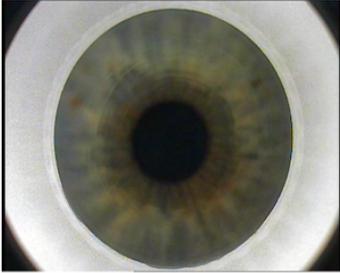
(Centre Pôle Vision de Lille)

Une fois l'intervention terminée, le patient repartait dès qu'il le souhaitait avec son accompagnant.

Les données opératoires recueillies étaient :

- Le type de procédure.
- L'épaisseur du capot pour les LASIK.
- La profondeur de la découpe antérieure (« cap cut ») pour les SMILE.
- Le diamètre de la zone optique.
- La profondeur maximale d'ablation.
- L'épaisseur stromale résiduelle.
- La réfraction cible.

Voici un exemple de fiche technique laser permettant de recueillir les données opératoires de l'étude. Après chaque intervention, ce fichier était importé dans le dossier Oplus du patient correspondant.

Nom : CARÉMÉ Manon		Date du traitement : 30.10.2024		 Pole Vision 44 rue du Faubourg de Roubaix 59000 Lille
N° pat. :		Heure : 18.00.00		
Date de naissance : 20.07.1995		Médecin : Dr BASSON		
Opération de la cornée – ReLEx SMILE				OD   OS
<b>Données de diagnostic</b> Distance sommet de la cornée [mm] : 12,00 Manifeste Sphère [D] : -5,40 Cylindre [D] : -0,50 Axe [°] : 170 Rayon de la cornée [mm] : 7,88 Valeur K moyenne [D] : 42,83 Pachymétrie [µm] : 577				
<b>Données de traitement</b> Taille du pack de traitement : S ← Temps de succion [hh:mm:ss] : 00:00:31 Données du capot Diamètre [mm] : 7,80 Épaisseur [µm] : 140 ← Angle de coupe latérale [°] : 90 Position de l'incision [°] : 120 Angle de l'incision [°] : 50 Largeur de l'incision [mm] : 3,40		<b>Infos nomogramme</b> Refraction, version 5.1 Données de lentille Zone optique [mm] : 6,80 ← Zone de transition [mm] : 0,10 Épaisseur [µm] : Min. : 15    Max. : 119 ← Angle de coupe latérale [°] : 90 Correction réfractive Sphère [D] : -5,40 Cylindre [D] : -0,50 Axe [°] : 170		
<b>Résultat escompté</b> Coupes ReLEx SMILE créées. Réfraction restante Sphère [D] : 0,00 Cylindre [D] : 0,00 Axe [°] : 170 Épaisseur stromale résiduelle [µm] : 318 ←				
<b>Commentaire</b>   				
Commentaire  		Signature du médecin  VisuMax Version du logiciel 1.18 Copyright 2005-2011 Carl Zeiss Meditec AG Tous droits réservés.		

**Figure 45.** Exemple de fiche technique laser d'un œil gauche opéré par technique SMILE. (Centre Pôle Vision de Lille)

### 3) Temps post-opératoire

#### a) Contrôle post-opératoire « précoce »

Ce contrôle était réalisé afin de vérifier l'absence de complications immédiates :

- Les patients ayant bénéficié d'un LASIK étaient revus le jour-même, à quelques heures de l'opération, ou le lendemain. L'examen se déroulait au centre Pôle Vision ou dans un des centres du Cabinet Ophtalmologique des Flandres (Lille, Lens, Hazebrouck, Wasquehal ou Coudekerque). Les patients bénéficiaient d'un examen en lampe à fente par leur chirurgien, qui s'assurait de la bonne position et de l'intégrité du capot. Une mesure de l'acuité visuelle sans correction était la plupart du temps effectuée.
- Les patients ayant bénéficié d'un SMILE étaient appelés le lendemain de l'intervention par le secrétariat du centre Pôle Vision. L'interlocuteur interrogeait sur les symptômes et la récupération visuelle du patient.
- Les patients ayant bénéficié d'une PKR étaient revus en consultation par leur chirurgien entre le 3<sup>ème</sup> et le 7<sup>ème</sup> jour post-opératoire. L'examen se déroulait au centre Pôle Vision ou dans un des centres du Cabinet Ophtalmologique des Flandres (Lille, Lens, Hazebrouck, Wasquehal ou Coudekerque). L'examen en lampe à fente avait pour but de contrôler la cicatrisation épithéliale. La lentille souple thérapeutique était retirée si la cicatrisation était complète.

Les données recueillies lors de la consultation post-opératoire « précoce », pour les patients ayant bénéficié d'un LASIK ou d'une PKR, étaient les suivantes :

- L'acuité visuelle sans correction optique (échelle de Monoyer).
- De manière non systématique, la kératométrie moyenne par mesure automatisée (Tonoref III).

b) Contrôle post-opératoire à un mois (M1)

Tous les patients ont été convoqués pour une consultation à un mois de l'opération. L'objectif était d'évaluer le résultat de l'intervention chirurgicale. Un examen en lampe à fente était également pratiqué pour rechercher d'éventuelles complications. Les données recueillies lors du contrôle post-opératoire à un mois (M1) étaient :

- L'acuité visuelle monoculaire sans correction optique (échelle de Monoyer).
- La kératométrie moyenne par mesure automatisée (Tonoref III).
- De manière non systématique, la réfraction subjective permettant la meilleure acuité visuelle corrigée.

c) Contrôle post-opératoire « tardif »

Ce contrôle tardif n'était pas recommandé systématiquement. Le suivi se poursuivait à une fréquence déterminée par le chirurgien et par l'appréciation du patient. Les informations recueillies pour le contrôle postopératoire « tardif » provenaient de la consultation la plus proche d'un délai de 6 mois après l'intervention.

Les données recueillies lors du contrôle post-opératoire « tardif » étaient les suivantes :

- Le délai en mois depuis la chirurgie.
- L'acuité visuelle monoculaire sans correction optique (échelle de Monoyer).
- L'acuité visuelle binoculaire sans correction optique (échelle de Monoyer).
- La kératométrie moyenne par mesure automatisée (Tonoref III).
- De manière non systématique, la réfraction subjective permettant la meilleure acuité visuelle corrigée.

d) Autres données recueillies

L'âge du patient au moment de la chirurgie, le sexe, la profession et l'existence d'une retouche chirurgicale au cours du suivi étaient également recueillis.

#### **4) Questionnaire**

Un questionnaire de type Google Form a été envoyé à tous les patients inclus dans l'étude dont l'adresse électronique, fournie au moment de la prise de rendez-vous, était disponible.

Le courrier électronique invitait les patients à remplir le questionnaire en ligne via le lien suivant :

[https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeAeDhcNetggSunrRmMYeuvto6nPY-ggWXN47aCYofuysxgUQ/viewform?usp=pp\\_url](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeAeDhcNetggSunrRmMYeuvto6nPY-ggWXN47aCYofuysxgUQ/viewform?usp=pp_url).

Les réponses étaient collectées anonymement par le site de questionnaire en ligne.

Les patients ont été catégorisés en cinq groupes pour l'envoi des mails : myopes forts, myopes forts et astigmates forts, astigmates forts, hypermétropes forts et astigmates forts, hypermétropes forts. Cinq liens différents permettaient d'accéder au même questionnaire. Le recueil des réponses étant totalement anonymisé, ceci a permis de différencier le pool de réponses de chaque groupe.

Les questions posées sont présentées dans l'Annexe 2. Le questionnaire comportait 14 questions portant sur différents items :

- la technique chirurgicale (une question),
- le port de lentille préalable à la chirurgie (une question),
- le port d'une correction optique après la chirurgie (deux questions),
- la qualité de vision (une question),
- la durée de récupération visuelle (une question),
- les effets indésirables post-opératoires fréquents (deux questions),
- l'utilisation de lubrifiants oculaires (une question),
- la satisfaction globale (quatre questions),
- les retouches (une question).

Ce questionnaire était inspiré de modèles validés et non validés (156-159). Le temps nécessaire à la réalisation du questionnaire était estimé à moins de cinq minutes.

### III) Analyse statistique

L'analyse et la comparaison entre groupes et sous-groupes des données recueillies via la plateforme Oplus ont été réalisées par un statisticien indépendant.

Les caractéristiques des patients ont été décrites selon leur nature par moyenne et écart-type ou effectifs et pourcentage, et ont été comparées selon les variables d'intérêt, à l'aide de tests paramétriques et non paramétriques.

Pour les variables catégoriques, nous avons effectué le test paramétrique du  $\chi^2$  et à défaut le test non paramétrique de Fisher. Pour les variables continues, si comparaison entre deux groupes, nous avons utilisé le test paramétrique de Student et à défaut le test non paramétrique de Wilcoxon et si comparaison entre 3 groupes, le test paramétrique d'ANOVA et à défaut le test non paramétrique de Kruskal-Wallis.

Le seuil de significativité retenu est  $p < 0,05$ .

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel de statistique R version 4.4.1.

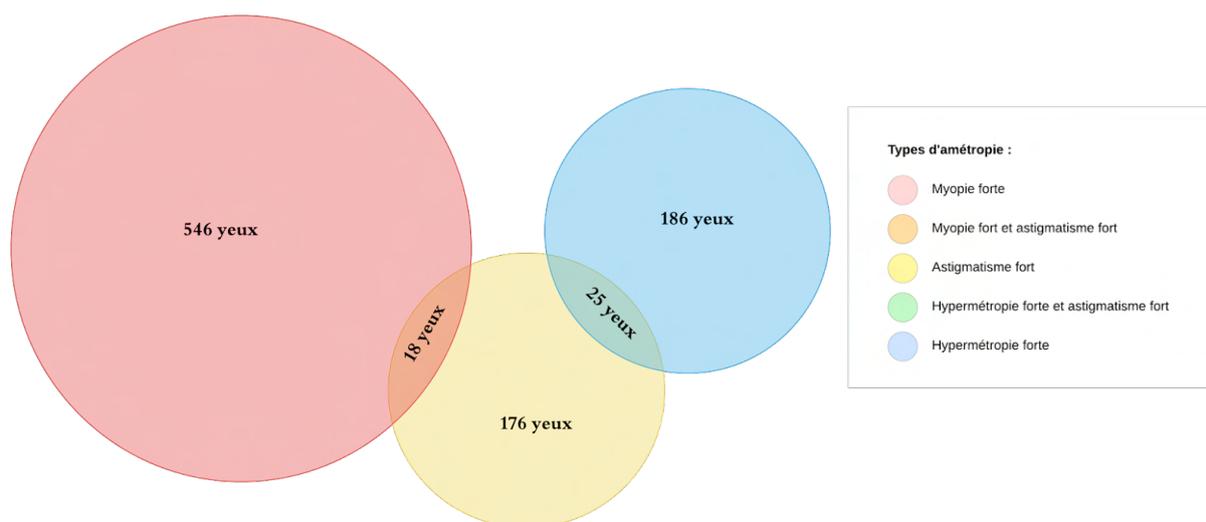
Les données du questionnaire en ligne ont été extraites et présentées à l'aide de diagrammes, sans test comparatif.

# RÉSULTATS

## I) Caractéristiques de la population et comparaison entre les groupes

**Nombre** : la série comporte 865 yeux pour un total de 512 patients. 43 yeux de 28 patients différents sont inclus dans deux groupes.

- 546 yeux de 322 patients sont inclus dans le groupe « Myopie forte ».
- 186 yeux de 117 patients sont inclus dans le groupe « Astigmatisme fort ».
- 176 yeux de 101 patients sont inclus dans le groupe « Hypermétropie forte ».



**Figure 46.** Répartition des effectifs selon les groupes de patients.

**Sexe** : le panel comporte 289 femmes (56,5%) et 223 hommes (43,5%). La proportion de femmes est plus importante dans le groupe « myopie forte », alors que les hommes sont plus représentés dans les autres groupes.

	<b>Myopie forte</b> (n = 322 patients)	<b>Astigmatisme fort</b> (n = 117 patients)	<b>Hypermétropie forte</b> (n = 101 patients)	p value	Test utilisé
Sexe féminin	205 (63.7%)	57 (48.7%)	43 (42.6%)	0.0001	chi2
Sexe masculin	117 (36.3%)	60 (51.3%)	58 (57.4%)		

**Age** : l'âge moyen des patients inclus dans la série est de 32,07 +/- 7,43 ans, avec des extrêmes allant de 17 à 58 ans.

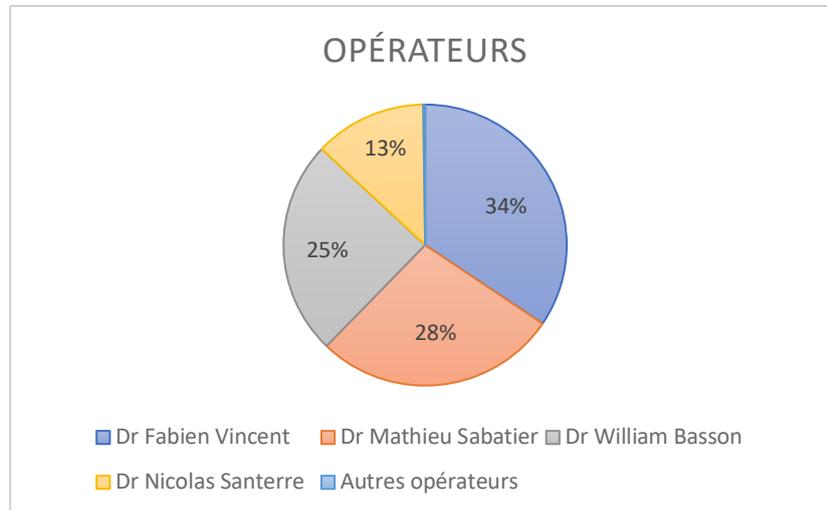
Les patients opérés pour une myopie forte sont en moyenne plus âgés que ceux présentant un astigmatisme fort ou une hypermétropie forte. Cela pourrait s'expliquer par une stabilisation plus tardive de la myopie, retardant le délai d'intervention, alors que l'hypermétropie ou l'astigmatisme n'ont pas tendance à augmenter avec l'âge.

	<b>Myopie forte</b>	<b>Astigmatisme fort</b>	<b>Hypermétropie forte</b>	p value	Test utilisé
Age au moment de la chirurgie (en années)	32.9 (sd=7)	30.3 (sd=6.7)	30.2 (sd=8.7)	<0.001	Kruskal

*sd = standard deviation ou écart-type*

**Profession** : à l'aide de l'outil d'intelligence artificielle ChatGPTpro, les professions ont été catégorisées et classées selon leur fréquence. Les catégories les plus représentées sont, par ordre de fréquence, les métiers en lien avec l'administration, l'informatique, la santé, et les étudiants.

**Opérateurs** : dans cette série, 313 yeux ont été opérés par le Dr Vincent, 253 par le Dr Sabatier, 226 par le Dr Basson, 117 par le Dr Santerre et 3 par d'autres opérateurs.



**Figure 47.** Répartition des effectifs selon les différents opérateurs.

**Latéralité** : 50,5% des yeux opérés sont des yeux droits et 49,5% sont des yeux gauches, il n'y a pas de différence entre les trois groupes ( $p=0,8117$ ).

**Meilleure acuité visuelle corrigée (MAVC) pré-opératoire** : les moyennes d'acuité visuelle sont calculées en se basant sur le logMAR. Pour une présentation plus parlante des résultats, dans la suite de ce manuscrit les moyennes obtenues sont reconverties en acuité visuelle décimale.

La moyenne de la MAVC monoculaire pré-opératoire équivaut à 9,90/10<sup>ème</sup> dans les groupes « myopie » et « hypermétropie ». Elle est très légèrement inférieure dans le groupe « astigmatisme fort » avec une moyenne de 9,85/10<sup>ème</sup>.

	<b>Myopie forte</b>	<b>Astigmatisme fort</b>	<b>Hypermétropie forte</b>	p value	Test utilisé
MAVC pré-opératoire	0.004 (sd=0.018)	0.007 (sd=0.024)	0.004 (sd=0.016)	0.0713	Kruskal

*MAVC : meilleure acuité visuelle corrigée, définie par le logMAR*

### Paramètres cornéens pré-opératoires :

Contrairement à ce qui est communément pensé, les yeux hypermétropes forts de notre série ont un diamètre cornéen horizontal légèrement plus grand comparativement aux autres amétropies. Étant de l'ordre de 0,08 mm, la différence retrouvée entre les groupes n'est cependant pas « cliniquement significative ».

La pachymétrie moyenne est comparable entre les groupes.

Il existe une différence significative de kératométrie moyenne entre les groupes. Les yeux hypermétropes forts ont tendance à avoir des cornées plus plates, tandis que les myopes et astigmatés forts ont des cornées plus cambrées. Ces données peuvent en partie expliquer le défaut réfractif dont souffrent les patients.

Les myopes forts ont tendance à avoir un astigmatisme cornéen plus important que les hypermétropes forts dans cette série.

	<b>Myopie forte</b>	<b>Astigmatisme fort</b>	<b>Hypermétropie forte</b>	p value	Test utilisé
WTW (en mm)	11.86 (sd=0.4)	11.88 (sd=0.36)	11.94 (sd=0.38)	0.0088	Kruskal
Pachymétrie (en microns)	551.5 (sd=28.9)	553 (sd=25.9)	554.7 (sd=33.6)	0.4075	Kruskal
Kmoy (en dioptries)	43.8 (sd=1.8)	43.5 (sd=1.6)	42.6 (sd=1.6)	<0.001	Kruskal
Astigmatisme cornéen (en dioptries) basé sur la kératométrie	-1.89 (sd=1.12)	-3.38 (sd=1.09)	-1.1 (sd=2.05)	<0.001	Kruskal

*WTW : diamètre cornéen horizontal ; Kmoy : kératométrie moyenne*

### Données opératoires :

La technique LASIK est la procédure la plus courante pour toutes les amétropies. Elle est exclusivement représentée dans le groupe des hypermétropes et des astigmatés.

Le SMILE est une technique fréquemment utilisée pour les yeux myopes forts, représentant plus d'un tiers des procédures dans ce groupe.

La PRK est rarement utilisée et représente un modeste pourcentage des traitements de forte myopie.

		<b>Myopie forte</b> (n = 546)	<b>Astigmatisme fort</b> (n=176)	<b>Hypermétropie forte</b> (n=186)	p value	Test utilisé
Type de procédure	LASIK	346 (63.4%)	176 (100%)	186 (100%)	0.0005	Fisher
	dont presby LASIK	12	0	6		
	SMILE	193 (35.3%)	0 (0%)	0 (0%)		
	PKR	7 (1.3%)	0 (0%)	0 (0%)		

Le diamètre de la zone optique de traitement est plus réduit et l'épaisseur du capot en LASIK est plus fine chez les myopes comparativement aux astigmatés et aux hypermétropes. Il existe une différence statistiquement significative entre les groupes.

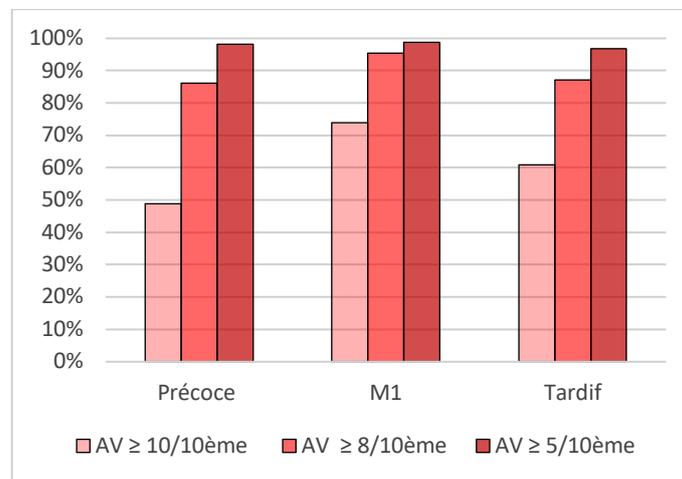
La profondeur d'ablation maximale est calculée par le programme de la plateforme laser. Elle dépend du degré de l'amétropie à traiter et de la taille de la zone optique.

Les données opératoires recueillies sont le reflet de la personnalisation des paramètres chirurgicaux pour chaque type d'amétropie.

	<b>Myopie forte</b>	<b>Astigmatisme fort</b>	<b>Hypermétropie forte</b>	p value	Test utilisé
Diamètre de la ZO (en mm)	6.53 (sd=0.23)	6.80 (sd=0.23)	6.97 (sd=0.08)	<0.001	Kruskal
Épaisseur du capot si LASIK (en microns)	104.4 (sd=5.3)	120.5 (sd=11.6)	123.5 (sd=9.9)	<0.001	Kruskal
Profondeur maximale de la photoablation (en microns)	124.2 (sd=19.1)	92.3 (sd=29.0)	118.7 (sd=24.7)	<0.001	Kruskal

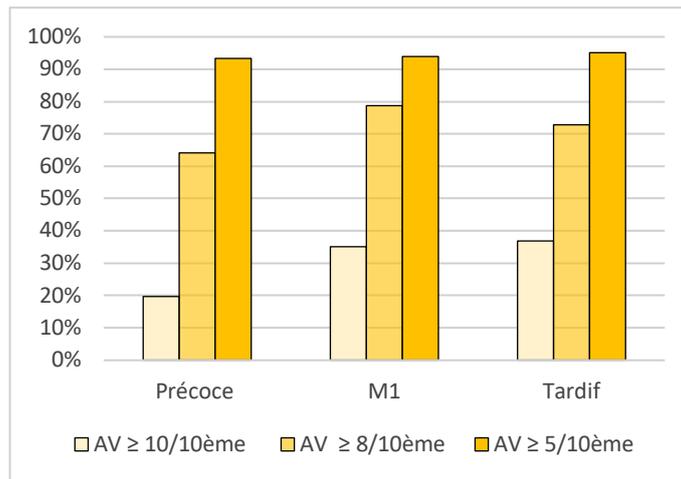
### Acuité visuelle sans correction (AVSC) post-opératoire :

Chez les myopes forts, au contrôle précoce, le jour même ou le lendemain de la chirurgie, 85% des yeux ont une AVSC  $\geq 8/10^{\text{ème}}$  et près de la moitié ont déjà une AVSC optimale  $\geq 10/10^{\text{ème}}$ . A un mois de l'intervention, la proportion augmente encore : 95% des yeux ont une AVSC  $\geq 8/10^{\text{ème}}$  et 74% ont une AVSC  $\geq 10/10^{\text{ème}}$ . A la consultation tardive, ces proportions décroissent. Cette « baisse » observée au contrôle tardif s'explique par un important biais de perdus de vue dans le groupe.



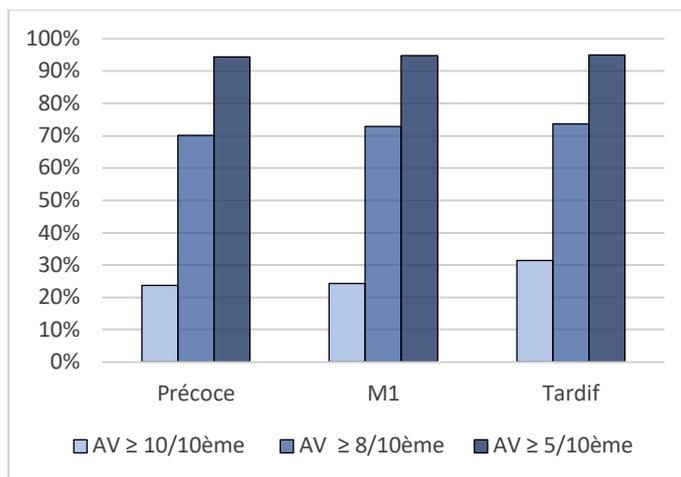
**Figure 48.** AVSC monoculaire chez les myopes forts aux contrôles précoce, à un mois et tardif.

Chez les astigmates forts, 64% des yeux ont une AVSC  $\geq 8/10^{\text{ème}}$  et 20% ont une AVSC  $\geq 10/10^{\text{ème}}$  au premier contrôle. Au contrôle à un mois, ce pourcentage augmente pour atteindre respectivement 79% et 35%. Enfin, au contrôle tardif, la tendance est à une légère diminution de ces proportions avec 73% et 37%.



**Figure 49.** AVSC monoculaire chez les astigmatés forts aux contrôles précoce, à un mois et tardif.

Chez les hypermétropes, 70% des yeux ont une AVSC précoce  $\geq 8/10^{\text{ème}}$  et 24% ont une AVSC  $\geq 10/10^{\text{ème}}$ . Entre le contrôle à un mois et le contrôle tardif, la proportion d'yeux avec une AVSC  $\geq 8/10^{\text{ème}}$  reste globalement stable, avec un taux d'environ 73%. L'obtention d'une AVSC optimale est plus importante au contrôle tardif qu'à un mois, avec une proportion passant de 24% à 31%.



**Figure 50.** AVSC monoculaire chez les hypermétropes forts aux contrôles précoce, à un mois et tardif.

En se basant sur les moyennes exprimées en logMAR, il existe une différence significative de l'AVSC post-opératoire entre les groupes à tous les temps du suivi. Les myopes forts ont une meilleure AVSC comparativement aux yeux astigmatés et hypermétropes, à tous les contrôles.

Les hypermétropes et les astigmatés semblent avoir le même profil évolutif de l'AVSC avec une récupération plus lente, comparativement aux myopes.

La moyenne de l'AVSC binoculaire tardive est > à 10/10<sup>ème</sup> dans tous les groupes, et elle est meilleure dans le groupe « myopie forte ».

	<b>Myopie forte</b>	<b>Astigmatisme fort</b>	<b>Hypermétropie forte</b>	p value	Test utilisé
AVSC précoce	0.040 (sd=0.084)	0.103 (sd=0.111)	0.100 (sd=0.141)	<0.001	Kruskal
AVSC M1	0.001 (sd=0.070)	0.066 (sd=0.107)	0.076 (sd=0.102)	<0.001	Kruskal
AVSC tardif	0.032 (sd=0.098)	0.068 (sd=0.114)	0,068 (sd=0.102)	<0.001	Kruskal
AVSC binoculaire tardif	-0.052 (sd=0.087)	-0.014 (sd=0.075)	-0.018 (sd=0.080)	<0.001	Kruskal

*AVSC : acuité visuelle monoculaire sans correction définie par le logMAR*

### **Contrôles post-opératoires :**

Le suivi post-opératoire tardif est moins fréquent et plus irrégulier chez les patients myopes comparativement aux astigmatés et aux hypermétropes.

L'intervalle de temps moyen entre l'intervention et le contrôle tardif diffère entre les groupes. Il était de 9,3 mois dans le groupe « myopie » ; 6,4 mois dans le groupe « astigmatisme » ; et 5,4 mois dans le groupe « hypermétropie ».

Seul 37% des patients myopes ont bénéficié d'un contrôle tardif. En effet, les patients chez qui la récupération visuelle est déjà optimale à un mois ne sont pas forcément revus. A l'inverse, ce sont les patients allant « moins bien » qui consultent ultérieurement. Cela explique la « régression » de l'AVSC post-opératoire tardive dans le groupe des myopes.

	<b>Myopie forte (n = 546)</b>	<b>Astigmatisme fort (n=176)</b>	<b>Hypermétropie forte (n=186)</b>	p value	Test utilisé
Contrôle M1 non réalisé	32 (6%)	4 (2%)	5 (3%)	0,055	Chi2
Contrôle tardif non réalisé	343 (63%)	69 (39%)	65 (35%)	<0,001	Chi2
Délai entre intervention et contrôle tardif (en mois)	9.6 (sd=7.3)	6.2 (sd=3.9)	5.4 (sd=2.9)	0.0002	Kruskal

**Paramètres cornéens post-opératoires :** la kératométrie post-opératoire est en moyenne de 38,3 D pour les myopes et de 47,6 D pour les hypermétropes. Ces valeurs sont le reflet des profils d'ablation délivrés. Pour les astigmates, les valeurs de kératométrie post-opératoire sont très dispersées (43,5 D +/- 1,6 en préopératoire et 43,2 D +/- 4,4 en post-opératoire).

Il semble exister, chez les myopes, une discrète augmentation de la kératométrie moyenne entre les premiers jours post-opératoires et le contrôle tardif. A l'inverse, chez les hypermétropes, on observe une légère diminution de la kératométrie au cours du temps. Les cornées semblent avoir une tendance naturelle à retrouver leur courbure d'origine. La valeur p d'un test statistique n'est pas fournie, une analyse plus approfondie pourrait révéler si ces variations de la courbure cornéenne au cours du temps sont statistiquement significatives.

	<b>Myopie forte</b>	<b>Astigmatisme fort</b>	<b>Hypermétropie forte</b>	p value	Test utilisé
Kmoy précoce	38.09 (sd=1.83)	43.20 (sd=4.61)	47.83 (sd=4.03)	<0,001	Kruskal
Kmoy M1	38.41 (sd=1.69)	42.66 (sd=5.58)	47.53 (sd=4.02)	<0,001	Kruskal
Kmoy tardif	38.50 (sd=1.59)	43.63 (sd=3.06)	47.40 (sd=4.72)	<0,001	Kruskal

*Kmoy : kératométrie moyenne, unité = dioptrie*

L'astigmatisme kératométrique post-opératoire est en moyenne de -0,76 D pour les yeux myopes, de -0,83 D pour les astigmatés et de -1,04 D pour les hypermétropes.

	<b>Myopie forte</b>	<b>Astigmatisme fort</b>	<b>Hypermétropie forte</b>	p value	Test utilisé
Astig.kérato précoce	-0.7 (sd=0.45)	-0.82 (sd=0.48)	-0.89 (sd=0.50)	<0,001	Kruskal
Astig.kérato M1	-0.75 (sd=0.39)	-0.86 (sd=0.55)	-1.14 (sd=0.54)	<0,001	Kruskal
Astig.kérato tardif	-0.82 (sd=0.43)	-0.82 (sd=0.55)	-1.10 (sd=0.54)	<0,001	Kruskal

*Astig.kérato : astigmatisme cornéen basé sur la kératométrie, unité = dioptries (D)*

**Retouche** : au moment de la fin du recueil de données, 43 yeux avaient bénéficié d'une retouche chirurgicale au centre Pôle Vision, soit un taux de retouche tous groupes confondus de 6,5%.

Il existe une différence statistiquement significative du taux de retouche entre les trois groupes. La myopie forte a le taux de retouche le plus faible. Le groupe astigmatique a le taux de retouche le plus élevé : près d'un œil astigmatique fort opéré sur dix a été retouché dans cette série. Les hypermétropes forts ont également un taux de retouche non négligeable estimé à 7,5%.

Parmi les yeux retouchés, 2 yeux sont à la fois myopes forts et astigmatiques forts et 3 yeux sont hypermétropes forts et astigmatiques forts. Les yeux combinant une amétropie sphérique forte avec un astigmatisme fort représente environ 5% de la population totale étudiée, alors qu'ils sont représentés à hauteur de 11,6% parmi les yeux retouchés.

	Myopie forte (n = 546)	Astigmatisme fort (n=176)	Hypermétropie forte (n=186)	p value	Test utilisé
Retouche	12 (2.2%)	17 (9.7%)	14 (7.5%)	0,0005	Fisher

## II) Description du groupe myopie forte et comparaison entre les sous-groupes

### 1) Description du groupe

Les patients sont âgés de 19 à 58 ans (32,93 ans de moyenne) avec un rapport quasiment de 2 femmes pour 1 homme. L'équivalent sphérique moyen des 546 yeux est de -7,13 D +/- 1, avec des extrêmes allant de -6 à -11,6 D.

### 2) Définition des sous-groupes

A partir de la sphère équivalente, cinq sous-groupes ont été créés :

- De -6 (inclus) à -7 D (exclus) :

Ce sous-groupe comprend 289 yeux (53%). L'ES moyen de la réfraction subjective pré-opératoire de ce sous-groupe est de -6,40 D +/- 0,29.

- De -7 (inclus) à -8 D (exclus) :

Ce sous-groupe comprend 152 yeux (28%). L'ES moyen de la réfraction subjective pré-opératoire de ce sous-groupe est de -7,33 D +/- 0,27.

- De -8 (inclus) à -9 D (exclus) :

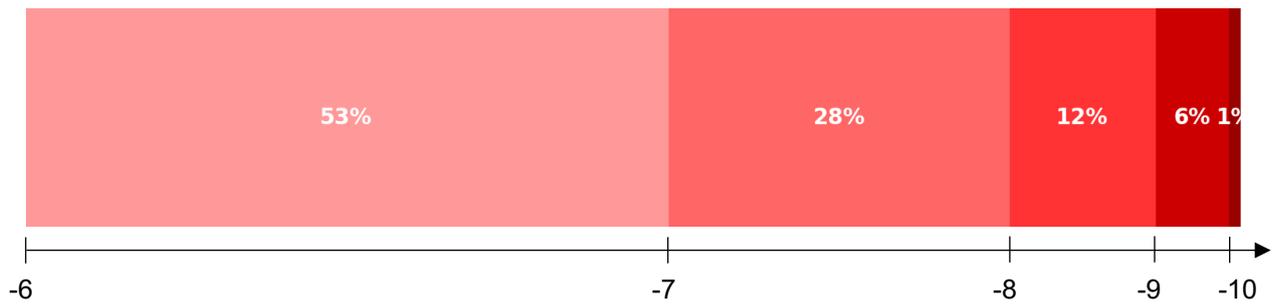
Ce sous-groupe comprend 66 yeux (12%). L'ES moyen de la réfraction subjective pré-opératoire de ce sous-groupe est de -8,37 D +/- 0,25.

- De -9 (inclus) à -10 D (exclus) :

Ce sous-groupe comprend 32 yeux (6%). L'ES moyen de la réfraction subjective pré-opératoire de ce sous-groupe est de -9,38 D +/- 0,24.

- Inférieur à -10D (inclus) :

Ce sous-groupe comprend 7 yeux (1%). L'ES moyen de la réfraction subjective pré-opératoire de ce sous-groupe est de -10,93 D +/- 0,55.



**Figure 51.** Répartition des sous-groupes selon la sévérité de la myopie.

### 3) Comparaison entre les sous-groupes

Certaines des données utilisées pour les comparaisons entre sous-groupes sont présentées dans l'Annexe 3.

**Âge, sexe, diamètre cornéen et kératométrie pré-opératoire :** il n'y a pas de différence significative retrouvée concernant l'âge, le genre, le diamètre cornéen horizontal et la kératométrie moyenne entre les sous-groupes.

#### **Autres paramètres pré-opératoires :**

La pachymétrie pré-opératoire augmente avec le degré de myopie. Cette différence est en réalité causée par un biais de sélection puisque les candidats ayant une très forte myopie doivent obligatoirement avoir une cornée initialement épaisse pour pouvoir bénéficier d'un traitement ablatif cornéen.

**Meilleure acuité visuelle corrigée (MAVC) pré-opératoire :** la MAVC tend à être meilleure pour les myopies les moins sévères ( $p=0,056$ ).

**Paramètres du traitement chirurgical** : il existe une différence statistiquement significative dans le choix de la procédure entre les sous-groupes.

Le LASIK est la procédure la plus couramment utilisée pour tous les degrés de myopie, et sa part augmente avec la sévérité de la myopie. Pour les catégories de myopie les plus élevées (au-delà de 8 D), le LASIK est utilisé dans plus de 90% des cas.

La technique SMILE est fréquemment utilisée pour les myopies de -6 à -8 D, mais est rarement utilisée pour les myopies plus élevées.

La PRK est rarement utilisée et n'apparaît que dans les sous-groupes de myopie moins sévère (de -6 à -8 D).

Le diamètre de la zone optique diminue avec la sévérité de la myopie. L'épaisseur du capot dans les cas traités par LASIK suit également cette tendance. La différence est statistiquement significative entre les sous-groupes ( $p < 0,001$ ). Ces données reflètent l'adaptation des paramètres techniques du laser pour préserver au maximum le mur résiduel stromal postérieur.

### Acuité visuelle sans correction (AVSC) post-opératoire :

L'AVSC monoculaire moyenne à un mois est  $>$  à 9/10<sup>ème</sup> dans tous les sous-groupes.

L'AVSC binoculaire moyenne optimale ( $\geq$  à 10/10<sup>ème</sup>) est atteinte dans tous les sous-groupes au contrôle tardif.

	-6 à -7	-7 à -8	-8 à -9	-9 à -10	$\leq$ -10	p value	Test utilisé
AVSC précoce	0.035 (sd=0.080)	0.050 (sd=0.095)	0.023 (sd=0.063)	0.061 (sd=0.093)	0.062 (sd=0.091)	0.181	Kruskal
AVSC M1	-0.007 (sd=0.063)	0.007 (sd=0.082)	0.013 (sd=0.071)	0.023 (sd=0.056)	-0,026 (sd=0,060)	0.05	Kruskal
AVSC tardif	0.018 (sd=0.075)	0.052 (sd=0.122)	0.054 (sd=0.121)	0.005 (sd=0.010)	0 (sd=0)	0.522	Kruskal
AVSC binoculaire tardif	-0.055 (sd=0.092)	-0.049 (sd=0.096)	-0.052 (sd=0.049)	-0.034 (sd=0.047)	0 (sd=0)	0.582	Kruskal

**Paramètres cornéens post-opératoires :** la kératométrie moyenne diminue avec la sévérité de la myopie ( $p < 0,001$ ). Les cornées sont de plus en plus plates du fait d'un traitement ablatif de plus en plus profond.

L'épaisseur stromale résiduelle moyenne chez les myopes traité en LASIK est de 316 microns +/- 31 avec des extrêmes allant de 276 à 411 microns. En SMILE, les valeurs sont comprises entre 254 et 394 microns.

**Retouche :** le taux de retouche le plus élevé est de 3,9% et est observé dans le sous-groupe des myopies de -7 à -8 D. Les sous-groupes -6 à -7 D et -8 à -9 D ont des taux respectifs de 1,7% et 1,5%. Aucun retraitement n'a été enregistré pour les niveaux de myopie les plus extrêmes ( $\leq$  -9 D).

	-6 à -7 (n = 289)	-7 à -8 (n = 152)	-8 à -9 (n=66)	-9 à -10 (n=32)	$\leq$ -10 (n=7)	p value	Test utilisé
Retouche	5 (1,7%)	6 (3,9%)	1 (1,5%)	0 (0%)	0 (0%)	0.541	Fisher

#### 4) Comparaison selon la technique opératoire : LASIK vs SMILE

En complément des analyses en sous-groupes basées sur la puissance de la myopie, nous avons cherché à comparer l'AVSC à un mois et le taux de retouche en fonction de la technique chirurgicale choisie. Les procédures PKR, étant représentées en faible nombre, n'ont pas pu être incluses dans cette analyse.

A un mois, l'AVSC monoculaire moyenne n'est pas différente entre LASIK et SMILE. Le taux de retouche pour toutes les myopies confondues est de 3,0% après un LASIK et de 1,0% après un SMILE.

	<b>LASIK (n=315)</b>	<b>SMILE (n=185)</b>	p value	Test utilisé
AVSC M1	-0.001 (sd=0.072)	0.001 (sd=0.066)	0.640	Wilcoxon
Retouche	10 (2.99%)	2 (1.04%)	0.226	Fisher

Comme vu précédemment, la technique SMILE est moins représentée pour les fortes amétropies. Nous avons donc procédé à une comparaison s'intéressant uniquement aux myopies de puissance inférieure à 8 D. L'AVSC monoculaire à un mois tend à être légèrement meilleure dans le sous-groupe LASIK. Le taux de retouche semble discrètement moins important en SMILE pour les myopies comprise entre -6 à -8 D avec une proportion de 3,7% après LASIK et de 1,1% après SMILE.

	<b>LASIK (n=224)</b>	<b>SMILE (n=172)</b>	p value	Test utilisé
AVSC M1	-0.005 (sd=0.074)	0 (sd=0.067)	0.216	Wilcoxon
Retouche	9 (3.73%)	2 (1.09%)	0.124	Fisher

### III) Description du groupe hypermétropie forte et comparaison entre les sous-groupes

#### 1) Description du groupe

Les patients sont âgés de 17 à 56 ans (30,25 ans de moyenne). Les hommes sont davantage représentés (57%). L'équivalent sphérique moyen des 186 yeux est de 5,29 D +/- 0,93, avec des extrêmes allant de 4 à 8,75 D.

#### 2) Définition des sous-groupes

A partir de la sphère équivalente, quatre sous-groupes ont été créés :

- De 4 (inclus) à 5D (exclus) :

Ce sous-groupe comprend 79 yeux (43%). L'ES moyen de la réfraction subjective pré-opératoire de ce sous-groupe est de 4,47 D +/- 0,29.

- De 5 (inclus) à 6D (exclus) :

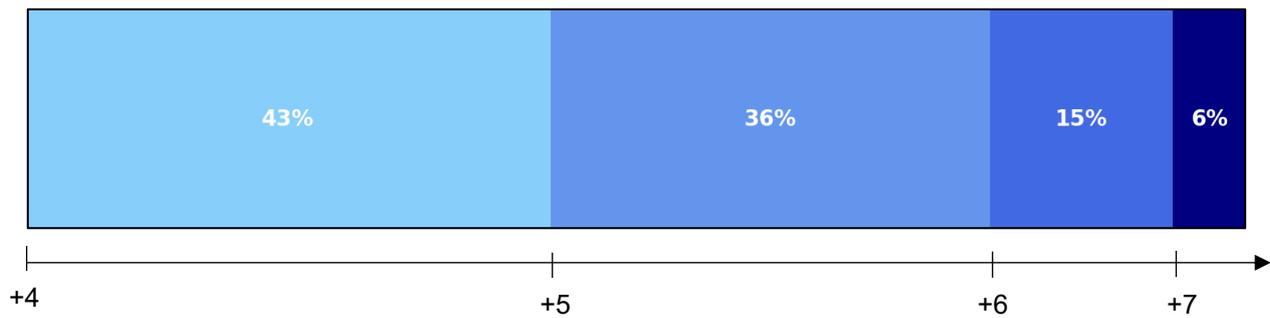
Ce sous-groupe comprend 67 yeux (36%). L'ES moyen de la réfraction subjective pré-opératoire de ce sous-groupe est de 5,41 D +/- 0,30.

- De 6 (inclus) à 7D (exclus) :

Ce sous-groupe comprend 28 yeux (15%). L'ES moyen de la réfraction subjective pré-opératoire de ce sous-groupe est de 6,36 D +/- 0,24.

- Supérieur à 7D (inclus) :

Ce sous-groupe comprend 12 yeux (6%). L'ES moyen de la réfraction subjective pré-opératoire de ce sous-groupe est de 7,45 D +/- 0,53.



**Figure 52.** Répartition des sous-groupes selon la sévérité de l'hypermétropie.

### 3) Comparaison entre les sous-groupes

Certaines des données utilisées pour les comparaisons entre sous-groupes sont regroupées en tableaux dans l'Annexe 4.

**Âge, sexe et paramètres cornéens pré-opératoires** : il n'y a pas de différence significative retrouvée concernant l'âge, le genre, le diamètre cornéen horizontal, la pachymétrie et la kératométrie moyenne entre les sous-groupes.

**Meilleure acuité visuelle corrigée (MAVC) pré-opératoire** : la MAVC pré-opératoire diminue avec la sévérité de l'hypermétropie ( $p=0,041$ ).

**Paramètres du traitement chirurgical** : Toutes les hypermétropies fortes de cette série ont été traitées par technique LASIK.

Il n'existe pas de différence significative du diamètre de la zone optique ( $p=0,88$ ) et de l'épaisseur du capot entre les sous-groupes ( $p=0,81$ ). Le profil d'ablation hypermétropique est périphérique et nécessite donc de grand diamètre de ZO, même pour la correction des « faibles hypermétropies ». L'épaisseur cornéenne périphérique étant plus importante qu'au centre, le mur résiduel postérieur est facilement  $>$  à 300 microns et l'opérateur n'a donc pas besoin de diminuer la profondeur du capot.

### **Acuité visuelle sans correction (AVSC) post-opératoire :**

L'AVSC monoculaire moyenne tend à être meilleure quand l'ES est inférieur à 7 D. Elle reste cependant tout à fait convenable même pour les hypermétropies extrêmes : à un mois l'AVSC moyenne monoculaire est  $> 8/10^{\text{ème}}$  dans tous les sous-groupes.

L'AVSC s'améliore nettement entre le premier contrôle et celui à un mois pour tous les sous-groupes (p value non calculée).

Une AVSC binoculaire tardive  $> 10/10^{\text{ème}}$  est obtenue pour tous les sous-groupes sauf celui des hypermétropies  $\geq 7$  D.

	<b>+4 à +5</b>	<b>+5 à +6</b>	<b>+6 à +7</b>	<b><math>\geq +7</math></b>	p value	Test utilisé
AVSC précoce	0.083 (sd=0.098)	0.106 (sd=0.168)	0.102 (sd=0.123)	0.179 (sd=0.227)	0.503	Kruskal
AVSC M1	0.067 (sd=0.102)	0.083 (sd=0.105)	0.08 (sd=0.095)	0.098 (sd=0.113)	0.483	Kruskal
AVSC tardif	0.063 (sd=0.115)	0.062 (sd=0.098)	0.079 (sd=0.082)	0.095 (sd=0.122)	0.354	Kruskal
AVSC binoculaire tardif	-0.026 (sd=0.1)	-0.025 (sd=0.073)	-0.009 (sd=0.065)	0.031 (sd=0.029)	0.016	Kruskal

**Paramètres cornéens post-opératoires :** la kératométrie moyenne augmente significativement avec la sévérité de l'hypermétropie ( $p < 0,05$ ). Les cornées traitées sont de plus en plus cambrées du fait d'un traitement ablatif de plus en plus profond en périphérie cornéenne.

Il n'y a pas de différence significative de l'astigmatisme kératométrique post-opératoire entre les sous-groupes quelle que soit la période.

**Retouche** : Le taux de retouche le plus élevé est observé pour les hypermétropies supérieures à 7 D avec 33% de retouche. Dans les autres sous-groupes, le taux de retouche moyen est de 6%. La différence est statistiquement significative entre les sous-groupes.

	<b>+4 à +5 (n=79)</b>	<b>+5 à +6 (n=67)</b>	<b>+6 à +7 (n=28)</b>	<b>≥ +7 (n=12)</b>	p value	Test utilisé
Retouche	5 (6.3%)	3 (4.5%)	2 (7.1%)	4 (33.3%)	0.016	Fisher

## **IV) Description du groupe astigmatisme fort et comparaison entre les sous-groupes**

### **1) Description du groupe**

Les patients sont âgés de 18 à 50 ans (30,27 ans de moyenne). La parité est respectée avec 49% de femmes et 51% d'hommes. Le cylindre moyen pré-opératoire des 176 yeux est de -3,69 D +/- 0,72, avec des extrêmes allant de -3 à -5,75 D.

L'équivalent sphérique moyen est de -0,92 D +/- 3,74, avec des valeurs comprises entre -8,88 et 6,25 D. Le groupe des astigmatismes forts tend vers un équivalent sphérique myopique, en revanche les valeurs individuelles sont très dispersées.

### **2) Définition des sous-groupes**

A partir de la puissance du cylindre de la réfraction subjective pré-opératoire, cinq sous-groupes ont été créés :

- De -3 (inclus) à -3,5 D (exclus) :

Ce sous-groupe comprend 79 yeux (45%). La puissance moyenne du cylindre de ce sous-groupe est de -3,09 D +/- 0,12.

- De -3,5 (inclus) à -4 D (exclus) :

Ce sous-groupe comprend 38 yeux (22%). La puissance moyenne du cylindre de ce sous-groupe est de -3,60 D +/- 0,12.

- De -4 (inclus) à -4,5 D (exclus) :

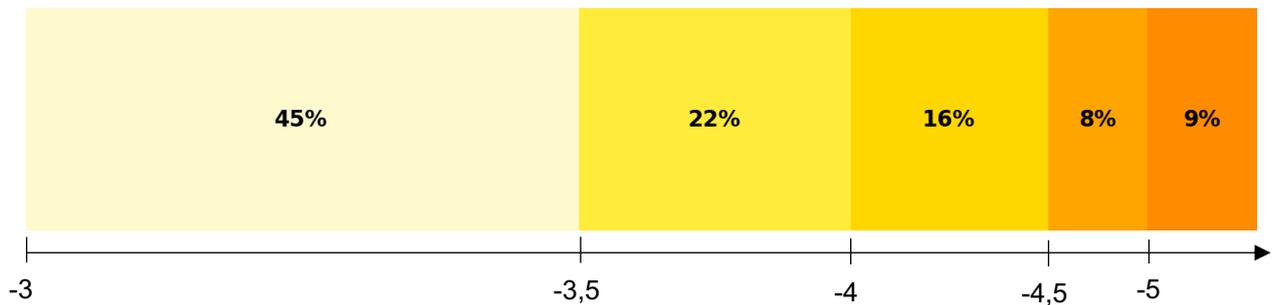
Ce sous-groupe comprend 28 yeux (16%). La puissance moyenne du cylindre de ce sous-groupe est de -4,07 D +/- 0,11.

- De -4,5 (inclus) à -5 D (exclus) :

Ce sous-groupe comprend 15 yeux (8%). La puissance moyenne du cylindre de ce sous-groupe est de -4,57 D +/- 0,11.

- Inférieur à - 5 D (inclus) :

Ce sous-groupe comprend 16 yeux (9%). La puissance de l'astigmatisme subjectif moyen de ce sous-groupe est de -5,34 D +/- 0,26.



**Figure 53.** Répartition des sous-groupes en fonction de la puissance du cylindre.

A partir de l'axe du cylindre de la réfraction subjective pré-opératoire, trois autres sous-groupes ont été créés :

- Astigmatisme direct : les cylindres, exprimés en négatif, ont un axe compris entre 0 et 25° ou entre 155° et 180°. Ce sous-groupe comprend 144 yeux (82%).
- Astigmatisme oblique : les cylindres, exprimés en négatif, ont un axe compris entre 26 et 64° ou entre 116 et 154°. Ce sous-groupe comprend 16 yeux (9%).
- Astigmatisme inverse : les cylindres, exprimés en négatif, ont un axe compris entre 65 et 115°. Ce sous-groupe comprend 16 yeux (9%).

### **3) Comparaison entre les sous-groupes définis sur la puissance du cylindre**

Certaines des données utilisées pour la comparaison entre sous-groupes selon la puissance du cylindre sont regroupées en tableaux dans l'Annexe 5.

**Âge, sexe, et paramètres cornéens pré-opératoires** : il n'y a pas de différence statistiquement significative retrouvée concernant l'âge, le genre, le diamètre cornéen horizontal et la pachymétrie entre les sous-groupes.

**Axe du cylindre** : Les astigmatismes directs sont largement prédominants, indépendamment de la puissance du cylindre ( $p=0,83$ ). Dans cette série, les astigmatismes directs semblent sur-représentés comparativement à leur prévalence dans la population générale.

**Meilleure acuité visuelle corrigée (MAVC) pré-opératoire** : la MAVC moyenne est inférieure pour les astigmatismes extrêmes ayant un cylindre au-delà de 5 D. La différence est significative entre les sous-groupes ( $p<0,001$ ).

**Paramètres du traitement chirurgical** : il n'existe pas de différence significative du diamètre de la zone optique ( $p=0,383$ ) et de l'épaisseur du capot ( $p=0,185$ ) entre les sous-groupes. Le diamètre de la zone optique tend tout de même à augmenter avec la sévérité de l'astigmatisme.

**Acuité visuelle sans correction (AVSC) post-opératoire :** au contrôle précoce, l'AVSC monoculaire moyenne est > à 7,7/10<sup>ème</sup> dans tous les sous-groupes. Il existe une nette amélioration entre les deux premiers contrôles. A un mois, toutes les AVSC monoculaires moyennes sont > 8,1/10<sup>ème</sup>.

L'AVSC monoculaire tend à être discrètement supérieure pour les cylindres inférieurs à 4,5 D.

L'AVSC binoculaire moyenne tardive est tout à fait satisfaisante puisque qu'elle est > à 10/10<sup>ème</sup> dans tous les sous-groupes.

Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les sous-groupes.

	-3 à -3,5	-3,5 à -4	-4 à -4,5	-4,5 à -5	≤ -5	p value	Test utilisé
AVSC précoce	0.104 (sd=0.117)	0.112 (sd=0.125)	0.102 (sd=0.099)	0.108 (sd=0.117)	0.079 (sd=0.069)	0.987	Kruskal
AVSC M1	0.063 (sd=0.112)	0.066 (sd=0.11)	0.054 (sd=0.07)	0.077 (sd=0.123)	0.091 (sd=0.116)	0.559	Kruskal
AVSC tardif	0.069 (sd=0.119)	0.089 (sd=0.128)	0.025 (sd=0.095)	0.103 (sd=0.12)	0.078 (sd=0.097)	0.423	Kruskal
AVSC binoculaire tardif	-0.018 (sd=0.087)	-0.004 (sd=0.083)	-0.029 (sd=0.067)	-0.001 (sd=0.035)	-0.003 (sd=0.066)	0.513	Kruskal

**Paramètres cornéens post-opératoires :** la kératométrie post-opératoire augmente avec la sévérité de l'astigmatisme.

Bien qu'il n'y ait pas de différence significative de puissance de l'astigmatisme kératométrique entre les sous-groupes, quelle que soit la période, le cylindre post-opératoire a tendance à être discrètement plus important avec la sévérité de l'astigmatisme.

Il semble ne pas y avoir de grandes variations dans le temps de l'astigmatisme cornéen. La valeur p n'est pas calculé pour ce test et devra faire l'objet d'une évaluation complémentaire.

**Retouche** : le taux de retouche semble moins important dans le sous-groupe des astigmatismes compris entre -3 et -3,5 D (6,3%) comparativement aux autres sous-groupes qui ont un taux moyen de 12,4%.

	<b>-3 à -3,5 (n=79)</b>	<b>-3,5 à -4 (n=38)</b>	<b>-4 à -4,5 (n=28)</b>	<b>-4,5 à -5 (n=15)</b>	<b>≥ -5 (n=16)</b>	p value	Test utilisé
Retouche	5 (6.3%)	5 (13.2%)	3 (10.7%)	2 (13.3%)	2 (12.5%)	0.581	Fisher

#### 4) Comparaison entre les sous-groupes définis sur l'axe du cylindre

**Acuité visuelle sans correction (AVSC) post-opératoire** : l'AVSC monoculaire et binoculaire est inférieure dans le sous-groupe des astigmatismes obliques, à tous les temps du suivi. Les AVSC moyenne monoculaire à un mois sont de : 7,5/10<sup>ème</sup> pour les obliques, 8,6/10<sup>ème</sup> pour les astigmatismes directs et 9,2/10<sup>ème</sup> pour les indirects. La différence n'est pas statistiquement significative entre les sous-groupes.

	<b>Direct (n=144)</b>	<b>Oblique (n=16)</b>	<b>Indirect (n=16)</b>	p value	Test utilisé
AVSC M1	0.063 (sd=0.101)	0.126 (sd=0.155)	0.038 (sd=0.08)	0.270	Kruskal
AVSC tardif	0.057 (sd=0.102)	0.161 (sd=0.185)	0.051 (sd=0.053)	0.152	Kruskal
AVSC binoculaire tardif	-0.018 (sd=0.059)	0.012 (sd=0.17)	-0.01 (sd=0.065)	0.683	Kruskal

**Retouche** : le taux de retouche est de 31% pour les astigmatismes obliques et de 8% pour les astigmatismes directs. Aucune retouche n'a été enregistrée dans le sous-groupe des astigmatismes indirects. La différence est significative entre les sous-groupes.

	<b>Direct (n=144)</b>	<b>Oblique (n=16)</b>	<b>Indirect (n=16)</b>	p value	Test utilisé
Retouche	12 (8.333%)	5 (31.25%)	0 (0%)	0.012	Fisher

**Cylindre résiduel** : la puissance du cylindre subjectif au contrôle tardif est en moyenne de -1,25 D pour les astigmatismes obliques, -0,80 D pour les directs et -0,65 D pour les indirects. Cette différence est statistiquement significative.

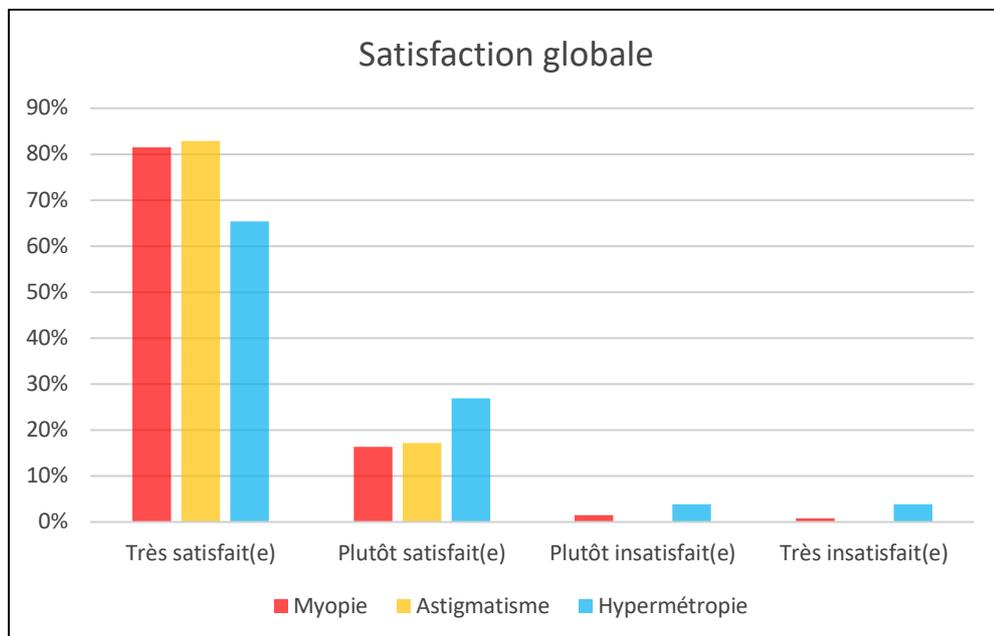
	<b>Direct (n=144)</b>	<b>Oblique (n=16)</b>	<b>Indirect (n=16)</b>	p value	Test utilisé
Cylindre tardif subjectif (en dioptries)	0.8 (sd=0.32)	1.25 (sd=0.65)	0.65 (sd=0.14)	0.043	Kruskal

## V) Résultats du questionnaire

Le questionnaire a été envoyé à un total de 479 patients dont 275 patients myopes forts, 11 myopes forts et astigmatas forts, 92 astigmatas forts, 14 hypermétropes forts et astigmatas forts, 87 hypermétropes forts. 33 des patients inclus n'avaient pas fourni d'adresse e-mail lors de la prise de rendez-vous.

Sur les 479 patients contactés, 191 ont répondu au questionnaire (133 réponses pour la catégorie des myopes, 2 réponses pour les myopes et astigmatas, 30 réponses pour les astigmatas, 3 réponses pour les hypermétropes et astigmatas et 23 réponses pour les hypermétropes). Le taux de réponse était de 39,9%.

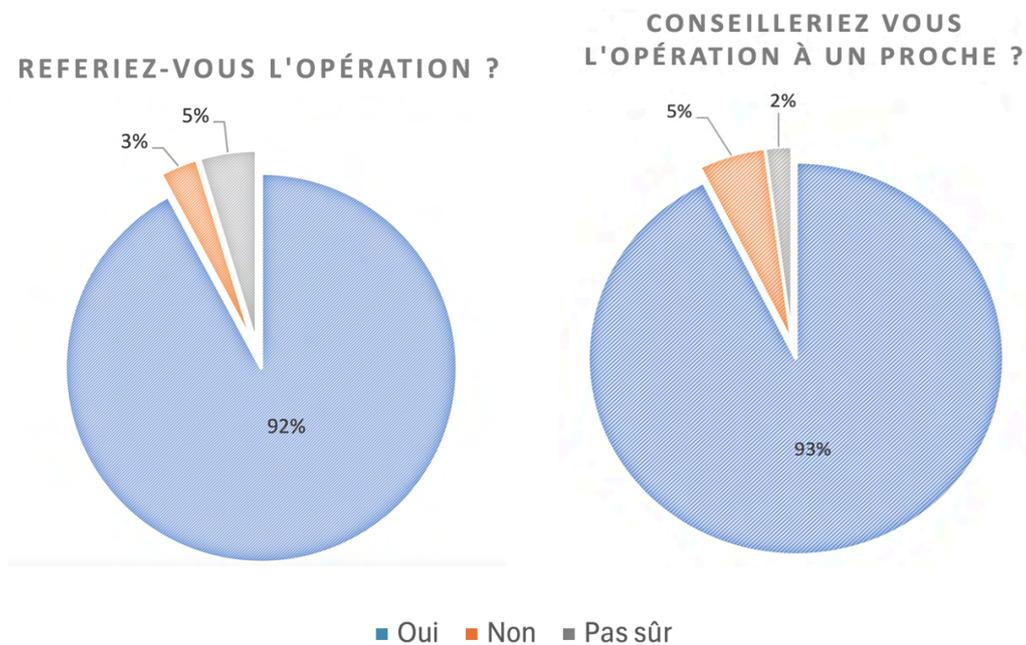
**Satisfaction :** la satisfaction globale à propos des résultats de l'intervention est de 97% tous groupes confondus (97% chez les myopes, 100% chez les astigmatas et 92% chez les hypermétropes).



**Figure 54.** Satisfaction globale du patient.

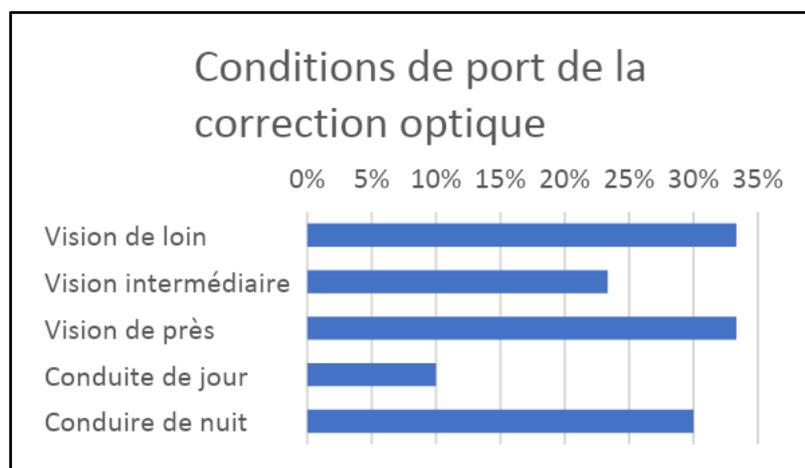
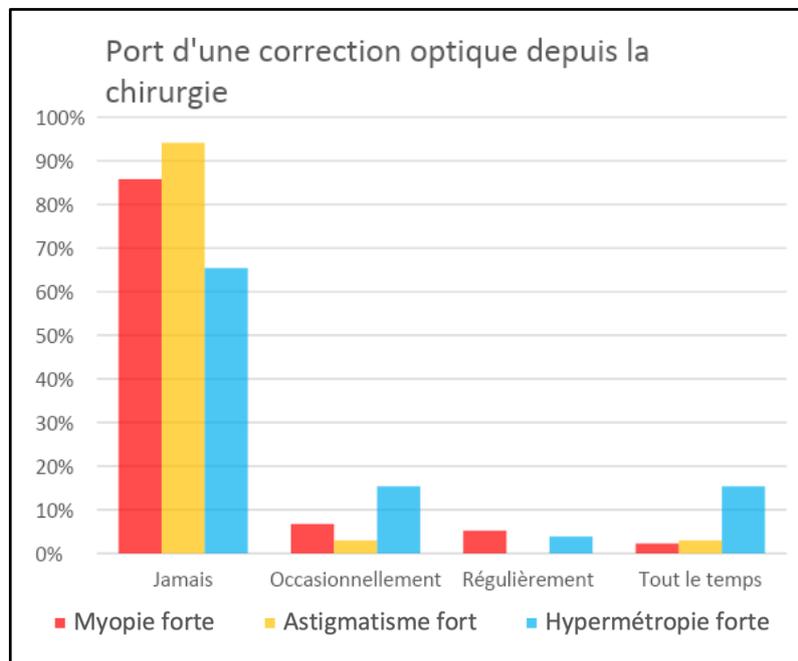
3% des patients ne referaient pas l'intervention compte tenu des résultats et de leur ressenti actuels. Parmi les patients considérant qu'ils ne referaient pas l'opération ou ne sont pas sûrs de refaire l'opération, les raisons invoquées sont : un résultat réfractif décevant (3 patients), le coût de l'intervention (1 patient), le stress liée à l'opération (3 patients), les douleurs post-opératoires (3 patients), la sécheresse oculaire (2 patients), la présence de halos (2 patients), la régression (1 patient).

En corrélation avec la question précédente, 93% des patients interrogés recommanderaient cette intervention à un proche.



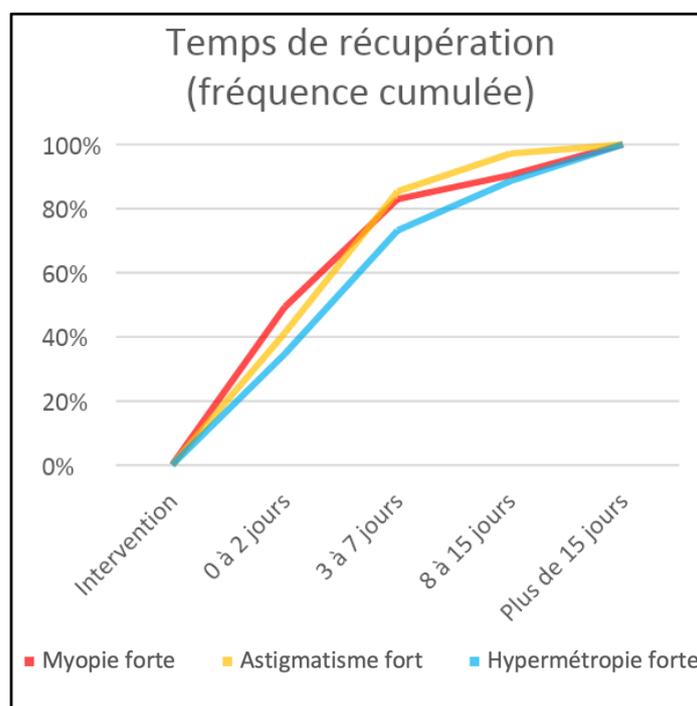
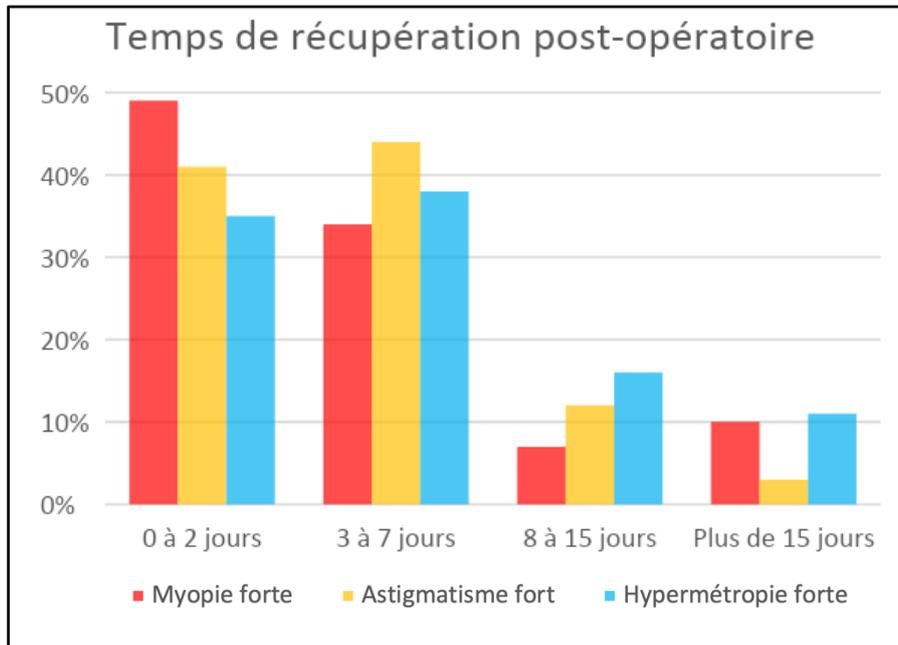
**Figures 55 et 56.** Satisfaction du patient.

**Port d'une correction optique** : 84% des patients déclarent ne jamais porter de correction optique depuis l'intervention. La proportion de patients portant au moins occasionnellement une correction optique est plus importante chez les hypermétropes que chez les myopes et les astigmatés, avec des proportions respectives de 34%, 14% et 6%. Les trente patients nécessitant une correction optique au moins occasionnellement depuis la chirurgie déclarent les porter dans les conditions exposées en Figure 58.



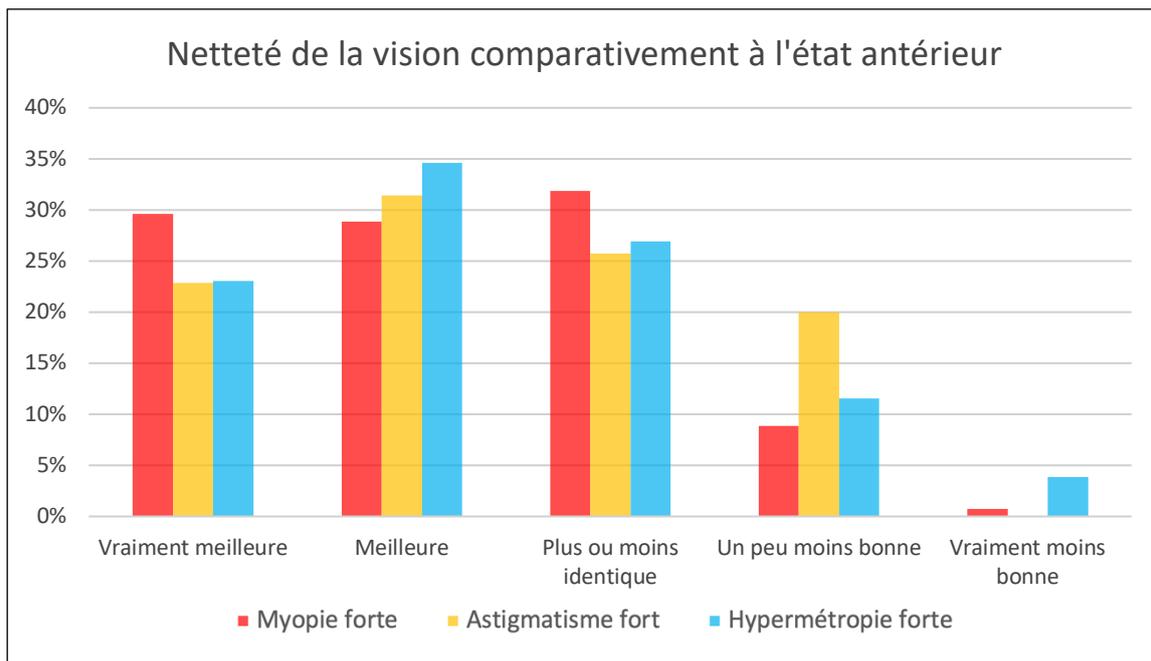
**Figures 57 et 58.** Port d'une correction optique depuis l'intervention.

**Temps de récupération après l'intervention** : à une semaine de la chirurgie, huit patients sur dix avaient pu reprendre de manière confortable leurs activités quotidiennes. La récupération apparaît plus lente chez les hypermétropes dans notre série.



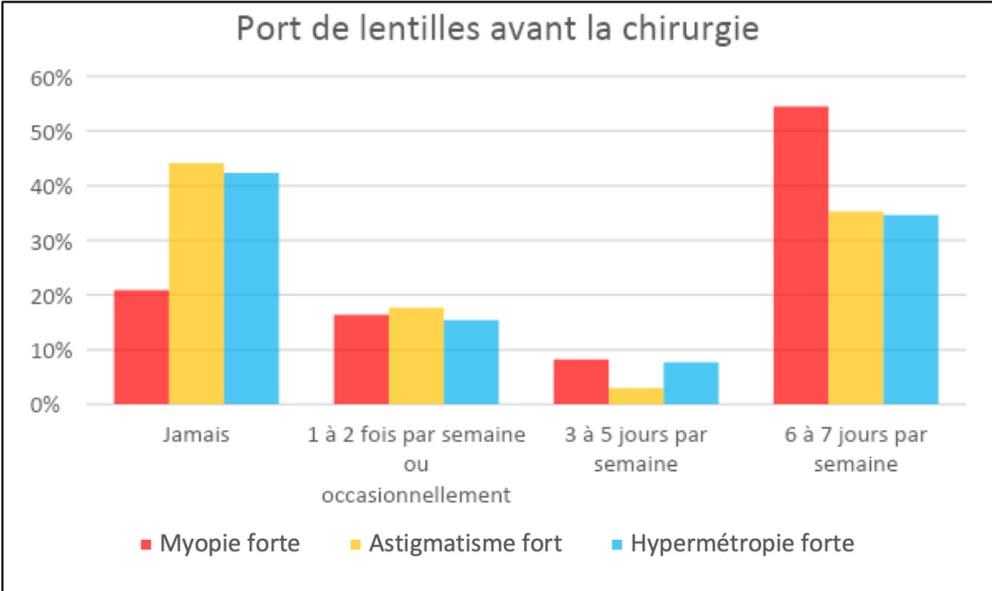
**Figures 59 et 60.** Temps de récupération post-opératoire.

**Qualité de la vision** : en comparant leur vision avec lunettes et/ou lentilles avant l'opération, la majorité des patients trouvent que la netteté de leur vision est meilleure en post-opératoire. Comparativement aux patients myopes, les patients hypermétropes et astigmatiques sont plus nombreux à trouver que la netteté de vision est moins bonne qu'avant la chirurgie.



**Figure 61.** Netteté de la vision post-opératoire.

**Port de lentilles avant l'opération** : 56% des patients étaient porteurs réguliers de lentilles de contact, que nous définissons par un port d'au moins 3 jours par semaine. Cette proportion est plus importante chez les myopes avec 63% de porteurs réguliers, comparativement aux astigmatiques (38%) et aux hypermétropes (42%).

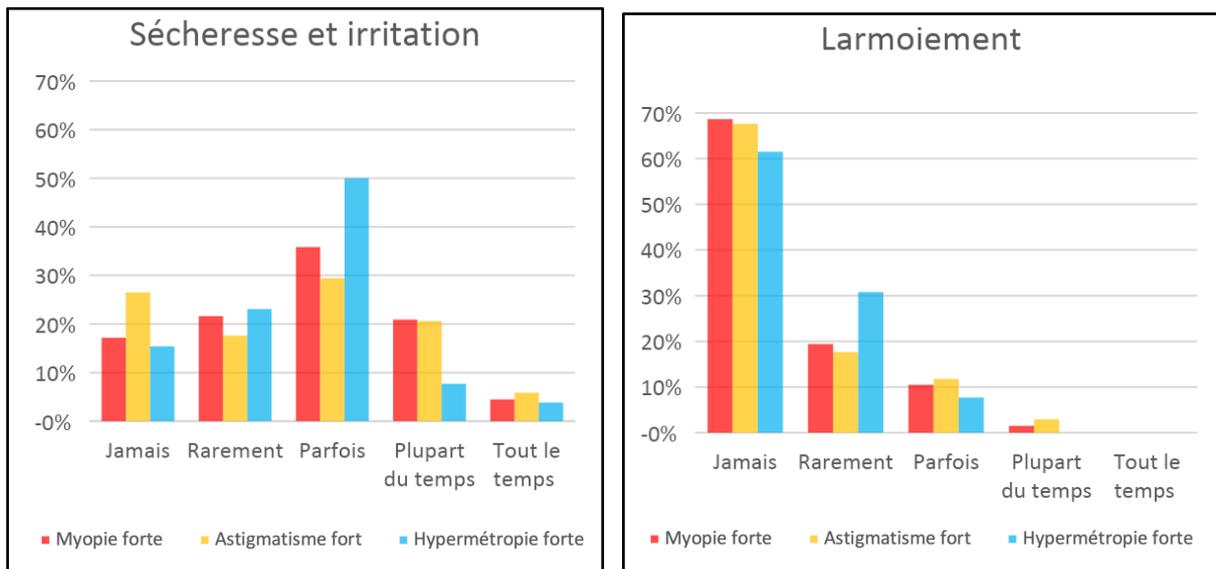


**Figure 62.** Port de lentilles avant la chirurgie.

### Effets indésirables :

Près d'un quart des patients ressentent fréquemment des symptômes à type de sécheresse et/ou irritation oculaire, définis ici selon l'occurrence des symptômes « la plupart du temps » ou « tout le temps ».

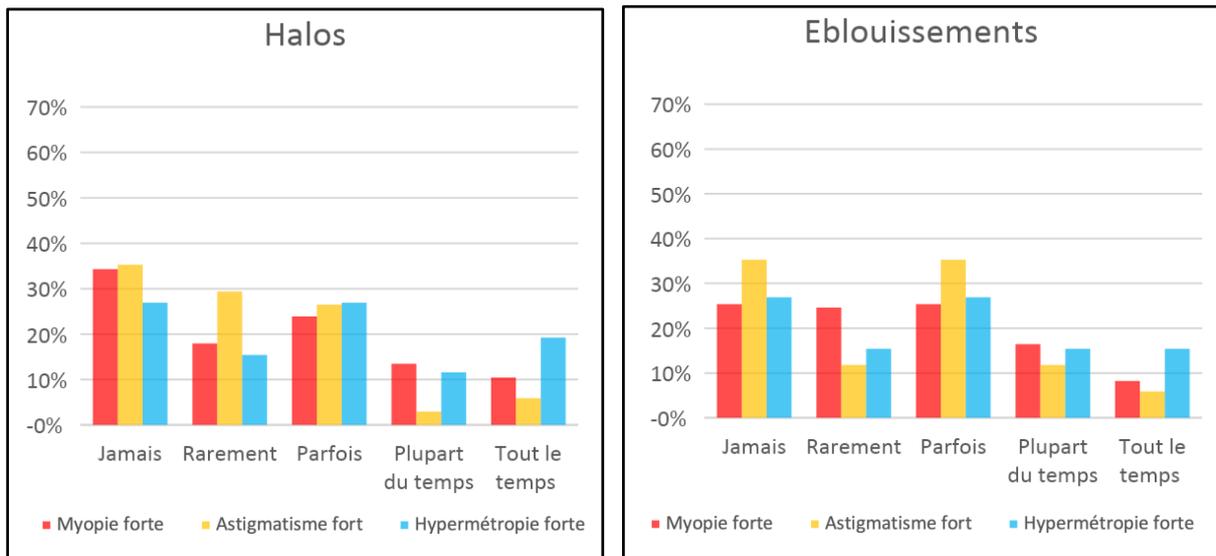
Dans tous les groupes, peu de patients sont gênés par un larmoiement.



Figures 63 et 64. Sécheresse et irritation ; Larmoiement.

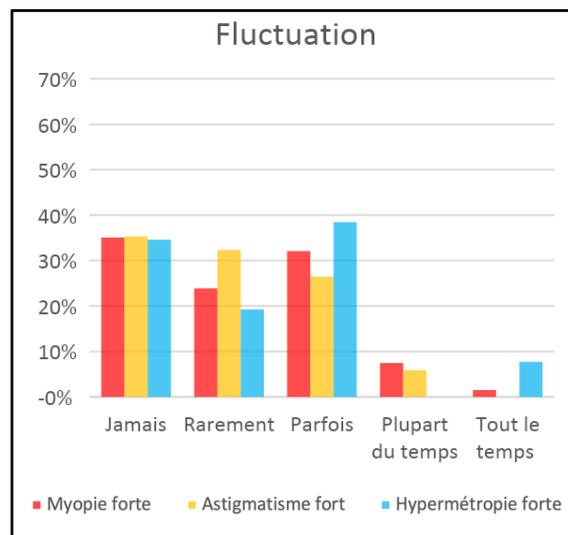
Près d'un quart des patients déclarent percevoir de manière fréquente des halos autour des lumières. Les halos semblent apparaître plus fréquemment chez les hypermétropes (31%) et les myopes (24%) que chez les astigmatiques (9%).

Près d'un quart des patients ont fréquemment une sensation d'éblouissement. L'éblouissement semble également plus fréquent chez les myopes et les hypermétropes.



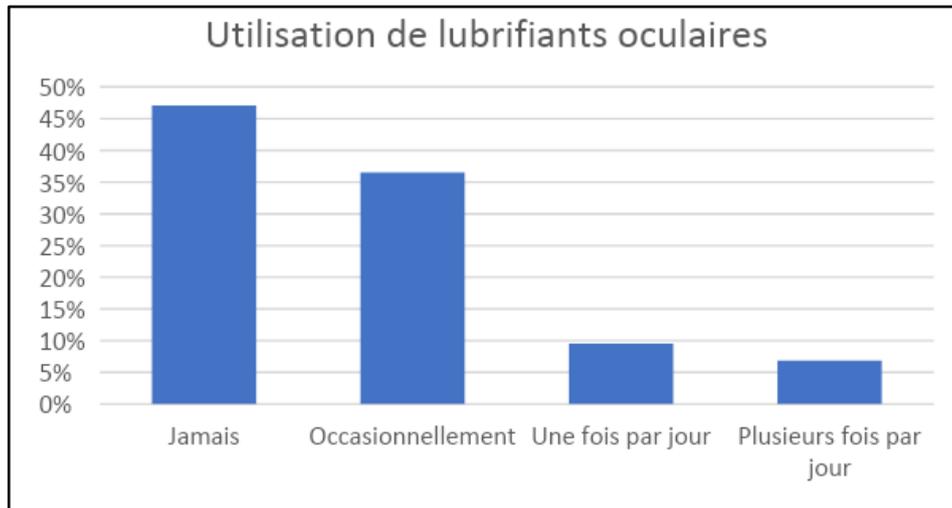
**Figures 65 et 66.** Halos ; Éblouissements.

Une minorité de patients ressent fréquemment des fluctuations de la vision.



**Figure 67.** Fluctuations de la vision.

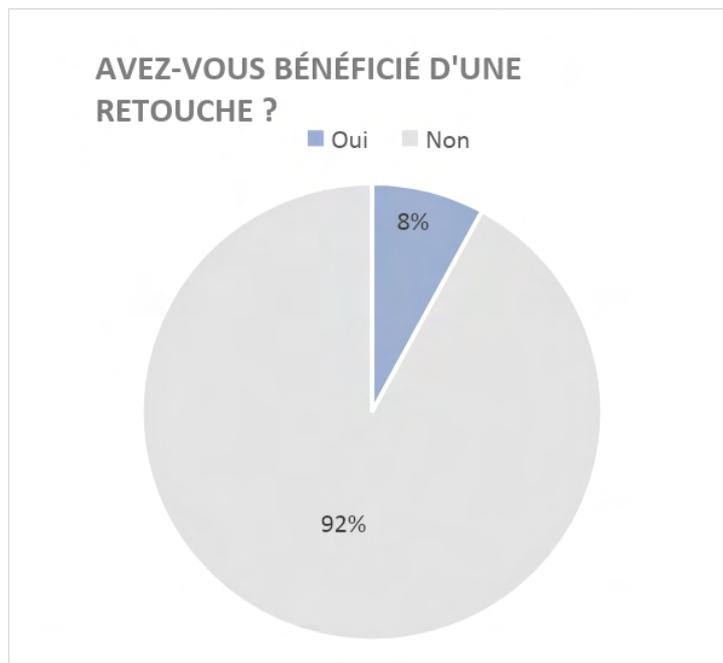
**Utilisation de lubrifiants oculaires** : 54% des patients déclarent avoir recours à des lubrifiants oculaires au moins occasionnellement. 16% déclarent les utiliser quotidiennement.



**Figure 68.** Utilisation post-opératoire de lubrifiants oculaires.

**Comparaison des effets indésirables à l'état antérieur** : 41% des patients déclarent que les symptômes de sécheresse oculaire sont plus intenses qu'avant leur chirurgie. 30% des patients rapportent une gêne à la conduite nocturne plus importante qu'avant la chirurgie.

**Retouche** : 15 patients déclarent avoir bénéficié d'une retouche chirurgicale. La fréquence déclarée est de 4% chez les myopes, 24% chez les astigmates et 8% chez les hypermétropes. Comme indiqué plus haut, nous retrouvons au cours du suivi un taux de retouche de 6,5% toutes amétropies confondues, et qui était également plus important chez les astigmates puis les hypermétropes.



**Figure 69.** Retouches chirurgicales.

## DISCUSSION

Les fortes amétropies affectent une part grandissante de la population, notamment par l'augmentation significative des cas de myopies à l'échelle mondiale. D'ici 2050, la myopie forte pourrait même concerner 10% de la population globale !  
(10)

L'inconfort et les limites des corrections de forte puissance en lunettes ou en lentilles de contact incitent de nombreux patients à rechercher des alternatives pérennes. Depuis son avènement, l'intérêt pour la chirurgie réfractive n'a cessé de croître, stimulé par des avancées technologiques améliorant continuellement sécurité et résultats visuels. La diversification des techniques disponibles et leur accessibilité se sont accrues, grâce à une réduction des coûts opératoires pour le patient et au développement de centres spécialisés.

Cependant certains patients, ou même médecins, ignorent encore que de tels défauts réfractifs puissent être corrigés efficacement et durablement par une chirurgie réfractive cornéenne laser. La méconnaissance ou la peur du résultat décevant freinent parfois l'accès à ces consultations dédiées.

## I) Principaux résultats de l'étude

### 1) Pratique chirurgicale :

D'après un sondage mené par le Dr Gold en 2016 sur les habitudes des ophtalmologistes français en matière de chirurgie réfractive de la myopie, la technique LASIK se place en tête, suivie par la PKR puis le SMILE (124). Dans notre étude, le LASIK demeure également la procédure la plus utilisée, le SMILE arrive en deuxième position. Cette observation illustre la place croissante que prend la technique SMILE en France ces dernières années.

Les données opératoires recueillies soulignent l'importance de la personnalisation des paramètres chirurgicaux pour s'adapter à chaque type d'amétropie et à leur sévérité.

- La zone optique de traitement et l'épaisseur du capot en LASIK (ou la profondeur de la face antérieure du lenticule en SMILE) sont réduites chez le fort myope. Cette approche s'explique par la volonté de respecter l'épaisseur stromale résiduelle. Cette problématique est moindre chez l'hypermétrope fort, dont le profil d'ablation est principalement périphérique, là où la cornée est physiologiquement plus épaisse.
- Des zones de traitement de large diamètre sont utilisées chez l'hypermétrope fort et l'astigmate fort dans le but de préserver la meilleure acuité visuelle post-opératoire, minimiser les effets visuels importuns et limiter les phénomènes de régression. La kératométrie finale doit être d'au minimum 35 D et au maximum de 50 D. Dans notre étude, la moyenne de la kératométrie finale respecte systématiquement cet intervalle, quelle que soit l'amétropie corrigée et son degré.

- Afin de maintenir une biomécanique cornéenne suffisante et réduire le risque d'ectasie, des critères communément admis sont à respecter. L'épaisseur du mur résiduel stromal postérieur doit être suffisante, idéalement supérieure à 300 microns, voire 250 microns selon les auteurs. Ce critère atteint ses limites dans les cas de myopies les plus extrêmes, la plus petite épaisseur stromale résiduelle retrouvée en LASIK dans cette étude étant de 276 microns.

Ces données montrent que la pratique chirurgicale sur cet échantillon du centre Pôle Vision est ancrée dans son temps et en accord avec les recommandations actuelles de la communauté scientifique.

## 2) Efficacité réfractive et retouche :

L'efficacité réfractive peut être évaluée à travers plusieurs aspects dans notre étude : l'acuité visuelle sans correction post-opératoire et ses variations à moyen terme, le taux de retouche, et les critères subjectifs rapportés par les patients comme le délai de récupération visuelle et la satisfaction des résultats obtenus. Le calcul de l'index d'efficacité, définie par l'AVSC pré-opératoire divisée par l'AVSC post-opératoire, n'a pas d'intérêt dans notre étude car les acuités visuelles sans correction pré-opératoires sont toujours basses chez les amétropes forts.

**Chez les myopes forts**, le résultat réfractif est très satisfaisant et rapidement atteint. 95% des yeux ont une AVSC monoculaire  $\geq 8/10^{\text{ème}}$  et 74% ont une AVSC  $\geq 10/10^{\text{ème}}$  à un mois de la chirurgie. L'AVSC moyenne à un mois est remarquable : elle est supérieure à  $9/10^{\text{ème}}$  en monoculaire, quelle que soit la sévérité de la myopie. Le ressenti des patients myopes est en corrélation avec nos analyses objectives, le temps de récupération visuelle estimé est rapide et la satisfaction globale est grande.

De plus, les myopes sont aussi moins souvent revus en contrôle tardif, ce qui peut suggérer qu'ils n'éprouvent pas le besoin de revoir leur ophtalmologiste !

Le taux de retouche dans le groupe des yeux myopes est le plus faible des trois amétropies (2,2%). Dans notre étude, ce taux suit une répartition « gaussienne » centrée sur le sous-groupe -7 à -8 D. Les myopies modérément sévères sont moins sujettes aux sous-corrrections et aux phénomènes de régression, mais les très fortes myopies ne peuvent anatomiquement plus recevoir de nouveau traitement ablatif, ce qui explique le profil de répartition des retouches dans ce groupe.

**Chez les hypermétropes et les astigmatés forts**, la récupération visuelle est plus lente. Bien que l'acuité visuelle optimale soit plus difficilement atteinte que chez les myopes, elle reste tout à fait correcte : à un mois, l'AVSC monoculaire moyenne est  $\geq$  à 8/10<sup>ème</sup> quelque que soit la sévérité de l'hypermétropie ou de l'astigmatisme. Le taux de retouche est plus important, il atteint quasiment 10% dans le groupe « astigmatisme fort » et 7,5% dans le groupe « hypermétropie forte ». Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces constatations.

- Une part plus importante des sujets hypermétropes et/ou astigmatés, comparativement aux myopes, ont une acuité visuelle pré-opératoire corrigée non optimale.
- Le processus de cicatrisation et le remodelage cornéen sont plus complexes et la prédictibilité moindre que chez les myopes de par une régression plus marquée.

- Pour les astigmates, un des facteurs réside en la complexité de la programmation réfractive pré-opératoire et en sa mise en œuvre au bloc. Tout décentrement ou désaxement du traitement photo-ablatif entraîne une erreur réfractive d'autant plus marquée que le cylindre est puissant.

Il existe quelques « tips » ou ajustements pré et per-opératoires qui mis bout à bout pourront faire concorder le résultat escompté, par le patient et son chirurgien, avec celui obtenu (par exemple : rester vigilant quant aux grandes pupilles qui majorent les halos, se méfier du spasme accommodatif chez l'hypermétrope, penser au décentrement nasal du point de fixation chez l'hypermétrope, consacrer un temps précieux à la recherche du bon axe d'un astigmatisme ...).

Lorsque l'on interroge les patients hypermétropes et astigmates, leurs réponses au questionnaire confirment la tendance à une récupération plus longue et moins optimale. Le temps de rétablissement de la vision estimé est plus long, notamment chez les hypermétropes, qui sont également plus enclins à continuer de porter une correction optique après l'intervention.

Cette différence entre les myopes et les autres amétropies ne remet cependant pas en cause la **satisfaction globale des patients** puisque 100% des astigmates et 92% des hypermétropes ayant répondu au questionnaire se disent satisfaits de leur chirurgie. La très haute satisfaction des astigmates forts, même pour des résultats sub-optimaux, réside peut-être dans l'exigence moindre de ces patients pour qui la correction en lunettes et en lentilles a toujours été délicate.

Notre étude relève un **taux de retraitement** nettement supérieur pour les hypermétropies extrêmes (33%) comparativement aux hypermétropies moins sévères.

Chez les astigmates, un cylindre d'axe oblique est associé à une AVSC post-opératoire moins satisfaisante, un cylindre résiduel subjectif plus prononcé et à un taux de retouche plus élevé (31%). Les astigmatismes directs et indirects semblent de configuration plus favorable aux traitements réfractifs cornéens.

Les yeux combinant une amétropie sphérique forte et un astigmatisme fort semblent sur-représentés dans la population des yeux retouchés.

Ainsi à l'issue de cette étude, de potentiels facteurs de risque de retraitement ont été identifiés : une hypermétropie  $\geq 7$  D, un axe oblique d'un cylindre de forte puissance et l'association d'une amétropie sphérique forte et d'un astigmatisme fort.

## II) Comparaison à la littérature :

### 1) Acuité visuelle sans correction post-opératoire :

Dans notre étude, le résultat visuel à un mois paraît satisfaisant.

- 95% des yeux myopes forts ont une AVSC post-opératoire  $\geq 8/10^{\text{ème}}$
- 73% des yeux hypermétropes forts ont une AVSC post-opératoire  $\geq 8/10^{\text{ème}}$
- 79% des yeux astigmatiques forts ont une AVSC post-opératoire  $\geq 8/10^{\text{ème}}$

La difficulté de comparaison à la littérature réside dans le fait que les publications sont nombreuses et diffèrent les unes des autres par de nombreux paramètres (techniques chirurgicales, lasers utilisés, durée du suivi ...). L'AVSC est un critère fonctionnel d'efficacité couramment utilisé en chirurgie réfractive. Le taux d'emmetropisation (souvent défini par un ES subjectif de  $\pm 0,50$  D) n'a malheureusement pas été retenu pour notre étude car peu mesuré.

Concernant les **fortes myopies**, les résultats réfractifs dans la littérature basés sur l'AVSC sont assez disparates. En comparaison aux plus grandes cohortes récentes (surlignées en gris), les résultats réfractifs de notre étude pour le traitement de la myopie forte sont tout à fait satisfaisants.

Revue de la littérature non exhaustive des études portant sur les résultats réfractifs  
des fortes myopies.

Auteurs et année de publication	Type d'inter- vention	Nombre d'yeux	Suivi (mois)	ES pré- opérateur (D)	Résultats AVSC (%)		
					≥ 5/10 ème	≥ 8/10 ème	≥ 10/10 ème
Rouland 2004 (160)	PKR	124	6	-6 à -14	92		54
Shojaei 2009 (161)	PKR	194	12	> - 6	80		53
				-6 à -10	72		22
				< - 10	56		15
Rouland 2009 (162)	PKR	26	3	-6.5 à -13.1	100		61
Alio 2011 (163)	LASIK	51	6	-8.66 ± 1.3	88		59
Rouland 2012 (164)	PKR	45	12	-10.12 ± 1.73	82		18
Hjortdal 2012 (165)	SMILE	670	3	-7.19 ± 1.3			61
Vestergaard 2014 (45)	PKR	64	16 ans (moyen ne)	-6 à -20.25			22
Kim 2015 (83)	SMILE	125	1	-7.67 ± 1.01			79
			6				81
Chazalon (série personnelle) (14)	SMILE	99	2 à 3	-6 à -10		93	
Albou-Ganem 2015 (79)	SMILE	106	12	-6.22 ± 1.6		100	77
Hansen 2016 (166)	SMILE	722	3	-6.43 ± 1.59			58

Auteurs et année de publication	Type d'intervention	Nombre d'yeux	Suivi (mois)	ES pré-opératoire (D)	Résultats AVSC (%)		
					≥ 5/10 <sup>ème</sup>	≥ 8/10 <sup>ème</sup>	≥ 10/10 <sup>ème</sup>
Reinstein 2016 (167)	LASIK	479	>12	-9.39 ± 1.22			89 (après traitement final)
Messerschmidt -Roth 2017 (168)	SMILE	50	3	-6.18 ± 1.91			47
Kanellopoulos 2017 (169)	LASIK	22	3	-3.125 à -10			86
	SMILE	22	3				68
Qin 2018 (170)	SMILE	30	6	-6.4 ± 1.29		100	93
		30	6	-10.06 ± 0.77		97	63
Gomel 2018 (171)	PKR et LASIK	1675		-6 à -9 < -9		89	
		533				77	
Gershoni 2019 (168)	PKR	674	4	- 7.87 ± 1.46	94	62	29
	LASIK	118	4	- 7.19 ± 0.81	98	68	29
Chua 2019 (173)	LASIK		3	-5 à -10	96		62
			3	< -10			84
Wallerstein 2020 (174)	LASIK	114	24	-11.02 ± 0.81	96		51
Zhang 2020 (175)	PKR	85	12	-7.59 ± 0.84	100	100	98
	LASIK	80	12	-7.60 ± 1.21	100	94	90
Li 2023 (176)	LASIK	74	12	-7.76 ± 1.21			100
Saad 2024 (177)	SMILE	18	3	-6.25 à -10			100
Notre série	PKR, LASIK et SMILE	546	1	-7.13 ± 1	99	95	74

Peu d'études se concentrent uniquement sur les **fortes hypermétropies**. En comparaison aux cohortes récentes (surlignées en gris), dont l'ES pré-opératoire moyen se rapproche de notre étude, les résultats réfractifs de notre étude sont comparables concernant l'AVSC  $\geq 5/10^{\text{ème}}$  et l'AVSC  $\geq 8/10^{\text{ème}}$ . Notre cohorte se distingue par son nombre d'yeux inclus.

Revue de la littérature non exhaustive des études portant sur les résultats réfractifs des fortes hypermétropies.

Auteurs et année de publication	Type d'intervention	Nombre d'yeux	Suivi (mois)	ES pré-opératoire (D)	Résultats AVSC (%)		
					$\geq 5/10^{\text{ème}}$	$\geq 8/10^{\text{ème}}$	$\geq 10/10^{\text{ème}}$
Dausch 1997 (178)	PKR	68	12	4.85 $\pm$ 1.85	97		40
Argento 2000 (179)	LASIK Petite ZO	251	12	5.28 $\pm$ 0.69	78	59	
	Grande ZO	32	12	5.13 $\pm$ 0.61	77	59	
Salz 2002 (180)	LASIK	39	6	3.00 à 6.00	79	50	29
	Avec astigmatisme	48	6	3.00 à 5.75	84	45	32
Ditzen 2002 (181)	LASIK	23	12	4.88 $\pm$ 2.13	83		39
	Avec astigmatisme	44	12	4.33 $\pm$ 2.15	62		
Zadok 2003 (182)	LASIK	26	12	4.29 $\pm$ 0.89	92		23
		22	12	7.52 $\pm$ 1.36	59		14
Spadea 2006 (183)	LASIK	100	24	4.49 $\pm$ 1.20	96		64
Waring 2008 (184)	LASIK	279	12	3.51 $\pm$ 1.45	90		63
Alio 2008 (185)	LASIK	51	6	4.45 $\pm$ 1.08	95	76	54

Auteurs et année de publication	Type d'interven- tion	Nombre d'yeux	Suivi (mois)	ES pré- opérateur (D)	Résultats AVSC (%)		
					≥ 5/10 ème	≥ 8/10 ème	≥ 10/10 ème
Young 2009 (186)	LASIK		1	4.00 à 5.50			38
Kanellopoulos 2012 (187)	LASIK	202	24	3.04 ± 1.75	96	81	59
Alio 2013 (188)	LASIK	27	3 6	6.33 ± 0.83	92 92	68 68	44 27
Amigo 2015 (189)	LASIK	24 16	6 6	3.66 ± 0.61 4.05 ± 0.59	92 100		67 81
Arba Mosquera 2016 (190)	LASIK	46	6	3.64 ± 1.42	85		30
Plaza-Puche 2016 (191)	LASIK	51	6	6.33 ± 0.83	98		53
de Ortueta 2016 (192)	LASIK	38	6	4.07 ± 0.90	84	55	18
Reinstein 2017 (193)	LASIK	219	24	3.84 ± 1.35	96		62
Demir 2019 (194)	LASIK	23	12	5.26 ± 0.44		70	
Reinstein 2019 (195)	SMILE	36	3	5.62 ± 1.20	89		
Reinstein 2022 (196)	SMILE	219	12	3.20 ± 1.48	100	88	68
Notre série	LASIK	186	1	5.29 ± 0.93	95	73	24

Une méta-analyse récente de janvier 2023 a permis de comparer les différentes techniques opératoires pour le traitement des **astigmatismes forts**, définis dans cette méta-analyse par un cylindre  $\geq 2.00$  D (197). Une difficulté majeure s'impose pour les comparaisons : le cylindre moyen pré-opératoire est le plus élevé dans notre série. L'étude menée par Mimouni et al. en 2021 (surlignée en gris) est celle se rapprochant au mieux de notre étude en termes de nombre de cas, de cylindre moyen pré-opératoire, et de durée de suivi : l'AVSC moyenne et le cylindre résiduel sont semblables entre les deux études.

Revue de la littérature non exhaustive des études portant sur les résultats réfractifs des forts astigmatismes.

Auteurs et année de publication	Type d'intervention	Nombre d'yeux	Suivi (mois)	Cylindre pré-opératoire (D)	Résultats AVSC moyenne en logMAR	
					AVSC (logMAR)	Cylindre résiduel (D)
Zhang 2016 (198)	SMILE	42	3	-2.48 $\pm$ 0.82		
	LASIK	22	3	-2.56 $\pm$ 1.04		
Jun 2018 (199)	SMILE	45	6	-2.90 $\pm$ 0.42	-0,05 $\pm$ 0.07	-0.37 $\pm$ 0,29
	PKR	44	6	-2.84 $\pm$ 0.35	-0,06 $\pm$ 0.07	-0.31 $\pm$ 0.25
Chan 2018 (199)	SMILE	40	3	-3.42 $\pm$ 0.55	0.03 $\pm$ 0.05	-0.27 $\pm$ 0.26
	LASIK	65	3	-3.47 $\pm$ 0.49	0.03 $\pm$ 0.04	-0.22 $\pm$ 0.22
Reitblat 2020 (201)	PKR	186	4	-2.76 $\pm$ 0.79	0.13 $\pm$ 0.13	-0.82 $\pm$ 0.63
	LASIK	93	4	-2.72 $\pm$ 0.84	0.07 $\pm$ 0.09	-0.79 $\pm$ 0.54
Zhong 2021 (202)	SMILE	43	48	-2.47 $\pm$ 0.54	-0.02 $\pm$ 0.06	-0.31 $\pm$ 0.29

Auteurs et année de publication	Type d'intervention	Nombre d'yeux	Suivi (mois)	Cylindre pré-opératoire (D)	Résultats AVSC moyenne en logMAR	
					AVSC (logMAR)	Cylindre résiduel (D)
Mimouni 2021 (136)	LASIK	175	1	-3.35 ± 0.46	0.06	-0.59 ± 0.46
	PKR	175	2	-3.42 ± 0.51	0.08	-0.88 ± 0.60
Canones-Zafra 2021 (203)	LASIK	409	3	-2.45 ± 0.87	0,06	-0.55 ± 0.67
Zhao 2021 (204)	SMILE	47	3	-2.83 ± 0.58	-0,06 ± 0,09	-0,19 ± 0.23
	LASIK	40	3	-2.99 ± 0.68	-0,05 ± 0,11	-0.12 ± 0.26
Kose 2022 (205)	LASIK	64	12	-3.15 ± 0.62	0 ± 0,06	-0.21 ± 0.24
	SMILE	64	12	-3.11 ± 1.06	0 ± 0,05	-0.21 ± 0.25
Zhou 2022 (206)	SMILE	53	12	-2.51 ± 0.56	-0,05 ± 0,08	-0.57 ± 0.4
	LASIK	41	12	-2.65 ± 0.77	-0,03 ± 0,1	-0.46 ± 0.32
Notre série	LASIK	172	1	-3.69 ± 0.72	0.07 ± 0.11	-0.59 ± 0.39

Il ne nous apparaît pas pertinent de comparer le **taux de retouche** de notre cohorte à ceux rapportés dans la littérature. En effet la durée de suivi dans notre étude est irrégulière et très courte à l'échelle de la vie d'un patient.

### III) Forces et limites :

#### 1) Forces :

La principale force de cette étude réside dans le nombre d'yeux inclus, offrant une base de données robuste pour l'analyse.

Tous les types de fortes amétropies sont décrits. La variété des données recueillies, objectives et subjectives, permet une analyse riche et une vision globale de la prise en charge de ces patients.

La participation de plusieurs opérateurs apporte également une diversité des pratiques chirurgicales.

Bien que l'étude soit monocentrique, le centre Pôle Vision est un centre dédié à la chirurgie réfractive laser reconnu pour le nombre significatif d'interventions pratiquées chaque année (environ 2700 interventions par an).

#### 2) Limites et biais :

- Intervalle de temps dans le recueil de données :

L'intervalle de recueil de données n'est pas continu dans le temps. En effet, après analyse des dossiers de 2019, nous avons observé que le suivi des patients en 2020 et 2021 était beaucoup plus irrégulier. Cette irrégularité est attribuable à la pandémie de Covid-19 et aux confinements successifs durant ces deux années. Nous avons fait le choix de conserver les données déjà collectées pour les interventions de l'année 2019 et de reprendre le recueil à partir de janvier 2022.

- Efficacité réfractive :

Dans notre étude rétrospective, l'efficacité réfractive est évaluée par l'acuité visuelle sans correction post-opératoire. Un autre indicateur pertinent, fréquemment employé dans la littérature, pour juger de la performance réfractive est la mesure de la réfraction subjective. Toutefois, cette donnée n'était pas systématiquement mesurée dans les dossiers étudiés, ce qui a restreint son inclusion dans nos analyses. Certaines études intègrent les mesures de réfraction automatique post-opératoire, mais celles-ci ne reflètent pas précisément l'amétropie résiduelle.

- Contrôle tardif :

Tous les patients n'ont pas bénéficié d'un suivi post-opératoire tardif, et de nombreux « perdus de vue » ont été constatés, particulièrement chez les myopes. Lorsqu'elle a été réalisée, le délai entre l'intervention et la consultation tardive n'était pas uniformisé entre les groupes. Ceci représente un biais non négligeable dans l'interprétation des données post-opératoires « tardives ».

- Données non collectées :

Plusieurs données intéressantes ne sont pas présentées car non collectées telles que la mesure du diamètre pupillaire ou encore les complications per-opératoires et post-opératoires précoces et à moyen terme.

- Questionnaire :

Dans le but de favoriser la participation et d'assurer aux patients une liberté d'expression, nous avons opté pour un recueil anonymisé des réponses au questionnaire en ligne. Seul le type d'amétropie corrigée était connu, ce qui ne nous permettait pas une analyse personnalisée à la situation clinique de chaque patient.

Dans le même objectif d'accroître le taux de réponse, nous avons adapté des questionnaires validés scientifiquement, en les allégeant pour réduire le temps requis.

Les patients ayant répondu au questionnaire avaient au moins un œil inclus dans l'étude. En conséquence, les réponses ne sont pas entièrement spécifiques à la correction d'une forte amétropie, dans la mesure où l'œil adelphe pouvait ne pas être concerné par l'inclusion dans l'étude.

Nous n'avons recueilli qu'un nombre limité de réponses pour les patients astigmatiques forts (35 réponses) et les patients hypermétropes forts (26 réponses), ce qui diminuerait la puissance statistique des tests.

Enfin, il convient de souligner le biais de mémorisation probable, puisque certains patients ont bénéficié de l'intervention cinq ans auparavant.

- Retouche :

Le taux de retouche était calculé sur les données disponibles dans le logiciel Oplus du centre Pôle Vision et du Cabinet Ophtalmologique des Flandres. Par conséquent, ce taux ne prend donc pas en considération les éventuelles retouches effectuées en dehors de ce centre, ni celles ultérieures à la date de fin de recueil. De plus, le recul est très variable selon les patients.

#### IV) Perspective et hypothèses :

##### 1) Analyses futures relatives à notre étude :

Nous avons choisi de fonder nos principales analyses en sous-groupes sur la sévérité de l'amétropie. De nombreuses autres comparaisons sont possibles, notamment entre les techniques opératoires, entre les chirurgiens, entre les deux plateformes Excimer utilisées (MEL 90 jusqu'à octobre 2023 puis Teneo jusqu'à la fin du recueil).

Une analyse multivariée complémentaire est envisagée sur notre recueil pour repérer des facteurs favorables à un résultat réfractif optimal, ou identifier d'autres facteurs de risque de résultats visuels moins optimaux et de retouche. De telles données complémentaires nous permettraient, à terme, d'affiner encore davantage les indications des chirurgies réfractives au laser chez les patients forts amétropes.

Nos résultats suggèrent, concernant les forts astigmatismes, qu'un astigmatisme oblique pourrait être plus susceptible de nécessiter une retouche. Cette hypothèse mériterait d'être explorée par d'autres études.

##### 2) Perspectives en chirurgie réfractive :

Pour terminer, de nombreuses avancées sont à venir en chirurgie réfractive.

L'offre pour l'approche d'**extraction lenticulaire** est croissante. Le SMILE hypermétropique a fait son entrée dans le panorama des interventions en chirurgie réfractive en France. Les futures études nous permettront de définir ses indications pour les fortes hypermétropies en pratique courante.

On constate également l'arrivée sur le marché de nouvelles procédures d'extraction lenticulaire cornéenne par différents fournisseurs de laser femtoseconde. Chaque nouvelle procédure commercialisée bénéficie de subtilités techniques et d'une appellation dédiée. On peut citer certaines de ces nouvelles procédures :

- La technique SILK pour Small Incision Lenticule Keratomileusis, de Johnson & Johnson, utilisant le laser femtoseconde Elita.
- La technique CLEAR pour Corneal Lenticule Extraction for Advanced Refractive Correction, de Ziemer Ophthalmic Systems, utilisant le laser Z8 NEO.
- La technique SmartSight, de Schwind, utilisant le laser femtoseconde ATOS.

D'autres approches pour modifier le pouvoir réfractif de la cornée sont en étude. Le **LIRIC** pour Laser-Induced Refractive Index Change, développé par Clerio Vision, se base sur le fait que « le pouvoir optique d'une lentille ne dépend pas uniquement de sa courbure, mais aussi de son indice de réfraction ». La possibilité de modifier localement l'indice de réfraction de la cornée grâce à des impulsions laser femtoseconde a été démontrée expérimentalement aux Etats-Unis. Cette technique permettrait une correction des erreurs réfractives sans photoablation, ni débridement épithélial, ou découpe de volet. De nombreuses études cliniques demeurent indispensables, mais la technologie LIRIC pourrait inaugurer une nouvelle ère en chirurgie réfractive (207).

Il est incontournable, en 2024, d'aborder le sujet des outils d'**intelligence artificielle**. De plus en plus fréquemment intégrés à nos dispositifs, ces technologies ne se limitent plus à de simples algorithmes d'analyse, mais s'inscrivent désormais dans une dynamique d'apprentissage automatique (machine learning). En chirurgie réfractive, leur application se déploie déjà dans le dépistage topographique des cornées à risque. Ils pourront peut-être bientôt accompagner le praticien dans le choix de la technique opératoire la plus favorable, ainsi que les conditions optimales de son exécution (208).

## CONCLUSION

Cette étude nous a offert une perspective globale du traitement des fortes amétropies durant ces dernières années.

Chez les myopes forts, le résultat réfractif est rapidement très satisfaisant, même pour les sphères les plus extrêmes. Le principal critère limitant est la nécessité de préserver un stroma résiduel postérieur suffisant. En respectant ce facteur primordial et en gardant en tête qu'un retraitement n'est pas toujours possible sur des cornées post-opératoires déjà fines, tous les patients myopes forts, sur le plan réfractif, semblent être de bons candidats à la chirurgie soustractive laser.

Les astigmates forts et les hypermétropes forts sont également de bons candidats à la chirurgie réfractive cornéenne. Plus challengeant sur le plan technique, la correction des hypermétropes et astigmates forts donne quoi qu'il en soit des résultats réfractifs satisfaisants.

Enfin, les patients forts amétropes ont un taux de satisfaction très élevé, quel que soit le défaut réfractif corrigé.

Cette thèse invite les praticiens, et les patients, à envisager la correction des fortes amétropies par la chirurgie réfractive cornéenne laser. En respectant les dogmes exposés tout au long de cette étude, les résultats post-opératoires seront optimisés et les patients seront satisfaits. Chacun doit être conscient qu'une retouche ne signe pas un échec et peut faire partie intégrante du parcours chirurgical. A cet égard, une information claire et loyale doit être délivrée. Une fois ces notions intégrées, la crainte d'un résultat post-opératoire décevant ne doit pas être un obstacle à la décision de franchir le cap de la chirurgie.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. SNOF-IPSOS. *Enquête : Les Français et leur ophtalmologiste pour leur santé visuelle*. [Internet]. 4 mai 2023. Consulté le 9 octobre 2024. Disponible sur : <https://www.snof.org/2023-enqu-te-snof-ipsos-fran-ais-et-leur-ophtalmologiste-pour-leur-sant-visuelle>
2. Sabyasachi G. *Refractive surgery device Market Outlook from 2024 to 2034*. [Internet]. Mars 2024. Consulté le 9 octobre 2024. Disponible sur : <https://www.futuremarketinsights.com/reports/refractive-surgery-devices-market>
3. Dua HS, Faraj LA, Said DG, Gray T, Lowe J. *Human Corneal Anatomy Redefined*. *Ophthalmology*. sept 2013; 120(9):1778-85.
4. Guthoff RF, Wiens H, Hahnel C, Wree A. *Epithelial Innervation of Human Cornea: A Three-Dimensional Study Using Confocal Laser Scanning Fluorescence Microscopy*. *Cornea*. juill 2005; 24(5):608-13.
5. Tseng SCG. *Concept and application of limbal stem cells*. *Eye*. mars 1989; 3(2):141-57.
6. Kamil S, Mohan RR. *Corneal stromal wound healing: Major regulators and therapeutic targets*. *Ocul Surf*. janv 2021; 19:290-306.
7. Bandeira F, Yusoff N, Yam GF, Mehta J. *Corneal re-innervation following refractive surgery treatments*. *Neural Regen Res*. 2019; 14(4):557.
8. Taillet R, Villain L, Febvre P. *Dictionnaire de physique*. 5<sup>ème</sup> édition. De Boeck Supérieur. Paris; 2023.
9. Azar D, Azar N, Brodie S, Hoffer K. *Basic and Clinical Science Course*. Section 3: Clinical Optics and Vision Rehabilitation. *Am. J. Ophthalmol*. 2015; 3-14.
10. Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, Jong M, Naidoo KS, Sankaridurg P, et al. *Global Prevalence of Myopia and High Myopia and Temporal Trends from 2000 through 2050*. *Ophthalmology*. 2016; 123(5):1036-42.
11. Zadnik K, Satariano W, Mutti D, Sholtz R, Adams A. *The effect of parental history of myopia on children's eye size*. *JAMA*. 1994; 271(17):1323-7.
12. Huang HM, Chang DST, Wu PC. *The Association between Near Work Activities and Myopia in Children - A Systematic Review and Meta-Analysis*. *PLoS ONE*. 20 oct 2015; 10(10):e0140419.
13. Castagno VD, Fassa AG, Carret MLV, Vilela MAP, Meucci RD. *Hyperopia: a meta-analysis of prevalence and a review of associated factors among school-aged children*. *BMC Ophthalmol*. déc 2014; 14(1):163.
14. Albou-Ganem C, Cochener-Lamard B. *Chirurgie réfractive*. Lavoisier Médecine. Paris; 2016.

15. Hashemi H, Fotouhi A, Yekta A, Pakzad R, Ostadimoghaddam H, Khabazkhoob M. *Global and regional estimates of prevalence of refractive errors: Systematic review and meta-analysis*. J Curr Ophthalmol. mars 2018; 30(1):3-22.
16. Hoffmann PC, Hütz WW. *Analysis of biometry and prevalence data for corneal astigmatism in 23 239 eyes*. J Cataract Refract Surg. sept 2010; 36(9):1479-85.
17. Isenberg SJ, Del Signore M, Chen A, Wei J, Christenson PD. *Corneal Topography of Neonates and Infants*. Arch Ophthalmol. déc 2004; 122(12):1767-71.
18. Huynh SC, Kifley A, Rose KA, Morgan I, Heller GZ, Mitchell P. *Astigmatism and Its Components in 6-Year-Old Children*. Invest Ophthalmol Vis Sci. janv 2006; 47(1):55-64.
19. Saunders H. *Age-dependence of human refractive errors*. Ophthalmic Physiol Opt. juill 1981; 1(3):159-74.
20. Fledelius HC, Stubgaard M. *Changes in refraction and corneal curvature during growth and adult life: A cross-sectional study*. Acta Ophthalmol (Copenh). oct 1986; 64(5):487-91.
21. Erik L. Mertens, MD. *A Snapshot of Refractive Surgery in Europe*. [Internet]. déc 2015. Consulté le 28 septembre 2024. Disponible sur : <https://crstodayeurope.com/articles/2015-novdec/a-snapshot-of-refractive-surgery-in-europe/>
22. Sato T. *Treatment of conical cornea (incision of Descemet's membrane)*. Acta Soc Ophthalmol Jpn. 1939; (43):544-55.
23. Fyodorov S. *Correction of myopia and astigmatism*. 1980.
24. Choi DM, Thompson RW, Price FW. *Incisional refractive surgery*. Curr Opin Ophthalmol. août 2002; 13(4):237-41.
29. Barraquer JI. *Keratomeiosis*. Int Surg. 1967; 48:103-117.
30. Maiman Th. *The laser odyssey*. Laser Press. 2000.
31. Trokel SL, Srinivasan R, Braren B. *Excimer Laser Surgery of the Cornea*. Am J Ophthalmol. déc 1983; 96(6):710-5.
32. McDonald MBT. *Excimer Laser Ablation in a Human Eye*. Arch Ophthalmol. 1 mai 1989; 107(5):641-2.
33. Kurtz RM, Horvath C, Liu HH, Krueger RR, Juhasz T. *Lamellar Refractive Surgery with Scanned Intraströmical Picosecond and Femtosecond Laser Pulses in Animal Eyes*. J Refract Surg. sept-oct 1998; 14(5):541-8.
34. Gatinel D. *Laser femtoseconde*. [Internet]. 2 févr 2020. Consulté le 5 oct 2024. Disponible sur : <https://www.gatinel.com/recherche-formation/laser/laser-femtoseconde>

35. Özülken K, Kaderli A. *The effect of different optical zone diameters on the results of high-order aberrations in femto-laser-assisted in situ keratomileusis*. Eur J Ophthalmol. nov 2020; 30(6):1272-7.
36. Fadlallah A, Fahed D, Khalil K, Dunia I, Menassa J, El Rami H, et al. *Transepithelial photorefractive keratectomy: clinical results*. J Cataract Refract Surg. oct 2011; 37(10):1852-7.
37. Laser excimer TENEO 317 Modèle 2 TECHNOLAS [Internet]. Consulté le 5 octobre 2024. Disponible sur : <https://www.bauschsurgical.ca/fr-ca/produits/refraction/teneo-317-modele-2-technolas/>
38. Majmudar PA, Schallhorn SC, Cason JB, Donaldson KE, Kymionis GD, Shtein RM, et al. *Mitomycin-C in Corneal Surface Excimer Laser Ablation Techniques*. Ophthalmology. juin 2015; 122(6):1085-95.
39. Chang Y, Liang C, Weng T, Chien K, Lee C. *Mitomycin C for the prevention of corneal haze in photorefractive keratectomy: a meta-analysis and trial sequential analysis*. Acta Ophthalmol (Copenh). sept 2021; 99(6):652-62.
40. Randleman BJ, Caster AI, Banning CS, Stulting DR. *Corneal ectasia after photorefractive keratectomy*. J Cataract Refract Surg. août 2006; 32(8):1395-8.
41. Moshirfar M, Tukan AN, Bundogji N, Liu HY, McCabe SE, Ronquillo YC, et al. *Ectasia After Corneal Refractive Surgery: A Systematic Review*. Ophthalmol Ther. déc 2021; 10(4):753-76.
42. Leccisotti A. *Corneal ectasia after photorefractive keratectomy*. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. juin 2007; 245(6):869-75.
43. Yahalomi T, Achiron A, Arnon R, Stanescu N, Pikkell J. *Dry Eye Disease following LASIK, PRK, and LASEK: An Observational Cross-Sectional Study*. J Clin Med. 30 mai 2023; 12(11):3761.
44. Romito N, Trinh L, Drouglazet-Moalic G, Goemaere I, Borderie V, Bouheraoua N. *Régression et profils d'ablation en chirurgie réfractive cornéenne*. J Fr Ophtalmol. sept 2021; 44(7):1059-75.
45. Vestergaard AH. *Past and present of corneal refractive surgery: A retrospective study of long-term results after photorefractive keratectomy, and a prospective study of refractive lenticule extraction*. Acta Ophthalmol (Copenh). août 2014; 92(5):492-3.
46. Phelouzat PJ, Guilbert E. *Haze après PKR*. Cah Ophtalmol. fév 2015; (187):19-21.
47. Nagy ZZ, Hiscott P, Seitz B, Schlötzer-Schrehardt U, Süveges I, Naumann GOH. *Clinical and Morphological Response to UV-B Irradiation After Excimer Laser Photorefractive Keratectomy*. Surv Ophthalmol. juill 1997; 42:S64-76.
48. Charpentier S. *Corneal haze post photorefractive keratectomy*. J Fr Ophtalmol. nov 2021; 1425-38.

49. Kuo IC, Lee SM, Hwang DG. *Late-Onset Corneal Haze and Myopic Regression After Photorefractive Keratectomy (PRK)*. *Cornea*. mai 2004; 23(4):350-5.
50. Saad A, Azar D, Melki S, Gatinel D. *Complications du Lasik : étiologie, prise en charge et prévention*. EMC - Ophtalmol. janv 2010; 7(3):1-18.
51. Moshirfar M, West DG, Miller CM, West WB, McCabe SE, Shmunes KM, et al. *Incidence, Risk, and Visual Outcomes after Repositioning of Acute Non-Traumatic Flap Dislocations Following Femtosecond-Assisted LASIK*. *J Clin Med*. 3 juin 2021; 10(11):2478.
52. Choe CH, Guss C, Musch DC, Niziol LM, Shtein RM. *Incidence of diffuse lamellar keratitis after LASIK with 15 KHz, 30 KHz, and 60 KHz femtosecond laser flap creation*. *J Cataract Refract Surg*. nov 2010; 36(11):1912-8.
53. Ting DSJ, Srinivasan S, Danjoux JP. *Epithelial ingrowth following laser in situ keratomileusis (LASIK): prevalence, risk factors, management and visual outcomes*. *BMJ Open Ophthalmol*. mars 2018; 3(1):e000133.
54. Chan CCK, Boxer Wachler BS. *Comparison of the Effects of LASIK Retreatment Techniques on Epithelial Ingrowth Rates*. *Ophthalmology*. avr 2007; 114(4):640-2.
55. Moshirfar M, Santos JM, Wang Q, Stoakes IM, Porter KB, Theis JS, et al. *A Literature Review of the Incidence, Management, and Prognosis of Corneal Epithelial-Related Complications After Laser-Assisted In Situ Keratomileusis (LASIK), Photorefractive Keratectomy (PRK), and Small Incision Lenticule Extraction (SMILE)*. *Cureus*. août 2023; 22;15(8):e43926.
56. Moshirfar M, Tukan AN, Bundogji N, Liu HY, McCabe SE, Ronquillo YC, et al. *Ectasia After Corneal Refractive Surgery: A Systematic Review*. *Ophthalmol Ther*. déc 2021; 10(4):753-76.
57. Murray A, Jones L, Milne A, Lourenço T, Burr J. *A systematic review of the safety and efficacy of elective photorefractive surgery for the correction of refractive error*. *Interventional Procedures Program, National Institute for Clinical Excellence*. 2005.
58. Moshirfar M, Smedley J, Muthappan V, Ostler E, Jarsted A. *Rate of ectasia and incidence of irregular topography in patients with unidentified preoperative risk factors undergoing femtosecond laser-assisted LASIK*. *Clin Ophthalmol*. déc 2013; 8:35-42.
59. Randleman JB, Woodward M, Lynn MJ, Stulting RD. *Risk Assessment for Ectasia after Corneal Refractive Surgery*. *Ophthalmology*. janv 2008; 115(1):37-50.
60. Randleman JB, Trattler WB, Stulting RD. *Validation of the Ectasia Risk Score System for Preoperative Laser In Situ Keratomileusis Screening*. *Am J Ophthalmol*. mai 2008; 145(5):813-818.
61. Touboul D. *Protocole National de Diagnostic et de Soins : Kératocône*. Haute Autorité de Santé. janv 2022.

62. Saunier V, Touboul D. *Qu'est-ce qu'une topographie suspecte ?* Les Cahiers d'Ophthalmologie. fév 2020;(234):20-2.
63. Gatinel D. *Halos lumineux nocturnes et aberrations sphériques.* [Internet]. 8 janv 2017. Consulté le 5 oct 2024. Disponible sur : <https://www.gatinel.com/recherche-formation/aberrometrie/halos-lumineux-nocturnes-et-aberration-spherique-positive/>
64. Pop M, Payette Y. *Photorefractive Keratectomy Versus Laser In Situ Keratomileusis.* Ophthalmology. fév 2000; 107(2):251-7.
65. Saragoussi D, Saragoussi J. *Lasik, PRK and quality of vision: a study of prognostic factors and a satisfaction survey.* sept 2004; 27(7):755-64.
66. Ma K, Manche E. *Patient-reported quality of vision in a prospective randomized contralateral-eye trial comparing LASIK and small-incision lenticule extraction.* J Cataract Refract Surg. 1 avr 2023; 49(4):348-53.
67. Du H, Zhang B, Wang Z, Xiong L. *Quality of vision after myopic refractive surgeries: SMILE, FS-LASIK, and ICL.* BMC Ophthalmol. 26 juin 2023; 23(1):291.
68. Damgaard I, Ang M, Farook M, Htoon H, Mehta J. *Intraoperative Patient Experience and Postoperative Visual Quality After SMILE and LASIK in a Randomized, Paired-Eye, Controlled Study.* J Refract Surg. 1 févr 2018; 34(2):92-9.
69. Denoyer A, Landman E, Trinh L, Faure JF, Auclin F, Baudouin C. *Dry Eye Disease after Refractive Surgery.* Ophthalmology. avr 2015; 122(4):669-76.
70. Kobashi H, Kamiya K, Shimizu K. *Dry Eye After Small Incision Lenticule Extraction and Femtosecond Laser-Assisted LASIK: Meta-Analysis.* Cornea. janv 2017; 36(1):85-91.
71. Nair S, Kaur M, Sharma N, Titiyal JS. *Refractive surgery and dry eye - An update.* Indian J Ophthalmol. avr 2023; 71(4):1105-14.
72. Sambhi RDS, Sambhi GDS, Mather R, Malvankar-Mehta MS. *Dry eye after refractive surgery: a meta-analysis.* Can J Ophthalmol. avr 2020; 55(2):99-106.
73. Shehadeh-Mashor R, Mimouni M, Shapira Y, Sela T, Munzer G, Kaiserman I. *Risk Factors for Dry Eye After Refractive Surgery.* Cornea. déc 2019; 38(12):1495-9.
74. Wong AHY, Cheung RKY, Kua WN, Shih KC, Chan TCY, Wan KH. *Dry Eyes After SMILE.* Asia-Pac J Ophthalmol. sept 2019; 8(5):397-405.
75. Sekundo, Walter, Kunert K, Blum M. *Small incision corneal refractive surgery using the small incision lenticule extraction (SMILE) procedure for the correction of myopia and myopic astigmatism: results of a 6 month prospective study.* Br J Ophthalmol. mars 2011; 95(3):335-9.

76. Vestergaard A, Ivarsen A, Asp S, Hjortdal JØ. *Femtosecond (FS) laser vision correction procedure for moderate to high myopia: a prospective study of ReLEX® flex and comparison with a retrospective study of FS-laser in situ keratomileusis.* Acta Ophthalmol (Copenh). juin 2013; 91(4):355-62.
77. Albou-Ganem C, Lavaud A, Amar R. *SMILE : correction de la myopie par ablation réfractive par laser femtoseconde d'un lenticule intracornéen.* J Fr Ophthalmol. mars 2015; 38(3):229-37.
78. Li M, Li M, Chen Y, Miao H, Yang D, Ni K, et al. *Five-year results of small incision lenticule extraction (SMILE) and femtosecond laser LASIK (FS-LASIK) for myopia.* Acta Ophthalmol (Copenh). mai 2019; 97(3):373-80.
79. Song J, Cao H, Chen X, Zhao X, Zhang J, Wu G, et al. *Small Incision Lenticule Extraction (SMILE) Versus Laser Assisted Stromal In Situ Keratomileusis (LASIK) for Astigmatism Corrections: A Systematic Review and Meta-analysis.* Am J Ophthalmol. mars 2023; 247:181-99.
80. Shah R, Shah S, Sengupta S. *Results of small incision lenticule extraction: All-in-one femtosecond laser refractive surgery.* J Cataract Refract Surg. janv 2011; 37(1):127-37.
81. Kim JR, Kim BK, Mun SJ, Chung YT, Kim HS. *One-year outcomes of small-incision lenticule extraction (SMILE): mild to moderate myopia vs. high myopia.* BMC Ophthalmol. déc 2015; 15(1):59.
82. Ganesh S, Gupta R. *Comparison of Visual and Refractive Outcomes Following Femtosecond Laser-Assisted LASIK With SMILE in Patients With Myopia or Myopic Astigmatism.* J Refract Surg. 30 sept 2014; 30(9):590-9.
83. Lin F, Xu Y, Yang Y. *Comparison of the Visual Results After SMILE and Femtosecond Laser-Assisted LASIK for Myopia.* J Refract Surg. avr 2014; 30(4):248-54.
84. Reinstein DZ, Archer TJ, Gobbe M. *Small incision lenticule extraction (SMILE) history, fundamentals of a new refractive surgery technique and clinical outcomes.* Eye Vis. déc 2014;1(1):3.
85. Reinstein DZ, Archer TJ, Randleman JB. *Mathematical Model to Compare the Relative Tensile Strength of the Cornea After PRK, LASIK, and Small Incision Lenticule Extraction.* J Refract Surg. juill 2013; 29(7):454-60.
86. Moshirfar, M, Santos JM, Qiancheng W, Stoakes IM, Porter KB, Theis JS, et al. *A Literature Review of the Incidence, Management, and Prognosis of Corneal Epithelial-Related Complications After Laser-Assisted In Situ Keratomileusis (LASIK), Photorefractive Keratectomy (PRK), and Small Incision Lenticule Extraction (SMILE).* Cureus. août 2023; 15(8):e43926.
87. Titiyal JS, Kaur M, Rathi A, Falera R, Chaniyara M, Sharma N. *Learning Curve of Small Incision Lenticule Extraction: Challenges and Complications.* Cornea. nov 2017; 36(11):1377-82.

88. Wong CW, Chan C, Tan D, Mehta JS. *Incidence and management of suction loss in refractive lenticule extraction*. J Cataract Refract Surg. déc 2014; 40(12):2002-10.
89. Hamed AM, Heikal MA, Soliman TT, Daifalla A, Said-Ahmed KE. *SMILE intraoperative complications: incidence and management*. Int J Ophthalmol. 18 févr 2019; 12(2):280-283.
90. Asif M, Bafna R, Mehta J, Reddy J, Titiyal J, Maharana P, et al. *Complications of small incision lenticule extraction*. Indian J Ophthalmol. déc 2020; 68(12):2711-22.
91. Krueger RR, Meister CS. *A review of small incision lenticule extraction complications*. Curr Opin Ophthalmol. juill 2018; 29(4):292-8.
92. Wang Y, Ma J, Zhang J, Dou R, Zhang H, Li L, et al. *Incidence and management of intraoperative complications during small-incision lenticule extraction in 3004 cases*. J Cataract Refract Surg. juin 2017; 43(6):796-802.
93. El-Naggar MT. *Bilateral ectasia after femtosecond laser–assisted small-incision lenticule extraction*. J Cataract Refract Surg. avr 2015; 41(4):884-8.
94. Wang Y, Cui C, Li Z, Tao X, Zhang C, Zhang X, et al. *Corneal ectasia 6.5 months after small-incision lenticule extraction*. J Cataract Refract Surg. mai 2015; 41(5):1100-6.
95. Sachdev G, Sachdev MS, Sachdev R, Gupta H. *Unilateral corneal ectasia following small-incision lenticule extraction*. J Cataract Refract Surg. sept 2015; 41(9):2014-8.
96. Mattila J, Holopainen J. *Bilateral Ectasia After Femtosecond Laser-Assisted Small Incision Lenticule Extraction (SMILE)*. J Refract Surg. 1 juill 2016; 32(7):497-500.
97. Mastropasqua L. *Bilateral ectasia after femtosecond laser–assisted small-incision lenticule extraction*. J Cataract Refract Surg. juin 2021; 41(6):1338-9.
98. Siedlecki J, Luft N, Mayer W, Siedlecki M, Kook D, Meyer B, et al. *CIRCLE Enhancement After Myopic SMILE*. J Refract Surg. 1 mai 2018; 34(5):304-9.
99. Siedlecki J, Siedlecki M, Luft N, Kook D, Meyer B, Wiltfang R, et al. *Surface Ablation Versus CIRCLE for Myopic Enhancement After SMILE: A Matched Comparative Study*. J Refract Surg. 1 mai 2019; 35(5):294-300.
100. Levy P. *Implants phakes : l'envol ?* Les Cahiers d'Ophtalmologie. mai 2021; 245:39-41.
101. Allan BD, Argeles-Sabate I, Mamalis N. *Endophthalmitis rates after implantation of the intraocular Collamer lens: Survey of users between 1998 and 2006*. J Cataract Refract Surg. avr 2009; 35(4):766-9.

102. Reinstein, Dan Z, MacGregor C, Archer T, Gupta R, Potter J. *A review of posterior chamber phakic intraocular lenses*. *Curr Opin Ophthalmol*. 1 mars 2024; 35(2):138-46.
103. Bamashmus M, Al-Salahim S, Tarish N, Saleh M, Mahmoud H, Elanwar M, et al. *Posterior vitreous detachment and retinal detachment after implantation of the Visian phakic implantable collamer lens*. *Middle East Afr J Ophthalmol*. déc 2013; 20(4):327-31.
104. Arrevola-Velasco L, Beltrán J, Rumbo A, Nieto R, Druchkiv V, Martínez de la Casa J, et al. *Ten-year prevalence of rhegmatogenous retinal detachment in myopic eyes after posterior chamber phakic implantable collamer lens*. *J Cataract Refract Surg*. 1 mars 2023; 49(3):272-7.
105. Wannapanich T, Kasetsuwan N, Reinprayoon U. *Intraocular Implantable Collamer Lens with a Central Hole Implantation: Safety, Efficacy, and Patient Outcomes*. *Clin Ophthalmol*. 24 mars 2023; 17:969-80.
106. Daien V, Le Pape A, Heve D, Carriere I, Villain M. *Incidence, Risk Factors, and Impact of Age on Retinal Detachment after Cataract Surgery in France: A National Population Study*. *Ophthalmology*. nov 2015; 122(11):2179-85.
107. Moyal L, Abrieu-Lacaille M, Bonnel S, Sendon D. *Chirurgie de la presbytie chez l'hypermétrope de plus de 55 ans : comparaison entre Presbylasik (Supracor) et Prelex (presbyopic lens exchange)*. *J Fr Ophtalmol*. avr 2015; 38(4):306-15.
108. Pershing S, Lum F, Hsu S, Kelly S, Chiang MF, Rich WL, et al. *Endophthalmitis after Cataract Surgery in the United States*. *Ophthalmology*. févr 2020; 127(2):151-8.
109. Chu C, Johnston R, Buscombe C, Sallam A, Mohamed Q, Yang Y. *Risk Factors and Incidence of Macular Edema after Cataract Surgery: A Database Study of 81984 Eyes*. févr 2016; 123(2):316-23.
110. Venter JA, Pelouskova M, Collins BM, Schallhorn SC, Hannan SJ. *Visual outcomes and patient satisfaction in 9366 eyes using a refractive segmented multifocal intraocular lens*. *J Cataract Refract Surg*. oct 2013; 39(10):1477-84.
111. Hoffart L, Ho Wang Yin G. *Myopie forte : chirurgie laser ou implant ?* juin 2022; 256(27):29-32.
112. Assouline DM. *Correction chirurgicale de la myopie forte*. *Pratiques en Ophtalmologie*. sept 2015; 9(83):2-12.
113. Affortit-Demoge A, Metge-Galatoire F, Metge P. *Myopie forte*. *EMC - Ophtalmologie*. 2011; 28(2):1-19.
114. Tuft SJ, Bunce C. *Axial length and age at cataract surgery*. *J Cataract Refract Surg*. mai 2004; 30(5):1045-8.
115. Mesplé N. *Traitement chirurgical de l'hypermétropie forte*. *Les Cahiers d'Ophtalmologie*. 2018 ;(222):34-7.

116. Basmak H, Sahin A, Yildirim N, Papakostas T, Kanellopoulos A. *Measurement of angle kappa with synoptophore and Orbscan II in a normal population.* J Refract Surg. mai 2007; 23(5):456-60.
117. Kermani O, Oberheide U, Schmiedt K, Gerten G, Bains H. *Outcomes of hyperopic LASIK with the NIDEK NAVEX platform centered on the visual axis or line of sight.* J Refract Surg. janv 2009; 25(1 suppl):S98-103.
118. Kanellopoulos A, Conway J, Pe L. *LASIK for hyperopia with the WaveLight excimer laser.* J Refract Surg. févr 2006; 22(1):43-7.
119. Varley GA, Huang D, Rapuano CJ, Schallhorn S, Boxer Wachler BS, Sugar A. *LASIK for hyperopia, hyperopic astigmatism, and mixed astigmatism.* Ophthalmology. août 2004; 111(8):1604-17.
120. Cobo-Soriano R, Llovet F, González-López F, Domingo B, Gómez-Sanz F, Baviera J. *Factors that influence outcomes of hyperopic laser in situ keratomileusis.* J Cataract Refract Surg. sept 2002; 28(9):1530-8.
121. De Ortueta D, Arba-Mosquera S, Baatz H. *Topographic changes after hyperopic LASIK with the SCHWIND ESIRIS laser platform.* J Refract Surg. févr 2008; 24(2):137-44.
122. Llovet F, Galal A, Benitez-del-Castillo JM, Ortega J, Martin C, Baviera J. *One-year results of excimer laser in situ keratomileusis for hyperopia.* J Cataract Refract Surg. juill 2009; 35(7):1156-65.
123. Randleman J, Banning C, Stulting R. *Corneal ectasia after hyperopic LASIK.* janv 2007; 23(1):98-102.
124. Gold R. *Habitudes des ophtalmologistes français fin 2016.* Société de l'Association Française des Implants et de la chirurgie Réfractive. [Internet]. Consulté le 6 octobre 2024. Disponible sur : <https://www.safir.org/wp-content/uploads/2018/09/2016.pdf>
125. Pradhan K, Reinstein D, Carp G, Archer T, Dhungana P. *Small Incision Lenticule Extraction (SMILE) for Hyperopia: 12-Month Refractive and Visual Outcomes.* J Refract Surg. 1 juill 2019; 35(7):442-50.
126. Reinstein D, Pradhan K, Carp G, Archer T, Gobbe M, Sekundo W, et al. *Small Incision Lenticule Extraction (SMILE) for Hyperopia: Optical Zone Diameter and Spherical Aberration Induction.* J Refract Surg. 1 juin 2017; 33(6):370-6.
127. Moshirfar M, Bruner CD, Skanchy DF, Shah T. *Hyperopic small-incision lenticule extraction.* Curr Opin Ophthalmol. juill 2019; 30(4):229-35.
128. Jaycock PD, O'Brart DPS, Rajan MS, Marshall J. *5-year follow-up of LASIK for hyperopia.* Ophthalmology. févr 2005; 112(2):191-9.
129. Desai RU, Jain At, Manche EE. *Long-term follow-up of hyperopic laser in situ keratomileusis correction using the Star S2 excimer laser.* J Cataract Refract Surg. févr 2008; 34(2):232-7.

130. Valdez-García JE, Hernandez-Camarena JC, Martínez-Muñoz R. *3-Year follow-up after Lasik: assessing the risk factors for retreatment*. *Int Ophthalmol*. févr 2016; 36(1):91-6.
131. Randleman JB, White AJ, Lynn M, Hu M, Stulting R. *Incidence, outcomes, and risk factors for retreatment after wavefront-optimized ablations with PRK and LASIK*. *J Refract Surg*. mars 2009; 25(3):273-6.
132. Davis EA, Lindstrom RL. *Astigmatism management: ablation patterns*. *Curr Opin Ophthalmol*. août 2001; 12(4):300-3.
133. Cañones-Zafra R, Katsanos A, Garcia-Gonzalez M, Gros-Otero J, Teus MA. *Femtosecond LASIK for the correction of low and high myopic astigmatism*. *Int Ophthalmol*. janv 2022; 42(1):73-80.
134. Tjon-Fo-Sang M, de Faber J, Kingma C, Beekhuis W. *Cyclotorsion: A possible cause of residual astigmatism in refractive surgery*. *J Cataract Refract Surg*. avr 2002; 28(4):599-602.
135. Hashemi H, Asgari S, Khabazkhoob M, Heidari Z. *Vector analysis of astigmatism correction after PRK, FS-LASIK, and SMILE for myopic astigmatism*. *Int Ophthalmol*. nov 2023; 43(11):3999-4009.
136. Mimouni M, Pokroy R, Rabina G, Kaiserman I. *LASIK versus PRK for high astigmatism*. *Int Ophthalmol*. juin 2021; 41(6):2091-8.
137. Reitblat O, Gershoni A, Mimouni M, Vainer I, Livny E, Nahum Y, et al. *Refractive outcomes of high-magnitude astigmatism correction using femtosecond LASIK versus transepithelial PRK*. *Eur J Ophthalmol*. nov 2021; 31(6):2923-31.
138. Jun I, Kang DSY, Reinstein DZ, Arba-Mosquera S, Archer TJ, Seo KY, et al. *Clinical Outcomes of SMILE With a Triple Centration Technique and Corneal Wavefront-Guided Transepithelial PRK in High Astigmatism*. *J Refract Surg*. mars 2018; 34(3):156-63.
146. Gatinel, D. *Qu'est ce que la technique Smile ?* [Internet]. 27 janv 2024. Consulté le 5 oct 2024. Disponible sur : <https://www.gatinel.com/2012/06/quest-ce-que-la-technique-flex-relex-smile/>
147. Alió Del Barrio JL, Vargas V, Al-Shymali O, Alió JL. *Small incision lenticule extraction (SMILE) in the correction of myopic astigmatism: outcomes and limitations - an update*. *Eye Vis (Lond)*. 15 nov 2017; 4:26.
148. Levy P. *Astigmatisme et micro-incision*. *Les chirurgies réfractives - Clinique de la Vision*. avr 2009; Edition spéciale:119-23.
149. Hiep NX, Khanh PTM, Quyet D, Thai TV, Nga VT, Chu Dinh T, et al. *Correcting Corneal Astigmatism with Corneal Arcuate Incisions during Femtosecond Laser Assisted Cataract Surgery*. *Open Access Maced J Med Sci*. 20 déc 2019; 7(24):4260-5.

150. Chen K, Hu Z, Zhou J, Yu T, Xu J, Bai J, et al. *Vector Analysis of the Effects of FS-LASIK and Toric ICL for Moderate to High Astigmatism Correction*. J Ophthalmol. 25 juill 2018; 2018:1-6.
150. Pajic B, Cvejic Z, Massa H, Pajic-Eggspuehler B, Resan M, Studer HP. *Laser Vision Correction for Regular Myopia and Supracor Presbyopia: A Comparison Study*. Appl Sci. 27 janv 2020; 10(3):873.
151. Hernández-Lucena J, Alonso-Aliste F, Amián-Cordero J, Sánchez-González JM. *Outcomes of Corneal Compound Myopic Astigmatism with Presbyopia by Zeiss PRESBYOND® Laser Blended Vision LASIK Using Default CRS-Master® Target Refractions for Reduced Anisometropia*. J Clin Med. 20 mai 2024; 13(10):3011.
152. Zhang R, Yuan Y, Zhang Y, Chen Y. *Full range of vision and visual quality after mini-monovision FS-LASIK in high myopic patients with presbyopia*. BMC Ophthalmol. 30 sept 2024; 24(1):425.
153. Luger MHA, Ewering T, Arba-Mosquera S. *3-Month experience in presbyopic correction with bi-aspheric multifocal central presbyLASIK treatments for hyperopia and myopia with or without astigmatism*. J Optom. janv 2012; 5(1):9-23.
154. Schallhorn SC, Teenan D, Venter JA, Schallhorn JM, Hettinger KA, Hannan SJ, Pelouskova M. *Monovision LASIK Versus Presbyopia-Correcting IOLs: Comparison of Clinical and Patient-Reported Outcomes*. J Refract Surg. 1 nov 2017; 33(11):749-758.
155. Touzeau O. *Intérêt et limites de l'acuité visuelle décimale*. Les Cahiers d'Ophthalmologie. janv 2016; 196(10):12-4.
156. Brown GC. *Vision and quality-of-life*. Trans Am Ophthalmol Soc. 1999; 97:473-511.
157. Pesudovs K, Garamendi E, Elliott DB. *The Quality of Life Impact of Refractive Correction (QIRC) Questionnaire: development and validation*. Optom Vis Sci. oct 2004; 81(10):769-77.
158. McDonnell PJ, Mangione C, Lee P, Lindblad AS, Spritzer KL, Berry S, et al. *Responsiveness of the National Eye Institute Refractive Error Quality of Life instrument to surgical correction of refractive error*. Ophthalmology. déc 2003; 110(12):2302-9.
159. Lellouch J, Saad A, Guilbert E, Gatinel D. *Évaluation de la qualité de vision après chirurgie réfractive au laser chez les professionnels de santé*. J Fr Ophtalmol. déc 2016; 39(10):849-858.
160. Legendre G. *Traitement de la myopie forte par photokératectomie réfractive. Analyse rétrospective d'une série de 124 cas*. Thèse pour le doctorat en médecine. Lille : université du Droit et de la Santé. 2004, 118p.

161. Shojaei A, Mohammad-Rabei H, Eslani M, Elahi B, Noorizadeh F. *Long-term evaluation of complications and results of photorefractive keratectomy in myopia: an 8-year follow-up*. *Cornea*. avr 2009; 28(3):304-10.
162. Koch E. *Photokératectomie réfractive: épidémiologie et résultats. Analyse rétrospective d'une série de 100 yeux*. Thèse pour le doctorat en médecine. Lille : université du Droit et de la Santé. 2009, 77p.
163. Alio JL, Vega-Estrada A, Piñero DP. *Laser-assisted in situ keratomileusis in high levels of myopia with the amaris excimer laser using optimized aspherical profiles*. *Am J Ophthalmol*. déc 2011; 152(6):954-963
164. Hui Bon Hoa-Spinali AA. *Photokératectomie réfractive chez le myope fort : évaluation des résultats subjectifs post-opératoires*. Thèse pour le doctorat en médecine. Lille : université du Droit et de la Santé. 2012, 109p.
165. Hjortdal JØ, Vestergaard AH, Ivarsen A, Rangunathan S, Asp S. *Predictors for the outcome of small-incision lenticule extraction for Myopia*. *J Refract Surg*. déc 2012; 28(12):865-71.
166. Hansen RS, Lyhne N, Grauslund J, Vestergaard AH. *Small-incision lenticule extraction (SMILE): outcomes of 722 eyes treated for myopia and myopic astigmatism*. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2016; 254:399–405
167. Reinstein D, Carp G, Archer, TJ. *Long-term Visual and Refractive Outcomes After LASIK for High Myopia and Astigmatism From -8.00 to -14.25 D*. 1 mai 2016; 32(5):290-7.
168. Messerschmidt-Roth A, Sekundo W, Lazaridis A, Schulze S. *Three Years Follow-up Study after Refractive Small Incision Lenticule Extraction (SMILE) Using 500 kHz Femtosecond Laser in "Fast Mode"*. *Klin Monbl Augenheilkd*. janv 2017; 234(1):102-108.
169. Kanellopoulos AJ. *Topography-Guided LASIK Versus Small Incision Lenticule Extraction (SMILE) for Myopia and Myopic Astigmatism: A Randomized, Prospective, Contralateral Eye Study*. *J Refract Surg*. 1 mai 2017; 33(5):306-312.
170. Qin B, Li M, Chen X, Sekundo W, Zhou X. *Early visual outcomes and optical quality after femtosecond laser small-incision lenticule extraction for myopia and myopic astigmatism correction of over -10 dioptres*. *Acta Ophthalmol*. mai 2018; 96(3):341-346.
171. Gomel N, Negari S, Frucht-Pery J, Wajnsztajn D, Strassman E, Solomon A. *Predictive factors for efficacy and safety in refractive surgery for myopia*. *PLoS One*. 14 déc 2018; 13(12):e0208608.
172. Gershoni A, Mimouni M, Livny E, Bahar I. *Z-LASIK and Trans-PRK for correction of high-grade myopia: safety, efficacy, predictability and clinical outcomes*. *Int Ophthalmol*. avr 2019; 39(4):753-763.

173. Chua D, Htoon HM, Lim L, Chan CM, Mehta JS, Tan DTH, Rosman M. *Eighteen-year prospective audit of LASIK outcomes for myopia in 53 731 eyes*. Br J Ophthalmol. sept 2019; 103(9):1228-1234.
174. Wallerstein A, Kam JWK, Gauvin M, Adiguzel E, Bashour M, Kalevar A, Cohen M. *Refractive, visual, and subjective quality of vision outcomes for very high myopia LASIK from - 10.00 to - 13.50 diopters*. BMC Ophthalmol. 17 juin 2020; 20(1):234.
175. Zhang J, Feng Q, Ding W, Peng Y, Long K. *Comparison of clinical results between trans-PRK and femtosecond LASIK for correction of high myopia*. BMC Ophthalmol. 19 juin 2020; 20(1):243.
176. Li ZJ, Liu SH, Yang C, Guo J, Duan YH. *One-year clinical efficacy evaluation of selective corneal wavefront aberration-guided FS-LASIK correction in patients with high myopia*. Int J Ophthalmol. 18 août 2023; 16(8):1280-1286.
177. Saad A, Klabe K, Kirca M, Kretz FAT, Auffarth G, Breyer DRH. *Refractive outcomes of small lenticule extraction (SMILE) Pro® with a 2 MHz femtosecond laser*. Int Ophthalmol. 10 fév 2024; 44(1):52.
178. Dausch D, Smecka Z, Klein R, Schröder E, Kirchner S. *Excimer laser photorefractive keratectomy for hyperopia*. J Cataract Refract Surg. 1997; 23(2):169-176.
179. Argento CJ, Cosentino MJ. *Comparison of optical zones in hyperopic laser in situ keratomileusis: 5.9 mm versus smaller optical zones*. J Cataract Refract Surg. 26 août 2000; 26(8):1137-46.
180. Salz JJ, Stevens CA; LADARVision LASIK Hyperopia Study Group. *LASIK correction of spherical hyperopia, hyperopic astigmatism, and mixed astigmatism with the LADARVision excimer laser system*. Ophthalmology. sept 2002; 109(9):1647-56.
181. Ditzen K, Fiedler J, Pieger S. *Laser in situ keratomileusis for hyperopia and hyperopic astigmatism using the Meditec MEL 70 spot scanner*. J Refract Surg. juill-août 2002; 18(4):430-4.
182. Zadok D, Raifkup F, Landau D, Frucht-Pery J. *Long-term evaluation of hyperopic laser in situ keratomileusis*. J Cataract Refract Surg. nov 2003; 29(11):2181-8.
183. Spadea L, Sabetti L, D'Alessandri L, Balestrazzi E. *Photorefractive keratectomy and LASIK for the correction of hyperopia: 2-year follow-up*. J Refract Surg. fév 2006; 22(2):131-6.
184. Waring GO 3rd, Fant B, Stevens G, Phillips S, Fischer J, Tanchel N, Schanzer C, Narvaez J, Chayet A. *Laser in situ keratomileusis for spherical hyperopia and hyperopic astigmatism using the NIDEK EC-5000 excimer laser*. J Refract Surg. fév 2008; 24(2):123-36.

185. Alió JL, Piñero DP, Espinosa MJ, Corral MJ. *Corneal aberrations and objective visual quality after hyperopic laser in situ keratomileusis using the Esiris excimer laser*. J Cataract Refract Surg. mars 2008; 34(3):398-406.
186. Young JJ, Schallhorn SC, Brown MC, Hettinger KA. *Effect of keratometry on visual outcomes 1 month after hyperopic LASIK*. J Refract Surg. juill 2009; 25(7 Suppl):S672-6.
187. Kanellopoulos AJ. *Topography-guided hyperopic and hyperopic astigmatism femtosecond laser-assisted LASIK: long-term experience with the 400 Hz eye-Q excimer platform*. Clin Ophthalmol. 2012; 6:895-901.
188. Alió JL, El Aswad A, Vega-Estrada A, Javaloy J. *Laser in situ keratomileusis for high hyperopia (>5.0 diopters) using optimized aspheric profiles: efficacy and safety*. J Cataract Refract Surg. avr 2013; 39(4):519-27.
189. Amigó A, Bonaque-González S, Guerras-Valera E. *Control of Induced Spherical Aberration in Moderate Hyperopic LASIK by Customizing Corneal Asphericity*. J Refract Surg. déc 2015; 31(12):802-6.
190. Arba-Mosquera S, de Ortueta D. *LASIK for Hyperopia Using an Aberration-Neutral Profile With an Asymmetric Offset Centration*. J Refract Surg. fév 2016; 32(2):78-83.
191. Plaza-Puche AB, El Aswad A, Arba-Mosquera S, Wróbel-Dudzinska D, Abdou AA, Alió JL. *Optical Profile Following High Hyperopia Correction With a 500-Hz Excimer Laser System*. J Refract Surg. janv 2016; 32(1):6-13.
192. De Ortueta D, Arba-Mosquera S. *Laser in situ keratomileusis for high hyperopia with corneal vertex centration and asymmetric offset*. Eur J Ophthalmol. 10 mars 2017; 27(2):141-152.
193. Reinstein DZ, Carp GI, Archer TJ, Buick T, Gobbe M, Rowe EL, et al. *LASIK for the Correction of High Hyperopic Astigmatism With Epithelial Thickness Monitoring*. J Refract Surg. 1 mai 2017; 33(5):314-321.
194. Demir G, Sucu ME, Yildirim Y, Tülü B, Özveren M, Kepez Yildiz B, et al. *Long-term assessment of visual and refractive outcomes of laser in situ keratomileusis for hyperopia using the AMARIS® 750S Excimer laser*. J Fr Ophtalmol. sept 2019; 42(7):703-710.
195. Reinstein DZ, Pradhan KR, Carp GI, Archer TJ, Day AC, Sekundo W, et al. *Small Incision Lenticule Extraction for Hyperopia: 3-Month Refractive and Visual Outcomes*. J Refract Surg. 1 janv 2019; 35(1):24-30.
196. Reinstein DZ, Sekundo W, Archer TJ, Stodulka P, Ganesh S, Cochener B, et al. *SMILE for Hyperopia With and Without Astigmatism: Results of a Prospective Multicenter 12-Month Study*. J Refract Surg. déc 2022; 38(12):760-769.
197. Cui G, Di Y, Yang S, Chen D, Li Y. *Efficacy of small-incision lenticule extraction surgery in high astigmatism: A meta-analysis*. Front Med. 19 janv 2023; 9:1100241.

198. Zhang J, Wang Y, Chen X. *Comparison of moderate- to high-astigmatism corrections using wavefront-guided laser in situ keratomileusis and small-incision lenticule extraction*. *Cornea*. 2016; 35:523–30.
199. Jun I, Kang D, Reinstein D, Arba-Mosquera S, Archer T, Seo K, et al. *Clinical outcomes of smile with a triple centration technique and corneal wavefront-guided transepithelial prk in high astigmatism*. *J Refract Surg*. 2018; 34:156–63.
200. Chan T, Wang Y, Ng A, Zhang J, Yu M, Jhanji V, et al. *Vector analysis of high ( $\geq 3$  diopters) astigmatism correction using small-incision lenticule extraction and laser in situ keratomileusis*. *J Cataract Refract Surg*. 2018; 44:802–10.
201. Reitblat O, Gershoni A, Mimouni M, Vainer I, Livny E, Nahum Y, et al. *Refractive outcomes of high-magnitude astigmatism correction using femtosecond LASIK versus transepithelial PRK*. *Eur J Ophthalmol*. nov 2021; 31(6):2923-2931.
202. Zhong Y, Li M, Han T, Fu D, Zhou X. *Four-year outcomes of small incision lenticule extraction (SMILE) to correct high myopic astigmatism*. *Br J Ophthalmol*. 2021; 105:27–31.
203. Cañones-Zafra R, Katsanos A, Garcia-Gonzalez M, Gros-Otero J, Teus MA. *Femtosecond LASIK for the correction of low and high myopic astigmatism*. *Int Ophthalmol*. janv 2022; 42(1):73-80.
204. Zhao X, Zhang L, Ma J, Li M, Zhang J, Zhao X, Wang Y. *Comparison of Wavefront-Guided Femtosecond LASIK and Optimized SMILE for Correction of Moderate-to-High Astigmatism*. *J Refract Surg*. mars 2021; 37(3):166-173.
205. Kose B. *Comparison of refractive and visual outcomes between image-guided system-assisted small-incision lenticule extraction and wavefront-optimized FS-LASIK in treatment of high astigmatism*. *J Cataract Refract Surg*. 1 juill 2022; 48(7):765-770.
206. Zhou J, Gu W, Gao Y, He G, Zhang F. *Vector analysis of high astigmatism ( $\geq 2.0$  diopters) correction after small-incision lenticule extraction with stringent head positioning and femtosecond laser-assisted laser in situ keratomileusis with compensation of cyclotorsion*. *BMC Ophthalmol*. 5 avr 2022; 22(1):157.
207. Gatinel D. *Quoi de neuf en chirurgie réfractive ? Perspectives de la modification programmée par le femtolaser de l'indice de réfraction de la cornée en chirurgie réfractive (LIRIC)*. *Réalités Ophtalmologiques*. avr 2020 ; 271:80-83.
208. Mesplé N. *Dépistage du kératocône fruste et intelligence artificielle*. *Supplément à Réalités Ophtalmologiques*. avr 2020.

## ANNEXES

### ANNEXE 1 :

Table de conversion de l'acuité visuelle selon l'échelle de Monoyer en logMAR

<b>Échelle de Monoyer</b>	<b>logMAR</b>
1/10 <sup>ème</sup>	1
2/10 <sup>ème</sup>	0,7
3/10 <sup>ème</sup>	0,5
4/10 <sup>ème</sup>	0,4
5/10 <sup>ème</sup>	0,3
6/10 <sup>ème</sup>	0,2
8/10 <sup>ème</sup>	0,1
10/10 <sup>ème</sup>	0
12,5/10 <sup>ème</sup>	-0,1
16/10 <sup>ème</sup>	-0,2
20/10 <sup>ème</sup>	-0,3

## ANNEXE 2 :

### Questionnaire en ligne

1) De quelle technique de chirurgie réfractive avez-vous bénéficié ? \*

- PKR
- LASIK
- SMILE
- Je ne sais pas

2) Portez-vous des lentilles de contact avant l'opération ? \*

Sélectionner ▼

3) Avez-vous besoin de porter une correction optique (lunettes ou lentilles) depuis l'opération ? \*

- Non, jamais (passer directement à la question 5)
- Oui, occasionnellement
- Oui, régulièrement
- Oui, tout le temps

4) Si vous portez des lunettes ou lentilles au moins occasionnellement depuis l'opération, dans quelles circonstances portez-vous cette correction ?

**Plusieurs réponses possibles.**

- Pour la vision de loin (par exemple : cinéma, télévision ...)
- Pour la vision intermédiaire (par exemple : travail sur écran d'ordinateur)
- Pour la vision de près (par exemple : lire un livre, utiliser votre smartphone ...)
- Pour conduire de jour
- Pour conduire la nuit
- Autre : \_\_\_\_\_

5) Si vous comparez la netteté de votre vision actuelle à celle avec lunettes et/ou lentilles avant l'opération, vous diriez que votre qualité de vision actuelle est : \*

- Vraiment meilleure
- Meilleure
- Plus ou moins identique
- Un peu moins bonne
- Vraiment moins bonne

6) Après l'intervention, combien de temps avez-vous mis avant de reprendre de façon confortable vos activités de la vie quotidienne (préparation de repas, regarder la télévision, lire un livre ...) ? \*

**En jours**

Votre réponse \_\_\_\_\_

7) Concernant les effets secondaires, avez-vous présenté l'un de ces symptômes depuis votre chirurgie ? \*

	Jamais	Rarement	Parfois	La plupart du temps	Tout le temps
Irritation ou sécheresse oculaire	<input type="radio"/>				
Larmoiement	<input type="radio"/>				
Fluctuation de la vision	<input type="radio"/>				
Eblouissement (surtout la nuit)	<input type="radio"/>				
Halos autour des lumières (surtout la nuit)	<input type="radio"/>				

8) Concernant les symptômes suivants, comment les considérez-vous comparativement à votre état avant la chirurgie ? \*

	Beaucoup plus intense	Plus intense	Plus ou moins identique	Moins importante	Je n'ai pas ce symptôme
Sécheresse oculaire	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gêne à la conduite nocturne	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

9) Continuez-vous à utiliser des collyres de type larmes artificielles ou gels lacrymaux substitutifs ? \*

- Jamais
- Occasionnellement
- Une fois par jour
- Plusieurs fois par jour

10) Au total, à propos des résultats de l'opération, diriez-vous que vous êtes : \*

- Très satisfait(e)
- Plutôt satisfait(e)
- Plutôt insatisfait(e)
- Très insatisfait(e)
- Ne sait pas

11) Compte-tenu des résultats obtenus, referiez-vous l'intervention de chirurgie réfractive ? \*

- Oui (passer directement à la question 13)
- Non
- Pas sûr

12) Si non, pourquoi ?

**(réponse facultative)**

Votre réponse

---

13) Conseilleriez-vous la chirurgie réfractive à vos proches ? \*

- Oui
- Non
- Pas sûr

14) Depuis votre première intervention de chirurgie réfractive au centre Pôle Vision, avez-vous bénéficié d'une retouche (deuxième intervention de chirurgie réfractive) ? \*

- Oui
- Non
- Ne sait pas

### ANNEXE 3 :

#### Comparaison des sous-groupes chez les myopes forts

Âge et sexe :

		-6 à -7 (n = 178)	-7 à -8 (n = 89)	-8 à -9 (n=38)	-9 à -10 (n=14)	≤ -10 (n=3)	p value	Test utilisé
Âge (en années)		32.1 (sd=6.8)	33.9 (sd=6.8)	33.3 (sd=7.9)	35.9 (sd=8.5)	34.4 (sd=0.6)	0.090	Kruskal
Sexe	Féminin	111 (62.4%)	57 (64%)	26 (68.4%)	9 (64.3%)	2 (66.7%)	0.974	Fisher
	Masculin	67 (37.6%)	32 (36%)	12 (31.6%)	5 (35.7%)	1 (33.3%)		

Paramètres cornéens pré-opérateurs :

	-6 à -7 (n=289)	-7 à -8 (n=152)	-8 à -9 (n=66)	-9 à -10 (n=32)	≤ -10 (n=7)	p value	Test utilisé
WTW (en mm)	11.88 (sd=0.41)	11.83 (sd=0.41)	11.87 (sd=0.35)	11.83 (sd=0.38)	11.8 (sd=0.18)	0.822	Kruskal
Kmoy (en dioptries)	43.76 (sd=1.97)	44.03 (sd=1.58)	43.51 (sd=1.36)	43.75 (sd=1.46)	44.45 (sd=0.78)	0.198	Kruskal
Astigmatisme cornéen basé sur la kératométrie (en dioptries)	-0.99 (sd=2.75)	-1.19 (sd=0.70)	-1.27 (sd=0.64)	-1.18 (sd=0.72)	-1.37 (sd=1.08)	0.513	Kruskal
Pachymétrie (en microns)	548.5 (sd=27.0)	550.5 (sd=28.7)	557.1 (sd=28.6)	565.3 (sd=35.0)	581 (sd=43.8)	0.009	Kruskal

Meilleure acuité visuelle corrigée pré-opératoire :

	-6 à -7	-7 à -8	-8 à -9	-9 à -10	≤ -10	p value	Test utilisé
MAVC pré-opératoire (logMAR)	0.003 (sd=0.014)	0.005 (sd=0.021)	0.004 (sd=0.013)	0.016 (sd=0.036)	0 (sd=0)	0.057	Kruskal

**Paramètres du traitement chirurgical :**

		<b>-6 à -7 (n=289)</b>	<b>-7 à -8 (n=152)</b>	<b>-8 à -9 (n=66)</b>	<b>-9 à -10 (n=32)</b>	<b>≤ -10 (n=7)</b>	p value	Test utilisé
Type de procédure	LASIK	156 (54.0%)	94 (61.8%)	60 (90,9%)	30 (93.8%)	6 (85.7%)	0.0005	Fisher
	SMILE	128 (44.3%)	56 (36.8%)	6 (9.1%)	2 (6.3%)	1 (14.3%)		
	PKR	5 (1.7%)	2 (1.3%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)		
Diamètre de la ZO (en millimètres)		6.60 (sd=0.21)	6.51 (sd=0.21)	6.40 (sd=0.20)	6.33 (sd=0.21)	6.41 (sd=0.12)	<0.001	Kruskal
Épaisseur du capot si LASIK (en microns)		106,3 (sd=5.1)	104.1 (sd=5.3)	100 (sd=3.8)	101.4 (sd=3.6)	98.0 (sd=4.1)	<0.001	Kruskal
Profondeur maximale de la photoablation (en microns)		120.6 (sd=18.3)	126.1 (sd=21.4)	127.8 (sd=15.6)	136.0 (sd=11.1)	145.9 (sd=10.4)	<0.001	Kruskal
Epaisseur stromale résiduelle (en microns)		314 (sd=31)	315 (sd=32)	325 (sd=21)	330 (sd=28)	335 (sd=38)	0.027	Kruskal

**Paramètres cornéens post-opératoires :**

	<b>-6 à -7</b>	<b>-7 à -8</b>	<b>-8 à -9</b>	<b>-9 à -10</b>	<b>≤ -10</b>	p value	Test utilisé
Kmoy précoce	38.69 (sd=1.6)	38.32 (sd=1.90)	37.06 (sd=1.40)	36.59 (sd=1.71)	36.94 (sd=1.06)	<0.001	Anova
Kmoy M1	38.83 (sd=1.55)	38.57 (sd=1.67)	37.29 (sd=1.38)	36.78 (sd=1.52)	37.18 (sd=0.98)	<0.001	Anova
Kmoy tardif	39.32 (sd=1.38)	39.13 (sd=1.75)	37.83 (sd=1.44)	37.11 (sd=0.97)	37.56 (sd=0.71)	<0.001	Anova-welch

	<b>-6 à -7</b>	<b>-7 à -8</b>	<b>-8 à -9</b>	<b>-9 à -10</b>	<b>≤ -10</b>	p value	Test utilisé
Astig.kérato précoce	-0.71 (sd=0.42)	-0.69 (sd=0.42)	-0.65 (sd=0.48)	-0.68 (sd=0.57)	-1.05 (sd=0.30)	0.028	Kruskal
Astig.kérato M1	-0.75 (sd=0.37)	-0.78 (sd=0.41)	-0.69 (sd=0.41)	-0.66 (sd=0.42)	-1 (sd=0.41)	0.088	Kruskal
Astig.kérato tardif	-0.76 (sd=0.38)	-0.94 (sd=0.46)	-0.79 (sd=0.47)	-0.71 (sd=0.40)	-0.89 (sd=0.30)	0.096	Kruskal

## ANNEXE 4 :

### Comparaison des sous-groupes chez les hypermétropes forts

Âge et sexe :

		<b>+4 à +5 (n=44)</b>	<b>+5 à +6 (n=37)</b>	<b>+6 à +7 (n=15)</b>	<b>≥ +7 (n=5)</b>	p value	Test utilisé
Âge (en années)		28.4 (sd=7.5)	33.6 (sd=9.9)	27.4 (sd=5.8)	30.4 (sd=10.9)	0.053	Kruskal
Sexe	Féminin	17 (38.6%)	17 (45.9%)	5 (33.3%)	4 (80%)	0.307	Fischer
	Masculin	27 (61.4%)	20 (54.1%)	10 (66.7%)	1 (20%)		

Paramètres cornéens pré-opérateurs :

		<b>+4 à +5 (n=79)</b>	<b>+5 à +6 (n=67)</b>	<b>+6 à +7 (n=28)</b>	<b>≥ +7 (n=12)</b>	p value	Test utilisé
WTW (en mm)		11.94 (sd=0.38)	11.96 (sd=0.39)	11.91 (sd=0.40)	11.95 (sd=0.26)	0.944	Kruskal
Kmoy (en dioptries)		42.87 (sd=1.56)	42.53 (sd=1.52)	42.47 (sd=1.78)	42.12 (sd=1.69)	0.322	Anova
Astigmatisme cornéen basé sur la kératométrie (en dioptries)		-2.01 (sd=1.16)	-1.8 (sd=1.10)	-2.06 (sd=1.19)	-1.18 (sd=0.47)	0.096	Kruskal
Pachymétrie (en microns)		552.3 (sd=35.3)	554.6 (sd=32.0)	553.1 (sd=23.3)	574 (sd=46.6)	0.505	Anova- welch

Meilleure acuité visuelle corrigée pré-opératoire :

		<b>+4 à +5</b>	<b>+5 à +6</b>	<b>+6 à +7</b>	<b>≥ +7</b>	p value	Test utilisé
MAVC pré- opératoire (logMAR)		0.001 (sd=0.007)	0.002 (sd=0.009)	0.005 (sd=0.016)	0.027 (sd=0.047)	0.041	Kruskal

Paramètres du traitement chirurgical :

		<b>+4 à +5 (n=79)</b>	<b>+5 à +6 (n=67)</b>	<b>+6 à +7 (n=28)</b>	<b>≥ +7 (n=12)</b>	p value	Test utilisé
Type de procédure	LASIK	79 (100%)	67 (100%)	28 (100%)	12 (100%)	0.362	Fisher
	SMILE	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)		
	PKR	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)		
Diamètre de la ZO (en millimètres)		6.96 (sd=0.09)	6.97 (sd=0.08)	6.96 (sd=0.08)	6.97 (sd=0.08)	0.877	Kruskal
Épaisseur du capot si LASIK (en microns)		122.8 (sd=10.0)	123.7 (sd=9.6)	125 (sd=9.6)	123.3 (sd=11.5)	0.817	Kruskal
Profondeur maximale de la photoablation (en microns)		107.2 (sd=21.2)	117.6 (sd=16.4)	141.4 (sd=25.3)	147.1 (sd=26.1)	<0.001	Kruskal

Paramètres cornéens post-opératoires :

	<b>+4 à +5 (n=79)</b>	<b>+5 à +6 (n=67)</b>	<b>+6 à +7 (n=28)</b>	<b>≥ +7 (n=12)</b>	p value	Test utilisé
Kmoy précoce	46.83 (sd=5.80)	48.16 (sd=1.49)	48.98 (sd=1.75)	49.52 (sd=2.12)	<0.001	Kruskal
Kmoy M1	46.72 (sd=5.63)	47.66 (sd=1.81)	48.81 (sd=1.86)	49.30 (sd=1.90)	0.0002	Kruskal
Kmoy tardif	45.98 (sd=7.54)	47.80 (sd=1.65)	48.50 (sd=1.97)	48.93 (sd=2.00)	0.003	Kruskal

	<b>+4 à +5 (n=79)</b>	<b>+5 à +6 (n=67)</b>	<b>+6 à +7 (n=28)</b>	<b>≥ +7 (n=12)</b>	p value	Test utilisé
Astig.kérato précoce	-0.87 (sd=0.46)	-0.94 (sd=0.51)	-0.70 (sd=0.41)	-1.25 (sd=0.69)	0.046	Kruskal
Astig.kérato M1	-1.14 (sd=0.61)	-1.12 (sd=0.47)	-1.08 (sd=0.52)	-1.49 (sd=0.47)	0.117	Kruskal
Astig.kérato tardif	-1.10 (sd=0.57)	-1.17 (sd=0.54)	-0.90 (sd=0.43)	-1.26 (sd=0.58)	0.200	Kruskal

## ANNEXE 5 :

### Comparaison des sous-groupes selon la puissance du cylindre chez les astigmatés forts

Âge et sexe :

		-3 à -3,5 (n=55)	-3,5 à -4 (n=25)	-4 à -4,5 (n=17)	-4,5 à -5 (n=11)	≤ -5 (n=9)	p value	Test utilisé
Âge (en années)		31.1 (sd=6.8)	30.6 (sd=6.6)	30.6 (sd=7.4)	25.7 (sd=5.1)	29.1 (sd=4.7)	0.143	Kruskal
Sexe	Féminin	29 (52.7%)	11 (44%)	8 (47.1%)	5 (45.5%)	4 (44.4%)	0.939	Fisher
	Masculin	26 (47.3%)	14 (56%)	9 (52.9%)	6 (54.5%)	5 (55.6%)		

Axe :

	-3 à -3,5 (n=79)	-3,5 à -4 (n=38)	-4 à -4,5 (n=28)	-4,5 à -5 (n=15)	≤ -5 (n=16)	p value	Test utilisé
Direct	61 (77.2%)	31 (81.6%)	24 (85.7%)	15 (100%)	13 (81.2%)	0.833	Fisher
Inverse	10 (12.7%)	3 (7.9%)	2 (7.1%)	0 (0%)	1 (6.2%)		
Oblique	8 (10.1%)	4 (10.5%)	2 (7.1%)	0 (0%)	2 (12.5%)		

Paramètres cornéens pré-opérateurs :

	-3 à -3,5 (n=79)	-3,5 à -4 (n=38)	-4 à -4,5 (n=28)	-4,5 à -5 (n=15)	≥ -5 (n=16)	p value	Test utilisé
WTW (en mm)	11.84 (sd=0.38)	11.94 (sd=0.41)	11.83 (sd=0.32)	11.97 (sd=0.32)	11.97 (sd=0.22)	0.505	Kruskal
Kmoy (en dioptries)	43.54 (sd=1.62)	43.70 (sd=1.91)	43.56 (sd=1.18)	43.81 (sd=1.33)	42.94 (sd=1.26)	0.528	Anova
Astigmatisme cornéen basé sur la kératométrie (en dioptries)	-2.78 (sd=1.18)	-3.46 (sd=0.59)	-3.78 (sd=0.64)	-4.44 (sd=0.46)	-4.50 (sd=0.39)	<0.001	Kruskal
Pachymétrie (en microns)	558.1 (sd=27.7)	553.0 (sd=28.5)	545.6 (sd=21.2)	544.5 (sd=19.2)	548.8 (sd=19.0)	0.094	Kruskal

Meilleure acuité visuelle corrigée pré-opératoire :

	<b>-3 à -3,5</b>	<b>-3,5 à -4</b>	<b>-4 à -4,5</b>	<b>-4,5 à -5</b>	<b>≤ -5</b>	p value	Test utilisé
MAVC pré-opératoire (logMAR)	0.002 (sd=0.009)	0.01 (sd=0.033)	0.003 (sd=0.01)	0.006 (sd=0.013)	0.038 (sd=0.047)	<0.001	Kruskal

Paramètres du traitement chirurgical :

		<b>-3 à -3,5 (n=79)</b>	<b>-3,5 à -4 (n=38)</b>	<b>-4 à -4,5 (n=28)</b>	<b>-4,5 à -5 (n=15)</b>	<b>≥ -5 (n=16)</b>	p value	Test utilisé
Type de procédure	LASIK	79 (100%)	37 (97.4%)	28 (100%)	15 (100%)	16 (100%)	0.566	Fisher
	SMILE	0 (0%)	1 (2.6%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)		
	PKR	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)		
Diamètre de la ZO (en millimètres)		6.78 (sd=0.23)	6.78 (sd=0.27)	6.86 (sd=0.21)	6.91 (sd=0.15)	6.79 (sd=0.23)	0.185	Kruskal
Épaisseur du capot si LASIK (en microns)		120.6 (sd=12.5)	120.4 (sd=10.9)	123.2 (sd=10.2)	120.7 (sd=11.6)	115.9 (sd=11.1)	0.383	Kruskal
Profondeur maximale de la photoablation (en microns)		90.3 (sd=30.1)	88.6 (sd=25.0)	90.3 (sd=33.1)	101.1 (sd=23.9)	107.7 (sd=25.2)	0.099	Kruskal

Paramètres cornéens post-opératoires :

	<b>-3 à -3,5 (n=79)</b>	<b>-3,5 à -4 (n=38)</b>	<b>-4 à -4,5 (n=28)</b>	<b>-4,5 à -5 (n=15)</b>	<b>≥ -5 (n=16)</b>	p value	Test utilisé
Kmoy précoce	43.31 (sd=3.63)	42.00 (sd=7.61)	44.40 (sd=2.06)	44.11 (sd=1.98)	42.75 (sd=2.75)	0.199	Kruskal
Kmoy M1	41.85 (sd=7.76)	43.11 (sd=3.06)	44.18 (sd=2.17)	43.59 (sd=1.68)	41.96 (sd=3.29)	0.076	Kruskal
Kmoy tardif	43.21 (sd=3.76)	43.95 (sd=2.61)	44.23 (sd=2.23)	44.64 (sd=1.67)	42.41 (sd=3.24)	0.294	Anova

	<b>-3 à -3,5 (n=79)</b>	<b>-3,5 à -4 (n=38)</b>	<b>-4 à -4,5 (n=28)</b>	<b>-4,5 à -5 (n=15)</b>	<b>≥ -5 (n=16)</b>	p value	Test utilisé
Astig.kérato précoce	-0.78 (sd=0.47)	-0.76 (sd=0.51)	-0.91 (sd=0.47)	-0.83 (sd=0.46)	-0.96 (sd=0.55)	0.491	Kruskal
Astig.kérato M1	-0.88 (sd=0.57)	-0.77 (sd=0.45)	-0.84 (sd=0.60)	-0.77 (sd=0.58)	-1.11 (sd=0.49)	0.245	Kruskal
Astig.kérato tardif	-0.81 (sd=0.54)	-0.77 (sd=0.52)	-0.83 (sd=0.56)	-0.85 (sd=0.51)	-0.91 (sd=0.69)	0.963	Kruskal

**AUTEURE :** Nom : CARÉMÉ

Prénom : Manon

**Date de soutenance :** 30 octobre 2024

**Titre de la thèse :** Correction des fortes amétropies en chirurgie réfractive cornéenne laser : à propos de 865 yeux.

**Thèse - Médecine - Lille 2024**

**Cadre de classement :** Doctorat de Médecine

**DES :** Ophtalmologie

**Mots-clés :** chirurgie réfractive – forte amétropie – myopie forte – astigmatisme fort – hypermétropie forte – laser Excimer – laser femtoseconde – PKR – LASIK – SMILE – qualité de vision – satisfaction – questionnaire

**Contexte :** La chirurgie réfractive cornéenne au laser, domaine de l'ophtalmologie en constante expansion depuis son émergence dans les années quatre-vingt, a profondément révolutionné la correction des amétropies par remodelage cornéen.

Les fortes amétropies requièrent de puissantes corrections optiques. La dépendance constante et l'inconfort liés au port de lunettes ou de lentilles de contact affectent la qualité de vie de ces patients. Dès lors, nombre d'entre eux espèrent trouver en la chirurgie réfractive cornéenne une alternative durable, efficace et sûre aux dispositifs correcteurs traditionnels.

**Méthode :** Cette étude rétrospective monocentrique propose d'explorer les données recueillies à propos de 865 yeux amétropes forts opérés de chirurgie réfractive cornéenne laser au centre Pôle Vision de Lille. Les critères d'inclusion étaient : une myopie  $\geq 6D$ , ou une hypermétropie  $\geq 4D$ , et/ou un astigmatisme  $\geq 3D$ . Des données pré et per-opératoires ont été recueillies. Des mesures ont été collectées à différents temps du suivi post-opératoire permettant une évaluation à court et moyen termes. Afin de bénéficier du retour des patients inclus, ceux-ci étaient invités à répondre à un questionnaire en ligne.

**Résultats :** 865 yeux de 512 patients ont été inclus dans cette étude : 546 yeux dans le groupe « myopes forts », 186 yeux « hypermétropes forts », 176 yeux « astigmatismes forts ». Les paramètres opératoires collectés reflètent la nécessité de personnaliser chaque traitement ablatif au type d'amétropie et à sa sévérité. À un mois de l'intervention, une AVSC  $\geq 8/10^{\text{ème}}$  est atteinte pour 95% des yeux myopes, 73% des yeux hypermétropes et 79% des yeux astigmatés. Le taux de retouche à la fin du suivi est respectivement de 2.2%, 7.5% et 9.7%. Le taux de satisfaction est de 97%, toutes amétropies confondues.

**Conclusion :** Les patients amétropes forts sont de très bons candidats à la chirurgie réfractive cornéenne, à condition que les indications et contre-indications soient respectées. Les résultats réfractifs sont particulièrement remarquables chez les myopes, et tout à fait satisfaisants chez les hypermétropes et les astigmatés. Quelle que soit le type d'amétropie corrigée, le taux de satisfaction demeure très élevé. La retouche fait parfois partie du parcours chirurgical, sans pour autant remettre en question l'indication opératoire.

**Composition du Jury :**

**Président :** Monsieur le Professeur Pierre LABALETTE

**Assesseurs :** Monsieur le Professeur Jean-François ROULAND

Monsieur le Docteur Vincent DEDES

**Directeur de thèse :** Monsieur le Docteur William BASSON