



## Chirurgie de la cataracte assistée par laser femtoseconde

Cédric Schweitzer

**P**armi les nouvelles technologies chirurgicales qui émergent en ophtalmologie, la chirurgie de la cataracte au laser femtoseconde représente une innovation majeure qui peut changer la façon de traiter la cataracte dans le futur. En effet, l'approche technologique est différente de la chirurgie conventionnelle puisqu'elle permet une découpe précise des tissus grâce à la technologie du laser femtoseconde qui produit peu d'effets collatéraux et au système d'imagerie de haute résolution associé qui permet une reconnaissance automatique des structures et de délimiter ainsi précisément les zones d'impact dans les tissus en temps réel.

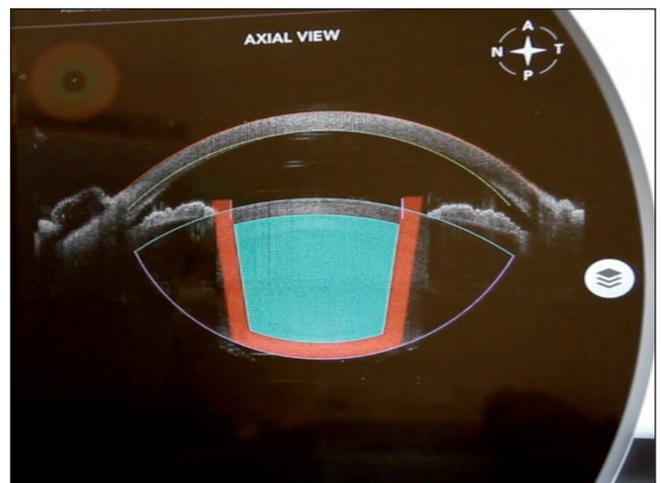
À ce jour, l'essor de cette technologie, déjà aboutie et passée au stade de la commercialisation avec cinq machines disponibles, devra passer par une comparaison avec la chirurgie conventionnelle par phacoémulsification qui a permis au fil des années de donner de très bons bénéfices visuels et anatomiques à la population. Par ailleurs, le développement d'une nouvelle technologie s'accompagne toujours de surcoûts initiaux qui peuvent représenter un écueil à leur essor.

Le but de cet article est donc de faire un état des lieux sur les connaissances scientifiques de la technologie, de ses limites actuelles et de ses perspectives futures.

### Technologie

Le laser femtoseconde est un laser qui émet dans l'infrarouge avec de très brèves durées d'impulsion ( $10^{-15}$  seconde). L'interaction avec les tissus produit après un phénomène d'ionisation, une bulle de cavitation et un effet photodisruptif sans effet collatéral associé. La découpe des tissus est ainsi obtenue grâce à la coalescence des impacts et un aspect en timbre-poste [1]. Ces lasers se sont considérablement imposés en ophtalmologie ces dernières années et particulièrement en chirurgie réfractive cornéenne. La découpe du capot de LASIK est plus précise, plus fine avec une architecture plus reproductible que la découpe mécanique. Par la suite, les lasers femtosecondes ont été appliqués aux greffes de cornée et à la pose d'anneaux intracornéens.

Service d'ophtalmologie Pr Korobelnik, CHU Bordeaux



**Figure 1.** Système d'imagerie couplé au laser femtoseconde. On observe la reconnaissance automatique des faces antérieures et postérieures du cristallin et de la cornée ainsi que du bord irien. La zone verte correspond à la zone programmée pour les impacts lasers et la zone rouge correspond à la zone de sécurité vis-à-vis de l'iris et de la capsule postérieure.

Leur application logique à la chirurgie de la cataracte a été rendue possible grâce au couplage du laser à un système d'imagerie de haute résolution permettant de délimiter les zones de découpe tissulaire et les zones de sécurité vis-à-vis des structures environnantes. Les systèmes d'imagerie développés utilisent la technologie par tomographie à cohérence optique (OCT) ou la technologie Scheimpflug, qui permettent une acquisition rapide des structures antérieures de l'œil sur différents axes. Ensuite, grâce à un système de reconnaissance automa-

# Dossier

tique des faces antérieures et postérieures de la cornée et du cristallin, ainsi que des bords de l'iris, les zones de traitement sont automatiquement délimitées et peuvent être adaptées par le chirurgien. Par ailleurs, le développement de systèmes d'interface œil-machine innovants a également permis d'immobiliser l'œil sans contraintes mécaniques qui induiraient une distorsion des structures intraoculaires. Ces systèmes d'interface permettent ainsi d'optimiser les performances du système d'imagerie et du faisceau laser quelles que soient la localisation et la profondeur du tissu traité.

Le laser permettant la découpe de la capsulotomie antérieure, des incisions cornéennes ainsi que la phaco-fragmentation du cristallin, la suite de la chirurgie s'en trouve ainsi facilitée. En effet, l'ensemble des tissus étant prédécoupés, la chirurgie consiste à retirer les morceaux de cristallin fragmenté ou liquéfié et à positionner l'implant intraoculaire. Les manœuvres intra-oculaires sont ainsi globalement diminuées. Par ailleurs, la qualité des découpes laisse aussi envisager une meilleure précision et reproductibilité anatomique associées à une meilleure restauration du système optique de l'œil qu'avec la méthode manuelle actuelle.

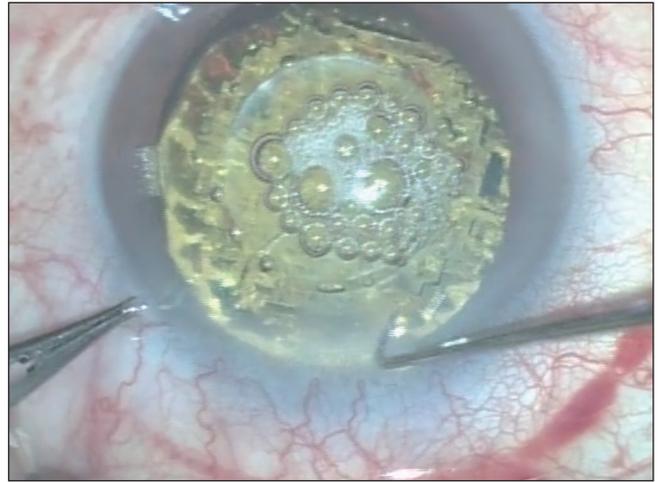
## Résultats cliniques

### Résultats anatomiques

De nombreuses études ont comparé les performances du laser femtoseconde à la chirurgie conventionnelle par phacoémulsification et ont montré que les découpes étaient significativement plus reproductibles et plus précises en laser femtoseconde.

La capsulotomie réalisée au laser femtoseconde est plus circulaire, plus précise et régulière en diamètre et centrément. Elle est plus résistante que le capsulorhexis réalisé manuellement sur des études prospectives et comparatives [2]. Palanker *et al.* ont rapporté que le capsulorhexis au laser était 12 fois plus précis en taille, 5 fois plus précis en morphologie et circularité, et 2 fois plus résistant que le capsulorhexis manuel. Kranitz *et al.* ont montré que le capsulorhexis réalisé manuellement était associé à un risque 6 fois plus important de décentrement horizontal supérieur à 0,4 mm de l'implant intraoculaire, par rapport à sa réalisation au laser femtoseconde et que le recouvrement périphérique de l'implant par la capsule antérieure était plus régulier et précis au laser femtoseconde [3].

Peu d'études ont évalué les incisions de cornée, mais celles-ci présentent une architecture plus reproductible que l'incision manuelle en OCT. Diakonis *et al.* ont également montré que l'astigmatisme cornéen et celui chi-



**Figure 2.** Aspect de l'œil après réalisation du laser. On observe une capsulotomie complète et flottante, une phaco-fragmentation du cristallin en forme de cube avec des bulles de cavitation entre les découpes et les incisions cornéennes prédécoupées.

rurgicalement induit n'étaient pas significativement différents entre le groupe manuel et le groupe traité au laser femtoseconde [4].

Enfin, l'assistance du laser femtoseconde pour fragmenter le cristallin semble aussi présenter des avantages par rapport à une extraction par phacoémulsification seule. En effet, la quantité d'énergie utilisée pour émulsifier les fragments diminue de l'ordre de 43% et le temps effectif d'ultrasons de 51% par rapport à une chirurgie par phacoémulsification seule. Par ailleurs, cette diminution du temps d'ultrasons est observée quelle que soit l'intensité de la cataracte et plus les patterns de découpe sont étroits, plus le temps d'ultrasons est réduit. De plus, une série comparative de 176 yeux montrait que l'inflammation postopératoire de chambre antérieure était aussi significativement abaissée par rapport à la technique manuelle en particulier à un jour et 4 semaines [5].

### Bénéfices cliniques

Bien que les performances technologiques et anatomiques du laser femtoseconde aient été démontrées dans de nombreuses études comparatives, le bénéfice clinique pour les patients reste à ce jour mal évalué avec des résultats publiés contradictoires. De récentes méta-analyses ont tenté d'apporter quelques éléments de réponse [6,7].

En termes de résultats visuels et réfractifs, Popovic *et al.* ne retrouvaient pas de différence significative d'acuité visuelle sans correction, de meilleure acuité visuelle corrigée ou d'erreur réfractive entre la chirurgie au laser femtoseconde et la chirurgie manuelle dans une méta-analyse portant sur 14 567 yeux issus de 15 études randomisées et de 22 séries consécutives de patients [7].

Une autre méta-analyse issue de la Cochrane Library n'a analysé cette fois-ci que les études randomisées et a montré que l'erreur réfractive était significativement moins importante dans le groupe traité au laser femtoseconde mais sans impact significatif sur l'acuité visuelle sans correction.

En termes de résultats anatomiques et de complications, Popovic *et al.* confirmaient la diminution effective du temps d'ultrasons et une meilleure circularité de la capsulotomie pour le groupe de patients traités au laser femtoseconde. Il existait également moins de décentrement horizontal de l'implant dans ce bras d'analyse. De plus, l'œdème de cornée était significativement plus faible et le comptage endothélial significativement meilleur en postopératoire dans le groupe traité au laser femtoseconde en particulier.

Day *et al.* relevaient cependant un certain nombre de biais méthodologiques dans les différentes études publiées notamment des biais de sélection des patients, l'absence de procédure masquée pour le patient ou pour les analyses et un processus de randomisation pas toujours bien identifié [6]. Par conséquent, une étude randomisée, réalisée en intention de traiter, est toujours nécessaire pour quantifier l'impact clinique du laser femtoseconde par rapport à la chirurgie conventionnelle par phacoémulsification.

## Limites actuelles de la technologie et perspectives de développement

### Limites actuelles de la technologie

Le surcoût important de la technologie constitue incontestablement la limite la plus importante à son développement. En effet, en l'état actuel du circuit de traitement de la cataracte, cette innovation est responsable d'importants surcoûts directs et indirects. Malgré ces avantages technologiques, les machines de phacoémulsification sont toujours nécessaires pour aspirer le cristallin liquéfié par le laser et à l'exception des couteaux chirurgicaux et de la pince à capsulorhexis, les instruments chirurgicaux nécessaires sont sensiblement les mêmes qu'en phacoémulsification. De plus, la présence d'un laser occupe de la surface dans les structures de soin et en l'état actuel, malgré le gain de temps possible intraopératoire, le temps de présence du patient est probablement à l'inverse augmenté. L'essor du laser femtoseconde devra nécessairement s'accompagner d'une rationalisation des coûts liés au laser et aux consommables mais aussi d'une adaptation des structures de soin pour optimiser le flux des patients.

Enfin, la chirurgie de la cataracte au laser femtoseconde devra probablement être accompagnée d'autres innova-

tions qui permettront de bénéficier pleinement de l'apport technologique du laser. En effet, les implants intraoculaires ont actuellement une architecture qui s'adaptent plus au sac capsulaire qu'au capsulorhexis, ce qui limite probablement le bénéfice d'une capsulotomie parfaite. De plus, le développement de nouveaux systèmes permettant de réaliser la phacoaspiration pourrait être l'un des paramètres de rationalisation des coûts.

### Y a-t-il toujours des besoins en chirurgie de la cataracte ?

La chirurgie de la cataracte par phacoémulsification a apporté un bénéfice visuel et anatomique considérable pour les patients faisant de cette technique l'une des plus sûres, toutes spécialités médicales confondues, avec l'un des meilleurs ratios coût-efficacité [8].

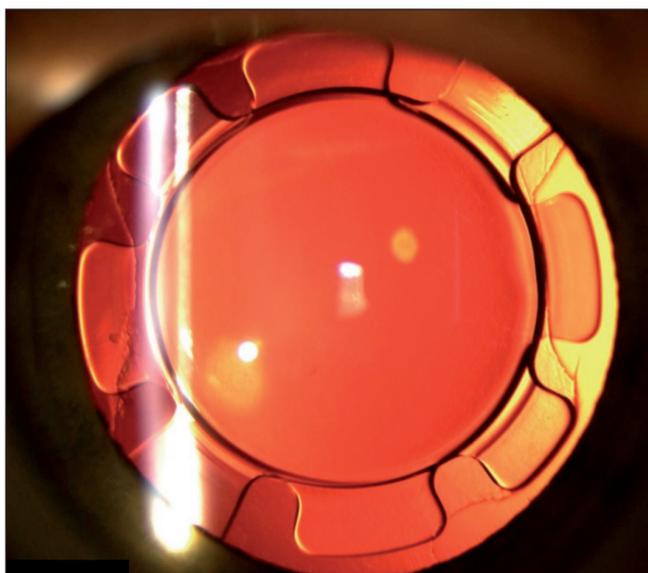
Cependant, bien que le taux de complication soit faible, il concerne un volume de patients important à l'échelle de l'ensemble de la population traitée qui est approximativement de 800 000 par an en France. De plus, alors que la chirurgie réfractive donne d'excellents résultats visuels avec une erreur postopératoire inférieure à 0,5 dioptrie pour 95% des patients traités, la chirurgie de la cataracte donne des résultats moins précis de l'ordre de 45 à 75% d'erreur inférieure à 0,5 dioptrie par rapport à ce qui était prévu en préopératoire. Or, l'erreur réfractive est la principale cause de malvoyance en Europe [9]. Bien qu'il existe plusieurs paramètres qui déterminent l'erreur réfractive, la position de l'implant dans le sac capsulaire joue un rôle important notamment par son positionnement et son centrage dans l'axe optique. Enfin, du fait du vieillissement de la population, le nombre de chirurgie de la cataracte devrait considérablement augmenter dans les années à venir, ce qui va probablement supposer une adaptation du parcours de soin à l'échelle nationale.

Le laser femtoseconde pourrait être un des éléments de réponse à ces besoins en chirurgie de la cataracte notamment si la reproductibilité anatomique et visuelle est significativement supérieure à la chirurgie conventionnelle et qu'il permet l'émergence d'implants qui amélioreraient les performances postopératoires du système optique de l'œil.

### Perspectives et nouvelles indications

Enfin, le laser femtoseconde pour la chirurgie de la cataracte représente avant tout une innovation technologique qui permettra probablement une modification des pratiques chirurgicales et le développement de nouvelles indications.

En effet, les avancées technologiques du laser femtoseconde permettent notamment d'envisager de nouveaux modèles d'implant qui pourraient mieux profiter de la



**Figure 3.** Exemple d'implant sans haptique clippé à la capsule antérieure développé pour la capsulotomie au laser femtoseconde [10].

précision de la capsulotomie. Des modèles d'implant sans haptiques et clippés sur la capsule antérieure pourraient ainsi améliorer la position effective de l'implant et optimiser l'alignement de l'implant dans l'axe optique de l'œil [10]. Dick *et al.* ont également décrit la possibilité de réaliser une capsulotomie postopératoire afin

d'éviter le risque de cataracte secondaire ou encore de réaliser la chirurgie sans produits viscoélastiques [11]. Le laser femtoseconde a également permis de traiter des cataractes difficiles en particulier chez l'enfant grâce à la précision du laser et au système d'imagerie de haute résolution [12,13]. Enfin, Day *et al.* ont publié un algorithme de traitement des astigmatismes cornéens par incision intrastromale au laser femtoseconde notamment pour les petits astigmatismes afin d'améliorer les résultats réfractifs postopératoires [14].

## Conclusion

Bien que la chirurgie au laser femtoseconde couplée à un système d'imagerie de haute résolution soit déjà très aboutie et qu'elle ouvre de nouvelles perspectives pour la chirurgie de la cataracte et probablement aussi pour certains aspects de la chirurgie du segment antérieur de l'œil, cette innovation doit encore faire la preuve de son bénéfice clinique pour le patient. L'essor de cette nouvelle technologie pourrait notamment être aidé par l'apport de nouvelles innovations, telles que de nouveaux implants, qui permettront de bénéficier pleinement des capacités que le laser femtoseconde procure. Par ailleurs, cet essor devra également passer par une rationalisation des coûts directs et indirects que cette technologie engendre à ce jour.

## Références bibliographiques

- [1] Chung SH, Mazur E. Surgical applications of femtosecond lasers. *J Biophotonics*. 2009;2(10):557-72.
- [2] Palanker DV, Blumenkranz MS, Andersen D *et al.* Femtosecond laser-assisted cataract surgery with integrated optical coherence tomography. *Sci Transl Med*. 2010;2(58):58ra85.
- [3] Kranitz K, Takacs A, Mihaltz K *et al.* Femtosecond laser capsulotomy and manual continuous curvilinear capsulorhexis parameters and their effects on intraocular lens centration. *J Refract Surg*. 2011;27(8):558-63.
- [4] Diakonis VF, Yesilirmak N, Cabot F *et al.* Comparison of surgically induced astigmatism between femtosecond laser and manual clear corneal incisions for cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2015;41(10):2075-80.
- [5] Mayer WJ, Klaproth OK, Hengerer FH, Kohnen T. Impact of crystalline lens opacification on effective phacoemulsification time in femtosecond laser-assisted cataract surgery. *Am J Ophthalmol*. 2014;157(2):426-32 e1.
- [6] Day AC, Gore DM, Bunce C, Evans JR. Laser-assisted cataract surgery versus standard ultrasound phacoemulsification cataract surgery. *Cochrane Database Syst Rev*. 2016;7:CD010735.
- [7] Popovic M, Campos-Möller X, Schlenker MB, Ahmed II. Efficacy and Safety of Femtosecond Laser-Assisted Cataract Surgery Compared with Manual Cataract Surgery: A Meta-Analysis of 14 567 Eyes. *Ophthalmology*. 2016;123(10):2113-26.
- [8] Lansingh VC, Carter MJ, Martens M. Global cost-effectiveness of cataract surgery. *Ophthalmology*. 2007;114(9):1670-8.
- [9] Bourne RR, Stevens GA, White RA *et al.* Causes of vision loss worldwide, 1990-2010: a systematic analysis. *Lancet Glob Health*. 2013;1(6):e339-49.
- [10] Dick HB, Schultz T. Intraocular lens fixated in the anterior capsulotomy created in the line of sight by a femtosecond laser. *J Refract Surg*. 2014;30(3):198-201.
- [11] Dick HB, Schultz T. Primary posterior laser-assisted capsulotomy. *J Refract Surg*. 2014;30(2):128-33.
- [12] Dick HB, Schultz T. Femtosecond laser-assisted cataract surgery in infants. *J Cataract Refract Surg*. 2013;39(5):665-8.
- [13] Schweitzer C, Tellouck L, Gaboriau T, Leger F. Anterior capsule contraction treated by femtosecond laser capsulotomy. *J Refract Surg*. 2015;31(3):202-4.
- [14] Day AC, Lau NM, Stevens JD. Nonpenetrating femtosecond laser intrastromal astigmatic keratotomy in eyes having cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2016;42(1):102-9.