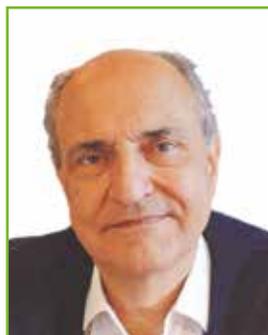


## Revue générale

# Place du laser Femtoseconde en chirurgie réfractive

**RÉSUMÉ:** Le laser Femtoseconde occupe une place centrale en chirurgie réfractive. Il est le complément parfait de la photoablation au laser Excimer dans le FemtoLASIK, technique de référence pouvant corriger tous les défauts réfractifs. Il est l'instrument unique de réalisation de la technique d'extraction lenticulaire (SMILE) pour corriger la myopie et des kératotomies arciformes antérieures ou intrastromales pour la correction de l'astigmatisme. Développé initialement pour la chirurgie réfractive cornéenne, son intérêt va bien au-delà dans la chirurgie du segment antérieur où les préoccupations réfractives s'inscrivent pleinement dans les indications thérapeutiques.



**J.-J. SARAGOUSSI**  
Clinique de la Vision, PARIS.

**A**u côté du laser Excimer, le laser Femtoseconde (FS) représente un instrument chirurgical robotisé d'une extrême précision qui permet à la chirurgie réfractive d'atteindre un très haut niveau d'efficacité et de sécurité. Nous présentons une revue sélective récente de la littérature scientifique qui est l'occasion de cerner son large périmètre d'action (**tableau I**).

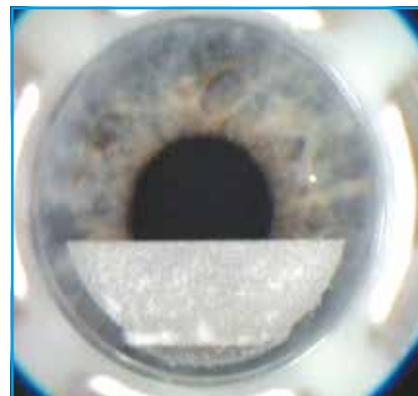
Technique	Nature de l'indication
Volet du LASIK (FemtoLasik)	Réfractive
Extraction lenticulaire (SMILE)	Réfractive
Kératotomies arciformes	Réfractive
Tunnels intracornéens	Réfractive et thérapeutique
Dans la chirurgie du cristallin avec implants Premium	Réfractive et thérapeutique
Dans les greffes de cornée	Thérapeutique

**Tableau I:** Les indications du laser Femtoseconde sont principalement de nature réfractive.

**Le volet du LASIK est l'application principale du laser Femtoseconde en chirurgie réfractive (fig. 1)**

Le laser Femtoseconde a été développé en premier lieu pour remplacer le microkératome mécanique et en corriger les inconvénients (**tableau II**).

Pour comprendre la spécificité du laser Femtoseconde dans la réalisation du volet dans le LASIK, il faut rappeler le mécanisme d'action du microkératome.



**Fig. 1:** Dissection d'un volet de LASIK au laser Femtoseconde.

## I Revues générales

	Mode d'action	Particularités du volet	Rôle de la kératométrie	Incidents et complications
Microkératome	Déplacement et indentation du plateau sur la cornée	Ménisqué	Oui	Abrasions épithéliales Volet libre sans charnière Perforation centrale
Femtoseconde	Statique par contact cornéen d'une lentille avec ou sans aplanation	Épaisseur constante du centre à la périphérie	Non	Découpe incomplète Bulles de gaz dans le stroma ou la chambre antérieure

**Tableau II :** Comparaisons entre microkératome mécanique et laser Femtoseconde pour le volet du LASIK.

Ce dernier impose une contrainte mécanique sur la cornée avec lors du déplacement de la tête, une indentation pouvant aller jusqu'à l'invagination. L'épaisseur et le diamètre du volet dépendent de la kératométrie. Une série d'anneaux de tailles différentes est nécessaire pour s'adapter à la kératométrie. Le volet est ménisqué (plus mince au centre) et la coupe latérale est toujours tangentielle. Le mécanisme d'action du laser Femtoseconde s'oppose à celui du microkératome. Une lentille statique se place au contact de la surface de la cornée, qu'elle peut aplanir ou non. Elle s'insère dans un anneau de succion de taille unique. La géométrie du volet n'est pas dépendante de la kératométrie, l'épaisseur du volet est homogène du centre à sa périphérie. L'angle de la coupe latérale est choisi. L'axe de la charnière du volet est également choisi. La dissection du volet doit être complétée manuellement.

Les complications opératoires spécifiques au microkératome découlent de son mécanisme d'action : possibilité de décentrement de l'anneau impliquant un décentrement du volet, un arrêt possible de l'avancée de la tête sur un obstacle, l'abrasion épithéliale due au frottement du plateau sur la surface cornéenne, la possibilité d'un volet libre sans charnière sur les cornées plates ou risque d'une perforation centrale sur les cornées bombées. Différentes tailles d'anneaux de succion existent pour réduire les risques liés à la kératométrie.

Les complications opératoires spécifiques du laser Femtoseconde [1, 2] sont moins nombreuses et de meilleur pronostic. Il est possible d'améliorer le centrage de la découpe du volet en cas de décentrement de l'anneau. Les découpes incomplètes sont possibles en cas de panne ou de lâchage de succion mais une reprise immédiate peut généralement être réalisée. La concentration des bulles de gaz dans le stroma ou leur passage en chambre antérieure peuvent constituer une gêne pour l'*eye-tracker* du laser Excimer et retarder le temps de la photo ablation réfractive. Une étude rétrospective récente [1] portant sur la découpe au laser FS de 1210 volets (624 patients) rapporte 0,3 % de coupe latérale incomplète, 3,7 % de d'abrasions épithéliales, 1 % de saignements limbiqes, et 0,4 % de volets décentrés, sans impact défavorable sur les résultats.

Au final, le laser Femtoseconde apporte un meilleur contrôle opératoire de la géométrie du volet, un centrage optimisé, une épaisseur homogène non dépendante de la kératométrie et la possibilité de choisir l'angle de la coupe latérale ainsi que la position de la charnière. Il permet également la suppression des complications opératoires liées à la kératométrie.

La liste des complications postopératoires du LASIK [1,2] n'est pas influencée par le mode de préparation du volet, par microkératome ou laser FS. On peut

citer la kératite ponctuée superficielle (sécheresse et neurotrophique), l'inflammation ou la réaction toxique (kératite lamellaire diffuse et kératopathie toxique centrale), l'invasion épithéliale, et enfin l'ectasie cornéenne secondaire. Toutefois, les complications postopératoires du laser Femtoseconde semblent moins fréquentes et de meilleur pronostic comparées à celles du microkératome [2]. Le syndrome d'hypersensibilité à la lumière et la *haze* sont devenus exceptionnels, avec les dernières générations de laser FS qui permettent de réduire l'énergie délivrée et d'augmenter la fréquence.

Le laser FS a contribué à rendre plus efficaces, plus précis et plus sûrs les résultats du LASIK [3].

### L'extraction lenticulaire (SMILE) pour s'affranchir du volet et de la photo ablation

Cette technique accessible aujourd'hui au seul laser VISUMAX (Société ZEISS) et introduite plus récemment [4], permet de remodeler la forme et la courbure antérieure de la cornée par extraction d'un lenticule de stroma découpé au laser FS et retiré par une petite incision cornéenne périphérique. Cette technique permet de s'affranchir de la découpe d'un volet cornéen et de la sculpture tissulaire par photo ablation au laser Excimer. Elle n'est proposée pour l'instant que pour la myopie et les astigmatismes myopiques.

Le centrage est manuel, conditionné par le positionnement du dispositif faisant interface avec la cornée du patient. Les complications opératoires sont possibles (découpe incomplète provoquée ou non par un lâchage de succion, déchirure sur le bord de l'incision, difficultés de dissection ou d'extraction du lenticule). La photo ablation réfractive au laser Excimer est nécessaire en cas de conversion technique ou de retouche.

Récemment Pinero a publié une étude de revue comparative des résultats entre SMILE et FemtoLASIK guidé par l'aberrométrie [5] (**tableau III**). Il indique un niveau plus élevé de coma après SMILE, une récupération plus précoce de la sensibilité aux contrastes après FemtoLASIK, une moindre diminution de la sensibilité cornéenne précoce après SMILE (avec une réduction des signes fonctionnels de kératite ponctuée). Les résultats à six mois sont comparables. Les complications postopératoires sont identiques dans les deux techniques y compris l'ectasie cornéenne secondaire. Les auteurs concluent à l'absence de preuve scientifique de la supériorité d'une des deux techniques sur les modifications biomécaniques induites sur la cornée.

Le SMILE vient élargir l'éventail des moyens techniques de correction de la myopie en permettant de s'affranchir d'un laser Excimer mais il ne remplace

<b>FemtoLASIK</b>	– moins de coma – contrastes: récupération plus précoce
<b>SMILE</b>	– moindre diminution de la sensibilité cornéenne

**Tableau III:** SMILE versus FemtoLASIK aberrométrique: comparatif avant six mois d'après la revue de Pinero [5]. Au-delà de six mois, absence de différence de résultat. Pas de preuve de différence sur le plan biomécanique (risque d'ectasie).

pas les techniques de photo ablation (LASIK et PKR) qui représentent toujours les techniques universelles de référence pour la correction de tous les types de défauts réfractifs.

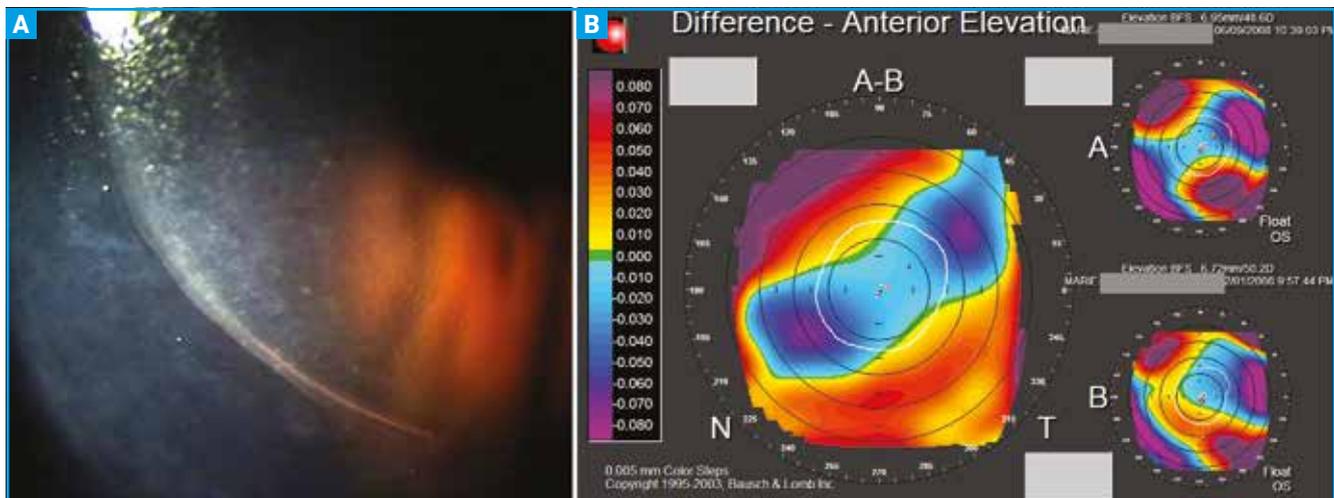
### Pour les kératotomies relaxantes dans la correction des astigmatismes le laser Femtoseconde fait plus et mieux que le diamant

Le laser FS par ses propriétés physiques permettant les découpes tissu-

## POINTS FORTS

- Le laser Femtoseconde est un instrument chirurgical de robotisation, précis et sûr, dont la place en chirurgie réfractive est centrale (à l'exception de la PKR).
- Complément parfait du laser Excimer pour le LASIK, technique de référence corrigeant tous les défauts réfractifs.
- Instrument unique pour la correction de la myopie par la technique du SMILE.
- Instrument unique pour la correction de l'astigmatisme par les techniques de kératotomies relaxantes.
- Multiples applications thérapeutiques ayant des implications réfractives.

lares, a très vite remplacé le couteau diamant qui était auparavant utilisé pour la réalisation des kératotomies relaxantes arciformes (**fig. 2A et 2B**). Ces dernières doivent être centrées sur le méridien le plus bombé. Elles ont un effet correcteur de l'astigmatisme cornéen (kératométrique) sans modifier l'équivalent sphérique réfractif grâce à un effet de couple. Les kératotomies relaxantes ont des indications diverses dans certains astigmatismes congénitaux mixtes, postopératoires et elles peuvent être combinées à la chirurgie du cristallin.



**Fig. 2:** Kératotomie arciforme antérieure sur greffe (A) et effet sur la topographie différentielle d'une paire d'incisions (B).

## I Revues générales

Antérieures perforant la Bowman	Intrastromales respectant la Bowman
Astigmatismes > 1.5	Astigmatismes < 1.5
Congénitaux	Congénitaux
Postopératoires – cataracte – greffes de cornée	Postopératoires – cataracte – greffes de cornée – chirurgie réfractive
Combinées à la chirurgie du cristallin	Combinées à la chirurgie du cristallin

**Tableau IV :** Indications des kératotomies arciformes.

Le laser FS permet une meilleure reproductibilité chirurgicale et une meilleure sécurité que le couteau diamant. Les nomogrammes adaptés à chaque type d'indication, déterminent les différents paramètres du protocole : diamètre de zone optique, nombre d'incision, longueur d'arc et profondeur (en pourcentage de la pachymétrie). Le protocole est directement saisi dans le logiciel informatique de programmation de traitement du laser.

Le laser FS permet de réaliser des kératotomies antérieures sectionnant la couche de Bowman. C'est alors la cicatrisation de l'épithélium qui conditionne en partie l'efficacité et la prévisibilité. Le laser peut aussi de façon spécifique, réaliser des incisions intrastromales non invasives, respectant la couche de Bowman. L'efficacité est plus réduite mais elle ne dépend pas de la cicatrisation épithéliale.

### Quelles sont les indications et les résultats actuels des kératotomies relaxantes au laser FS ? (tableau IV)

#### 1. Les astigmatismes congénitaux ou post-cataracte

Rückl [6] a publié une petite série de 16 yeux de 16 patients opérés par kératotomies intrastromales (une

parie d'incision au diamètre 7,5 mm). La réduction moyenne obtenue du cylindre était d'une dioptrie avec des résultats stables à six mois et l'absence de complication.

#### 2. Les astigmatismes post-kératoplasties

Les kératotomies antérieures au laser FS ont permis une correction moyenne de l'astigmatisme réfractif de 4.5 dioptries dans une étude rétrospective portant sur 62 yeux que nous avons publiée avec l'équipe de l'Hôtel-Dieu de Paris [7]. Dans une revue publiée récemment portant sur les indications après greffe transfixiante (80 yeux) ou lamellaire antérieure (9 yeux), la correction moyenne de l'astigmatisme cornéen est de 4.64 dioptries [8] comparable à nos résultats. Il faut cependant signaler que les déviations standards témoignent des larges possibilités de correction mais aussi des limites de prévisibilité des résultats dans cette indication.

#### 3. Les astigmatismes post chirurgie réfractive

Venter [9] publie les résultats des incisions intrastromales pour la correction de faibles astigmatismes portant sur 112 yeux opérés préalablement par photo-ablation, Prelex ou implants phakes. La correction moyenne de l'astigmatisme réfractif est proche de 0.75 dioptrie.

#### 4. Chirurgie de l'astigmatisme combinée à la chirurgie du cristallin

La chirurgie Femto cataracte peut très facilement être combinée à la chirurgie de l'astigmatisme pré existant par kératotomies relaxantes. Le protocole de ces dernières est saisi dans le logiciel du laser lors de la programmation du traitement. La correction moyenne de l'astigmatisme réfractif après incisions antérieures perforant la Bowman est d'une dioptrie avec régression partielle à 3 mois postopératoires, dans l'étude de Wang [10] portant sur 51 yeux. Les incisions intrastromales permettent

une correction cylindrique moyenne de 0.74 dioptrie dans l'étude de Day [11] portant sur 196 yeux sans complication.

### Le laser Femtoseconde dont la principale application est la chirurgie réfractive, occupe une place de premier plan

Le laser FS en chirurgie réfractive est complémentaire du laser Excimer pour le FemtoLASIK qui vise à corriger tous les types de défauts réfractifs. Le laser FS permet d'accéder à la technique du SMILE pour la correction de la myopie sans recours à la photo-ablation. Le laser FS fait mieux (reproductibilité et sécurité chirurgicales) que le diamant dans la réalisation des kératotomies relaxantes antérieures pour la correction de certains astigmatismes cornéens et fait plus grâce aux kératotomies intrastromales. Au-delà des indications purement réfractives, le laser FS facilite la réalisation des tunnels cornéens pour l'insertion des anneaux dans le traitement biomécanique et réfractif des ectasies cornéennes. La chirurgie du cristallin assistée au laser FS vise à optimiser les résultats visuels et réfractifs des implants Premium (toriques et multifocaux).

#### BIBLIOGRAPHIE

1. KOHNEN T, SCHWARZ L, REMY M *et al.* Short-term complications of femtosecond laser-assisted laser in situ keratomileusis cuts: Review of 1210 consecutive cases. *Journal of cataract and refractive surgery*, 2016;42:1797-1803.
2. DOS SANTOS AM, TORRICELLI AA, MARINO GK *et al.* Femtosecond Laser-Assisted LASIK Flap Complications. *Journal of refractive surgery*, 2016;32:52-59.
3. SANDOVAL HP, DONNENFELD ED, KOHNEN T *et al.* Modern laser in situ keratomileusis outcomes. *Journal of cataract and refractive surgery*, 2016;42:1224-1234.
4. SHAH R, SHAH S, SENGUPTA S. Results of small incision lenticule extraction: All-in-one femtosecond laser refractive surgery. *Journal of cataract and refractive surgery*, 2011;37:127-137.

5. PINERO DP, TEUS MA. Clinical outcomes of small-incision lenticule extraction and femtosecond laser-assisted wavefront-guided laser in situ keratomileusis. *Journal of cataract and refractive surgery*, 2016;42:1078-1093.
6. RUCKL T, DEXL AK, BACHERNEGG A *et al.* Femtosecond laser-assisted intrastromal arcuate keratotomy to reduce corneal astigmatism. *Journal of cataract and refractive surgery*, 2013;39:528-538.
7. FADLALLAH A, MEHANNA C, SARAGOUSSI JJ *et al.* Safety and efficacy of femtosecond laser-assisted arcuate keratotomy to treat irregular astigmatism after penetrating keratoplasty. *Journal of cataract and refractive surgery*, 2015;41:1168-1175.
8. ST CLAIR RM, SHARMA A, HUANG D *et al.* Development of a nomogram for femtosecond laser astigmatic keratotomy for astigmatism after keratoplasty. *Journal of cataract and refractive surgery*, 2016;42:556-562.
9. VENTER J, BLUMENFELD R, SCHALLHORN S *et al.* Non-penetrating femtosecond laser intrastromal astigmatic keratotomy in patients with mixed astigmatism after previous refractive surgery. *Journal of refractive surgery*, 2013;29:180-186.
10. WANG L, ZHANG S, ZHANG Z *et al.* Femtosecond laser penetrating corneal relaxing incisions combined with cataract surgery. *Journal of cataract and refractive surgery*, 2016;42:995-1002.
11. DAY AC, LAU NM, STEVENS JD. Nonpenetrating femtosecond laser intrastromal astigmatic keratotomy in eyes having cataract surgery. *Journal of cataract and refractive surgery*, 2016;42:102-109.

---

L'auteur a déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.