



D. PIETRINI
Clinique de la Vision, PARIS.
docteurpietrini@gmail.com

Lasers femtoseconde et chirurgie du cristallin

La chirurgie du cristallin est le plus souvent réalisée manuellement dans tous ses temps. C'est une chirurgie d'excellence parfaitement codifiée et couronnée de succès dans l'immense majorité des cas. La chirurgie du cristallin au laser femtoseconde permet la transition d'une chirurgie manuelle vers une chirurgie robotisée garante d'une meilleure précision, d'une meilleure reproductibilité, d'une plus grande efficacité et surtout d'une sécurité accrue. Encore très peu répandus en France, quatre systèmes différents de lasers sont disponibles sur le marché.

■ PRINCIPES D'ACTION DU LASER FEMTOSECONDE

La longueur d'onde du laser femtoseconde est située dans l'infrarouge et l'énergie n'est pas absorbée par les tissus optiquement clairs. Le laser interagit avec les tissus par vaporisation et la focalisation ultraprécise de son énergie crée un plasma et une bulle de cavitation capable de séparer les tissus, ce qui en fait un véritable bistouri laser d'une précision inouïe particulièrement adapté aux milieux transparents de l'œil humain. Le laser femtoseconde utilise des durées d'impulsions extrêmement brèves, de l'ordre de 10^{-15} secondes à comparer à 10^{-9} secondes des lasers argon ou YAG. Parfaitement maîtrisées pour la chirurgie de la cornée, ses dernières avancées s'appliquent à la chirurgie du cristallin.

■ ACCROÎTRE ENCORE LA PRÉCISION ET LA SÉCURITÉ DE LA CHIRURGIE DE LA CATARACTE

Dans les dix dernières années, le standard de l'acuité visuelle postopératoire s'est accru pour atteindre l'emmétropie dans une grande majorité des cas grâce à l'amélioration technologique permanente des moyens : utilisation de la biométrie optique et de la topographie préopératoire, implants de micro-

incision asphériques, toriques et multifocaux capables de traiter tous les défauts de vision préopératoires et la presbytie. Le laser femtoseconde représente une étape majeure dans l'évolution de la chirurgie phacoréfractive pour apporter sécurité et précision accrues. À ce jour, les lasers réalisent quatre temps majeurs de la chirurgie : les micro-incisions cornéennes nécessaires à l'émulsification du cristallin et à l'implantation, la réalisation d'incisions cornéennes réfractives relaxantes pour corriger l'astigmatisme cornéen préopératoire, l'ouverture capsulaire et la fragmentation du cristallin (fig. 1).

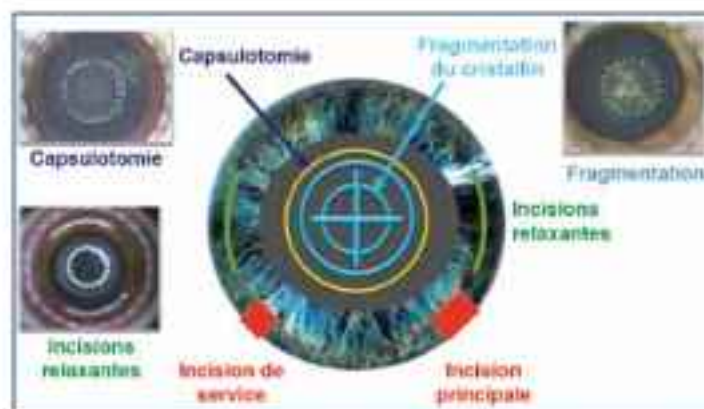


Fig. 1 : Différentes actions du laser femtoseconde au cours de la chirurgie.

1. Micro-incisions cornéennes et incisions relaxantes pour l'astigmatisme

La réalisation des incisions cornéennes est une des étapes clés de la chirurgie de la cataracte. Elles doivent être parfaitement calibrées pour éviter d'induire un astigmatisme néfaste à une bonne acuité visuelle et être réalisées en plusieurs plans pour être auto-étanches en fin d'opération. Le laser permet de réaliser une chirurgie "sans lame" et de calibrer l'architecture des incisions pour les adapter à la technique du chirurgien et/ou à l'implant choisi.

La réalisation des incisions relaxantes est un appoint important dans la chirurgie réfractive du cristallin. Leur réalisation manuelle est techniquement plus difficile et moins précise. Les lasers peuvent réaliser des incisions non perforantes intrastromales, laissant en place un épithélium intact. Leur situation périphérique en cornée claire au voisinage du limbe impose aux lasers de pouvoir travailler sur de grands diamètres (de l'ordre de 12 mm) et nécessite d'adapter les interfaces patient-laser à ces larges zones de traitement (fig. 2).



Fig. 2 : Planification des incisions principales et de service en cornée claire cornéennes temporales sur le laser LenSx.

2. Capsulotomie

On connaît l'importance d'une ouverture capsulaire parfaite en taille et en centrage sur la bonne position et la stabilité ultérieures de l'implant. C'est particulièrement important pour les implants technologiquement avancés, en particulier les implants multifocaux et accommodatifs (implants "premiums"). La mauvaise position de l'implant est une des plus grandes sources d'erreurs dans le résultat postopératoire, et 1 mm de différence de positionnement conduit à 1,25 dioptrie d'erreur dans le résultat postopératoire. Les lasers sont capables de réaliser cette découpe capsulaire avec une parfaite reproductibilité en diamètre et en circularité, garante d'un excellent positionnement de l'implant dans le sac capsulaire et d'une adéquation parfaite sac-implant (fig. 3 et 4).

3. Fragmentation du noyau cristallinien

La fragmentation du noyau du cristallin au laser femtoseconde supprime une étape manuelle importante et critique de la chirurgie compte tenu des manipulations et du stress capsulaire associés. Cette fragmentation permet également de réduire le temps de durée des ultrasons dans l'œil et donc de diminuer le risque de complications capsulaires et de toxicité cornéenne endothéliale (fig. 5).

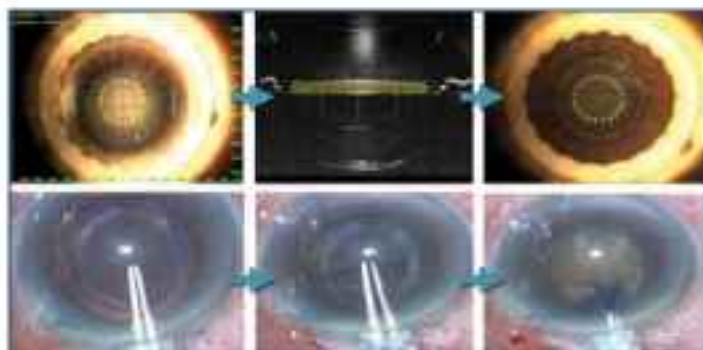


Fig. 3 : Différents temps de l'ouverture capsulaire laser automatisée : alignement, découpe laser, extraction.

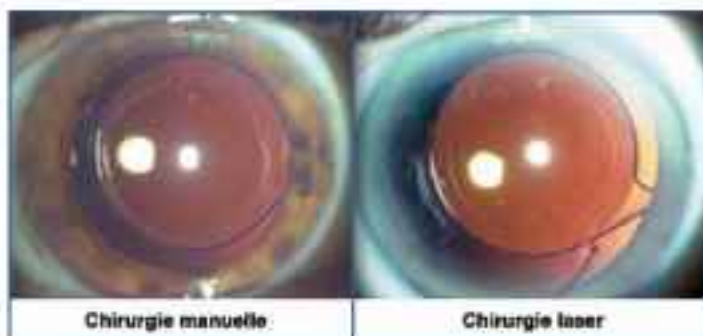


Fig. 4 : Capsulotomie manuelle versus capsulotomie laser.

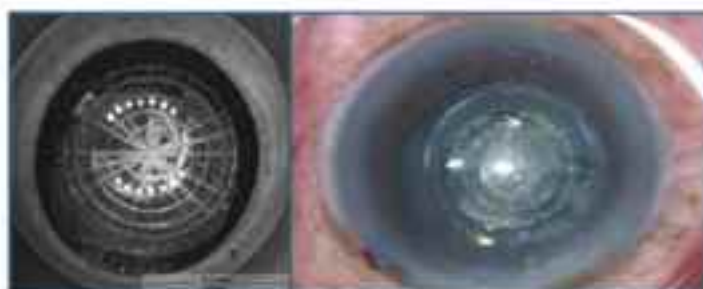


Fig. 5 : Visualisation OCT et aspect clinique de différents mode de fragmentation nucléaire au laser femtoseconde.

TECHNIQUE CHIRURGICALE DE LA CHIRURGIE AU LASER FEMTOSECONDE

La réalisation du laser comporte quatre temps essentiels : programmation des paramètres laser, mise en contact de l'œil avec le laser grâce à l'interface patient élément clé du système, couramment appelée phase de *docking* (amarrage), prévisualisation des découpes laser à l'aide d'un système d'imagerie adapté ultrasophistiqué permettant les réglages et ajustements finaux et, enfin, réalisation des tirs lasers effectués séquentiellement sur les différentes structures concernées.

1. Programmation

Avant de réaliser les ajustements nécessaires en peropératoire, le chirurgien préprogramme sur le laser les différentes inci-

sions : position, largeur et longueur des incisions principale et de service, architecture en plusieurs plans éventuels. L'ouverture de la capsule antérieure du cristallin est personnalisable en forme et en diamètre. La fragmentation du cristallin peut se faire sur un diamètre et une profondeur variables, et tous les motifs de découpe et de fragmentation du cristallin existent, choisis en fonction de la dureté du cristallin et de la technique opératoire prévue par le chirurgien : division par incisions radiales pour les techniques dites de "chop" ou division en cercles concentriques ou par quadrillage pour les techniques d'aspiration.

2. Interface laser-patient

C'est le système qui permet à la fois de stabiliser l'œil du patient et de le relier au laser pour déterminer avec précision le plan de référence pour la délivrance du laser. C'est un système différenciant les lasers qui doit avoir plusieurs exigences : une faible augmentation de la pression intraoculaire durant la procédure, une bonne exposition des structures oculaires, en particulier de la cornée pour pouvoir y placer les différentes incisions et l'absence de distorsion tissulaire, surtout sur le tissu cornéen. En effet, l'existence de plis cornéens diminue la qualité de focalisation et augmente la taille des bulles de cavitation, diminue la précision et la qualité du traitement (risques de ponts capsulaires antérieurs ou de lésion capsulaire postérieure). Tous les systèmes existants possèdent des interfaces patients efficaces, mais c'est un des éléments de différenciation importants des lasers qui distingue les interfaces liquides idéales pour minimiser la pression intraoculaire et les plis cornéens (OptiMedica d'Abbott et LensAR) et les interfaces solides courbes (Victus de Bausch+Lomb et LenSx d'Alcon) (fig. 6 et 7). Nous passerons en revue ces différences.

3. Visualisation de la procédure

Le système d'imagerie permettant de guider le laser est le deuxième élément clé (avec l'interface) des différents lasers. Il est capital de déterminer de façon exacte la position des structures oculaires, lesquelles doivent être découpées au laser, qui permet au chirurgien de placer *de visu* le site d'incision, l'emplacement de la capsulotomie et de la fragmentation ; elle lui permet également de déterminer des zones de sécurité au voisinage des structures nobles, en particulier de la capsule postérieure. Il existe deux principaux systèmes de visualisation : la tomographie à cohérence optique communément appelée OCT (Victus, LenSx, OptiMedica) et les appareils basés sur la technologie Scheimpflug (LensAR).

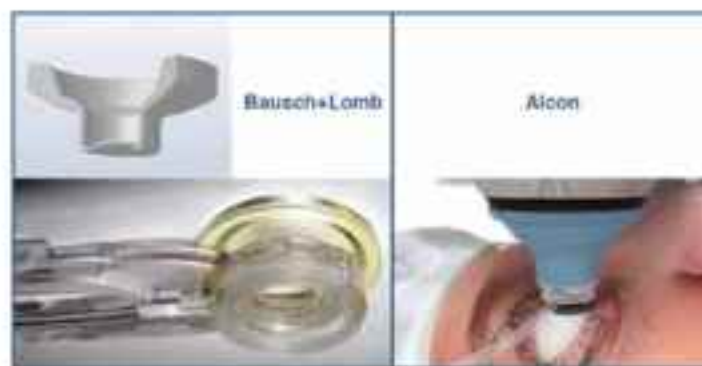


Fig. 6 : Interfaces solides.



Fig. 7 : Interfaces liquides.



Fig. 8 : Imagerie OCT Time-domain et Fourier-domain (TD et FD OCT).

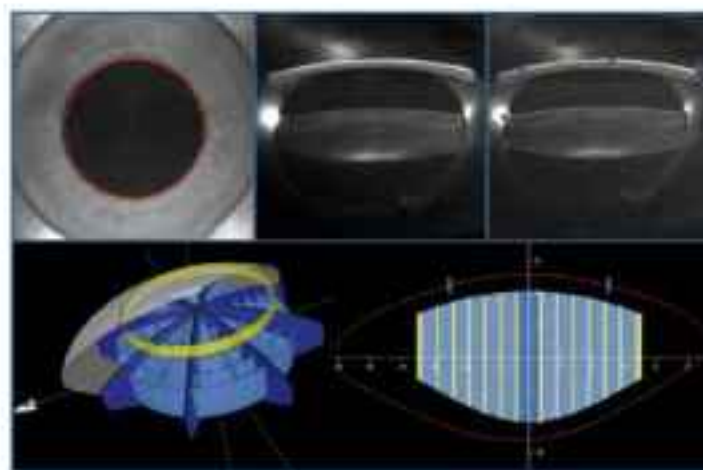


Fig. 9 : Imagerie Scheimpflug LensAR : détection automatisée des structures, programmation des fils et compensation automatisée du tilt.

Le système d'OCT utilisé varie selon les machines : OCT dit *time-domain* (SD OCT) ou OCT spectralement résolu (dit FD OCT pour *Fourier-domain*). Le laser Victus se caractérise ainsi par l'utilisation d'un OCT en temps réel. La compensation du tilt des structures et en particulier du cristallin est capitale pour éviter des découps mal alignés (fig. 8 et 9).

4. Traitement

C'est l'étape finale de la procédure. La durée totale d'un traitement laser incluant programmation, visualisation, incisions, capsulotomie et fragmentation nucléaire est inférieure à 5 minutes, pour toutes les machines. La capsulotomie demande moins de 20 secondes et la fragmentation nucléaire moins de 1 minute selon la machine et le type de fragmentation choisis avec peu de différences selon le laser utilisé.

■ DIFFÉRENTS LASERS

1. Laser Victus – Bausch+Lomb Technolas (fig. 10)

Le laser Victus émet des pulses de 500 femtosecondes à une longueur d'onde de 1033 à 1055 nanomètres et à une fréquence de 80 kHz pour la chirurgie cristallinienne. C'est la seule plate-forme laser à proposer, sur la même machine, les différents traitements réfractifs de la cornée et du cristallin. Cette polyvalence lui permet la technologie femtoseconde pour la réalisation de volets cornéens, d'incisions cornéennes y compris le traitement de la presbytie par la technique d'incisions circulaires intrastromales Intracor et tous les temps de la chirurgie du cristallin. L'interface patient est un cône solide courbe destiné à s'adapter à l'anatomie cornéenne. La zone d'exposition est large (environ 12,5 mm), permettant un positionnement optimal des incisions cornéennes. L'aplanation

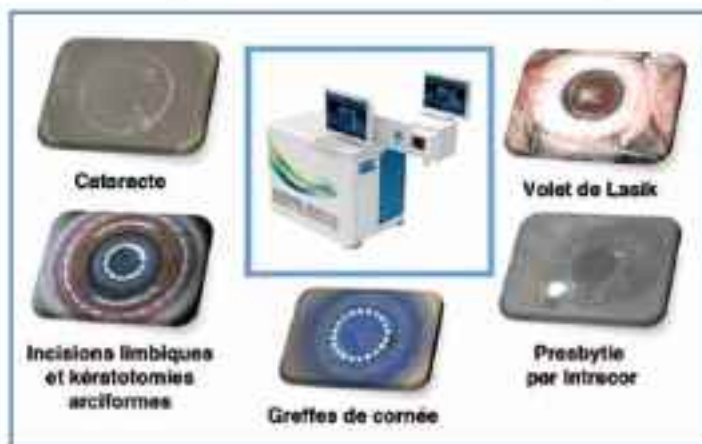


Fig. 10 : Polyvalence de la plateforme VICTUS.

est contrôlée par un système de capteurs de pression pour éviter une pression excessive sur la cornée et la présence de plis cornéens nuisibles à une focalisation optimale du laser. La pression intraoculaire obtenue lors du *docking* est de l'ordre de 35 mmHg. Son système d'imagerie est unique et se distingue de ses concurrents par une imagerie OCT *time-domain* trois dimensions en temps réel.

2. Laser LenSx – Alcon (fig. 11)

C'est la plate-forme la plus répandue à l'heure actuelle. Il émet des pulses de 600 femtosecondes à une longueur d'onde de 1030 nanomètres et à une fréquence de 50 kHz. Il utilise une interface patient solide, courbe, et la délivrance du traitement est guidée par une imagerie FD OCT capturée en début de procédure mais ne permettant pas le contrôle en temps réel des mouvements oculaires. Son interface patient est constituée par un cône appliqué directement sur le limbe sans recourir à la pose d'un anneau de succion, facilitant ainsi la phase du *docking*.



Fig. 11 : Laser Alcon LenSx.

3. Laser LensAR (distribué en France par Topcon) (fig. 12)

Il s'agit d'un laser compact, ergonomique, dont le système de *docking* est rétractable. L'imagerie consiste en un système d'illumination laser en trois dimensions proche de la technologie Scheimpflug. Ce système d'imagerie original peut collecter de nombreuses données biométriques sous de multiples angles (rayons de courbures cornéens et cristalliniens anté-



Fig. 12: Laser LensAR.

rieurs et postérieurs, profondeur de la chambre antérieure et épaisseur du cristallin) et peut ainsi détecter un tilt du cristallin. Il utilise une interface liquide, sans aplanation, permettant l'absence de contact avec la cornée du patient pour améliorer la précision de la focalisation. Enfin, LensAR a développé un logiciel de restauration de l'accommodation par ramollissement du cristallin encore expérimental.

4. Laser OptiMedica – Abbott (fig. 13)

Le laser OptiMedica émet à 1030 nm des pulses de 600 femtosecondes à une fréquence d'environ 60 kHz. Il se caractérise comme le laser LensAR par une interface liquide appelée *Liquid Optics Interface*. Ce système associe un anneau de succion rempli de liquide et une lentille qui n'aplanit pas la cornée. Le traitement est guidé par une imagerie OCT 3D *spectral domain*. Le traitement basé sur les données du système OCT est totalement automatisé, guidé par un algorithme spécifique.



Fig. 13: Laser OptiMedica Catalys.

■ CONCLUSION

La précision chirurgicale incomparable des lasers femto-seconde annonce une chirurgie de la cataracte toujours plus sûre, plus efficace et plus reproductible. Elle représente l'évolution la plus importante depuis l'avènement de la phacoémulsification par l'approche de la perfection dans la qualité de la découpe capsulaire, la précision de la réalisation des incisions et la moindre énergie nécessaire au cours du traitement du noyau cristallinien. L'amélioration des résultats, en particulier lors des implantations en chirurgie phacoréfractive pour la correction de la presbytie, en fait une révolution pour le traitement de la cataracte mais aussi pour la chirurgie réfractive du cristallin. L'aspect économique représente aujourd'hui le principal frein à son plus grand essor.

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

