



La chirurgie de la cataracte assistée par laser femtoseconde (FLACS)

Laurent Laroche¹, Ora Levy²

La chirurgie de la cataracte assistée par laser femtoseconde est une innovation technologique majeure, car elle permet de robotiser quelques étapes chirurgicales. Cependant, elle n'a pu encore montrer de bénéfice thérapeutique avéré justifiant sa généralisation. Son utilisation est limitée pour l'instant à des indications où la précision des incisions cornéennes et de la capsulotomie est nécessaire, ainsi que la possibilité de réaliser des incisions arciformes.

Cet article présente les différentes plateformes existantes, les modalités chirurgicales et les complications de cette technique.

La chirurgie de la cataracte a profondément évolué depuis une cinquantaine d'années car l'ophtalmologie a largement bénéficié des progrès technologiques : la chirurgie sous microscope opératoire dans les années 1970 puis les implants intraoculaires et l'avènement de la phacoémulsification du cristallin dans les années 1980. Il est remarquable que des oppositions se soient fait entendre à chaque étape, arguant du caractère incertain ou non avéré du bénéfice thérapeutique de l'innovation à ses débuts. L'apparition de la chirurgie de la cataracte assistée par laser femtoseconde ou FLACS (*Femto Laser Assisted Cataract Surgery*) fait de nouveau rebondir ce type de controverses.

Principes de la femtochirurgie

La femtochirurgie actuelle utilise un laser infrarouge (1030 nm) à durée d'impulsion très courte, de l'ordre de quelques centaines de femtosecondes (10^{15} s). Elle permet des découpes tissulaires précises grâce à des clivages réalisés par photoablation induite par des plasmas contigus. Le tissu irradié est directement transformé en plasma. L'effet du laser est spatialement confiné à la région du claquage optique appelée tache focale du laser. Le claquage optique (ou photo-ionisation) crée un nuage d'électrons libres, d'atomes et de molécules ionisés d'expansion très rapide (plasma) et une absorption d'énergie laser infrarouge même dans un milieu transparent. Il en résulte une vaporisation de très faibles volumes de matière, la

création d'ondes de choc acoustiques et de bulles de cavitation qui vont séparer les tissus et créer les plans de clivage programmés pour l'acte opératoire. Les dommages collatéraux sont absents si le niveau d'énergie et la fréquence de répétition ont un niveau adapté.

Pour délivrer l'énergie de façon focalisée et précise dans les structures intraoculaires, les lasers doivent être guidés par des systèmes d'imagerie du segment antérieur en trois dimensions (tomographie de cohérence optique, caméra de type Scheimpflug). Ces systèmes sont basés sur une technologie optique et ne peuvent donc traverser l'iris et atteindre les structures plus postérieures.

Les lasers femtoseconde convenant à la chirurgie de la cataracte nécessitent des paramètres physiques différents de ceux utilisés dans la chirurgie cornéenne : une énergie supérieure pour permettre la fragmentation du cristallin, mais une moindre fréquence de répétition, limitant ainsi le dégagement de chaleur dans les tissus visés et maintenant des marges de sécurité. Un laser permettant avec la même machine la chirurgie cornéenne et cristallinienne doit donc être modulable.

L'usage d'un femtolaser pour la chirurgie de la cataracte ne dispense pas de l'usage d'un phacoémulsificateur pour les temps ultérieurs à la phacofragmentation laser.

Les différentes plateformes existantes

Actuellement, quatre machines disponibles sur le marché français sont capables de réaliser les incisions cornéennes, le capsulorhexis et la phacofragmentation. Toutes nécessitent la fixation pneumatique du globe

Centre hospitalier national d'ophtalmologie des
Quinze-Vingts, Paris

Cataracte

oculaire par un anneau, pour une focalisation correcte des impacts du laser femtoseconde. Cette interface œil/machine peut être plane ou courbe, solide ou liquide (figure 1). La *tableau I* récapitule les principales caractéristiques des lasers disponibles pour la FLACS.

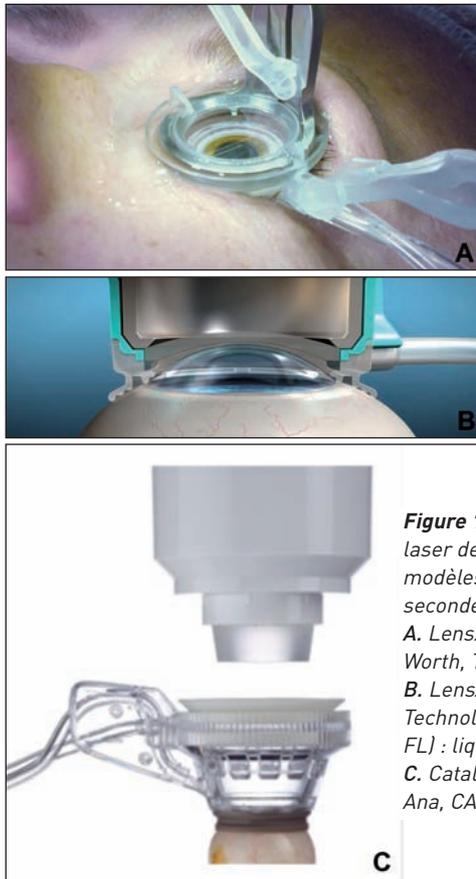


Figure 1. Interfaces œil/laser des différents modèles de lasers femtoseconde pour la FLACS.
 A. LensX® (Alcon™, Fort Worth, TX) : solide et plane.
 B. LensAR Inc® (Topcon-Technolas™, Winter Park, FL) : liquide et plane.
 C. Catalys® (AMO™, Santa Ana, CA) : liquide et courbe.

Les modalités chirurgicales

Programmation et installation

Le patient reçoit une anesthésie topique et des collyres mydriatiques, comme lors d'une chirurgie conventionnelle. La mydriase complète est indispensable au déroulement optimal et sécurisé de la procédure. L'apparition d'un myosis en peropératoire est plus fréquente qu'en chirurgie conventionnelle. Pour le prévenir, certains auteurs recommandent l'instillation de collyres anti-inflammatoires non stéroïdiens en préopératoire.

Avant de commencer la chirurgie, l'opérateur choisit le diamètre de la capsulotomie, le type ou « *pattern* » de phacofragmentation (quadrants, sextants, octants, « *ice cube* » ou autres) et le profil des incisions cornéennes (architecture, taille et position) (figure 2).

Le patient est alors positionné sous le laser, la tête immobilisée, afin de permettre la fixation pneumatique et la mise en place de l'interface (procédure dite de « *docking* ») autorisant les découpes à partir d'une surface de référence. Ce docking est capital pour la sécurité de la procédure. Il doit être méticuleusement vérifié avant et pendant toute celle-ci. Les marges de sécurité anatomiques qui circonscrivent les limites de la photoablation par plasma doivent être positionnées précisément à l'aide de repères mobiles sur l'écran de contrôle par imagerie instantanée (OCT ou caméra Scheimpflug) (figure 3). Les marges de sécurité les plus fréquemment utilisées sont telles que la limite du faisceau laser doit se situer à plus de 500 µm du rebord pupillaire (pour éviter de toucher le tissu irien et provoquer un myosis). De même, l'énergie requise pour la fragmentation ne doit pas être focalisée à moins de 500 µm des capsules antérieure et postérieure.

Tableau I. Tableau comparatif des différentes caractéristiques techniques des lasers femtoseconde disponibles pour la FLACS.

	LensX® Alcon™	LensAR Inc® Topcon-Technolas™	Catalys® AMO™	Victus® Bausch and Lomb & Technolas™
Taille de la pièce nécessaire pour l'accueil du laser (m)	3,4x4,3	4,57x4,57	3,04x3,35	3,4x3,7
Taille du laser HxLxP (m)	Console : 1,22x0,76x0,61 Laser : 0,51x0,58x0,20	1,65x1,97x0,8	1,15x1,64x0,84	1,67x2,1x0,82
Succion	Pneumatique une fois l'aplanation effectuée	Pneumatique (anneau scléral) avant aplanation	Pneumatique (anneau scléral)	Pneumatique (anneau limbique) avant aplanation
Aplanation	Semi-solide et courbe	Interface liquide (pas d'aplanation)	Interface liquide (pas d'aplanation)	Solide et courbe
Système d'imagerie en temps réel	HD-OCT	Caméra 3D CSI Scheimpflug	OCT	OCT

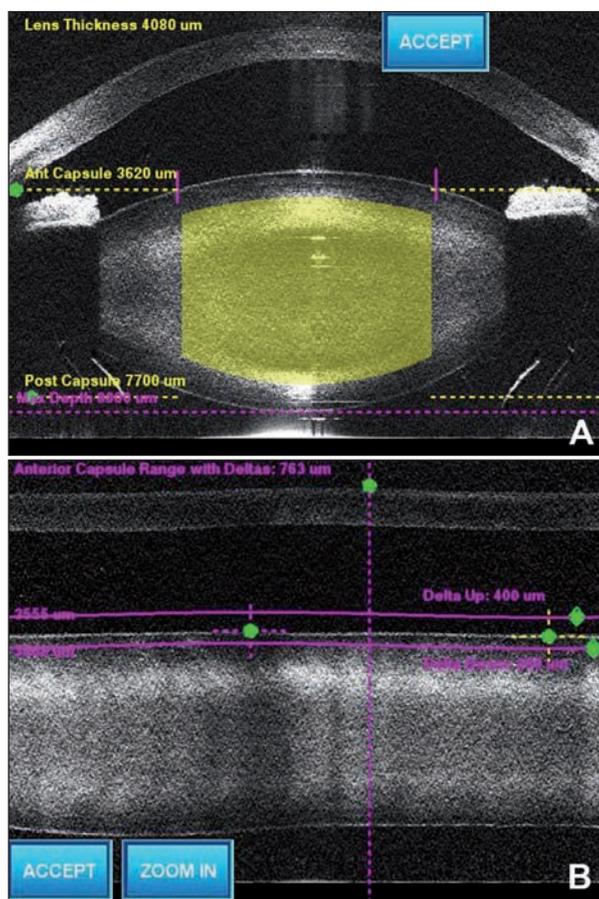


Figure 2. Avant de débiter l'action du laser, le chirurgien choisit le diamètre de la capsulotomie, le type de phacofragmentation et le tracé des incisions cornéennes : exemple de programmation sur le Catalys® (AMO™, Santa Ana, CA) d'une capsulotomie de 5 mm, un pattern de phacofragmentation en « ice cube », deux incisions cornéennes transfixiantes de 2,2 mm et 1,1 mm placées à 12h et 1h et deux incisions arciformes sur l'axe de 180°.

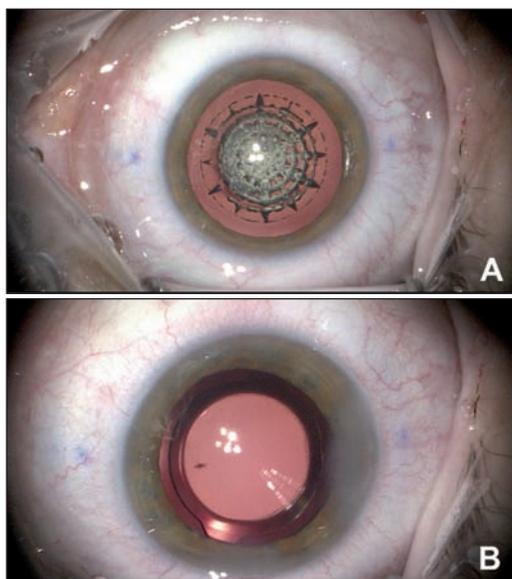


Figure 3. Le système d'imagerie intégré permet le repérage des marges de sécurité en temps réel : exemple de l'OCT sur la plateforme LensX® (Alcon™, Fort Worth, TX). A. Pour la phacofragmentation. B. Pour la capsulotomie antérieure.

La découpe au laser femtoseconde étant terminée, la fixation pneumatique est relâchée et le patient déplacé sous le microscope opératoire habituel pour la suite de l'opération. La phase manuelle de la chirurgie comprend l'hydrodissection, puis la phacoémulsification proprement dite, suivie de l'aspiration des masses et de l'implantation intraoculaire.

Étapes chirurgicales réellement assistées par le laser

Incisions cornéennes

Le laser femtoseconde permet de programmer des incisions cornéennes auto-étanches avec une très grande précision et reproductibilité. L'ouverture de ces incisions reste tributaire de la main du chirurgien qui effondrera les parois des bulles de cavitation, comme elle le ferait pour soulever un capot cornéen lors d'un femtolasik. Deux études in vivo ont montré la supériorité des incisions réalisées au femtolaser par rapport aux incisions manuelles, pour ce qui est de leur architecture, de l'astigmatisme induit, de la perte cellulaire endothéliale et de la moindre induction d'aberrations optiques de haut degré [1,2]. Enfin, le laser femtoseconde permet de pratiquer des incisions arciformes relaxantes dans le même temps opératoire.

Capsulotomie

Le laser femtoseconde crée une capsulotomie antérieure par impacts contigus dont le chirurgien peut exactement programmer le diamètre et le centrage. D'après certains auteurs, il en résulterait un meilleur chevauchement de l'implant par la capsule antérieure et donc un meilleur centrage avec tilt plus faible qu'avec un capsulorhexis continu curviligne manuel. Lors de la phase manuelle de la chirurgie, qui succède obligatoirement à la première phase laser, il faut impérativement s'assurer que la capsulotomie est complète avant de retirer (à la pince) la capsule prédécoupée. En présence d'un pont capsulaire résiduel, il faut terminer manuellement le capsulorhexis.

Phacofragmentation et phacoémulsification

Le laser femtoseconde autorise une fragmentation nucléaire selon plusieurs patterns : en croix, en quadrants, en rayons de roues ou multicubique. La fragilisation ainsi induite du noyau cristallinien permet théoriquement de diminuer l'énergie et le temps de phacoémulsification efficace (TPE). Plusieurs études rapportent une réduction du TPE (par exemple de 51 à 83 %) et une réduction de la perte cellulaire endothéliale moyenne en FLACS, en comparaison des procédures manuelles classiques [3,4]. Mais une méta-analyse récente ne retrouve pas de différence significative sur le TPE [5]. Le but ultime de la femtochirurgie de la cataracte serait idéalement de se passer

complètement de phacoémulsification afin que la phase manuelle se résume à une simple aspiration nucléaire. Ce but ne pourra être atteint qu'en améliorant les profils disponibles de fragmentation (en réduisant les zones de sécurité) ainsi que les programmes et sondes de phacoémulsification.

Étapes chirurgicales manuelles, non assistées par le laser

Hydrodissection et aspiration des masses

Lors d'une procédure de FLACS ces deux étapes sont plus délicates que lors d'une phacoémulsification conventionnelle.

La production de gaz lié à la création de plasma ionisé par le laser augmente la tension appliquée sur la capsule postérieure et peut contribuer à une rupture capsulaire intempestive en cas d'hydrodissection hasardeuse. Il convient donc de prendre des précautions lors de l'hydrodissection : réduire le remplissage de la chambre antérieure par des substances viscoélastiques, soulever d'emblé la capsule antérieure pour faciliter l'évacuation des gaz piégés et ainsi décompresser la capsule postérieure tout en injectant lentement le liquide.

L'ablation des masses est elle aussi plus difficile en raison d'une hydrodissection moins efficace, mais aussi de par leur section préalable par le laser. Les masses sont plus adhérentes à la capsule et moins faciles à extraire. L'apprentissage d'une nouvelle gestuelle s'impose donc.

Implantation intraoculaire

La possible amélioration de l'implantation intraoculaire après FLACS est controversée. Certaines publications mentionnent une meilleure acuité visuelle corrigée en raison d'une position optimisée de l'implant, ainsi que d'une diminution des complications peropératoires. Toutefois, une méta-analyse de neuf études publiées ne retrouve aucune différence significative sur l'acuité visuelle corrigée [5].

Les complications

La fréquence des complications de la FLACS est proche de celle observée lors de la chirurgie manuelle pour ce qui concerne les événements indésirables « classiques » de la chirurgie de la cataracte : refend capsulaire antérieur, rupture capsulaire postérieure, œdème cornéen et maculaire.

En revanche, des complications spécifiques liées au docking peuvent se produire. Ainsi un lâchage de fixation pneumatique en cours de procédure peut être responsable de lésions tissulaires par impacts laser intempestifs ainsi que d'une découpe incomplète. Les prochaines géné-

rations de machines devront améliorer les systèmes d'interface et de fixation sclérale de même que la rapidité des processeurs afin d'identifier une perte d'aspiration et stopper instantanément le traitement. Par ailleurs, l'augmentation brève mais notable de la pression intraoculaire nécessitée par le docking n'est pas forcément sans risques pour le nerf optique, notamment chez des patients âgés. Afin de minimiser ces effets, les constructeurs proposent une lentille de contact incurvée ou une interface liquide sans contact cornéen.

Il faut noter que la plupart des études actuelles sur la FLACS écartent les « cas difficiles » (opacités cornéennes, mydriase incomplète, coopération insuffisante, orbites creuses, fente palpébrale étroite) et qu'elles sont réalisées par des chirurgiens entraînés. Ces réserves limitent donc l'extrapolation des résultats sur la fréquence des complications pour des chirurgiens « novices » devant passer par une phase d'apprentissage.

En conclusion

La chirurgie de la cataracte assistée par laser femtoseconde est une innovation technologique majeure, car elle permet de robotiser quelques étapes chirurgicales, leur donnant un degré de précision et de reproductibilité inégalé. Mais le surcoût financier et organisationnel qu'elle nécessite, ainsi que ses contre-indications actuelles en freinent l'extension. La FLACS n'a pu encore montrer de bénéfice thérapeutique avéré, justifiant sa généralisation. Elle vise plutôt à s'intégrer dans la proposition d'une chirurgie dite « premium » où la précision des incisions cornéennes et de la capsulotomie, ainsi que la possibilité d'incisions arciformes sont avantageuses dans certaines indications. Seule une évolution favorable du rapport coût/efficacité par une baisse radicale du coût ou par une nette amélioration de son efficacité permettrait d'en assurer une utilisation moins confidentielle.

Bibliographie

1. Matropasqua L, Toto L, Matropasqua A *et al.* Femtosecond laser versus manual clear corneal incision in cataract surgery. *J Refract Surg.* 2014;30(1):27-33.
2. Alio JL, Abdou AA, Soria F *et al.* Femtosecond laser cataract incision morphology and corneal higher-order aberration analysis. *J Refract Surg.* 2013;29(9):590-5.
3. Abell RG, Kerr NM, Vote BJ. Toward zero effective phacoemulsification time using femtosecond laser pretreatment. *Ophthalmology.* 2013;120(5):942-8.
4. Conrad-Hengerer I, Al Juburi M, Schultz T *et al.* Corneal endothelial cell loss and corneal thickness in conventional compared with femtosecond laser-assisted cataract surgery: three-month follow-up. *J Cataract Refract Surg.* 2013;39(9):1307-13.
5. Quiñones A, Gleitsmann K, Freeman M *et al.* Benefits and harms of femtosecond laser assisted cataract surgery: a systematic review [Internet]. Washington (DC): Department of Veterans Affairs;2013 Dec.