Chirurgie Laser Vision

VISYA

Clinique de la Vision

CHIRURGIE RÉFRACTIVE 2020

Coordinateurs : C. ALBOU-GANEM et M. ASSOULINE

www.cliniquedelavision.com

Avec le soutien de BAUSCH + LOMB Mieux voir. Mieux vivre.

Numéro spécial – Réalités Ophtalmologiques – Commission paritaire : 0121 T 81115 – ISSN : 1242 – 0018

Le traitement TRANSEPI™ est un algorithme utilisé par le laser Excimer TECHNOLAS®TENEO™
Dispositif Médical fabriqué par TECHNOLAS PERFECT VISION du groupe BAUSCH & LOMB Inc. USA. Ce Dispositif Médical de classe III est marqué CE 0197.
Ce laser Excimer est utilisé pour modifier la forme de la cornée afin de compenser un ou plusieurs défauts visuels comme la myopie, la presbytie, l'astigmatisme ou l'hypermétropie.
Il est réservé aux établissements de santé pour les chirurgiens ophtalmologistes et les personnels qualifiés dans les procédures chirurgicales. Ces dispositifs médicaux ne sont pas pris en charge par les organismes publics d'assurance maladie.
20-06-BAUSCHCHIR-PM-005

www.bausch.com | www.bausch.fr

C. ALBOU-GANEM[1], M. ASSOULINE[2]
[1] Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS. cati@albou-ganem.com
[2] Clinique de la Vision – Groupe Visya et Centre Iéna Vision, PARIS. ienavision.info@gmail.com

Éditorial

Progrès significatifs.

C'est en ces mots que nous pourrions résumer l'année 2019 sur le plan ophtalmologique. En 2019, les bons résultats de la majeure partie des techniques de chirurgie réfractive ont été confirmés. En 2019, certaines techniques ont aussi évolué, notamment grâce à l'installation de la PKR (photokératectomie réfractive) transépithéliale sur de nombreuses plateformes excimer. Enfin, en 2019, les implants optiques ont considérablement progressé, avec la mise sur le marché de nombreux concepts d'optiques à profondeur de champ.

L'année 2020 s'annonçait donc sous les meilleurs auspices et devait assurer la continuité de ces évolutions médicales. Malheureusement, le confinement lié à l'épidémie de Covid-19, imposé le 17 mars, a marqué l'arrêt de la programmation des interventions non urgentes et à raison : ces avancées technologiques n'ont plus été la priorité alors que l'ensemble du corps médical était mobilisé pour soigner les malades et pour trouver un traitement et un vaccin contre le virus. La reprise depuis le 11 mai est lentement progressive. Si le retour à une activité normale est quasi certain, en revanche la date de sa survenue est loin d'être fixée. Nous verrons ainsi les mesures qui ont été prises à la Clinique de la Vision pour traverser cette crise et pour reprendre l'activité avec la plus grande sécurité.

Le milieu ophtalmologique pleure aussi la disparition en février dernier de l'un de ses membres les plus éminents : le Pr Yves Pouliquen, chef de service en ophtalmologie à l'Hôtel Dieu et membre de l'Académie française. Merci à Jean-Jacques Saragoussi pour son très bel hommage.

La chirurgie réfractive au laser fête ses 30 ans

La chirurgie réfractive au laser en France vient de fêter ses 30 ans. Son efficacité, sa précision, sa sécurité et sa stabilité ne sont plus aujourd'hui à démontrer. La qualité de vie que procure la chirurgie réfractive est remarquable et la satisfaction des patients opérés est grande. Malgré cela, la pénétration de la chirurgie réfractive dans la population française et mondiale reste limitée à cause de nombreuses idées reçues, liées à une information erronée des patients mais aussi des ophtalmologistes.

Le premier laser excimer français a été implanté pour une étude multicentrique aux Quinze-Vingts en 1990, faisant entrer la chirurgie réfractive dans une nouvelle ère en permettant une diffusion à plus grande échelle. La PKR était à l'époque la seule technique utilisée. La PKR reste de nos jours une technique largement diffusée grâce à sa précision remarquable et ses indications autorisées pour les patients ayant une morphologie cornéenne n'autorisant pas le Lasik. Elle est aujourd'hui totalement robotisée avec la PKR transépithéliale. Le laser excimer retire l'épithélium avant d'aborder

la correction réfractive, ce qui réduirait la douleur postopératoire en durée et en intensité, ainsi que le *haze*, et accélèrerait la récupération fonctionnelle, tout en conservant une extrême précision. Cette technique peut également être proposée avec une grande sécurité en reprise après un Lasik.

Le Lasik est la chirurgie de référence grâce à la rapidité de récupération fonctionnelle qui permet une reprise des activités immédiate. Le laser femtoseconde est quasiment unanimement utilisé pour la réalisation des volets cornéens à cause de la sécurité qu'il procure et la précision qu'il apporte, le microkératome étant réservé aux chirurgiens ayant débuté le Lasik dans les années 1990 et n'ayant pas fait la transition pour des raisons philosophiques ou économiques. Entre leurs mains, la découpe reste sûre.

Le laser femtoseconde permet également de corriger les amétropies myopiques et bientôt hypermétropiques grâce au Smile qui confirme, avec plus d'une décennie de recul, la précision des résultats obtenus dans des mains expertes, même pour les myopies fortes, avec un moindre taux de sécheresse oculaire induite en postopératoire. Le Smile peut, comme toute intervention, engendrer des aléas ou complications spécifiques qu'il faut apprendre à gérer. Les complications peropératoires surviennent surtout lors de l'apprentissage, mais une bonne compréhension de leur prévention et surtout de leur gestion rend le geste simple et reproductible. Les complications postopératoires du Smile sont moins nombreuses qu'en Lasik du fait de l'absence de capot et justifient à elles seules la conversion à cette technique.

Toutes les amétropies sont actuellement accessibles au laser excimer et le seront bientôt aussi au laser femtoseconde, presbytie comprise. Chaque plateforme laser propose aujourd'hui une programmation spécifique pour corriger la presbytie, afin d'obtenir une cornée asphérique et/ou multifocale associée à une micromonovision. Le PresbyLasik permet aux patients d'obtenir un affranchissement de leur correction pour plus de 90 % de leurs activités, et ce avec une chirurgie rapide, indolore et bilatérale d'emblée.

Le SUPRACOR® est le logiciel mis au point par Bausch + Lomb sur sa plateforme TENEO. Il permet d'obtenir une modification multifocale continue (ou varifocale) d'intensité variable selon le degré programmé et donne de très bons résultats.

Rappelons l'avantage de la chirurgie réfractive au laser de pouvoir être réalisée à nouveau, pour corriger une amétropie qui aurait évolué ou une presbytie, même plus de 10 ans après si les conditions anatomiques le permettent.

Le laser femtoseconde est également utilisé dans un but cosmétologique pour créer le tunnel circulaire dans lequel seront injectés les pigments servant à tatouer la cornée pour modifier la couleur des yeux.

Les implants phaques : pour les amétropies fortes mais pas seulement

L'implantation phaque prend le relai pour les fortes puissances avec l'ICL, seule lentille actuellement largement posée. L'implantation phaque gagne régulièrement des parts de marché grâce à la qualité de vision obtenue et grâce à la fréquente amélioration de la meilleure acuité visuelle corrigée. Elle reste malheureusement pratiquée seulement par un petit nombre de chirurgiens réfractifs.

Si la technique chirurgicale nécessite une courbe d'apprentissage, elle n'a pas fondamentalement évolué, en dehors de l'absence de nécessité de réaliser une iridectomie périphérique depuis la version V4c de l'ICL myopique. En effet, celui-ci est muni d'un orifice central de 0,360 mm permettant une circulation plus physiologique de l'humeur aqueuse, évitant les risques de glaucome aigu et entraînant de ce fait un taux quasi négligeable d'opacifications cristalliniennes.

La mesure du blanc à blanc, dont dépend la taille de l'implant permettant d'obtenir le *vault* idéal, a largement bénéficié des OCT de dernières générations, comme le Casia2, OCT du segment antérieur à très grande résolution. Ce *vault* idéal permet d'éviter les complications secondaires (cataracte et hypertonie par dispersion pigmentaire irienne).

Les implants phaques se sont récemment enrichis d'une nouvelle lentille, l'IPCL, permettant de corriger également la presbytie avec des résultats prometteurs.

L'aide au diagnostic apportée par l'intelligence artificielle

L'intelligence artificielle (IA) et le big data sont deux technologies en plein essor, dont la combinaison est en train de révolutionner toutes les prises de décision dans quelque domaine que ce soit. Les niveaux seuils de détection des anomalies

vont probablement considérablement diminuer, amenant un gain de temps pour le pronostic.

La chirurgie réfractive, qu'elle soit cornéenne ou cristallinienne, n'échappe pas à la règle. Pour l'ensemble des chirurgies réfractives cornéennes, le dépistage du kératocône fruste reste d'actualité afin d'éviter le risque d'ectasie. Les progrès permanents de l'intelligence artificielle autorisent aujourd'hui le dépistage des cornées à la frontière entre le normal et le pathologique.

Le calcul d'implant commence également à être impacté par ces évolutions technologiques car les erreurs de prédictions sont de moins en moins le fait de mesures biométriques erronées que de lacunes dans les formules de calcul.

La chirurgie du cristallin est aussi une chirurgie réfractive

L'utilisation du laser femtoseconde pour la chirurgie du cristallin reste encore confidentielle. Cependant, les progrès techniques sont rapides et son utilisation dans la chirurgie avec implantation dite "premium" devrait s'élargir pour une optimisation du résultat réfractif. En attendant, la perfection du design du capsulorhexis peut être obtenue grâce à des outils moins onéreux.

Les optiques des lentilles intraoculaires se sont enrichies des implants dits "à profondeur de champ étendue" qui apportent une très bonne vision intermédiaire et un affranchissement de la correction pour la majeure partie des activités de la vie courante, sans surcoût pour la plupart. Cette terminologie "à profondeur de champ étendue" recouvre en réalité une famille hétérogène de principes optiques dans laquelle on retrouve des optiques bi- et trifocales (réfractives ou diffractives), des optiques asphériques, une optique type "trou sténopéïque" et enfin des associations de ces différents principes optiques. Le choix est large et peut être là aussi parfaitement adapté au patient.

La chirurgie réparatrice de la cornée bénéficie aussi de progrès constants

Les kératocônes bénéficient de progrès techniques et technologiques, mais également de la recommandation préventive de ne pas se frotter les yeux, ce qui réduit l'évolution de la maladie.

Le CXL joue un rôle important. Il s'agit non seulement d'une méthode de durcissement de la cornée, mais aussi d'une méthode d'inhibition des frottements oculaires. Le CXL transépithélial avec supplémentation en oxygène, encore à l'étude, semble être une technique encourageante ayant pour but de rendre la procédure de *cross-linking* sûre et efficace, en potentialisant le facteur clef de la réaction de réticulation qu'est l'oxygène.

Les anneaux intracornéens se sont enrichis récemment d'anneaux asymétriques qui complètent l'arsenal thérapeutique déjà disponible dans le traitement chirurgical conservateur du kératocône. Les indications dépendent du phénotype du kératocône, mais aussi de son stade préopératoire. Ils régularisent la cornée afin d'améliorer la meilleure acuité visuelle corrigée.

N'oublions pas la surface oculaire et l'organisation avec la prise des rendez-vous en ligne

L'implication de la chirurgie réfractive et de la cataracte dans la survenue d'un syndrome sec oculaire (SSO) n'est pas à négliger. La meilleure prévention du SSO postopératoire reste l'analyse préopératoire de la surface oculaire.

Enfin, la prise de rendez-vous en ligne est, pour le professionnel de santé en général et l'ophtalmologiste en particulier, la partie visible des outils numériques d'optimisation de l'organisation. Elle acquiert aujourd'hui – et plus encore demain – un statut incontournable pour l'offre de services proposés à la patientèle.

Nous vous souhaitons une bonne lecture.

BAUSCH + LOMB

CATARACT RETINA LASER

victus
Femtosecond Laser Platform

TECHNOLAS 7
TENEO M²

Stellaris Elite
Vision Enhancement System

Le Stellaris ELITE™, est un équipement de microchirurgie oculaire pour être utilisé lors d'interventions chirurgicales sur le segment antérieur et postérieur de l'œil.Il permet d'effectuer des interventions de cataracte par phacoémulsification, d'irrigation/aspiration, de diathermie bipolaire, de vitrectomie, d'injection/extraction de liquides de tamponnement et les opérations d'échange air/fluide. Il est réservé aux établissements de santé pour les chirurgiens ophtalmologistes et les personnels qualifiés dans les procédures chirurgicales. Ces dispositifs médicaux sont pris en charge par les organismes publics d'assurance maladie au titre de leur inclusion dans le financement des groupes homogènes de malades et de séjour relatifs aux interventions oculaires.

Le laser Technolas® Model 2 est un système ophtalmique reposant sur la technologie Excimer et s'emploie dans la chirurgie réfractive. Ce système permet de réaliser l'ablation préprogrammée précise de la cornée de l'œil humain pour corriger les erreurs réfractives en remodelant la surface cornéenne en mode LASIK ou par une ablation de surface. Fabricant légal : Technolas Perfect Vision GmbH Messerschmittstr 1+3 80992 München Germany.Cette procédure chirurgicale n'est pas prise en charge par les organismes publics d'assurance maladie.

La plateforme laser femtoseconde VICTUSTM a obtenu le marquage CE pour la capsulotomie, la fragmentation du cristallin, les incisions arciformes, les incisions cornéennes, le capot LASIK, l'ICRS, la kératoplastie (PKP), la kératoplastie lamellaire (LKP) et les poches de cross-linking (CXL). Fabricant légal : Technolas Perfect Vision GmbH Messerschmittstr 1+3 80992 München Germany.Ces procédures sont prises en charge dans le cadre du GHS pour la chirurgie de la cataracte uniquement.

Ce sont des dispositifs médicaux de classe IIb qui portent le marquage CE0197 dont l'évaluation de conformité a été établie par l'organisme habilité TÜV Rheinland LGA Products GmbH. Veuillez prendre connaissance du catalogue référençant et décrivant ces différents dispositifs, lire attentivement les instructions du manuel d'utilisation et, le cas échéant de la notice spécifique qui accompagne le(s) dispositif(s) médical(aux). 20-06-BAUSCHCHIR-PM-002

CATARACT = CATARACTE
RETINA = RÉTINE

J.-J. SARAGOUSSI
Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.
jjsaragoussi@orange.fr

Lettre posthume au Professeur Yves Pouliquen (1931-2020)

De l'Académie française

Professeur Yves Pouliquen, vous nous avez quitté le 5 février 2020. Vos fidèles élèves pensent avec émotion et nostalgie au passé, aux moments intenses vécus à vos côtés, à ce que vous leur avez appris et transmis. Plusieurs d'entre eux travaillent aujourd'hui à la Clinique de la Vision. En ma qualité de plus ancien, je souhaite associer à l'hommage qui vous est adressé à titre posthume deux de mes collègues et amis avec lesquels vous avez été proches, les Drs Alain Abenhaïm et Michaël Assouline.

"*L'Art est long, l'occasion fugitive, l'expérience trompeuse, le jugement difficile…*" C'est avec cette citation d'Hyppocrate, inscrite à la craie blanche sur le tableau mural s'offrant à nos regards dans la salle de staff du service d'ophtalmologie de l'Hôtel-Dieu de Paris, que vous avez réuni pour la première fois tous vos collaborateurs ce vendredi après-midi d'octobre 1980. À l'âge de 49 ans, vous preniez tout juste vos fonctions de chef de service et le hasard du calendrier, mais aussi du choix des stages hospitaliers, m'avait conduit comme jeune interne à votre rencontre.

L'ophtalmologie était en pleine renaissance et les chefs d'écoles à venir, dont vous étiez, ouvraient les voies nouvelles des surspécialités. Certains avaient choisi la rétine, d'autres l'ophtalmo-pédiatrie, l'inflammation oculaire ou encore le glaucome. Votre parcours personnel vous avait conduit à acquérir une expertise sur la cornée. À votre consultation convergeaient des patients venant de France et de l'étranger, adressés pour toutes les pathologies cornéennes, dystrophies, kératocône, herpès… Votre connaissance de la clinique, votre approche scientifique fondée sur vos travaux de recherche menés dans le cadre de l'unité 86 de l'Inserm, que vous aviez contribué à créer et que vous dirigiez depuis un an, justifiaient votre réputation. Il faut y ajouter la maîtrise de la nouvelle microchirurgie que vous mettiez au service des techniques de greffes de cornée.

Votre autorité naturelle (et redoutée), votre exigence d'implication et d'efforts que vous attendiez de vos élèves allaient de pair avec de grandes qualités humaines. Avec eux, vous avez su établir une relation quasi filiale. Rien de tel pour créer en retour une motivation, une émulation, un enthousiasme qui nous faisaient oublier les rigueurs de notre engagement à vos côtés et nos longues heures de travail.

Chacun connaît votre brillante carrière jalonnée de prestigieuses distinctions et je n'y reviendrai pas. Une biographie complète serait nécessaire. Je souhaite surtout insister ici sur les qualités qui vous ont conduit à promouvoir la chirurgie réfractive. Ce sont l'ouverture d'esprit et l'audace raisonnée. Vous aviez compris que l'avenir allait réserver un nouvel espace à cette discipline dans l'ophtalmologie. Vous aviez compris tout ce que celle-ci pouvait apporter aux nombreux sujets amétropes souhaitant s'affranchir de leur correction optique.

En effet, rien ne vous prédisposait à vous engager dans cette voie. Votre formation médicale de tradition académique vous inclinait à vous consacrer exclusivement au traitement des maladies cécitantes. Œuvrer à la restauration de la transparence et de la fonction optique de la cornée compromises par de nombreux processus pathologiques était votre mission naturelle. Oser opérer une cornée saine pour modifier son pouvoir dioptrique était sujet à controverse et suscitait un débat médical et éthique dans les années 1980.

En scientifique, fort de votre expertise sur la cornée, vous avez choisi de relever ce défi. Avec rigueur et pragmatisme, vous avez fait confiance à votre équipe renforcée par Khalil Hanna. Cette voie, alors incertaine, était déjà explorée depuis quelques années en Colombie et en Russie. Parallèlement, l'intérêt pour ces techniques pointait dans quelques pays dont la France, notamment aux tous débuts à la Fondation A. de Rothschild de Paris et à l'hôpital Purpan de Toulouse. Vous avez réussi à doter votre service d'un plateau technique chirurgical complet spécialement dédié à cette chirurgie.

Mais très vite, une révolution s'annonçait qui allait permettre en quelques années à la chirurgie réfractive d'atteindre un haut niveau de précision et de sécurité, la sculpture du tissu cornéen au laser. Votre laboratoire de recherche équipé pour l'étude ultrastructurale de la cornée par microscopie électronique à transmission était tout désigné pour évaluer expérimentalement l'effet anatomique du nouveau laser excimer et pour décrire de façon inédite la cicatrisation du stroma cornéen. Une collaboration avec le professeur G. O. Waring de l'université Emory d'Atlanta s'engageait. Elle a donné lieu à d'importants travaux qui ont été publiés dans les plus grandes revues internationales.

Au cours des années 1990 et 2000, un cours d'enseignement annuel de chirurgie réfractive qui rassemblait les meilleurs spécialistes était organisé dans le rustique amphithéâtre de Lapersone à l'Hôtel-Dieu. Tous nos amis conférenciers et les nombreux auditeurs se souviennent de l'ambiance à la fois fiévreuse et décontractée qui y régnait.

Le 10 novembre 1999, vous avez présidé l'inauguration de la Clinique de la Vision alors domiciliée avenue Hoche, à Paris. Vous avez préfacé le rapport annuel *Chirurgie réfractive* de la Société Française d'Ophtalmologie en 2001, ouvrage collectif que j'ai eu le privilège de coordonner. En 2011, nous avons publié ensemble le livre *Lunettes ou laser, choisir sa vision* aux éditions Odile Jacob. Je me souviens de nos réunions de travail denses, fructueuses et enthousiastes.

Nous n'avons pu évoquer ici qu'une petite partie de votre vie professionnelle. Votre parcours vous a conduit jusqu'à l'Académie française, mais c'est une autre histoire.

J'ai souvent médité la citation d'Hyppocrate du début de cette lettre en pensant à vous. Le fil de la vie m'en a progressivement dévoilé le sens. Avec mes amis Alain Abenhaïm et Michaël Assouline, nous vous exprimons notre profond respect et, puisque vous êtes toujours très présent dans nos souvenirs, notre immense affection.

L'auteur mentionne un lien d'intérêt avec la Clinique de la Vision, Paris.

B. ARSON[1], D.-A. LEBUISSON[2]
[1] Directrice, Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS. cliniquevision@orange.fr
[2] Ophtalmologiste, Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS. cliniquevision@gmail.com

La Covid-19 et la Clinique de la Vision 2020
Adaptation et *strange bedfellows*

Le parallèle évoqué par Riss entre la position française face à l'infestation Covid et *L'Étrange défaite* de M. Bloch est particulièrement pertinent [1, 2]. La Clinique de la Vision a été surprise, à l'instar du pays, par la violence et la rapidité des événements. Mais à la différence de nombreuses institutions, elle a pu **instantanément répondre** de façon adéquate en dépit d'un flottement de la tutelle. Elle ne comptait pas sur des scénarios préétablis ou une innovation imaginative de l'État [3]. La souplesse de sa structure, alliée à une **gouvernance encore unique** et décisionnelle, lui permettait ce défi. Tout fermer, se cacher et tout arrêter était aisé. Tout le monde l'a fait, plus ou moins bien. **La question, c'était ouvrir : quand, comment, pour qui et avec qui ?**

Mais **la Clinique de la Vision possède 3 caractéristiques** qui, associées, la rendent unique en France. Ce n'est pas un établissement de santé, on y opère aussi bien le segment antérieur que la réfractive laser, enfin elle dispose d'une vaste plateforme de consultations et d'investigations. Aussi, sa situation était particulière, l'est toujours et le sera plus que jamais. La Covid a frappé au moment où, déjà, une réflexion intense était en cours au sein de l'établissement, avec une perspective de remodelage structurel. **Les esprits étaient préparés au changement**, mais il est vrai pas du tout à celui qui est arrivé. Il a fallu combler le vide entre l'empirisme et les certitudes scientifiques [4]. C'est ce **nouveau paradigme** que nous devons continuer à assumer et, somme toute, ce ne sont pas les patients Covid que nous avons à soigner mas bien ceux qui sont épargnés (mais est-ce certain ?), sans être absolument sûr d'être soi-même indemne.

La Clinique disposait de **réserves financières suffisantes** pour absorber l'impact économique. Libre de ses prix, dénuée d'emprunts, loin d'actionnaires à l'affût, elle n'avait pas joué au *low cost* et à la surenchère de rabais et d'estompes. La gestion affinée par sa simplicité s'est révélée ponctuellement heureuse et, 3 mois après, aucune dette ou facture n'handicape la clinique. Le personnel non médical est demeuré confiné ou au service sanitaire de réserve et a bénéficié des avantages gouvernementaux lui permettant de faire face aisément, compte tenu de notre **politique salariale particulièrement généreuse**. La direction, soutenue par les associés, est immédiatement passée en mode **télétravail**, renforçant la permanence des réactions rapides et adaptées. Durant l'octave pascal, l'inventaire matériel fut fait et les premières commandes passées.

Nous n'énumérons pas ici les **mesures techniques et organisationnelles** exigées pour la remise en route, ce serait fastidieux et scolaire. Mais elles sont toutes largement connues et partout édictées, à défaut d'être unanimement adoptées (***fig. 1 et 2***).

PRÉCAUTIONS
En l'absence de tout signe suspect

Mesures mises en place pour vous et nous protéger :

- **Les accompagnants** devront rester dehors. Les mineurs ne sont pas admis à la clinique.
- Le port du **masque PERSONNEL** est obligatoire dans la clinique.
- Veuillez vous présenter **UNIQUEMENT à l'heure précise** du rendez-vous. Ceci est destiné à assurer les écarts réglementaires entre patients.
- Nous avons **espacé les rendez-vous**, mais en cas de retard indépendant de notre ou votre volonté, nous vous demanderons alors de bien vouloir patienter devant la porte, ou dans votre voiture, et nous vous préviendrons alors par téléphone ou sms.
- Un lavage des mains avec **solution hydroalcoolique** sera fait à votre arrivée et à votre sortie.
- Évitez **tout contact** inutile avec le mobilier et les surfaces.
- La salle d'attente a été vidée de tous les magazines. Votre siège sera isolé.
- Merci de vous munir de **votre propre stylo**.
- **Apportez tous vos documents et le dossier complet sans surtout oublier ceux qui doivent être remis signés.**

Après l'opération :

– Portez un **masque** dans l'espace public ;
– Lorsque vous retirez le masque : **lavage des mains** avant le retrait, retrait par les attaches ou élastiques. Déposez le masque dans un sac poubelle puis lavage des mains ;
– Portez en public les **lunettes protectrices** au moins 24 heures ;
– Respectez les mesures de **distanciation** physique ;
– Enfin, si vous êtes atteint ultérieurement par le Covid, **informez-nous** très vite.

Fig. 1 : Fiche de consignes confiée au patient réfractif opéré.

Fig. 2 : Comptoir d'accueil protégé et aménagé.

La Clinique n'a pas eu à se préoccuper des ratiocinations thérapeutiques.

Se procurer des masques, des produits, des matériels, des dispositifs a demandé, au moment de la pénurie, d'identifier les besoins et de les hiérarchiser. **Les conseils éclairés de tous les acteurs soignants de la clinique** ont été précieux. Les échanges de mails, de messagerie sociale, de conférence numérique, de lectures, d'entretiens ont concouru à apporter l'information. Ensuite, le tri des productions des diverses sociétés savantes et circulaires de la tutelle a encadré les décisions. Beaucoup de médecins transmettaient des schémas et procédures en leur possession. La **fidélité des fournisseurs** de la clinique a permis de s'approvisionner de façon adéquate. De surcroît, les renseignements précis venus de tous ont permis de slalomer entre les offres et d'éviter les escroqueries ou les non-professionnels. Ce processus a été précédé d'un travail intellectuel et manuel de mise en place. **La directrice a conçu l'ensemble du dispositif** et, aidée de bras fidèles que nous remercions, a procédé à l'application.

Pendant cette période de confinement, nous ne sommes pas restés les bras croisés. Outre la mise à jour de nombreuses tâches administratives, il a été fait une **refonte totale du site internet**.

Dès lors, la véritable discussion portait sur la **reprise chirurgicale**. Curieusement, mais en apparence seulement, les plus ardents étaient certains fondateurs possédant déjà pignon sur rue, les plus jeunes opérateurs ne se manifestant que beaucoup moins (moins de patients ? moins avides ? moins étranglés ? moins de pression ?). Que dire des patients ? Ceux qui avaient été inscrits et annulés se sont enrôlés à nouveau sans grande difficulté. Pas tous mais la plupart, environ 75 % des prévendus partant pour un traitement avant l'été.

La plus grande pagaille régnant parmi les décideurs de la santé, il a fallu prendre une décision, la reprise chirurgicale laser s'est effectuée le 18 mai et les consultations la semaine précédente, les opérations à globe ouverts étant positionnées début juin sauf exception. Les programmes opératoires, les séjours, les files de patience ont été adaptés. Au demeurant, l'heure n'étant pas encore à la surcharge d'inscriptions, le **ralentissement de tout le tempo** a été bien conduit, sans à-coups.

Ce qui est remarquable, en ophtalmologie, c'est le **clivage pratique entre le secteur public et le libéral**. Ceux qui étaient redéployés vers les soins Covid ont accumulé des épaisseurs de doctrines, règlements, protocoles, arrêts, circulaires, etc., aboutissant à une quasi-paralysie de toutes les activités sauf l'urgence. Le privé a été souvent mis à l'écart et parfois ignoré.

Mais un **autre clivage** s'agrandit aussi et toujours entre les "**jeunes**", pour qui l'endémie n'est pas significativement dangereuse, et les "**plus âgés**", pour qui elle se majore avec l'ancienneté. C'est sur cette ligne de rupture entre sanitaire et économies que l'arbitrage se tint, avec un nuage de social et d'écologie. D'où de savoureux débats entre tenants de la sainte précaution et ceux de l'allant opératoire. Tant et si bien qu'en réfractive, les conseils de retarder le redémarrage émis par les représentants professionnels ne furent pas suivis par beaucoup de monsieur Homais [5] sûrs d'eux-mêmes. On a même vu des cataractes opérées en plein confinement et hors les clous (une probable anisométropie opportuniste ?).

Le **principe d'indétermination** d'Heisenberg [6] est devenu la loi commune. Devrons-nous raccourcir les vacances ? Les précautions seront-elles encore de mise à l'automne ? Le staff sortira-t-il indemne de la pandémie ? Les patients seront-ils au rendez-vous ? Les ressources des patients seront-elles en partie affectées aux chirurgies non urgentes ? Autant de sujets sans réponse.

Pour le moins, ce n'est pas suffisant pour assurer de la **sécurité**. Un document d'**information** complet a été mis à la disposition des patients, il comporte des explications et des préconisations. De surcroît, les **équipements de prévention** sont disponibles dès l'entrée dans la structure (gels, masques, marquages, fléchages…). Les circuits et stations sont en silo pour éviter les rencontres et plages de stagnation.

Vis-à-vis de la responsabilité civile professionnelle (RCP), les assurances ne posent aucune difficulté : **respect des règles = protection juridique**.

Le point faible ou fort d'un déploiement, c'est toujours **l'homme** [7]. En réfractive, les patients sont jeunes et pas forcément toujours assez solidaires ou conscients pour se plier aux précautions. En regard, **l'indiscipline est surtout propre aux ophtalmologistes** peu enclins en réfractive, *mirabile dictu*, à respecter et suivre des règles et recommandations tout en se targuant d'être des chirurgiens ! La preuve est donnée qu'une fraction d'entre eux sont peu exemplaires et c'est une déception, mais c'est propre à toutes les structures dénuées d'un responsable à poigne.

Au contact du feu, la Clinique de la Vision a montré qu'elle constituait un **outil efficient**, robuste et malléable, mais aussi perméable aux comportements disruptifs. "*Medicine acquaints a man with strange bedfellows* [8]."

Références évocatives

1. Riss. Covid-19 : l'autre "étrange défaite". *Charlie Hebdo*, 27 mars 2020. charliehebdo.fr/2020/03/actualite/riss-article-coronavirus-france-covid-19-lautre-etrange-defaite-systeme-sante/
2. Bloch M. *L'Étrange défaite : témoignage écrit en 1940*. Paris, Société des Éditions "Franc-Tireur", 1946.
3. Zylberman P. *Tempêtes microbiennes. Essai sur la politique de sécurité sanitaire dans le monde transatlantique*. Paris, Gallimard, 2013.
4. Jacob P. *L'Empirisme logique*. Paris, Éditions de Minuit, 1980.
5. Flaubert G. *Madame Bovary*. Paris, Michel Levy, 1857.
6. Heisenberg W. *La Nature dans la physique contemporaine*. Paris, Gallimard, 1962.
7. Palagos JM, Maris J. *Diriger en ère de rupture : brouillard et solitude*. Paris, Hermann, 2016.
8. Shakespeare W. *The Tempest*. London, 1610.

Les auteurs mentionnent un lien d'intérêt avec la Clinique de la Vision, Paris.

J'EXPLORE, VOUS DÉCIDEZ

ACE®

Advanced Corneal Explorer

Au-delà de la technologie 2S OCT
Nous formons une équipe.
J'explore, vous décidez !

ACE est connecté au laser 317 Teneo Model²

ACE® est une plateforme de diagnostic avec application cornéenne fabriqué par TECHNOLAS Perfect Vision GmbH du groupe BAUSCH & LOMB Inc.
Ce dispositif médical est certifié par l'organisme TUV Rheinland LGA Products GmbH. CE0197. Classe III. Lire attentivement les instructions figurant dans le manuel d'utilisation. 20-06-BAUSCHCHIR-PM-001

CATARACT LASER RETINA

BAUSCH + LOMB
Mieux voir. Mieux vivre.

SOMMAIRE

Progrès significatifs. 3
C. ALBOU-GANEM, M. ASSOULINE

Lettre posthume au Professeur Yves Pouliquen (1931-2020) 7
J.-J. SARAGOUSSI

La Covid-19 et la Clinique de la Vision 2020. Adaptation et *strange bedfellows* 9
B. ARSON, D.-A. LEBUISSON

Une consultation bien tranquille 15
A. DANAN

Place du SUPRACOR® dans la prise en charge de la presbytie. Regards croisés 20
C. ALBOU-GANEM, V. DIMEGLIO, A. ROURE, S. JAULERRY

Corrections chirurgicales réfractives au laser excimer aberro- ou topoguidées : comment choisir ? 30
C. ALBOU-GANEM

Reprise après Lasik à plus de 10 ans par PRK transépithéliale sur la plateforme WaveLight EX500 35
T. THAN TRONG

Résultats à 3 mois du *Small Incision Lenticule Extraction* (Smile) en cas de fortes myopies 39
D. COEURU, T. CHAZALON

Gestion des complications en Smile 42
L. TRINH

Changer la couleur des yeux : pour le meilleur… ou pour le pire ? 46
M. ASSOULINE

L'implant phaque ICL en 2020 : état de l'art et perspectives d'avenir 56
P. LEVY

IPCL 2.0, nouvel implant phaque de chambre postérieure 63
D. CHONG-SIT

La cataracte : une chirurgie devenue réfractive 70
M. TIMSIT

Chirurgie de la cataracte et *cornea guttata* 78
É. GABISON

Femto-cataracte : présent et avenir 81
A. HAGÈGE, W. GHOUALI, F. NOUIRA, O. CASADESSUS

Pourquoi faut-il passer au femto-cataracte en 2020 ? 95
J.-F. MONTIN

Zepto et FEMTIS : l'avenir de la capsulotomie et de la fixation des implants 100
P. ROZOT

Différents principes optiques des implants à profondeur de champ étendue (EDoF) 105
B. AMELINE, A.-C. BAYLE, T. GUEDJ

SOMMAIRE

Étude aberrométrique de l'implant asphérique Eyhance ICB00 : *does it work ?* **111**
J. COULLET

L'IA en 2020 : que sait-on, que nous est-il permis d'espérer ? **119**
F. COSTANTINI

Dépistage du kératocône fruste et intelligence artificielle **124**
N. MESPLIÉ

Optimisation des résultats du calcul d'implant et intelligence artificielle **131**
L. GAUTHIER-FOURNET, S. MÉSSIKA

Inhibition des frottements oculaires par le CXL : le nouveau paradigme ? **138**
D. TOUBOUL

Supplémentation en oxygène dans le *cross-linking* **142**
A. MATTHYS, M. CASSAGNE, F. MALECAZE, P. FOURNIÉ

Les nouveaux anneaux asymétriques (Keraring AS) sont-ils vraiment innovants ? **146**
O. PRISANT, É. POTTIER

Syndrome sec et chirurgie oculaire : actualités du DEWS II **149**
J.-C. GAVRILOV

Plateformes et fonctionnalités numériques d'optimisation de l'organisation des flux patients au cabinet **154**
S. ZALUSKI

La Revue annuelle de la Clinique de la Vision est réservée aux ophtalmologistes. Elle est routée avec le numéro de mai-juin de *Réalités Ophtalmologiques*. La reproduction totale ou partielle exige une autorisation de la société éditrice.

Une édition **PERFORMANCES MÉDICALES** / **Réalités Ophtalmologiques**
91, avenue de la République – 75540 Paris Cedex 11 – Tél. 01 47 00 67 14 – Fax : 01 47 00 69 99
E -mail : info@performances-medicales.com
Directeur de la publication : Dr R. Niddam • **Secrétariat de rédaction :** M. Anglade, M. Meissel • **Maquette :** D. Plaisance
Imprimerie Bialec, Heillecourt • Dépôt légal : 2e trimestre 2020 • ISSN : 1242-0018

A. DANAN
Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.
danan.ophta@yahoo.fr

Une consultation bien tranquille

La consultation ophtalmologique est habituellement un exercice assez peu anxiogène, habituellement mais pas toujours.

Observation

Thibault T. est un jeune homme de 27 ans adressé par un confrère pour une demande de chirurgie réfractive. Il est myope d'environ 4 dioptries, sans antécédents notables et sa myopie, qui a débuté à l'âge de 9 ans, est stabilisée depuis au moins 5 ans.

Dans le cadre d'une consultation assistée, le patient est d'abord reçu par l'orthoptiste qui mesure la réfraction et réalise les premiers examens complémentaires, c'est-à-dire la topographie cornéenne et l'aberrométrie. La topographie étant strictement normale, tant à l'Orbscan qu'au Pentacam, la cycloplégie est commencée avant le début de l'examen ophtalmologique proprement dit et celui-ci est entrepris alors que la pupille est déjà largement dilatée. On a alors la surprise de découvrir une pression intraoculaire (PIO) normale à droite (19 mmHg pour une pachymétrie à 583 microns) mais élevée à 34 mmHg du côté gauche. La chambre antérieure est parfaitement formée, la cornée parfaitement claire et le patient ne ressent aucune gêne particulière. **Il est 15 h 45**.

Devant ce tableau et bien que la PIO n'ait pas été mesurée avant le début de la dilatation pupillaire, le diagnostic d'iris plateau est évoqué et on arrête évidemment les instillations de chlorhydrate de cyclopentolate qui sont remplacées par de la pilocarpine. On essaye de visualiser l'état de l'angle irido-cornéen mais les images fournies par l'OCT Visante (***fig. 1***) n'ont pas la qualité de celles d'une biomicroscopie ultrasonique (UBM) et sont non concluantes.

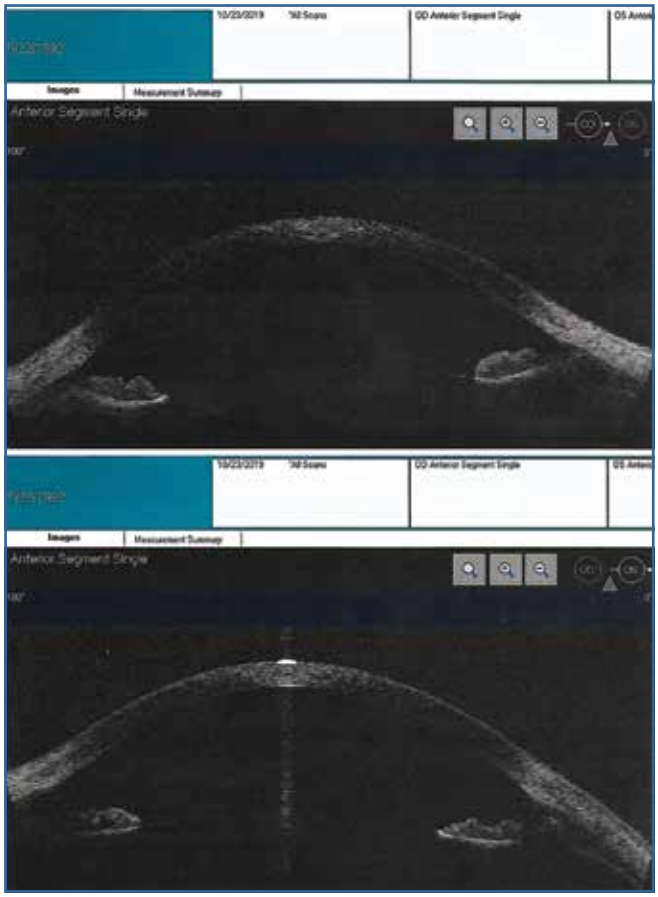


Fig. 1 : OCT Visante.

Une heure plus tard, la pupille est encore un peu plus dilatée malgré la pilocarpine, et la PIO de l'œil gauche est passée à 42 mmHg et elle s'est un peu élevée à droite à 24 mmHg. **Il est 16 h 50**. On donne au patient 2 comprimés d'acétazolamide et on arrive à le convaincre, avec quelques difficultés, de ne pas retourner à son domicile où il est censé rentrer rapidement parce qu'il doit y recevoir une valise neuve livrée par la célèbre multinationale commençant par A…

Trente minutes plus tard, le diamètre pupillaire reste toujours aussi indifférent aux instillations de pilocarpine et la PIO de l'œil gauche atteint 48 mmHg (elle reste à 23 mmHg du côté droit). Le patient ne se plaint toujours de rien. En fait si, il ressent une importante baisse d'acuité visuelle mais elle concerne l'autre œil qui est en plein spasme accommodatif du fait des instillations de pilocarpine avec une myopie mesurée à –7,50 D. Une injection intramusculaire d'une ampoule d'acétazolamide est réalisée pour essayer de faire baisser la PIO. **Il est 17 h 20**. Et accessoirement, on essaye de conclure rapidement avec les autres patients de ce bel après-midi de consultation afin de se consacrer, corps et âme, au héros de cette observation.

À 18 h 00, la PIO de l'œil gauche a atteint 60 mmHg !

Il faut alors, nonobstant la culpabilité ressentie et difficilement dissimulable dans le déclenchement de cette hypertonie majeure, beaucoup de persuasion pour expliquer à ce jeune homme, qui était venu pour une simple consultation, qu'il va peut-être falloir l'emmener au bloc opératoire en urgence pour décomprimer son œil afin d'éviter des complications qu'on préfère ne pas détailler. On se trouve alors dans une SMLNI (situation médico-légale non identifiée) dans laquelle celui qui est à l'origine d'une situation potentiellement très délétère est aussi celui qui propose le geste salvateur et il est bien évident que, dans ce contexte, la signature d'un consentement éclairé n'est même pas envisagée car, face à une telle demande, le patient pourrait bien tout simplement prendre ses jambes à son cou. En fait, le temps est précieux et il faut commencer, afin de mener à bien ce projet, par attraper à la porte de la clinique, avec tact et délicatesse, la seule panseuse encore présente pour lui demander de ne pas partir avant que le patient n'ait été convaincu d'accepter ce geste chirurgical "à la hussarde".

La panseuse étant prévenue, il reste à convaincre le patient, ce qui est obtenu après quelques minutes de négociation. Celui-ci accepte ce geste en urgence, la panseuse retourne au bloc, une ponction de la chambre antérieure (PCA) est réalisée avec un couteau de Worst 15° et du carbachol est instillé en chambre antérieure, entraînant immédiatement un myosis serré. Le patient est recontrôlé à la sortie du bloc : la PIO de l'œil droit est à 21 mmHg et celle de l'œil gauche est enfin redescendue à 18 mmHg ! Ouf ! **Il est 18 h 45**. Thibault T. quitte la consultation avec une ordonnance d'acétazolamide, de maléate de timolol et de brinzolamide, et un contrôle est programmé le lendemain matin.

Le lendemain à 9 h 00, la PIO est parfaitement normale à 11 mmHg des 2 côtés. Afin de mesurer la profondeur de la chambre antérieure, le patient est examiné sur le IOL Master et on a la surprise de découvrir une dépigmentation irienne périphérique bilatérale parfaitement mise en évidence en transillumination. L'œil gauche ayant été ponctionné un peu plus de 12 heures plus tôt, on évite la pose d'un verre à gonioscopie, mais ce geste est réalisé de l'autre côté et met en évidence un syndrome évident de dispersion pigmentaire également visible à la lampe à fente (LAF) – à condition de le chercher un peu – sous forme d'un fuseau de Krukenberg. Une OCT est réalisée et montre l'existence d'un déficit fasciculaire, bizarrement plus marqué sur l'œil droit que sur l'œil gauche (***fig. 2 et 3***). Un traitement (provisoire ?) par dorzolamide/timolol est institué.

Commentaires et évolution

Cette observation est intéressante car elle montre, d'une part, qu'une consultation n'est pas toujours de tout repos et, d'autre part, que la compréhension du mécanisme d'une hypertonie aiguë n'est pas toujours évidente (il n'y avait pas de verre à 3 miroirs sur place, qui aurait permis de réaliser une gonioscopie et de rectifier instantanément le diagnostic). Il s'agissait dans le cas présent d'un authentique glaucome pigmentaire, méconnu, dans lequel la dilatation pupillaire a engendré la chasse brutale d'une grande quantité de pigment dans l'angle iridocornéen entraînant cette hypertonie oculaire d'une intensité impressionnante, complication rare mais classique dans les glaucomes pigmentaires, bien connue des glaucomatologues. La ponction de chambre antérieure avec injection de myotiques était le seul moyen d'obtenir la normalisation pressionnelle rapide qui s'imposait.

Le patient est revu en consultation 3 semaines après cet épisode et 1 semaine après l'arrêt du traitement local par dorzolamide/timolol.

Le diagnostic d'iris plateau initialement évoqué était erroné mais une UBM a cependant été réalisée et a permis de mettre en évidence la convexité postérieure de la racine de l'iris (***fig. 4***), caractéristique du glaucome pigmentaire, avec en revanche l'absence de toute anomalie de l'implantation de l'iris écartant définitivement l'hypothèse de l'iris plateau. La PIO est à 22 mmHg à droite et à 32 mmHg à gauche, confirmant à la fois le diagnostic de glaucome et la nécessité de le traiter. Une prescription de latanoprost/timolol est réalisée. Un avis "glaucomatologique" est demandé sur l'indication

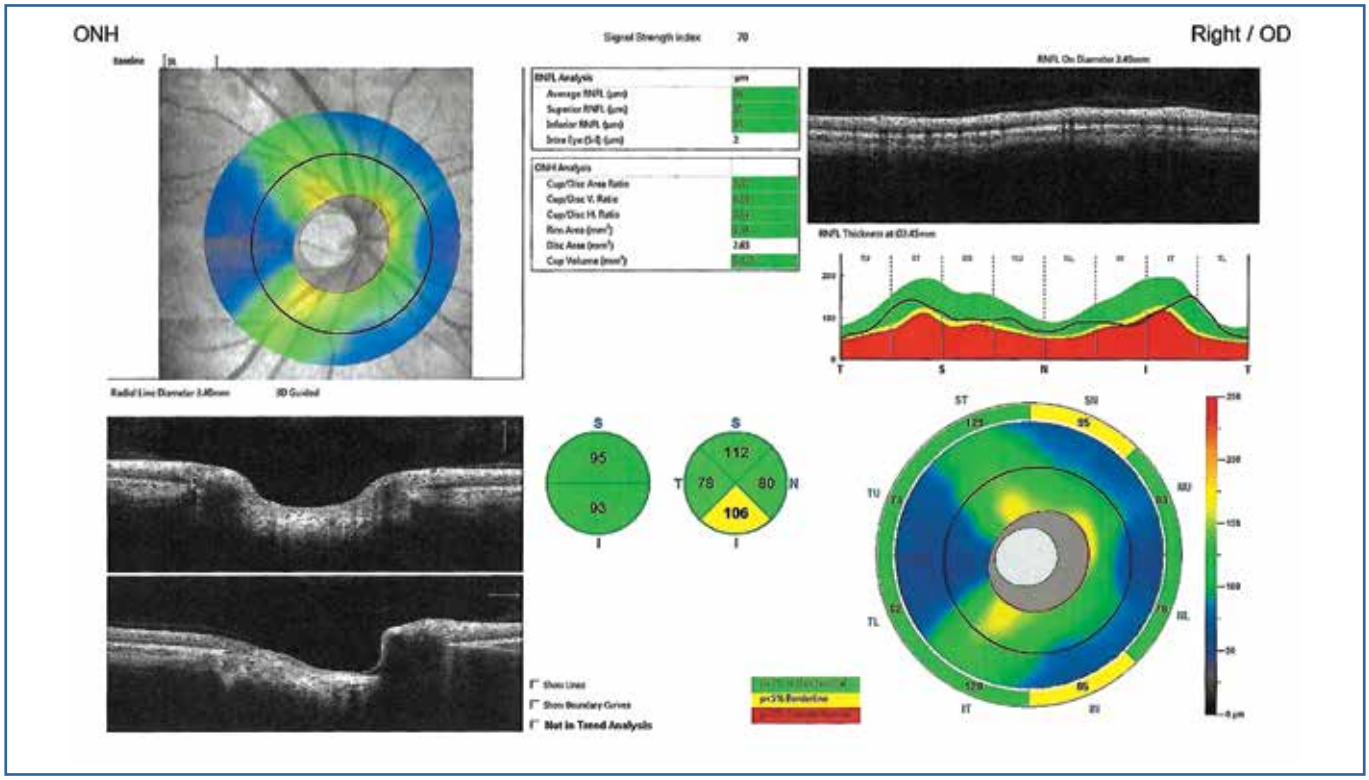


Fig. 2 : OCT papillaire œil droit (OD).

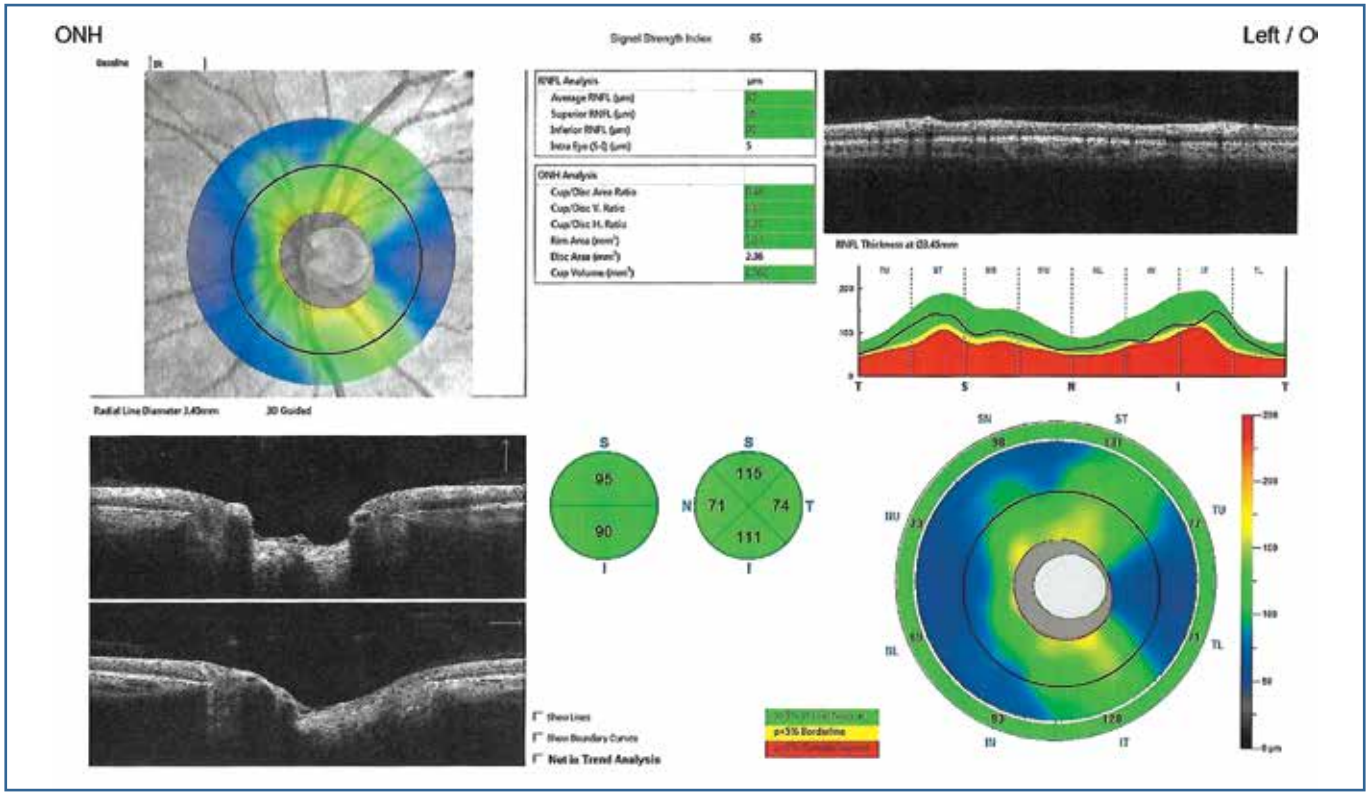


Fig. 3 : OCT papillaire œil gauche (OG).

PARIS RETINA VISION 12 nov. 2019

Patient : Numéro de dossier :
Adresse :
Tel : Sexe : Masculin Date de naissance :

Indication : Angle irido-cornéen en mydriase physiologique

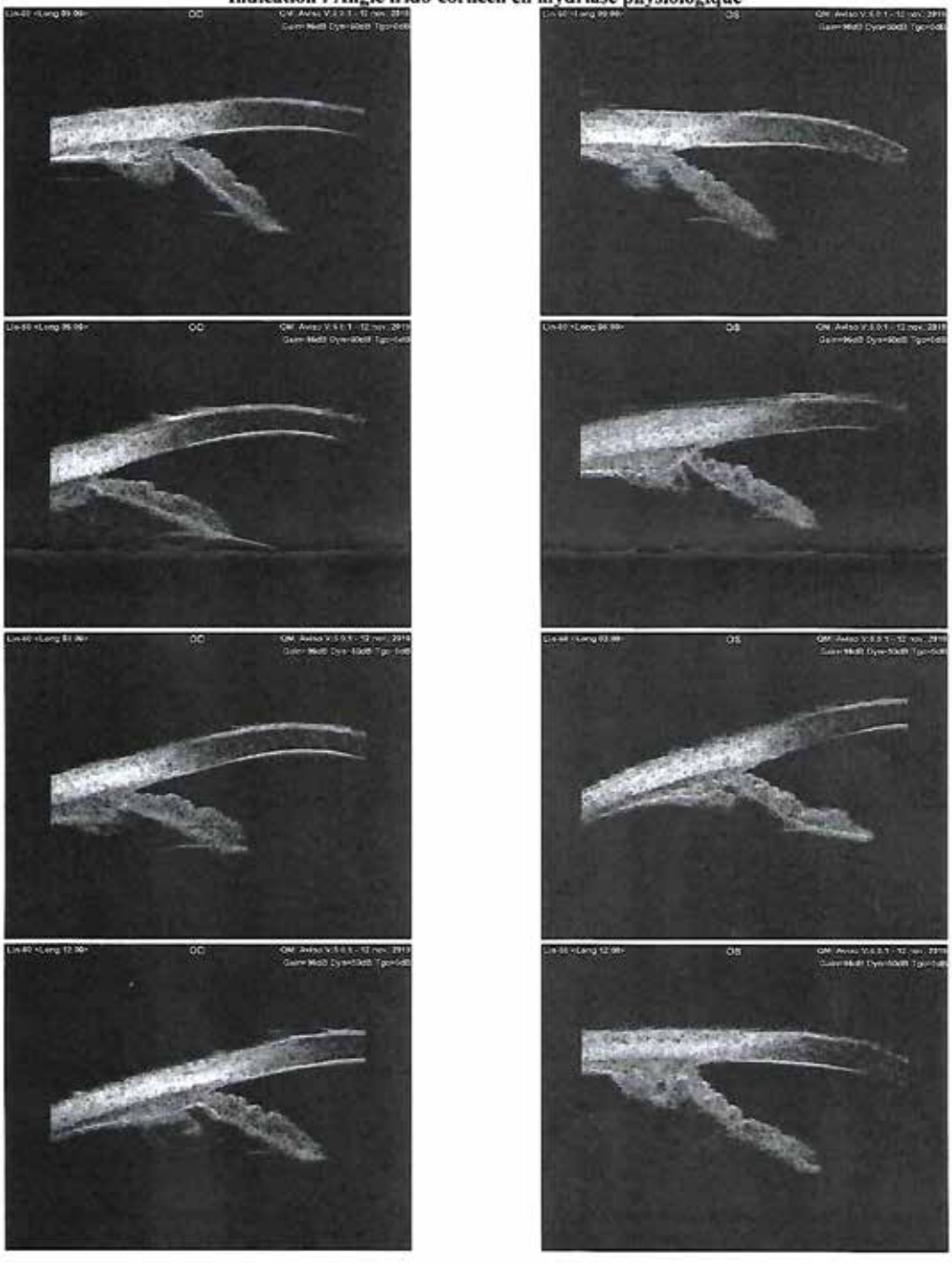


Fig. 4 : Biomicroscopie ultrasonique (UBM).

éventuelle d'une iridotomie périphérique destinée à agir sur le "bloc pupillaire inverse" du glaucome pigmentaire, dont l'intérêt serait, le cas échéant, de faire cesser la dispersion pigmentaire occasionnée par le jeu pupillaire à l'origine de ce tableau.

Cette observation est également intéressante parce qu'elle est éclairante sur les responsabilités de l'ophtalmologiste qui, même en consultation, peut être confronté à des choix difficiles. Il n'était évidemment pas envisageable de laisser repartir avec un simple traitement médical ce patient dont l'hypertonie majeure comportait un risque vasculaire rétinien immédiat. Il ne me paraissait pas non plus logique ni prudent de l'envoyer aux urgences, où il ne serait peut-être pas allé et où il aurait, dans le meilleur des cas, attendu 2 ou 3 heures avant qu'un traitement efficace ne soit mis en œuvre. Ayant la chance que cette consultation ait eu lieu dans une structure chirurgicale, il m'est apparu évident qu'il fallait gérer cette situation *in situ*. Devant ce tableau atypique et mal compris à ce stade, la prise de risque me semblait importante mais inévitable dans un tel contexte. Et par bonheur, ce jeune homme, qui n'avait prévu ce jour-là qu'une simple consultation, était suffisamment intelligent pour comprendre l'enchaînement des événements et accepter la prolongation pour surveillance de cette consultation, et surtout la solution chirurgicale proposée en ultime recours. Avec un patient moins bien "disposé", l'évolution aurait pu être bien différente…

L'auteur mentionne un lien d'intérêt avec la Clinique de la Vision, Paris.

C. ALBOU-GANEM[1], V. DIMEGLIO[2], A. ROURE[3], S. JAULERRY[4]
[1] Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.
[2] Clinique de la Vision – Groupe Visya, MONTPELLIER.
[3] Vision Future, NICE.
[4] Hôpital de Bigorre, TARBES.
cati@albou-ganem.com

Place du SUPRACOR® dans la prise en charge de la presbytie. Regards croisés

SUPRACOR®, logiciel développé par Technolas Perfect Vision Bausch + Lomb, est intégré aux plateformes excimer dont le TENEO 2. Il permet le traitement de la presbytie par réalisation d'une ablation varifocale. La première version du logiciel SUPRACOR® a été mise à disposition des chirurgiens après marquage CE (Communauté européenne) en 2011 pour le traitement des patients presbytes et hypermétropes. Depuis 2013, le logiciel a été mis à jour et permet désormais de traiter les patients myopes [1]. Sa force provient de son algorithme, proposant un traitement bilatéral qui permet de s'adapter au plus près des besoins des patients. Après presque 10 années d'expérience avec le SUPRACOR®, les pratiques des chirurgiens ophtalmologistes se sont précisées et ont montré une certaine hétérogénéité dans la stratégie opératoire.

Nous présentons dans cet article les regards croisés de 4 chirurgiens : les Drs Catherine Albou-Ganem (Paris), Valéry Dimeglio (Montpellier), Antoine Roure (Nice) et Stéphane Jaulerry (Tarbes).

Chez quels patients SUPRACOR® est-il utilisé ?

SUPRACOR® est indiqué dans le traitement des patients presbytes hypermétropes et myopes [2]. Aujourd'hui, il est très utilisé chez les patients éligibles à la chirurgie. "*Le patient idéal est l'hypermétrope presbyte de plus de 50 ans*", indique le Dr Valéry Dimeglio. La combinaison des 3 modes Mild, Regular et Strong permet de corriger la plupart des amétropies, donc un grand nombre de patients.

"*La cible idéale du SUPRACOR® est le patient hypermétrope qui a une presbytie globalement stabilisée et qui a plus de 50 ans*", indique le Dr Antoine Roure. Si, pour le Dr Stéphane Jaulerry, le SUPRACOR® permet de traiter tous les types de patients ainsi que toutes les amétropies, le Dr Antoine Roure, quant à lui, ne prend pas en charge avec le SUPRACOR® les patients presbytes myopes et très peu les patients emmétropes.

>>> **Dr Antoine Roure :** j'opère sous SUPRACOR® les patients hypermétropes, d'autant plus tôt s'ils sont forts hypermétropes. Pour les patients hypermétropes faibles à moyens (autour de 1 à 2), je considère qu'il est mieux de laisser passer la cinquantaine pour une meilleure stabilité.

>>> **Dr Stéphane Jaulerry :** j'utilise le SUPRACOR® chez les patients hypermétropes en priorité du fait de la forte demande, mais je traite également les patients myopes et les emmétropes. Je ne démarre pas le SUPRACOR® avant l'âge de 51 ans, avec un âge moyen autour de 53 ans.

Quelle est la programmation du SUPRACOR® pratiquée chez les patients presbytes ?

Les techniques de chirurgie réfractive cornéenne destinées à la correction de la presbytie sont, pour certaines plateformes, encadrées par un nomogramme recommandé par le laboratoire [3]. Cependant, la programmation pratiquée varie d'un chirurgien à un autre, dans un même objectif qui reste la satisfaction du patient. La programmation du SUPRACOR® se fait en fonction de paramètres [4] que sont l'âge, la réfraction, l'addition et la distance de vision que le patient souhaite privilégier (vision de près ou vision de loin). "*Au fil des années, je suis arrivé à un profil sécuritaire de traitement*", explique le Dr Antoine Roure. "*En fonction des résultats que l'on obtient, on adapte la programmation*", ajoute le Dr Stéphane Jaulerry.

>>> **Dr Catherine Albou-Ganem :** je préfère conserver une excellente vision de loin. Avec SUPRACOR® en programmation recommandée par le laboratoire, j'étais moins efficace en

vision de loin par rapport à mon objectif. Cela fait 6 à 8 mois que je réalise ma propre programmation.

>>> Dr Antoine Roure : je ne fais quasiment jamais de SUPRACOR® unilatéral car je trouve que ce n'est pas assez puissant pour lire. Éventuellement, un traitement hypermétropique sur l'œil dominant et un traitement SUPRACOR® avec une addition Mild sur l'œil dominé peuvent être proposés chez un hypermétrope fort (autour de +4) de plus de 55 ans.

>>> Dr Stéphane Jaulery : je réalise toujours des traitements bilatéraux, sauf chez les emmétropes et chez les patients qui ont une pupille trop petite en photopique (si pupille inférieure à 2,7 mm sur l'œil dominant, je ne fais pas du SUPRACOR®, je fais un traitement PROSCAN).

Quelques exemples de programmations pratiquées en fonction des profils patients :

1. Chez les patients presbytes hypermétropes

>>> Dr Catherine Albou-Ganem :
– PROSCAN sur l'œil dominant ;
– SUPRACOR® Strong sur l'œil dominé, cible –0,50 à 0,75, selon la tolérance du patient à la monovision et son âge.

>>> Dr Valéry Dimeglio :
– SUPRACOR® Mild sur l'œil dominant, cible 0 ;
– SUPRACOR® Strong sur l'œil dominé, cible –0,50.

Les patients hypermétropes jeunes non presbytes de moins de 40 ans sont aussi d'excellents candidats au SUPRACOR® double Mild pour une meilleure stabilité et une anticipation sur la presbytie, précise le Dr Valéry Dimeglio.

>>> Dr Antoine Roure :
– SUPRACOR® Mild sur l'œil dominant, cible –0,20 à –0,50 ;
– SUPRACOR® Regular ou Strong sur l'œil dominé en fonction de la kératométrie et des habitudes de vie du patient, cible –010 à –0,40.

>>> Dr Stéphane Jaulerry :
– SUPRACOR® Regular sur l'œil dominant, cible +0,25 ;
– SUPRACOR® Strong sur l'œil dominé, cible –0,50.

2. Chez les patients presbytes emmétropes

>>> Dr Catherine Albou-Ganem : SUPRACOR® Strong sur l'œil dominé, cible –0,50.

>>> Dr Valéry Dimeglio, après une bonne tolérance de la bascule en lentilles de contact :
– SUPRACOR® Mild sur l'œil dominant, cible 0 ;
– SUPRACOR® Regular sur l'œil dominé, cible –0,50.

>>> Dr Antoine Roure : utilisation peu fréquente du SUPRACOR®.

>>> Dr Stéphane Jaulerry :
– sur l'œil dominant : soit pas de traitement si le patient a une très bonne vision de loin sans correction, soit le patient est très demandeur, SUPRACOR® Mild, cible 0 ;
– SUPRACOR® Strong sur l'œil dominé, cible –0,50.

3. Chez les patients presbytes myopes

>>> Dr Catherine Albou-Ganem : pas d'utilisation du SUPRACOR®.

>>> Dr Valéry Dimeglio :
– SUPRACOR® Mild sur l'œil dominant, cible 0 ;
– SUPRACOR® Regular sur l'œil dominé, cible –1,00 ;
– avec généralement une programmation de la myopie de –0,50 inférieure à la réfraction subjective.

>>> Dr Antoine Roure : pas d'utilisation du SUPRACOR®.

>>> Dr Stéphane Jaulerry :
– SUPRACOR® Mild sur l'œil dominant, cible –0,25 ;
– SUPRACOR® Strong sur l'œil dominé, cible –0,50.

Quelles sont les attentes des chirurgiens sur la vision de loin, de près et intermédiaire ?

Les attentes des chirurgiens sont dans la plupart des cas celles des patients, qui souhaitent la meilleure vision de loin, intermédiaire et de près, en situation de vie professionnelle et/ou dans les habitudes de vie. Cependant, ils ne l'obtiennent pas toujours. Pour le Dr Antoine Roure, "*le but est que les patients lisent sans lunettes à toutes les distances, une très légère paire d'appoint en très faible éclairage peut être acceptable*." Le Dr Stéphane Jaulerry précise que les attentes sont individualisées en fonction des patients : "*Nous avons une base que nous affinons en fonction de l'amétropie et des demandes du patient (profession, sport, musique…).*"

>>> Dr Catherine Albou-Ganem : j'utilise SUPRACOR® en unilatéral sur l'œil dominé. J'obtiens ainsi rapidement

une vision de loin très confortable grâce au PROSCAN sur l'œil dominant et une très bonne vision de près grâce au SUPRACOR® Strong sur l'œil dominé. La vision intermédiaire ne pose pas de problème avec cette programmation.

>>> **Dr Valéry Dimeglio :** j'utilise SUPRACOR® toujours en bilatéral pour optimiser le résultat sur la vision de près, diminuer l'effet bascule et garantir une meilleure stabilité.

Quelle est la stabilité dans le temps du SUPRACOR® ?

"*La régression n'est pas topographique, elle est cristallinienne*", précise le Dr Valéry Dimeglio. C'est donc l'âge du patient qui intervient. Par exemple, un patient jeune peut être potentiellement instable alors qu'un patient plus âgé peut être plus stable jusqu'à l'âge de la cataracte. Cependant, SUPRACOR® agit "*comme un ciment qui gèle la cornée*", explique le Dr Valéry Dimeglio, ce qui lui donne sa bonne stabilité.

>>> **Dr Valéry Dimeglio :** l'arrivée du SUPRACOR® Regular en 2012 a diminué le taux de retouches à 7 % (qui ne concernaient essentiellement que l'œil dominant en vision de loin traité en mode standard asphérique). L'arrivée du mode Mild fin 2013 a largement contribué à la stabilisation et a donc diminué à nouveau le taux de retouches. J'utilise le SUPRACOR® uniquement en mode bilatéral pour garantir la meilleure stabilité topographique.

Un résultat stable n'est pas perçu avant 6 mois car il faut laisser le temps de neuroadaptation, du fait d'une vision binoculaire déstructurée. Une régression dans le temps peut toutefois être observée mais celle-ci n'est pas très importante. Le Dr Stéphane Jaulerry précise que seuls 12 de ses patients ont été retouchés sur 600 patients opérés !

>>> **Dr Stéphane Jaulerry :** le principe du SUPRACOR® est de faire bomber le centre de la cornée. Suivant la kératométrie initiale de la cornée, celle-ci va s'affaisser, entraînant une diminution de l'effet dans le temps chez presque tous les patients. Au début, les patients sont un peu myopes et gênés. Ensuite, ils sont moins gênés de loin car la cornée se raplatit comme une sorte de soufflet qui redescend légèrement.

Le Dr Antoine Roure précise, quant à lui, que "*la stabilité est d'autant meilleure que l'on opère les patients pas trop tôt et que l'on a une bonne réfraction au départ*".

>>> **Dr Antoine Roure :** les hypermétropes sont des patients qui ont souvent une réserve accommodative qui s'effondre assez vite, il faut les opérer au bon moment… Si on opère un patient avec une réserve encore bonne, on risque de devoir le retoucher car on aura été sous-correcteur dans la programmation.

Quel est le suivi des patients traités par SUPRACOR® ?

Les patients sont revus généralement le lendemain de l'intervention, puis à 1, 3 ou 6 mois selon les chirurgiens. Dans certaines pratiques, une paire de lunettes –1,00 bilatéral est prescrite pendant le mois après l'intervention. À 1 mois, certains patients ont besoin d'une prise en charge orthoptique. Il peut être nécessaire de faire une retouche à 3 ou 6 mois mais c'est devenu très rare (moins de 1 % des patients opérés). Le suivi est important pour surveiller le côté psychologique, la cicatrisation de l'œil, la neuroadaptation et pour accompagner les patients après l'opération. L'importance lors des consultations de suivi est d'expliquer aux patients opérés qu'il est normal d'avoir des parasitages de loin au début et qu'il faut être patients car le positionnement optique peut être long, qu'il sera bon tout de suite de près mais qu'il peut fluctuer. "*Une paire de lunettes transitoires peut être prescrite pour la conduite*", indique le Dr Antoine Roure.

Quelle est la place du bilan préopératoire ?

Le bilan préopératoire est essentiel car il permet de mieux cerner les attentes des patients sur la vision à privilégier, selon leurs contraintes professionnelles et/ou personnelles.

>>> **Dr Catherine Albou-Ganem :** si le patient ne tolère pas la bascule lors du bilan préopératoire, je lui prescris des lentilles de contact provisoirement pour voir s'il finit par s'y habituer ou je décide de ne pas l'opérer.

>>> **Dr Valéry Dimeglio :** lors du bilan préopératoire, je me renseigne sur l'activité professionnelle du patient. Pour les pilotes ou les chauffeurs de taxi, je vais plutôt cibler la vision de loin !

Quelle est la satisfaction des patient traités par SUPRACOR® ?

Le taux de satisfaction global du SUPRACOR® est élevé. Les patients ont un très bon continuum visuel, sans rupture entre

la vision de loin et la vision de près, et sans effet secondaire type halo, explique le Dr Antoine Roure. Mais la satisfaction du patient reste individu-dépendante, précise le Dr Stéphane Jaulerry.

Il faut ainsi rappeler la nécessité de la consultation préopératoire pour expliquer au patient le résultat possible et éviter les patients ayant une exigence trop importante. Pour le Dr Antoine Roure, le patient théorique idéal est l'hypermétrope moyen ne supportant pas les progressifs et vivant sans lunettes de loin : "*C'est avec ce type de patient qu'il faut commencer le premier SUPRACOR®*."

>>> **Dr Antoine Roure :** la gestion de la presbytie au laser est un cas un peu particulier en chirurgie réfractive car on doit gérer, en plus des éventuelles contre-indications de tous lasers, les habitudes de vie du patient, ses exigences et s'assurer qu'il a bien compris la qualité du compromis qu'on pouvait donner. Le contact avec le patient n'est pas que technique, il s'agit d'une vraie discussion.

Comment traiter les patients lorsqu'ils développent une cataracte ?

Il n'y a aucune difficulté particulière pour traiter ce type de patients, même en l'absence d'historique car les résultats sont très prédictibles, explique le Dr Valéry Dimeglio. Les chirurgiens utilisent des implants monofocaux asphériques ou à profondeur de champ. Ils utilisent généralement la formule Haigis L pour le calcul de la puissance de l'implant.

>>> **Dr Catherine Albou-Ganem :** lorsque le patient développe une cataracte, je pose un implant monofocal sur chaque œil avec une bascule. En effet, si la topographie réalisée au cours du bilan préopératoire de la cataracte retrouve le bombement cornéen central induit par le PresbyLasik, l'implant monofocal suffit car le patient retrouvera une profondeur de champ. Dans le cas contraire, un implant à profondeur de champ peut être proposé.

La prise en charge de la cataracte n'est pas un problème chez les patients opérés de la presbytie et se gère facilement, explique le Dr Antoine Roure. De plus, le fait d'opérer de la cataracte ne modifie pas la cornée, indique le Dr Stéphane Jaulerry. On garde un effet satisfaisant de la multifocalité cornéenne, même après l'ablation des cristallins. Le Dr Antoine Roure précise qu'il n'utilise pas d'implant diffractif du fait des risques importants de décentrement des deux systèmes multifocaux.

Patients traités par SUPRACOR®

1. Cas n° 1 issu de la pratique du Dr Catherine Albou-Ganem

Madame F., âgée de 50 ans, est costumière. Sa réfraction est la suivante (***fig. 1***) :
– OD +1,25, cet œil est directeur ;
– OG +1 (–0,25)15.

Madame F. porte des verres correcteurs progressifs dont elle est très dépendante depuis quelques années. Elle reste très gênée par sa correction et est intolérante aux lentilles.

Le traitement programmé pour Madame F. est :
– PROSCAN OD +1,25 ;
– OG +1 (–0,25)15 SUPRACOR® Strong, cible –0,5.

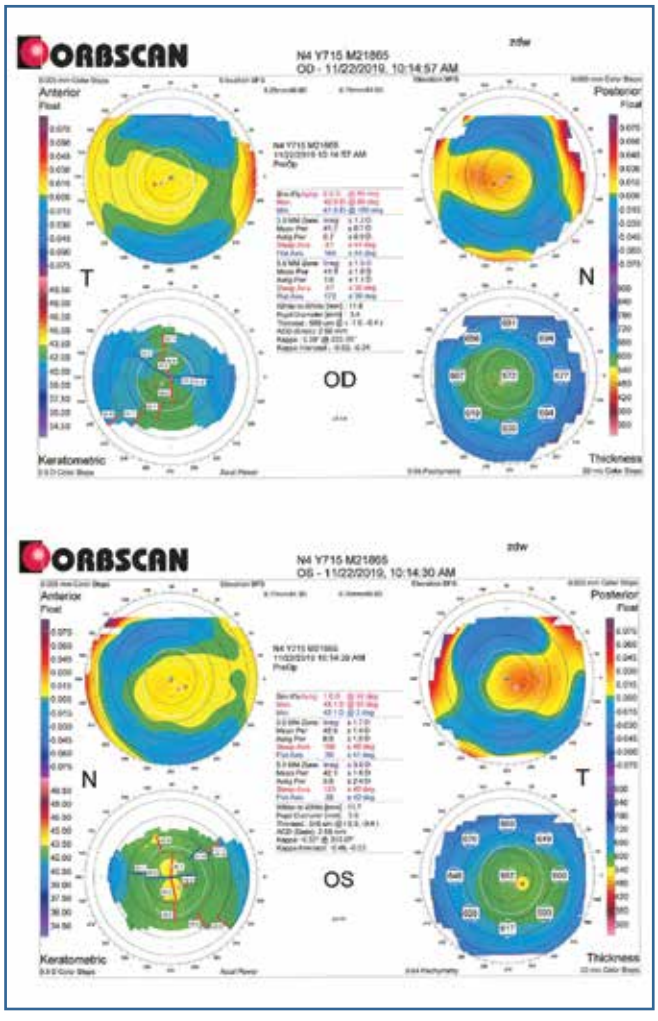


Fig. 1 : Topographies préopératoires (cas n° 1).

Les résultats postopératoires sont présentés dans les ***figures 2 et 3*** : acuité visuelle binoculaire sans correction 10/P2 dès J1. À 3 mois, Madame F. est très satisfaite et vit sans correction. Elle porte très rarement des loupes +1 ODG pour enfiler une aiguille et pour la lecture prolongée si mal éclairée.

2. Cas n° 2 issu de la pratique du Dr Valéry Dimeglio

Monsieur A., âgé de 59 ans, commercial, souhaite retrouver une bonne vision de loin pour la conduite et de près sur les écrans. Au bilan préopératoire de Monsieur A. (***fig. 4 et 5***) :

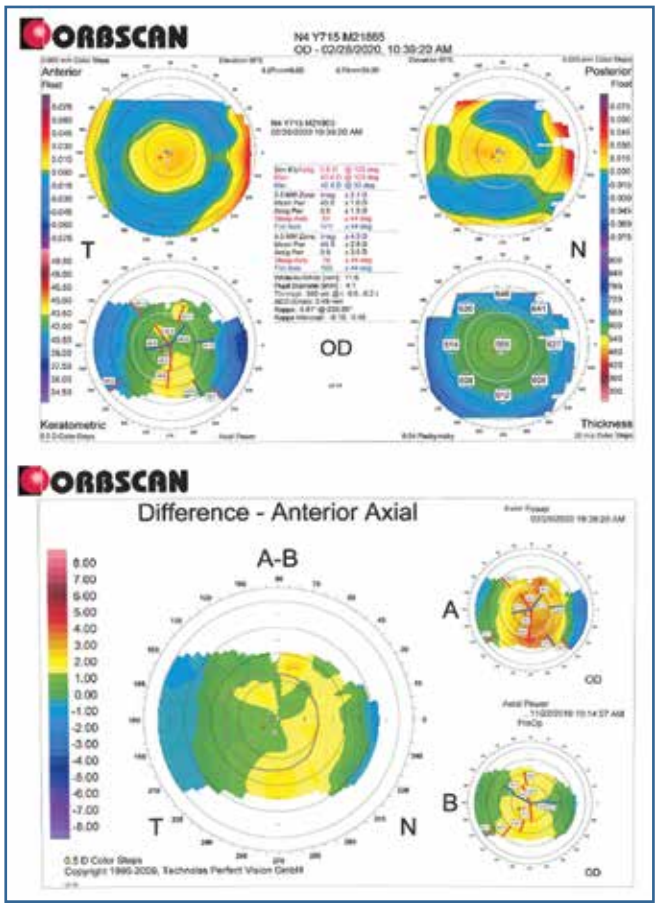


Fig. 2 : Topographie et carte différentielle œil droit (cas n° 1).

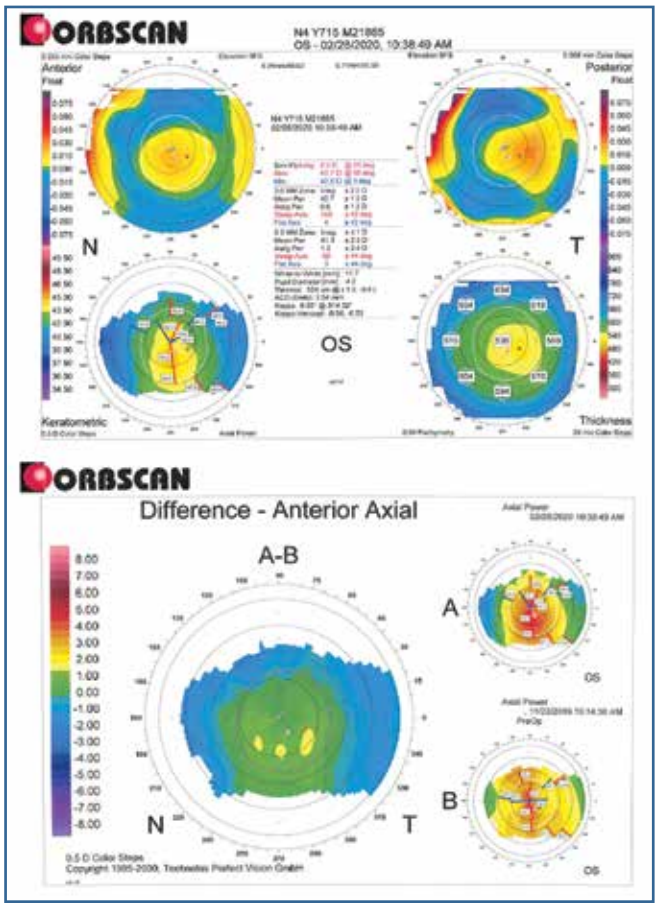


Fig. 3 : Topographie et carte différentielle œil gauche (cas n° 1).

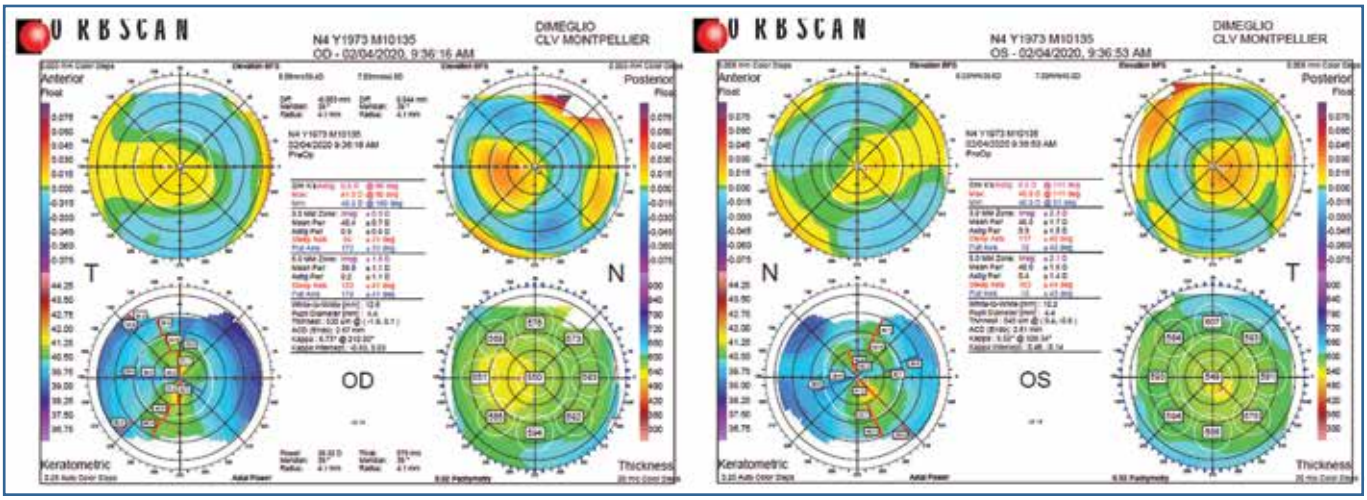


Fig. 4 : Topographies préopératoires (cas n° 2).

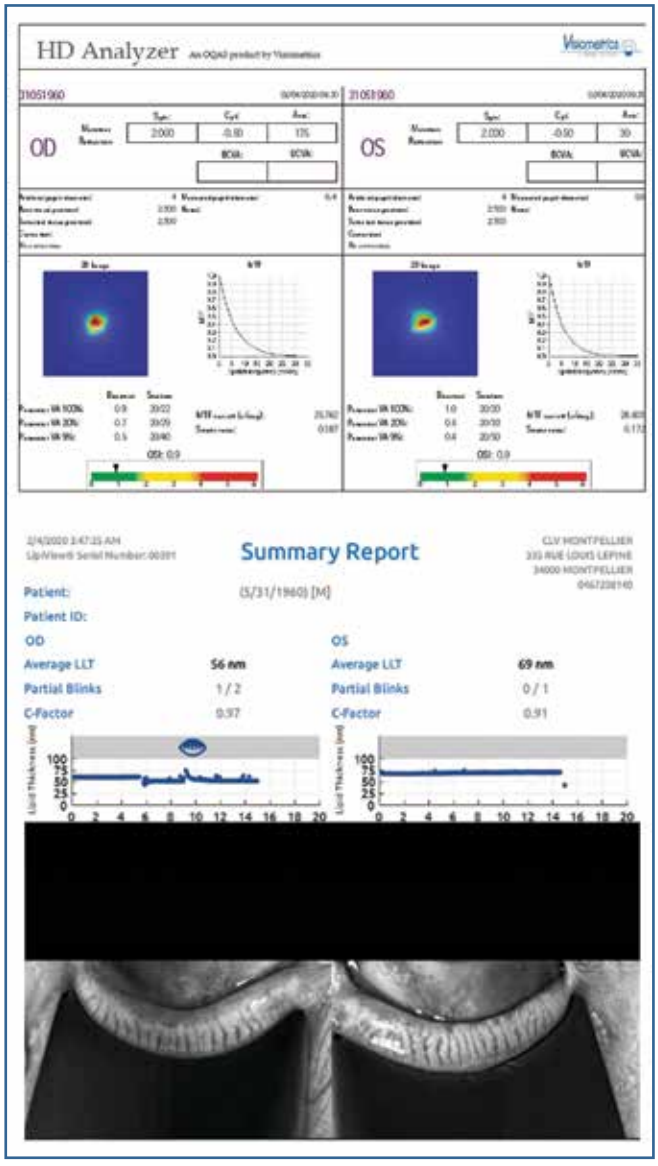


Fig. 5 : HD Analyzer et LipiView préopératoires (cas n° 2).

– le cristallin est clair, pas de cataracte (HD Analyser) ;
– le bilan de sécheresse oculaire est normal ;
– un déficit de la phase aqueuse (ou PRT test) nécessite la pose de bouchons résorbables en peropératoire.

La réfraction programmée de Monsieur A. est la suivante :
– OD +2,25 –0,25 0° programmation Mild, cible 0,00 ;
– OG +2,75 –0,75 35° programmation Strong, cible –1,00.

Les résultats postopératoires sont présentés dans les ***figures 6 et 7 :***
– acuité visuelle binoculaire 10/10 P2 à 1 mois ;
– OD : 10/10 plan P4 ; OG : 10/10 –1,25 P1,5 SC.

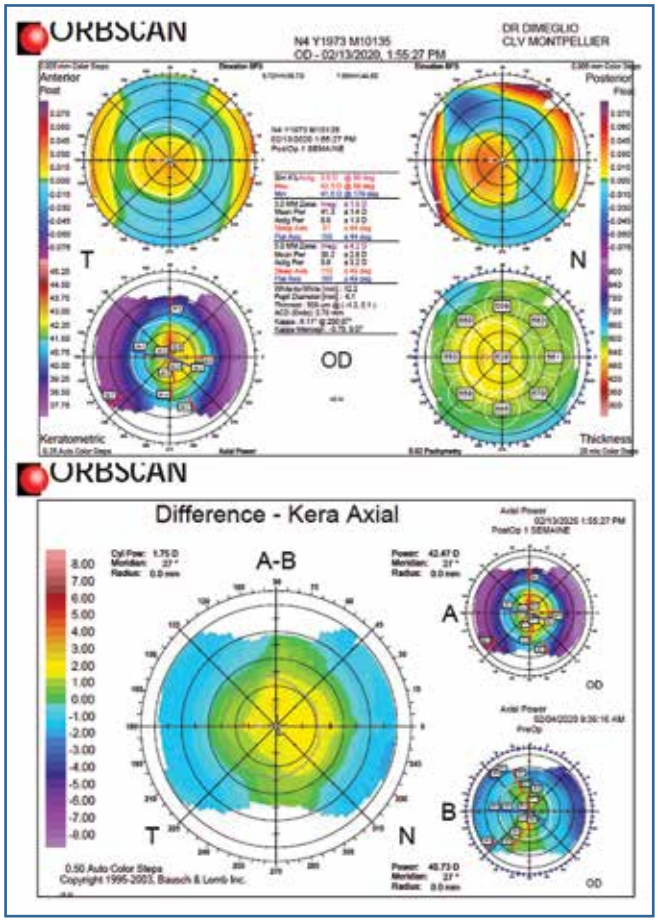


Fig. 6 : Topographie et carte différentielle œil droit (cas n° 2).

3. Cas n° 3 issu de la pratique du Dr Valéry Dimeglio

Madame C., 55 ans, assistante commerciale, demande à avoir une bonne vision de près sur ordinateur. Elle fait de la natation. Madame C. a une dominance de l'œil gauche et tolère une bascule de +1,50.

La réfraction programmée de Madame C. est la suivante :
– OD –2,75 –1,00 15° programmation Strong, cible –0,75 ;
– OG –2,50 –0,75 170° programmation Mild, cible 0,00.

Les résultats postopératoires sont présentés dans les ***figures 8 et 9 :***
– acuité visuelle binoculaire 10/10 P2 à 1 mois ;
– OD : 10/10 –1,00 P1,5 SC ; OG : 10/10 SC P4.

4. Cas n° 4 issu de la pratique du Dr Stéphane Jaulerry

Madame T., 55 ans, hypermétrope, active, ne tolère pas les lentilles progressives et ne veut plus porter de lunettes toute

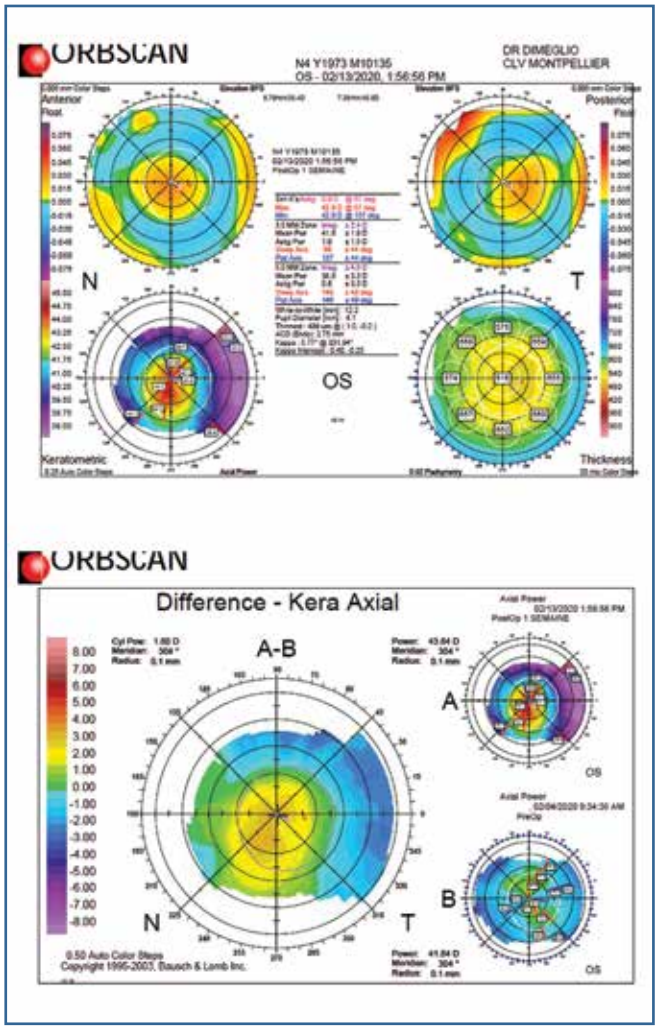


Fig. 7 : Topographie et carte différentielle œil gauche (cas n° 2).

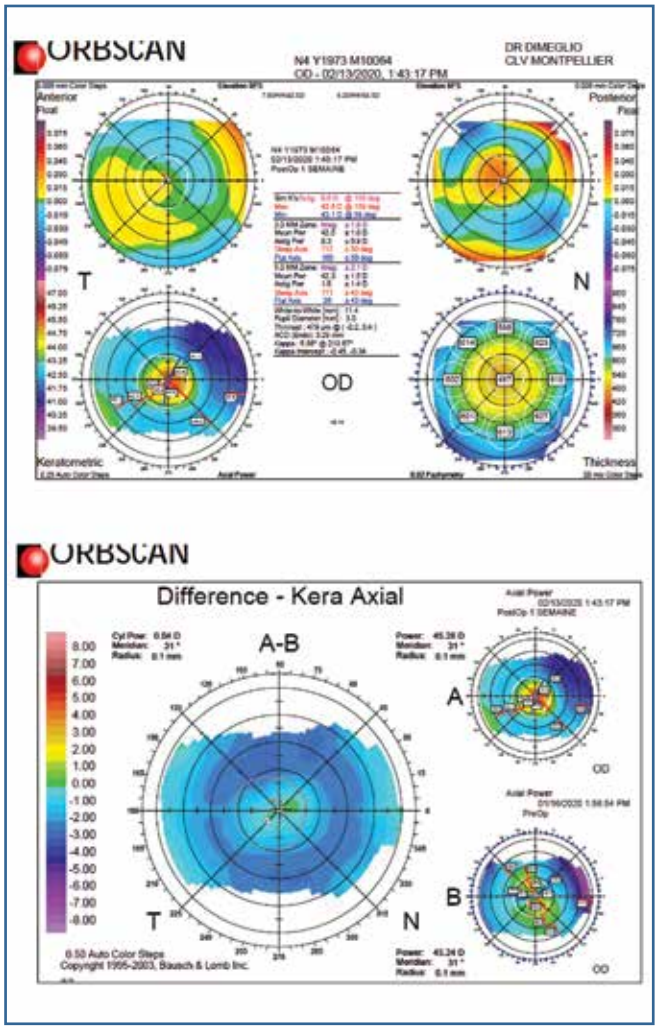


Fig. 8 : Topographie et carte différentielle œil droit (cas n° 3).

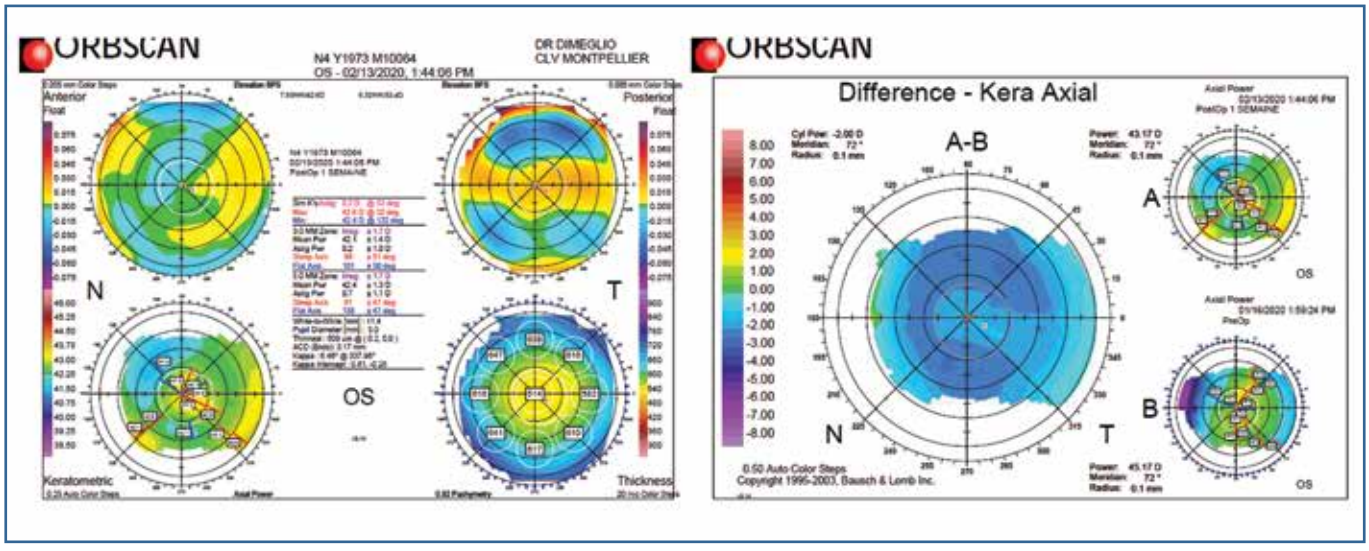


Fig. 9 : Topographie et carte différentielle œil gauche (cas n° 3).

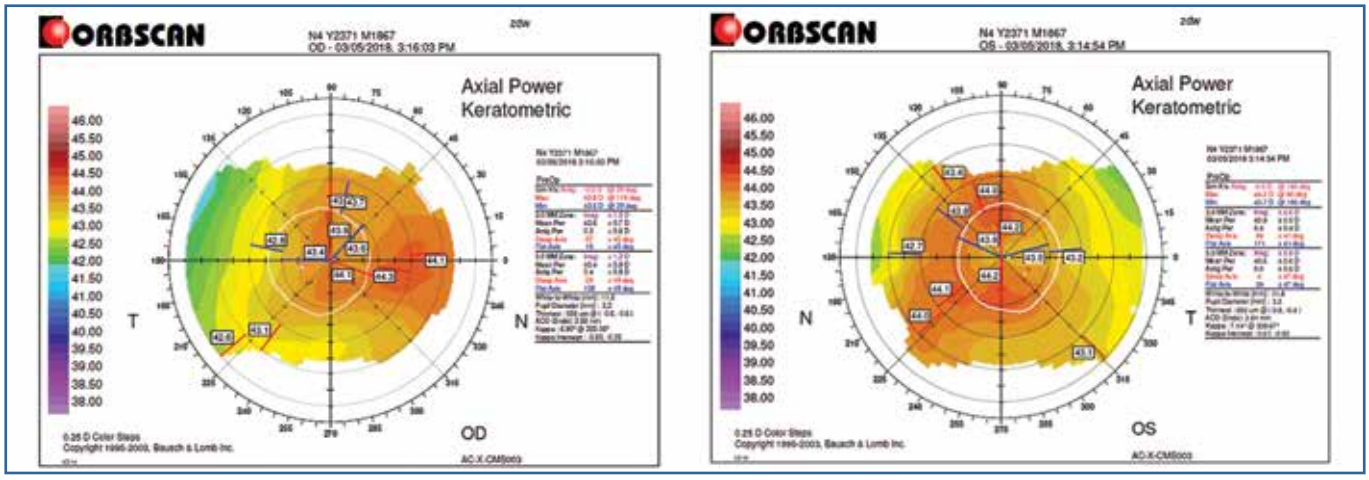


Fig. 10 : Kératométries préopératoires (cas n° 4).

la journée : +1,5 à droite et +1 à gauche nécessitant une addition de +2,5 (***fig. 10***).

En mai 2018, un PresbyLasik bilatéral est réalisé avec sur l'œil droit (œil dominé) un traitement Regular, cible –0,5 et sur l'œil gauche (œil dominant) un traitement Mild, cible –0,25.

En juillet 2019, en postopératoire :
– œil droit : réfraction –0,50°, 8/10 P2 sans correction (***fig. 11***) ;
– œil gauche : réfraction 0, 10/10 P4 (***fig. 12***) ;
– en binoculaire : 10/10 P2.

5. Cas n° 5 issu de la pratique du Dr Antoine Roure

Madame V., 50 ans, vient consulter le 14 octobre 2015 :
– Dg +1,00 10/10 add +2,00 P2 (***fig. 13***) ;
– impossibilité d'adapter les progressifs du fait d'une exophorie majeure rééduquée, œil sec limite ;
– essai de lentilles souples multifocales +1,00 add high, 2 yeux sous lubrifiants, bons résultats mais intolérance aux lentilles souples.

La décision a été de traiter Madame V. au SUPRACOR® :
– œil droit Mild, cible –0,20 +1,00 ;
– œil gauche Regular, cible –0,20 +1,00.

Pendant 3 à 4 ans, Madame V. a eu des suites simples sans lunettes et peu de gêne de loin, une sècheresse post-laser bien gérée pendant au moins 6 mois.

Lors de sa dernière consultation, le 21 janvier 2020, sans correction, on note : 10/10 droite et gauche, en vision binoculaire P3 facile P2 faible bien éclairé. Madame V. vit avec une paire de lunettes d'appoint +1,50 seulement pour la vision de près mal éclairée. La patiente est ravie et le SUPRACOR® a été, et de loin, la meilleure solution optique (***fig. 14***).

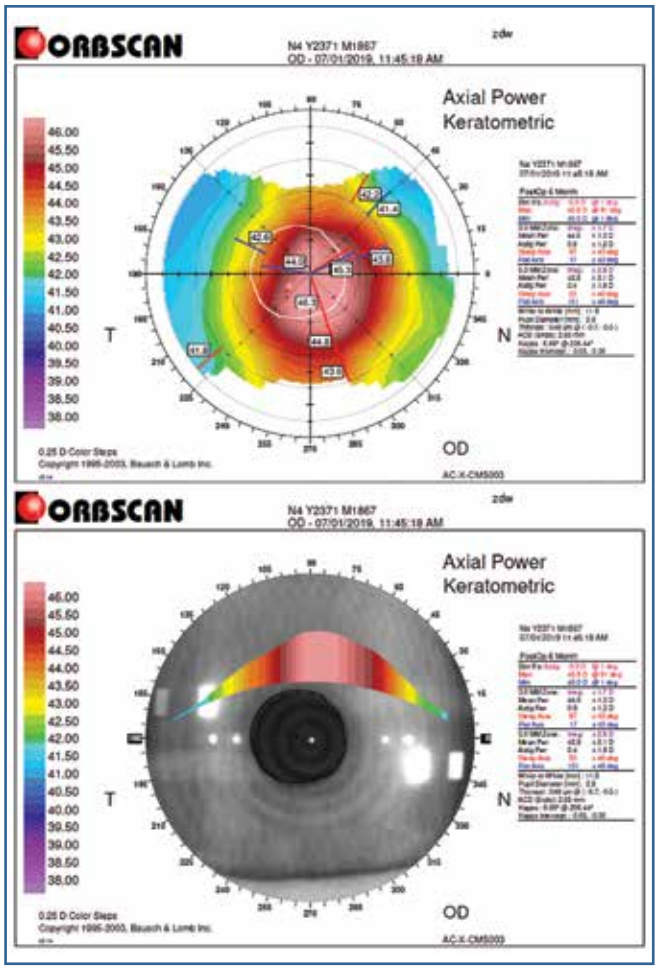


Fig. 11 : Kératométrie et *bump* postopératoire œil droit (cas n° 4).

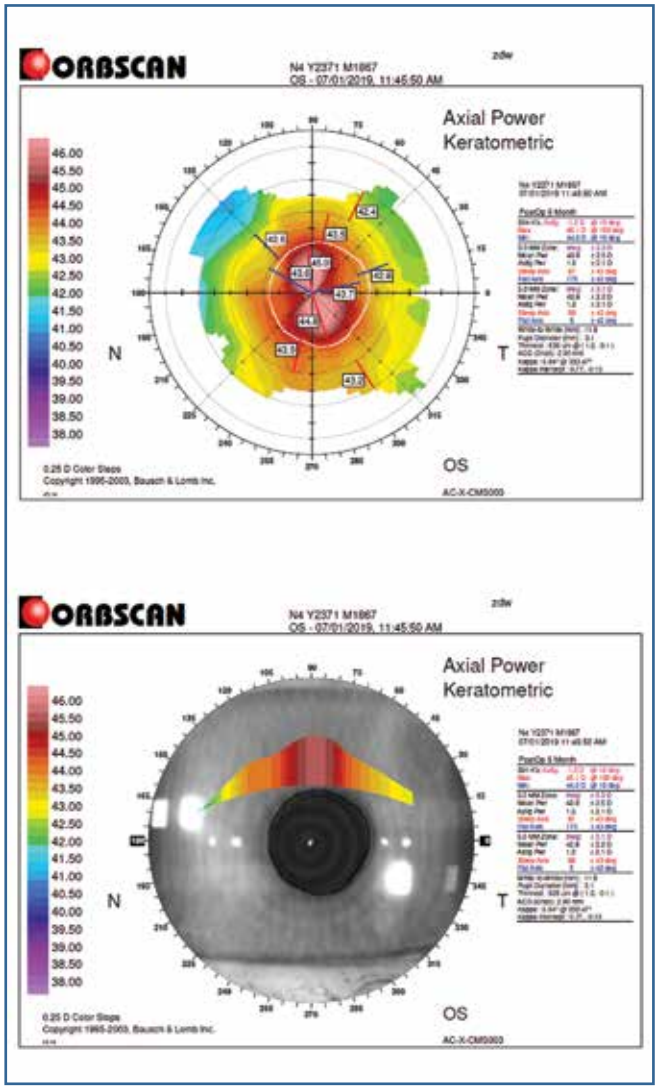


Fig. 12 : Kératométrie et *bump* postopératoire œil gauche (cas n° 4).

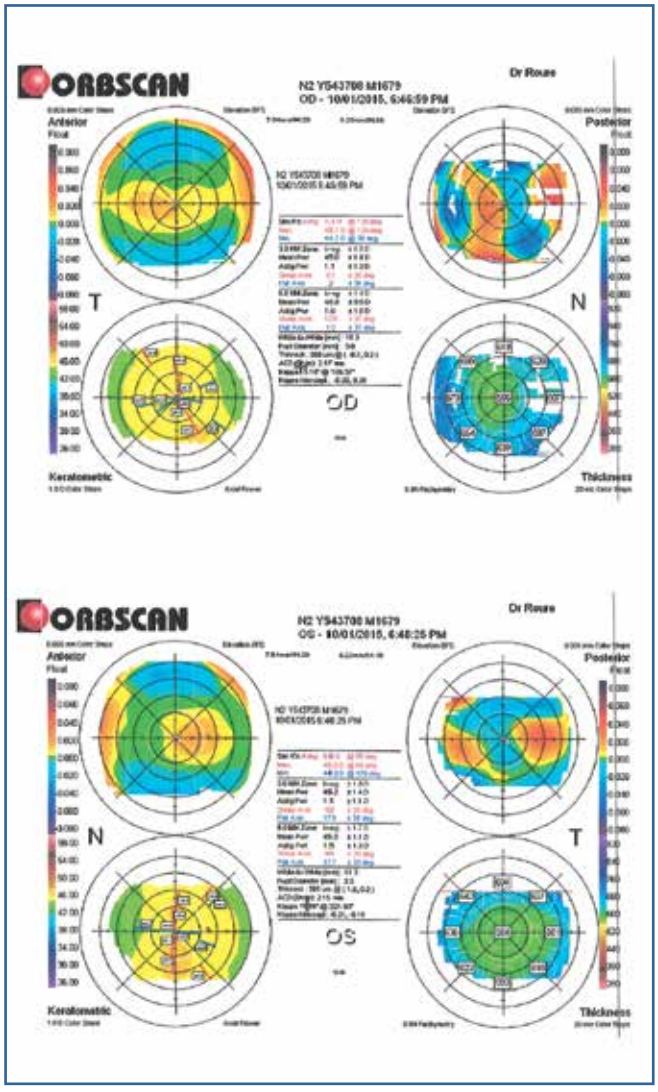


Fig. 13 : Topographies préopératoires (cas n° 5).

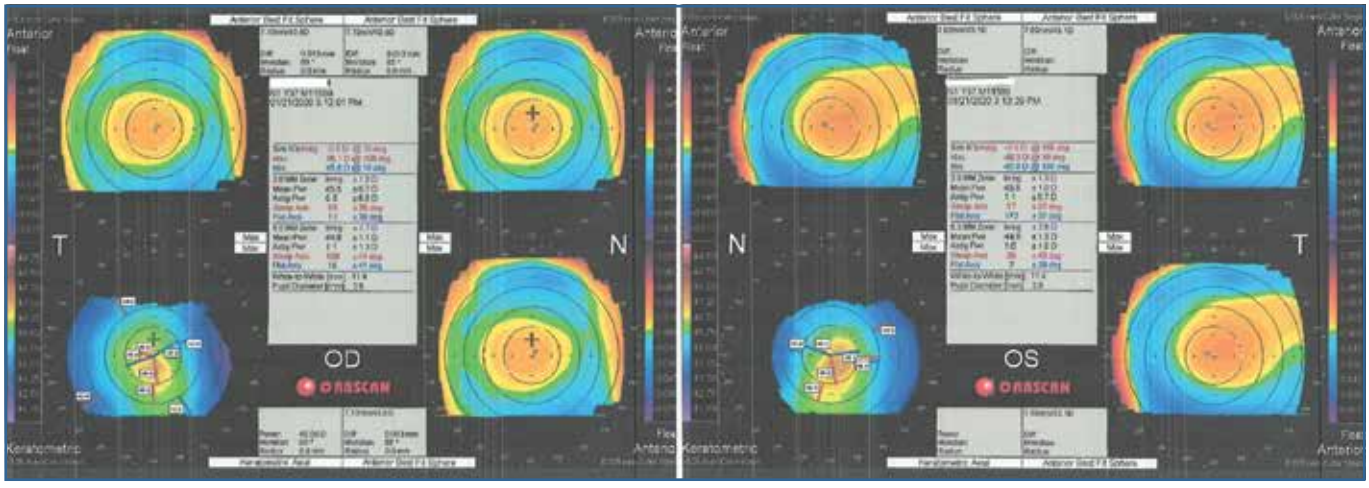


Fig. 14 : Topographies postopératoires après 4 ans (cas n° 5).

Le SUPRACOR®, avec ses 3 modes (Mild, Regular et Strong), est un traitement varifocal indiqué pour la plupart des amétropies qui peut s'adapter à la majorité des demandes des patients

SUPRACOR® est précis, efficace, simple à programmer, avec une bonne prédictibilité des résultats liée à la spécificité du bombement cornéen central (*bump*). La bonne stabilité s'explique par l'absence de régression topographique du *bump*. Malgré une vision de près immédiate, l'inconvénient du SUPRACOR® bilatéral est la pénalisation temporaire de la vision de loin pour garantir une vision de près finale. Enfin, le bilan préopératoire est capital pour vérifier avec le patient un certain nombre de points, notamment la vision à privilégier en fonction de ses activités. Cette consultation permet également d'expliquer au patient que, suite à l'intervention, un petit temps d'adaptation sera nécessaire et il pourra être aidé par le port occasionnel de lunettes, sans que cela ne soit perçu comme un échec au traitement.

>>> **Dr Catherine Albou-Ganem :** SUPRACOR® est une très bonne forme de photoablation pour les hypermétropes et les emmétropes. Le SUPRACOR® bilatéral peut impliquer une perturbation de la vision de loin. Les patients hypermétropes peuvent être traités par SUPRACOR® dès 40 ans en anticipation de la presbytie. La satisfaction des patients est grande, les réajustements de la correction sont rares, et ce quel que soit l'âge, quelle que soit l'amétropie, à condition que le patient tolère la micromonovision en préopératoire.

>>> **Dr Valéry Dimeglio :** SUPRACOR® est la meilleure solution alternative au Prelex et d'attente pour la chirurgie de la cataracte réfractive car le cristallin n'est pas touché et les complications sont évitées. Généralement, les patients traités ont au moins 50 ans, mais un patient hypermétrope de 40 ans est aussi une bonne indication. SUPRACOR®, c'est la possibilité de vivre sans lunettes dans 90 % des situations de la vie courante.

SUPRACOR® est une technique qui s'appuie sur le concept de varifocalité, n'entraînant pas ou peu d'aberrations cornéennes contrairement à certains traitements multifocaux. Il y a une variation progressive de la puissance de la cornée entre le centre, dédié à la vision de près, et la périphérie, dédiée à la vision de loin. L'innocuité de la technique, sans risque agressif sur l'œil, ainsi que la rapidité d'action et de traitement pour le patient (avec un temps réel de tir de laser de 4 à 5 secondes) sont des avantages. Afin de bien cibler les attentes du patient, le bilan préopératoire est essentiel mais il peut prendre du temps et devenir un frein à l'utilisation du SUPRACOR®. Une solution serait de généraliser la mise en place des consultations aidées avec la prise en charge d'une partie de la consultation préopératoire par l'orthoptiste ou l'optométriste.

>>> **Dr Antoine Roure :** SUPRACOR® a démontré son innocuité sans risque agressif sur l'œil, contrairement au Prelex. SUPRACOR®, c'est un fort taux de satisfaction des patients si l'indication est bien ciblée, avec peu d'effets secondaires (petit flou résiduel de temps en temps de loin). La technique est assez prévisible (quelques patients atypiques ne réagissent pas de manière standard mais restent faciles à retoucher si nécessaire). Attention cependant à la gestion de la sécheresse et à la courbe d'apprentissage du chirurgien.

>>> **Dr Stéphane Jaulerry :** SUPRACOR® est un traitement varifocal indiqué pour toutes les amétropies. C'est une technologie très rapide. Il est nécessaire d'expliquer au patient l'existence d'une petite myopie initiale régressive dans les 6 mois après l'intervention. On a peu de reprise des patients traités quand les besoins ont bien été cernés. SUPRACOR®, c'est une prédictibilité et une satisfaction des patients importante, avec un taux supérieur à 82 %. Attention cependant aux pupilles trop petites.

Conclusion

SUPRACOR® est un traitement qui permet aux chirurgiens ophtalmologiques de s'adapter aux attentes de leurs patients, évaluées lors du bilan préopératoire. L'évolution technologique du SUPRACOR® avec ses 3 modes permet ainsi de corriger la plupart des amétropies. Malgré les stratégies opératoires qui semblent être différentes entre les chirurgiens, SUPRACOR® reste une technique universelle, adaptée à la grande majorité des patients et avec une bonne satisfaction.

Bibliographie

1. Hagège A. SUPRACOR sur une patiente myope. *Pratiques en Ophtalmologie*, 2015;9:178-182.
2. Abrieu-Lacaille M, Saib N, Rambaud C *et al*. Prise en charge de patients hypermétropes presbytes par chirurgie cornéenne de type presbylasik centré. *J Fr Ophtalmol*, 2014;37:682-688.
3. Gatinel D. Quoi de neuf en chirurgie réfractive ? *Réalités Ophtalmologiques*, 2014;212:53-56.
4. Albou-Ganem C, Pages C, Amar R. Raffinement des profils d'ablation du presbylasik. *Images en Ophtalmologie*, 2016;10:97-102.

C. Albou-Ganem mentionne un lien d'intérêt avec la Clinique de la Vision, Paris. V. Dimeglio, A. Roure et S. Jaulerry ont déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.

C. ALBOU-GANEM
Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.
cati@albou-ganem.com

Corrections chirurgicales réfractives au laser excimer aberro- ou topoguidées : comment choisir ?

Le raffinement des profils de photoablation a contribué à l'amélioration de la précision et de la stabilité réfractive, ainsi que de la qualité de vision mésopique et scotopique. Les premiers profils d'ablation, initialement développés par Charles Munnerlyn, ne tenaient pas compte de la courbure cornéenne [1]. Ces profils ont primitivement évolué vers l'agrandissement des zones optiques centrales et la création de zones de transition périphériques. Le rôle du diamètre pupillaire scotopique et l'importance de sa corrélation avec la taille de la zone optique ont été ensuite validés.

L'apparition des profils asphériques de photoablation a diminué l'induction d'aberrations sphériques responsables d'une dégradation de la sensibilité aux contrastes et de la perception de troubles visuels nocturnes indésirables, à type de halos, chez les opérés présentant une large dilatation pupillaire spontanée [2, 3]. En même temps sont apparus les traitements "personnalisés" topoguidés ou aberroguidés afin d'optimiser encore les résultats vers une "super vision".

Toutes ces évolutions ont contribué à améliorer considérablement les résultats chirurgicaux, à mieux satisfaire les opérés et à conforter la prédominance de la chirurgie réfractive cornéenne par photoablation sur les autres techniques. Mais comment choisir au mieux le traitement chirurgical réfractif le plus adapté à un patient donné ? Le choix dépend des données de l'examen de chaque patient.

Les traitements aberrométriques

1. Qu'est-ce que l'aberrométrie ? Qu'est-ce que le front d'onde ? Comment le mesurer ?

L'aberrométrie consiste à mesurer, à qualifier et à quantifier les déformations du front d'onde quand il traverse un système optique. Le front d'onde peut être défini comme une coupe du "cylindre de lumière". Le cylindre de lumière est le faisceau lumineux issu d'une source située à l'infini ayant traversé un diaphragme (***fig. 1***).

Le front d'onde est représenté à l'aide des polynômes de Zernike. Leur représentation graphique donne la répartition quantitative de l'ensemble des aberrations. Ils décomposent un profil complexe en un groupe de profils parfaits (***fig. 2***). La mesure du front d'onde se fait à l'aide d'aberromètres qui le décomposent dans le but de déterminer la valeur des coefficients ou RMS (*root mean square*) pour chacun des polynômes.

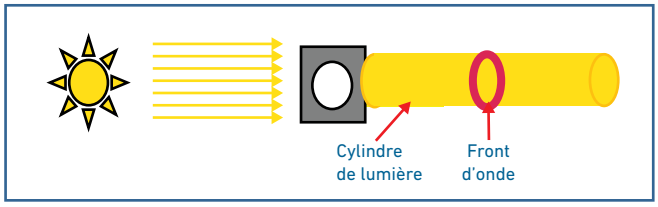


Fig. 1 : Le cylindre de lumière est le faisceau lumineux issu d'une source située à l'infini ayant traversé un diaphragme. Le front d'onde peut être défini comme une coupe du cylindre de lumière.

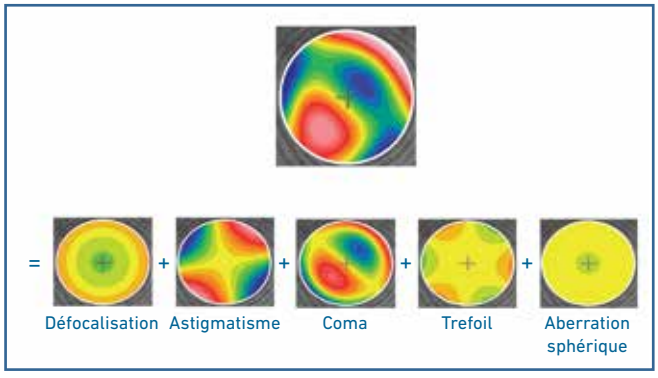


Fig. 2 : La représentation graphique des polynômes de Zernike décompose le front d'onde (profil complexe) en un groupe de profils parfaits.

Le front d'onde est analysé à partir de l'étude de la déformation du signal émis, la reconstruction du front d'onde se fait essentiellement à l'aide d'un système de type Shack-Hartmann. L'étude du front d'onde par imagerie rétinienne (système d'analyse de type Tschernig, *ray tracing* séquentiel ou non, aberrométrie par double passage et skiascopie à balayage par fente, dispositif OPD-Scan) mesurant la déformation d'un signal au niveau rétinien peut compléter cette analyse.

Les polynômes de Zernike peuvent être décomposés en 2 grandes catégories d'aberrations (***fig. 3***) :
– les aberrations d'ordre inférieur : ordre 0 – 1 – 2 ;
– les aberrations d'ordre supérieur ou HOA (*high order aberrations*) : ordre 3 – 4 – 5, chiffrées en microns. Celles-ci influent sur la qualité de vision quand elles sont supérieures à 0,4 μm.

La valeur du diamètre pupillaire à laquelle la reconstruction du front d'onde est effectuée est essentielle. Les coefficients varient proportionnellement avec le diamètre pupillaire.

Les aberromètres délivrent des éléments précieux sur la qualité de transmission du signal lumineux à travers les différents milieux transparents de l'œil. Ils délivrent les valeurs des aberrations de bas et haut degré (selon les polynômes de Zernike) responsables d'une bonne ou mauvaise qualité de vision du patient. Ils analysent en particulier qualitativement et quantitativement les aberrations de coma (Z300) et les aberrations de sphéricité (Z400) qui sont les principales aberrations de haut degré de l'œil. Ils mesurent la formule de réfraction en fonction du diamètre pupillaire de manière souvent plus précise que la formule fournie par les autoréfracto-kératomètres.

2. Qu'apporte l'aberrométrie en chirurgie réfractive ?

Les aberromètres couplés à certains lasers excimer permettent la reconnaissance de l'iris du patient : c'est une réelle

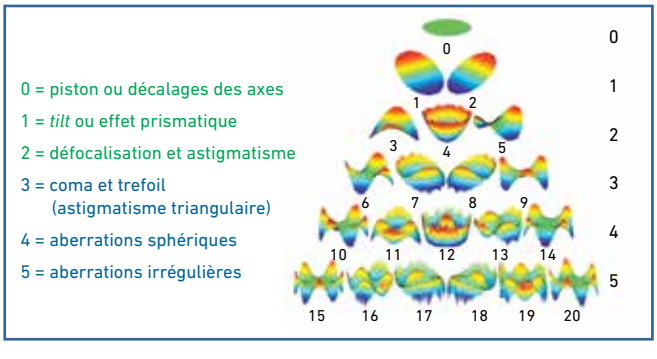


Fig. 3 : Décomposition des polynômes de Zernike.

"carte d'identité" de l'œil, plus précise que l'empreinte digitale. Cette reconnaissance irienne est transmise au laser. Elle évite toute erreur d'identité du patient et indique même d'œil à corriger lors des traitements chirurgicaux.

L'aberrométrie avec reconnaissance irienne couplée aux lasers présente plusieurs avantages en chirurgie réfractive : elle corrige la cyclotorsion liée au passage de la position assise à la position allongée, elle optimise le centrage du "tir" tout au long de la chirurgie malgré les mouvements oculaires peropératoires. Enfin, elle délivre des traitements photoablatifs personnalisés, propres à chaque œil de chaque patient.

3. Quelles sont les propriétés des profils d'ablation aberroguidés ?

Les profils d'ablation aberroguidés ont été développés de façon à sculpter la cornée en corrigeant les aberrations optiques préexistantes, mais également en tentant de réduire l'induction d'aberrations optiques supplémentaires afin d'optimiser la qualité de vision post-chirurgie réfractive. Pour parvenir à cette extrême précision, les lasers excimer ont dû s'équiper de certaines caractéristiques techniques.

Le faisceau laser doit être de petit diamètre (0,5-1,0 mm) et délivré à l'aide d'une technologie de type *flying spot* ou à balayage, pour corriger de fines irrégularités stromales avec une précision de l'ordre du micron. Il doit respecter un profil de type gaussien (énergie maximale au centre et réduite en périphérie) pour permettre, par un décalage constant entre deux spots égal à la moitié du diamètre du spot, d'obtenir une découpe plus lisse et plus régulière. La fréquence des tirs doit être augmentée pour réduire la durée de la procédure des traitements personnalisés afin d'éviter à la fois les risques de déshydratation stromale et la perte de fixation.

Les systèmes d'asservissement aux mouvements oculaires *eye tracker* sont indispensables à la réalisation d'un traitement personnalisé, dont le centrage est primordial. Ces dispositifs permettent d'assurer et de maintenir le centrage du traitement pendant tout le temps de la procédure.

4. Comment sont réalisés les profils d'ablation aberroguidés ?

Les profils aberroguidés sont enregistrés sur une photo de l'iris qui permet la reconnaissance irienne. Ils sont centrés sur l'axe visuel.

En pratique, le recueil d'informations du front d'onde, centré sur la pupille en préopératoire, est transmis au logiciel du laser excimer. Ces informations sont ensuite utilisées pour calculer le profil d'ablation correspondant. Les logiciels des lasers réfractifs expriment les aberrations sous forme sphéro-cylindrique. Contrairement aux profils topoguidés que nous décrivons plus loin, les aberrations périphériques hors du diamètre pupillaire ne sont pas analysées donc pas corrigées par les profils aberrométriques, car le recueil d'informations du front d'onde ne dépasse pas le diamètre pupillaire dont il dépend.

Après repérage de la position de référence de l'œil en position de "fixation" par l'*eye tracker*, assurant un parfait centrage du traitement, le laser délivre le traitement centré sur la projection cornéenne de la pupille d'entrée.

Au total, les profils d'ablation aberroguidés corrigent les défauts réfractifs ainsi que toutes les aberrations de haut degré, mesurées en préopératoire pour un œil donné, de tout le système optique de l'œil : cornée, cristallin, vitré, rétine.

5. Quelles sont les limites des profils aberroguidés ? [4]

>>> **Limites du bilan préopératoire :** les aberrations optiques d'un même patient fluctuent au cours de la journée [5]. Ces fluctuations, liées à l'état accommodatif du patient, au diamètre pupillaire ou encore à la distribution du film lacrymal, peuvent altérer la précision et la reproductibilité de la mesure du front d'onde. De plus, un décentrement, même minime, au moment de la mesure est susceptible d'entraîner une modification du front d'onde enregistré et ainsi impacter les résultats visuels finaux. Par ailleurs, différents systèmes d'analyse du front d'onde ne fournissent pas tous les mêmes mesures chez un même patient, avec pour conséquence une correction de différents taux d'HOA en fonction de l'aberromètre utilisé.

Une étude récente [6] a mis en évidence que certaines combinaisons d'aberrations optiques avaient le plus souvent un effet bénéfique mais aussi parfois délétère sur la qualité visuelle.

>>> **En peropératoire**, l'efficacité du traitement personnalisé est très dépendante de la qualité du centrage : un décentrement supérieur à 0,1 mm peut induire des HOA supplémentaires au lieu de les réduire et ainsi altérer les performances visuelles [7]. Il reste donc à déterminer quelles combinaisons d'aberrations optiques sont les plus critiques et les plus à même d'influencer la qualité visuelle.

Les traitements topoguidés

1. Quels sont les différents types de topographies ?

>>> **Topographie cornéenne spéculaire** (topographes de type Placido) : un appareil photo prend une image de la projection des anneaux de Placido sur la cornée, la courbure de la cornée est mesurée sur toute sa surface. Une série de cartes est obtenue après un traitement informatique des données.

>>> **Topographie cornéenne d'élévation** (Orbscan, Pentacam, Oculyser, ***fig. 4 et 5***) : une caméra calibrée analyse la projection du disque de Placido qui est balayée par

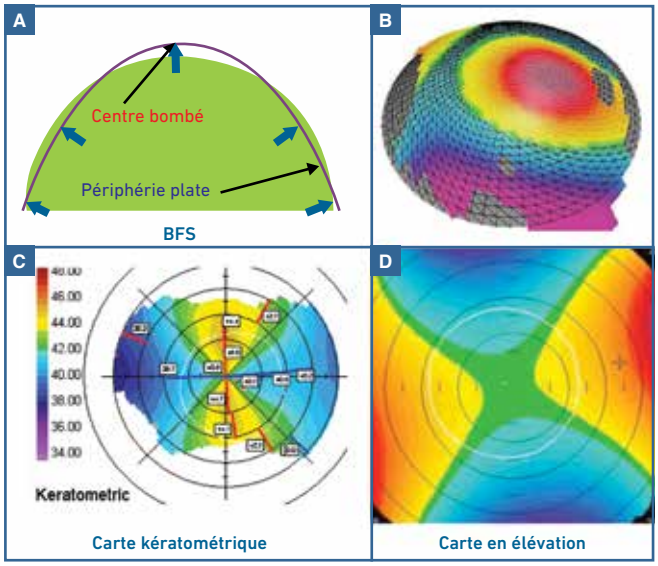


Fig. 4 : Topographie cornéenne d'élévation : Orbscan, Pentacam, Oculyser. Les cartes obtenues sont fonction de l'élévation par rapport à une sphère de référence matérialisée par la couleur verte (*best fit sphere* [BFS], **A**). Le rouge matérialise ce qui est au-dessus de la BFS, le bleu ce qui est en dessous (**B**). Les couleurs sont souvent inversées entre les cartes kératométriques (**C**) et les cartes en élévation (**D**).

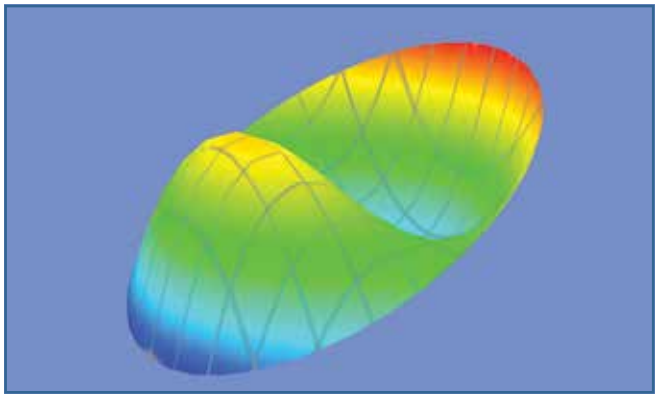


Fig. 5 : Exemple de carte d'élévation de la cornée.

un faisceau lumineux. Les cartes obtenues sont fonction de l'élévation par rapport à une sphère de référence matérialisée par le vert (*best fit sphere* [BFS]). Le rouge matérialise ce qui est au-dessus de la BFS, le bleu ce qui est en dessous. La topographie cornéenne d'élévation renseigne sur de nombreux paramètres : carte en élévation antérieure et postérieure, carte kératométrique, carte biométrique avec la pachymétrie, profondeur de la chambre antérieure, blanc à blanc…

2. Quelles sont les propriétés des profils d'ablation topoguidés ?

Les profils d'ablation topoguidés sont calqués sur la carte d'élévation de la cornée. La pupille n'est pas un facteur limitant, la zone de mesure est large et permet de corriger les anomalies cornéennes périphériques. Les profils d'ablation topoguidés sont enregistrés sur une photo de l'iris qui permet la reconnaissance irienne. Ils sont centrés sur l'apex cornéen.

En pratique, le recueil d'informations de la carte d'élévation est transmis au logiciel du laser excimer. Ces informations sont ensuite utilisées pour calculer le profil d'ablation correspondant.

Au total, les profils topoguidés corrigent uniquement les aberrations cornéennes de haut degré mais de toute la surface cornéenne, donc même sa périphérie. Ces profils sont particulièrement indiqués pour corriger les astigmatismes asymétriques, les décentrements des patients opérés en chirurgie réfractive ablative, les cicatrices cornéennes… Les traitements guidés par la topographie sont modifiables par le chirurgien et peuvent donc tenir compte de l'erreur réfractive individuelle.

Les profils d'ablation combinés : *the ray tracing-guided ablation profile*

Les photoablations personnalisées ont permis, grâce aux avancées technologiques de ces dernières années, d'améliorer les performances visuelles par rapport aux traitements conventionnels. Cependant, les résultats rapportés peuvent dans certains cas ne pas être aussi bons qu'espérés du fait de corrections incomplètes des HOA, voire même d'inductions d'aberrations supplémentaires.

Mrochen [8] a développé un algorithme informatique intégrant les caractéristiques optiques propres de chaque œil de chaque patient, basé sur le principe de traçage des rayons optiques (*optical ray tracing*). Cet algorithme incorpore les paramètres issus des données de plusieurs instruments de mesure : la kératométrie, la pachymétrie cornéenne, l'épaisseur centrale du cristallin, la profondeur de la chambre antérieure, l'épaisseur rétinienne, la longueur axiale, la topographie avec l'analyse de la face antérieure et postérieure de la cornée et l'analyse du front d'onde de l'œil tout entier.

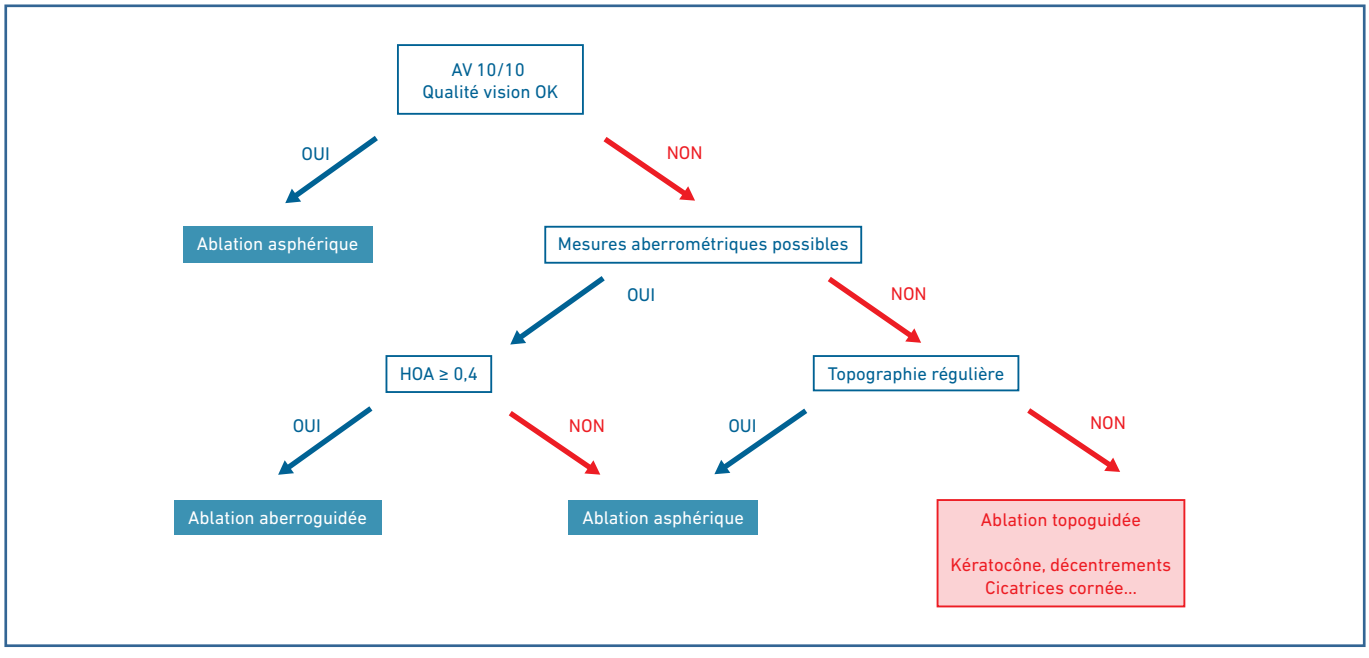


Fig. 6 : Comment choisir ?

L'algorithme informatique crée un profil d'ablation idéal conduisant à un haut degré de customisation.

Les résultats publiés montrent des acuités visuelles sans correction postopératoires supérieures aux acuités visuelles corrigées préopératoires [9]. Ces résultats semblent prometteurs et, si cette tendance se confirme, ce nouveau profil d'ablation (*ray tracing-guided ablation profile*), basé sur le *ray tracing*, pourrait remplir la promesse de l'excellence.

Comment choisir ? (*fig. 6*)

Ce choix dépend des données de l'examen préopératoire. Schématiquement, plusieurs cas de figure peuvent se présenter :

1. L'acuité visuelle du patient est à 10/10 à chaque œil

L'ablation asphérique est actuellement la solution adaptée.

2. L'acuité visuelle n'est pas à 10/10

Les mesures aberrométriques sont possibles :
– si les HOA sont inférieures à 0,4 μ, l'ablation asphérique est actuellement la solution adaptée ;
– si les HOA sont supérieures à 0,4 μ, l'ablation aberroguidée est la solution idéale.

Les mesures aberrométriques sont impossibles :
– si la topographie est régulière, l'ablation asphérique est la solution idéale ;
– si la topographie est irrégulière, l'ablation topoguidée s'impose.

Bibliographie

1. Munnerlyn C, Koons S, Marshall J. Photorefractive keratectomy: a technique for laser refractive surgery. *J Cataract Refract Surg*, 1988;14:46-52.
2. Stonecipher KG, Kezirian GK. Wavefront-optimized versus Wavefront-guided LASIK for myopic astigmatism with the ALLEGRETTO WAVE: three-month results of a prospective FDA trial. *J Refract Surg*, 2008;24:424-430.
3. Stonecipher KG, Kezirian GK. LASIK for mixed astigmatism using the ALLEGRETTO Wave: 3- and 6-month results with the 200-Hz and 400-Hz plat-forms. *J Refract Surg*, 2010;26:819-823.
4. Smadja D, Reggiani-Mello G, Touboul D *et al*. Les profils de photoablation cornéenne en chirurgie réfractive. Partie 1 : la quête de l'excellence. *J Fr Ophtalmol*, 2012;35:126-135.
5. Macrae SM, Williams DR. Wavefront guided ablation. *Am J Ophthalmol*, 2001;132:915-919.
6. Applegate RA, Marsack JD, Ramos R *et al*. Interaction between aberrations to improve or reduce visual performance. *J Cataract Refract Surg*, 2003;29:1487-1495.
7. Bueeler M, Mrochen M, Seiler T. Maximum permissible lateral decentration in aberration-sensing and wavefront-guided corneal ablation. *J Cartaract Refract Surg*, 2003;29:257-263.
8. Mrochen M, Bueeler M, Donitzky C *et al*. Optical ray tracing for the calculation of optimized corneal ablation profiles in refractive treatment planning. *J Refract Surg*, 2008;24:S446-S451.
9. Cummings AB, Kelly GE. Optical ray tracing-guided myopic laser in situ keratomileusis: 1-year clinical outcomes. *Clin Ophthalmol*, 2013;7:1181-1191.

L'auteure mentionne un lien d'intérêt avec la Clinique de la Vision, Paris.

T. THAN TRONG
Cabinet Daguerre, OphtalmoPôle, Hôpital Cochin,
Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS. ttthong@wanadoo.fr

Reprise après Lasik à plus de 10 ans par PRK transépithéliale sur la plateforme WaveLight EX500

Le Lasik a été introduit au milieu des années 1990. Il a permis à la chirurgie réfractive de se développer en amenant le *wow* (waouh en français) facteur à cette chirurgie grâce à la récupération visuelle spectaculaire en quelques heures. Avec un statut de chirurgie pionnière, la chirurgie réfractive s'est démocratisée avec l'arrivée du Lasik. L'une des promesses de cette chirurgie était la facilité de retouche en soulevant simplement le capot.

Ce qui était vrai durant la première année était sujet à angoisse à plus long terme, avec le risque élevé d'invasion épithéliale [1] (***fig. 1***). À partir de 3 ans après le Lasik primaire, le risque d'invasion épithéliale s'aggrave considérablement, quelle que soit la technique de découpe utilisée, l'âge et le sexe. Les complications sont la baisse de l'acuité visuelle par astigmatisme induit, par l'apparition d'un leucome ou même par une nécrose du capot sus-jacent. La difficulté du traitement des invasion épithéliales, qui comprend le débridement simple plus ou moins associé à une suture, à de l'éthanol ou à de la colle chirurgicale fibrineuse et l'utilisation du laser Nd:YAG, nous amène à penser que le meilleur traitement est le traitement préventif.

Fig. 1 : Patiente opérée de Lasik en 2002 pour –5 dioptries. Reprise en 2010 pour –1,50 dioptrie en soulevant le capot. Invasion en périphérie inférieure du capot stable. Photo prise en janvier 2020. On voit les perles blanches bien circonscrites.

Je présente 2 cas de reprise de Lasik par femtoseconde et par microkératome après plus de 10 ans avec la technique de photokératectomie réfractive (PKR) transépithéliale sur la plateforme WaveLight EX500.

Cas cliniques

>>> Cas n° 1

Une patiente de 31 ans est opérée de Lasik par femtoseconde Intralase sur la plateforme Technolas en 2006 (***fig. 2***) avec la réfraction suivante :
– OD : –3,25 (–1,25 à 165°) 8/10 ;
– OG : –2,50 (–1,50 à 0°) 10/10.

Les résultats réfractifs à 1 mois sont excellents avec :
– OD : 9/10 sans correction ;
– OG : 10/10 sans correction.

La patiente revient en 2019 à 44 ans avec la réfraction suivante :
– OD : –1,50 8/10 add +1,25 P2 ;
– OG : –1,25 10/10 add +1,25 P2.

Une reprise par PKR transépithéliale avec mitomycine C de l'œil directeur gauche est décidée (***fig. 3 et 4***). Les résultats à 3 mois sont excellents (***fig. 5 et 6***) avec +0,50 (–0,50 à 160°) 10/10, avec à la lampe à fente un mini-*haze*. La patiente est sous bascule avec l'œil droit à –1,50 dioptrie et l'œil gauche directeur emmétrope.

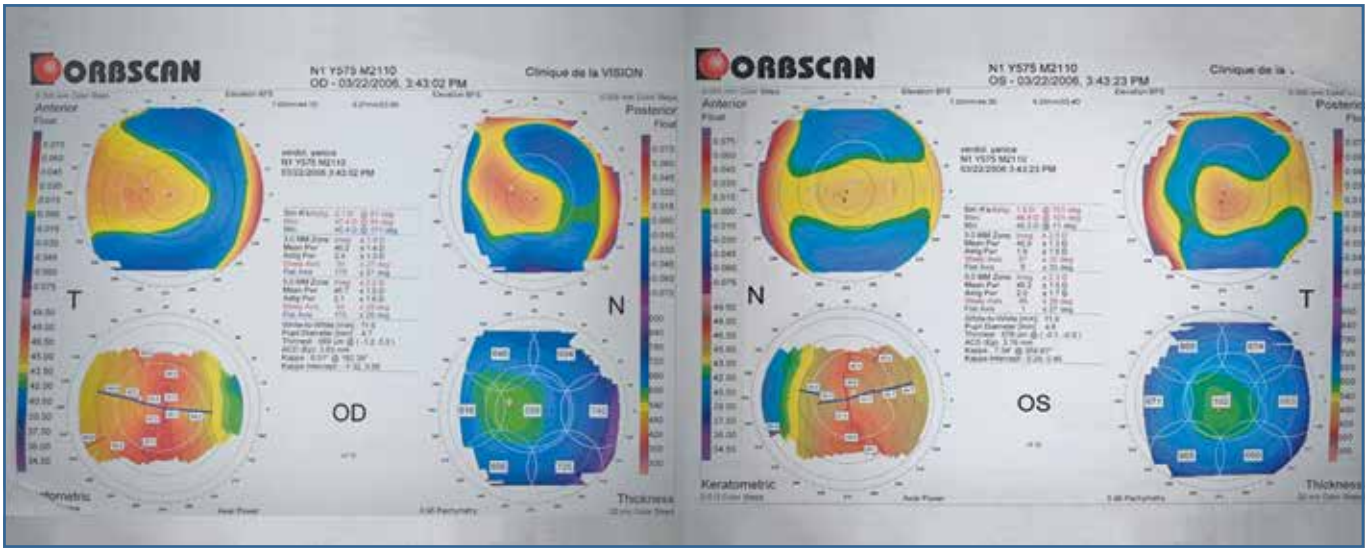


Fig. 2 : Topographies en 2006 montrant des cornées symétriques légèrement bombées sans élévation postérieure majeure (cas n° 1).

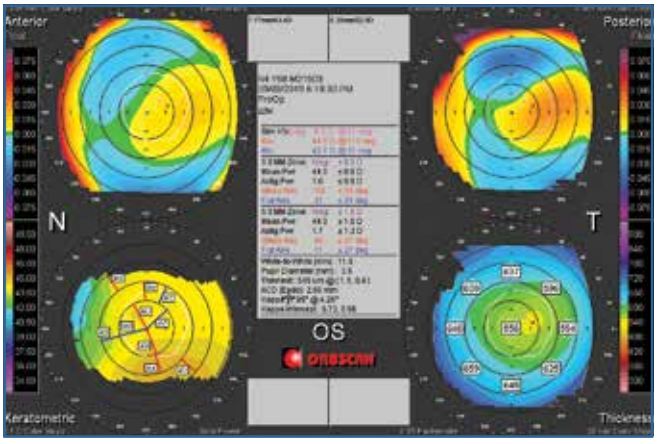


Fig. 3 : Topographie de l'œil gauche en préreprise en 2019 montrant une légère asymétrie sans élévation postérieure majeure (cas n° 1).

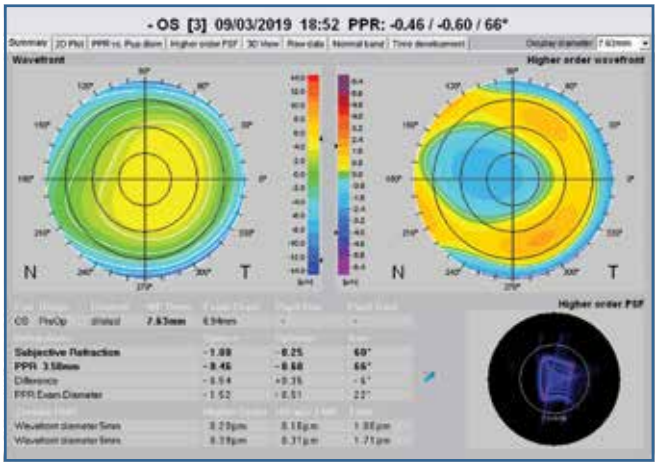


Fig. 4 : Examen aberrométrique en préopératoire de l'œil gauche (cas n° 1).

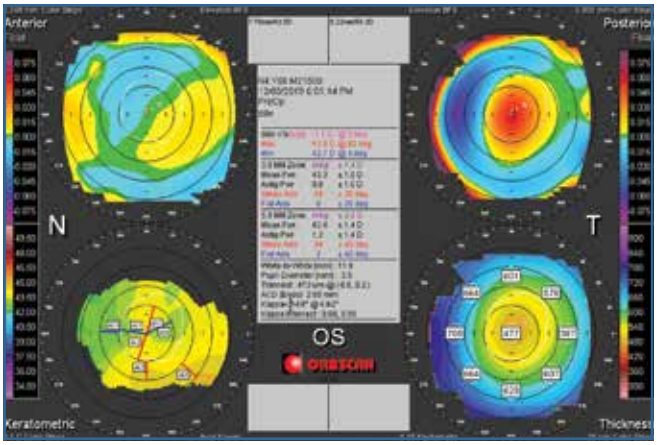


Fig. 5 : Topographie à 1 mois de la reprise par PKR transépithéliale et mitomycine C (cas n° 1).

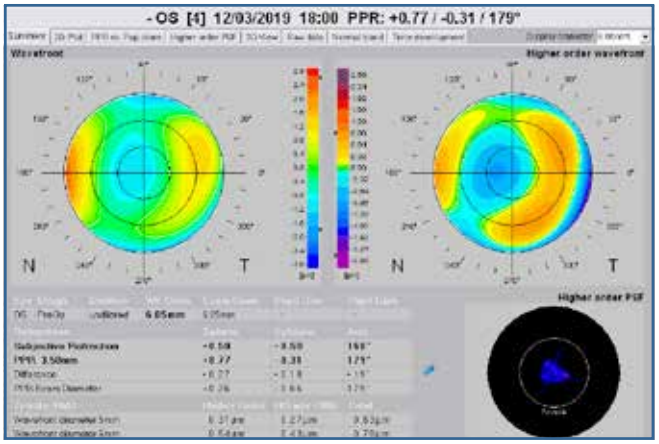


Fig. 6 : Examen aberrométrique à 1 mois de la reprise par PKR transépithéliale et mitomycine C (cas n° 1).

>>> Cas n° 2

Un patient de 24 ans se fait opérer de Lasik par microkératome Hansatome sur la plateforme Technolas pour un astigmatisme myopique (***fig. 7***) avec la réfraction suivante :
– OD : –0,50 (–2,25 à 10°) 9/10 ;
– OG : –0,25 (–2,75 à 10°) 10/10.

Les résultats à 5 mois retrouvent une acuité visuelle à 9/10 sans correction aux deux yeux.

Le patient revient en 2019 à 40 ans avec (***fig. 8***) :
– OD : 10/10 sans correction ;
– OG : –0,50 (–1,75 à 20°).

Un mois après l'intervention par PRK transépithéliale avec mitomycine C, le patient retrouve pour l'œil gauche 9/10 sans correction et –0,50 10/10.

Discussion

Alio estime que le taux de reprise à 10 ans est de 20 % pour les myopies et même supérieur pour les hypermétropes, à cause de l'hypermétropie latente [2]. Il est donc certain que tous les chirurgiens réfractifs sont confrontés aux reprises de Lasik à distance de plusieurs années du Lasik primaire.

Aux débuts du Lasik, la promesse de cornée facilement retouchable était tenue lorsque la reprise était pratiquée dans l'année pour une sous-correction ou une régression rapide dans les 3 mois. À partir de reprise à plus d'un an, on s'est aperçu que les risques d'invasion épithéliale étaient majeurs et augmentaient avec le temps, jusqu'à plus de 30 % après 10 ans sur une étude incluant 70 yeux de 48 patients [2]. Environ 10 % des cas d'invasion étaient traitées par laser Nd:YAG et 5 % ont nécessité une reprise chirurgicale. Caster a publié une série de 23 yeux de 20 patients repris à plus de 10 ans par

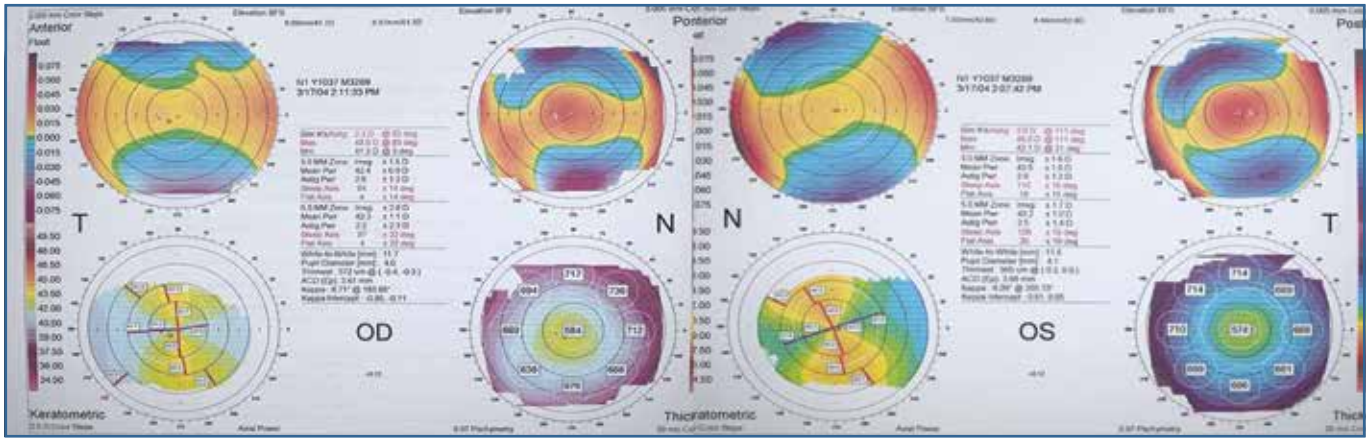


Fig. 7 : Patient de 24 ans avec un astigmatisme myopique (cas n° 2).

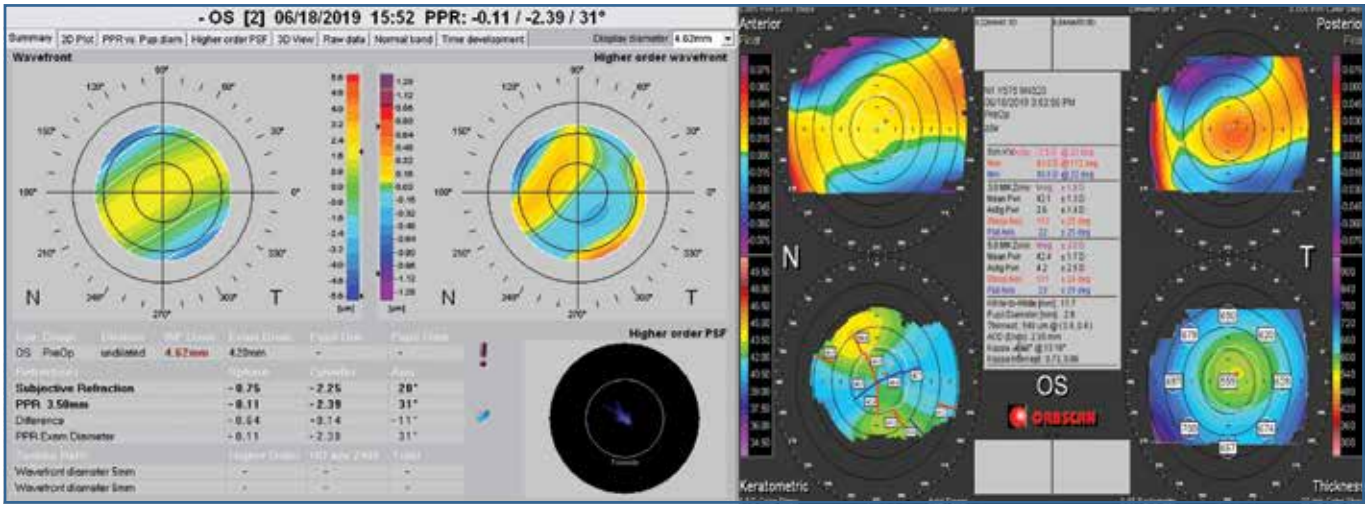


Fig. 8 : À 40 ans, la régression astigmatique reste symétrique sans élévation postérieure excessive (cas n° 2).

soulèvement du capot [1]. Un œil a perdu de l'acuité visuelle à cause d'une invasion épithéliale sévère et 9 % ont eu une invasion épithéliale cliniquement significative.

Plusieurs techniques ont été proposées pour diminuer, lors d'une reprise, le risque d'invasion épithéliale après soulèvement du capot : la pose de mitomycine C sur le lit stromal après ablation, la création d'un nouveau capot à l'intérieur du capot préexistant, la suture du capot, la pose de colle biologique et, surtout, les techniques d'ablation de surface par laser qui ne nécessitent donc pas de manipuler le capot. Les inconvénients des techniques de surface sont bien sûr la douleur postopératoire, la lenteur de la récupération visuelle et l'apparition de *haze*. Cette dernière complication a été nettement diminuée par l'utilisation de mitomycine C.

La technique de PKR transépithéliale a été proposée dès les débuts de la PKR [3], au début des années 1990. La difficulté de la réalisation en deux temps de la PRK transépithéliale avec deux programmations séquentielles, d'abord par une photokératectomie thérapeutique (PKT) jusqu'à la disparition de la fluorescence bleue de l'épithélium puis une PRK qui allonge considérablement le temps opératoire et la déshydratation du stroma cornéen, n'a pas séduit les chirurgiens réfractifs. L'arrivée des nomogrammes lasers à excimères avec un traitement en un seul temps, introduits en 2007 avec les premières publications en 2011 (***fig. 9***), a permis de raccourcir la durée du traitement et de proposer un traitement réellement tout laser sans toucher le capot avec un instrument [4]. La taille de l'ablation épithéliale est en totale concordance avec le traitement réfractif et limite donc les effets inflammatoires. Les bords étant nets, la ré-épithélialisation est facilitée et un peu plus courte que la PRK classique [3], avec des douleurs postopératoires légèrement plus courtes.

Les études comparatives montrent des résultats au moins aussi satisfaisants que les PKR classiques [5], mécaniques ou avec alcool. Le module de traitement transépithélial a été implanté sur le WaveLight EX500 au cours du deuxième semestre 2019. Les résultats très satisfaisants de mes premiers cas sur le plan réfractif et la facilité de traitement m'ont convaincu de traiter ces deux cas, le premier à 13 ans après un Lasik par laser femseconde et le second à 16 ans après un Lasik par microkératome. La PRK transépithéliale permet non seulement de ne pas toucher aux bords du capot, mais aussi de ne pas toucher au capot avec le moindre instrument. Elle permet aussi de ne pas amincir le lit stromal résiduel et donc de rester dans les limites acceptées si elles l'étaient auparavant. Dernièrement, comme tout laser de surface, les risques d'induction d'ectasies sont diminués.

Fig. 9 : Le nomogramme du traitement PRK transépithélial sur la plate WaveLight EX500 s'appelle Streamlight. Par rapport au nomogramme habituel, on note dans les détails du traitement *Epi depth* qui correspond à l'épaisseur estimée de l'épithélium à enlever. La durée de ce traitement est de 20 secondes comme indiqué en haut à droite et la pointe au-dessus de 04 indique le moment où il faut faire une pause de 10 secondes avant de commencer le traitement stromal. Le temps le plus long est donc l'ablation épithéliale. La taille de l'ablation épithéliale de 7,1 mm est concordante avec le traitement réfractif et limite donc les effets inflammatoires.

La PRK transépithéliale me paraît alors aujourd'hui être le traitement de choix lors d'une reprise post-Lasik au-delà de 3 ans, voire de 1 an.

Bibliographie

1. Caster AI. Flap-lift LASIK 10 or more years after primary LASIK. *J Refract Surg*, 2018;34:604-609.
2. Alio JL, Hanna R, Canto-Cerdan M *et al*. Laser flap enhancement 5 to 9 years and 10 or more years after laser in situ keratomileusis: Safety and efficacy. *J Cataract Refract Surg*, 2019;45:1463-1469.
3. Adib-Moghaddam S, Soleyman-Jahi S, Sanjari Moghaddam A *et al*. Efficacy and safety of transepithelial photorefractive keratectomy. *J Cataract Refract Surg*, 2018;44:1267-1279.
4. Luger M, Ewering T, Arba-Mosquera S *et al*. Consecutive myopia correction with transepithelial versus alcohol-assisted photorefractive keratectomy in contralateral eyes: One-year results. *J Cataract Refract Surg*, 2012;38:1414-1423.
5. Yildirim Y, Olcucu O, Alagoz N *et al*. Comparison of visual and refractive results after transepithelial and mechanical photorefractive keratectomy in myopia. *Int Ophthalmol*, 2018;38:627-633.

L'auteur mentionne un lien d'intérêt avec la Clinique de la Vision, Paris.

D. COEURU[1], T. CHAZALON[2]
[1] Clinique Ophtalmologique, CHU de NANTES.
[2] Institut Sourdille-Atlantique, NANTES.
dcoeuru@gmail.com
tchazalon@gmail.com

Résultats à 3 mois du *Small Incision Lenticule Extraction* (Smile) en cas de fortes myopies

En chirurgie réfractive, les premiers résultats de la technique de l'extraction d'un lenticule cornéen à l'aide du Visumax ont été présentés en 2008 par Sekundo *et al*. [1]. Il s'agissait initialement de la découpe d'un lenticule sous un volet de Lasik (ReLex Flex). La technique a évolué vers le *Small Incision Lenticule Extraction* (Smile), qui consiste en la création d'un lenticule cornéen avec un pouvoir réfractif, mais extrait au travers d'une incision réduite à quelques millimètres.

De nombreuses études et méta-analyses ont démontré son efficacité dans le traitement de la myopie et de l'astigmatisme myopique [2-4]. Ces études portent sur les indications théoriques du Visumax dans le Smile : jusqu'à 10 D de myopie et 5 D d'astigmatisme. Dans le cas des fortes myopies, quelques études ont également montré l'efficacité et la sécurité du Smile [5-8], même si la plupart suggèrent un risque de sous-correction en cas de forte amétropie. Dans ce cas, il est fréquent que le chirurgien programme un facteur correctif de 8 à 10 %.

Le traitement de la myopie supérieure à 6 D par la technique du *laser-assisted in situ keratomileusis* (Lasik) est pratiquée depuis les années 1990. De nombreuses études ont prouvé son efficacité et sa sécurité [9-12]. Mais il est également admis que la stabilité est moins bonne dans ce contexte, notamment du fait de la régression myopique [10, 13-15]. Ce qui est d'autant plus vrai que le degré de forte myopie à corriger est important.

Nous allons ici présenter nos résultats de patients opérés à l'aide de la technique Smile dans le cadre d'une myopie supérieure à 6 D.

Matériels et méthodes

Il s'agit d'une étude descriptive, rétrospective, portant sur les résultats des patients présentant une myopie forte (supérieure à 6 dioptries) opérés à l'aide de la technique Smile. Nous avons inclus les patients opérés entre 2013 et 2019 pour lesquels les données étaient disponibles à 3 mois de la procédure. Ont été exclus les patients pour lesquels l'objectif réfractif était différent de l'emmétropie. Les patients ont tous été opérés par un seul opérateur. La procédure a été réalisée à l'aide du laser femtoseconde Visumax (Carl Zeiss, Meditec AG, Allemagne).

Le critère de jugement principal était l'efficacité, définie comme le pourcentage d'yeux ayant une acuité visuelle (en dixièmes) supérieure ou égale à 1,0. Les critères de jugement secondaires étaient la prédictibilité, définie comme le pourcentage d'yeux ayant atteint la réfraction cible à ± 0,5 D, le pourcentage de retraitement et les complications rapportées.

Résultats

507 yeux ont été opérés dans le cadre d'une myopie forte entre 2013 et 2019. Les données à 3 mois étaient disponibles pour 268 d'entre eux. Parmi ceux-ci, 14 ont été exclus car l'objectif réfractif était différent de l'emmétropie, afin de clarifier les calculs. Au total, 254 yeux ont été inclus, soit 50,1 % de la population. L'âge moyen au moment de la procédure était de 34 ± 6 ans. Le sexe ratio était de 0,46 (80 hommes et 174 femmes).

La réfraction préopératoire moyenne en équivalent sphérique (ES) était de –6,90 ± 1,62 D (avec une médiane de –6,88 D). La réfraction postopératoire moyenne à 3 mois était : ES = –0,09 ± 1,61 D (médiane 0 D). En dixièmes, la meilleure acuité visuelle corrigée (MAVC) moyenne en préopératoire était de 1,0 ± 0. En dixièmes, l'acuité visuelle non corrigée (AVNC) moyenne postopératoire à 3 mois était de 1,0 ± 0,4 (***tableau I***).

Yeux	N = 254
Sexe ratio **Hommes** **Femmes**	0,46 80 174
Âge moyen	34 ± 6 ans
Réfraction préopératoire : ES moyen	–6,90 ± 1,62 D
MAVC moyenne préopératoire en échelle décimale	1,0 ± 0

Tableau I : Caractéristiques de la population. ES : équivalent sphérique ; MAVC : meilleure acuité visuelle corrigée.

Le critère de jugement principal, c'est-à-dire le pourcentage d'yeux ayant avec une acuité visuelle supérieure ou égale à 1,0, était de de 69,7 % (efficacité, ***fig. 1 et tableau II***). Le pourcentage d'yeux ayant atteint la réfraction cible à ± 0,5 D près était de 88,2 % (prédictibilité, ***tableau II***). 6 yeux de 4 patients ont nécessité un retraitement (2,4 %) par photokératectomie réfractive (PKR) au laser excimer. Tous ces retraitements l'ont été pour des sous-corrections et ils ont tous été réalisés au-delà de 3 mois après la première procédure Smile. 4 complications (1,7 %) ont été rapportées : un cas de lâchage de succion, un *SOS syndrome* (*sands of Sahara*) débutant, un *black spot* et une diplopie monoculaire transitoire pour laquelle la cause n'a pas été identifiée (***tableau III***).

Discussion

Dans notre étude, le Smile est une technique efficace en cas de myopie forte. Nos résultats en termes d'acuité visuelle non corrigée et de réfraction postopératoire sont bons. Concernant l'efficacité et l'acuité visuelle non corrigée, nos résultats semblent au moins aussi bons que ceux de la littérature, qu'il s'agisse d'études portant sur le Smile ou sur le Lasik [12, 16-19].

Peu d'études portant sur la myopie forte évaluent l'efficacité à 3 mois. Dans l'étude de Vega *et al*. [11], rapportant les résultats de 70 yeux opérés de Lasik pour une myopie forte, l'AVNC moyenne à 3 mois était de 0,08 LogMAR. Cela correspond à une acuité visuelle entre 0,8 et 0,9 en échelle décimale. L'efficacité, calculée à 5 ans, était de 59 %. Dans l'étude d'Hashemi *et al*. [20], l'AVNC à 3 mois de 30 Lasik pour une forte myopie était de 0,03 ± 0,07 LogMAR (soit entre 0,9 et 1,0). L'étude d'Alio *et al*. [10] étudiait les résultats post-Lasik dans 80 yeux. Dans cette étude, l'AVNC moyenne à 3 mois était de 0,51 ± 0,26. Le degré de myopie dans cette étude était très élevé (ES moyen préopératoire de –10,37 ± 3,19 D), pouvant expliquer un résultat moins performant.

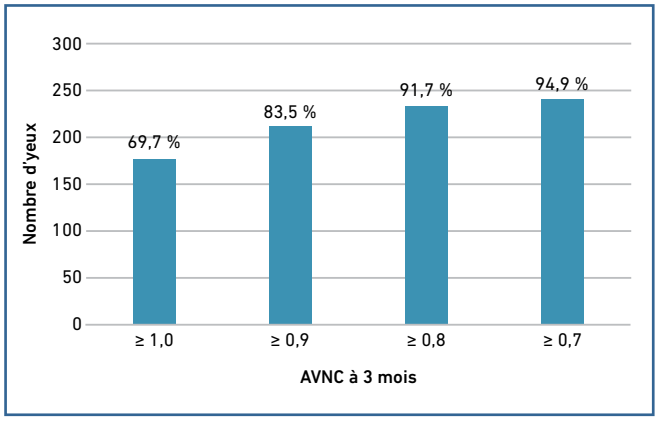


Fig. 1 : Pourcentage et nombres d'yeux ayant atteint une acuité visuelle non corrigée (AVNC) supérieure ou égale à 1,0 ; 0,9 ; 0,8 ou 0,7.

Critères de jugement	Résultats
Efficacité (pourcentage d'yeux ayant une AVNC supérieure ou égale à 1,0)	69,7 %
Réfraction postopératoire à 3 mois : ES moyen	–0,09 ± 1,61 D
AVNC moyenne postopératoire à 3 mois en échelle décimale	1,0 ± 0,4
Prédictibilité (pourcentage d'yeux ayant atteint la réfraction cible ± 0,5 D près)	88,2 %
Nombre de retraitement	6 (2,4 %)
Nombre de complications	4 (1,6 %)

Tableau II : Résultats des critères de jugement principal et secondaires. AVNC : acuité visuelle non corrigée ; ES : équivalent sphérique.

Type de complications	AVNC à 3 mois	MAVC à 3 mois	ES à 3 mois
Lâchage de succion (n = 1)	0,6	0,7	–0,25 D
SOS syndrome débutant (n = 1)	0,8	1,0	–0,125 D
Black spot (n = 1)	0,8	1,0	–0,25 D
Diplopie monoculaire transitoire (n = 1)	1,0	1,0	+0,5 D

Tableau III : Description des complications. AVNC : acuité visuelle non corrigée ; ES : équivalent sphérique ; MAVC : meilleure acuité visuelle corrigée.

Les quelques études comparant le Smile et le Lasik en cas de forte myopie ne retrouvent pas de différence significative en termes d'efficacité [16, 17]. Parmi celles-ci, l'étude de Xia *et al*. [17] a observé 78 Smile et 65 Lasik en cas de myopie forte. À 3 mois, l'AVNC moyenne était de –0,06 LogMAR en cas de Smile et –0,07 LogMAR en cas de Lasik (soit entre 1,0 et 1,25). Ces résultats sont supérieurs aux nôtres.

Dans notre étude, le facteur correctif n'a pas toujours été apporté pour les premiers Smile réalisés, ce qui peut expliquer un retentissement sur l'efficacité. On peut aussi ajouter la probable courbe d'apprentissage vis-à-vis de cette

nouvelle technique. En effet, les premières procédures réalisées par l'opérateur ont été incluses dans l'étude. Si l'on analyse uniquement les 127 derniers yeux opérés (50 % de l'échantillon), on observe une amélioration de l'efficacité. Le pourcentage d'yeux ayant une AVNC supérieure ou égale à 1,0 est alors de 77 %.

Dans notre étude, le Smile est une technique prédictible (88,2 %). Nos résultats concernant l'ES postopératoire sont comparables avec les données de la littérature. L'ES moyen selon les études (sur le Smile ou le Lasik en cas de myopie forte) va de –0,19 à 0,83 D [10, 11, 16-20]. Dans l'étude de Han *et al*. [16], la prédictibilité était de 56,0 % dans le groupe Smile (75 yeux) et de 58,7 % dans le groupe Lasik (46 yeux). Le Smile est également une technique sûre. Dans notre étude, peu de réinterventions ont été nécessaires et le nombre de complications est minime. Le retentissement fonctionnel de ces complications reste modéré (***tableau III***).

Notre étude comporte plusieurs biais. Tout d'abord, un seul opérateur a effectué toutes les procédures. Les résultats sont alors peu reproductibles. De plus, dans près de la moitié des cas, les données à 3 mois n'étaient pas disponibles pour les patients opérés d'une myopie forte. Ces données manquantes induisent un biais de sélection. On pourrait supposer que ces patients étaient satisfaits du résultat et n'ont pas jugé bon de reconsulter l'opérateur à 3 mois. Enfin, notre étude ne prend pas en compte les autres aspects du résultat fonctionnel, tel que le syndrome sec ou la satisfaction du patient.

Conclusion

Cette étude suggère que le Smile est une technique adaptée pour le traitement de la myopie forte, même si des facteurs correctifs ainsi que des nomogrammes appropriés doivent être pris en compte. Des suivis à très long terme devront encore confirmer ces résultats.

Bibliographie

1. Sekundo W, Kunert K, Russmann C *et al*. First efficacy and safety study of femtosecond lenticule extraction for the correction of myopia: Six-month results. *J Cataract Refract Surg*, 2008;34:1513-1520.
2. Blum M, Lauer AS, Kunert KS *et al*. 10-year results of small incision lenticule extraction. *J Refract Surg*, 2019;35:618-623.
3. Shen Z, Shi K, Yu Y *et al*. Small incision lenticule extraction (Smile) versus femtosecond laser-assisted in situ keratomileusis (FS-Lasik) for myopia: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*, 2016;11:e0158176.
4. 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*, 2014;30:590-596.
5. Burazovitch J, Naguzeswski D, Beuste T *et al*. [Visual outcomes four years after small incision lenticule extraction (Smile) surgery on highly myopic eyes [French version]]. *J Fr Ophtalmol*, 2017;40:561-570.
6. Sánchez-González JM, Alonso-Aliste F. Visual and refractive outcomes of 100 small incision lenticule extractions (Smile) in moderate and high myopia: a 24-month follow-up study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2019;257:1561-1567.
7. Torky MA, Alzafiri YA. Visual and refractive outcomes of small-incision lenticule extraction in mild, moderate, and high myopia: Six-month results. *J Cataract Refract Surg*, 2017;43:459-465.
8. Hyun S, Lee S, Kim JH. Visual outcomes after Smile, LASEK, and LASEK combined with corneal collagen cross-linking for high myopic correction. *Cornea*, 2017;36:399-405.
9. Alió JL, Muftuoglu O, Ortiz D *et al*. Ten-year follow-up of laser in situ keratomileusis for high myopia. *Am J Ophthalmol*, 2008;145:55-64.
10. Alió JL, Soria F, Abbouda A *et al*. Laser in situ keratomileusis for -6.00 to -18.00 diopters of myopia and up to -5.00 diopters of astigmatism: 15-year follow-up. *J Cataract Refract Surg*, 2015;41:33-40.
11. Vega-Estrada A, Alio JL. Femtosecond-assisted laser in situ keratomileusis for high myopia correction: Long-term follow-up outcomes. *Eur J Ophthalmol*, 2019;1120672119834478.
12. Hashemi H, Ghaffari R, Miraftab M *et al*. Femtosecond laser-assisted Lasik versus PRK for high myopia: comparison of 18-month visual acuity and quality. *Int Ophthalmol*, 2017;37:995-1001.
13. Ikeda T, Shimizu K, Igarashi A *et al*. Twelve-year follow-up of laser in situ keratomileusis for moderate to high myopia. *Biomed Res Int*, 2017;2017:9391436.
14. Rosman M, Alió JL, Ortiz D *et al*. Refractive stability of Lasik with the Visx 20/20 excimer laser vs ZB5m phakic iol implantation in patients with high myopia (>-10.00 d): a 10-year retrospective study. *J Refract Surg*, 2011;27:279-286.
15. Oruçoğlu F, Kingham JD, Kendüşim M *et al*. Laser in situ keratomileusis application for myopia over minus 14 diopter with long-term follow-up. *Int Ophthalmol*, 2012;32:435-441.
16. Han T, Shang J, Zhou X *et al*. Refractive outcomes comparing Smile and FS-Lasik for High Myopia. *J Cataract Refract Surg*, 2020 [Epub ahead of print].
17. Xia LK, Ma J, Liu HN *et al*. Three-year results of small incision lenticule extraction and wavefront-guided femtosecond laser-assisted laser in situ keratomileusis for correction of high myopia and myopic astigmatism. *Int J Ophthalmol*, 2018;11:470-477.
18. Artini W, B Riyanto S, Hutauruk JA *et al*. Predictive factors for successful high myopia treatment using high-frequency laser-in-situ keratomileusis. *Open Ophthalmol J*, 2018; 12:214-225.
19. O'Doherty M, O'Keeffe M, Kelleher C. Five year follow up of laser in situ keratomileusis for all levels of myopia. *Br J Ophthalmol*, 2006;90:20-23.
20. Hashemi H, Miraftab M, Ghaffari R *et al*. Femtosecond-assisted Lasik versus PRK: comparison of 6-month visual acuity and quality outcome for high myopia. *Eye Contact Lens*, 2016;42:354-357.

Les auteurs ont déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.

L. TRINH
Service d'Ophtalmologie, CHNO des Quinze-Vingts, PARIS.
trinhdinhliem@gmail.com

Gestion des complications en Smile

La chirurgie réfractive cornéenne par extraction lenticulaire Smile (*Small Incision Lenticule Extraction*) présente comme avantage par rapport au Lasik une absence de découpe de capot, induisant une résistance cornéenne supérieure théorique et une sécheresse oculaire induite moindre. Les résultats fonctionnels et réfractifs en Smile sont équivalents au Lasik mais, aujourd'hui, nombre de chirurgiens hésitent encore à franchir le pas du fait d'une courbe d'apprentissage certaine et d'une méconnaissance de la gestion de ses complications potentielles. Pourtant, ses complications sont rares et la réalisation des bons gestes en cas d'incidents permettra de réaliser cette chirurgie en tout sérénité [1, 2]. Nous détaillerons dans ce chapitre les différentes complications possibles en Smile, aussi bien en peropératoire, lors de la découpe du lenticule au laser femtoseconde et lors de sa dissection manuelle, qu'en postopératoire.

Complications peropératoires

1. Lors de la découpe du lenticule au laser femtoseconde

>>> Lâchage de succion

Dans notre expérience, le lâchage de succion est l'incident le plus fréquemment rencontré dans la chirurgie Smile, même s'il est très rare en pratique et dans la littérature (moins de 1 % des procédures) [3]. La pression de succion exercée par le laser Visumax (Carl Zeiss Meditec) est plus faible que les autres lasers femtosecondes, permettant de diminuer le risque de décollement du vitré et de réduire significativement les hémorragies conjonctivales, mais augmentant le risque de lâchage de succion. Les facteurs de risque sont : petit diamètre cornéen, paupières toniques, angoisse du patient et chemosis conjonctival.

L'interruption de succion peut survenir à toutes les étapes de la découpe lenticulaire (***fig. 1***). Le laser Visumax permet de recommencer la découpe à l'étape où celle-ci s'est interrompue. Un arbre décisionnel a été proposé par Dan Reinstein en fonction de l'étape où s'est produit le lâchage de succion [4]. Ainsi, en cas de lâchage de succion pendant la découpe du plan postérieur du lenticule, il recommande soit de recommencer un Smile avec une profondeur réduite de 110 μm si la profondeur initiale du lenticule était supérieure à 135 μm, soit de convertir en Lasik. En cas de lâchage de succion dans les étapes ultérieures, il recommande de reprendre le Smile à l'étape interrompue.

Gab-Alla a comparé les résultats visuels en cas d'interruption de succion (pendant la découpe du plan antérieur) entre une poursuite de la procédure immédiatement et un report le lendemain de la reprise de la procédure, et a trouvé un *shift* hypermétropique moyen de +1,50 D à 6 mois en cas de poursuite immédiate [5]. Il explique cette hypermétropisation par une découpe d'un lenticule plus épais due à la création d'un deuxième plan irrégulier. En cas de report de la chirurgie le lendemain, le fluide et le gaz ont le temps de se dissiper, permettant une nouvelle découpe plus régulière.

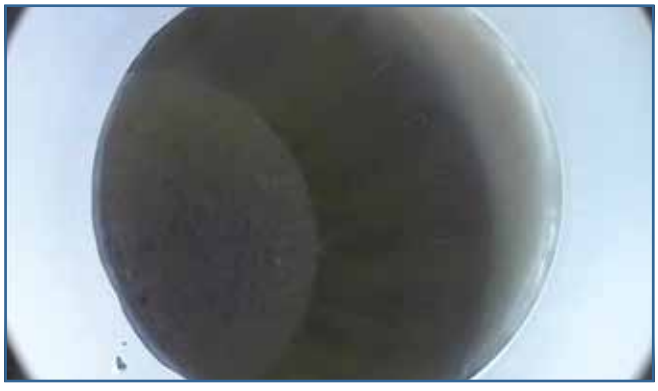


Fig. 1 : Lâchage de succion durant la découpe au laser femtoseconde, juste après la découpe du plan postérieur.

Au final, nous recommandons désormais en cas de lâchage de succion de reprendre la procédure à l'étape interrompue à la même profondeur avec les mêmes paramètres, mais le lendemain de la première tentative.

>>> *Black spots*

L'autre complication la plus souvent rencontrée est la survenue de *black spots*, zones non découpées par le laser apparaissant noires (***fig. 2***), pouvant compliquer la dissection du lenticule et la rendre même impossible en cas de grande surface. Ces zones non découpées sont expliquées par un obstacle rencontré par le laser entre la cornée du patient et le cône de succion, tel que les sécrétions meibomiennes ou du mucus conjonctival. Ces débris sont visualisés aisément au moment du *docking* et la meilleure prévention de ces *black spots* est de relever le cône de succion, de le nettoyer avec une compresse humide, de laver la surface oculaire du patient et de recommencer le *docking* avec une interface propre.

Le bon réflexe à acquérir en cas de visualisation de larges plages confluentes de *black spots* est d'interrompre immédiatement la découpe et de lâcher la succion. La gestion ensuite est exactement identique aux lâchages de succion involontaires précédemment décrits, l'erreur étant de poursuivre la découpe, de commencer la dissection et de s'apercevoir trop tard de la difficulté voire de l'impossibilité d'achever la dissection complète. En cas de *black spots* de petite superficie, la découpe doit être poursuivie mais la dissection de ces zones doit être réalisée après dissection des zones bien découpées pour la faciliter.

>>> *Opaque bubble layer* (OBL)

Les OBL sont des zones opaques blanches apparaissant pendant la découpe au laser femtoseconde par un défaut de dispersion des bulles de gaz et donc de leur accumulation dans les couches superficielles de la cornée. Les facteurs de risque sont une énergie du laser trop élevée, des cornées épaisses et des lenticules fins. Pour prévenir la survenue de ces OBL, il est recommandé de programmer un toit de lenticule plus profond en cas de lenticule fin pour faciliter la dispersion des bulles de gaz. Ces OBL peuvent rendre la dissection du lenticule dans leur zone plus difficile.

Fig. 2 : Apparition d'une large zone de *black spots* (**flèche rouge**) pendant la découpe du plan postérieur.

2. Lors de la dissection du lenticule

>>> Refend de l'incision

La création d'un refend au niveau de l'incision est la complication la plus fréquente pendant la période d'apprentissage (11 %) [6] et s'explique aisément par les mouvements non maîtrisés (notamment verticaux) du micromanipulateur dans l'incision lors des premières chirurgies, provoquant une déchirure par ses contraintes sur les berges de l'incision. Le risque est d'autant plus important que l'incision est petite. Il est donc recommandé pour débuter de programmer une incision large supérieure à 3 mm. Ces refends n'ont aucune conséquence sur les résultats visuels mais le chirurgien doit apprendre à contrôler ses mouvements et à rester dans le plan de l'incision avec le micromanipulateur.

>>> Décollement de l'épithélium autour de l'incision

Une abrasion épithéliale autour des berges de l'incision lors de son ouverture par le micromanipulateur peut se voir même en cas d'absence de dystrophie de Cogan. Cette abrasion va provoquer un ulcère cornéen autour de l'incision, potentiellement responsable d'une forte douleur postopératoire et d'un astigmatisme induit transitoire postopératoire. Le risque est d'inséminer des cellules épithéliales dans l'interface avec le micromanipulateur. Cette fragilité épithéliale peut être favorisée par une instillation répétée de collyre anesthésique (oxybuprocaïne ou tétracaïne). Il est donc recommandé de limiter les instillations d'anesthésiant à 2 ou 3 fois maximum pendant toute la procédure et de vérifier l'absence d'insémination épithéliale dans l'interface pendant la dissection.

>>> Dissection du mauvais plan du lenticule

Il est recommandé, pour débuter le Smile, de commencer par repérer le plan antérieur puis le plan postérieur du lenticule, avant de disséquer entièrement le plan postérieur. Une erreur classique pendant la péroide d'apprentissage est de démarrer d'emblée dans le plan postérieur en croyant être localisé dans

le plan antérieur. Dans ce cas, le chirurgien n'arrivera pas à repérer le plan postérieur secondairement car il y est déjà depuis le début. En cas d'impossibilité de disséquer le plan postérieur, il faut envisager y être déjà et n'avoir pas repéré le plan antérieur au préalable. Le but est donc de retrouver le plan antérieur en réalisant la manœuvre du crochet, qui consiste à partir avec le micromanipulateur sur la périphérie de la poche et de remonter en avant pour décrocher le plan antérieur (***fig. 3***).

>>> Déchirure du lenticule pendant la dissection

Pendant la dissection, une déchirure périphérique du lenticule peut survenir par le mouvement du micromanipulateur alors que le bord périphérique postérieur du lenticule reste attaché (***fig. 4***). Le bon réflexe est d'interrompre son geste pour ne pas compléter la déchirure et de laisser un bout de lenticule attaché au plan postérieur. Il faut alors reprendre la dissection de l'autre côté de la déchirure pour finir la dissection et lever l'adhérence postérieure résiduelle. En cas de déchirure complète, il faut essayer de disséquer le résidu adhérent pour l'extraire, notamment à la pince. Enfin, si le résidu est de petite taille, il peut être laissé en place car n'aura pas de répercussion topographique. Il est recommandé, lors de ses premières procédures, de vérifier l'intégrité du lenticule juste après son extraction pour s'assurer l'absence de déchirure lenticulaire.

Complications postopératoires

Grâce à l'absence de capot, les complications postopératoires du Smile sont moins nombreuses qu'en Lasik (absence de pli et déplacement de capot, sécheresse oculaire induite moindre et diminution théorique du risque d'ectasie). Néanmoins, les complications postopératoires existent et il est important de les reconnaître pour initier le traitement le plus adapté.

1. Ectasie

Même si 7 cas d'ectasies post-Smile ont été publiés [7], qui dans la majorité présentaient des anomalies topographiques, il est trop tôt pour définir un taux d'incidence des ectasies post-Smile ainsi que leurs facteurs de risque. La prévalence semble pour le moment moindre qu'en Lasik mais la précaution demeure, avec une contre-indication au Smile en cas de kératocône infraclinique comme dans le Lasik. La prise en charge des ectasies post-Smile est identique à celles observées après Lasik. Comme dans toute chirurgie réfractive, il est recommandé à tous les patients opérés de ne plus se frotter les yeux.

Fig. 3 : Manœuvre du crochet pour rattraper le plan antérieur (quand on est passé d'emblée dans le plan postérieur), en passant le micromanipulateur en périphérie de la poche et en effectuant un mouvement vers le haut.

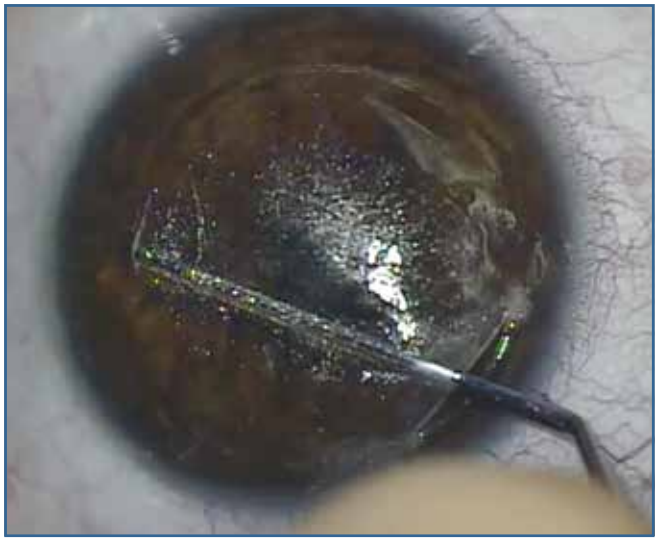


Fig. 4 : Début de déchirure du lenticule en périphérie avec le micromanipulateur.

2. Sécheresse oculaire

Le Smile induit une sécheresse oculaire par section des troncs nerveux stromaux postérieurs lors de la découpe du lenticule. Sa sévérité est moindre que par rapport au Lasik car la découpe du capot de Lasik est réalisée sur un diamètre plus important. Notre équipe a montré une nette amélioration de la sécheresse oculaire à 3 mois, avec retour à l'état antérieur et un arrêt de l'instillation de collyres pour la majorité des patients [8]. La meilleure prévention de la sécheresse postopératoire est de traiter toute sécheresse oculaire en préopératoire et de récuser les patients en cas de sécheresse non contrôlée. Le traitement de la sécheresse postopératoire comprend, outre les larmes artificielles, la mise en place de bouchons lacrymaux, de la ciclosporine en collyre et le traitement des dysfonctionnements meibomiens.

3. Kératite infectieuse

Des cas d'abcès cornéens post-Smile ont été publiés [9]. La meilleure prévention infectieuse reste la désinfection préopératoire avec le lavage des culs-de-sac conjonctivaux à la povidone iodée, ainsi que le traitement postopératoire systématique par bi-antibioprophylaxie. Le traitement des abcès post-Smile consiste, en plus des antibiotiques horaires en collyre, à laver l'interface avec de la povidone iodée et des antibiotiques.

4. Insémination épithéliale

Une opacité blanche dans l'interface peut être observée en postopératoire précoce [10], soit près de l'incision, soit près du centre visuel, et témoigne d'une insémination épithéliale lors de la dissection du lenticule. En cas de douleur ou de répercussion visuelle, une ablation de cet amas de cellules épithéliales doit être réalisée avec l'aide d'une pince.

5. SOS syndrome (*Sands of Sahara*) ou DLK (*Diffuse Lamellar Keratitis*)

Un SOS syndrome est une complication rare en Smile (1,6 %) [1], probablement moins fréquente qu'en Lasik grâce à une exposition moindre de l'interface aux particules pro-inflammatoires de par sa mini-incision. Le traitement est une corticothérapie à forte dose. Il est crucial de différencier le SOS syndrome du syndrome de fluide dans l'interface.

6. Syndrome de fluide dans l'interface

Cette complication est probablement sous-estimée et se manifeste par une baisse de vision précoce dans le 1er mois, avec une myopisation précoce et un aspect de *haze* dans l'interface. La tension oculaire mesurée au doigt est très élevée (contrairement à la tension à l'aplanation qui peut faussement être normale) et le diagnostic est posé à l'OCT cornéen qui retrouve une hyperréflectivité dans l'interface, témoin de fluide dans cet interface (***fig. 5***). La physiopathologie est mal connue, mais une hypertonie cortisonique due au traitement postopératoire induirait la présence de fluide dans l'interface responsable de la baisse d'acuité visuelle. L'erreur serait de poser le diagnostic de SOS syndrome et de renforcer le traitement cortisonique alors qu'au contraire, le traitement du syndrome de fluide dans l'interface est l'arrêt immédiat des corticoïdes et l'adjonction si besoin d'un traitement hypotonisant. La tension se normalise habituellement immédiatement après l'arrêt des corticoïdes et le patient récupère sa vision en quelques jours.

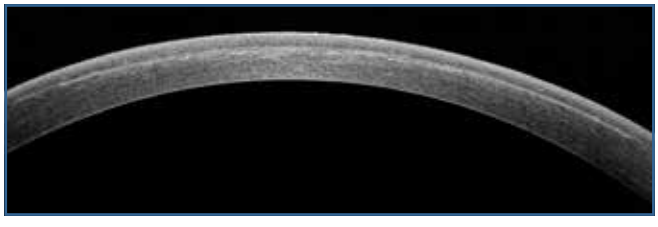


Fig. 5 : OCT de segment antérieur visualisant une lame de fluide hyperréflective dans l'interface permettant de poser le diagnostic de syndrome de fluide dans l'interface.

Conclusion

Les complications peropératoires en Smile sont classiques lors de la période d'apprentissage mais une bonne compréhension de leur prévention et surtout de leur gestion rendra le geste simple et reproductible. Les complications postopératoires du Smile sont moins nombreuses qu'en Lasik du fait de l'absence de capot et justifient à elles seules l'intérêt de se convertir à cette technique.

Bibliographie

1. Krueger RR, Meister CS. A review of small incision lenticule extraction complications. *Curr Opin Ophthalmol*, 2018;29:292-298.
2. Hamed AM, Heikal MA, Soliman TT *et al*. Smile intraoperative complications: incidence and management. *Int J Ophthalmol*, 2019;12:280-283.
3. Wang Y, Ma J, Zhang J *et al*. Incidence and management of intraoperative complications during small-incision lenticule extraction in 3004 cases. *J Cataract Refract Surg*, 2017;43:796-802.
4. Reinstein DZ, Archer TJ, Vida RS *et al*. Suction stability management in Smile: development of a decision tree for managing eye movements and suction loss. *J Refract Surg*, 2018;34:809-816.
5. Gab-Alla AA. Refraction outcomes after suction loss during small-incision lenticule extraction (Smile). *Clin Ophthalmol*, 2017;11:511-515.
6. Hamed AM, Abdelwahab SM, Soliman TT. Intraoperative complications of refractive small incision lenticule extraction in the early learning curve. *Clin Ophthalmol*, 2018;12:665-668.
7. El-Naggar MT. Bilateral ectasia after femtosecond laser-assisted small-incision lenticule extraction. *J Cataract Refract Surg*, 2015;41:884-888.
8. Denoyer A, Landman E, Trinh L *et al*. Dry eye disease after refractive surgery: comparative outcomes of small incision lenticule extraction versus LASIK. *Ophthalmology*, 2015;122:669-676.
9. Chehaibou I, Sandali O, Ameline B *et al*. Bilateral infectious keratitis after small-incision lenticule extraction. *J Cataract Refract Surg*, 2016;42:626-630.
10. Wang Y, Ma J, Zhang L *et al*. Postoperative corneal complications in small incision lenticule extraction: long-term study. *J Refract Surg*, 2019;35:146-152.

L'auteur a déclaré des activités de consultant pour Carl Zeiss Meditec.

M. ASSOULINE
Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.
Centre Iéna Vision, PARIS.
www.assouline.info
ienavision.info@gmail.com

Changer la couleur des yeux : pour le meilleur… ou pour le pire ?

Remerciements au Dr Francis Ferrari et au Pr Marc Muraine.

Pouvoir changer la couleur de ses yeux est une demande esthétique très ancienne et fréquente en ophtalmologie, à laquelle les lentilles de contact colorées apportent depuis 30 ans une réponse réversible, acceptable sur le plan cosmétique bien qu'imparfaite par manque de naturel. Les contraintes de port et d'entretien, ainsi que les risques infectieux sérieux de la contactologie, significativement majorés par le contexte particulier d'usage, ont aussi limité l'adoption de ces lentilles cosmétiques en Europe.

Cette demande a donc suscité dans un passé récent des solutions chirurgicales plus radicales (implants colorés de chambre antérieure à appui irien, 2004) ou par traitement laser (dépigmentation au laser YAG, 2009), dans un but de confort et de pérennité. Ces deux méthodes sont toujours peu consensuelles en l'absence d'études cliniques sérieuses validées par les pairs ou les autorités de tutelle. Notamment, les implants pré-iriens colorés, non approuvés et donc interdits en France et en Europe mais posés depuis quelques années par des chirurgiens français en dehors du territoire (par exemple en Suisse) ou par des chirurgiens étrangers (en Amérique latine ou en Afrique du Nord), à grand renfort de publicité en ligne, ont eu des résultats anatomiques et fonctionnels presque constamment catastrophiques, renforçant ainsi chez la majorité des praticiens un sentiment de défiance bien compréhensible.

La demande d'un changement de couleur des yeux appelle donc aujourd'hui une fin de non-recevoir, parfois condescendante, de la part des ophtalmologistes, aussi convaincus de l'impossibilité technique de satisfaire ce type de requête (au même titre que s'il s'agissait de remplacer le nerf optique ou la rétine) que de sa futilité, en l'absence de tout bénéfice médical évident selon eux.

Depuis quelques décennies, les limites de la chirurgie "élective", fonctionnelle, esthétique ou de "confort" ont pourtant reculé inexorablement, grâce aux constants progrès techniques. Dans notre spécialité, si la chirurgie réfractive est aujourd'hui bien acceptée en tant que chirurgie fonctionnelle correctrice des amétropies, il n'en a pas toujours été ainsi. La compensation chirurgicale de la presbytie par PresbyLasik, pratiquée à large échelle dès le début des années 2000 par ses promoteurs français libéraux, avait fait par exemple l'objet d'un très virulent boycott hospitalo-universitaire, avant d'être validée sous la même forme technique par les censeurs devenus auteurs d'un rapport de la Société Française d'Ophtalmologie, une dizaine d'année plus tard, pratiquement sans aucune référence à ses inventeurs.

Une nouvelle méthode, basée sur le tatouage du stroma cornéen après dissection lamellaire annulaire au laser femtoseconde, est apparue depuis 2013 sous l'impulsion du Dr Francis Ferrari (Strasbourg). Les résultats concrets de cette approche et son innocuité apparente à court terme ont suscité immédiatement un large écho médiatique, qui interpelle à nouveau la communauté médicale ophtalmologique.

Les fondamentaux de la couleur de l'iris

La couleur de l'iris perçue à travers la cornée (et donc la "couleur des yeux") résulte pour partie de la charge pigmentaire (eumélanine brune et phéomélanine orangée) stockée dans les mélanosomes des mélanocytes, présents au niveau des feuillets iriens postérieur et antérieur, et aussi de la cellularité du stroma irien antérieur. La charge pigmentaire la plus superficielle du stroma antérieur explique les variations de couleur du bleu au noir, mais le nombre de mélanocytes est le même pour tout le monde et la différence de pigmentation n'est que de 15 % environ entre les yeux bruns et les yeux bleus.

La perception de la couleur bleue ou verte résulte physiquement de la dispersion lumineuse Tyndall de type Rayleigh liée à la turbidité du stroma antérieur dont la réflectivité, fonction de la longueur d'onde incidente, sélectionne les longueurs d'onde courtes dans l'extrémité bleue du spectre coloré. Ce principe est analogue à celui du phénomène physique expliquant la couleur du ciel.

Cette couleur "structurelle" explique les variations de couleurs des iris clairs avec la lumière ambiante. Il n'y a donc pas de pigment bleu ou vert dans l'iris humain (contrairement à d'autres espèces). Les espoirs de modifier la couleur des yeux de façon pharmacologique dans l'avenir semblent pour l'instant peu fondés, malgré les promesses de certains sites douteux (changemyeyes.com).

La couleur des yeux est un caractère phénotypique polygénique non mendélien (150 gènes impliqués). Le gène *OCA2* code pour une protéine P impliquée dans la maturation des mélanosomes. L'intron 86 du gène *HERC2* contrôle l'activation de *OCA2*. L'étude de l'ADN ancien suggère que la couleur bleue serait apparue chez un ancêtre commun unique, porteur d'une mutation caractéristique et bien conservée, dont le premier descendant connu vivait à Motala en Suède il y a 7 700 ans [1].

Aspects psychosociologiques

Du point de vue des patients, désirer changer la couleur de ses yeux ne semble pas, objectivement, totalement infondé. La couleur bleue, présente chez seulement 17 % de la population mondiale (27 % aux États-Unis), est majoritairement considérée comme la plus désirable pour soi-même, pour ses partenaires sexuels ou pour ses enfants. Cependant, dans un sondage récent réalisé sur des réseaux sociaux, seuls 20 % des répondants souhaiteraient changer la couleur de leurs yeux définitivement s'ils en avaient la possibilité.

Les études psychosociologiques démontrent à quel point la couleur des yeux est en réalité un facteur inégalitaire, bien que complexe, sur le plan de la réussite personnelle, affective et professionnelle. Ces études montrent que la couleur des yeux est non seulement un déterminant esthétique de l'attractivité sexuelle [2] et du choix préférentiel d'un conjoint [3], mais qu'elle joue aussi un rôle essentiel dans la perception de la dominance sociale (et paradoxalement de la timidité !), de la confiance accordée au premier regard et… de la réussite salariale [4-5] (***fig. 1***). Les travaux scientifiques

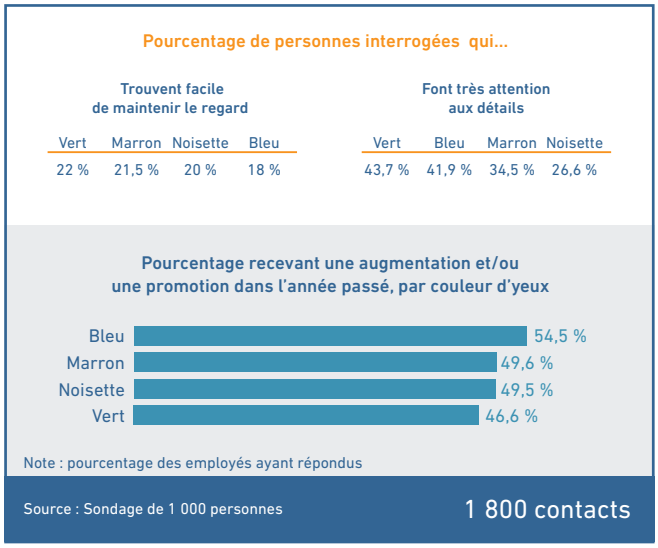


Fig. 1 : Augmentation salariale et couleur de l'œil (source : 1 800 contacts).

de psychosociologie montrent cependant que le déterminant génétique de la couleur des yeux n'agit qu'en étroite corrélation avec d'autre facteurs tels que sa rareté dans la population [6], la forme du visage ou "l'empreinte" infantile de la couleur des yeux du parent de sexe opposé [7].

De façon plus subtile, le marqueur génétique de la couleur des yeux est corrélé à des paramètres physiologiques ethniques comme la tolérance à la douleur, la susceptibilité à l'alcoolisme ou le risque de dépression saisonnière (tous plus élevés chez les yeux bleus), ou encore la rapidité du traitement de l'information ou la réactivité sportive (plus élevées chez les yeux bruns). Il semble bien que, s'agissant de la couleur des yeux, au même titre qu'une forte amétropie, une calvitie, une insuffisance mammaire ou un nez asymétrique, la perception qu'une personne a de son propre physique ou du regard d'autrui puisse devenir la source d'une sérieuse frustration, voire d'une authentique souffrance, ou surtout être vécue comme une perte de chance affective, sociale et professionnelle très inégalitaire.

La pertinence de cette demande esthétique n'est donc probablement pas du ressort du médecin. Tout au plus le praticien peut-il s'efforcer d'appréhender avec autant d'empathie que possible la motivation du patient et ses ressorts psychologiques sous-jacents. Le médecin peut, plus rarement, détecter une pathologie psychiatrique lourde afin de tenter de prévenir des actes relevant d'une automutilation, telle que par exemple l'auto-injection d'encre de tatouage dans la chambre antérieure [8]. Il a également le devoir d'informer son patient de l'état de la science et des techniques médicales dans

ce domaine, en restant le gardien intransigeant de la santé oculaire de celles ou ceux qui lui font confiance.

Les lentilles de contact colorées

Après un engouement mondial certain dans les années 1990, lancé par des produits innovants phares (Durasoft 3 Colors line de Wesley Jessen ou Mystique line de CooperVision) et amplifié par la mise à disposition de gammes jetables, la prescription de ces lentilles a régressé pour se stabiliser aujourd'hui autour de 1 milliard de dollars en volume (10 % du marché total des lentilles environ). De nombreuses firmes (Johnson & Johnson, Novartis, Bausch Health, CooperVision, Ciba Vision, Menicon, Sauflon) se partagent aujourd'hui ce marché et rivalisent de créativité, comme pour les produits de maquillage, en déclinant leur gamme selon 3 modalités de transparence et donc de naturel (*visibility tint*, *enhancement tint*, *opaque tint*). Les couleurs disponibles sont très variées (*hazel*, *green*, *blue*, *violet*, *amethyst*, *brown*, *grey*, *custom*).

Les problèmes rencontrés par ce segment de marché ont été liés au contexte favorisant un usage contactologique non médicalisé (achat direct en magasin de beauté ou sur les marchés, contrefaçons, échanges entre utilisateurs, usage occasionnel et festif…) et l'augmentation des complications infectieuses sévères [9]. Dans une étude récente, sur une dizaine de cas d'infections sévères liées à des lentilles colorées, 7 avaient été achetées dans un magasin d'optique illégal, 5 avaient été partagées avec des amis, 1 avait été récupérée dans une poubelle. L'acuité finale était inférieure à 3/10 dans 2/3 des cas [10]. Dans une étude cas-contrôle, les porteurs de lentilles de contact cosmétiques avaient un risque d'infection 16,5 fois plus élevé que ceux portant des lentilles réfractives et les lentilles colorées étaient en cause dans 12,5 % de toutes les infections cornéennes admises dans 12 hôpitaux universitaires français [11]. Dans une autre étude sud-coréenne, ces lentilles cosmétiques étaient en cause dans 42,1 % des cas d'infection admis dans 22 institutions ophtalmologiques privées ou publiques [12].

En dehors des risques infectieux, le concept et la technologie des lentilles colorées ne sont pas sans inconvénients visuels. Plusieurs méthodes de coloration sont utilisées (dispersion de colorant, impression, liaison chimique, teinte dans la masse, lamination, peinture de la surface arrière) avec des possibilités non négligeables de fuite de colorant, même en cas de lamination. Des limitations de la fonction visuelle sont aussi habituelles et inévitables (champ visuel réduit, flou périphérique, aberrations d'ordre supérieur et perte de sensibilité au contraste).

Malgré ces limites, l'adoption des lentilles de contact colorées est toujours particulièrement importante en Asie (Taïwan, Corée, Singapour, Malaisie, Thaïlande, Hong Kong et Chine) et concerne entre 24 % des porteurs de lentilles à Taïwan et 39 % à Singapour.

La dépigmentation au laser de l'iris

Cette approche développée par le Dr Greg Homern, fondateur en 2009 en Californie de la société Stroma Medical Corp., repose sur un principe assez simple mais dont l'innocuité à court et long termes n'a pour l'instant pas été confirmée par des études cliniques publiées dans des revues à comité de lecture, ni par des études cliniques approuvées par des organismes gouvernementaux. Fondamentalement, l'iris brun est en fait un iris bleu masqué par une très fine couche de mélanine antérieure. Ce pigment empêche la lumière de pénétrer dans le stroma irien et de "bénéficier" de l'effet Rayleigh décrit plus haut.

Le traitement de la fine couche pigmentée en surface du stroma irien par des impacts de laser disruptif Q *switched* Nd:YAG (532 nm doublé) de faible énergie (900 um, 0,8 à 1,5 mJ, 1 à 3 séances) entraîne une photo-destruction sélective des mélanosomes intracytoplasmiques, dont les granules de mélanine absorbent l'énergie du laser selon le principe de la photothermolyse sélective. Ce principe est comparable à celui du traitement du trabéculum par le laser SLT, une technique largement diffusée et acceptée en raison de son bénéfice pressionnel dans le traitement du glaucome.

Le pigment lui-même n'est pas ablaté ou détruit par le laser mais simplement dispersé et les discontinuités induites par le laser suffisent à perméabiliser la couche mélanique pour la lumière incidente. La lumière pénétrant dans les fines fibres stromales antérieures n'est alors réfléchie que pour ses plus courtes longueurs d'onde (dans la partie bleue du spectre coloré), donnant un aspect bleu-vert variable avec la lumière incidente pour les observateurs.

La procédure prend une vingtaine de secondes mais le changement de couleur apparent n'intervient qu'en 4 semaines environ. La récupération est immédiate, sans effet notable sur la vision. La couleur résultant du traitement est relativement univoque (bleu-vert assez pâle) avec des variations mineures imputées au terrain pigmentaire personnel et familial du patient.

Une étude expérimentale sur 12 lapins pigmentés a montré des résultats probants sur la couleur sans complication apparente sérieuse (inflammation modérée et transitoire). Une seule publication d'un cas traité chez l'homme pour une hétérochromie sectorielle de l'iris est disponible à ce jour. Le traitement a comporté une préparation préopératoire par pilocarpine 2 % topique et népafénac topique, suivie d'un protocole de 3 séances consécutives sur 3 jours par le laser Nd:YAG 532 nm doublé, répété 1 mois plus tard. Cette étude rapporte une efficacité comparable et l'absence de complication.

Le site de la compagnie Stroma Medical Corp. fait état de 37 patients traités au Mexique, au Costa Rica et à Puerto Rico, et d'une étude en cours sur 200 patients, sans pour autant annoncer une prochaine homologation FDA (*Food and Drug Abministration*, États-Unis) ou CE (Communauté européenne). Les études en cours ont pour objet de valider l'absence de complication à court et long termes, par exemple l'inflammation, la sensibilité à la lumière ou la cataracte. Le risque théorique de dispersion pigmentaire et de glaucome secondaire induit par la procédure a été évoqué tout particulièrement. Contrairement à l'abrasion du très épais feuillet pigmentaire irien postérieur liée à une malposition de la zonule cristallinienne, il semble que la photodisruption de la très fine couche mélanique stromale antérieure n'entraîne pas de dispersion significative et que la résorption progressive du pigment ainsi libéré ne soit pas de nature à obstruer le trabéculum.

Les sites internet commerciaux de différentes cliniques dans le monde (par exemple NewEyes de Clínica EyeCos à Barcelone, Espagne ou Mantis à Istanbul, Turquie) rapportent des séries de près de 1 000 patients traités depuis plusieurs années avec des succès "constants" et l'absence de complication notable (***fig. 2***). Aux États-Unis, Stroma Medical Corp. a lancé son développement sur la base de projections financières faisant état d'un potentiel de 2,34 millions de patients par an et d'un revenu médical de 10,5 milliards de dollars. En 2015, l'*American Academy of Ophthalmology* a lancé un avertissement consommateur notant que la méthode devait faire l'objet d'études cliniques sérieuses pour pouvoir en déterminer les risques à long terme, notamment concernant la possibilité de glaucome pigmentaire ou d'uvéite.

Les implants iriens colorés à appui angulaire

Les implants iriens colorés NewIris (Kahn Medical Devices, Panama City, Panama, kahnmedical.com) ont été introduits

Fig. 2 : Laser irien, avant et après (source : EyeCos, Barcelone).

et brevetés en 2004 [13, 14] et étaient destinés à l'origine aux patients atteints de colobome. Les implants NewIris sont des disques de silicone très fins (15 mm de diamètre sur 0,16 mm d'épaisseur avec une ouverture centrale de 3,5 mm) munis de picots périphériques permettant un positionnement à la face antérieure de l'iris naturel et un appui angulaire. Ils sont disponibles en 3 couleurs.

Leur usage médical a été étendu aux cas d'aniridie, d'hétérochromie ou d'albinisme (notamment pour cette dernière indication dans des ethnies panaméennes Kuna et Embera présentant une très forte prévalence de l'albinisme oculaire). Ces implants ont été par la suite plus largement diffusés, à partir de 2009, au moyen de campagnes de publicité en ligne et télévisées, avec la promesse d'un changement de la couleur des yeux efficace et sûr permettant d'éviter les contraintes et les risques du port de lentilles cosmétiques (www.newcoloriris.com, kahnmedical.com).

Ces implants n'ont pas été approuvés par la FDA aux États-Unis et n'ont pas obtenu le marquage CE en Europe. Cependant, les implants NewIris ont été commercialisés par l'intermédiaire d'agents implantés dans différents pays (newcoloriris.com à New York, novacordairis.com au Brésil, newiris.de en Allemagne), au moyen de solutions de tourisme médical vers des pays n'ayant pas interdit cette méthode.

L'innocuité de ces implants a été rapidement mise en cause. Une étude pilote présentée à l'Académie américaine d'ophtalmologie en 2004 faisait état de 8,6 % d'explantation pour des problème mineurs ou réversibles au terme d'un suivi de 8 mois. Depuis, de nombreuses publications ont révélé des complications sévères et fréquentes : uvéite, glaucome, œdème cornéen [15] et perte bilatérale irréversible de la vision [16]. La fréquence de ces complications a été également étayée par de nombreux témoignages de patients sur les réseaux sociaux. Le glaucome semble la complication la plus fréquente et la plus grave. Sur 128 cas rapportés entre 2008 et 2016, 59 ont développé un glaucome secondaire avec des pressions parfois extrêmes (68 mmHg). Par ailleurs, 44 ont développé une perte endothéliale cornéenne sévère, aboutissant dans de nombreux cas à un œdème cornéen [17].

Les mécanismes en cause sont classiques et confirmés par l'analyse en échographie de très haute fréquence UBM [18] ou OCT (***fig. 3***) :
– l'appui angulaire entraînant une inflammation chronique avec la formation de goniosynéchies progressives ;
– le contact irien d'une surface irrégulière entraînant une dispersion pigmentaire ;
– le contact entre la périphérie de l'implant et l'anneau de Schwalbe entraînant une perte endothéliale progressive par migration de remplacement.

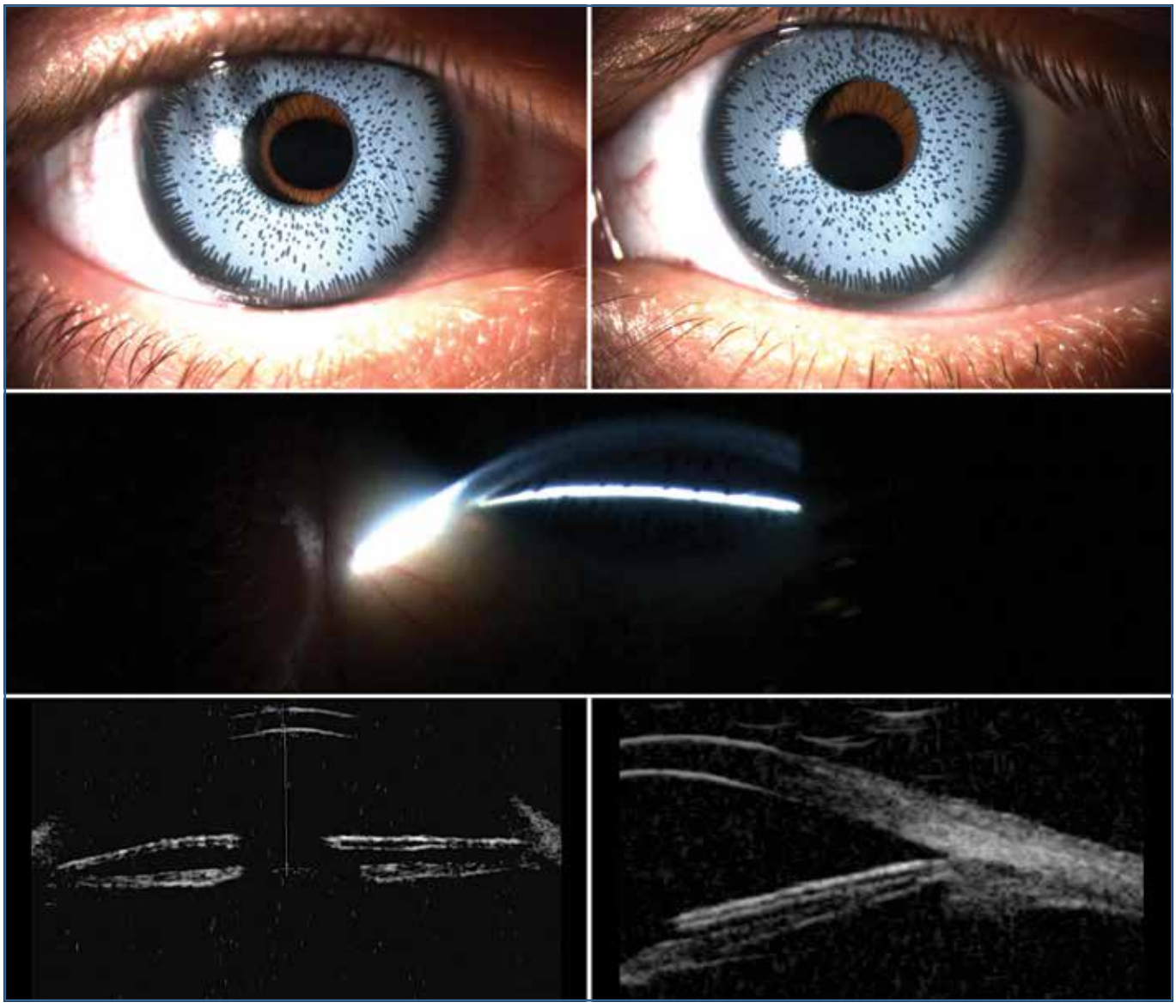


Fig. 3 : Implants NewIris, aspect biomicroscopique et UBM (source : P. Koskas et M. Assouline, Paris).

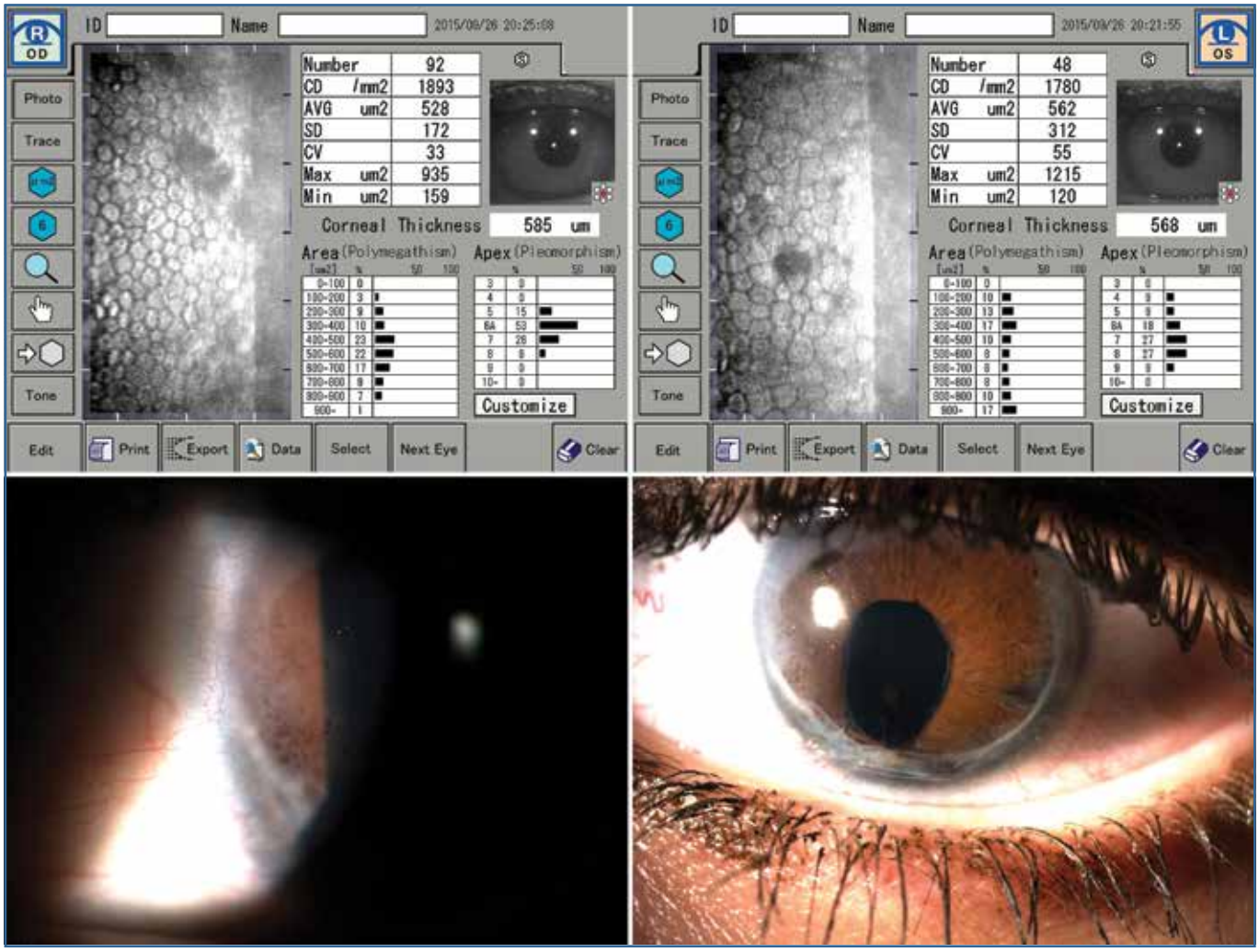


Fig. 4 : Syndrome UGH post-implants NewIris (source : M. Assouline, Paris).

D'autres complications liées au syndrome UGH (uvéite, glaucome, hyphéma) classique [19] ont été également observées (hyphéma, hémorragie suprachoroïdienne, lésions iriennes, ***fig. 4***).

La technique d'explantation actuelle consiste à pratiquer sous protection viscoélastique 2 incisions radiaires partielle du côté distal de la pupille d'entrée, permettant de tracter la languette ainsi formée dans la chambre antérieure afin d'extraire l'implant de façon continue au travers d'une incision de 3,2 à 4 mm [20]. Il semble donc très important que tous les ophtalmologistes puissent à présent informer les patients déjà opérés de la nécessité impérative de retirer ces implants au plus vite afin d'éviter le risque réel de complications irréversibles et cécitantes, et également de convaincre les candidats potentiels, s'il en reste encore, de renoncer à cette méthode (***fig. 5***).

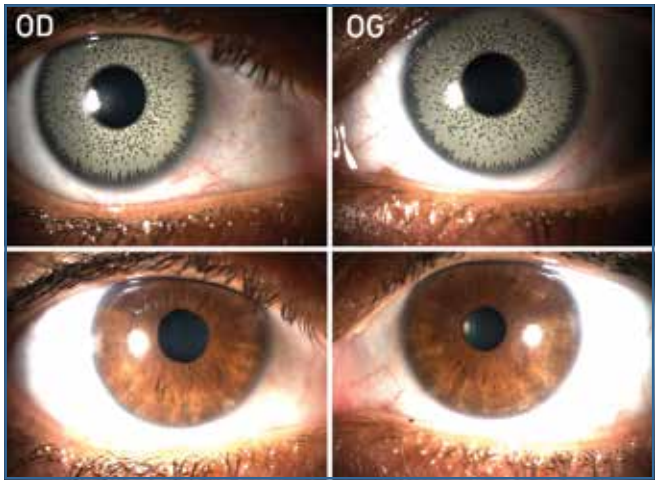


Fig. 5 : Ablation d'implants NewIris (source : M. Assouline, Paris). **En haut :** pré-ablation, 5 mai 2015. **En bas :** post-ablation, 22 décembre 2015.

La kératopigmentation annulaire réparatrice

Le tatouage cornéen réparateur (*keratography*, *corneal dermatography*) est une approche pratiquée depuis l'antiquité. Galien de Pergame en 150 av. J.-C. et Aetius en 450 av. J.-C. utilisaient déjà la cautérisation de la cornée et un tatouage à base de poudre de noix de Galle et de fer ou de sulfate de cuivre. Une publication de 1873 faisait déjà état d'un nouvel instrument pour cet usage [21] ! Un essor de la méthode dans les années 1960 lié à l'usage du chlorure de palladium [22, 23] a été suivi d'une systématisation technique [24, 25]. La kératopigmentation réparatrice a été depuis largement utilisée avec des pigments sombres ou colorés [24, 26, 27], dans un but de réhabilitation cosmétique et optique afin de masquer une leucocorie (pupille blanche inesthétique) ou pour restaurer une discontinuité irienne périphérique (iridotomie sectorielle chirurgicale ou traumatique) responsable de photophobie [28, 29] (***fig. 6***).

Les indications actuelles sont actuellement diversifiées :
– les leucomes ;
– les leucocories ;
– les albinismes ;
– les aniridies ;
– les colobomes ;
– les iridodialyses ;
– les mydriases aréflexiques du syndrome d'Urrets-Zavalia [30] ;
– l'atrophie essentielle de l'iris [31] ;
– les grandes iridectomies avec photophobie [32] ;
– les pertes sectorielles traumatiques de l'iris ;
– les résections de dermoïdes du limbe après reconstruction lamellaire [33, 34] ;
– la diplopie strabique rebelle [35] ;
– la diplopie monoculaire invalidante [36].

La technique de kératopigmentation représente donc à la fois une correction esthétique (aspect de l'iris) et fonctionnelle (opacité du tatouage à la lumière). En dehors du traitement des leucomes, la kératopigmentation réparatrice consiste donc à corriger l'effet des défects iriens sans toucher à l'iris, par pigmentation de la cornée afin d'en pallier les conséquences esthétiques et fonctionnelles (gêne visuelle, photophobie), et constitue une alternative assez simple et sûre aux autres méthodes disponibles :
– lentilles colorées (iris peint) ;
– sutures si l'iris restant est suffisant (pupilloplastie, suspension irienne [37]) ;
– iris artificiel et anneaux sectoriels placés en position ciliaire ou capsulaire sur des implants cristalliniens pseudophaques [38].

Fig. 6 : Kératopigmentation réparatrice (source : M. Muraine et laboratoires Biotic Phocea).

Ces méthodes de kératopigmentation ont été mises en œuvre par dissection stromale lamellaire instrumentale manuelle, aérodissection [39], injecteur automatique [40, 41], dissection mécanisée [42] et plus récemment après abrasion au laser excimer de surface [43]. Le laser femtoseconde offre à présent un avantage incomparable en termes de précision de la profondeur et de la géométrie du plan lamellaire [30, 31, 44]. Des pigments très variés ont été employés : encre stérile [45], chlorure de platine [46], d'or [47] ou de palladium [22, 23], infusion de thé [48] et même greffon irien [49]. On utilise actuellement principalement des pigments minéraux micronisés commerciaux destinés au tatouage dermique, récemment homologués pour l'usage cornéen [44, 50, 51].

Malgré le relativement faible nombre global de cas rapportés, l'innocuité de cette approche thérapeutique semble *a priori* avoir été largement validée par les données expérimentales, confocales, ultramicroscopiques et surtout par l'épreuve du temps [41, 50, 52, 53]. De très rares effets indésirables ont été rapportés de façon anecdotique (communication personnelle du Pr Marc Muraine) :
– limitation du champ visuel périphérique lorsque la pupille d'entrée est trop étroite ;
– inefficacité esthétique dans les leucories lorsque la pupille d'entrée est insuffisamment étroite, du fait de la parallaxe dans le regard latéral ;
– Douleur oculaire ressentie par les patients chez lesquels un pigment contenant des substrats ferromagnétiques a été utilisé lors des examen IRM ;
– migration stromale du pigment (inhabituelle, minime et focale), traitée par photokératectomie thérapeutique (PTK) au laser excimer [54] ;
– changement de couleur des pigments [55].

Des complications plus graves de type kératite granulomateuse ont été exceptionnellement observées en Inde, peut être en relation avec la technique opératoire ou la source du pigment utilisé [56].

La kératopigmentation annulaire esthétique

Cette méthode, récemment développée par le Dr Francis Ferrari (Strasbourg [44, 57]) et évaluée par l'équipe du Dr Jorge Alio (Alicante [53]), consiste à appliquer un pigment coloré dans un tunnel circulaire intrastromal réalisé au laser femtoseconde. Initialement proposée en 2013 par le Dr Ferrari pour créer un effet sténopéïque (PresbyRing) afin d'augmenter la profondeur de champ pour la compensation de la presbytie, la méthode a été adaptée pour permettre d'effectuer un tatouage stromal cornéen cosmétique (***fig. 7***).

Dans la kératopigmentation annulaire esthétique, la tunellisation cornéenne au laser est identique à celle effectuée pour la mise en place de segments intracornéens dans le traitement du kératocône, mais avec une géométrie élargie autant que possible vers la périphérie cornéenne, en fonction du modèle de laser utilisé (9,5 à 10,5 mm). La profondeur de la dissection annulaire est de 225 μm. La zone centrale de 4,5 à 5,5 mm (actuellement 5 mm) n'est pas disséquée par le laser, afin de laisser une pupille d'entrée de taille suffisante. La zone périphérique peut être élargie vers la périphérie jusqu'à 0,5 mm du limbe manuellement, à l'aide de spatules droite et gauche conçues par le Dr Ferrari, en prenant soin de laisser une zone claire sur 12 h pour la réalisation éventuelle ultérieure d'une iridotomie au laser YAG.

Les pigments utilisés sont très variés. Les laboratoires Biotic Phocea commercialisent en exclusivité sur le marché français et européen des pigments colorés pour kératopigmentation (BioChromaEyes). Il s'agit de dispositifs médicaux agréés CEIIb ophtalmologiques pour le tatouage de la cornée. Les patients peuvent bénéficier d'une simulation digitale de l'aspect postopératoire, leur permettant de sélectionner l'une des nombreuses teintes disponibles [58].

Plus de 400 patients ont été opérés depuis 2013 par le Dr Ferrari à Strasbourg et à Paris, sans complications particulières en dehors de la sécheresse oculaire et d'éblouissements

Fig. 7 : Kératopigmentation cosmétique (source : F. Ferrari).

temporaires, habituels dans toute kératochirurgie. Les aspects cliniques postopératoires sont particulièrement démonstratifs même si, par analogie avec les lentilles colorées à iris peints opaques, les résultats cosmétiques ne sont pas toujours parfaitement naturels :
– insuffisance statique (périphérie, pupille) ou dynamique (myosis) laissant percevoir la couleur irienne d'origine notamment en fonction du contraste coloré (par exemple marge d'iris clair, contrastant avec la pupille noire et le tatouage bleu) ;
– persistance de l'anneau cornéen clair périphérique paralimbique ;
– pupille d'entrée trop large en cas de myosis ;
– teinte opaque du tatouage ne présentant pas les qualités de transparence d'un segment antérieur normal.

La taille de la pupille d'entrée et la préservation d'une marge cornéenne claire paralimbique n'entravent pas la réalisation des examens d'imagerie diagnostique (rétinographie, OCT, gonioscopie). La topographie cornéenne et l'aberrométrie ne sont pas perturbées de façon significative par le traitement (***fig. 8***).

L'absence de réversibilité démontrée reste actuellement une préoccupation théorique et pratique qui exige un consentement parfaitement éclairé sur la base d'une information préopératoire approfondie. L'évolution technologique (par exemple par encapsulation de pigments) pourrait permettre une réversibilité chirurgicale acceptable [59]. Les études futures devraient donc confirmer à long terme l'acceptabilité et l'innocuité de cette approche de chirurgie oculo-esthétique afin de permettre éventuellement sa diffusion plus large.

Bibliographie

1. Lazaridis I, Patterson N, Mittnik A *et al*. Ancient human genomes suggest three ancestral populations for present-day Europeans (Supplementary Information 1). *Nature*, 2014;513:409-413.
2. Gründl M, Knoll S, Eisenmann-Klein M *et al*. The blue-eyes stereotype: do eye color, pupil diameter, and scleral color affect attractiveness? *Aesthetic Plast Surg*, 2012;36:234-240.
3. Laeng B, Mathisen R, Johnsen JA. Why do blue-eyed men prefer women with the same eye color? *Behav Ecol Sociobiol*, 2007;61:371-384.
4. Johnston DW. Physical appearance and wages: Do blondes have more fun? *Economics Letters*, 2010;108:10-12.
5. Headley CW. People with this eye color make the most money, October 8, 2019. www.theladders.com/career-advice/people-with-this-eye-color-make-the-most-money
6. Forti IR, Young RJ. Human commercial models' eye colour shows negative frequency-dependent selection. *PLoS One*, 2016;11:e0168458.
7. Little AC, Penton-Voak IS, Burt DM *et al*. Investigating an imprinting like phenomenon in humans: partners and opposite-sex parents have similar hair and eye colour. *Evol Hum Behav*, 2003;24:43-51.

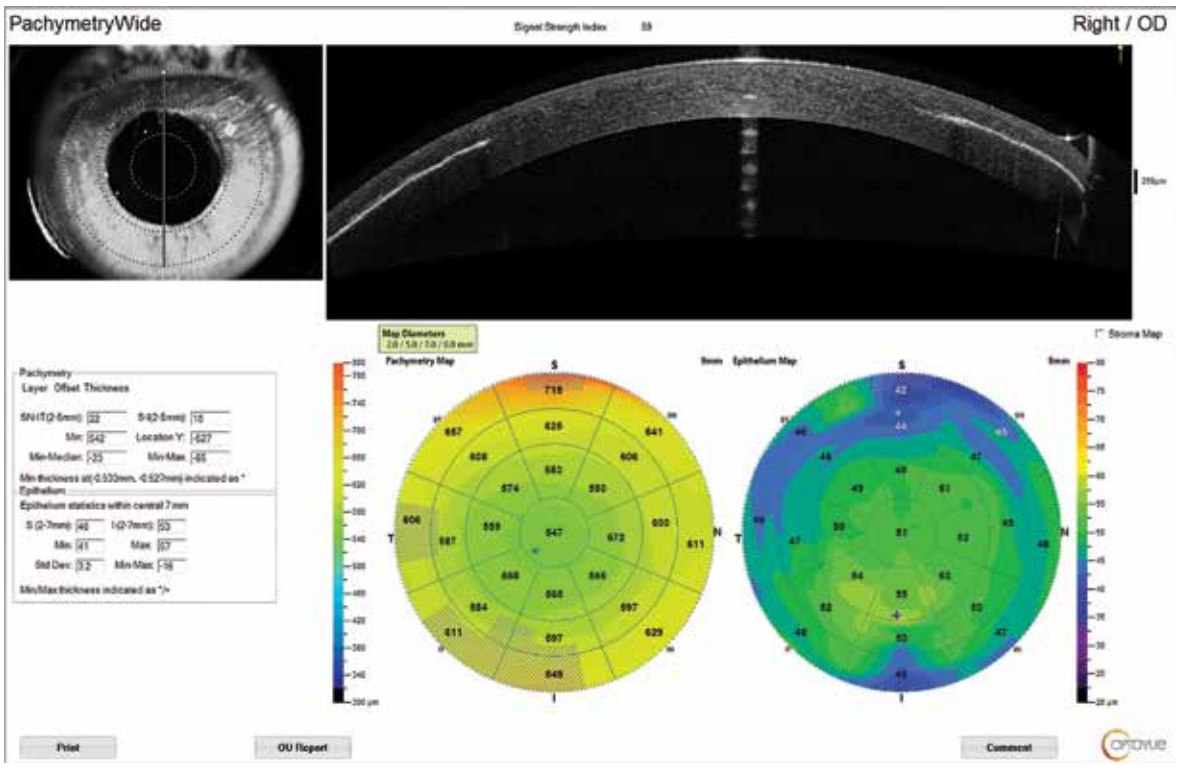


Fig. 8 : Kératopigmentation cosmétique : OCT cornéen (source F. Ferrari).

8. Paulo JD, Turizo JCM, Carrasquilla DCM *et al*. Self-inflicted injection of tattoo ink in the anterior chamber: a failed attempt to change the color of the eyes. *Digit J Ophthalmol*, 2018;24:10-12.
9. Lim CHL, Stapleton F, Mehta JS. A review of cosmetic contact lens infections. *Eye*, 2019;33:78-86.
10. Singh S, Satani D, Patel A *et al*. Colored cosmetic contact lenses: an unsafe trend in the younger generation. *Cornea*, 2012;31:777-779.
11. Bourcier T, Sauer A. Cosmetic contact lenses related microbial keratitis as a foreseeable disaster: a prospective study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2010;51:2884-2884.
12. Kim JH, Song JS, Hyon JY *et al*. A survey of contact lens-related complications in Korea: the Korean Contact Lens Study Society. *J Korean Ophthalmol Soc*, 2014;55:20-31.
13. Kahn D. Artificial iris diaphragm implant (NewIris): Report of first patients. Abstract. X Keratomileusis Study Group International Congress. Symposium of new techniques and technologies, 2004.
14. Kahn D. Artificial iris diaphragm implant. US Pat. Pub. #US2004-0153148. A1 United States Patent and Trademark Office, 2004.
15. Garcia-Pous M, Udaondo P, Garcia-Delpech S *et al*. Acute endothelial failure after cosmetic iris implants (NewIris®). *Clin Ophthalmol*, 2011;5:721-723.
16. George M, Tsai JC, Loewen NA. Bilateral irreversible severe vision loss from cosmetic iris implants. *Am J Ophthalmol*, 2011;151:872-875.
17. Sikder S, Davis SW, Holz H *et al*. Complications of NewColorIris implantation in phakic eyes: a review. *Clin Ophthalmol*, 2011;5:435-438.
18. Koskas P, Assouline M. Étude UBM des complications des implants iriens colorés, à propos de 4 cas. Société française d'Ophtalmologie, mai 2016.
19. Arthur SN, Wright MM, Kramarevsky N *et al*. Uveitis-glaucoma-hyphema syndrome and corneal decompensation in association with cosmetic iris implants. *Am J Ophthalmol*, 2009;148:790-793.
20. Hull S, Jayaram H, Mearza AA. Complications and management of cosmetic anterior chamber iris implants. *Cont Lens Anterior Eye*, 2010;33:235-238.
21. Thomson W. An instrument for tattooing the cornea. *Trans Am Ophthalmol Soc*, 1873;2:86.
22. Tota G. [Tattooing of the cornea with palladium chloride]. *Boll Ocul*, 1965;44:45-54.
23. Fodor F. [Tatooing of the cornea using paladium chloride]. *Ber Zusammenkunft Dtsch Ophthalmol Ges*, 1972;71:236-237.
24. van der Velden/Samderubun EM, Kok JH. Dermatography as a modern treatment for coloring leucoma corneae. *Cornea*, 1994;13:349-353.
25. Schaller UC, van der Velden EM, Drost BH *et al*. [Keratography (corneal tattooing) in corneal leukoma]. *Ophthalmologe*, 2001;98:147-150.
26. Pickrell Kl, Edwards Bf, Broadbent Tr *et al*. Corneal tattoo for restoration of eye color. *Plast Reconstr Surg*, 1951;7:263-270.
27. Scassellati Sforzolini G. [On optico-cosmetic surgical treatment of large iris colobomas (colored corneal tattooing)]. *Boll Ocul*, 1965;44:89-96.
28. Mannis MJ, Eghbali K, Schwab IR. Keratopigmentation : a review of corneal tattooing. *Cornea*, 1999;18:633-637.
29. Rocher N, Hirst L, Renard G *et al*. [Corneal tattooing. A series of 14 case studies]. *J Fr Ophtalmol*, 2008;31:968-974.
30. Alió JL, Rodriguez AE, Toffaha BT *et al*. Femtosecond-assisted keratopigmentation for functional and cosmetic restoration in essential iris atrophy. *J Cataract Refract Surg*, 2011;37:1744-1747.
31. Alio JL, Rodriguez AE, Toffaha BT *et al*. Femtosecond-assisted keratopigmentation double tunnel technique in the management of a case of Urrets-Zavalia syndrome. *Cornea*, 2012;31:1071-1074.
32. Segal L, Choremis J, Mabon M. Intrastromal corneal tattooing for symptomatic iridotomies. *Br J Ophthalmol*, 2012;96:464-465.
33. Jacob S, Narasimhan S, Agarwal A *et al*. Combined interface tattooing and fibrin glue-assisted sutureless corneal resurfacing with donor lenticule obtained from small-incision lenticule extraction for limbal dermoid. *J Cataract Refract Surg*, 2017;43:1371-1375.
34. Jeong J, Song YJ, Jung SI *et al*. New surgical approach for limbal dermoids in children: simple excision, corneal tattooing, and sutureless limboconjunctival autograft. *Cornea*, 2015;34:720-723.
35. Laria C, Alió JL, Piñero DN. Intrastromal corneal tattooing as treatment in a case of intractable strabismic diplopia (double binocular vision). *Binocul Vis Strabismus Q*, 2010;25:238-242.
36. Reed JW, Beran RF. Elimination of monocular diplopia by corneal tattooing. *Ophthalmic Surg*, 1988;19:437-439.
37. Lian RR, Siepser SB, Afshari NA. Iris reconstruction suturing techniques. *Curr Opin Ophthalmol*, 2020;31:43-49.
38. Weissbart SB, Ayres BD. Management of aniridia and iris defects: an update on iris prosthesis options. *Curr Opin Ophthalmol*, 2016;27:244-249.
39. Jeong J, Lee HJ, Lee SH. Corneal tattooing method using dye injection into the anterior stroma infiltrated with small air bubbles. *Acta Ophthalmol*, 2013;91:e417-e418.
40. Wessels IF, Wessels GF. Mechanized keratomicropigmentation: corneal tattooing with the blepharopigmentor. *Ophthalmic Surg Lasers*, 1996;27:25-28.
41. Rodriguez AE, Amesty MA, El Bahrawy M *et al*. Superficial automated keratopigmentation for iris and pupil simulation using micronized mineral pigments and a new puncturing device: experimental study. *Cornea*, 2017;36:1069-1075.
42. Fogla R, Gupta A, Indumathy TR. Microkeratome-assisted corneal tattooing: a case report. *Cornea*, 2010;29:446-448.
43. Anastas CN, McGhee CN, Webber SK *et al*. Corneal tattooing revisited: excimer laser in the treatment of unsightly leucomata. *Aust N Z J Ophthalmol*, 1995;23:227-230.
44. Ferrari F, Letsch J, Morin L *et al*. [Annular keratopigmentation (Presby-Ring®) for treating presbyopia: postmortem animal feasibility study]. *J Fr Ophtalmol*, 2013;36:481-487.
45. Gupta D, Broadway D. Cost-effective tattooing: the use of sterile ink for corneal tattooing after complicated peripheral iridotomies: an alternative to expensive salts. *J Glaucoma*, 2010;19:566-567.
46. Banaji BP. Tattooing of the cornea with platinum chloride solution for leucoma. *Ind Med Gaz*, 1929;64:201.
47. Duggan JN, Nanavati BP. Tattooing of corneal opacity with gold and platinum chloride. *Br J Ophthalmol*, 1936;20:419-425.
48. Kuo IC, Falco M, Olmedo A *et al*. Corneal tattoo with tea infusion. *Food Chem Toxicol*, 2008;46:2303-2305.
49. Paufique L, Durand L. [Tattooing with intracorneal iris graft (preliminary note)]. *Bull Soc Ophtalmol Fr*, 1970;70:234-237.
50. Alio JL, Al-Shymali O, Amesty MA *et al*. Keratopigmentation with micronised mineral pigments: complications and outcomes in a series of 234 eyes. *Br J Ophthalmol*, 2018;102:742-747.
51. Hirsbein D, Gardea E, Brasseur G *et al*. [Corneal tattooing for iris defects]. *J Fr Ophtalmol*, 2008;31:155-164.
52. Amesty MA, Rodriguez AE, Hernández E *et al*. Tolerance of micronized mineral pigments for intrastromal keratopigmentation: a histopathology and immunopathology experimental study. *Cornea*, 2016;35:1199-1205.
53. Al-Shymali O, Rodriguez AE, Amesty MA *et al*. Superficial keratopigmentation: an alternative solution for patients with cosmetically or functionally impaired eyes. *Cornea*, 2019;38:54-61.
54. Cronin KM, Meyer JC, Walter KA. Phototherapeutic keratectomy for treatment of long-term dye migration after corneal tattooing. *Arch Ophthalmol*, 2012;130:655-656.
55. Calas E, Gueudry J, Muraine M. Severe color change in corneal tattoos: Report of 3 cases. *J Fr Ophtalmol*, 2018;41:e469-e475.
56. Sharma A, Gupta P, Dogra MR *et al*. Granulomatous keratitis following corneal tattooing. *Indian J Ophthalmol*, 2003;51:265-267.
57. Ferrari F, Morin L. [Description of a new method of changing eye color: case report of aesthetic annular keratopigmentation (AAK)]. *J Fr Ophtalmol*, 2015;38:e3.
58. Ayoub T, Flynn TH. Digital photo-editing in preoperative counselling for cosmetic corneal tattooing. *Eye*, 2019;33:1353-1354.
59. Assouline M *et al*. European Patent Filing #17162751, March 2017.

L'auteur mentionne un lien d'intérêt avec la Clinique de la Vision, Paris, est co-détenteur d'un brevet européen relatif à l'encapsulation de pigment à visée intrastromale cornéenne et n'a pas d'autres conflits d'intérêts avec l'un des produits cités dans cet article.

P. LEVY
Clinique de la Vision – Groupe Visya,
Centre Ophtalmologique des Arceaux, MONTPELLIER.
levy.pierre34@gmail.com

L'implant phaque ICL en 2020 : état de l'art et perspectives d'avenir

Les implants phaques permettent, dans de nombreuses situations où la chirurgie réfractive au laser n'est pas indiquée, d'apporter une solution pertinente à des patients devenus le plus souvent intolérants au port de lentilles et dont un certain nombre d'entre eux, du fait d'une amétropie forte, sont avec leur équipement lunettes au stade du handicap visuel. Ils ont connu un regain d'intérêt depuis que les limites de la chirurgie réfractive par laser ont été mieux cernées, limites qui peuvent être aussi bien liées à des facteurs anatomiques témoignant d'une fragilité potentielle de la cornée qu'à des facteurs visuels quantitatifs ou qualitatifs ou enfin à un contexte, de plus en plus souvent rencontré, de sécheresse oculaire préoccupante.

L'implant ICL a beaucoup évolué depuis sa création, tant au niveau du matériel que du design. Les moyens d'exploration du segment antérieur ont eux aussi beaucoup évolué et sont d'une aide importante dans le choix de la taille de l'implant, qui reste la problématique majeure. Cet article, basé sur une expérience personnelle de plus de 20 ans de l'implant phaque postérieur ICL et sur l'analyse de la littérature, va tenter de faire le point sur l'état actuel de l'implant phaque ICL en 2020 et sur ses perspectives d'avenir.

Matériau, évolution du design et recul

L'implant Visian ICL STAAR a été développé dans les années 1990, d'abord avec un matériau silicone puis, à partir de 1996, en Collamer (matériau propriétaire du laboratoire STAAR composé de 99 % d'HEMA et 1 % de collagène porcin). Cet implant a le marquage CE (Communauté européenne) depuis plus de 20 ans et FDA (*Food and Drug Administration*) depuis 14 ans. L'implant ICL est l'implant phaque sur lequel nous avons le plus de recul, notamment au niveau du matériau qui n'a pas changé depuis 1996 et pour lequel nous avons l'assurance d'une biocompatibilité parfaite.

Si les premières versions de l'ICL (V1 et V2) étaient reconnues comme étant pourvoyeuses de cataracte pour un certain nombre de patients [1], le tournant sécuritaire de l'implant a eu lieu en 2011 avec la version V4c qui est munie d'un trou central de 0,360 mm (uniquement dans les versions myopique et astigmatisme myopique), permettant une circulation plus physiologique de l'humeur aqueuse et entraînant de ce fait un taux quasi négligeable d'opacifications cristalliniennes et de cataractes. La version la plus récente est la version V5 (2016) qui augmente encore la taille de zone optique efficace par rapport à la version V4c.

Actuellement, plus d'1 million d'implants ICL ont été posés dans le monde, ce chiffre ayant été atteint en avril 2019, et plus de 500 000 implants posés sont des implants de dernières générations (V4c et V5) avec Aquaport (orifice central).

Les possibilités actuelles d'optimisation du *sizing* : méthode classique et apport des nouvelles techniques

Les technologies ont beaucoup évolué et nous disposons actuellement de l'UBM (*ultrasound biomicroscopy*) et des OCT de segment antérieur qui sont des aides importantes dans l'indication opératoire et dans le choix de la taille de l'implant posé, sachant que le *sizing* de l'implant reste un point crucial dans l'optique d'une évolution postopératoire sereine. Le *sizing* de l'implant est le facteur principal qui influencera le *vaulting* postopératoire et nous savons que l'obtention d'un *vaulting* non idéal est pourvoyeuse des principaux problèmes postopératoires que l'on peut rencontrer avec un ICL :
– imprécisions réfractives postopératoires ;
– apparition de complications postopératoires : opacifications capsulaires, cataractes, dispersion pigmentaire ;
– nécessité de réintervention.

Il est admis aujourd'hui que le *vaulting* idéal est compris entre 400 et 550 μm et que le *vaulting* à risque de complications est < 250 ou > 800 μm.

1. Méthode conventionnelle de détermination de la taille de l'implant

La détermination de la taille de l'implant telle qu'elle fonctionne actuellement sur le calculateur en ligne du laboratoire STAAR est dépendante de deux facteurs, la profondeur de la chambre antérieure (PCA) depuis l'endothélium et la mesure du blanc à blanc horizontal, ces deux valeurs étant mesurées à partir de l'Orbscan qui est l'appareil de référence. Si la mesure de la PCA est assez reproductible d'un appareil à l'autre et influence finalement assez peu la taille de l'implant, il n'en est pas de même avec la mesure du blanc à blanc horizontal. Certaines réserves concernant la mesure du blanc à blanc sont à apporter :

>>> La mesure fournie par l'Orbscan est une mesure automatique qu'il convient de vérifier manuellement, il n'est pas rare que la mesure soit optimisable. En tout état de cause, il semble important de répéter au moins 2 fois cette mesure afin de s'assurer de sa reproductibilité et de la comparer à d'autres mesures réalisées sur différents instruments de mesure.

>>> L'Orbscan est un appareil en fin de cycle et ne sera pas renouvelé. Nous en serons donc privés à moyen voire court terme. Il existe d'autres appareils capables de mesurer un blanc à blanc, mais avec des valeurs parfois sensiblement différentes. Il est donc important de connaître la valeur "Orbscan" du blanc à blanc à renseigner dans le calculateur à partir des mesures faites par un autre appareil. Le plus précis semble être de connaître le correctif que l'on doit utiliser, pour que les mesures faites avec un autre appareil que l'Orbscan puissent être réajustées.

À la Clinique de la Vision de Montpellier, B. Braunsteffer a réalisé un comparatif sur 100 mesures faites conjointement avec l'OCT MS-39 CSO de Medical DevEyes et avec l'Orbscan. Nous savons aujourd'hui que le correctif à adopter lorsque nous utilisons les valeurs du MS-39 est de rajouter 0,08 mm à la valeur du blanc à blanc et 0,12 mm à la valeur de la PCA. Ces correctifs seront utilisés lors de l'implémentation des données dans le calculateur en ligne STAAR.

2. Apport de l'UBM

L'UBM 50 MHz est utilisé depuis environ une dizaine d'années. Cette technologie a suscité de grands espoirs car il était enfin possible d'accéder visuellement à l'espace ciliaire dans lequel l'implant vient se loger et donc de mesurer la distance de sulcus à sulcus (STS). Il est classique de dire qu'il faut utiliser la mesure du STS majorée de 1 mm pour obtenir la taille idéale de l'implant, en arrondissant à la valeur supérieure en cas de myopie et inférieure en cas d'hypermétropie.

Il s'avère en fait à l'usage que cet examen est long à réaliser, peu agréable pour le patient, très opérateur-dépendant, avec une répétabilité médiocre et une importante subjectivité des résultats. La méta-analyse de 2016 [2] montre qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative dans le résultat du *vaulting* postopératoire avec la méthode conventionnelle et la mesure du STS avec l'UBM. Avec ces 2 méthodes, environ 20 % des cas présentent un *vaulting* en dehors des critères acceptables.

3. Apport de de l'OCT de segment antérieur

Il est aujourd'hui essentiel, aussi bien dans le diagnostic d'opérabilité que dans la détermination optimale de la taille de l'implant.

>>> Diagnostic d'opérabilité

L'OCT de segment antérieur est capable de renseigner des points clés afin de déterminer la faisabilité de la pose d'un implant ICL :
– mesure reproductible de la PCA qui doit être ≥ 2,80 mm ;
– mesure de la flèche cristallinienne qui doit être < 600 μm ;
– mesure des angles iridocornéens qui doivent être > 35°.

>>> Apport de l'OCT dans l'optimisation du *sizing*

L'OCT de segment antérieur est un examen rapide, non invasif, reproductible, avec une excellente répétabilité. De plus, les mesures des différents paramètres sont souvent automatisées. Il existe aujourd'hui des formules de calcul afin d'optimiser le choix de la taille de l'implant ICL que l'on va poser.

Cela a un double intérêt : premièrement, lorsque le calculateur habituel montre que l'on est à la charnière entre 2 tailles d'implant (il arrive parfois que l'on bascule d'une taille à l'autre à 0,1 mm de différence au niveau de la mesure du blanc à blanc ou de la PCA). C'est une situation souvent embarrassante, il est alors intéressant de bénéficier d'autres méthodes de calcul qui permettent de se positionner sur la taille idéale de l'implant à poser. Deuxièmement, il n'est pas

rare d'avoir, avec la méthode conventionnelle de calcul du *sizing*, un résultat de *vaulting* non optimal : on parle de 20 % de résultats en dehors des critères acceptables. Le fait de pouvoir comparer la méthode conventionnelle avec les nouvelles méthodes issues de mesures réalisées avec un OCT de segment antérieur permet de largement diminuer ce chiffre.

Les 2 méthodes actuelles issues des mesures OCT reconnues comme étant fiables et reproductibles sont :
– la méthode ATA, qui prend en compte la mesure de la distance d'un angle iridocornéen à l'autre (*angle to angle*) : ICL size – ATA = + 0,5 ± 0,1 mm [3]. 100 % des cas avec la formule ATA + 0,5 présentent un *vaulting* postopératoire compris entre 250 et 750 μm ;
– la NK Formula, décrite par Nakamura en 2018 [4], qui prend en compte la distance éperon scléral à éperon scléral (ACW) et la mesure de la flèche cristallinienne (CLR), valeurs implémentées dans une formule de régression : taille de l'implant ICL = 4,321 + 0,710 X (ACW) + 0,655 X (CLR). Dans une étude personnelle présentée oralement à la SAFIR en 2019, cette formule a permis de diminuer le taux de *vaulting* non optimal de 24 % avec la méthode conventionnelle (42 yeux) à 7 % avec la NK Formula (42 yeux), les mesures ayant été réalisées avec l'OCT *spectral domain* MS-39.

Quels sont les avantages reconnus de l'implantation phaque et les résultats visuels obtenus ?

Nous avons à notre disposition de très nombreuses études cliniques internationales sur cet implant, notamment une méta-analyse parue en 2016, une revue de la littérature de 2018 et une étude multicentrique de la SAFIR qui a fait l'objet d'une communication orale en 2017 à la SAFIR. Pour répondre de façon factuelle à cette interrogation bien légitime, nous allons envisager 3 axes de réflexion qui sont : les avantages de l'implantation phaque en général, l'analyse quantitative des résultats visuels et l'analyse qualitative des résultats visuels.

1. Les avantages de l'implantation phaque en général

L'implantation phaque est la seule technique de chirurgie réfractive actuelle :
– qui soit additive donc réversible. L'explantation d'un implant phaque ICL, qu'elle soit précoce du fait d'un problème de *sizing* ou tardive dans le cadre d'une chirurgie de cataracte, ne pose techniquement aucun problème ;
– qui soit capable de traiter des amétropies fortes ;
– qui ne modifie ni la structure ni l'épaisseur de la cornée, n'entraînant alors aucune fragilisation cornéenne ;
– qui n'a pas ou très peu d'influence négative sur la sécheresse oculaire postopératoire ;
– qui ne modifie pas la forme de la cornée donc qui préserve la qualité de vision en n'induisant pratiquement pas de HOAs (*high order aberrations*) ;
– qui permet d'obtenir une zone optique efficace de grande taille dans les amétropies moyennes et fortes, ce qui permet de minimiser les phénomènes d'éblouissements nocturnes et de génération de HOAs, permettant de maintenir une bonne qualité de vision.

2. L'analyse quantitative des résultats visuels

Nous citons ici quelques-unes des études publiées, notamment les méta-analyses et revues de la littérature qui compilent les résultats de très nombreuses publications sur des nombres importants de patients.

>>> **Analyse de 16 publications internationales** évaluant l'acuité visuelle (AV) quantitative [5] de 1 023 yeux avec équivalent sphérique préopératoire de –9,81 D et suivi moyen de 13,7 mois. L'acuité visuelle moyenne sans correction est de 20/19 avec des chiffres allant de 20/12 à 20/27. La publication dans cette série avec le plus de recul est celle de Shimizu [6], qui analyse les résultats sur 5 ans de 64 yeux opérés et qui retrouve une acuité visuelle sans correction ≥ 10/10 chez 100 % des patients à 6 mois, 1 an et 3 ans et chez 85 % des patients à 5 ans. L'étude de la prédictibilité moyenne dans cette analyse de la littérature est de ± 0,50 D chez 90,8 % des patients (72 à 100 %) et de ± 1 D chez 98,7 % des patients (91,8 à 100 %). L'index d'efficacité moyen (rapport AV postopératoire non corrigée/AV préopératoire corrigée) de cette série de 1 023 yeux est de 1,04 (0,90 à 1,35).

>>> **L'étude multicentrique de la SAFIR 2017** [7] sur 5 ans chez le myope et sur 3 ans chez les hypermétropes retrouve des acuités visuelles binoculaires à pratiquement 10/10 dans les 2 groupes, stables dans le temps (***fig. 1***). L'équivalent sphérique moyen postopératoire est de –0,57 D dans le groupe des patients myopes et de 0,30 D chez les patients hypermétropes. L'index d'efficacité moyen est de 1,17 (les patients voient mieux sans correction en postopératoire qu'en préopératoire avec correction). Lorsque l'index de sécurité (rapport AV de loin postopératoire corrigée/AV de loin préopératoire corrigée) est supérieur à 1,

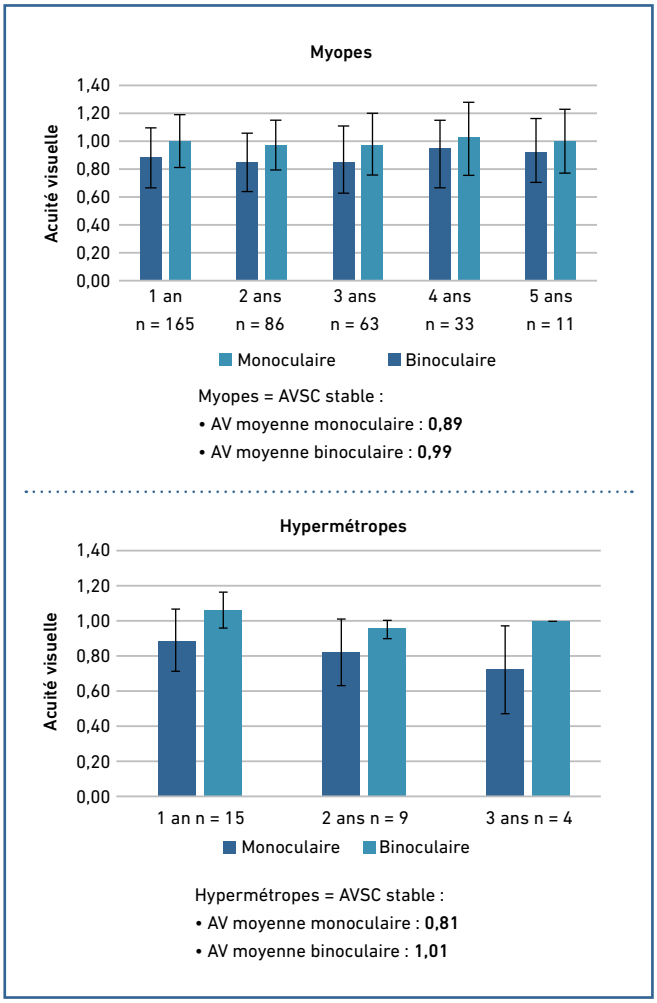


Fig. 1 : L'étude multicentrique de la SAFIR 2017 [7] sur 5 ans chez le myope et de 3 ans chez les hypermétropes retrouve des acuités visuelles (AV) binoculaires à pratiquement 10/10 dans les 2 groupes, stables dans le temps. AVSC : acuité visuelle sans correction.

cela témoigne d'un gain de meilleure acuité visuelle corrigée. Dans cette étude multicentrique, l'index de sécurité est > 1 (1,06).

>>> Une étude portant sur le recueil de 17 publications [2] avec évaluation de l'index de sécurité réfractive : 1 100 yeux analysés, équivalent sphérique préopératoire de –9,60 D et suivi moyen de 13,2 mois. L'étude retrouve un index de sécurité réfractive moyen de 1,15 (1,01 à 1,42) témoignant d'un gain de meilleure acuité visuelle corrigée.

L'analyse de toutes ces études montre des résultats réfractifs excellents, avec une très grande prédictibilité et sécurité réfractive stable dans le temps ce qui, au regard des amétropies traitées, est un élément de grande confiance.

3. L'analyse qualitative des résultats visuels

Plusieurs équipes internationales ont publié des résultats sur la qualité de vision post-ICL, cette notion de qualité de vision étant au centre de nos préoccupations. Nous en citerons quelques-unes.

>>> Analyse des phénomènes photiques postopératoires : dans l'étude d'Eom, 62,1 % des patients ont des éblouissements en postopératoire d'une durée moyenne de 3,0 ± 3,4 mois (1 à 12 mois) et 55,2 % des patients ont des halos d'une durée moyenne de 3,6 mois (1 à 12 mois) [8]. Dans l'étude de Liu, les résultats sont équivalents avec 54,8 % des patients qui ont des halos d'une durée moyenne de 3 mois [9]. Dans tous les cas, les phénomènes photiques sont spontanément résolutifs en quelques mois.

>>> Comparaison de la qualité de vision entre ICL et PKR (photokératectomie réfractive) [10, 11] **:** deux études retrouvent une meilleure sensibilité aux contrastes, moins d'induction de HOAs et moins de perturbations nocturnes avec les ICL en comparaison avec les patients ayant eu une PKR pour des myopies moyennes de –8 D.

>>> Comparaison entre ICL et Femto-Lasik par optique adaptative [12] **:** l'étude a montré des résultats supérieurs avec l'implant ICL en ce qui concerne la PSF (*point spread function*) et la sensibilité aux contrastes avec des différences significatives pour le groupe des patients à partir d'une myopie de –6 D.

>>> Analyse de la différence de qualité de vision entre ICL avec et sans trou central [13] **:** pas de différence de qualité de vision entre l'ICL avec et sans trou.

L'analyse de toutes ces études montre l'excellence de la qualité de vision obtenue avec les implants phaques ICL. Cela est lié à deux facteurs essentiels :
– la préservation de la prolacité de la cornée qui permet de ne pas générer de HOAs contrairement aux techniques par laser [14] ;
– la taille de la zone optique (ZO) efficace qui est bien plus grande après ICL qu'après une chirurgie par laser (taille de la ZO rapportée au plan cornéen de 7,6 mm pour une puissance d'implant ICL de –0,5 à –9 D, à comparer au 5 mm de ZO efficace obtenu pour un traitement laser programmé avec une ZO de 6,5 mm par Femto-Lasik) [15]. Si la zone optique est 9 % plus petite que la taille de la pupille, cela augmente de 50 % les HOAs induites par rapport à une zone optique de taille égale à celle de la pupille [16].

Quelles sont les complications actuelles ? Les implants phaques ICL sont-ils dangereux ?

Les complications peuvent être classées en plusieurs catégories : les interventions secondaires, les complications liées au *sizing* et les complications indépendantes du *sizing*.

1. Les interventions secondaires

L'étude de 28 publications [5] soit 2 970 yeux, avec un recul moyen de 16,7 mois, retrouve un taux de réintervention de 0,47 % (14 yeux) : 10 pour un réalignement d'implant torique, 2 pour des erreurs de taille d'implant, 1 décollement de rétine (DR) > 3 mois et 1 bloc pupillaire.

2. Les complications liées au *sizing*

>>> **Opacifications capsulaires et cataractes :** elles sont, en dehors du contact peropératoire avec le cristallin, liées à un *vault* insuffisant qui témoigne d'un *sizing* imprécis de l'implant. Si les taux étaient importants dans les versions antérieures à la version V4c (13,88 % de cataracte à 12 ans) [2], il n'en est plus de même aujourd'hui [17]. Le recueil de 10 publications avec 5 477 yeux suivis pendant 10 ans au minimum note des opacités sous-capsulaires antérieures isolées selon les publications entre 1,1 et 5,9 % et des taux de cataracte nécessitant une chirurgie entre 0 et 1,8 % [2]. Alfonso relève, sur 3 420 yeux avec un recul de 6 ± 2 ans, un taux de 0,61 % d'explantation avec un délai moyen de 4,2 ans. 70 % des cataractes avaient un ICL avec un *vaulting* < 100 µm et 30 % avec un *vaulting* < 270 µm [2]. Brar constate, avec les versions avec trou central, des taux de 0 % d'opacité et de 0 % de cataracte avec un suivi de 5 ans pour 342 yeux [18]. L'étude multicentrique de la SAFIR retrouve 1 cas de cataracte sur 586 yeux suivis (0,17 %) [7].

>>> **Dispersion pigmentaire et glaucome :** ces complications sont extrêmement rares. La plupart des syndromes de dispersion pigmentaire qui sont liés à un *vaulting* trop important ne s'accompagnent pas d'hypertonie. Par ailleurs les hypertonies, exceptionnelles, sont toujours médicalement contrôlées [19]. Sanders, sur 526 yeux, note 0,4 % des yeux nécessitant un traitement hypotonisant à 3 ans [2]. La revue de la littérature de Packer en 2018 rapporte 0 cas de glaucome par dispersion pigmentaire sur 1 905 yeux et 1 seul cas de bloc pupillaire par défaut de lavage du produit viscoélastique (PVE) [5]. L'étude multicentrique de la SAFIR retrouve une pression intraoculaire (PIO) stable sans différence significative entre pré- et postopératoire [7].

Il existe quelques publications faisant état de glaucome aigu par blocage [20], ces cas ont pratiquement tous disparu grâce au trou central qui rétablit le passage de l'humeur aqueuse. Seul persiste le risque de cette complication chez l'hypermétrope (dont l'implant est dépourvu d'orifice central) en cas d'iridotomies non fonctionnelles et chez tous les patients en postopératoire immédiat par défaut de lavage du PVE.

>>> **Pertes cellulaires endothéliales :** l'ensemble des études s'accorde à dire qu'il y a une perte cellulaire modérée comprise entre 6 et 8 % au moment de l'acte chirurgical, puis ensuite une perte physiologique. Citons l'étude rétrospective de Moya sur 12 ans qui retrouve une perte cellulaire la première année de 6,46 %, puis une perte annuelle physiologique dans les années suivantes de 1,2 % [1]. L'étude multicentrique de la SAFIR confirme ces résultats avec une perte de 5,98 % la première année suivie d'une stabilité [7].

3. Les complications indépendantes du *sizing*

>>> **Les endophtalmies :** elles sont beaucoup plus exceptionnelles que dans la chirurgie du cristallin et encore plus rares depuis l'introduction systématique des injections peropératoires de céfuroxime. Citons l'étude rétrospective multicentrique [21] auprès de 234 chirurgiens de 21 nations différentes qui rapporte, sur un total de 17 954 ICL posés entre 1998 et 2006, un taux d'endophtalmies de 0,0167 % (3 cas décrits). Notons que les 3 cas ont favorablement évolué sous traitement sans perte d'acuité visuelle rapportée. Notons enfin que cette étude datait d'une période où l'injection d'antibiotique intracamérulaire n'existait pas et que le taux actuel d'endophtalmies post-ICL est probablement divisé par un facteur 3 ou 5, comme c'est le cas avec la chirurgie du cristallin [22].

>>> **Les décollements de rétine :** s'agissant d'une population le plus souvent composée de forts myopes, l'incidence du DR n'est pas nulle. Citons l'étude publiée par Martinez-Castillo en 2005 qui étudie une cohorte de 16 DR du fort myope opéré par ICL. L'étude conclut à l'absence de relation de cause à effet entre les DR et l'implantation phaque [23]. Il existe de rares publications qui retrouvent des DR dans les suites immédiates de l'implantation phaque, notamment en cas de lésions rhegmatogènes préopératoires non traitées préventivement. Citons enfin le cas rapporté par l'équipe du Pr Touboul qui fait état d'un DR suite à un décollement postérieur du vitré (DPV) aigu postopératoire, sans lésion rhegmatogène préopératoire, et

ce malgré la photocoagulation d'une déchirure survenue dans les suites du DPV [24].

L'analyse des études de qualité de vie et de satisfaction des patients opérés

Il existe de très nombreuses études sur la satisfaction des patients et sur leur qualité de vie après ICL. Nous en citons quelques-unes : Kobashi a publié une étude comparative sur la satisfaction des patients après Lasik (–6,31 ± 2,20 D) et ICL (–9,97 ± 2,51). Les scores de satisfaction, de limitation dans les activités et de symptômes sont meilleurs dans le groupe des patients opérés par ICL [25]. L'étude de Yan [5] sur 32 patients opérés par ICL suivis sur 2 ans retrouve un score de satisfaction moyen de 9,27 ± 0,87 (8 à 10) et 100 % des patients qui recommanderaient l'intervention. L'étude du laboratoire STAAR sur 1 542 patients rapporte un pourcentage de 99,4 % des patients qui referaient l'intervention si nécessaire [26, 27].

Perspectives d'avenir

Il est très difficile d'avoir des renseignements précis sur les perspectives d'avenir. La seule chose dont on est certain est le lancement prochain d'un ICL prenant aussi en charge la presbytie. Il s'agit plus d'un concept d'implant à profondeur de champ de type asphérique que de multifocalité pure, cette solution réversible s'adressant plus particulièrement aux jeunes presbytes à condition qu'ils soient éligibles à la pose d'un ICL, donc qu'ils présentent une PCA ≥ 2,80 mm. Il semble que les cibles préférées seront les emmétropes et les myopes presbytes, sachant que les hypermétropes ont assez rarement une PCA compatible avec la pose d'un ICL.

On a souvent entendu parler d'un ICL préchargé, il semble que le projet ne soit plus d'actualité.

Il est possible que l'ICL soit développé avec des tailles intermédiaires qui viendraient s'ajouter aux tailles actuelles (12,1/12,6/13,2/13,7 pour l'ICL myope et 11,6/12,1/12,6/13,2 pour l'ICL hypermétrope).

Nous avons la certitude de perspectives d'avenir commerciales très florissantes pour la société STAAR. L'épidémie mondiale de myopie forte est actuellement à l'origine d'une croissance exceptionnelle du marché des implants ICL : en 2019, il y a eu une augmentation de près de 50 % des ventes d'ICL en Chine, au Japon et en Corée, qui sont les 3 plus grands marchés d'Asie.

Conclusion

La chirurgie par implant phaque ICL est aujourd'hui une chirurgie réfractive efficace et sûre. Les nouveaux moyens d'exploration comme l'OCT de segment antérieur permettent une précision accrue dans la décision d'opérabilité et dans le choix de taille de l'implant permettant un *vaulting* optimal, source de sécurité postopératoire.

Il ne s'agit pas de banaliser cette intervention, cela reste une technique qui demande une formation, qui requiert rigueur, dextérité et sang-froid, mais l'énorme recul que nous avons aujourd'hui et les très nombreuses études publiées doivent permettre de dédramatiser voire de dédiaboliser aujourd'hui cette technique chirurgicale, qui demeure en France le plus souvent indiquée en cas d'intolérance aux lentilles de contact et de contre-indications relatives ou absolues aux techniques de chirurgie réfractive par laser.

Bibliographie

1. Moya T, Javaloy J. Implantable collamer lens for myopia: assessment 12 years after implantation. *J Refract Surg*, 2015;31:548-556.
2. Packer M. Meta-analysis and review: effectiveness, safety, and central port design of the intraocular collamer lens. *Clin Ophthalmol*, 2016;10:1059-1077.
3. Alfonso Sanchez JF. Seven years of clinical experience with the EVO Visian ICL. Communication orale, STAAR meeting Expert Vienna, 2018.
4. Nakamura T, Isogai N, Kojima T. Implantable collamer lens sizing method based on swept-source anterior segment optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol*, 2018;187:99-107.
5. Packer M. The Implantable Collamer Lens with a central port: review of the literature. *Clin Ophthalmol*, 2018;12:2427-2438.
6. Shimizu K, Kamiya K, Igarashi A *et al*. Long term comparaison of posterior chamber Phakic intraocular lens with and without a central hole (Hole ICL and Conventional ICL) Implantation for moderate to high myopia and myopic astigmatism: consort-compliant article. *Medicine*, 2016;95:e3270.
7. Cassan A. Sécurité et stabilité des implants phaques de chambre postérieure de génération V4 : étude multicentrique. Communication orale, SAFIR, 2017.
8. Eom Y, Kim DW, Ryu D *et al*. Ring-shaped dysphotopsia associated with posterior chamber phakic implantable collamer lenses with a central hole. *Acta Ophthalmol*, 2017;95:e170-e178.
9. Liu T, Linghu S, Pan L *et al*. Effects of V4c-ICL implantation on myopic patients' vision-related daily activities. *J Ophthalmol*, 2016; 2016:5717932.
10. Schallhorn S, Tanzer D, Sanders DR *et al*. Randomized prospective comparison of visian toric implantable collamer lens and conventional photorefractive keratectomy for moderate to high myopic astigmatism. *J Refract Surg*, 2007;23:853-867.
11. Schallhorn S, Tanzer D, Sanders DR *et al*. Night driving simulation in a randomized prospective comparison of Visian toric implantable collamer lens and conventional PRK for moderate to high myopic astigmatism. *J Refract Surg*, 2010;26:321-326.

12. Pérez-Vives C, Albarrán-Diego C, García-Lázaro S *et al*. Implantable collamer lens and femtosecond laser for myopia: comparison using an adaptive optics visual simulator. *Arq Bras Oftalmol*, 2014;77:103-109.
13. Shimizu K, Kamiya K, Igarashi A *et al*. Intraindividual comparaison of visual performance after posterior chamber phakic intraocular lens with and without a central hole implantation for moderate to high myopia. *Am J Ophthalmol*, 2012;154:486-494.
14. Shin JY, Ahn H, Seo KY *et al*. Comparison of higher order aberrations after implantable Collamer Lens implantation and wavefront-guided LASEK in high myopia. *J Refract Surg*, 2012;28:106-111.
15. Hou J, Wang Y, Lei Y *et al*. Comparison of effective optical zone after small-incision lenticule extraction and femtosecond laser-assisted laser in situ keratomileusis for myopia. *J Cataract Refract Surg*, 2018;44:1179-1185.
16. Bühren J, Kühne C, Kohnen T. Influence of pupil and optical zone diameter on high order aberrations after wavefront guided myopic. *Lasik J Cataract Refract Surg*, 2005;31:2272-2280.
17. Alfonso JF, Lisa C, Fernández-Vega L *et al*. Prevalence of cataract after collagen copolymer phakic intraocular lens implantation for myopia, hyperopia, and astigmatism. *J Cataract Refract Surg*, 2015;41:800-805.
18. Brar S, Ganeresh S, Pandey R. Incidence & factors responsible for Implantable Collamer Lens (ICL) explantation & outcomes of further management – 5 years retrospective study. *EC Ophthalmology*, 2015;3:231-239.
19. Zaldivar R, Davidorf JM, Oscherow S. Posterior chamber phakic intraocular lens for myopia of –8 to –19 diopters. *J Refract Surg*, 1998;14:294-305.
20. Kodjikian L, Gain P, Donate D *et al*. Malignant glaucoma induced by a phakic posterior chamber intraocular lens for myopia. *J Cataract Refract Surg*, 2002;28:2217-2221.
21. 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*, 2009;35:766-769.
22. ESCRS Endophthalmitis Study Group. Prophylaxis of postoperative endophthalmitis following cataract surgery: results of the ESCRS multicenter study and identification of risk factors. *J Cataract Refract Surg*, 2007;33:978-988.
23. Martínez-Castillo V, Boixadera A, Verdugo A *et al*. Rhegmatogenous retinal detachment in phakic eyes after posterior chamber phakic intraocular lens implantation for severe myopia. *Ophthalmology*, 2005;112:580-585.
24. Lapeyre G, Delyfer MN, Touboul D. Retinal detachment after acute posterior vitreous detachment resulting from posterior chamber phakic intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg*, 2018;44:103-105.
25. Kobashi H, Kamiya K, Igarashi A *et al*. Long-term quality of life after posterior chamber phakic intraocular lens implantation and after wavefront-guided laser in situ keratomileusis for myopia. *J Cataract Refract Surg*, 2014;40:2019-2024.
26. STAAR Surgical. SURGICAL EVO Visian ICL; Life with EVO; Life with Visian ICL. Available from: uk.discovericl.com/life-with-evo. Accessed May 21, 2018.
27. STAAR Surgical. Patient Survey; Visian ICL™ (Implantable Collamer Lens) For Nearsightedness; Facts You Need to Know About STAAR Surgical's Visian ICL; Surgery; Patient Information Booklet. Available from: staar.com/file/TMICLPATIENT-INFORMATION-BOOKLETMKT-0190-REV.-2-1.pdf Accessed November 19, 2018.

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

D. CHONG-SIT
CHNO des Quinze-Vingts,
Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.
chongsit@yahoo.fr

IPCL 2.0, nouvel implant phaque de chambre postérieure

Voilà une trentaine d'années que la chirurgie réfractive s'est convertie au laser. Tous les types d'amétropie peuvent être corrigés, mais bien entendu les myopies faibles et moyennes constituent le plus gros de l'activité chirurgicale. Si le laser excimer sous forme de PKR puis de Lasik est le moteur de notre activité, la correction de la presbytie par Intracor puis le Smile pour la correction myopique ont été rendu possible par les lasers femtosecondes.

Les amétropies fortes ne sont néanmoins pas à la portée d'une correction laser dans de bonnes conditions et le recours aux implants phaques est depuis plus de 30 ans (1er implant à support angulaire de G. Baikoff en 1986) la seule solution, si l'on veut éviter une chirurgie du cristallin clair. Le placement d'implants phaques souples en chambre postérieure (PPCIOL) s'est progressivement imposé à une situation en chambre antérieure (CA) du fait des complications cornéennes certaines avec un appui angulaire et redoutées après une fixation irienne [1].

L'*Implantable Collamer Lens* (ICL), implant phaque en polymère d'HEMA et collagène porcin, est sans aucun doute la référence absolue dans cette catégorie. La première version date de 1993, le marquage CE (Communauté européenne) de 1997 (première expérience personnelle ICL V3 en novembre 1997 sous anesthésie générale et parrainage au bloc par un chirurgien américain obligatoire : autre temps…), la version torique de 2002 et la validation FDA (*Food and Drug Administration*) de 2005 avec nouvelle appellation : Visian ICL. La version V4c avec KS-Aquaport et CentraFlow Technology d'avril 2011 est une réelle avancée technique, l'iridectomie périphérique n'est désormais plus nécessaire [1]. Les versions EVO et EVO + (***fig. 1***) ont des zones optiques (ZO) élargies en fonction de l'amétropie à corriger, entre 6,1 mm jusqu'à 9,0 D et 4,9 mm au-delà de 14,0 D (à noter qu'il s'agit de la puissance de l'implant et que la myopie effective correspondante est inférieure).

Des PPCIOL en silicone ont également été utilisé, en particulier le *Phakic Refractive Lens* (le PRL a été mon implant de prédilection de 2001 à 2011) [2] distribué par CibaVision puis Zeiss (qui en a arrêté la commercialisation). Son évolution est le MPL (***fig. 2***) proposé par Medenium et dont la

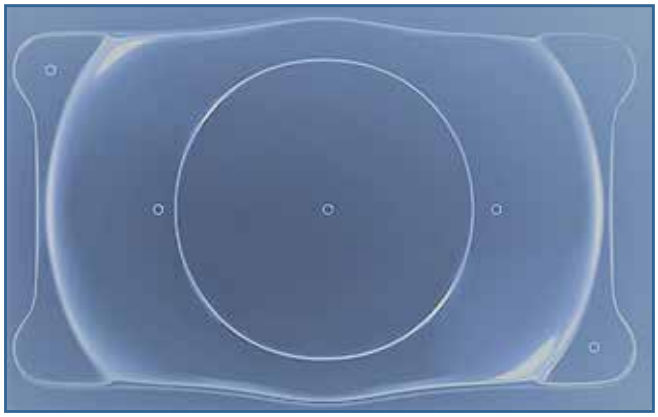


Fig. 1 : Implant myopique Evo-Visian ICL de Staar Surgical (Suisse).

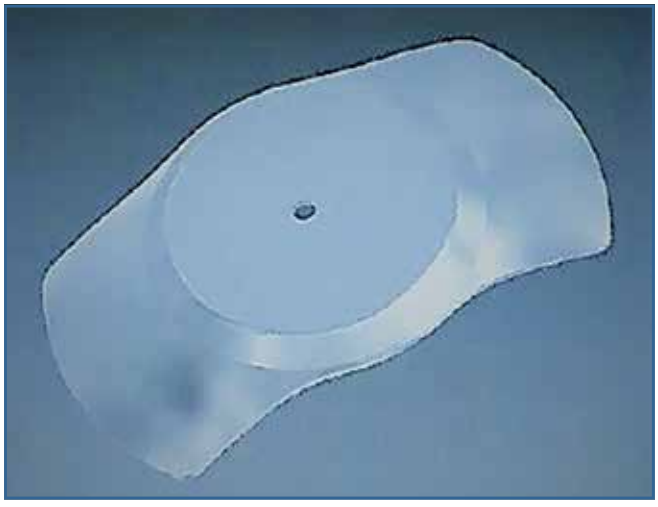


Fig. 2 : Implant myopique MPL de Medennium.

dernière version dispose maintenant d'un orifice central et de bords arrondis.

L'acrylique hydrophile est bien connu et très souvent utilisé pour les implants de cataracte. Depuis 2013, le laboratoire indien Care Group propose dans ce type de biomatériel l'*Implantable Phakic Contact Lens* (IPCL) V1. La version 2.0 de cet implant phaque de chambre postérieure (CP), disponible depuis octobre 2017 et distribué en France par Emetrop, est présenté dans cet article. On notera en particulier la disponibilité exceptionnelle d'un IPCL presbyopique corrigeant la presbytie associée ou non à une amétropie !

Présentation technique de l'IPCL 2.0 (*fig. 3A*)

>>> Implant phaque souple de chambre postérieure de type navette, en acrylique hydrophile hybride.

>>> Indice de réfraction : 1,465.

>>> Injectable par une incision cornéenne de 2,8 mm et mis en place dans le sulcus.

>>> Longueur : de 11,0 à 14,0 mm par pas de 0,25 mm.

>>> Largeur : 6,6 mm.

>>> Zone optique : de 5,75 à 6,2 mm en fonction de l'amétropie et de la longueur de l'implant.

>>> Épaisseur au centre : 80 μm.

>>> Orifice central : 380 μm (sauf pour les implants hypermétropiques).

>>> 2 excroissances latérales, opposées à 180° (pour le sens de l'implant).

>>> 6 mini haptiques dont 4 évidées aux 4 coins des haptiques.

>>> 6 trous pour optimiser les échanges entre la CP et la CA (4 dans les haptiques et 2 au bord supérieur de la zone optique).

>>> Gamme de puissances disponibles extrêmement large :
– IPCL sphérique pour la myopie : –0,5 à –30,00 D (par pas de 0,5 D) ;
– IPCL sphérique pour l'hypermétropie : +1 à +15 D (par pas de 0,5 D) ;
– IPCL torique jusqu'à 10,00 D (par pas de 0,5 D) : l'implant IPCL torique est fabriqué sur mesure (délai de 6 à 8 semaines).

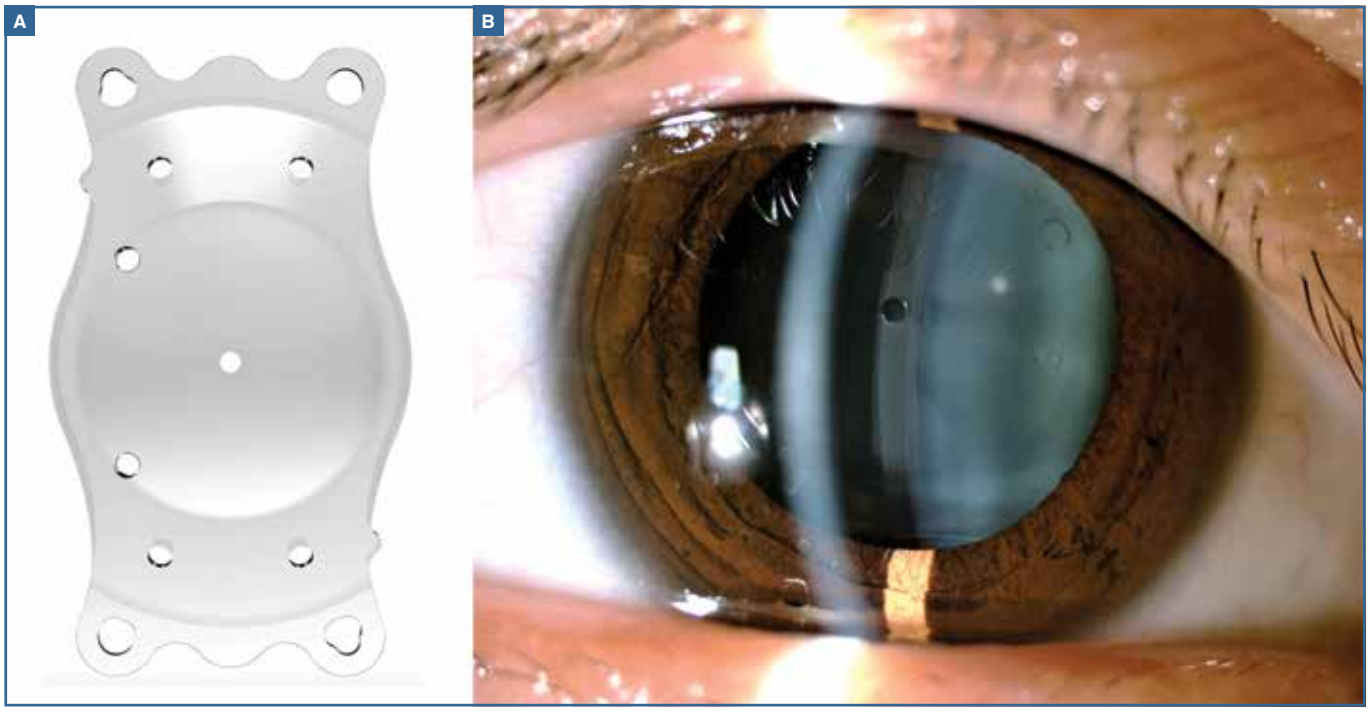


Fig. 3A : Implant myopique IPCL 2.0 de Care Group (Inde). **B :** IPCL 2.0 myopique et torique, photo à la lampe à fente.

Fig. 4 : Implant IPCL 2.0 Presbyopic Toric.

Le tore et son axe sont inclus dans l'optique justifiant une pose horizontale systématique. 2 petites marques repèrent l'axe 0-180° (***fig. 3B***) ;
– IPCL presbyopique (torique ou non) : –10 à +6 D avec addition de +1,5, +2, +2,5, +3, +3,5 D. L'optique diffractive trifocale occupe une zone de 3,5 mm au centre de cet implant (***fig. 4***).

Guide pratique étape par étape

Les 2 implants ne sont pas identiques mais l'expérience chirurgicale de l'IPCL 2.0 est parfaitement superposable avec celle du Visian ICL, tant du point de vue peropératoire que postopératoire.

1. 1re étape : commande de l'implant

Il faut déterminer l'implant souhaité, sphérique ou torique, sur le calculateur en ligne (***fig. 5***). Le login et mot de passe

Fig. 5 : Fiche de commande en ligne : IPCL calculator, à l'adresse calc1.epcliol.com.

sont fourni par Emetrop et Care Group après une courte et simple "formation" théorique pour les chirurgiens ayant la maîtrise des ICL.

Le calculateur demande simplement :
– la sphère, le cylindre, l'axe et la meilleure acuité visuelle corrigée (MAVC) ;
– la kératométrie en D ;
– la profondeur de la CA (endothéliale) en millimètres et la pachymétrie en microns ;
– le site de l'incision et l'astigmatisme induit (*a priori* sur 0° et 0,25 D) ;
– le blanc à blanc en millimètres et la technique de mesure utilisée (y compris Orbscan et/ou IOL Master).

À noter que le comptage endothélial préopératoire est plus classique que nécessaire et non demandé lors du calcul de l'implant.

La désignation du type d'implant (sphérique ou torique) permet alors de visualiser le résultat attendu et de finaliser le choix de l'implant. Après l'enregistrement en PDF et/ou l'impression, la commande proprement dite est faite auprès du laboratoire Emetrop. La livraison est prévue en 4 semaines pour les implants sphériques et environ 6 à 8 semaines pour les implants toriques sur mesure. Le système n'est donc malheureusement pas aussi sophistiqué que lors de la commande d'un ICL *via* OCOS, en particulier il n'existe pas de visibilité des disponibilités, ni de commande en ligne !

2. 2e étape : le temps chirurgical

La préparation du champ opératoire est du même type que pour une chirurgie de la cataracte. La chirurgie peut être réalisée sous anesthésie topique, en particulier chez le myope pour lequel on ne fait pas d'iridectomie. Le conditionnement de l'IPCL ressemble à celui des lentilles intraoculaires (LIO) hydrophiles et la prise "en pince" beaucoup plus simple que celle d'un ICL !

La mise en place dans la cartouche de 2.2 est classique et se réalise comme celle d'un implant de chambre postérieure, en veillant à placer l'IPCL dans sa courbure naturelle et en positionnant les 2 trous de l'optique en supérieur (soit à gauche pour un œil droit et à droite pour un œil gauche). Une incision cornéenne temporale de 2,8 mm est recommandée par le laboratoire (2,5 mm en pratique), suivie de l'injection d'un produit viscoélastique (PVE) léger (méthylcellulose ou hyaluronate) selon ses habitudes.

Une ou deux contre-incisions sont réalisées pour la manipulation intraoculaire, en fonction des habitudes de chacun (zéro dans ma pratique). L'implant est injecté en CA puis on vérifie le bon sens des 2 repères latéraux en position dite PDG (soit : proximale droite/distale gauche). Les haptiques sont positionnées de façon classique en arrière de l'iris. L'IPCL ayant une texture plus "élastique" que l'ICL, les manipulations intraoculaires en sont légèrement facilitées.

L'iridectomie périphérique n'est pas utile (sauf pour l'IPCL hypermétropique). Le PVE est lavé attentivement, aidé par les nombreux orifices de l'implant. Une injection intracamérulaire de myotique est effectuée si nécessaire (pilocarpine injectable ou Myochole). Enfin, l'éventuelle endophtalmie est prévenue par injection de céfuroxime intracamérulaire.

3. 3e étape : postopératoire

En prévention de l'hypertonie postopératoire, la prise d'acétazolamide en comprimés de 250 mg est systématique, immédiatement après l'intervention et 4 h plus tard. Un contact avec le patient est souhaitable en fin de journée, que ce soit en consultation ou par téléphone afin de vérifier l'absence de douleur ou surtout de céphalées inhabituelles. À noter qu'il faut éviter le Miostat en fin d'intervention, car celui-ci peut parfois provoquer un spasme accommodatif important chez les jeunes patients phaques et entraîner une "migraine" pouvant simuler une hypertonie.

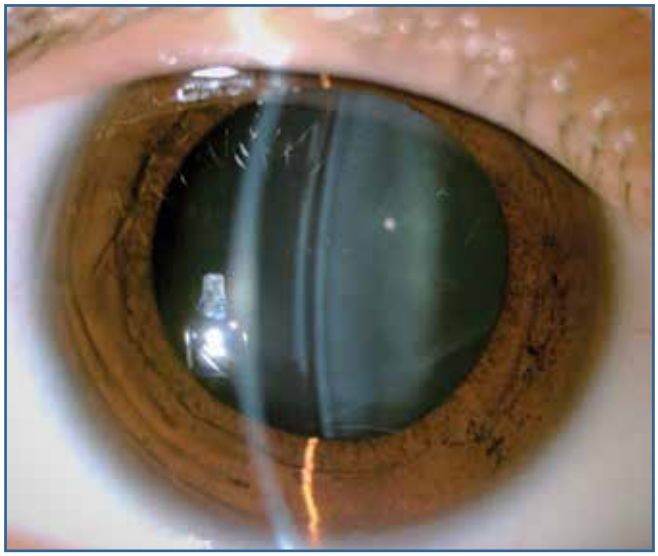


Fig. 6 : Le *vaulting* idéal se situe entre 0,5 et 1,5 épaisseur cornéenne.

Les soins postopératoires sont classiques (collyres antibiocorticoïdes, accompagnés ou non de mydriatiques). Un contrôle est effectué à J1, J8 et J30 ou J90 de l'acuité visuelle (AV), de la pression intraoculaire (PIO) et du *vaulting* dont la mesure optimale se situe entre 250 et 750 μm (***fig. 6***).

Discussion

1. Indications actuelles des PPCIOL

Depuis une dizaine d'année, la famille des PPCIOL a définitivement pris la main sur ce segment d'activité. Si l'on ne peut écarter la viabilité d'un implant Artisan phaque posé par un "expert", la seule obligation biannuelle *ad vitam æternam* de réaliser un comptage cellulaire est proprement insupportable pour les patients (et leurs chirurgiens) !

Les indications des PPCIOL restent surtout celles des non-indications de la chirurgie laser :
– les fortes amétropies sphériques myopiques +++ : < 10 ou 12 D (parfois 8 D, selon certains chirurgiens). Bien entendu, en fonction de la pachymétrie, un PPCIOL peut être proposé pour une correction bien plus faible (exemple personnelle d'une "candidate police" ayant une myopie unilatérale de –5 D et une cornée "normale" de 440 μm contre-indiquant une chirurgie photoablative) ;
– les fortes amétropies hypermétropiques (> 6 D), mais l'indication est régulièrement limitée par la profondeur de la CA ;
– le Lasik corrigeant des astigmatismes jusqu'à 6 D,

l'indication pour une correction torique exclusive est très rare et ne concerne que l'association à une correction sphérique ;
– Les anomalies topographiques (en particulier les asymétries inférieures) ;
– cas particulier de la prise en charge des kératocônes (association ou non à une chirurgie cornéoplastique, 14 IPCL présentés dans cette indication par Doroodgar [3]) ;
– en cas de réintervention, après une première chirurgie réfractive cornéenne incisionnelle ou photoablative.

2. PPCIOL et IPCL 2.0 : avantages et inconvénients

Les PPCIOL sont une seule et grande famille : si ceux en silicone (PRL puis MPL) sont des cousins germains (et du même âge), les PPCIOL en acrylique hydrophile IPCL 2.0 et EYECRYL Phakic (58 yeux opéré par Yasa [4]) (***fig. 7***) sont certainement les "jeunes" frères de l'ICL (pour ne pas dire des copies !). L'orifice central du Visian ICL, systématiquement repris par tous les PPCIOL myopiques (y compris le MPL en silicone), en est le meilleur symbole. Celui-ci permet bien évidemment de s'affranchir des IP possiblement responsables de saignement ou d'inflammation (et au pire non transfixiante) et pourrait réduire l'incidence des cataractes sous-capsulaires par une meilleure circulation de l'humeur aqueuse [2] (***fig. 8***).

Fig. 7 : EYECRYL de Biotech Healthcare Group (groupe suisse et fabrication par la filiale indienne).

L'ICL a en sa faveur une antériorité exceptionnelle puisque, si nous en sommes à une 5e version géométrique, le Collamer est inchangé depuis plus de 25 ans. Le Visian ICL a fait ses

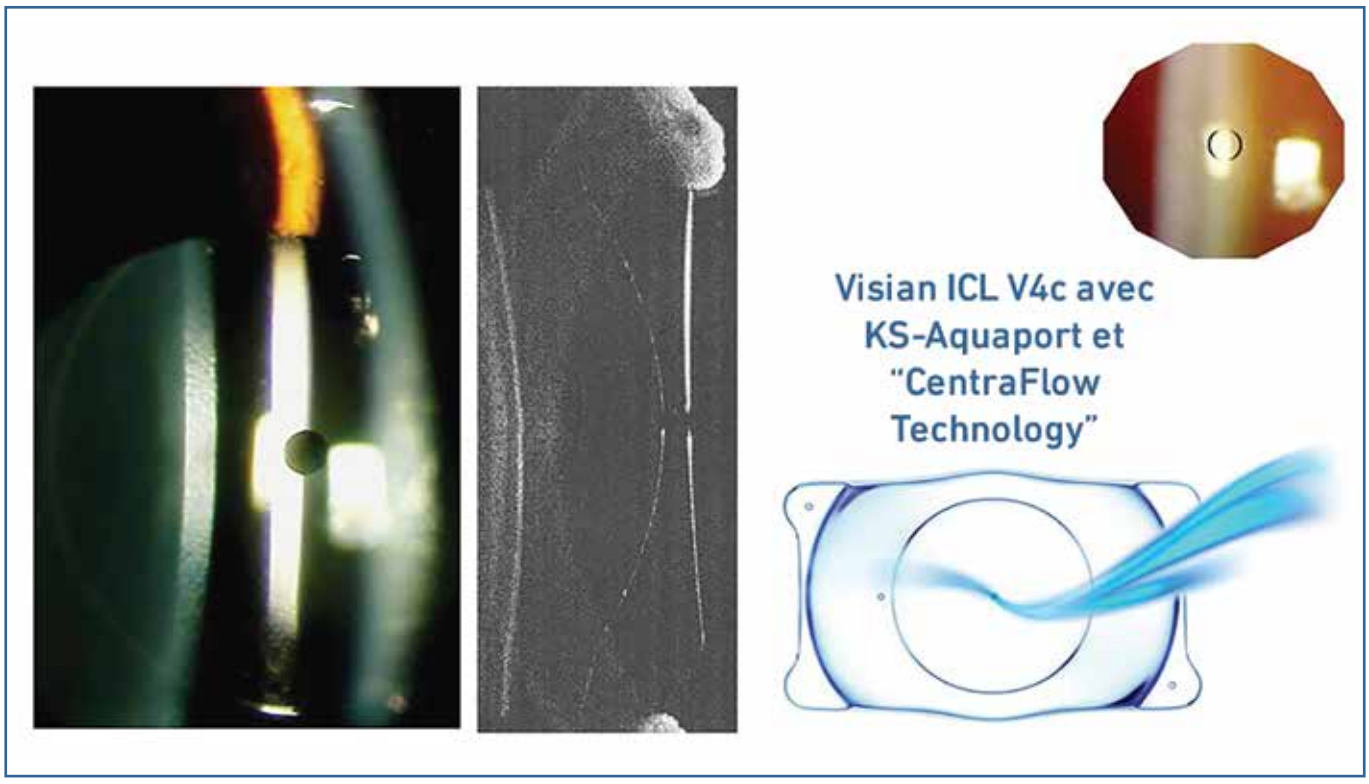


Fig. 8 : Système KS-Aquaport (LAF et OCT) apparu sur la version V4c du Visian ICL en 2011.

preuves en termes d'efficacité réfractive et de tolérance dans une grande quantité d'articles publiés dans le monde entier.

En ce qui concerne l'IPCL, la similarité de la géométrie et l'excellente connaissance de l'acrylique hydrophile utilisé de longue date pour les ICP rassurent pleinement et la version 2.0 semble déjà parfaitement aboutie. La littérature concerne essentiellement la V1 et confirme l'excellente précision réfractive de l'implant et sa parfaite tolérance sur des études allant jusqu'à 3 ans [5-7]. La chirurgie des PPCIOL, depuis longtemps parfaitement validée en termes d'efficacité et de sécurité, peut ainsi être réalisée avec ces 2 implants de façon bilatérale en un temps (ma pratique quasi systématique depuis 3 ans).

>>> Avantages de l'IPCL 2.0

La fabrication probablement plus simple et mieux maîtrisé des acryliques hydrophiles par rapport au Collamer de l'ICL permet une plus large gamme de correction sphérique (en particulier myopique). Il est ainsi possible de corriger toutes les amétropies myopiques et d'éviter les coûteuses procédures bioptiques (PPCIOL + Lasik). La réalisation d'un profil multifocal diffractif tient du même constat.

La ZO est nettement plus grande (6,2 à 5,75 mm) que celle de l'ICL, y compris par rapport aux versions EVO + (6,1 à –9,0/5 à –14,0 D) et EVO (4,9 à –18,0 D). Un indice de réfraction supérieur (IPCL : 1,465/ICL : 1,442) permet un amincissement théorique d'environ 5 %. L'inclusion de l'axe dans l'optique des IPCL toriques en facilite la pose (sur l'axe 0-180°) et optimise certainement la stabilité en cas d'axe oblique.

Les implants fabriqués en Inde (Care Group) ont un moindre coût qu'en Suisse (Staar) : c'est un élément très important pour l'utilisation des PPCIOL dans les pays en voie de développement (Inde et Chine en particulier). Par ailleurs, cette provenance apporte un élément favorable de concurrence tarifaire.

L'existence d'une version presbyopique (momentanément non disponible en France) est une première mondiale pour un PPCIOL, ce qui était très attendu depuis la suppression en 2007 de l'implant de CA à support angulaire New Life. Les indications de ce type d'implant sont essentiellement le traitement des amétropies myopiques chez les patients presbytes (Poster de Tomita à l'ESCRS de Paris en 2019 : présentation de 238 yeux opérés au Japon [8]) et également chez l'emmétrope (traitement unilatéral sur l'œil non directeur), en particulier en cas de chirurgie réfractive préalable.

>>> Inconvénients de l'IPCL 2.0

Il n'y en a aucun du point de vue ophtalmologique, il n'existe pas de problème particulier spécifique à cet implant par rapport aux autres PPCIOL.

La commande de l'implant IPCL est moins facile que celle de l'ICL avec OCOS.

On trouve dans la littérature un seul article comparant les résultats des 2 implants (IPCL 1 et ICL) [9] : les résultats réfractifs sont excellents, sans différence significative. Un taux de cataracte légèrement supérieur pour l'acrylique hydrophile devra certainement être recontrôlé dans des études avec la version 2.0. Les différentes séries publiées pour l'IPCL 1 ont nettement moins de recul, confirmant néanmoins l'efficacité et la sécurité d'emploi de cet implant [5-7]. Il existe un seul article de Bianchi pour l'IPCL 2.0 [10] et aucune publication concernant la correction de l'hypermétropie à ce jour.

Par rapport à la parfaite fluidité de la logistique des ICL, les délais de livraison nettement plus longs et d'éventuels retards supplémentaires pour cause de problème douanier alourdissent la programmation opératoire des IPCL. Il faut reconnaître que les patients peuvent être troublés par la provenance de l'implant, mais la qualité du produit est réelle et le poster de Tomita présenté à l'ESCRS de Paris en 2019 [8] a même retrouvé en microscopie électronique une surface plus régulièrement lisse pour l'acrylique par rapport au Collamer.

Conclusion

La concurrence est classiquement favorable aux consommateurs… En ce qui nous concerne, on ne peut que se réjouir de l'arrivée de ces 2 nouveaux PPCIOL en acrylique hydrophile (en provenance d'Inde), qui semblent pouvoir dynamiser ce créneau de la chirurgie réfractive. Cette provenance permet un bénéfice immédiat en termes de coût avec un prix des implants en baisse, y compris en France.

L'IPCL permet une dynamique chirurgicale avec des innovations, dont l'option presbyopique qui ouvre de nouveaux champs chirurgicaux chez les myopes presbytes [11] et les emmétropes presbytes déjà opérés au laser pour lesquels nous n'avons actuellement pas systématiquement de solution. Gageons que les praticiens ne feront probablement que peu de différences entre l'IPCL et l'ICL en termes de résultat réfractif, mais des études à venir comparant la V2 de l'IPCL

avec la V5 de l'ICL permettront peut-être d'évaluer d'éventuels bénéfices visuels d'une plus grande zone optique à l'avantage de l'IPCL et/ou d'analyser sur plusieurs années les risques de survenue d'opacités cristalliniennes, peut-être plus rares avec l'ICL.

Enfin, en attendant le succès de l'IPCL 2.0 presbyopique, c'est pour la correction des fortes amétropies sphériques myopiques et toriques que je recommande cet implant comme alternative parfaitement crédible au Visian ICL.

Bibliographie

1. Packer M. The Implantable Collamer Lens with a central port: review of the literature. *Clin Ophthalmol*, 2018;12:2427-2438.
2. Chong-Sit D. Expérience des implants phaques de chambre postérieure. *Réalités Ophtalmologiques*, 2010;174:44-49.
3. Doroodgar F, Niazi F, Niazi S *et al*. Visual outcomes of a new implantable Phakic contact lens in patients with stable keratoconus. *Int Eye Sci*, 2019;19:1089-1094.
4. Yasa D, Urdem U, Agca A *et al*. Early results with a new posterior chamber phakic intraocular lens in patients with high myopia. *J Ophtalmol*, 2018;2018:1329874.
5. Vasavada V, Srivastava S, Vasavada SA *et al*. Safety and efficacy of a new phakic posterior chamber IOL for correction of myopia: 3 years of follow-up. *J Refract Surg*, 2018;34:817-823.
6. Sachdev G, Ramamurthy D. Long-term safety of posterior chamber implantable phakic contact lens for the correction of myopia. *Clin Ophthalmol*, 2019;13:137-142.
7. Subudhi P, Patro S, Khan Z *et al*. Refractive outcomes of implantation of an implantable phakic copolymer lens with peripheral holes in the intraocular posterior chamber in moderate to high myopia patients: a single-surgeon series. *Clin Ophthalmol*, 2019;13:1887-1894.
8. Tomita M. Poster ESCRS Paris, 2019.
9. Sachdev GS, Singh S, Ramamurthy S *et al*. Comparative analysis of clinical outcomes between two types of posterior chamber phakic intraocular lenses for correction of myopia and myopic astigmatism. *Indian J Ophthalmol*, 2019;67:1061-1065.
10. Bianchi GR. Initial results from a new model of posterior chamber implantable phakic contact lens: IPCL V2.0. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol*, 2019;8:57-63.
11. Stodulka P, Slovak M, Sramka M *et al*. Posterior chamber phakic intraocular lens for the correction of presbyopia in highly myopic patients. *J Cataract Refract Surg*, 2020;46:40-44.

L'auteur mentionne un lien d'intérêt avec la Clinique de la Vision, Paris.

M. TIMSIT
Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS,
Clinique de la Muette, PARIS.
mt@ophtalmologie.fr

La cataracte : une chirurgie devenue réfractive

Le temps où la chirurgie se bornait à supprimer la cataracte est révolu. L'opération de la cataracte peut être actuellement considérée comme une véritable chirurgie réfractive, offrant l'opportunité de diminuer la dépendance aux lunettes. Cet objectif, parfois non formulé, est souvent atteint, tous les défauts réfractifs étant corrigibles. La chirurgie de la cataracte, à tort banalisée, est dès lors plus exigeante que jamais. Elle nécessite une étude attentive, une expertise particulière et des choix pertinents. De grands progrès dans les techniques chirurgicales et les implants permettent d'apporter une réponse adaptée aux désirs de chacun.

L'évolution de la chirurgie et de l'exigence en matière de résultats

Avant les années 1980, on ne mettait habituellement pas d'implant à la place du cristallin. On pratiquait une extraction intracapsulaire du cristallin dans sa totalité par une très grande incision (***fig. 1***). L'absence d'implant imposait une correction par un verre de lunette convexe de très forte puissance de l'ordre de +12 dioptries qui présentait de grands inconvénients. Les objets paraissaient déformés, l'effet prismatique faisait que l'objet observé n'était pas situé là où il apparaissait être. Tant que les deux yeux n'étaient pas opérés, ils percevaient deux images de taille différente (aniséiconie), d'où une vision double. La grande incision entraînait un astigmatisme majeur très long à se stabiliser. Les patients mettaient des mois à s'adapter et devaient apprendre à tourner la tête plutôt que le regard (du fait de la réduction du champ visuel) et à apprécier les distances. Il s'ensuivait que les complications postopératoires de la chirurgie de la cataracte comprenaient la fracture du col du fémur lors de chutes dans les escaliers et le risque de se faire écraser en traversant la rue. Cependant, on opérait tardivement des cataractes "mûres" et le patient qui était malvoyant avant l'intervention se satisfaisait de l'amélioration de sa vision.

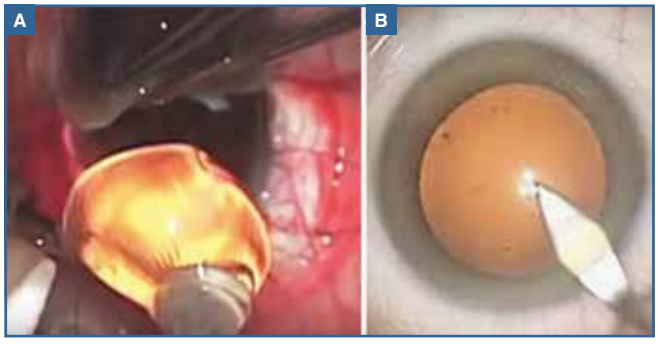


Fig. 1A : Extraction totale du cristallin par une grande incision. **B :** 2020, opération de cataracte par une petite incision.

À partir des années 1980 et jusqu'à présent, l'extraction du cristallin est devenue extracapsulaire, retirant le noyau et le cortex et laissant la capsule. Les résultats se sont beaucoup améliorés en raison de l'usage du microscope opératoire et de la phacoémulsification par une petite sonde à ultrasons. Elle permet d'extraire le cristallin par une petite incision, réduisant énormément le temps de cicatrisation et l'astigmatisme. Elle enlève entièrement le noyau du cristallin et le cortex et ne laisse dans l'œil que la capsule postérieure pour supporter l'implant. Les implants ont connu des améliorations de matériau et de forme, aboutissant à une excellente tolérance par les tissus oculaires. L'anesthésie est devenue beaucoup plus légère.

À quel stade la cataracte doit-elle être opérée ?

Les signes de la cataracte apparaissent très progressivement et associent à des degrés divers :

>>> **Une baisse de l'acuité visuelle :** elle est souvent plus marquée de loin que de près. La vue de près s'améliore même parfois, la cataracte pouvant entraîner une myopie d'indice. Avec l'évolution de l'opacité du cristallin, les lunettes deviennent inefficaces.

>>> **Une vision floue :** une impression de brume ou de vitre sale. Les contrastes sont moins nets, les détails sont mal perçus, surtout si l'éclairage est faible.

>>> **Des éblouissements :** ils surviennent à la lumière intense, au passage d'un lieu très éclairé à l'obscurité et à contre-jour. La conduite nocturne est souvent problématique (phares des voitures).

La décision opératoire dépend beaucoup des besoins visuels du patient et de son mode de vie. Il est classique de considérer que l'intervention est indiquée si l'acuité visuelle est réduite à moins de 4/10. En fait, cette notion est trop restrictive : il faut y ajouter celle de la qualité de la vision. Les sujets porteurs d'une cataracte ont souvent une très nette diminution de la vision crépusculaire avec baisse de la sensibilité au contraste, dangereuse pour la conduite en fin de journée. Une diminution modérée de l'acuité visuelle peut signifier une incompatibilité professionnelle pour quelqu'un qui a besoin de conduire alors que, pour une personne sédentaire, cela ne sera pas un grand handicap. D'autres besoins sensoriels sont fonction du mode de vie : de plus en plus de seniors, par exemple, souhaitent voyager, conduire sur de longues distances, utiliser l'ordinateur…

Le taux de succès important explique que l'on opère actuellement beaucoup plus tôt. Il ne sert à rien d'attendre, la vision de plus en plus mauvaise majorant l'inquiétude.

La chirurgie du cristallin clair : devancer la cataracte pour bénéficier d'une "chirurgie réfractive" ?

L'opération de la cataracte peut actuellement être considérée comme une véritable chirurgie réfractive et l'occasion d'une "nouvelle jeunesse" par la suppression des lunettes. Dans cette optique, il est possible d'opérer à un stade précoce sans attendre que la perte visuelle soit vraiment gênante, l'objectif étant surtout de corriger un trouble de la vision (myopie, hypermétropie ou presbytie). L'opération est considérée alors comme une alternative à la chirurgie réfractive chez les plus de 55 ans qui désirent s'affranchir des lunettes.

Les avis sont partagés sur ces interventions axées sur le confort plus que sur une réelle indication médicale, avec parfois un cristallin encore clair. L'opération offre de très bons résultats dans la majorité des cas tout en étant relativement légère (anesthésie locale, hospitalisation ambulatoire, récupération rapide). Alors pourquoi ne pas remplacer un cristallin qui a de toute façon perdu son pouvoir d'accommodation (presbytie) ?

Plus invasive que les techniques réfractives au laser, l'opération peut entraîner des complications, certes très rares. Se pose alors le problème de faire la différence entre l'opération de la cataracte et l'opération d'un cristallin clair (qui est totalement à la charge du patient). Dans ce cas, l'acuité visuelle pourrait être simplement corrigée par de nouvelles lunettes. Comme éléments en faveur d'une cataracte : les difficultés fonctionnelles (éblouissement, conduite nocturne), une myopie cristallinienne évolutive, les photographies du cristallin, l'étude de l'indice OSI de diffusion du cristallin à l'OQAS…

La réussite d'une chirurgie réfractive de la cataracte repose sur l'appréciation des besoins visuels

La demande de suppression des lunettes est de plus en plus fréquente, en particulier chez le presbyte subissant ce handicap inéluctable du vieillissement. De plus en plus actif, l'opéré de la cataracte souhaite une indépendance totale ou partielle vis-à-vis des lunettes et un gain d'autonomie. Il est alors essentiel de clarifier sa réflexion et de l'impliquer dans la décision thérapeutique. Cela implique des explications claires et détaillées.

Le rôle du chirurgien maîtrisant les différentes techniques et leurs résultats est de lui proposer une solution "à la carte", optimale en termes d'efficacité, de confort et de sécurité. La chirurgie de la cataracte devient une chirurgie personnalisée adaptée à chaque cas, avec une infinité de réglages possibles pour répondre au mieux aux priorités visuelles. Il y a satisfaction du patient s'il obtient un résultat personnalisé selon son mode de vie (sédentaire ou actif, professionnel, conduite, loisirs, sports…). Les réponses à un questionnaire détaillé guident la meilleure solution, le patient étant placé au centre d'un processus décisionnel éclairé.

Le but est d'obtenir une autonomie sans lunettes à toutes les distances. On peut distinguer cinq zones de vision : la vision de loin éloignée (conduite, panneaux de signalisation routière, panoramas), la vision de loin (sports, golf, tir), la vision intermédiaire éloignée (télévision), la vision

intermédiaire rapprochée (ordinateur, activités musicales) et la lecture. Un facteur à prendre en compte est la profession du patient. Il préférera être myopisé si son activité utilise surtout sa vision de près, il préférera souvent une correction totale de loin s'il travaille en extérieur. Il est souvent utile, si l'acuité visuelle le permet, de simuler le résultat. Ainsi, le patient peut imaginer sa future vision (***fig. 2***).

L'indépendance aux lunettes en vision de loin

Elle repose sur :
– la précision du calcul de l'implant permettant d'obtenir l'emmétropie sphérique, en corrigeant précisément la myopie ou l'hypermétropie ;
– la précision de la correction de l'astigmatisme.

1. La précision du calcul de l'implant

Pour un calcul d'implant précis, on utilise une biométrie par interférométrie à cohérence optique, la plus précise, et les formules de calcul les plus récentes et reproductibles (SRKT, Hoffer Q, Haigis, Holladay 1 et 2, Olsen, Barrett). L'intelligence artificielle et le développement des statistiques intégrant les retours d'expériences liées au big data vont bientôt bouleverser l'utilisation de ces formules.

Le calcul d'implant est précis pour les yeux de taille standard. Il l'est moins pour les yeux atypiques très courts (forte hypermétropie) ou très longs (forte myopie) nécessitant des formules adaptées. De même, le calcul d'implant est imprécis pour les yeux déjà opérés de chirurgie réfractive du fait de la modification de la kératométrie. Or, il s'agit de patients

Fig. 2 : Les différentes distances de vision.

particulièrement exigeants car ils ont connu une vision satisfaisante sans correction.

2. La précision de la correction de l'astigmatisme

L'astigmatisme est présent de façon significative chez 30 % des patients opérés de cataracte. Un astigmatisme résiduel limite la qualité de l'acuité visuelle non corrigée sur la vision éloignée essentiellement. Il entraîne des difficultés à distinguer les contrastes, une vision floue, imprécise et dédoublée, une confusion des lettres, une fatigue visuelle, un éblouissement, des maux de tête. Si l'astigmatisme est supérieur à 1 D, le port de lunettes devient nécessaire.

L'obtention d'une bonne qualité visuelle (précision, contrastes, vision en basse luminosité) passe par la maîtrise de l'astigmatisme. Il faut à la fois réduire au maximum l'influence astigmatogène de l'incision et corriger l'astigmatisme préexistant. Trois facteurs sont essentiels : la précision des mesures, la précision de l'acte chirurgical et l'utilisation d'implants toriques.

>>> La précision des mesures de l'astigmatisme

Il faut se méfier d'une mauvaise qualité du film lacrymal, influençant beaucoup l'évaluation de l'axe des astigmatismes faibles, ou d'un astigmatisme irrégulier sur l'examen de la topographie cornéenne, difficile à corriger. Comme l'astigmatisme cristallinien sera corrigé par l'ablation du cristallin, il ne faudra corriger que l'astigmatisme cornéen.

Il faut tenir compte de l'astigmatisme total résultant de l'astigmatisme cornéen antérieur et de l'astigmatisme cornéen postérieur, ce qui nécessite d'effectuer une topographie cornéenne d'élévation. Une mauvaise analyse de l'astigmatisme postérieur conduit à une sous-correction de l'astigmatisme inverse et à une surcorrection de l'astigmatisme conforme.

>>> La précision de l'acte chirurgical permet de maîtriser l'astigmatisme créé par l'incision :
– la miniaturisation de l'incision (***fig. 3***) : une incision inférieure ou égale à 2 mm n'est pas astigmatogène, surtout si elle est réalisée en temporal. De même, la diminution des aberrations optiques cornéennes postopératoires est liée à la petite taille de l'incision ;
– la construction et l'architecture de l'incision : la géométrie idéale est carrée, avec une longueur du tunnel égale à sa largeur. Elle est optimale pour l'auto-étanchéité sans suture et pour minimiser l'astigmatisme induit.

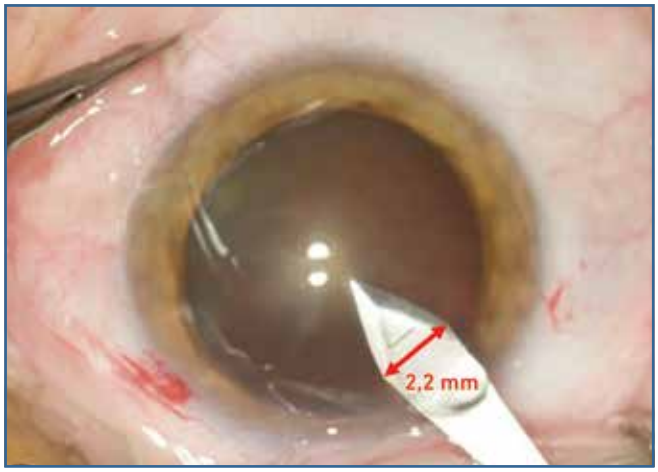


Fig. 3 : Opération de la cataracte par une micro-incision.

>>> La correction de l'astigmatisme préopératoire

Elle peut se faire par des incisions ou la mise en place d'un implant torique.

Des incisions limbiques cornéennes relaxantes arciformes peuvent être effectuées manuellement avec un couteau précalibré ou au laser femtoseconde. Elles seront positionnées sur le ou les hémiméridiens les plus bombés. L'incision principale peut corriger 0,5 D.

Les implants toriques sont conçus spécifiquement pour corriger l'astigmatisme cornéen. Ils sont indiqués dès que l'astigmatisme dépasse une dioptrie. Ils sont disponibles dans une très grande gamme de puissance sphérique. Introduits à travers une micro-incision de 2 mm, ils permettent d'obtenir une grande précision du résultat réfractif et de procurer un niveau excellent de satisfaction. Le positionnement précis de l'implant torique sur l'axe d'astigmatisme conditionne le résultat (***fig. 4***). Une imprécision de 10° entraîne une perte d'efficacité de 35 %, une imprécision de 15° entraîne une sous-correction de 50 %. Au-delà de de 30°, l'effet de l'implant torique devient nul. En cas de rotation postopératoire de l'implant de plus de 10°, il devra être repositionné au bloc opératoire dans les 15 jours.

La précision des implants toriques et leur prédictibilité sont supérieures à celles de la réalisation d'incisions cornéennes pour les astigmatismes supérieurs à 1 D. La stabilité de l'implant dans le sac est importante pour éviter l'astigmatisme interne engendré par un décentrement, une bascule (*tilt*) ou une torsion axiale.

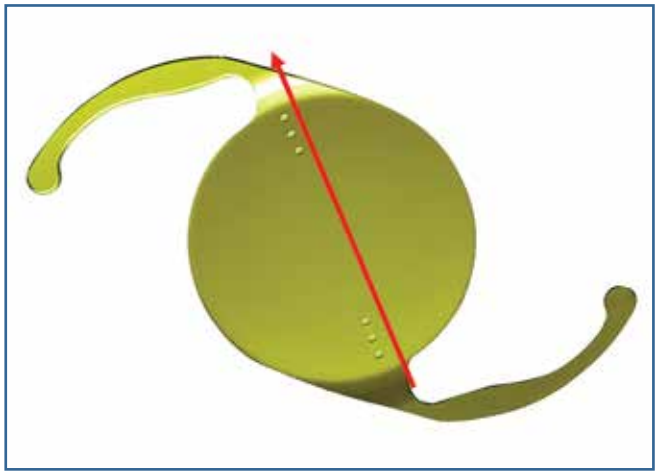


Fig. 4 : Repères sur l'implant torique pour l'alignement avec l'axe d'astigmatisme.

L'indépendance aux lunettes en vision de près repose sur le choix de l'implant

Il existe principalement deux types d'implants : les monofocaux et les multifocaux.

1. Les implants monofocaux

Quand on choisit de poser des implants monofocaux les questions à poser sont :
– voulez-vous voir le mieux possible de loin, quitte à porter des lunettes de près pour lire et pour l'ordinateur ?
– voulez-vous être moins dépendant des lunettes de loin et de près, quitte à porter une paire d'appoint occasionnelle pour la vision de loin et/ou la vision de près ?

>>> Les implants monofocaux assurant la même vision sur les deux yeux

C'est le choix le plus simple et le plus courant : ils corrigent un seul plan de vision. Il est possible d'obtenir une nette amélioration de la vision de loin ou de la vision de près sans lunettes que l'on soit myope, hypermétrope ou emmétrope.

L'hypermétrope représente l'indication réfractive la plus facile. Il ne voit bien sans correction ni de loin ni de près. Il pourra être satisfait en corrigeant la vision de loin avec l'appoint de lunettes pour voir de près.

Le myope demande une autre réflexion. Il est habitué à lire sans lunettes, la presbytie étant compensée par la myopie. Il préfère en règle générale conserver ce privilège. Les implants seront alors réglés pour un degré de myopie résiduelle sur un œil ou sur les deux, assurant une vision de près à une distance confortable. Il y aura, comme avant, un port des lunettes pour voir de loin.

L'emmétrope ayant connu une excellente acuité visuelle de loin sans correction sera insatisfait s'il ne récupère pas cette vision.

>>> Les implants monofocaux assurant une vision différente à chaque œil : la monovision

Dans la monovision (ou bascule), les implants sont calculés pour assurer une vision différente à chaque œil. L'un assure la vision de loin, l'autre la vision de près grâce à un certain degré de myopie. La monovision est particulièrement indiquée chez le myope voulant améliorer sa vision de loin tout en gardant sa possibilité de lire sans lunettes. Elle est moins bien tolérée chez l'hypermétrope.

Les réglages sont délicats car la différence de réfraction entre les deux yeux doit être à la fois efficace et confortable. Il faut savoir quel œil sous-corriger pour la vision de près et quel œil corriger de loin (en principe l'œil dominant).

En vision de loin, la vision deux yeux ensemble ne reposera que sur un œil. La satisfaction du patient en dépendra. Il faut corriger la myopie et l'astigmatisme de cet œil de façon optimale, pas forcément totale. Laisser 0,25 D de myopie ne fait perdre que 5 % d'acuité visuelle de loin mais fait gagner 20 % en vision de près. Une hypermétropisation intempestive liée à une imprécision du calcul d'implant fait perdre totalement la vision de près.

Pour la vision de près, il faut savoir de combien sous-corriger l'autre œil :
– si la sous-correction est faible, le résultat sur la presbytie sera décevant et le sujet devra porter des lunettes pour lire ;
– si la sous-correction est trop importante (par exemple avec une différence supérieure à 1,50 D), il risque d'y avoir trop de différence entre les deux yeux, générant un inconfort ou une gêne visuelle, un trouble de la vision des reliefs.

L'œil laissé myope ne voit pas bien de loin. L'œil corrigé de loin ne voit pas bien de près. Cela peut entraîner une sensation d'inconfort avec l'impression que l'on ne voit que par un œil. La vision binoculaire est alors réduite, entraînant une diminution de la perception du relief et de l'appréciation des distances. Cette gêne est d'autant plus marquée que la différence entre les

deux yeux est importante. C'est le cas si on cherche à avoir une vision de près meilleure sur l'œil laissé myope. La conduite automobile, par exemple, peut être perturbée par la perception de deux images superposées avec un éblouissement.

La monovision est bien tolérée par la plupart des patients quand elle est bien dosée, assurant un bon confort visuel. Elle permet de se passer de lunettes dans la majorité des actes quotidiens courants. Des verres d'appoint, parfois légèrement teintés en cas de sensibilité à la lumière, restent nécessaires pour les activités visuellement exigeantes, pour des circonstances particulières nécessitant une vision maximale de loin comme la conduite automobile rapide ou nocturne, la lecture de panneaux routiers à une certaine distance. Des lunettes d'appoint peuvent être utiles pour la lecture prolongée, la lecture des petites lettres ou en luminosité réduite.

La compensation des aberrations sphériques par l'adaptation de l'asphéricité de l'implant permet d'améliorer la monovision. L'aberration totale est l'addition de l'asphéricité de la cornée (mesurée par l'analyse du front d'onde par aberrométrie) et de l'asphéricité de l'implant prévu. Les choix se font en fonction de l'effet recherché sur la qualité de vision et sur l'effet de pseudo-accommodation.

Une absence postopératoire d'aberration positive totale (au maximum de 0,1 μ) peut être recherchée sur l'œil dominant. Elle permet d'obtenir une meilleure qualité de vision de loin et une bonne sensibilité aux contrastes. Cela peut améliorer par exemple la sécurité du patient dans les situations où la luminosité est faible, en conduite nocturne ou par temps de brouillard.

La présence postopératoire d'une asphéricité positive totale améliore au contraire la vision de près (0,27 μ d'aberration sphérique procure 0,50 D de peudo-accommodation). De même, la conservation d'un petit astigmatisme surtout inverse (1 D) améliore la vision de près par effet de pseudo-accommodation. Il est ainsi possible d'obtenir sur l'œil dominé une bonne vision intermédiaire et une vision de près utile dans les actes de la vie courante, tout en minimisant la différence de réfraction entre les deux yeux. Cela permet une meilleure tolérance de la monovision.

2. Les implants progressifs multifocaux (*fig. 5*)

Ils permettent de corriger la myopie ou l'hypermétropie associées à la presbytie. Ils ont l'avantage de conserver la vision binoculaire. L'astigmatisme peut en outre être corrigé par un implant multifocal torique. Les implants multifocaux actuels permettent de s'affranchir très souvent de lunettes pour la vision de loin et la lecture avec une qualité visuelle meilleure et beaucoup moins d'effets secondaires qu'avec les implants utilisés jusque-là. Les lunettes sont alors inutiles la plupart du temps, sauf ponctuellement pour lire sous faible éclairage, réaliser des travaux minutieux, conduire la nuit…

Fig. 5 : Exemple d'implant progressif multifocal.

Par rapport à une opération de cataracte classique, l'acte chirurgical est plus complexe et doit être plus précis, obéissant à un certain nombre d'impératifs. Le choix de l'implant est important et doit être déterminé en fonction des besoins.

>>> Les conditions pour bénéficier d'un implant multifocal

Pour la réussite des objectifs de l'implant multifocal progressif, il faut que toutes les conditions suivantes soient respectées.

Le sujet doit être motivé, actif et dynamique, désireux de s'affranchir des lunettes pour lire et pour voir de loin. Il doit être informé et avoir une attente réaliste en acceptant certains compromis : les implants multifocaux peuvent générer des effets secondaires tels que des halos autour des points lumineux la nuit (surtout gênants en conduite nocturne), un éblouissement aux lumières vives, une diminution de la vision des contrastes, rarement une vision trouble (impression de voir comme à travers un brouillard). Ces effets secondaires sont plus rares avec les derniers implants progressifs. Le patient doit être prévenu et prêt à accepter ces désagréments éventuels pour lire sans lunettes. Ces effets secondaires sont plus ou moins prégnants selon la marque d'implant : tel modèle génèrera plus de halos qu'un autre (***fig. 6***), tel autre donnera de meilleurs contrastes qu'un autre, etc.

Fig. 6 : Différents degrés de halos : absents, modérés, plus importants.

Le patient doit accepter la possibilité occasionnelle de porter une paire de lunettes d'appoint pour parfaire la vision de loin ou de près ou une chirurgie secondaire au laser de la cornée pour corriger un défaut réfractif résiduel et son coût éventuel.

L'état oculaire doit être bon (cornée, rétine, nerf optique). Il est primordial de pratiquer un examen préopératoire soigneux et un OCT rétinien.

Un astigmatisme postopératoire important doit être absent. Les implants multifocaux exigent, beaucoup plus que les implants monofocaux, une précision extrême du résultat réfractif. S'il existe un astigmatisme préopératoire supérieur à 0,75 D, il faudra le gérer par des incisions cornéennes, un implant torique ou par une opération complémentaire par laser.

La myopie forte n'est pas une bonne indication aux implants multifocaux. Le calcul d'implant est moins précis et il existe souvent des lésions maculaires contre-indiquant l'implant progressif. Il faut alors plutôt s'orienter vers une chirurgie de myopie par implants monofocaux.

Le calcul d'implant doit être très précis car une faible erreur de calcul peut entraîner un résultat décevant.

La chirurgie doit être parfaite : micro-incision, capsulorhexis centré recouvrant les bords de l'implant, bon centrage de l'implant, polissage capsulaire soigneux, gestion de l'astigmatisme, absence d'incident peropératoire.

Il faut opérer les deux yeux, les performances visuelles de chaque œil se complétant et se potentialisant. La neuroadaptation fait que la vision s'améliore pendant quelques mois.

Le surcoût (par rapport à des implants monofocaux) n'est pas remboursé par l'Assurance Maladie, qui estime que la pose d'implants multifocaux relève d'une chirurgie réfractive.

>>> Le choix judicieux de la marque de l'implant multifocal

On peut distinguer les implants multifocaux en implants réfractifs et en implants diffractifs, beaucoup plus utilisés, qui agissent par diffraction de la lumière sur les foyers de loin, de près et intermédiaire. Chaque implant multifocal a ses spécificités. Certains implants multifocaux donnent une meilleure vision de loin, d'autres une meilleure vision de près, d'autres encore une meilleure vision intermédiaire. Certains implants donnent moins d'effets secondaires à type d'éblouissement, de halos ou un meilleur contraste. Le mode de vie actuel met en évidence l'importance de la vision intermédiaire dans une zone de 40 à 80 cm environ : utilisation de smartphone, tablette, écran d'ordinateur, tableau de bord.

Les implants bifocaux donnent une bonne vision de loin et en lecture. La vision intermédiaire est un peu moins performante (AT Lisa bifocal, AcriSof IQ ReSTOR, TECNIS multifocal, Biflex M, Médicontur, BunnyLens MF…). L'addition de près peut être différente. Certains implants ont un mode de fonctionnement indépendant du diamètre pupillaire, d'autres y sont plus sensibles.

Les implants trifocaux (AT Lisa trifocal, FineVision, PanOptix, Synergy) favorisent les zones de vision intermédiaire. La vision de loin est bonne. La vision de près est légèrement moins bonne qu'avec les implants bifocaux. L'incidence des halos est plus fréquente qu'avec les implants bifocaux diffractifs, diminuant généralement avec le temps.

Le *Mix and Match* consiste à panacher les implants en mettant sur les deux yeux des implants de propriétés différentes. Par exemple bifocal sur un œil, trifocal sur l'autre.

Les implants à profondeur de champ étendue (EDOF) sont plus récents et s'adressent aux patients craignant les effets secondaires à type de halos mais néanmoins désireux d'avoir une certaine indépendance vis-à-vis des lunettes. Il faut comprendre que l'on va favoriser au maximum la vision de loin et intermédiaire au détriment de la lecture, qui peut alors nécessiter un complément en lunettes. On pourra proposer un implant Mplus ou Mplus X, EDOF (*Extended depth of focus* : implants TECNIS Symfony, TECNIS Eyhance, AT Lara, Mini Well, Synthesis) ou un implant réfractif à faible addition (Mplus Comfort MF15). Une microbascule sur un œil légèrement myopisé de –0,50 D permet d'optimiser la vision de près.

Une autre option est un implant monofocal sur un œil, à profondeur de champ sur l'autre œil.

Des réinterventions sont possibles

Si le résultat visuel ne correspond pas aux attentes, si la monovision ou les implants multifocaux sont mal supportés, il est possible de procéder à des améliorations de la correction de trois façons.

Les implants peuvent être changés dans le mois qui suit leur pose. Au-delà, l'intervention est plus périlleuse du fait des adhérences qui se développent entre la capsule et l'implant, exposant au risque de rupture zonulaire ou capsulaire et d'issue de vitré et ses complications (placement de l'implant non optimal, œdème maculaire, décollement de rétine…).

Une opération de complément par laser sur la cornée peut corriger :
– une myopie laissée volontairement sur un œil pour la vision de près mais finalement trop importante et inconfortable, un presbyLasik myopique pourra corriger à la fois la myopie et la presbytie sur cet œil (***fig. 7***) ;
– un astigmatisme résiduel pour améliorer la vision de loin ;
– une presbytie qui n'existait pas auparavant car elle était compensée par la myopie peut être traitée par un presbyLasik.
Ces interventions de retouche par laser sont assez délicates et demandent une expertise particulière en chirurgie réfractive par laser de la part du chirurgien de la cataracte.

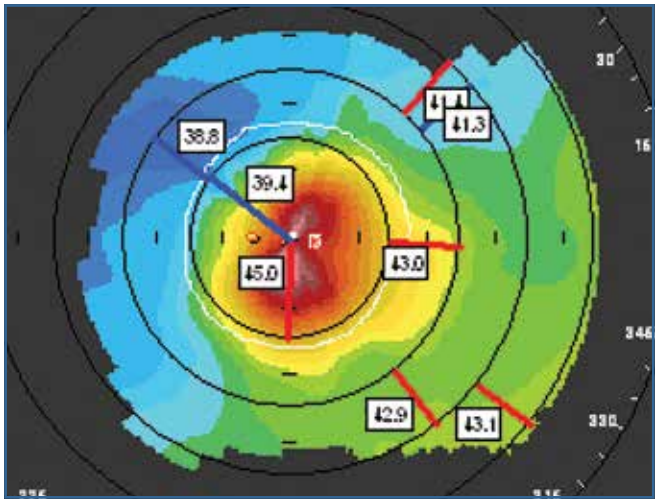


Fig. 7 : PresbyLasik : la zone cornéenne rouge centrale permet la vision de près.

Un implant supplémentaire (implant *add-on*) peut être ajouté devant l'implant pour corriger le défaut de vision résiduel (hypermétropie, myopie ou presbytie). Il peut être utile en cas de correction secondaire tardive.

Conclusion

Une chirurgie réfractive de la cataracte réussie apporte à l'opéré une satisfaction excellente et rapide, dépassant même souvent son attente. L'étude des besoins visuels est essentielle. La précision du calcul d'implant, le choix opportun de la stratégie et de l'implant, la précision chirurgicale et l'accompagnement postopératoire sont les clés de la réussite.

L'auteur mentionne un lien d'intérêt avec la Clinique de la Vision, Paris.

É. GABISON
Hôpital Bichat et Fondation Rothschild,
Université de PARIS.
egabison@for.paris

Chirurgie de la cataracte et *cornea guttata*

La chirurgie de la cataracte est réputée pour son efficacité et sa sécurité. Les avancées dans le domaine de la réfraction (tant au niveau des implants intraoculaires que des formules de calcul de ces lentilles) et la diminution drastique des infections postopératoires (avec notamment l'utilisation de l'antibioprophylaxie peropératoire) ont placé cette intervention au premier rang des chirurgies pratiquées chez l'homme. Dans un contexte de ***cornea guttata*** (CG), cette chirurgie peut se compliquer d'œdème de la cornée irréversible conduisant à la réalisation d'une greffe de cornée. Le risque de greffe de cornée est en effet 68 fois plus élevé dans les suites de chirurgies de la cataracte chez les patients atteints de CG.

Les avancées majeures des techniques chirurgicales et des résultats visuels des greffes de cornée ont modifié la prise en charge des patients atteints de CG. Ces nouvelles greffes de cornée "mini-invasives" conduisent les chirurgiens à opérer plus tôt les patients, avant le stade d'œdème flagrant afin d'obtenir un résultat optimal. La survenue d'un œdème de cornée souvent majeur et irréversible en postopératoire peut détériorer le pronostic visuel de ces patients en l'absence de prise en charge adaptée et urgente.

Le bilan préopératoire de la chirurgie de la cataracte permet d'évaluer le risque de décompensation dans les suites de la chirurgie. La recherche clinique d'une pathologie endothéliale bien que systématique et le bilan paraclinique même extensif sont souvent non contributifs, dans la mesure où ils ne permettent pas de prédire de manière fiable les risques de décompensation en cas de *cornea guttata*.

Quels sont les facteurs de risque ? Quels bilans réaliser ? Comment limiter les risques en cas de chirurgie de la cataracte ? Si la *cornea guttata* est un risque indépendant de greffe de cornée, un certain nombre de facteurs favorisants représentent des facteurs aggravants, dont certains sont prévisibles (densité du cristallin, chambre antérieure étroite/hypermétropie) et d'autres représentent des imprévus chirurgicaux (rupture capsulaire, changement d'implant en cours d'intervention…).

Bilan préopératoire

>>> **L'interrogatoire** recherche la présence d'une baisse d'acuité visuelle matinale signant l'œdème de cornée et imposant la réalisation d'une intervention combinée phacoémulsification-greffe endothéliale. Cependant, dans les formes unilatérales ou si la cataracte est très évoluée, ce signe clinique majeur peut passer inaperçu. La présence d'antécédents familiaux de pathologie cornéenne est rarement retrouvée.

>>> **L'examen à la lampe à fente** bilatéral et comparatif s'attarde sur l'endothélium en éclairage direct, en rétro-illumination et en mode spéculaire en utilisant le plus fort grossissement, en éclairage intense à 45° par rapport à la cornée du patient. Dans ces conditions, les cellules endothéliales deviennent visibles au niveau de la zone jouxtant l'éblouissement maximal.

>>> **La microscopie spéculaire** est l'examen de choix en cas de chirurgie oculaire planifiée dans un contexte de pathologie endothéliale. Elle permet d'évaluer la densité endothéliale centrale et périphérique. La présence d'une densité endothéliale centrale inférieure à 1 000 cellules/mm^2 est considérée comme un facteur de risque important de décompensation endothéliale, indépendamment des autres facteurs aggravants. Cependant, le comptage endothélial central est souvent non interprétable en cas de CG (***fig. 1***) et une densité endothéliale périphérique même importante ne permet pas de préjuger du pronostic de ces patients.

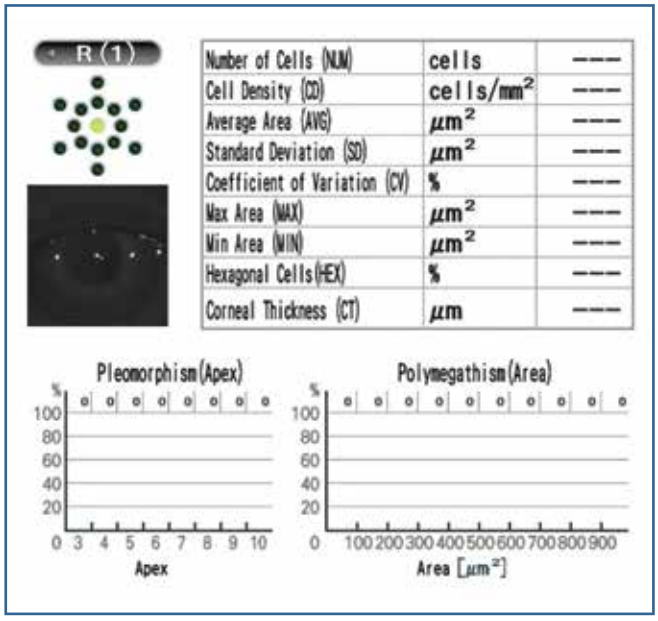


Fig. 1 : Microscopie spéculaire non informative (patient A).

Il est important de noter que, dans les suites de greffes de cornée, des densités cellulaires endothéliales "basses" aux alentours de 700 ou 800 cellules/mm^2 tolèrent paradoxalement mieux la chirurgie.

Très souvent dans les suites de chirurgies compliquées, l'analyse rétrospective en microscopie spéculaire de la cornée controlatérale permet de dépister une densité endothéliale basse expliquant l'œdème postopératoire. Le caractère médico-légal de la microscopie spéculaire dans le bilan préopératoire est souvent évoqué devant de tels cas, même si l'examen clinique systématique de l'endothélium aurait le plus souvent permis de dépister la CG. La biomicroscopie et la microscopie spéculaire sont cependant souvent prises en défaut en cas de CG évoluée.

>>> **La microscopie confoncale** est proposée comme technique de référence lorsque l'importance des "gouttes" endothéliales empêche la réalisation d'une microscopie spéculaire contributive. Cette technique surestime cependant la densité endothéliale.

>>> **La topographie cornéenne d'élévation** a récemment été utilisée pour dépister les œdèmes infracliniques et donc prédire le pronostic de patients atteints de *cornea guttata* devant être opérés de la cataracte. Cependant, les mesures pratiquées avec l'Orbscan ne permettent pas d'obtenir des résultats de pachymétrie fiables (surestimation de la pachymétrie centrale en cas de *guttata* avec gouttes confluentes, ***fig. 2***).

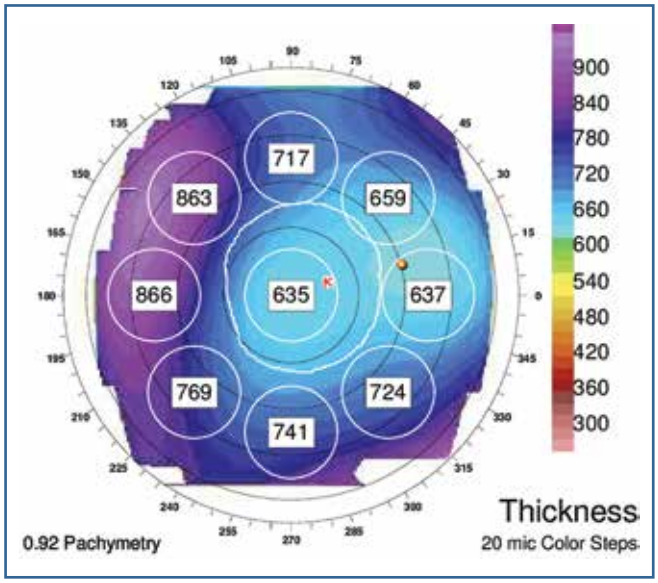


Fig. 2 : Pachymétrie Orbscan surestimée (patient A).

Le Pentacam et son système de fente rotative avec acquisition Scheimpflug est plus précis et reproductible. Il permet, dans les cas de CG avec œdème infraclinique, de distinguer des facteurs de risque de décompensation comme une perte de la régularité des isopach, un déplacement nasal du point le plus fin ou un bombement focal postérieur de l'élévation cornéenne par rapport à la sphère de référence postérieure.

>>> **La pachymétrie** est un élément important du bilan. Souvent, le seuil de 640 μm est donné pour recommander la réalisation d'une triple procédure combinant chirurgie de la cataracte et chirurgie endothéliale. Cependant, même dans le cadre d'une pachymétrie dite "normale", un patient peut présenter un œdème cornéen dit "infraclinique". De plus, la pachymétrie est variable dans la population générale et ne doit pas être utilisée comme seul déterminant de l'existence d'un œdème cornéen. Un écart entre la pachymétrie ultrasonore et la pachymétrie optique utilisant l'Orbscan est fréquent en cas de *cornea guttata*. Pour les patients souffrants d'un œdème cornéen infraclinique ou seulement de gouttes endothéliales denses, l'Orbscan surestime l'épaisseur cornéenne par rapport à la pachymétrie ultrasonore.

Ainsi, les patients atteints de dystrophie de Fuchs doivent être systématiquement prévenus :
– que la récupération visuelle après la chirurgie de la cataracte peut être plus lente qu'un rétablissement typique d'une personne sans dystrophie de Fuchs ;
– que l'absence de récupération visuelle peut nécessiter la réalisation d'une greffe endothéliale ;

– que, malgré un bilan préopératoire exhaustif, la prédictibilité de la récupération visuelle des CG avancées est faible.

Recommandations à retenir

La majorité des *cornea guttata* ne nécessitent pas d'être greffées.

Plus qu'une pachymétrie > 640 µm, une asymétrie pachymétrique œil droit/œil gauche doit faire envisager la présence d'un œdème infraclinique.

Une perte de l'harmonie pachymétrique en OCT de segment antérieur ou Pentacam (isopach) doit être recherchée (***fig. 3***).

Aucune étude à ce jour ne compare le pronostic visuel des triples procédures par rapport aux procédures en deux temps. Cependant, en l'absence d'un suivi et d'une organisation sans faille des listes d'attente de greffe, une perte de chance peut être redoutée dans le cas de réalisation en deux temps.

Les techniques chirurgicales privilégiant une diminution du temps d'ultrasons et une meilleure protection de l'endothélium doivent être préconisées. Le laser femtoseconde n'a pas montré d'avantages sur ce point, de même que les incisions sclérales.

La microscopie spéculaire centrale/périphérique doit être réalisée en ayant conscience :
– qu'une densité endothéliale périphérique élevée ne garantit pas un bon résultat postopératoire ;
– que la perte endothéliale sur *cornea guttata* est probablement supérieure à la perte endothéliale sur cornée physiologique.

Les patients ne sont pas tous semblables en termes de cicatrisation. Certains œdèmes chroniques de cornée se compliquent de fibrose stromale diffuse plus ou moins rapide. D'autres œdèmes entraînent une fibrose sous-épithéliale dont l'exérèse est aisée pendant l'intervention. En ce qui concerne la fibrose postérieure, les mêmes cas de figure sont rencontrés concernant la facilité d'exérèse des lésions fibreuses.

Dans tous les cas, l'implantation d'un implant hydrophobe doit être favorisée en raison du risque de perte de transparence par calcification des implants hydrophiles dans la zone de contact avec l'air ou le gaz.

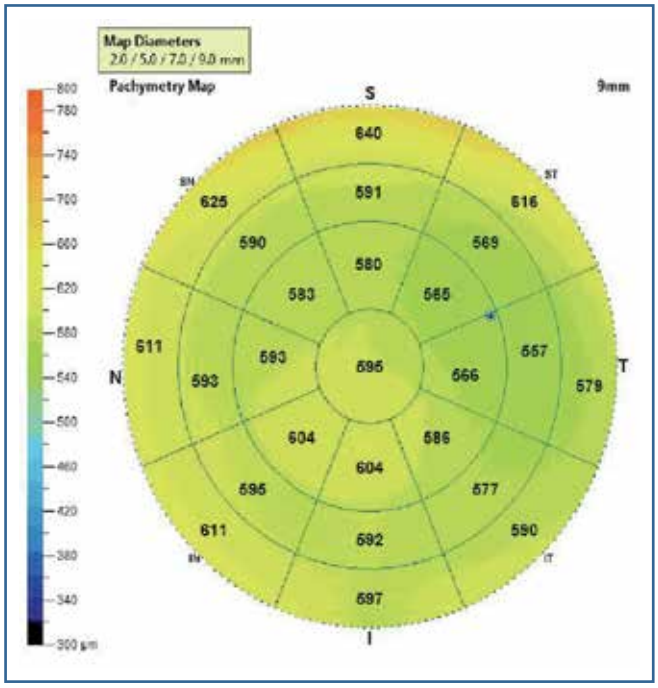


Fig. 3 : Carte pachymétrique OCT montrant une perte de l'harmonie pachymétrique (patient A).

Pour en savoir plus

- Ambrósio Jr R, Lopes BT, Faria-Correia F *et al*. Integration of Scheimpflug-based corneal tomography and biomechanical as- sessments for enhancing ectasia detection. *J Refract Surg*, 2017;33:434-443.
- Sun SY, Wacker K, Baratz KH *et al*. Determining subclinical edema in Fuchs endothelial corneal dystrophy: Revised classification using Scheimpflug tomography for preoperative assessment. *Ophthalmology*, 2019;126:195-204.
- Morishige N, Chikama T, Yamada N *et al*. Effect of preoperative duration of stromal edema in bullous keratopathy on early visual acuity after endothelial keratoplasty. *J Cataract Refract Surg*, 2012;38:303-308.
- Kwon RO, Price MO, Price Jr FW *et al*. Pentacam characterization of corneas with Fuchs dystrophy treated with Descemet membrane endothelial keratoplasty. *J Refract Surg*, 2010;26:972-979.
- Ambrósio Jr R, Netto MV, Wilson SE. Surgery in patients with Fuchs'. *Ophthalmology*, 2006;113:503. Author reply 4.
- Wacker K, McLaren JW, Amin SR *et al*. Corneal high-order aberrations and backscatter in Fuchs' endothelial corneal dystrophy. *Ophthalmology*, 2015;122:1645-1652.
- Huang J, Tepelus TC, Baghdasaryan E *et al*. Correlation between guttata severity and thickness of Descemet's membrane and the central cornea. *Curr Eye Res*, 2019;44:849-855.
- Ní Mhéalóid Á, Fulcher T, O'Keefe M. Anterior surface opacification of intraocular lenses after Descemet's stripping automated endothelial keratoplasty. *BMJ Case Rep*, 2015;2015.

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

A. HAGÈGE[1], W. GHOUALI[2], F. NOUIRA[3], O. CASADESSUS[4]
[1] Ophtalmologiste, Centre Laser Victor Hugo, PARIS, alain@dr-hagege.com
[2] Ophtalmologiste, Cabinet Ophtalmologique AVARICUM, BOURGES.
[3] Ophtalmologiste, Centre Ophtalmologique de Laser Excimer, SOUSSE, TUNISIE.
[4] Ingénieur, Centre Laser Victor Hugo, PARIS.

Femto-cataracte : présent et avenir

La chirurgie de la cataracte a relativement peu évolué en 8000 ans d'histoire, mais a connu de sérieux bouleversements dans le courant du siècle dernier. En particulier, la phacoémulsification et l'essor des implants intracapsulaires ont révolutionné la pratique de cette chirurgie tout en requalifiant son rôle en une véritable procédure réfractive. Depuis 10 ans maintenant, l'usage du laser femtoseconde s'est répandu en application au traitement de la cataracte, dans l'espoir d'en fiabiliser certaines étapes-clés et d'assurer une chirurgie plus sécurisante et plus précise.

Cet article a pour but de discuter de l'usage actuel et des résultats du laser femtoseconde en chirurgie de la cataracte (femto-cataracte), ainsi que des évolutions attendues de cette technologie dans les années à venir.

Laser femtoseconde et chirurgie de la cataracte

1. Bref historique de la chirurgie de la cataracte

La cataracte est la première cause de cécité et sa chirurgie est l'une des plus pratiquée dans le monde. En France, près de 700000 patients sont opérés chaque année, avec un volume en constante augmentation du fait du vieillissement de la population.

Il s'agit aussi de la chirurgie la plus ancienne jamais pratiquée, le nom "cataracte" étant issu d'une croyance datant de l'antiquité associant le blanchiment oculaire à un épanchement de liquide cervical entre la cornée et l'iris, à la manière d'une chute d'eau (*cataracta* en latin). Les premières documentations avérées sur la chirurgie de la cataracte datent de 600 av. J.-C. par le chirurgien Indien Sushruta, mais des fresques et statues datant de l'Égypte antique (2450 av. J.-C.) laissent à penser que l'opération était alors déjà pratiquée.

La première technique de chirurgie utilisée était celle de l'abaissement du cristallin, consistant à pousser le cristallin opaque dans la cavité vitréenne à l'aide d'une aiguille. Il fallut attendre plusieurs siècles avant que les techniques d'extraction du cristallin apparaissent. Une première approche est reportée dans le courant du IIe siècle, par utilisation d'une aiguille creuse insérée dans l'œil au moyen d'une large incision cornéenne et servant à forcer l'extraction du cristallin par aspiration. Mais le véritable essor de l'extraction cristallinienne date du XVIIIe siècle, suite à une intervention ratée d'abaissement du cristallin par Jacques Daviel qui décida alors de retirer le cristallin en dehors de sa capsule.

Les méthodes extra- et intracapsulaires se développèrent dès lors en concurrence, mais l'invention par Charles Kelman en 1967 de la phacoémulsification et la possibilité de réduire la taille des incisions fit pencher la balance en faveur de l'extraction extracapsulaire du cristallin. Parallèlement à cela, le développement des implants intraoculaires transforma la chirurgie de la cataracte en véritable procédure réfractive. Il apparut rapidement que le positionnement de l'implant et sa stabilisation dans le sac capsulaire étaient primordiaux pour assurer la précision réfractive de la chirurgie, ce qui a notamment conduit au développement de la technique de référence du capsulorhexis continu curviligne.

Depuis son apparition à la fin des années 1950, la technologie laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) n'a eu de cesse de se développer et de voir ses applications se démultiplier. Sa fiabilité et sa précision l'ont très vite placée comme solution de substitution aux instruments chirurgicaux traditionnels. Dans le contexte de la chirurgie de la cataracte, la première utilisation d'un laser est reportée dans les années 1970 par Krasnov avec un laser à rubis pour créer des microperforations dans la capsule antérieure (technique de la phacopuncture) [1]. Le laser YAG

fit ensuite son apparition, avec l'avantage d'une émission dans l'infrarouge qui permet de bénéficier de la transparence des tissus à ces longueurs d'onde. La focalisation du laser dans l'œil en est ainsi facilitée et a ouvert le champ au traitement des opacifications capsulaires postérieures. Son utilisation pour la création des capsulotomies antérieures a été décrite [2] mais les problèmes d'inflammation, d'augmentation de la pression intraoculaire et de la faible mydriase après le traitement laser n'ont pas permis à la technique de se populariser.

C'est en 2008 que le laser femtoseconde est utilisé pour la première fois en chirurgie de la cataracte [3], avec l'avantage d'une ablation localisée sans endommagement des tissus environnants, ce qui en fait un véritable bistouri optique doté de la précision inhérente à la technologie laser.

2. Technologie femtoseconde et adaptation à la chirurgie de la cataracte

Le laser femtoseconde tient son nom de sa durée d'impulsion ultracourte de l'ordre de la centaine de femtosecondes, où une femtoseconde (1 fs) est un millionième de milliardième de seconde (10^{-15} s). Il s'agit du temps requis par la lumière pour parcourir une distance équivalente à l'épaisseur d'un cheveu, là où une seconde lui est nécessaire pour effectuer le trajet Terre-Lune. Le temps d'impulsion, conjointement avec l'intensité du faisceau laser, détermine la nature de l'interaction de la lumière avec le tissu visé (***fig. 1***). Plusieurs régimes d'interaction peuvent être distingués :

– la **vaporisation** et la **photocoagulation**, pour des temps d'émission de l'ordre de la milliseconde créant une interaction thermique dans le tissu (laser argon) ;

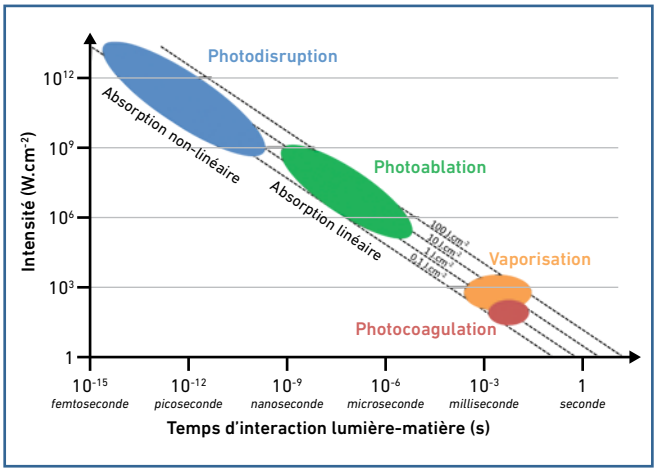


Fig. 1 : Principaux régimes d'interaction lumière-matière.

– la **photoablation** pour les régimes nanosecondes avec des photons très énergétiques qui cassent les liaisons chimiques sans expansion thermique (laser excimer) ;

– la **photodisruption** pour les impulsions sub-picosecondes résultant d'une absorption non linéaire de l'énergie laser si une certaine valeur seuil d'illumination est dépassée (laser femtoseconde). "Non linéaire" signifie ici que le tissu est transparent à la lumière émise par le laser tant que l'intensité du faisceau reste "faible", tandis qu'à très haute intensité l'énergie du laser sera absorbée. Cette condition est atteinte pour un faisceau fortement focalisé avec un temps d'impulsion très court. Il en résulte une ionisation locale du tissu ciblé, l'état de la matière ainsi obtenu étant appelé **plasma**. Ce plasma, au comportement assimilable à celui d'un gaz, s'étend très rapidement et crée une bulle dite de cavitation qui sépare le tissu, aboutissant à une dissection localisée sans effet collatéral (***fig. 2***).

Le laser femtoseconde fait son apparition en chirurgie ophtalmologique au début des années 2000 en application à la création des capots cornéens en Lasik (*Laser Assisted In-Situ Keratomileusis*). Bien que reposant sur une même base technologique, l'application du laser à la chirurgie de la cataracte a nécessité plusieurs adaptations de l'instrument.

L'espace d'application du laser est ainsi sensiblement augmenté : il se résume essentiellement à un plan de découpe dans le stroma cornéen d'une dizaine de millimètres de diamètre situé à une profondeur d'une centaine de micromètres pour le laser femtoseconde cornéen, le laser femtoseconde pour la cataracte doit être capable d'intervenir en volume et à différentes profondeurs, jusqu'à 8 mm environ sous la surface cornéenne. Par ailleurs, il doit traverser plusieurs interfaces et milieux oculaires d'indices de réfraction différents. Cela nécessite l'adaptation et la maîtrise du faisceau pour qu'il dissèque efficacement les tissus visés quel que soit leur emplacement dans l'œil, en tenant compte des pertes éventuelles subies par le laser lors de sa propagation dans la chambre antérieure.

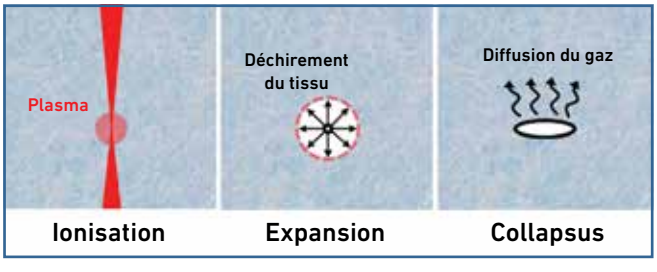


Fig. 2 : Étapes de la photodisruption : le laser ionise le tissu créant un plasma dont l'expansion va déchirer localement le tissu. Le gaz se diffuse ensuite, laissant une cavité de perforation.

Par ailleurs, la grande variabilité des tailles de chambre antérieure et d'épaisseur cristallinienne ont nécessité l'adjonction au dispositif laser d'un système d'imagerie en 3 dimensions pour repérer précisément la position des structures oculaires cibles. La technologie OCT est la plus largement utilisée dans ce but.

3. Intégration du laser femtoseconde dans le plan opératoire

Fort de sa précision de découpe, le laser femtoseconde a été développé dans le but de fiabiliser la réalisation de certaines étapes-clés de la chirurgie de la cataracte :
– la création des incisions en cornée claire ;
– l'ouverture de la capsule antérieure ;
– la fragmentation du cristallin.

Suivant les systèmes, le laser femtoseconde peut être intégré dans le bloc opératoire de cataracte ou est installé dans une pièce distincte. Par ailleurs, la découpe au laser peut être effectuée par le chirurgien ou déléguée à un opérateur tiers.

Le laser est d'abord préprogrammé en spécifiant la taille, les dimensions et marges de sécurité des différentes incisions à réaliser (cornéennes, capsulaires, nucléaires) ainsi que le motif de fragmentation désiré (grille, cadrans, cercles… [***fig. 3***]).

Le patient est allongé et, après une anesthésie topique ou rétrobulbaire, a lieu l'étape du ***docking***. Une interface est placée sur l'œil du patient et solidarisée à la tête d'émission du laser. L'instrument image ensuite l'œil pour affiner la programmation et ajuster les différentes incisions aux dimensions exactes des structures oculaires détectées. Une fois les découpes laser effectuées, le patient peut être libéré du laser et transféré dans le champ opératoire où la chirurgie sera poursuivie. Après avoir ouvert les incisions cornéennes et retiré la capsule antérieure prédécoupée, le chirurgien procèdera à l'hydrodissection, à la phacoémulsification, à l'aspiration du cortex, au polissage capsulaire éventuel et à l'injection de l'implant (***fig. 4***). Comme nous en discuterons dans la seconde partie, certains gestes opératoires doivent cependant être adaptés.

4. Marché de la femto-cataracte

5 systèmes laser sont actuellement disponibles : le LensX (Alcon, États-Unis), le Catalys (Johnson & Johnson, États-Unis), le LENSAR (LENSAR, États-Unis), le VICTUS (Bausch + Lomb, États-Unis) et le LDV Z8 (Ziemer Ophthalmic Systems, Suisse) (***fig. 5***). Ces systèmes ont un principe opérationnel identique, mais diffèrent principalement sur les points suivants : interface patient, encombrement, ordre des étapes de découpe et système d'imagerie.

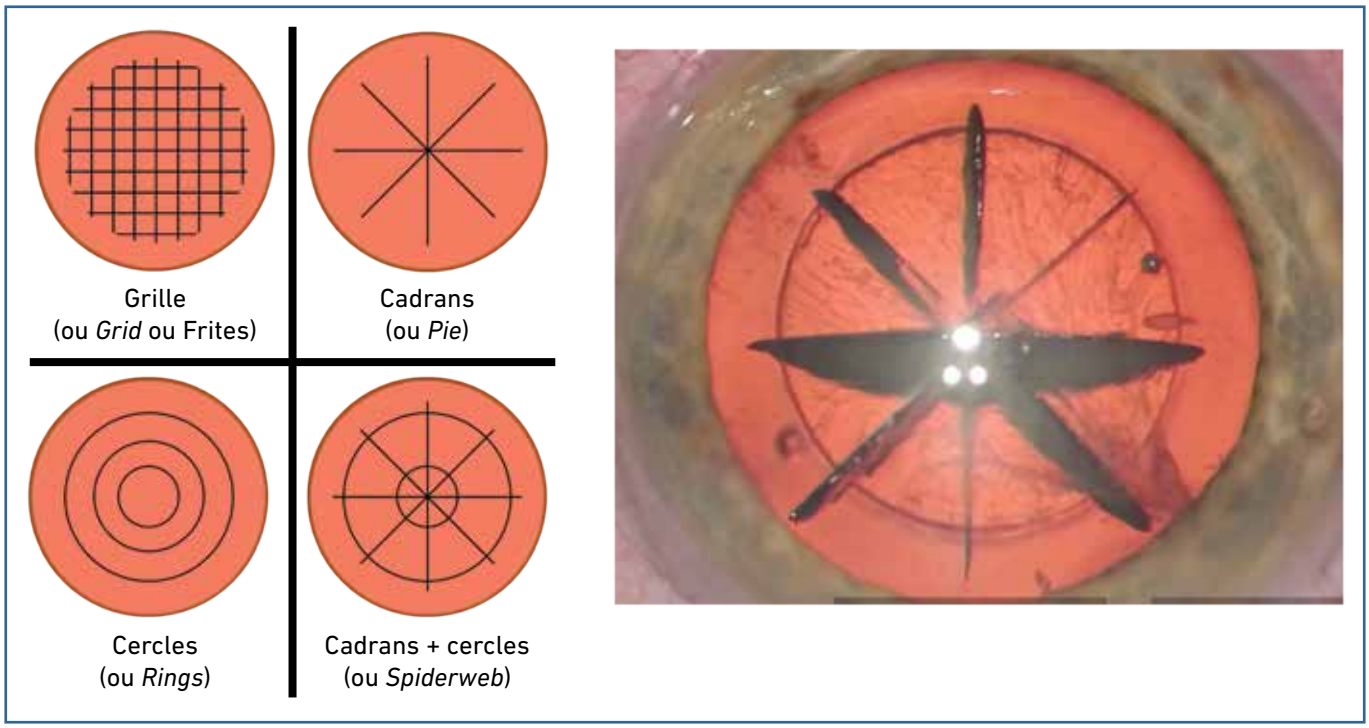


Fig. 3 : À gauche, schémas des différents motifs de fragmentation proposés par le laser femtoseconde. **À droite**, traits de fragmentation après une découpe en cadrans.

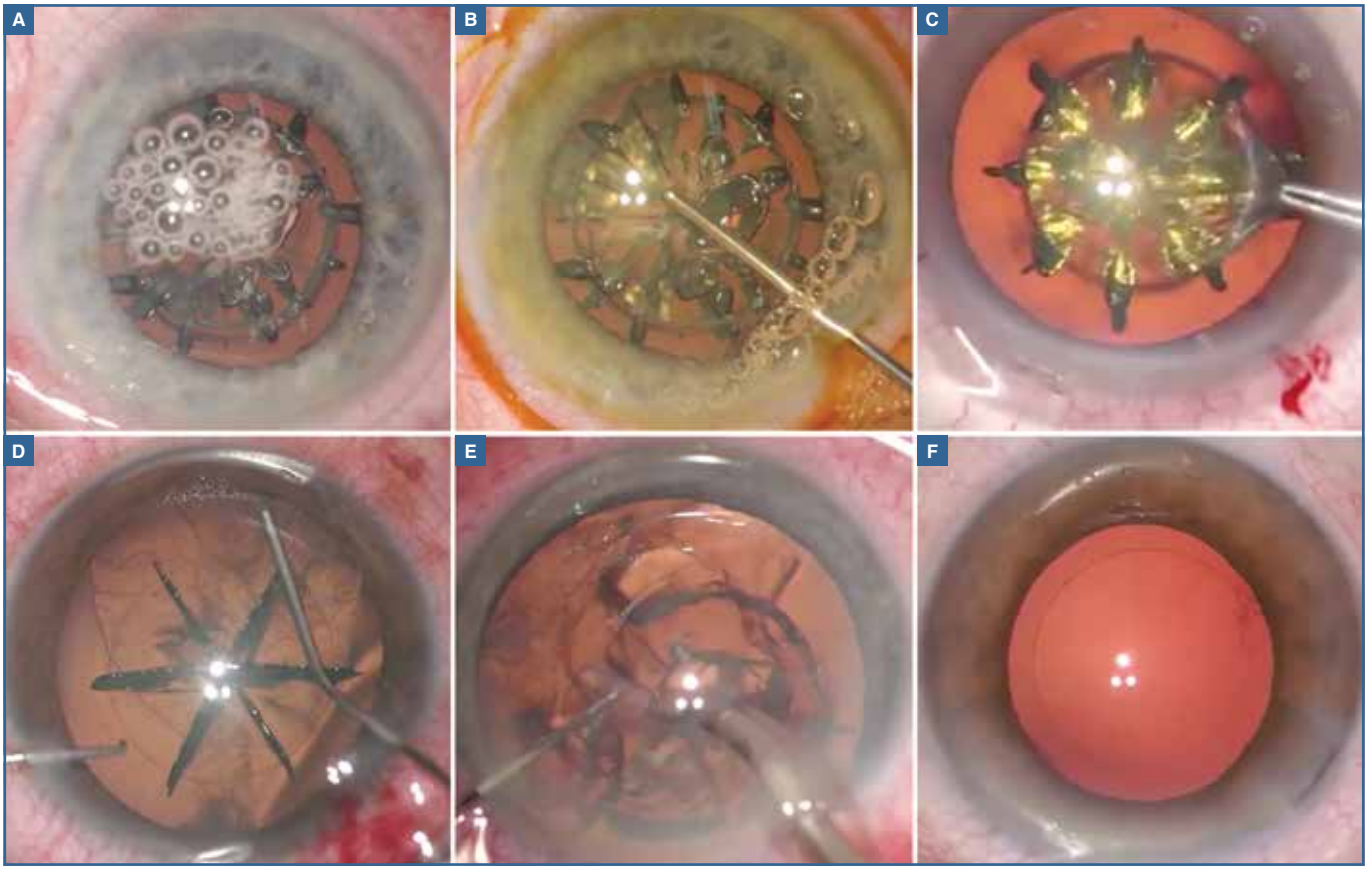


Fig. 4 : Étapes post-laser femtoseconde. **A :** visualisation de l'œil après découpes au femtoseconde. **B :** évacuation des bulles de gaz formées lors de la photodisruption des tissus cristalliniens. **C :** évacuation à la pince du capot capsulaire par l'incision principale. **D :** hydrodissection. **E :** manœuvres *Femto-chop*. **F :** visualisation du sac capsulaire vide.

Fig. 5 : Lasers femtosecondes commercialisés pour la chirurgie de la cataracte.

>>> Interface patient

L'interface patient et la procédure de *docking* sont des éléments cruciaux de la chirurgie et ont un impact direct sur la qualité du traitement laser délivré. L'œil doit être maintenu tout en préservant une transparence absolue et une netteté de l'interface entre le laser et l'œil, tout en prévenant la montée de la pression intraoculaire pendant le temps du traitement, bien plus long lors d'une chirurgie de la cataracte que durant la découpe d'un volet cornéen.

C'est pour cela qu'une interface liquide est le plus souvent utilisée par les constructeurs, la surface cornéenne étant immergée dans du BSS emplissant une chambre séparant l'œil de l'optique de sortie du laser. L'anneau de succion prend appui sur la sclère, permettant de limiter la montée de la pression intraoculaire et d'exposer une plus grande surface de cornée tout en lui laissant sa forme d'origine. En contrepartie, une interface de ce type pourra être difficile à installer sur les petites orbites. Les interfaces par contact, au design courbe, seront plus adaptées pour les petites orbites, mais une cornée large ou une différence de forme trop importante entre l'interface et la courbure cornéenne pourra réduire la qualité optique du système et créer des plis, ainsi qu'augmenter exagérément la pression intraoculaire.

Les lasers Catalys, LENSAR et LDV Z8 ont fait le choix d'une interface liquide, tandis que le LensX utilise une interface par contact intégrant une lentille-membrane déformable (SoftFit™) épousant délicatement la forme de la cornée. À noter que plusieurs membranes sont disponibles en fonction de la kératométrie de la cornée du patient (< 41 D, entre 41 et 46 D, et > 46 D). Enfin, le VICTUS a fait le choix de deux approches différentes pour optimiser le traitement : il utilise une interface bimodale (VeraFit™) utilisée comme interface liquide lors des étapes de capsulotomie et de fragmentation, et comme interface courbe par contact pour la réalisation des incisions cornéennes. Il faudra donc procéder à une nouvelle étape de *docking* lors du passage de la découpe cristallinienne à la découpe cornéenne.

>>> Encombrement

La technologie actuelle des rails optiques des lasers femtosecondes entraîne des contraintes de taille et de flexibilité des instruments. Il en résulte des designs monolithiques, avec peu de degrés de liberté quant au positionnement de la tête du laser. Seul le LDV Z8 de Ziemer propose un bras mobile, grâce à un jeu de miroirs permettant de pouvoir mouvoir ce dernier. Le positionnement de la pièce à main se fait alors manuellement, mais donne plus de flexibilité au système et permet de l'utiliser à proximité immédiate du lit opératoire. Les autres systèmes nécessitent de positionner le patient sous le corps du laser et de réaliser le contact soit en descendant la tête du laser, soit en montant le lit sur lequel le patient repose.

>>> Ordre des découpes

L'énergie délivrée par le laser, en combinaison avec l'ouverture numérique de l'optique de sortie du laser, détermine la taille des spots et des impacts au sein du tissu. Pour une même zone de tir, il faudra donc d'autant plus de tirs que la taille du spot est faible et la diffusion gazeuse (issue du processus de photodisruption) en sera diminuée. L'énergie du laser LDV Z8, de l'ordre du nanojoule, permet de diminuer suffisamment cette diffusion gazeuse pour effectuer la fragmentation avant la réalisation de la capsulotomie. Pour ne pas risquer une accumulation de gaz dans le sac non ouvert, ces étapes sont inversées avec les autres systèmes laser qui délivrent une énergie de l'ordre du microjoule.

>>> Système d'imagerie

L'OCT est la technologie d'imagerie la plus fréquemment utilisée par les constructeurs. Les systèmes actuels permettent d'obtenir des images résolues des structures oculaires et d'assurer un positionnement précis des plans de découpe du laser. Le VICTUS et le Catalys permettent de plus une visualisation *live* (***fig. 6***), là où le LensX et le LDV Z8 réalisent des acquisitions OCT juste avant le traitement laser pour positionner correctement les incisions. Le LENSAR repose sur une technologie différente, combinant imagerie Scheimpflug et balayage confocal, permettant de reconstruire le segment antérieur en trois dimensions. Il permet aussi de quantifier la densité apparente du cristallin et d'adapter les paramètres d'énergie du laser en fonction.

Les paramètres principaux des différentes plateformes sont résumés dans le ***tableau I***.

Utilisation du laser femtoseconde, résultats cliniques et bilan économique

Le laser femtoseconde promet d'optimiser certaines étapes de la chirurgie en offrant une reproductibilité et une fiabilité de découpe supérieures au geste manuel.

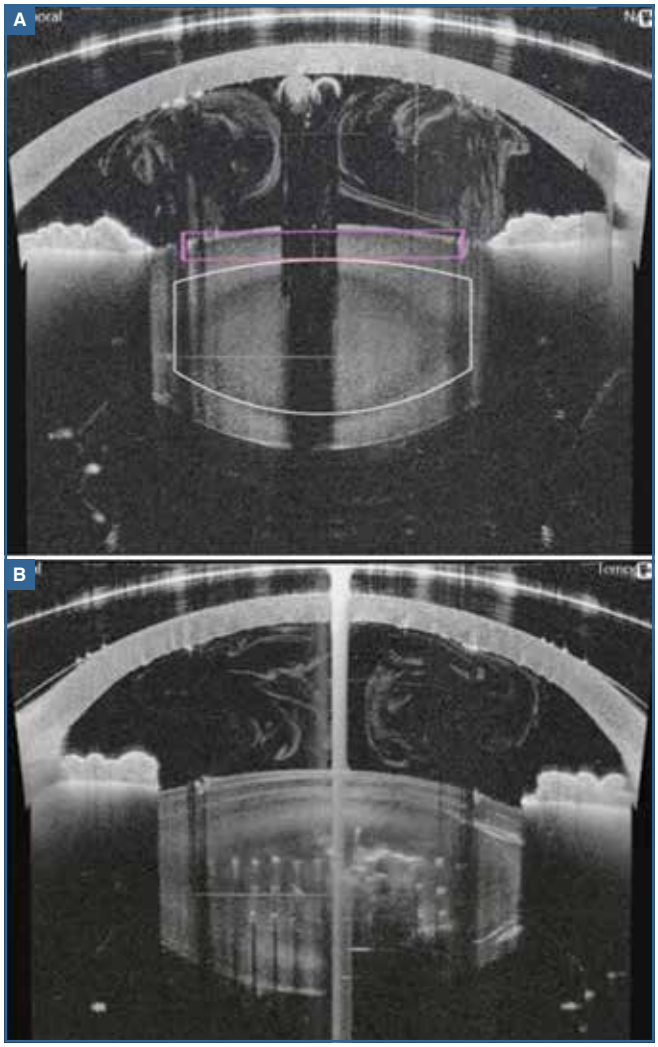


Fig. 6 : Visualisation OCT peropératoire avec le laser VICTUS. Les apparitions de traits noirs verticaux dans le cristallin sont des artéfacts causés par l'absorption ou la réflexion de la lumière par des structures en amont. **A :** capsulotomie. **B :** fragmentation.

1. Incisions cornéennes

Les incisions en cornée claire [4] ont été largement adoptées en raison des nombreux avantages qu'elles offrent par rapport aux tunnels scléraux : rapidité d'exécution, réduction de l'astigmatisme induit, réduction des saignements et des hémorragies sous-conjonctivales, rapidité accrue de la cicatrisation et de la récupération visuelle. Cependant, en cas de mauvaise réalisation de ces incisions, la chambre antérieure peut devenir perméable, potentialisant ainsi un risque de contamination et d'endophtalmie [5].

L'architecture de ces incisions apparaît cruciale pour leur conférer une imperméabilité maximale. Les constructions triplanaires apparaissent plus résistantes aux fluides que leurs homologues bi- ou monoplanaires (***fig. 7***). En effet, l'utilisation de composantes verticale et horizontale maintiendrait plus efficacement la fermeture de l'incision aux variations de pression intraoculaire : en configuration hypotonique, ce sont les murs verticaux dont l'adhésion est renforcée, tandis que les murs horizontaux sont plaqués l'un contre l'autre en cas d'hypertonie [6]. L'intégrité de l'incision est primordiale pour assurer l'étanchéité de la chambre antérieure et prévenir un risque d'endophtalmie, mais une mauvaise réalisation peut

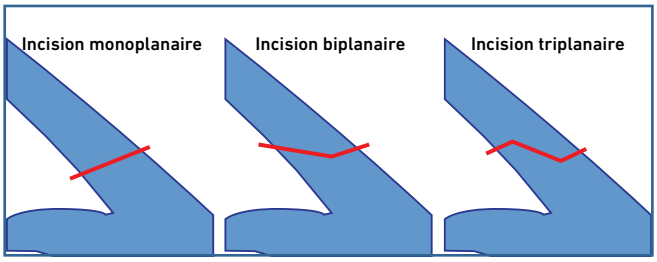


Fig. 7 : Architectures des incisions en cornée claire.

Modèle	LensX	LENSAR	Catalys	VICTUS	LDV Z8
Société	Alcon	LENSAR	Johnson & Johnson	Bausch + Lomb	Ziemer
Interface patient	Contact souple	Liquide	Liquide	• Liquide (cristallin) • Contact courbe (cornée)	Liquide
Motifs de fragmentation	• Grille • Cadrans • Cercles • Cadrans + cercles	• Grille • Cadrans + cercles	• Grille • Cadrans	• Grille • Cadrans • Cercles • Cadrans + cercles	• Cadrans • Cadrans + cercles
Imagerie	OCT (statique préop)	Scheimpflug + balayage confocal	OCT (Live)	OCT (Live)	OCT (statique préop)
Dimensions largeur x hauteur x longueur (sans lit)	61 x 76 x 122 cm^3	81 x 165 x 203 cm^3	87 x 115 x 164 cm^3	83 x 167 x 208 cm^3	70 x 139 x 101 cm^3
Mobilité du laser autour du lit	Non	Oui	Non	Non	Oui

Tableau I : Récapitulatif des paramètres des plateformes femtosecondes actuellement commercialisées.

aussi engendrer un astigmatisme cornéen exacerbé ou encore un décollement de la membrane de Descemet.

Le laser se place ainsi comme un instrument de choix pour faciliter et fiabiliser la réalisation de ces incisions, quelle que soit la complexité de l'architecture choisie. Plusieurs études montrent que les morphologies des incisions réalisées par le laser sont plus nettes et fidèles que celles obtenues avec un kératome [7, 8]. Par ailleurs, le laser permet de réaliser des incisions inversées qui présentent de meilleures propriétés d'étanchéité que les incisions traditionnelles, mais qui sont difficiles sinon impossibles à réaliser à la main [6].

En pratique, on rappellera que le laser femtoseconde ne peut ablater qu'en cornée claire, ce qui peut interpeller le chirurgien habitué à des incisions plus limbiques en perturbant sensiblement la visualisation endoculaire *via* une déformation plus importante de la cornée. Aussi, en cas de programmation trop juste de la largeur de l'incision, le manchon de la sonde phacoémulsificatrice peut être compressé et entraîner un collapsus par insuffisance d'infusion. On préférera alors agrandir l'incision plutôt que d'augmenter la pression intraoculaire réglable sur le phacoémulsificateur.

2. Capsulotomie

L'ouverture de la capsule antérieure est une étape intrinsèque à l'extraction extracapsulaire du cristallin. Toutefois, depuis l'apparition des implants intraoculaires, cette étape revêt une importance toute particulière puisque sa bonne exécution conditionne non seulement l'issue réfractive de la chirurgie mais aussi son bon déroulement. Il a été en effet montré que la forme, la taille, le centrage et la régularité de l'ouverture de la capsule antérieure impactent directement le positionnement de l'implant (centrage relatif, *tilt*, position axiale), ainsi que la résistance de la capsule antérieure et l'apparition d'une opacification capsulaire postérieure.

La géométrie de l'ouverture capsulaire antérieure doit idéalement permettre un recouvrement total des bords de l'optique de l'implant, sur 360°. Un recouvrement partiel peut induire un astigmatisme évolutif [9] et une modification de la profondeur de chambre antérieure [10, 11]. La profondeur de chambre antérieure tendra à s'approfondir d'autant plus que l'ouverture pratiquée est petite [12].

La taille de l'ouverture capsulaire antérieure et le recouvrement de l'implant ont aussi un impact majeur sur le développement de l'opacification capsulaire postérieure [13]. En effet, outre le design de l'implant [14, 15] dont la composition et l'angulation des bords peut prévenir la migration des cellules épithéliales, un recouvrement complet du pourtour de l'optique de l'implant par les bords de l'ouverture capsulaire potentialise l'effet de barrière contre la migration cellulaire [16, 17]. En tenant compte de l'effet de rétractation de l'ouverture capsulaire (phimosis) par fibrose de la capsule collée à la surface antérieure de l'implant, on privilégiera ainsi une ouverture circulaire ayant un diamètre de l'ordre de 5,5 mm pour une optique de 6 mm.

Enfin, la réalisation de l'ouverture capsulaire doit assurer à ses bords une résistance suffisante pour éviter tout effet de déchirement de la capsule (traits de refends), en particulier lors des manœuvres endoculaires.

La réalisation de l'ouverture capsulaire est donc critique et il fallut attendre les années 1990 pour qu'une technique faisant consensus apparaisse : le capsulorhexis circulaire continu [18] (renommé plus tard en capsulorhexis curviligne continu [19] suite à la constatation que la non-circularité du rhexis ne pose pas de problème de résistance et permet de s'adapter à des designs d'implants ovoïdes). La technique telle qu'utilisée de nos jours est l'héritière des approches développées séparément par Thomas Neuhann, Howard Gimbel et Kimiya Shimizu [20]. Parfaitement exécuté, le geste permet d'obtenir une ouverture capsulaire antérieure répondant aux différents critères évoqués précédemment. La technique demande cependant une courbe d'apprentissage et, malgré l'expérience, il est difficile d'obtenir manuellement des capsulorhexis reproductibles en diamètre, forme et centrage.

Plusieurs dispositifs ont été développés pour permettre de délimiter la taille du capsulorhexis : marquage épithélial par guide externe tenant compte du grossissement cornéen (capsulomètre d'Hagège), introduction d'un guide physique dans l'œil à apposer sur la capsule, projection par un dispositif de réalité augmentée dans le microscope (Callisto de Zeiss, Verion d'Alcon…) (***fig. 8***).

Toutefois, la réussite du capsulorhexis dépend toujours du geste chirurgical. Le laser femtoseconde apparaît ainsi comme une solution séduisante pour obtenir des ouvertures capsulaires antérieures maîtrisées et il est en effet montré que les objectifs de reproductibilité sont très largement atteints avec cette technologie [21] (***fig. 9***). À noter le mécanisme de découpe de la capsule antérieure par le laser qui donne son nom à la **capsulotomie** (le grec *tomê* signifiant coupe), en opposition au déchirement de la capsule avec la pince lors d'un capsulorhexis manuel (le grec *rhexis* signifiant brisure).

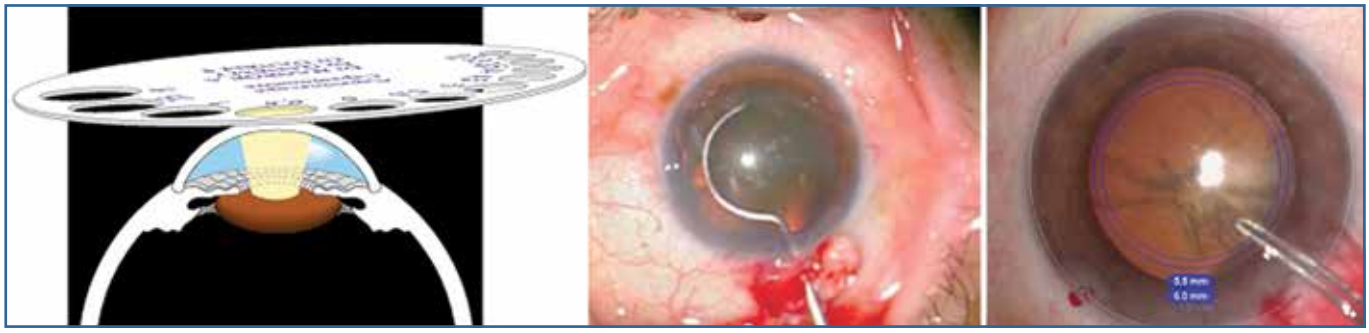


Fig. 8 : Dispositifs d'aide au capsulorhexis. **De gauche à droite :** capsulomètre d'Hagège, marqueur semi-circulaire et marquage en réalité augmentée avec le système Callisto (Zeiss).

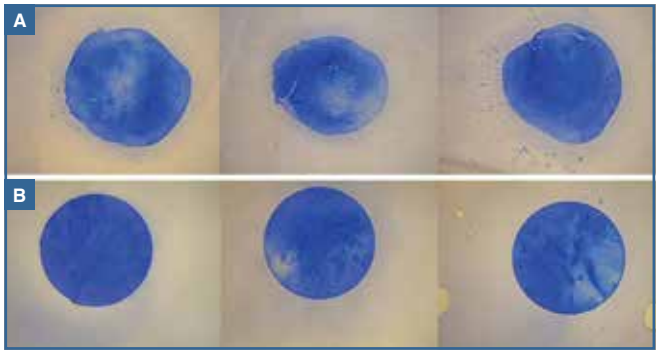


Fig. 9 : Comparaison des capots capsulaires après capsulorhexis manuel (**A**) et femto-capsulotomie (**B**). Figure extraite de [21].

L'incidence exacte du laser femtoseconde sur la résistance des bords de la capsule antérieure n'a cependant pas été clairement établie. En effet, tandis que les premières études sur modèle porcin [21, 22] tendaient à montrer une plus grande élasticité et une plus grande résistance mécanique de la capsule antérieure après capsulotomie laser plutôt que par capsulorhexis manuel, d'autres résultats portant sur des cohortes plus étoffées [23] et des yeux humains post-*mortem* [24] ont relevé une tendance inverse ainsi que des occurrences plus importantes de ruptures capsulaires antérieures et postérieures après femto-capsulotomie [25]. Ces résultats contradictoires pourraient s'expliquer par la taille des échantillons étudiés plus importante dans les dernières études, ainsi que par la remise en question du modèle porcin dont l'épaisseur capsulaire est deux à trois fois plus épaisse que chez l'homme. Il ressort toutefois clairement que la résistance de la capsule antérieure augmente avec le diamètre de l'ouverture [26] et que le comportement mécanique est beaucoup plus reproductible après découpe au laser femtoseconde [23].

L'intégrité de la capsule antérieure pourrait en tout cas être une conséquence de la régularité du bord capsulaire découpé. L'observation au microscope électronique à balayage du bord capsulaire montre la présence de sillons après découpe

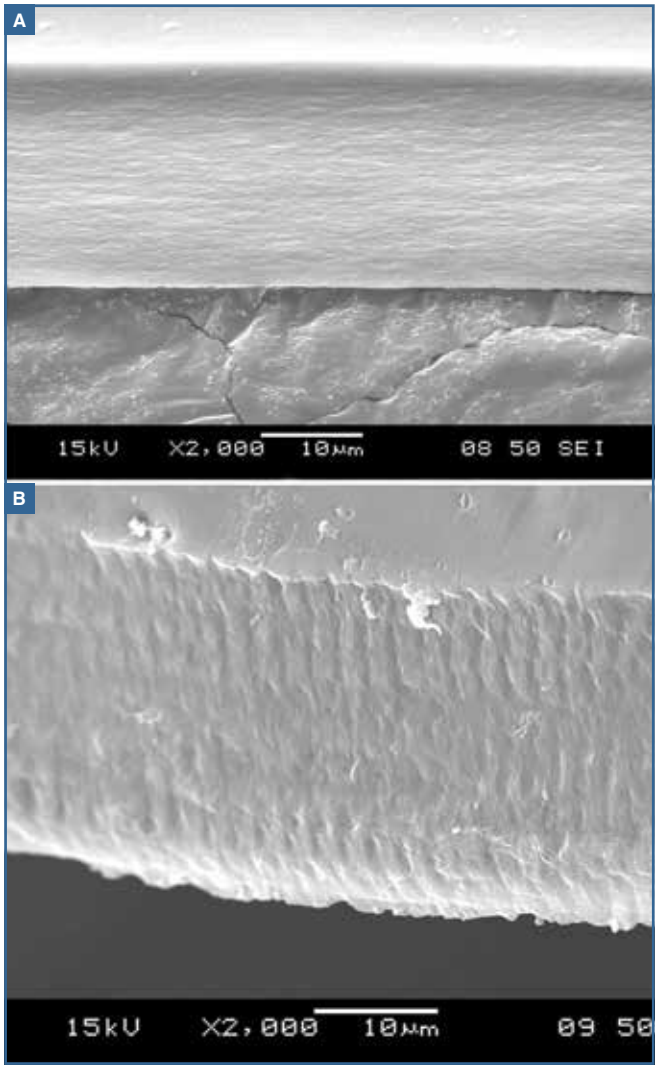


Fig. 10 : Comparaison des bords de la capsule après capsulorhexis (**A**) et capsulotomie au laser femtoseconde (**B**) au microscope électronique à balayage. Figure extraite de [23].

au laser tandis que la structure du bord est beaucoup plus lissée après déchirement manuel de la capsule [23] (***fig. 10***). Ceci pourrait confirmer l'hypothèse d'une moindre résistance

après laser femtoseconde, les sillons créant des irrégularités affaiblissant localement le tissu.

En pratique, plusieurs précautions et contraintes sont à prendre en compte après femto-capsulotomie. Tout d'abord, le diamètre de l'ouverture capsulaire est conditionné par le diamètre apparent de la capsule au travers de la pupille. Le laser ne pouvant tirer au travers de l'iris, une dilatation pupillaire insuffisante sera donc une contre-indication à l'utilisation du laser.

Par ailleurs, en cas de capsulotomie incomplète (***fig. 11A***), la complétion de l'ouverture capsulaire doit être effectuée à la pince. Les conditions de visualisation de la capsulotomie peuvent parfois être difficile, et la manœuvre manuelle peut alors s'avérer périlleuse et conduire à un trait de refend antérieur. Pour éviter cela, on aura pour réflexe d'attendre quelques minutes pour observer un effet de rétraction du "capot" capsulaire (***fig. 11B***), aidant ainsi à déterminer si la capsulotomie a bel et bien été complétée. On pourra aussi utiliser du bleu trypan pour vérifier si le bord de découpe est bien complété à 360° (***fig. 11C***). Il est en revanche très difficile de procéder à un rhexis qui suivra exactement le contour de la femto-capsulotomie, il est alors plus judicieux de diminuer la taille du capsulorhexis.

Enfin, l'hydrodissection peut être plus compliquée après capsulotomie laser. En effet, pour découper la capsule, le laser femtoseconde va dessiner un cylindre, de diamètre égal à celui de l'ouverture capsulaire voulue et d'une hauteur d'environ 400 μm, de façon à être certain que la capsule soit bien traversée de part en part. En conséquence le cortex cristallinien sera lui aussi découpé sous la capsule antérieure. Il en résulte la présence d'un sillon cortical sous-capsulaire qui, après que le capot capsulaire ait été retiré, peut tromper l'œil au moment du passage de la canule d'hydrodissection et conduire à laisser une couche de cortex plaquée contre la capsule postérieure en fin d'intervention. On conseillera d'utiliser du bleu trypan pour teinter le BSS et faciliter la visualisation de la vague d'hydrodissection, rendue plus difficile par la préfragmentation du noyau. Si elle n'est malgré tout pas visible, la bonne réalisation de l'hydrodissection pourra cependant être déduite par l'observation d'une fuite de visqueux à travers l'incision ou une sortie du noyau ou de fragments hors du sac capsulaire.

3. Fragmentation du cristallin

La fragmentation du cristallin se fait traditionnellement par utilisation d'ondes ultrasonores délivrées par la sonde phacoémulsificatrice. La quantité d'ultrasons requise sera d'autant plus importante que le cristallin sera dur et il a été montré que le temps d'exposition et la puissance "ultrasonore" sont corrélés positivement avec le degré d'opalescence nucléaire [27, 28]. Par ailleurs, diminuer la quantité d'ultrasons utilisée permet de diminuer le risque d'inflammation et de mieux préserver l'endothélium cornéen [29].

De façon générale, plusieurs études ont montré que la fragmentation préalable du cristallin par le laser femtoseconde résulte en une diminution du temps d'exposition aux ultrasons par rapport à la chirurgie par phacoémulsification [30, 31]. Ce temps sera d'autant plus raccourci que le pas de fragmentation utilisé est fin [32, 33] et que le grade d'opacification nucléaire est élevé [34].

La préfragmentation laser du cristallin implique de modifier les stratégies de phacoémulsification. On abandonnera ainsi les stratégies classiques de type *Divide-and-Conquer* [35] ou de Phaco-*Chop* [36] pour privilégier une approche inspirée du *Stop-and-Chop* [37] où l'aspiration sera largement prédominante pour séparer et évacuer les fragments. On prendra garde à l'utilisation des motifs de fragmentation trop fins qui,

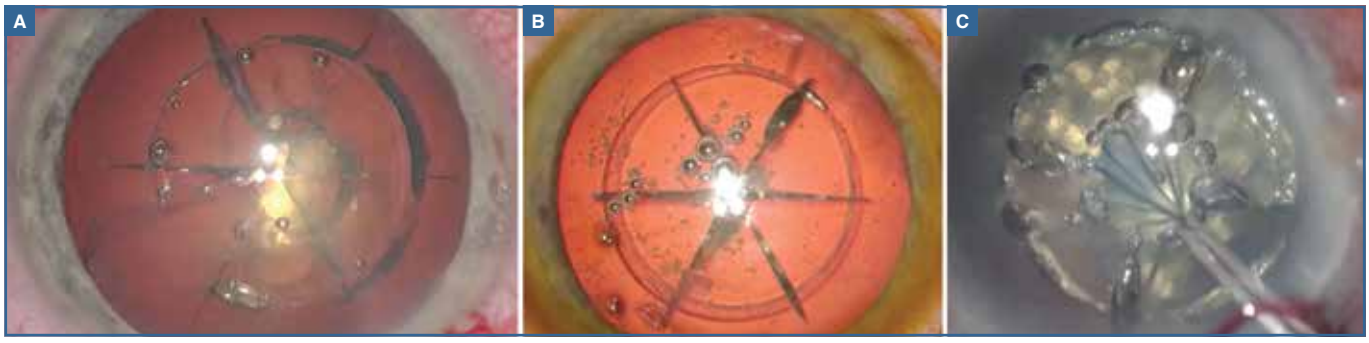


Fig. 11A : Capsulotomie incomplète. **B :** rétraction de l'ouverture capsulaire antérieure après femto-capsulotomie. **C :** visualisation de la capsulotomie avec bleu trypan.

paradoxalement, peuvent compliquer l'aspiration des fragments par la sonde US en empêchant de les agripper efficacement.

4. Impact clinique et économique de l'utilisation du laser femtoseconde en chirurgie de la cataracte

Le laser femtoseconde permet l'automatisation et la systématisation d'étapes chirurgicales. Il offre aussi des avantages susceptibles d'influencer positivement l'issue de la chirurgie de la cataracte, tant du point de vue de la précision du positionnement de l'implant que de la préservation face aux complications per ou postopératoires.

Cependant, l'utilisation de cette technologie suppose un coût qui inclut, outre le prix d'achat du laser, les frais de maintenance, l'achat de consommables… mais aussi les coûts de formation et de présence de personnel supplémentaire habilité si le chirurgien en délègue la manipulation, ainsi que le coût d'équipement d'une salle dédiée si le laser est installé en dehors du bloc opératoire. Se pose donc la question de l'évaluation de l'efficacité et du poids économique de la chirurgie de la femto-cataracte en comparaison avec la chirurgie par phacoémulsification traditionnelle.

Bien que de nombreuses études comparatives aient été publiées depuis l'introduction du laser femtoseconde, les différents rapports ou revues émis depuis lors pointent tous de nombreux biais (méthodologie, taille des cohortes, critères de recrutement, conflits d'intérêts…) qui ne permettent pas de tirer de conclusions définitives quant à l'apport bénéfique du laser par rapport à la phacoémulsification classique [38, 39].

En France, la Haute Autorité de santé s'est autosaisie en mai 2018 pour évaluer l'efficacité, la sécurité, les conditions de réalisation et l'impact médico-économique de la chirurgie de la cataracte assistée par laser femtoseconde. Elle a publié en 2018 un rapport préliminaire [40] concluant à l'absence de différence entre les chirurgies assistée par laser et conventionnelle en termes d'efficacité et de sécurité. Ce rapport s'appuie en particulier sur les résultats alors partiels de l'étude FEMCAT, première étude clinique indépendante randomisée contrôlée en simple-aveugle, dont les résultats définitifs viennent tout juste d'être publiés [41]. L'étude a porté sur une population d'un peu plus de 900 patients répartis sur 5 sites hospitaliers à Bordeaux, Paris, Brest, Lyon et Tours. L'analyse de 736 yeux opérés avec le concours du laser femtoseconde et 740 yeux opérés par méthode de phacoémulsification conventionnelle a déterminé que la chirurgie assistée par laser n'apporte pas de résultats réfractifs ou visuels supérieurs à la chirurgie classique. On pourra émettre l'hypothèse que le bénéfice éventuel du positionnement de l'implant apporté par la femto-capsulotomie, plus précis, n'est pas suffisant pour contrebalancer les imprécisions imputables aux marges d'erreur lors de la réalisation de la biométrie préopératoire ou à la formule de calcul d'implant.

Par ailleurs, l'étude conclut que le laser n'apporte aucun bénéfice clinique supplémentaire. Aucune complication significative n'a été reportée suite à l'utilisation du laser, ni aucune amélioration portant sur le taux de complications per ou postopératoires. Les taux de ruptures capsulaires antérieures et/ou postérieures sont comparables dans les deux groupes, de même que la manifestation d'une cataracte secondaire. À noter que 16 % des yeux prévus pour une opération assistée par laser ont dû être opérés de façon conventionnelle suite à une indisponibilité technique de la machine ou à une impossibilité de déployer correctement le laser sur l'œil du patient. Les pertes de succion (environ dans 13 % des cas) n'ont eu aucune conséquence majeure sur la poursuite de la chirurgie. Enfin, bien que le temps effectif d'utilisation des ultrasons soit sensiblement diminué en femto-cataracte, le temps d'aspiration est quant à lui augmenté et le temps global de la chirurgie s'est révélé plus long qu'en chirurgie traditionnelle.

L'étude a aussi évalué l'impact économique de l'utilisation du laser au moyen d'une analyse portant sur 108 yeux, reportant un surcoût unitaire moyen d'environ 300 euros. Des études économiques effectuées en Australie et aux États-Unis s'accordent sur le fait que la rentabilisation d'une chirurgie présentée comme *premium* utilisant le laser femtoseconde, avec report partiel du surcoût opératoire supporté par le patient, implique obligatoirement l'atteinte d'un volume opératoire critique [42, 43]. En l'état, elle n'est donc pas envisageable par toutes les structures, à moins d'une diminution forte du coût des consommables ou des machines.

5. Bilan et technologies alternatives

En dépit de sa précision, la technologie femtoseconde n'apparaît pas actuellement comme économiquement viable, surtout dans un contexte très codifié comme l'est la tarification des chirurgies de la cataracte dans le système de soin français. Le coût engagé par l'utilisation du laser femtoseconde n'apparaît en effet pas en adéquation avec son apport clinique. Son utilisation est par ailleurs sujette à certaines contre-indications (orbite trop petite, pupille mal dilatée, glaucome…), ce manque d'universalité ne jouant pas en sa faveur. Son apport pourrait cependant être significatif en présence de configurations anatomiques difficilement gérables à la main (subluxation du cristallin…) [44].

Dans notre expérience, les avantages principaux découlant de l'utilisation du laser femtoseconde sont la diminution de l'utilisation d'ultrasons lors de l'étape de phacoémulsification et l'obtention d'une capsulotomie nette et reproductible.

Notons toutefois que l'essor de nouvelles générations de sondes ou de pièces à main (technologies OZil d'Alcon ou Zero Phaco de Bausch + Lomb) vise à diminuer l'utilisation des ultrasons en chirurgie "traditionnelle". Notons aussi l'existence du laser YAG CETUS (A.R.C. Laser, Allemagne) [45], qui utilise l'onde de choc circulaire créée par impact d'un pulse laser ultra-court sur une plaque de titane placée à l'extrémité de la sonde pour émulsifier le corps cristallinien (***fig. 12***).

Aussi, de nouvelles technologies de capsulotomie ont été développées depuis lors pour obtenir une découpe plus régulière du bord capsulaire, tout en offrant une découpe circulaire

Fig. 12 : Laser CETUS et illustration de la sonde au bout de laquelle une onde de choc est produite après impact sur un embout en titane par le faisceau laser nanopulsé. Images extraites de www.arclaser.de.

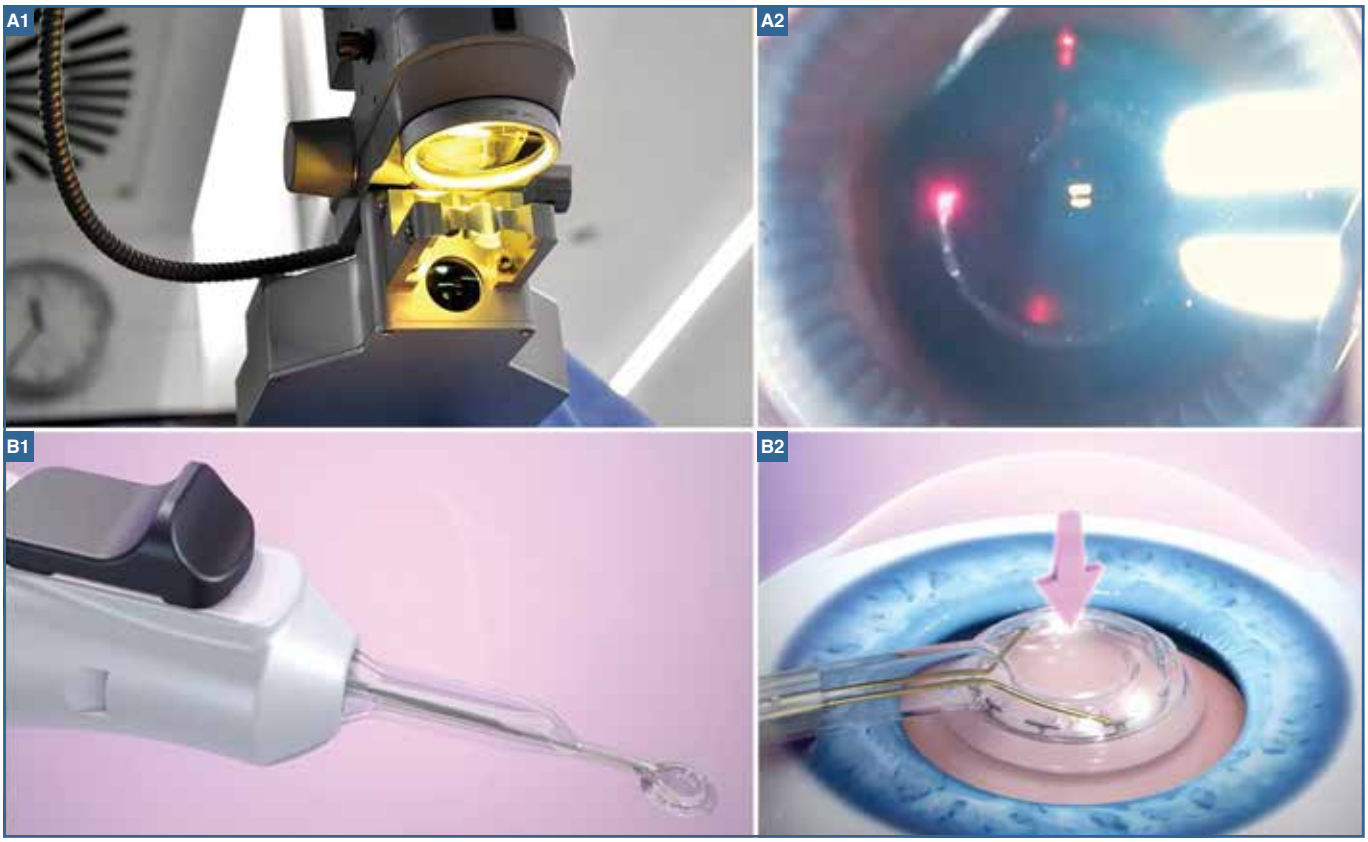


Fig. 13 : En haut, présentation du dispositif CAPSULaser adaptable sur le microscope opératoire (**A1**) et visualisation de la découpe en cours de la capsule après coloration au bleu trypan (**A2**). **En bas**, présentation du dispositif Zepto (**B1**) et apposition de l'anneau de nitinol sur la capsule (**B2**).

de diamètre contrôlé (***fig. 13***), et ce pour un coût et un encombrement bien moindres à celui du laser femtoseconde.

La capsulotomie laser sélective (*Selective Laser Capsulotomy* [46]), sur laquelle repose le CAPSULaser (Excel-Lens, États-Unis), consiste à utiliser l'absorption du laser par une solution de bleu trypan dont la capsule a été teintée préalablement. L'énergie absorbée provoque un échauffement localisé de la capsule et le changement de phase du collagène qui se rompt au passage du faisceau laser décrivant un cercle de diamètre contrôlé sur la capsule.

Enfin, la capsulotomie par impulsions (*Precision Pulse Capsulotomy* [47]) offerte par le Zepto (Mynosys Cellular Devices, États-Unis), utilise un anneau de nitinol (alliage métallique conducteur et à mémoire de forme) inséré dans la chambre antérieure et apposé par succion à la capsule qui subit alors une contrainte mécanique le long du pourtour de l'anneau. Une série de décharges électriques ultracourtes est impulsée dans l'anneau métallique qui rompt la capsule par transition de phase des molécules d'eau piégées entre le nitinol et la capsule.

Les premiers résultats publiés semblent aussi indiquer une meilleure résistance mécanique de la capsule après capsulotomie par ces méthodes [24, 48].

Futur du laser femtoseconde en chirurgie de la cataracte

Bien qu'imparfait dans sa forme actuelle, le laser femtoseconde reste une technologie à fort potentiel. Deux pistes de développement sont actuellement envisagées : d'une part, son évolution technologique pour couvrir tous les aspects de la chirurgie de la cataracte et, d'autre part, la recherche d'utilisations alternatives à son usage actuel, plus orientées vers la gestion postopératoire de la chirurgie. Ces travaux pourraient déboucher très prochainement sur de nouvelles générations d'instruments, plus volontiers intégrables dans les blocs opératoires.

1. Chirurgie tout-laser femtoseconde

Le Femtomatrix (Keranova, France) est un dispositif dont l'ambition est de placer le laser femtoseconde au cœur de la chirurgie de la cataracte. La technologie du Femtomatrix permet l'obtention de 3 à 10 spots lasers à partir d'un seul faisceau primaire, démultipliant ainsi la "puissance de frappe" du laser et sa rapidité d'action. Pour cela, un modulateur de phase (*Spatial Light Modulator*) est intégré dans le chemin du faisceau laser pour en modifier localement le déphasage, conduisant à la création de multiples points focaux après traversée d'une lentille convergente [49, 50]. Le déphasage introduit par le masque de phase est contrôlable en temps réel pour ajuster le nombre et la distribution spatiale des différents spots secondaires.

Le Femtomatrix peut ainsi opérer 20 fois plus rapidement qu'un laser femtoseconde traditionnel, en diminuant le nombre de balayages et de demi-tours nécessaires pour couvrir une zone de découpe donnée. Cette rapidité d'exécution est mise à profit pour subdiviser le cristallin en 20 000 cubes, dont la taille réduite (200 μm de côté) permet leur évacuation par une sonde d'irrigation/aspiration classique sans usage d'ultrasons (photoémulsification) (***fig. 14***). Un module

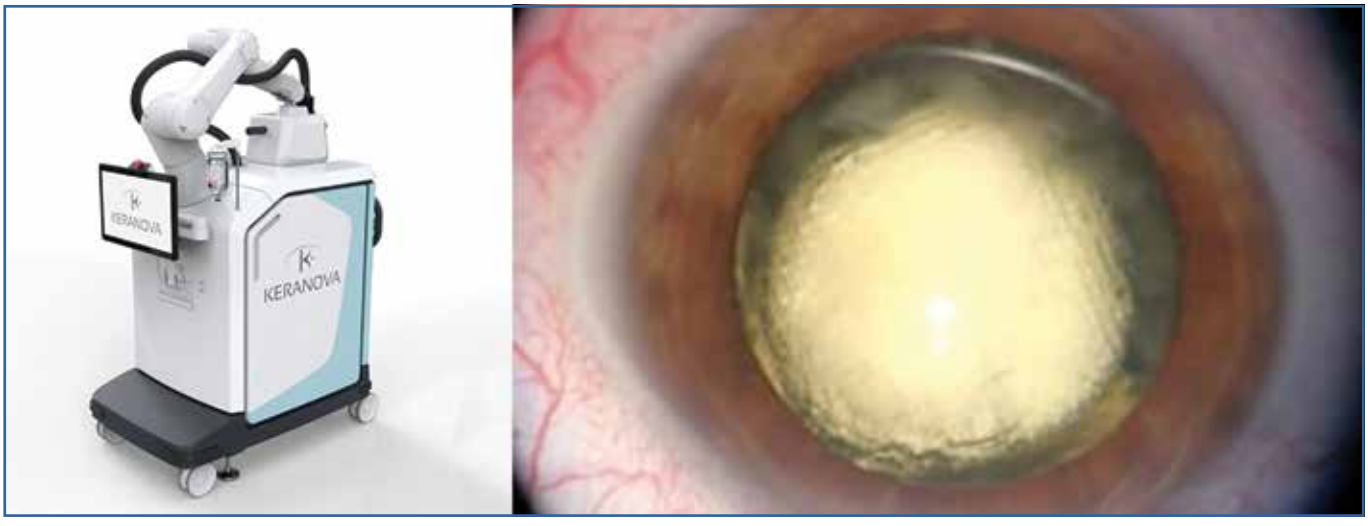


Fig. 14 : Femtomatrix et cristallin photoémulsifié. Images extraites de keranova.fr.

de phacoémulsification est toutefois inclus pour "sécuriser" la chirurgie. Le module d'I/A est aussi directement intégré dans le corps du Femtomatrix, servant aussi à gérer la succion pour fixer l'interface patient. Le guidage par fibre optique du faisceau laser a permis d'intégrer le chemin optique dans un bras articulé qui peut se replier après la découpe laser, libérant ainsi le champ opératoire sans que le Femtomatrix n'ait à être déplacé.

En complément, le Femtomatrix intègre plusieurs autres innovations devant faciliter la chirurgie et améliorer le confort du patient :
– gestion robotisée du bras articulé et de l'étape de *docking* ;
– interface du patient avec chambre de succion répartissant la pression sur l'ensemble de la surface couverte et non sur les seuls bords, diminuant de fait les risques d'augmentation de la pression intraoculaire et d'hémorragie sous-conjonctivale ;
– intégration d'un test préliminaire de détection de seuil d'ablation en différents points du corps cristallinien, permettant d'adapter localement le nombre de points focaux simultanés pour limiter la quantité totale d'énergie délivrée dans l'œil.

2. Gestion postopératoire de la chirurgie

Tandis que le Femtomatrix se positionne comme une évolution des dispositifs femtosecondes actuels et vise à améliorer l'exécution du geste chirurgical, d'autres pistes d'utilisation sont actuellement explorées en tant que solution de gestion ou de traitement postopératoire.

La première de ces utilisations est la découpe d'un implant intraoculaire en vue de son explantation. La faisabilité *in vitro* a été démontrée [51] par utilisation d'un laser commercial mais des études *in vivo* doivent confirmer l'innocuité d'un tel traitement. Une telle procédure permettrait de rendre plus simple les explantations des implants les plus épais dont l'évacuation nécessite parfois d'élargir les incisions cornéennes lors des procédures manuelles.

Une autre application en cours de développement du laser femtoseconde est la modification du pouvoir réfractif des implants une fois posés. Il en effet possible, en maîtrisant à la fois l'énergie du pulse et sa vitesse de balayage (de façon à ne pas dépasser certains seuils qui conduiraient à l'endommagement du milieu visé), d'en modifier l'indice de réfraction [52]. Dans ces conditions, l'interaction du laser femtoseconde avec un matériau polymère immergé conduit à modifier son caractère hydrophile, ce qui entraîne une hydratation accrue et localisée, et par conséquent une diminution

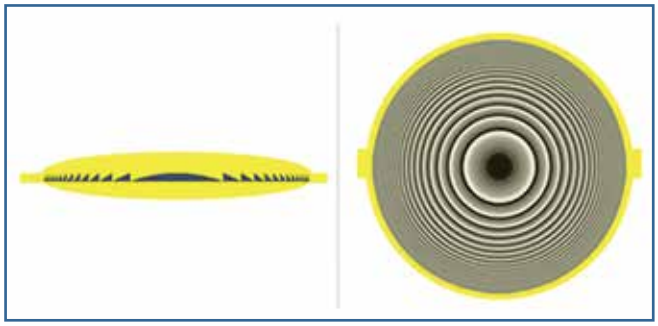


Fig. 15 : Illustration de la modification d'indice de réfraction au sein de l'implant intraoculaire, sous forme d'une lentille de Fresnel (vue en section verticale à gauche et vue de dessus à droite). Les zones de tir du laser sont représentées en gris et la zone laissée intacte de l'implant est en jaune. Image extraite de [53].

de l'indice de réfraction (l'indice de l'eau étant inférieur à celui des matériaux polymères utilisés dans les implants intraoculaires) [53].

La création d'un lenticule réfractif sous la forme d'une lentille de Fresnel permet de modifier la puissance d'un implant de plusieurs dioptries tout en limitant la profondeur de la zone à traiter avec le laser (***fig. 15***). On pourra corriger la puissance sphérique et/ou torique de l'implant, ou bien encore lui conférer – ou au contraire diminuer (jusqu'à annulation) – un effet multifocal [53]. Plusieurs sociétés développent actuellement une solution reposant sur cette technologie (ClerioVision, États-Unis/Perfect Lens, États-Unis…) qui pourrait aussi être utilisée en application directe au tissu cornéen.

Bibliographie

1. Krasnov MM. Laser-phakopuncture in the treatment of soft cataracts. *Brit J Ophthal*, 1975;59:96-98.
2. Aron-Rosa DS, Aron JJ. Effect of preoperative YAG laser anterior capsulotomy on the incidence of posterior capsule opacification: ten year follow-up. *J Cataract Refract Surg*, 1992;18:559-561.
3. Nagy Z, Takacs A, Filkorn T *et al*. Initial clinical evaluation of an intraocular femtosecond laser in cataract surgery. *J Refract Surg*, 2009;25:1053-1060.
4. Fine IH. Clear corneal incisions. *Int Ophthalmol Clin*, 1994;34:59-72.
5. May W, Castro-Combs J, Camacho J *et al*. Analysis of clear corneal incision integrity in an ex vivo model. *J Cataract Refract Surg*, 2008;34:1013-1108.
6. Donnenfeld E, Rosenberg E, Boozan H *et al*. Randomized prospective evaluation of the wound integrity of primary clear corneal incisions made with a femtosecond laser versus a manual keratome. *J Cataract Refract Surg*, 2018; 443:329-335.
7. Mastropasqua L, Toto L, Mastropasqua A *et al*. Femtosecond laser versus manual clear corneal incision in cataract surgery. *J Refract Surg*, 2014;30:27-33.
8. Rodrigues R, Serapião Dos Santos M, Silver RN *et al*. Corneal incision architecture: VICTUS femtosecond laser vs manual keratome. *Clin Ophthalmol*, 2019;13:147-152.
9. Okada M, Hersh D, Paul E *et al*. Effect of centration and circularicity of manual capsulorhexis on cataract surgery refractive outcomes. *Ophthalmology*, 2014;121:763-770.

10. Sanders DR, Higginbotham RW, Opatowsky IE *et al*. Hyperopic shift in refraction associated with implantation of the single-piece collamer intraocular lens. *J Cataract Refract Surg*, 2006;32:2110-2112.
11. Findl O, Draschl P, Wiesinger J. Effect of manual capsulorhexis size and position on intraocular lens tilt, centration, and axial position. *J Cataract Refract Surg*, 2017;43:902-908.
12. Cekic O, Batman C. The relationship between capsulorhexis size and anterior chamber depth relation. *Ophthalmic Surg Lasers*, 1999;30:185-190.
13. Apple DJ, Solomon KD, Tetz MR *et al*. Posterior capsule opacification. *Surv Ophthalmol*, 1992;37:73-116.
14. Apple DJ. Influence of intraocular lens material and design on postoperative intracapsular cellular reactivity. *Tr Am Ophthalmol Soc*, 2000;98:257-283.
15. Shah A, Spalton DJ, Gilbert C *et al*. Effect of intraocular lens edge profile on posterior capsule opacification after extracapsular cataract surgery in a developing country. *J Cataract Refract Surg*, 2007;33:1259-1266.
16. Ravalico G, Tognetto D, Palomba MA *et al*. Capsulorhexis size and posterior capsule opacification. *J Cataract Refract Surg*, 1996;22:98-103.
17. Hollick EJ, Spalton DJ, Meacock WR. The effect of capsulorhexis size on posterior capsular opacification: one-year results of a randomized prospective trial. *Am J Ophthalmol*, 1999;128:271-279.
18. Gimbel HV, Neuhann T. Development, advantages, and methods of the continuous circular capsulorhexis technique. *J Cataract Refract Surg*, 1990;16:31-37.
19. Gimbel HV, Neuhann T. Continous curvilinear capsulorhexis. *J Cataract Refract Surg*, 1991;17:110.
20. Wygledowska-Promienska D, Jaworski M, Koziel K *et al*. The evolution of anterior capsulotomy. *Wideochir Inne Tech Maloinwazyjne*, 2019;1:12-18.
21. Friedman NJ, Palanker DV, Schuele G *et al*. Femtosecond laser capsulotomy. *J Cataract Refract Surg*, 2011;37:1189-1198.
22. Auffarth GU, Prasad Reddy K, Ritter R *et al*. Comparison of the maximum applicable stretch force after femtosecond laser-assisted and manual anterior capsulotomy. *J Cataract Refract Surg*, 2013;39:105-109.
23. Sandor GL, Kiss Z, Bocksai ZI *et al*. Comparison of the mechanical properties of the anterior lens capsule following manual capsulorhexis and femtosecond laser capsulotomy. *J Refract Surg*, 2014;30:660-664.
24. Thompson VM, Berdahl JP, Solano JM *et al*. Comparison of manual, femtosecond laser, and precision pulse capsulotomy edge tear strength in paired human cadaver eyes. *Ophthalmology*, 2016;123:265-274.
25. Abell RG, Davies PEJ, Phelan D *et al*. Anterior capsulotomy integrity after femtosecond laser-assisted cataract surgery. *Ophthalmology*, 2014;121:17-24.
26. Packer M, Valas Teuma E, Glasser A *et al*. Defining the ideal femtosecond capsulotomy. *Br J Ophthalmol*, 2015;99:1137-1142.
27. Bencic G, Zoric-Geber M, Sarc D *et al*. Clinical importance of the lens opacities classification system III (LOCS III) in phacoemulsification, *Coll Antropol*, 2005;29:91-94.
28. Mayer WJ, Klaproth OK, Hengerer FH *et al*. Impact of crystalline lens opacification on effective phacoemulsification time in femtosecond laser-assisted cataract surgery. *Am J Ophthalmol*, 2014;157:426-432.
29. Hayashi K, Hayashi H, Nasko F *et al*. Risk factors for corneal endothelial injury during phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg*, 1996;22:1079-1084.
30. Conrad-Hengerer I, Hengerer FH, Schultz T *et al*. Effect of femtosecond laser fragmentation on effective phacoemulsification time in cataract surgery. *J Refract Surg*, 2012;28:879-883.
31. Reddy KP, Kandulla J, Auffarth GU. Effectiveness and safety of femtosecond laser-assisted fragmentation and anterior capsulotomy versus the manual technique in cataract surgery. *J Cataract Surg*, 2013;39:1297-1306.
32. Huseynova T, Mita M, Corpuz CC *et al*. Evaluating the different laser fragmentation patterns used in laser cataract surgeries in terms of effective phacoemulsification time and power. *Clin Ophthalmol*, 2015;9:2067-2071.
33. Shajari M, Khalil S, Mayer WJ *et al*. Comparison of 2 laser fragmentation patterns used in femtosecond laser-assisted cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2017;43:1571-1574.
34. Horta GA, Horta RC, Steinfled K *et al*. Ultrasound power and irrigation volume in different lens opacity grades: comparison of femtosecond laser-assisted cataract surgery and conventional phacoemulsification. *Clinics*, 2019;74:e1294.
35. Gimbel HV. Divide and conquer nucleofractitis phacoemulsification: development and variations. *J Cataract Refract Surg*, 1991;17:281-291.
36. Nagahara KB. Phaco chop. *In Complications in phacoemulsification: avoidance, recognition, and management* (ed. Fishkind WJ), Thieme, New York, 2002:94-99.
37. Koch PS, Katzen LE. Stop and chop phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg*, 1994;20:566-570.
38. Popovic M, Capos-Möller X, Schlenker MB *et al*. Efficacy and safety of femtosecond laser-assisted cataract surgery compared with manual cataract surgery. *Ophthalmology*, 2016:123:2113-2126.
39. Day AC, Gore DM, Bunce C *et al*. Laser-assisted cataract surgery versus standard ultrasound phacoemulsification cataract surgery (review). *Cochrane Database Syst Rev*, 2016;7:CD010735.
40. Haute Autorité de Santé, Évaluation de l'efficacité et de la sécurité du laser femtoseconde dans la chirurgie de la cataracte, 2018, url: www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2020-01/rapport_laser_femtoseconde.pdf (consulté le 01/02/2020).
41. Schweitzer C, Brezin A, Cochener B *et al*. Femtosecond laser-assisted versus phacoemulsification cataract surgery (FEMCAT): a multicentre participant-masked randomised superiority and cost-effectiveness trial. *Lancet*, 2020;395:212-224.
42. Abell RG, Vote BJ. Cost-effectiveness of femtosecond laser-assisted cataract surgery versus phacoemulsification cataract surgery. *Ophthalmology*, 2014;121:10-16.
43. Bartlett JD, Miller KM. The economics of femtosecond laser-assisted cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol*, 2016;27:76-81.
44. Crema AS, Walsh A, Yarmane IS *et al*. Femtosecond laser-assisted cataract surgery in patients with Marfan syndrome and subluxated lens. *J Refract Surg*, 2015;31:338-341.
45. Kanellopoulos AJ. All-laser bladeless cataract surgery, combining femtosecond and nanosecond lasers: a novel surgical technique. *Clin Ophthalmol*, 2013;7:1791-1795.
46. Stodulka P, Packard R, Mordaunt D. Efficacy and safety of a new selective laser device to create anterior capsulotomies in cataract patients. *J Cataract Refract Surg*, 2019;45:601-607.
47. Chang DF, Mamalis N, Werner L. Precision pulse capsulotomy, preclinical safety and performance of a new capsulotomy technology. *Ophthalmology*, 2016;123:255-264.
48. Daya S, Chee SP, Ti SE *et al*. Comparison of anterior capsulotomy techniques: continuous curvilinear capsulorhexis, femtosecond laser-assisted capsulotomy and selective laser capsulotomy. *Br J Ophthalmol*, 2020;104:437-442.
49. Mauclair C, Cheng G, Huot N *et al*. Dynamic ultrafast laser spatial tailoring for parallel micromachining of photonic devices in transparent materials. *Opt Express*, 2009;17:3532-3542.
50. Mauclair C, Pietroy D, Di Maïo Y *et al*. Ultrafast laser micro-cutting of stainless steel and PZT using a modulated line of multiple foci formed by spatial beam shaping. *Opt Laser Engineering*, 2015;67:212-217.
51. Bala C, Shi J, Meades K. Intraocular lens fragmentation using femtosecond laser: an in vitro study. *Int Vis Sci Tech*, 2015;4:8.
52. Ding L, Blackwell R, Künzler JF *et al*. Large refractive index change in silicone-based and non-silicone-based hydrogel polymers induced by femtosecond laser micro-machining. *Opt Express*, 2006;14:11901-11909.
53. Bille JF, Engelhardt J, Volpp HR *et al*. Chemical basis for alteration of an intraocular lens using a femtosecond laser. *Biomed Opt Express*, 2017;8:1390-1404.
54. Sahler R, Bille JF, Enright S *et al*. Creation of a refractive lens within an existing intraocular lens using a femtosecond laser. *J Cataract Refract Surg*, 2016;42:1207-1215.

Les auteurs ont déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.

J.-F. MONTIN
Centre Ophtalmologie-Étoile,
Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.
montin@ophtalmologie.paris

Pourquoi faut-il passer au femto-cataracte en 2020 ?

La chirurgie de la cataracte est une technique éprouvée, sûre et efficace. Souvent pratiquée par des chirurgiens à fort débit, son taux de succès est élevé et les complications sont rares. La valeur ajoutée d'une pratique régulière, d'un nombre de chirurgies élevé par semaine ou par mois, d'une monospécialité rendant le chirurgien encore plus aguerri sont des gages de rapide récupération et de raréfaction des complications. C'est dire que cette chirurgie par phacoémulsification et petite incision est rendue aisée par les outils mis à la disposition des opérateurs participant à la maîtrise de la technique. Cependant, deux points doivent d'emblée être relevés :

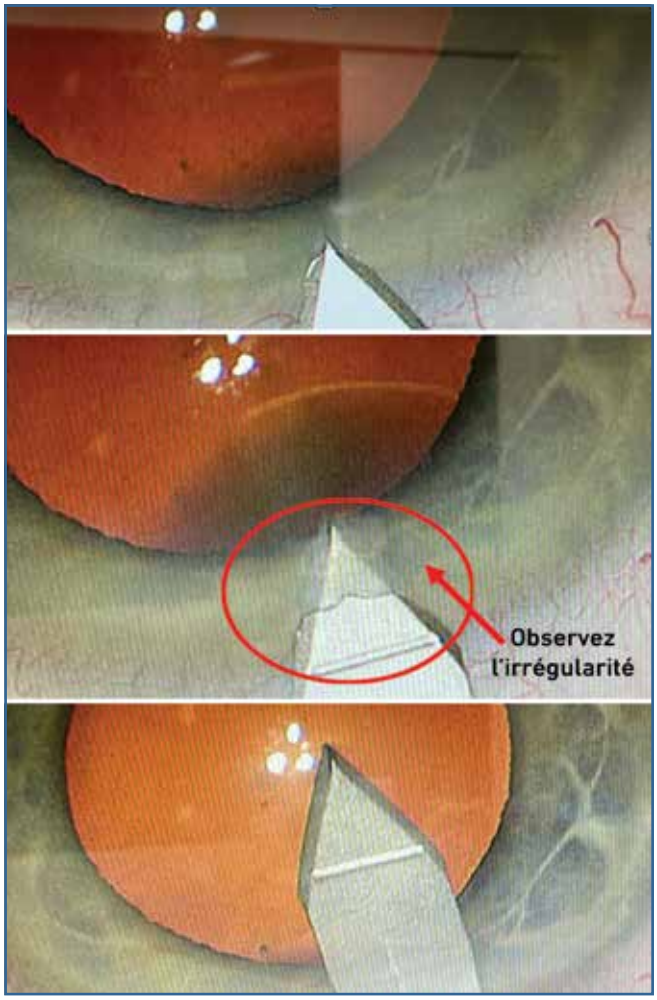
>>> D'une part, la demande de récupération rapide liée à un geste sûr et rapide, qui est une constante des futurs patients opérés qui souhaitent une réhabilitation et une récupération dans des délais les plus courts possible.

>>> D'autre part, la demande d'une vraie chirurgie réfractive de la cataracte, devenant une véritable chirurgie de fonction avec une demande des opérés de plus en plus forte pour obtenir le meilleur confort visuel possible postopératoire et la meilleur qualité de vision sans lunettes.

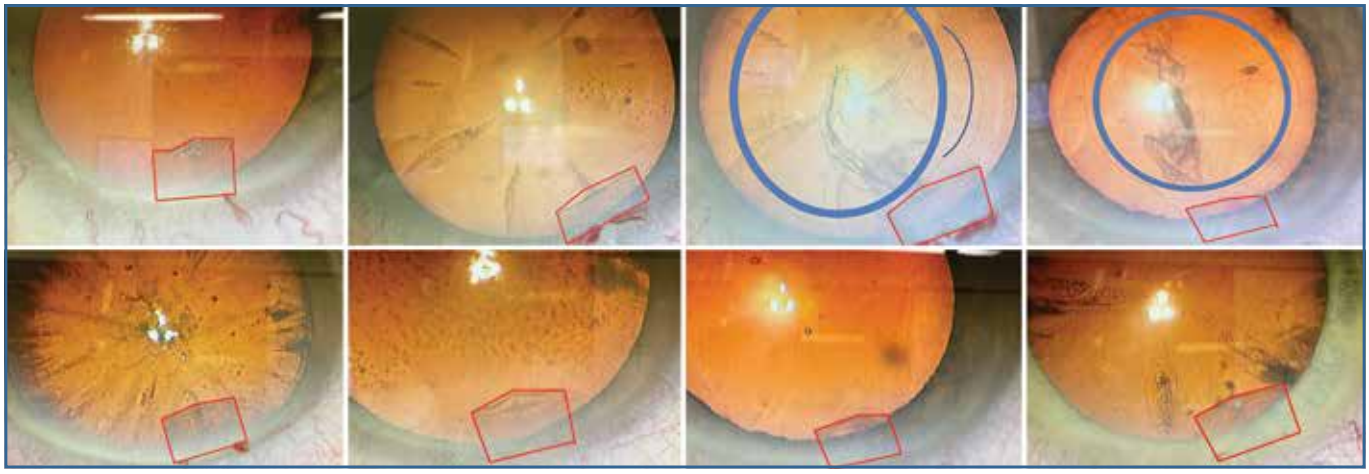
La chirurgie de la cataracte nécessite donc une constance de résultats, dont les conséquences sont la qualité et surtout la reproductibilité de l'acte technique.

Constatations en préambule

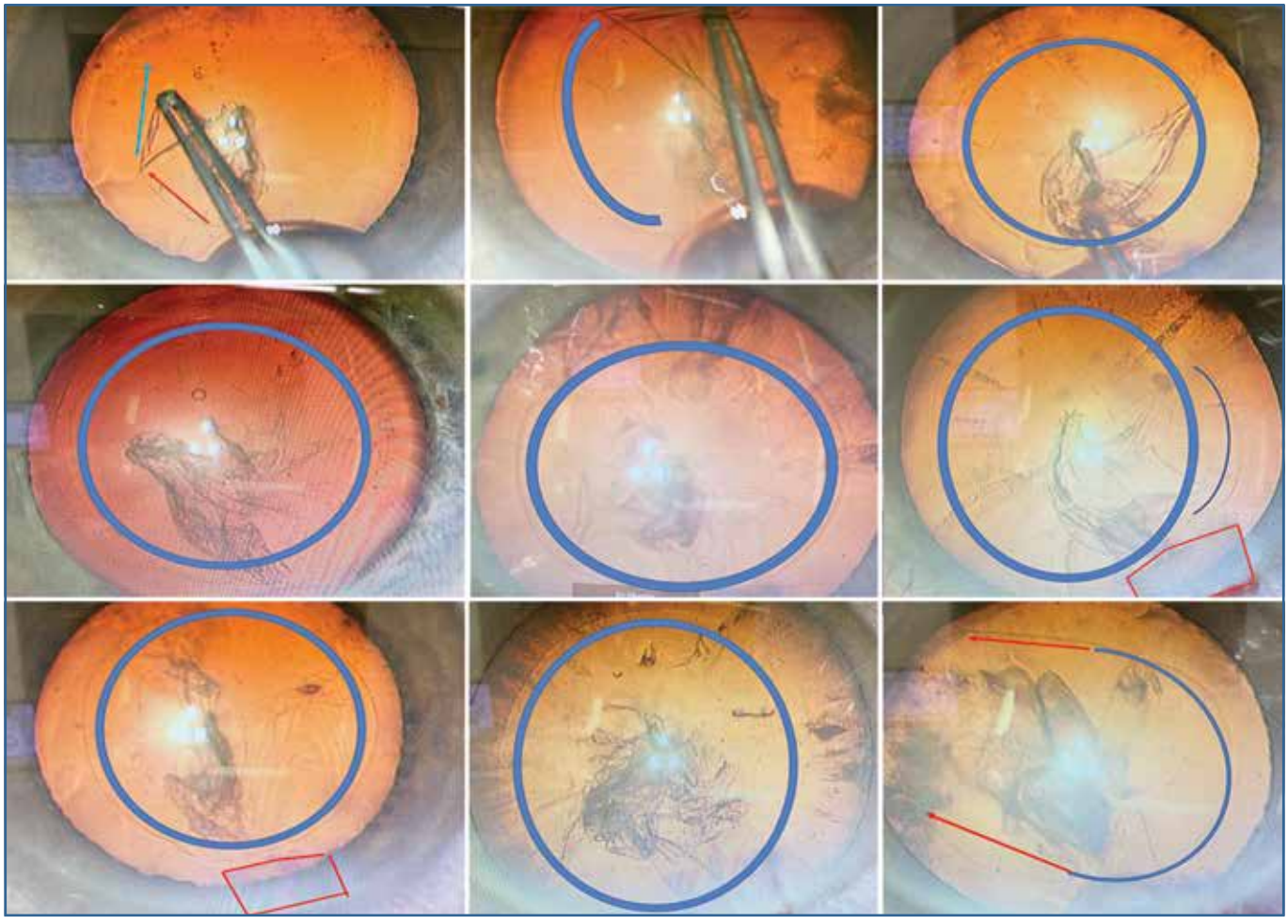
Nous avons décidé de comparer lors de séances chirurgicales faites le même jour, avec le même bistouri lame acier sur un programme opératoire la forme et la taille de l'incision répétée successivement par le même opérateur entraîné et aguerri. Nous comparons aussi de la même manière la forme du capsulorhexis pratiqué à la pince.



La ***figure 1*** montre une incision au bistouri angulé de 2,2 mm à simple biseau. Observez l'irrégularité. Voyez comme la zone initiale d'incision est hachurée et irrégulière. Observez la dépression cornéenne générée par le bistouri. Après pénétration du couteau dans la cornée, la longueur du tunnel sera comparée.



La ***figure 2*** montre la matérialisation de plusieurs incisions faites selon la même méthode manuelle. Observez la grande variété de formes et de tailles.



La ***figure 3*** montre la matérialisation de plusieurs capsulorhexis faits selon la même méthode manuelle à la pince. Observez les étapes et le déroulement de la technique à la pince. Observez leur relative régularité mais aussi la variété de formes et de tailles. Le capsulorhexis à la pince est régulier et circulaire. Cependant, il existe de multiples variations avec ovalisation, décentrement ou irrégularité.

Lors de l'incision cornéenne, malgré l'expérience, on observe que la forme, la taille, les dimensions et la profondeur d'une incision sont à chaque opération différentes. Les facteurs de la variation sont multiples : le côté opéré, la profondeur dans l'orbite de l'œil, la pression, la mobilité, le type de bistouri, etc. sont autant de paramètres qui vont modifier le comportement du couteau lors de son trajet dans la cornée. Lors du capsulorhexis, les facteurs d'inconstance et de non reproductibilité sont aussi multiples : enophtalmie, bombement du cristallin, hypermétropie forte, fibres zonulaires.

Êtes-vous sûr et certain de la qualité et de la reproductibilité de vos gestes techniques dont les conséquences sont majeures sur la prédictibilité du résultat que vous promettez à vos patients ? Êtes-vous certain des données que vous entrez dans les calculateurs et qui ont une incidence sur le résultat optique promis en matière d'emmétropie postopératoire, notamment d'astigmatisme induit par une incision mécanique au bistouri avec ses caractères multiples ?

Toute transformation des paramètres de l'incision, de sa longueur, de sa largeur va modifier l'astigmatisme postopératoire que vous avez prédit et inclus dans le calculateur pour une chirurgie de cataracte dite réfractive. Tout décentrement de l'implant généré par un capsulorhexis irrégulier, décentré ou ovalaire va modifier le positionnement de l'implant induisant des modifications de la qualité de la vision, à distance de la chirurgie.

État actuel de la chirurgie

En France, la technique de chirurgie de cataracte la plus pratiquée en secteur public ou privé est la phacoémulsification manuelle.

Elle est réalisée avec deux incisions :

>>> **Incision principale cornéenne supérieure** avec un bistouri calibré à simple coupe ou à biseau double : cette incision est tunnelisée. La largeur de l'incision est calibrée par la largeur du bistouri. Cette dimension est *a priori* constante bien que, lors de l'introduction du bistouri et lors de sa sortie de la cornée, des manœuvres latérales peuvent agrandir et élargir volontairement ou involontairement l'incision. La longueur de l'incision est déterminée par la distance intracornéenne de progression du bistouri ainsi que par l'angle d'incidence du bistouri et la profondeur de l'incision. Cette incision cornéenne conditionne toutes les étapes du déroulement de l'opération.

Une incision trop courte est synonyme d'absence d'étanchéité, de fuite et d'inconstance de profondeur de chambre antérieure voire de chambre plate peropératoire. Une incision trop longue est génératrice de plis cornéens peropératoires gênant la visibilité et la gestuelle : le long tunnel crée un astigmatisme cornéen postopératoire dommageable pour la vision. Une incision trop large est moins étanche : elle est moins prédictible sur l'astigmatisme postopératoire.

>>> **Incision, dite de service,** qui est aussi tunnelisée mais beaucoup plus petite réalisée avec un couteau de 15° ou 30° : elle est utilisée pour l'insertion d'un manipulateur qui est une aide à la gestuelle intraoculaire. Certains utilisent cette ouverture pour l'infusion alors que l'incision princeps laisse passer la pièce à main de phaco associée à l'aspiration.

D'autres opérateurs font une chirurgie dite monomanuelle avec une seule incision, l'incision principale. La mono-incision réduit le traumatisme cornéen et améliore la prévision des astigmatismes induits par les ouvertures cornéennes.

L'ouverture de la capsule sous produit visqueux cohésif est faite avec une pince. La pince est utilisée pour l'ouverture initiale de la capsule puis par préhension pour la découpe circulaire. La prise de la capsule par les mors de la pince au voisinage de la zone découpée permet une découpe précise, circulaire et centrée. Parfois, des fibres zonulaires périphériques ou une forte courbure de la face antérieure du cristallin chez l'hypermétrope, voire une chambre antérieure étroite sont des facteurs qui gênent la gestuelle et provoquent une irrégularité, une anomalie de forme, une fuite périphérique nécessitant un contre-capsulorhexis inverse, voire une déchirure du capsulorhexis.

L'hydrodissection sépare l'enveloppe du cristallin de son contenu et permet la rotation du contenu cristallinien. La phacoémulsification, selon différentes techniques appelées "*divide and conquer*", "en bol" ou "en colimaçon", fragmente la partie opaque et dure du cristallin par les ultrasons. La quantité et la fréquence utilisées sont fonction de l'intensité et de l'opacité à fragmenter. Il y a une relation entre la quantité et la fréquence des ultrasons et le traumatisme engendré sur l'endothélium cornéen.

La mise en place de l'implant après lavage des masses est très reproductible au travers de la petite incision, qu'il s'agisse d'implants hydrophiles ou d'implants hydrophobes – un peu moins facilement pour ces derniers.

Apports du laser femtoseconde

Le laser femtoseconde est utilisé depuis 15 ans en chirurgie réfractive pour la découpe du volet de la cornée en Lasik. Son implication dans la chirurgie de la cataracte est donc née de la précision donnée par le laser dans la découpe cornéenne. Le passage de la technique de coupe par microkératome vers la découpe laser femto a été adopté par la plupart des chirurgiens. D'une découpe par lame acier type lame Gillette à quelques dizaines d'euros à une découpe à quelques centaines d'euros, le surcoût généré n'a pas été un frein à son développement et son adoption.

La photodissection créée par l'effet de cavitation du laser à fréquence dans l'infrarouge permet la précision de coupe.

Quels sont les arguments d'utilisations du laser femto en chirurgie de cataracte ?

Il y a trois zones d'action dans la chirurgie de la cataracte : la cornée, la capsule du cristallin et le contenu du cristallin. Les données de l'imagerie et son couplage avec le laser permettent un repérage précis des zones anatomiques.

Lors de l'incision cornéenne, malgré l'expérience, on observe que la forme, la taille, les dimensions et la profondeur d'une incision sont différentes à chaque opération. Les facteurs de la variation sont multiples : le côté opéré, la profondeur dans l'orbite de l'œil, la pression, la mobilité, le type de bistouri, etc. sont autant de paramètres qui vont modifier le comportement du couteau lors de son trajet dans la cornée (***fig. 4***).

Le capsulorhexis présente les mêmes caractères de variabilité : centrage, forme, régularité… La variabilité de la forme est aussi liée au geste chirurgical, à la pression intraoculaire, à la forme du cristallin antérieur, au bombement de la capsule antérieure, à la profondeur de la chambre antérieure, à la dilatation pupillaire, aux fibres zonulaires. Le geste technique est exécuté soit à l'aiguille, soit à la pince, soit avec les deux instruments.

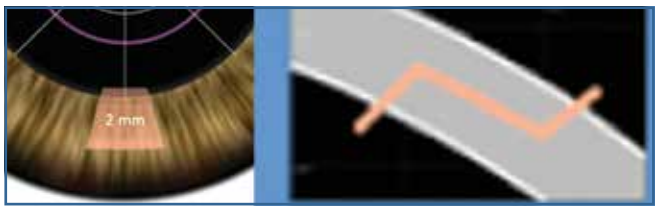


Fig. 4.

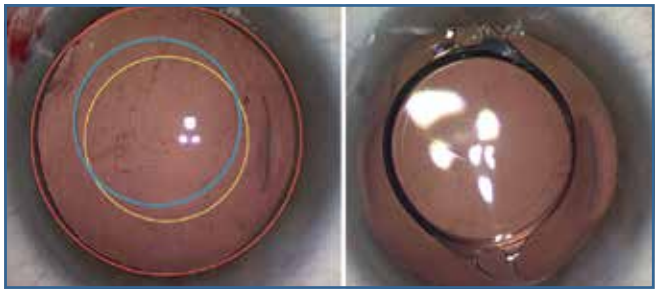


Fig. 5 : En bleu le capsulorhexis du femto centré sur l'apex du cristallin, **en jaune** le capsulorhexis s'il avait été centré sur la pupille.

Ces deux étapes sont donc manuelles et dépendantes du geste chirurgical ou de la main du chirurgien. Elles sont chirurgien-dépendantes. Et même si le chirurgien est entraîné, on constate qu'il y a une grande variabilité dans leur exécution et surtout dans le résultat escompté et obtenu. Ces arguments pèsent lourd dans la balance de l'automatisation par le laser femtoseconde.

Le repérage grâce à l'imagerie des structures opérées et le calibrage des incisions et du capsulorhexis sont des facteurs évidents de reproductibilité ! La nouvelle génération des lasers femtosecondes (VICTUS, Bausch + Lomb) est équipée d'un système OCT à très haute résolution développant plus de 40 000 A-scans par seconde, donnant une image de très grande qualité : automatiquement, il reconnaît la pupille, l'épaisseur du cristallin ainsi que la capsule antérieure et postérieure. Le femto calcule la surface de la capsule antérieure et reconnaît l'apex du cristallin : le capsulorhexis est donc centré sur l'apex et non sur le centre pupillaire, ce qui a une importance notable dans l'implantation multifocale ou torique (***fig. 5***).

L'ultime aboutissement de l'utilisation du laser femtoseconde est l'utilisation minime voire nulle des ultrasons au cours de la fragmentation du cristallin. Les options de fragmentation par femto sont multiples, en toile d'araignée, en grilles, circulaire, radiaire, tous ces types pour aboutir à l'utilisation d'une sonde dite zéro phaco.

Le femto-cataracte en France et dans le monde

En France, 25 centres sur plus de 70 établissements sont équipés d'un femtolaser. Face à nos voisins les plus proches, la France est largement en retrait : 57 en Italie, 55 en Espagne, 103 en Allemagne, 30 en Angleterre. Environ 2 % de cataractes ont été opérées en 2018 avec le laser femto contre

10 % aux États-Unis. Le surcoût généré par le laser en public comme en privé varie de 300 à 500 euros.

Conclusion

Le 1er argument de la non-utilisation du laser femtoseconde relève avant tout du pseudo-allongement de la procédure par rapport à une chirurgie classique. Le laser femtoseconde pour la cataracte nécessite une intégration globale dans un process optimisé pour la chirurgie de la cataracte, où la phase laser est dissociée de la phase chirurgicale.

Le 2e argument est celui de l'absence de valeur ajoutée. Cet argument a été mis en avant en Lasik entre la découpe lame et la découpe laser. Les années d'utilisation ont démontré l'avantage de la découpe du volet tant dans sa reproductibilité que dans la précision de la profondeur de coupe. Une incision automatisée sera toujours plus précise et reproductible qu'une incision manuelle !

La discussion sur la réduction de la phase ultrasons et son gain sur l'endothélium n'est pas tranchée : l'étude FEMCAT, réalisée en France avec les premières générations d'appareils, ne donne pas de gain sur la perte endothéliale. Les nouvelles générations de femto-cataracte et l'utilisation de pièce à main zéro phaco démontreront sans doute le contraire.

Enfin, la montée en puissance de la chirurgie réfractive du cristallin cataracté ou même clair nécessite une chirurgie de plus en plus réglée et reproductible. Le calcul de l'emmétropie postopératoire passe par une parfaite connaissance des paramètres cornéens induits par l'incision et par le parfait centrage de l'implant sur l'apex cristallinien. La valeur ajoutée du laser femtoseconde passe par une courbe d'apprentissage et une utilisation régulière.

La tendance globale à la robotisation de l'acte chirurgical fait son chemin dans toutes les disciplines. Chaque spécialité voit ses utilisateurs et ses détracteurs comme dans la chirurgie urologique et l'utilisation du robot Da Vinci. Chaque industrie subit les mêmes avancées et l'utilisation de systèmes automatisés, qu'il s'agisse de l'automobile et ses voitures autonomes, de l'aéronautique et de ses systèmes d'aide à la navigation. Nous avons connu, au cours de l'histoire de la chirurgie Lasik, les mêmes discussions, mais le temps donne raison à la technologie, à sa fiabilité et sa reproductibilité liées à la moindre utilisation de la main du chirurgien.

Bibliographie

- Haute Autorité de santé. *Conditions de réalisation de la chirurgie de la cataracte : environnement technique*. Saint-Denis La Plaine : HAS ; 2010.
- Day AC, Gore DM, Bunce C *et al*. Laser-assisted cataract surgery versus standard ultrasound phacoemulsification cataract surgery. *Cochrane Database Syst Rev*, 2016;7:CD010735.
- Reddy KP, Kandulla J, Auffarth GU. Effectiveness and safety of femtosecond laser-assisted lens fragmentation and anterior capsulotomy versus the manual technique in cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2013;39:1297-1306.
- Alio JL, Abdou AA, Soria F *et al*. Femtosecond laser cataract incision morphology and corneal higherorder aberration analysis. *J Refract Surg*, 2013;29:590-595.
- Ye Z, Li Z, He S. A meta-analysis comparing postoperative complications and outcomes of femtosecond laser-assisted cataract surgery versus conventional phacoemulsification for cataract. *J Ophthalmol*, 2017;2017:3849152.

L'auteur mentionne un lien d'intérêt avec la Clinique de la Vision, Paris.

P. ROZOT
Clinique Juge, MARSEILLE.
pascal.rozot@dr-rozot.com

Zepto et FEMTIS : l'avenir de la capsulotomie et de la fixation des implants

La technique de femtocataracte est utilisée dans certains centres depuis une douzaine d'années et permet de programmer et d'automatiser 3 gestes principaux de la phacoémulsification : le capsulorhexis, la fragmentation du cristallin et les incisions. Les bénéfices attendus sont une amélioration des résultats réfractifs apportés par la reproductibilité du laser. Cependant, toutes les études à ce jour n'ont pas montré de supériorité statistique de la technologie par rapport à la phacoémulsification classique sur les résultats visuels. Une sécurité accrue est également mise en avant par les promoteurs de la technique : il est vrai que la capsulotomie peut être facilitée dans des cas particuliers (cataractes blanches) et que la réduction du temps ultrasonique peut également être intéressante en cas de cornée à endothélium faible ou de zonule fragile.

Il a été démontré que la solidité du capsulorhexis réalisé par laser femtoseconde, éprouvée à l'étirement, était moindre que celle de la capsulotomie manuelle, et ce parce que le laser produit des micropunctures pour l'effectuer. Enfin, du fait de son coût important, le modèle économique du femtocataracte tel que nous le connaissons depuis une dizaine d'années reste difficile à équilibrer et rebute grand nombre d'utilisateurs, notamment en France.

Le Zepto

L'un des avantages d'une capsulotomie automatisée étant néanmoins son diamètre prédictible et régulier, des dispositifs plus légers que le femtocataracte ont vu le jour et nous nous sommes intéressés à la technique Zepto (Mynosys, Topcon), technique de capsulotomie apportée par un microcourant électrique ou *precision pulse capsulotomy* [1]. L'appareil Zepto (***fig. 1 et 2***) comporte une console reliée à une pièce à main stérile jetable, dont l'extrémité est circulaire avec un diamètre de 5,2 mm. Cette extrémité est introduite en chambre antérieure pour être "ventousée" à la capsule antérieure, de façon à effectuer un *docking* du cristallin et produire le courant électrique qui permet l'ouverture capsulaire par des microdécharges électriques durant au total 4 millisecondes, transmises à la capsule par un anneau circulaire de Nitinol recouvert de silicone.

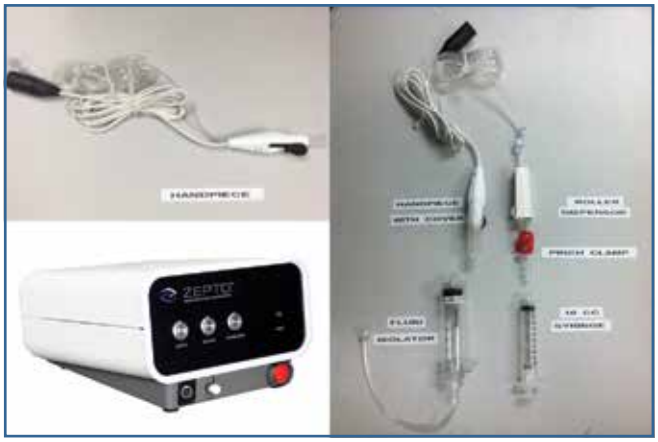


Fig.1 : Appareil Zepto.

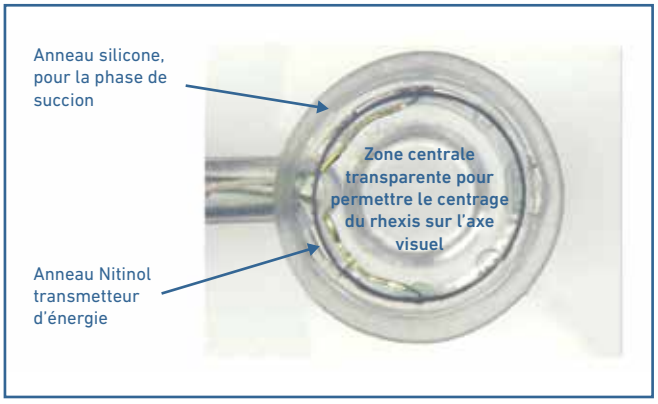


Fig. 2 : Extrémité de la pièce à main.

La procédure est simple (***fig. 3***) : après une incision de 2,2 mm, du viscoélastique de type dispersif est introduit dans la chambre antérieure puis, alors que le dispositif a été préalablement rempli de BSS, l'extrémité de la pièce à main avec l'anneau métallique (étirée par son guide métallique dans le sens de la longueur pour l'introduire par l'incision) est donc placée sur la capsule antérieure, tandis qu'une aide extérieure pratique une aspiration manuelle avec une seringue pour ventouser la capsule antérieure. Lorsque l'étanchéité est obtenue et qu'il n'y a plus de bulles d'air visibles dans le dispositif, le courant électrique est produit par l'aide extérieure et l'aspiration est donc aussitôt arrêtée, remplacée par un reflux modéré pour lâcher la capsule. Le chirurgien rétracte alors l'extrémité de la sonde et retire l'instrument de la chambre antérieure, avant d'inspecter l'aspect de la capsulotomie pour vérifier son caractère complet.

Il est recommandé de n'utiliser le dispositif que lorsque la chambre antérieure a une profondeur d'au moins 2,5 mm. Certains viscoélastiques de type dispersif pourraient être contre-indiqués, car ils apporteraient plus de risque d'une capsulotomie incomplète [2]. Il est également conseillé d'utiliser un anneau de Thornton pour maintenir le globe de façon équilibrée sans appui particulier à un point du limbe. Pour les premières capsulotomies, il est recommandé d'avoir des yeux avec une bonne dilatation et, avec l'expérience, on peut passer l'anneau sous la pupille. Certains yeux à pupille étroite peuvent également être traités avec cette technique [3].

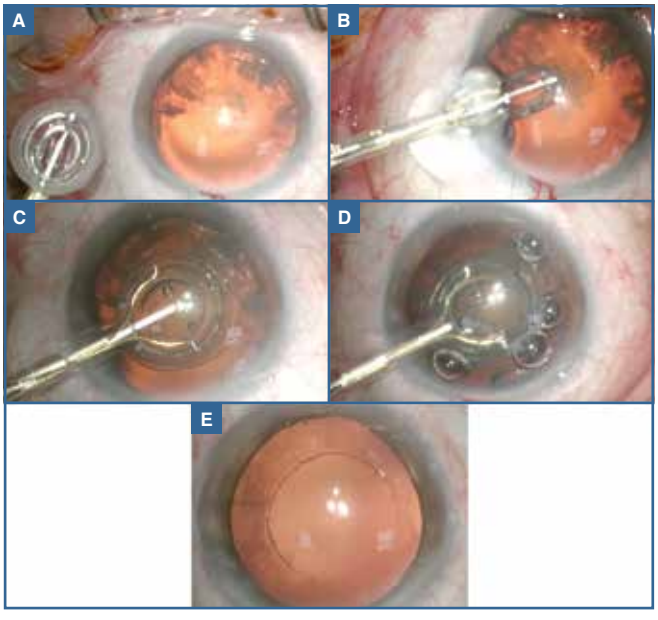


Fig. 3 : Procédure Zepto. **A :** pièce à main Zepto non rétractée. **B :** introduction de la pièce à main Zepto allongée par une incision de 2,2 mm. **C :** *docking* du cristallin. **D :** reflux une fois la capsulotomie faite. **E :** aspect final du zeptorhexis.

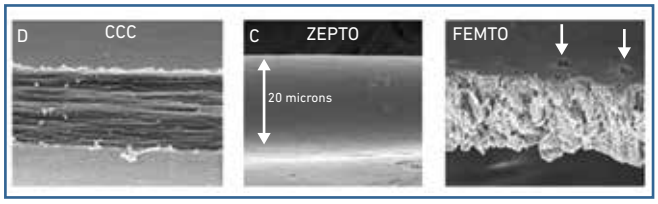


Fig. 4 : Comparaison de la découpe capsulaire entre la technique manuelle, le femtolaser et le Zepto.

Fig. 5 : Test de résistance capsulaire à l'étirement.

Certaines études en microscopie électronique ont montré la supériorité de qualité de découpe capsulaire comparée à la découpe manuelle ou par FLACS (*Femtosecond laser-assisted cataract surgery*) [4], d'autres ont montré un caractère parfois irrégulier des bords de la capsulotomie (***fig. 4***) [5]. D'autres études encore ont montré une résistance à l'étirement supérieure à celle du capsulorhexis manuel (***fig. 5***) [6].

L'implant FEMTIS

Au-delà d'une capsulotomie parfaitement circulaire, continue et solide, et de diamètre prédéterminé à 5,2 mm, il est intéressant de coupler ce type de rhexis à la pose d'un implant de sac que l'on peut fixer à une capsulotomie antérieure tel que l'implant FEMTIS (Oculentis, Topcon). Cet implant en acrylique hydrophile à surface hydrophobe de type navette comporte 4 ailettes supplémentaires situées en périphérie de l'optique à sa partie antérieure (***fig. 6***) et que l'on positionne après l'implantation intrasacculaire en avant du capsulorhexis (***fig. 7***), ce qui permet de maintenir celui-ci à un diamètre fixe, empêchant ainsi toute rétraction ultérieure (***fig. 8***).

L'intérêt de cette fixation capsulaire supplémentaire de l'implant pourrait être une meilleure *effective lens position* (ELP) [3], moins de *tilts* éventuels et/ou de décentrements. Il est en effet reconnu qu'un capsulorhexis de dimensions inadéquates favorise une amétropie postopératoire : si celui-ci

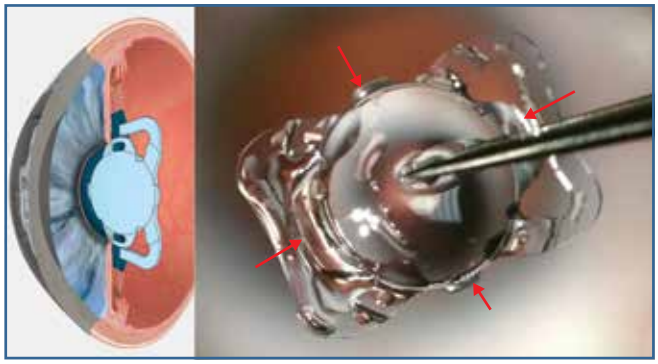


Fig. 6 : Implant FEMTIS.

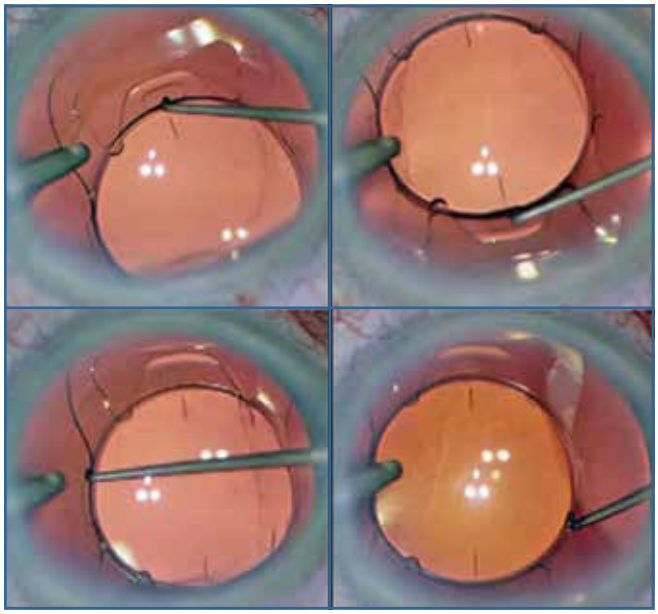


Fig. 7 : Fixation des ailettes antérieures de l'implant FEMTIS au capsulorhexis.

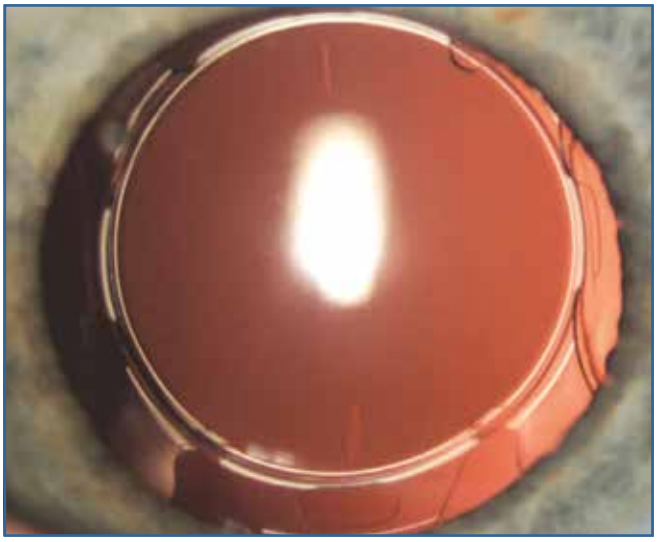


Fig. 8 : Implant FEMTIS, aspect postopératoire.

dépasse la taille de l'optique, la cicatrisation du sac a tendance à projeter légèrement le *tilt* en avant et donner une légère myopisation alors que, si le capsulorhexis est petit, la fibrose capsulaire antérieure qui s'installe a tendance à appliquer des forces qui poussent l'optique vers l'arrière et favoriser une légère hypermétropie.

Avantages et inconvénients

1. Pour la technique Zepto

>>> **Avantages :** le Zepto permet donc une capsulotomie calibrée, de réalisation plus rapide et moins lourde qu'avec le femtolaser, ne nécessite pas de *docking* cornéen parfois impossible à faire chez certains patients selon les morphologies orbitaires. Le rhexis est *a priori* plus solide qu'au femtolaser et la technique peut donc être particulièrement indiquée pour des cataractes blanches, brunes, morganiennes ou des capsulotomies sous l'iris en cas de pupilles peu dilatables [7].

>>> **Inconvénients :** le procédé requiert une certaine courbe d'apprentissage, la chambre antérieure doit être de profondeur suffisante (recommandation du fabricant : 2,5 mm), parfois le rhexis peut être légèrement ovale si le *docking* cristallinien n'a pas été fait correctement. Si la pupille est étroite, l'identification d'un *tag* peut être plus difficile, les rares capsulotomies incomplètes étant favorisées par la présence de bulles d'air dans le circuit [8] et/ou l'usage de certains viscoélastiques dispersifs. Enfin, il est évidemment un peu plus long que le rhexis manuel et apporte un coût additionnel à la phacoémulsification, bien moindre que le femtoseconde mais néanmoins significatif par rapport à une phacoémulsification classique dont le rhexis est réalisé à la pince.

2. Pour l'implant FEMTIS

>>> **Avantages :** un des avantages majeurs est la stabilité de l'implant, tant sur le plan antéro-postérieur que sur le plan rotatoire, et un implant torique d'un tel modèle ne peut absolument pas faire de rotation une fois qu'il est ainsi clippé au capsulorhexis. Le diamètre du rhexis reste donc fixe à 5,2-5,3 mm et pourrait utilement limiter les erreurs réfractives postopératoires liées aux variations de diamètre, de centrage ou de symétrie du capsulorhexis [3].

>>> **Inconvénients :** la fixation nécessite que la zonule soit d'une solidité normale, il est naturellement peu recommandé

d'essayer de l'utiliser en cas de pseudo-exfoliation capsulaire par exemple. Enfin, l'enclavement paraît également difficile à réaliser si la pupille est resserrée.

Alternatives

Des alternatives à la capsulotomie au femtolaser ou au Zepto existent [9] : il s'agit notamment du CAPSULaser, dispositif monté sur le microscope opératoire, mais qui nécessite l'instillation dans la chambre antérieure d'un colorant bleu de type trypan et la pose d'une lentille sur la cornée. Avec cet appareil, la capsulotomie peut être réglée entre 4,5 et 7,00 mm et dure quelques secondes. Le dispositif ApertureCTC utilise une énergie thermique comme le Zepto, apportée par un anneau métallique introduit en chambre antérieure, mais sans protection de silicone ni système d'aspiration, le rhexis pouvant être réglé entre 4,5 et 6,5 mm.

L'implant à fixation capsulaire comportant deux anses pivots en PMMA (*swivel haptics*) a fait l'objet d'une étude préliminaire indienne récente [10]. L'implant 90F de la firme Morcher est également construit avec de multiples ailettes permettant de le fixer à un femtorhexis de 5,2 mm [11].

Principaux résultats

Dans la littérature, les taux de rhexis incomplets sont variables, allant de 0 à 28 % : toutefois, l'étude initiale ayant montré 70 % de capsulotomies complètes seulement [2] a été ensuite revue à la baisse par les mêmes opérateurs, qui n'ont retrouvé une déchirure capsulaire antérieure que dans 4 % des cas [5]. Ces auteurs ont donc mis en avant le possible rôle du viscoélastique, avec peut-être plus d'ouvertures incomplètes lorsque l'on utilise certains viscoélastiques dispersifs, et le laboratoire distributeur a dressé une liste des produits à utiliser.

Ces résultats contrastent avec l'étude de Park [12] qui, sur 43 yeux, n'a eu aucun cas d'ouverture capsulaire anormale malgré une sélection de patients avec des yeux difficiles (mauvaise dilatation, opacités sous-capsulaires antérieures, cataractes blanches, cataractes brunes, opacités cornéennes). Dans notre expérience, certes limitée à une dizaine de cas, nous n'avons pas rencontré non plus de traits de refend capsulaires. Il nous est apparu fondamental d'attendre quelques secondes supplémentaires à l'aspiration avant de déclencher le courant électrique qui sectionne la capsule.

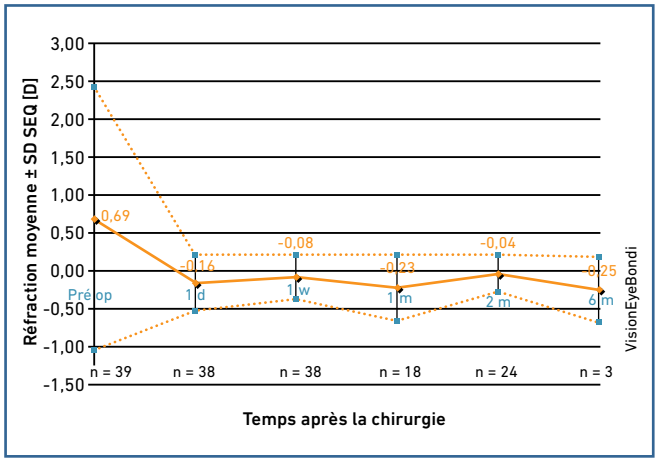


Fig. 9 : Implant FEMTIS, résultats de Versace, 2019 [14].

Concernant les résultats visuels, Russell [13] a présenté en marge de l'ESCRS de 2019 les résultats de 66 yeux opérés avec un implant FEMTIS et obtient 89 % d'yeux à ± 0,50 dioptrie de la réfraction cible. Il a calculé un taux de "circularité" du rhexis et obtient 89 ± 0,42 %. En effet, selon l'appui éventuel sur le globe, l'anneau peut présenter une légère ovalisation au moment de la capsulotomie. Il est donc nécessaire de vérifier visuellement au microscope le bon arrondi et le bon étalement du dispositif sur la capsule antérieure, au besoin en s'aidant d'un dispositif de réalité virtuelle, tel que le Calisto ou le Verion, qui permet en outre de centrer au mieux la mise en place du dispositif sur l'axe visuel.

Enfin, Versace [14] a étudié la stabilité de l'implant Mplus Comfort sur une étude prospective de 50 yeux, sans utiliser le Zepto toutefois (il a utilisé le femtolaser Catalys), et a obtenu une stabilité réfractive tout à fait intéressante (***fig. 9***). Ces résultats montrent par ailleurs 80 % des yeux à ± 0,50 dioptrie de la réfraction cible.

Conclusion

L'avenir verra sans doute se développer d'autres types de dispositifs dévolus à une capsulotomie automatisée programmable et à grande circularité, moins coûteuse que la technique de FLACS, qui permettront une nouvelle approche de la fixation des implants intrasacculaires, pour une ELP de plus en plus prédictible et précise.

Bibliographie

1. Becker MD, Michels S, Lortz S *et al*. [Precision pulse capsulotomy: The new capsulorhexis?] *Ophthalmologe*, 2019;116:288-290.

2. Hooshmand J, Abell RG, Allen P *et al*. Thermal capsulotomy: Initial clinical experience, intraoperative performance, safety, and early postoperative outcomes of precision pulse capsulotomy technology. *J Cataract Refract Surg*, 2018;44:355-361.
3. Schojai M, Schultz T, Burkhard Dick H. Capsule-fixated intraocular lens implantation in small pupil cases. *J Refract Surg*, 2017;33:568-570.
4. Thompson VM, Berdahl JP, Solano JM *et al*. Comparison of manual, femtosecond laser, and precision pulse capsulotomy edge tear strength in paired human cadaver eyes. *Ophthalmology*, 2016;123:265-274.
5. Hooshmand J, Abell RG, Allen P *et al*. Intraoperative performance and ultrastructural integrity of human capsulotomies created by the improved precision pulse capsulotomy device. *J Cataract Refract Surg*, 2018;44:1333-1335.
6. Chang DF. Zepto precision pulse capsulotomy: A new automated and disposable capsulotomy technology. *Indian J Ophthalmol*, 2017;65:1411-1414.
7. Pandey SK, Sharma V. Zepto-rhexis: A new surgical technique of capsulorhexis using precision nano-pulse technology in difficult cataract cases. *Indian J Ophthalmol*, 2018;66:1165-1168.
8. Safuri S, Duvdevan N, Socea S *et al*. Precision pulse capsulotomy complicated by radial tear of the anterior capsule: a proposed mechanism. *J Cataract Refract Surg*, 2019;45:1680-1681.
9. Sharma B, Abell RG, Arora T *et al*. Techniques of anterior capsulotomy in cataract surgery. *Indian J Ophthalmol*, 2019;67:450-460.
10. Ganesh S, Brar S. Swivel haptics anterior capsule-fixated intraocular lens. *Indian J Ophthalmol*, 2018;66:1307-1309.
11. 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;30:198-201.
12. Park MJ, Bang CW, Han SY. Precision pulse capsulotomy in challenging cataract surgery cases. *Clin Ophthalmol*, 2019;13:1361-1368.
13. Russell M. FEMTIS implantation using Zepto capsulotomy & Callisto alignment. Paris, Symposium Oculentis (ESCRS), 13 sept 2019.
14. Versace P. FEMTIS Comfort, the rhexis-fixated EDOF IOL. Paris, Symposium Oculentis (ESCRS), 13 sept 2019.

L'auteur a déclaré des activités de consultant pour Alcon France, Carl Zeiss Meditec France et Théa.

B. AMELINE, A.-C. BAYLE, T. GUEDJ
CHNO des Quinze-Vingts,
Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.
amelinoph@gmail.com

Différents principes optiques des implants à profondeur de champ étendue (EDoF)

Généralités

Le qualificatif de "profondeur de champ étendue" ou EDoF (pour *Extended Depth of Focus*) se veut en rupture avec ceux de bi-, tri- et multifocaux. L'industrie s'en est ainsi emparée pour proposer des implants qui limitent les effets dysphotopiques (halos, éblouissements…), la déperdition d'énergie lumineuse (impactant la sensibilité au contraste), la dépendance au centrage [1], le besoin de neuroadaptation et autres effets secondaires, conséquences de la multifocalité. Ce terme recouvre ainsi actuellement une famille totalement hétérogène dans laquelle on retrouve des optiques bi- et trifocales (réfractives ou diffractives), des optiques asphériques, une optique type "trou sténopéïque" et enfin des associations de ces différents principes optiques, sans oublier l'association avec différents degrés de monovision.

En 2017, 59 % des chirurgiens membres de l'*European Society of Cataract and Refractive Surgeons* (ESCRS) déclaraient leur intérêt pour ces implants EDoF (***fig. 1***). Cette famille représentait 22 % des implants compensant la presbytie posés (en complément des trifocaux 45 % et des bifocaux 25 %), implants qui représentent eux-mêmes environ 6 % du total des implants posés.

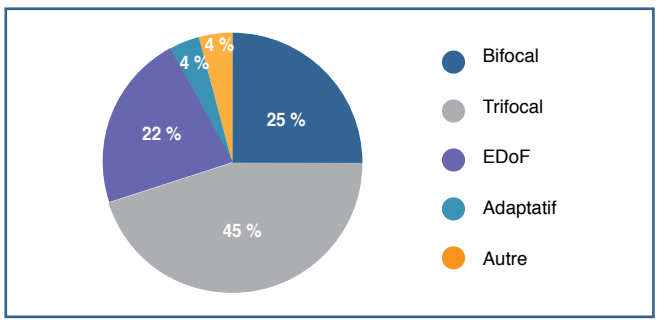


Fig. 1 : ESCRS *clinical survey* 2017, répartition des implantations compensant la presbytie.

L'addition est, pour la plupart, destinée à la vision intermédiaire (seuls quelques implants vont jusqu'à la vision de près). Ce simple compromis sur l'addition permet déjà de limiter les effets photiques par rapprochement des focales. Cela répond par ailleurs aussi à nos besoins plus importants en vision intermédiaire (ordinateurs, SMS, tableau de bord, environnement proche…) qu'en vision de près (lecture) voire très près (navigation internet sur un smartphone). Toute l'évolution des additions proposées a suivi cette adaptation [2].

Ces implants sont le plus souvent posés en bilatéral. Il est aussi possible de les combiner avec un implant à addition de près (sur l'œil non fixateur ou non). L'association avec un monofocal de loin peut être envisagée au cas par cas. Enfin, pour certains, une monovision modérée peut être associée à deux implants EDoF, au prix toutefois d'effets photiques induits.

À noter qu'un implant monofocal peut déjà procurer une profondeur de champ d'environ +0,75 D améliorée par un éventuel myosis ou certaines aberrations cornéennes.

Les différents principes optiques

1. Les optiques diffractives

Les optiques diffractives utilisent les propriétés ondulatoires de la lumière. La présence sur une face de l'implant d'un réseau kinoforme, c'est-à-dire constitué de marches triangulaires (de 0,4 à 3 μm environ), divise les rayons incidents en plusieurs faisceaux. Une proportion déterminée de la lumière (fonction de la hauteur des marches) est ainsi déviée sur une focale à distance choisie (fonction de la largeur des marches). Dans le cas des EDoF, la distance sera de 70 à 100 cm pour corriger la vision intermédiaire. L'optique peut porter un seul réseau (Symfony, Jonhson & Jonhson Vision, ***fig. 2***) ou deux

Fig. 2 : Implant Symfony (Jonhson & Jonhson).

Fig. 3 : Implant AT-Lara (Zeiss).

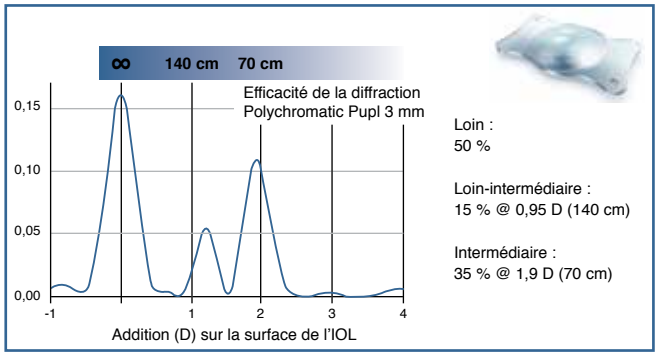


Fig. 4 : AT-Lara, répartition de l'énergie lumineuse.

(implant trifocal intermédiaire AT-Lara, Zeiss, additions de +0,9 et +1,9 D, ***fig. 3 et 4***) dans le but de tendre vers une addition plus continue.

Les traitements des marches sont repris aux autres implants diffractifs : apodisation, compensation des aberrations chromatiques améliorant le contraste, profil visant à limiter la déperdition d'énergie lumineuse, conséquence de la diffraction ou procurant une focalisation étendue comme les échelettes…

2. Les optiques réfractives

Elles reposent sur les propriétés corpusculaires de la lumière. L'optique comporte plusieurs zones de puissances optiques différentes. Les zones circulaires concentriques ont été abandonnées car trop dépendantes du centrage et du jeu pupillaire. Une zone d'addition sectorielle permet d'éviter cet écueil.

L'implant Comfort (société Oculentis, distribué par Topcon) a été le premier implant à addition purement intermédiaire. Sa face antérieure comporte un secteur asymétrique d'addition occupant 160° de l'optique et épargnant une zone centrale de 1 mm dévolue à la vision de loin (***fig. 5 et 6***). Sa face postérieure est asphérique et si besoin torique. Le principe des optiques réfractives minimise la perte d'énergie lumineuse liée à la diffraction (6 %) et les phénomènes photiques secondaires. Son addition est de +1,5 D et il existe dans la même gamme des implants d'addition supérieure (+2 D à +3 D), ce qui permet différents schémas de *Mix and Match*.

Fig. 5 : Comfort Toric (Topcon).

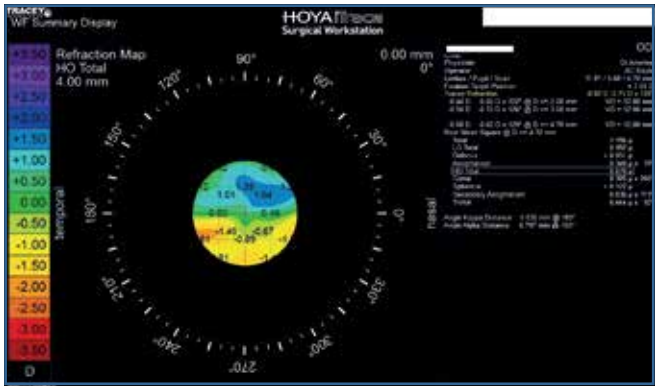


Fig. 6 : Mesure aberrométrique (I-Trace) objectivant la plage d'addition inférieure épargnant la zone centrale.

3. Les optiques à asphéricité modifiée

Elles sont issues de l'exploration des aberrations optiques de hauts ordres et du principe déjà appliqué en chirurgie cornéenne au laser (PresbyLasik). L'œil humain a naturellement une légère aberration positive en l'absence de cataracte. Modifier l'asphéricité veut dire introduire une différence de courbure (ou en théorie d'indice réfractif) progressive entre le centre et la périphérie d'une optique (positive lorsque les rayons périphériques sont réfractés en avant des rayons centraux et négative dans le cas inverse). La combinaison d'aberrations sphériques de signes opposés en potentialise l'effet [3] (***fig. 7***). Il résulte de cette modification de l'asphéricité de la surface des implants un allongement de la zone de vision nette. L'addition obtenue est celle d'une vision intermédiaire. On obtient, avec ce principe, une profondeur de champ continue et la qualité de vision est peu altérée.

Cette famille a été inaugurée avec le Mini-Well Ready (Ophta-France, copolymère hydrophile-hydrophobe, ***fig. 8***) qui combine 3 zones optiques circulaires concentriques : les deux zones centrales présentent des aberrations sphériques inverses

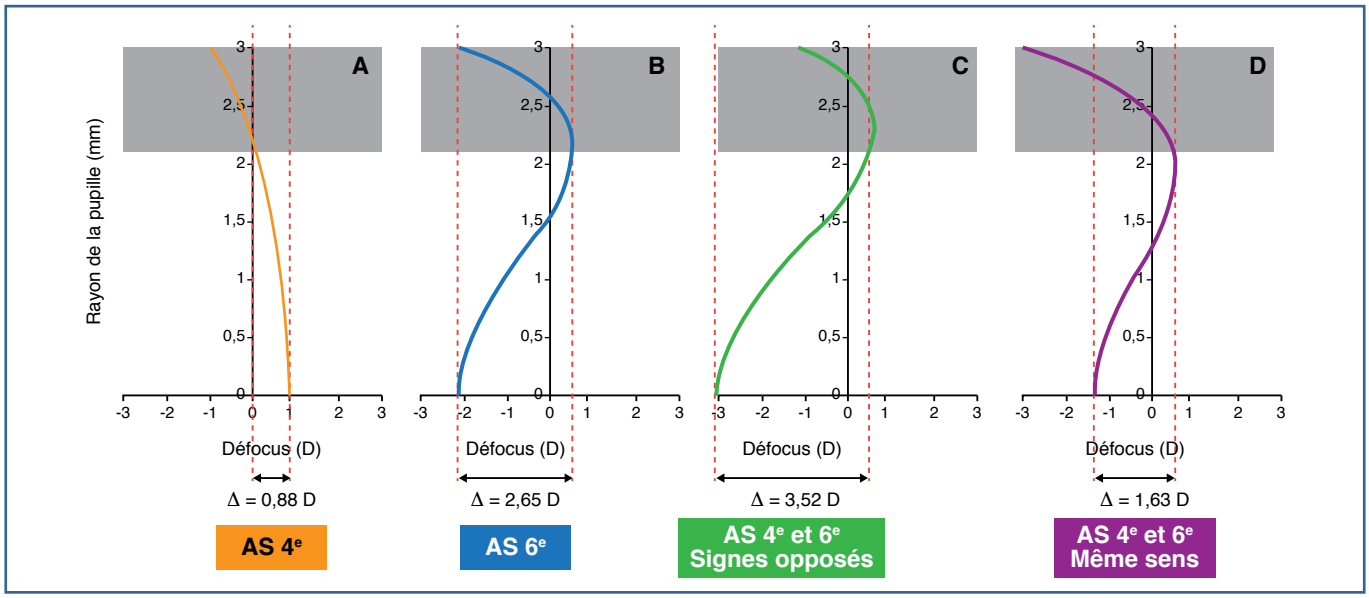


Fig. 7 : Effet de potentialisation des aberrations sphériques de signes opposées [3].

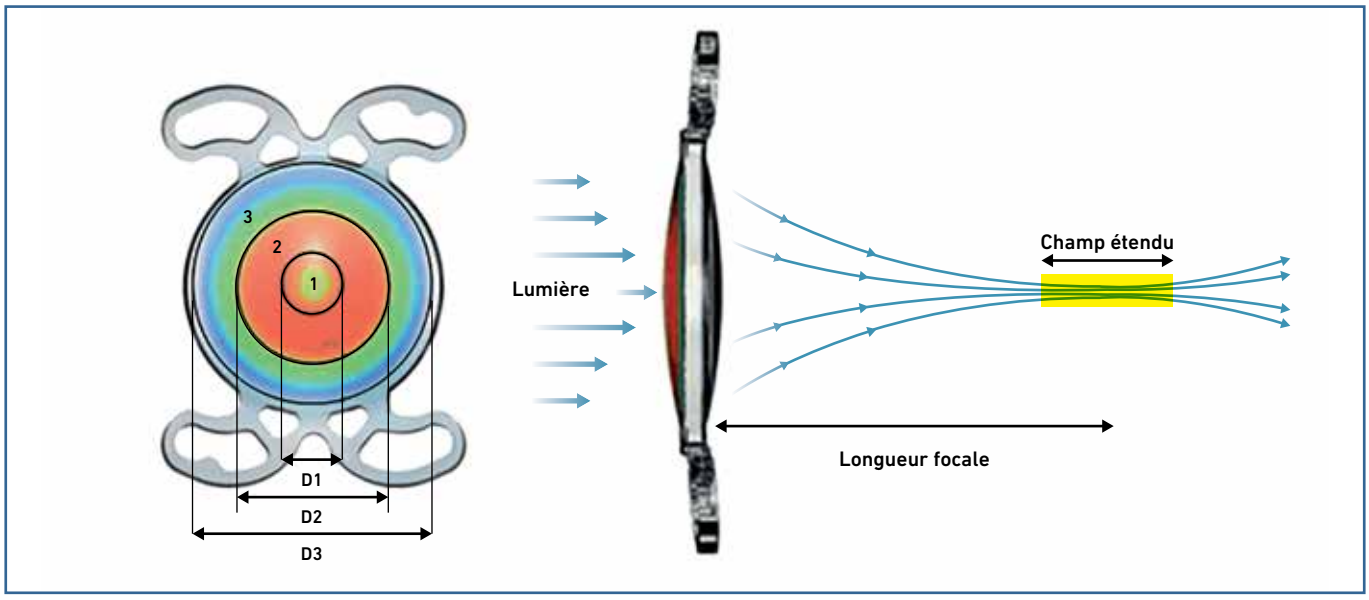


Fig. 8 : Implant Mini-Well Ready (Ophta-France).

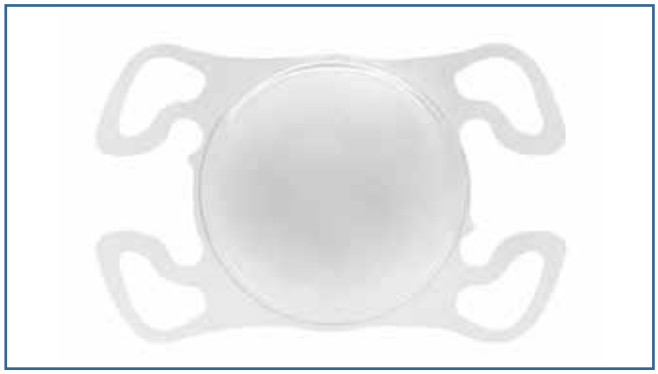


Fig. 9 : Implant Synthesis + (Cutting Edge).

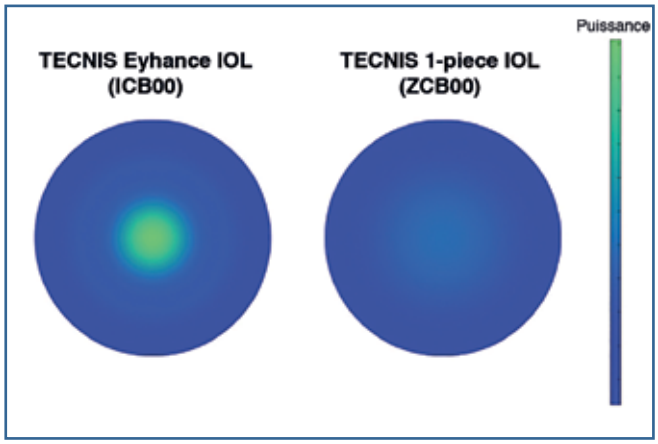


Fig. 10 : Représentation graphique de l'asphéricité induite de l'implant Eyhance (Jonhson & Jonhson Vision).

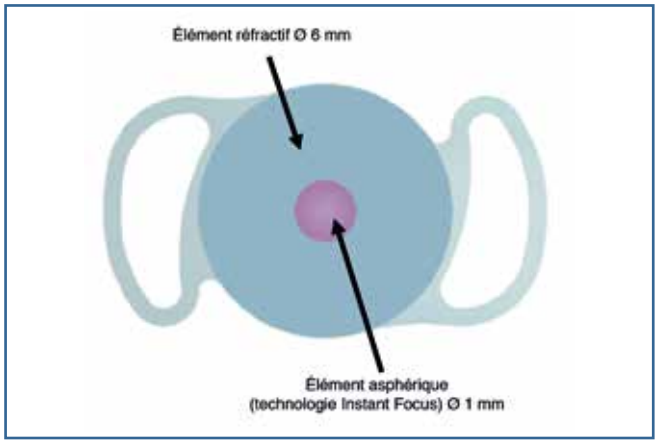


Fig. 11 : Implant Lucidis (Swiss Advanced Vision).

(centrale positive et paracentrale négative) avec des zones de transition douce, la zone périphérique est monofocale.

Le Synthesis + (Cutting Edge, ***fig. 9***) a une surface continue comportant aussi des aberrations sphériques de 4e et 6e ordre de signes opposés. Ses zones de transitions sont brevetées. Le gradient de puissance est maximal à environ 2 mm du centre. Le Eyhance (Jonhson & Jonhson Vision, ***fig. 10***) a une surface antérieure d'aspect sphérique unique et continu d'ordre élevé. Le Lucidis (Swiss Advance Vision, ***fig. 11***) est le seul à proposer une correction de près : il associe une zone centrale de 1 mm de diamètre asphérique à vision continue de près à intermédiaire (***fig. 12***) avec une optique périphérique monofocale.

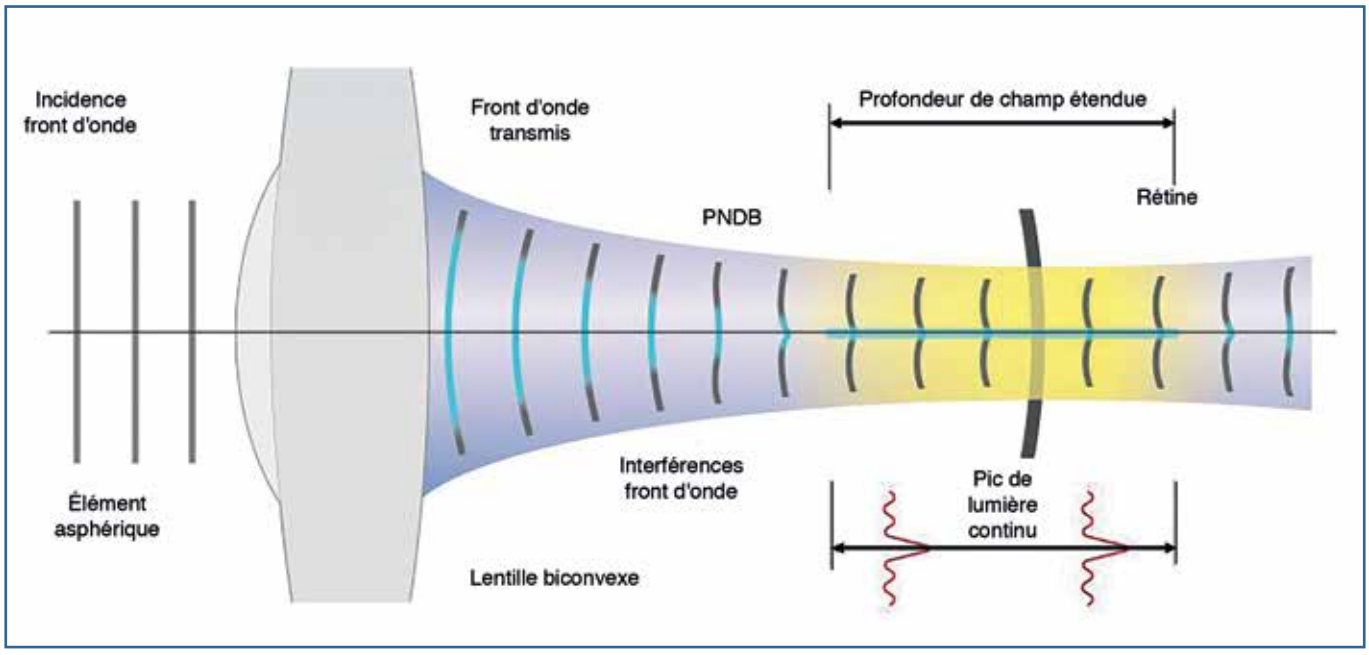


Fig. 12 : *Pseudo-Nondiffracting Beam* (PNDB) pour une vision de près à intermédiaire.

Enfin, les implants ajustables (*Light Ajustable Lens*) permettent aussi d'induire une asphéricité modifiée de la surface de l'optique. Pour le moment, la lourdeur de l'ensemble de la procédure en limite toutefois la diffusion.

Il peut être utile de rappeler ici que les optiques réfractives comme celles à asphéricité modifiée ne sont pas reconnaissables à la lampe à fente alors qu'elles vont modifier nos mesures réfractives postopératoires.

4. Le trou sténopéïque

Ce dernier principe procure une profondeur de champ en filtrant les rayons non parallèles à l'axe optique. Il est utilisé actuellement par l'implant hydrophobe IC-8 (***fig. 13***), comportant un anneau pigmenté central composé de fluorure de vinylidène et de nanoparticules de carbone, d'un diamètre interne de 1,36 mm et externe de 3,23 mm. Outre la vision intermédiaire sans correction, ce principe optique procure aussi une tolérance à l'amétropie sphérique de 0,75 D et, plus utile, une tolérance cylindrique de 1,5 D. Cette tolérance le rend aussi potentiellement intéressant en cas de cornée remaniée. Il est principalement utilisé en unilatéral sur l'œil dominé (ou non préféré de loin).

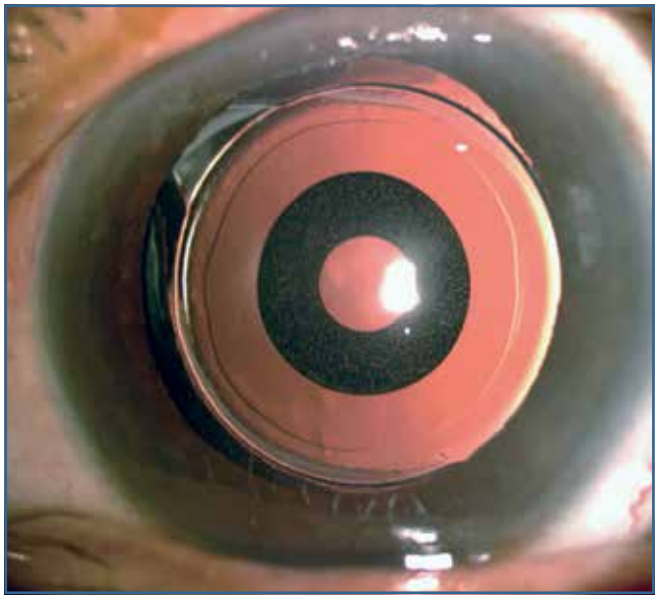


Fig. 13 : Implant IC-8.

5. Combinaison

Enfin, une combinaison de différents principes optiques est aussi possible. Par exemple l'Harmonis (Swiss Advanced Vision) propose une zone centrale asphérique à vision continue de près à intermédiaire (1,5 mm de diamètre) associée à une zone diffractive apodisée périphérique (***fig. 14***).

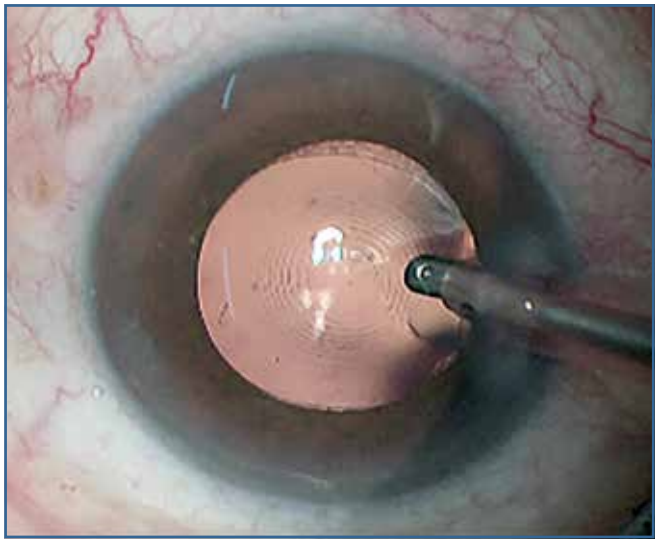


Fig. 14 : Harmonis (Swiss Advanced Vision).

Conclusion

Dans un marché très concurrentiel, les caractéristiques optiques des implants sont souvent présentées comme "sensibles" et donc très parcimonieusement diffusées, ce qui contribue au sentiment d'opacité des ces principes optiques complexes. Cette famille très diverse des implants à profondeur de champ étendue s'impose pourtant progressivement dans le paysage de la compensation de la presbytie en complément des autres multifocaux et de la monovision (***fig. 15***). Ces implants répondent encore à un compromis visuel et demandent les explications et le bilan préopératoire des

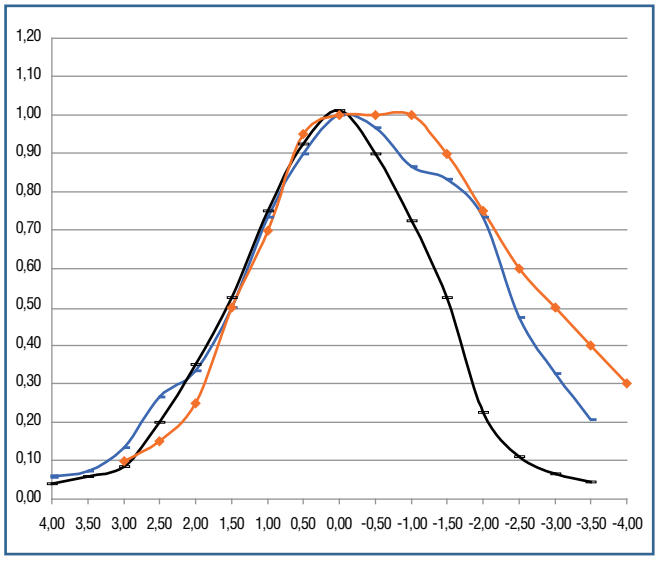


Fig. 15 : Comparaison des courbes de défocalisation d'un implant EDoF (**rouge**), de la monovision (**bleu**) et de la monofocalité (**noir**).

multifocaux (évaluation rétinienne et de l'état de la surface oculaire), même s'ils sont plus tolérants à certaines comorbidités. La précision réfractive reste la règle, grandement facilitée par les progrès des appareils de mesure et des formules de calcul.

Ils répondent avant tout aux besoins en vision intermédiaire et à une exigence élevée en qualité de vision en réduisant les effets photiques. Ils permettent aux nouveaux chirurgiens d'aborder la multifocalité mais aussi à tous les autres d'élargir leurs indications.

Bibliographie

1. Xu J, Zheng T, Lu Y. Effect of decentration on the optical quality of monofocal, extended depth of focus, and bifocal intraocular lenses. *J Refract Surg*, 2019;35:484-492.
2. Liu J, Dong Y, Wang Y. Efficacy and safety of extended depth of focus intraocular lenses in cataract surgery: a systematic review and meta-analysis. *BMC Ophthalmol*, 2019;19:198.
3. Benard Y, Lopez-Gil N, Legras R. Optimizing the subjective depth-of-focus with combinations of fourth- and sixth-order spherical aberration. *Vision Res*, 2011;51:2471-2477.

L'auteure mentionne un lien d'intérêt avec la Clinique de la Vision, Paris.

J. COULLET
Odysseum Ophtalmologie, Polyclinique Saint Roch,
Clinique de la Vision – Groupe Visya, MONTPELLIER.
coullet.j@gmail.com

Étude aberrométrique de l'implant asphérique Eyhance ICB00 : *does it work ?*

L'arrivée sur le marché d'un nouvel implant pour la chirurgie de la cataracte est toujours attendue. Ici, c'est le laboratoire Johnson & Johnson qui, en faisant évoluer la plateforme de son implant ZCB, propose un implant hybride baptisé Eyhance ICB00. Il est présenté comme à la fois monofocal et à profondeur de champ étendue (EDOF IOL). Sa technologie étant basée sur une induction contrôlée d'aberration sphérique (AS) postopératoire, nous avons voulu, par une étude descriptive aberrométrique, vérifier si cet implant remplissait bien les fonctions que le laboratoire lui prête…

Rappel sur l'asphéricité et l'aberration sphérique

L'asphéricité est une notion géométrique décrivant une surface elliptique (non sphérique) qui permet de bien détailler, par exemple, les différents dioptres remarquables de l'œil (cornée, face antérieure et postérieure du cristallin). Cette asphéricité est souvent caractérisée par le facteur d'excentricité, le facteur q. Elle ne doit pas être confondue avec l'aberration sphérique qui est une notion optique et clinique, correspondant au 12e polygone de Zernike (aberration paire de 4e ordre Z4/0).

Cependant, si on prend l'exemple de la cornée, ces deux notions sont reliées par le rapport de réfraction entre les rayons paracentraux et périphériques :
– quand $q > 0$, la cornée est oblate (asphéricité positive) et les rayons périphériques sont plus réfractés que les rayons paracentraux (aberration sphérique positive) ;
– quand $q = 0$, la cornée est une sphère tronquée (asphéricité nulle) et les rayons périphériques sont plus réfractés que les rayons paracentraux (aberration sphérique positive) ;
– quand $0 > q > -0{,}52$ (valeur théorique), la cornée est prolate (asphéricité négative) et les rayons périphériques sont plus réfractés que les rayons paracentraux (aberration sphérique positive) ;
– quand $q = -0{,}52$ (toujours sur le modèle théorique de Gullstrand), la cornée est prolate et les rayons périphériques et paracentraux se rejoignent en un même point (aberration sphérique nulle) ;
– quand $q < -0{,}52$, la cornée est dite hyperprolate et les rayons paracentraux sont plus réfractés que les rayons périphériques (aberration sphérique négative [ASN]).

Ainsi, un dioptre pourvu d'une aberration sphérique négative va présenter une puissance optique croissante de la périphérie vers le centre. Ce comportement optique est particulièrement intéressant lors de l'accommodation car cela va correspondre à un gain de vision de près par myopisation du système au décours d'un myosis réflexe. La cornée naturelle présente une aberration sphérique discrètement positive ($\approx +0{,}2\,\mu$ RMS), sauf si elle a bénéficié d'un traitement presbyLasik dont le but est justement d'obtenir une cornée hyperprolate avec ASN qui va compenser le déficit en vision de près (VP).

Dans le concept de l'implant Eyhance ICB00, c'est le remplacement du cristallin (dont l'aberration sphérique est naturellement légèrement négative) par un IOL aberratif induisant une ASN, bien plus importante que celle du cristallin naturel, qui va créer la profondeur de champ postopératoire. Le délicat dosage est d'induire ici une profondeur de champ suffisante sans trop dégrader la qualité de vision : tel est l'enjeu de cet implant.

Description de l'implant Eyhance ICB00

L'implant Eyhance ICB00 est un implant de type EDOF (*extended depth of focus*) dont la valeur ajoutée, présentée par le manufacturier, est la présence d'une profondeur de champ

modérée jusqu'en vision intermédiaire, mais sans compromis sur la qualité de vision de loin. Son principe optique est basé sur la présence en face antérieure de l'implant d'une surface asphérique dont la prolaticité va croître de façon continue et douce jusqu'au centre de l'IOL, cela induisant un gradient d'aberration sphérique négative centripète pupillo-dépendant.

L'implant ICB00 est un IOL acrylique hydrophobe monobloc à anses en C, basé sur la plateforme de l'implant Tecnis monofocal ZCB00. Son diamètre optique est de 6 mm et il est disponible de +5 à +34 D par pas de 0,5 D (***fig. 1***). Comme le ZCB00 (du fait du même matériau), il bénéficie d'une constringence importante (nombre d'Abbe élevé) ce qui lui permet de limiter le phénomène de diffusion polychromatique et donc d'améliorer la qualité de vision perçue [1].

Jusqu'à récemment, cet implant devait être positionné manuellement dans sa cartouche et utilisé avec l'injecteur Unfolder Platinum ou Platinum Push. Depuis 2020, il est maintenant disponible en version préchargée avec un injecteur à vis (Eyhance DIB00) et en version torique (ZCT00).

L'implant Eyhance ne présente pas de surcoût pour le patient (IOL intégralement "tipsé").

Fig. 1 : Photo comparative entre IOL ZCB00 **à gauche** et ICB00 Eyhance **à droite**. Implants monoblocs à anses en C et bords carrés. Pas de différence visible à l'œil nu.

Objet de l'étude descriptive

Le but de cette étude était d'analyser le comportement aberrométrique de l'implant Eyhance, qui peut se définir comme le premier implant "monofocal EDOF".

Son principe optique – on l'a dit – est basé sur la présence d'une face antérieure hyperprolate qui génère ainsi un gradient d'aberration sphérique de l'implant négative centripète. L'intérêt de cet implant est qu'il est possible de l'étudier par aberrométrie, car son fonctionnement réfractif lui permet d'être analysé dans le spectre de la lumière visible (principe du banc optique par exemple), mais aussi celui de la lumière infrarouge ([IR] grandes longueurs d'ondes > 800 nm, peu énergétiques) qui est utilisée par les aberromètres. C'est pour cette raison, par exemple, que les IOL diffractifs très utilisés actuellement ne peuvent pas être caractérisés par l'aberrométrie car, dans les longueurs d'ondes infrarouges utilisées par les plateformes aberrométriques, le phénomène de diffraction qui dépend de la longueur d'onde du rayon incident est trop faible en infrarouge. L'analyse du signal recueilli n'est donc pas pertinente pour caractériser le fonctionnement des IOL diffractifs dans la lumière visible.

Nous avons vu l'intérêt de l'induction postopératoire d'une quantité raisonnable d'aberration sphérique négative centrée qui, sans dégradation significative de la qualité de vision globale, va induire une augmentation de la profondeur de champ au cours du myosis accommodatif [2]. Ceci est une description idéale, donnée "clé en mains" par le laboratoire, mais est-ce aussi ce qui se passe dans la réalité ? Nous avons donc voulu articuler cette étude descriptive autour de plusieurs critères :

– **critère majeur :** la mise en place d'un implant ICB00 permet-elle d'obtenir un œil avec une ASN postopératoire ? Et quelle est donc cette valeur moyenne d'ASN induite ? En effet, AMO ne communique pas sur cette valeur qui reste donc non connue. D'autre part, la cornée présente quant à elle une aberration sphérique positive (en moyenne, décrite autour de +0,2 μ RMS). Est-ce que l'ASN induite par cet implant va suffire pour contrebalancer celle positive de la cornée ?

– **critère mineur I :** l'induction de cette ASN va-t-elle dégrader la qualité de vision de l'œil opéré (critère de sécurité) ?

– **critère mineur II :** l'induction de cette ASN va-t-elle effectivement entraîner une augmentation de la profondeur de champ (critère d'efficacité) ?

Matériel et méthode

Nous avons inclus 25 yeux de 13 patients opérés de cataracte avec un implant ICB00 emmetropisant en position centrée dans le sac capsulaire, à 1 mois postopératoire. Les critères d'inclusion des patients étaient : chirurgie sans complication par voie temporale, IOL ICB00 centré avec capsule claire, cornée claire sans dystrophie endo- ou épithéliale, pas d'opacité vitréenne dans l'axe optique. Tous les patients inclus étaient à ± 0,5 D de l'emmétropie avec un cylindre < 1 D. Les patients ont été inclus dans la période de novembre à décembre 2019.

Pour déterminer l'aberration sphérique postopératoire (critère majeur), nous avons utilisé une analyse en *ray tracing* avec l'OPD-Scan III de Nidek, en utilisant les cartes de vergences pupillaires (HOA [*high order aberrations*] internes = de l'implant), cornéennes (HOA du dioptre cornéen) et totales. Pour toutes les mesures aberrométriques, la pupille était dilatée pour obtenir ensuite un diamètre reproductible d'analyse de 6 mm (standard conventionnel).

Pour déterminer objectivement la qualité de vision postopératoire (critère mineur I), nous avons utilisé le HD Analyzer de Visiometrics (OQAS II). L'analyse en *double pass* d'un faisceau diode IR de 780 nm permet d'apprécier très précisément la diffusion monochromatique du système optique et de prédire sa qualité globale *via* l'index OSI (*Ocular Scattering Index*). Un indice OSI < 1 indique une cohérence optique élevée du système étudié.

Nous avons étudié la valeur du Strehl ratio, mesuré par le HDA sur une zone de 6 mm. Ce ratio correspond à la valeur du pic maximal du signal de l'œil analysé divisé par la valeur du pic maximal d'un système optique idéal, exempt de phénomène de diffusion. La valeur moyenne du Strehl ratio d'un œil humain normal varie avec l'âge. D'après Saad, Saab et Gatinel, cette valeur moyenne de Strehl ratio est de 0,14 après 40 ans [3].

Nous avons également mesuré la valeur maximale de la fréquence spatiale (en cycles par degré) obtenue sur la courbe MTF (valeur de MTF *cut-off*), ce qui permet d'évaluer le pouvoir séparateur maximal théorique (et donc l'acuité visuelle maximale théorique) de l'œil implanté. On rappelle qu'une acuité visuelle de 10/10^{e} sur un contraste de 100 % correspond à un MTF *cut-off* de 30 cpd.

Ainsi, le critère mineur I a été déterminé par une triple mesure objective : OSI/Strehl ratio/MTF *cut-off*.

Enfin, pour définir la profondeur de champ induite par l'implant (critère mineur II), nous avons utilisé le module OQAS *accommodative range* (OAR) du HD Analyzer. Cette mesure de l'accommodation purement objective et théorique se base sur la focalisation (en minutes d'arc) du signal infrarouge en fonction de la variation réfractive proposée par la machine (de –1 à +3 D autour de la valeur emmetropisante). L'OAR est donnée par la différence entre la valeur réfractive obtenue pour le *best focus* (valeur normée de 1) et la valeur du point à partir duquel la qualité de focalisation diminue de 50 % de la valeur maximale. Sur un œil pseudophaque, la valeur de l'OAR reflète donc bien la profondeur de champ induite par le seul implant. Cela permet un comparatif objectif entre les différents patients, sans effet de biais de l'examinateur-chirurgien qu'on peut retrouver dans les tests subjectifs (courbe de défocalisation manuelle, *push-test*, *pull-test*…).

Résultats

Concernant l'analyse de l'aberration sphérique postopératoire (diamètre pupillaire d'analyse standardisé de 6 mm) :
– l'AS cornéenne moyenne était de **+0,23 ± 0,15 µ RMS** ;
– l'AS interne moyenne, reflétant celle induite par l'implant ICB00, était de **–1,0 ± 0,7 µ RMS** ;
– l'AS totale moyenne était de **–0,78 ± 0,59 µ RMS**.

Concernant la qualité de vision objective postopératoire des yeux opérés :
– la valeur moyenne de l'OSI était de **1,08 ± 0,69** ;
– la valeur moyenne du MTF *cut-off* était de **29,98 ± 7,24 cpd** ;
– la valeur moyenne du Strehl ratio était de **0,16 ± 0,04**.

Concernant la mesure objective de la profondeur de champ induite et donc de la puissance accommodative théorique postopératoire, la valeur moyenne de l'OAR était de **1,125 ± 0,52 dioptrie**.

Discussion

On peut donc constater que le critère majeur de l'étude, à savoir la présence d'une ASN induite postopératoire effective liée à l'implantation d'un IOL ICB00, est bien respecté. En effet, malgré la présence d'une AS positive cornéenne de +0,23 µ RMS qui correspond aux valeurs normales retrouvées dans la littérature [4, 5], l'ASN de l'implant la contrebalance suffisamment pour obtenir un système optique final avec ASN induite.

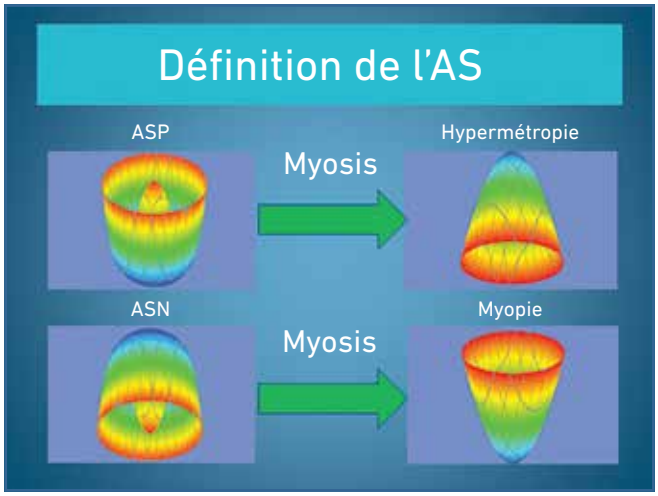


Fig. 2 : Variation de l'aberration sphérique (AS) en fonction de la motricité pupillaire. **En haut :** au cours du myosis, l'AS positive évolue vers une réfraction sphérique hypermétropique. **En bas :** au cours du myosis, l'AS négative évolue vers une réfraction sphérique myopique.

La carte de vergence pupillaire, éditée par l'OPD-Scan III, met en évidence au niveau de l'implant une myopisation progressive centrale, ce qui est la traduction "dioptrique" de l'ASN. Et cette myopisation centripète persiste sur la carte de vergence globale. Ainsi, au cours de l'accommodation-myosis, l'œil se myopise lors de la réduction du diamètre pupillaire pour améliorer la VP (***fig. 2***).

L'objectif premier affiché par ce modèle d'implant est donc rempli du fait de son comportement aberrométrique approprié. Ensuite, compte tenu du ratio qualité de vision/ASN induite, il était légitime de se poser la question de savoir si cette asphéricité postopératoire pouvait être délétère pour la qualité de vision (QdV) finale.

Les résultats de l'analyse objective de la QdV montrent là aussi un comportement rassurant de l'implant. La valeur moyenne de l'OSI (basse et inférieure à 1,5 avec un Strehl ratio élevé) et celle du MTF *cut-off* (élevée et quasiment égale à 30 cpd, soit une acuité visuelle théorique de 10/10^{e} en contraste maximal) décrivent un système optique final très "stigmate", avec un recueil de signal IR du HD Analyzer très peu perturbé par l'implant. On se situe d'ailleurs dans des fourchettes de valeurs comparables à celles d'implants monofocaux [6, 7]. La valeur du MTF *cut-off* est ici même supérieure à celle retrouvée dans une étude de taille comparable et concernant des implants asphériques *aberration-free* (qui se contentent uniquement de compenser l'AS cornéenne sans induire de profondeur de champ [8] et qui sont donc censés présenter une meilleure QdV).

C'est pourquoi les patients ne rapportent que très peu de phénomènes photiques (halos, éblouissement, *starbursts*…), notamment nocturnes (lorsque la mydriase entraîne le taux le plus élevé d'ASN). Dans notre série, aucun patient ne s'est plaint d'une quelconque dégradation de sa QdV, au contraire (surtout pour des patients opérés de cataracte). Cette analyse conforte donc la sécurité d'utilisation de l'implant ICB00 et éloigne le spectre toujours extrêmement redouté de l'explantation pour intolérance optique. On peut dire que l'implant se comporte en pratique exactement comme un monofocal dans la QdV apportée au patient.

Enfin, il était donc pertinent de se demander si cette ASN finale était véritablement capable d'induire une profondeur de champ significative et utilisable pour le patient. Notre choix a été de mesurer la profondeur de champ induite par une analyse purement objective et théorique, fournie par le module OAR du HD Analyzer.

Sur notre série, la profondeur de champ moyenne induite, en tenant compte de l'ensemble des aberrations sphériques en particulier positives de la cornée, est de 1,125 dioptrie, c'est-à-dire que l'implant permet une accommodation moyenne depuis le *punctum remotum* jusqu'à environ 80 cm, de façon continue et linéaire (phase plateau de la courbe de l'OAR). En cela, la profondeur de champ mesurée de façon objective est similaire à celles déjà décrites sur des études de cohortes antérieures utilisant des tests subjectifs [9]. Elle permet de donner une indépendance notamment sur la vision intermédiaire. Cette profondeur de champ induite est tout à fait significative lorsque l'on compare le comportement aberrométrique de l'implant ICB00 avec celui d'un implant monofocal (***fig. 3 à 6***).

Évidemment, en fonction de l'asphéricité cornéenne de chaque patient, le résultat sur l'ASN totale et donc sur la profondeur de champ va varier. Lorsqu'on isole les patients qui ont sur notre série le taux d'ASN le plus élevé, ce sont des patients qui vont pouvoir effectivement lire un livre sans lunettes dans des conditions d'éclairage suffisantes pour entraîner un myosis serré et donc convertir l'ASN en myopie (***fig. 7***). Ces patients ne se plaignent toutefois pas de dégradation de la QdV pour autant.

Ainsi, pour résumer cette analyse théorique de l'implant ICB00, on peut dire :
– qu'il induit bien une ASN postopératoire finale ;
– qu'il se comporte de façon similaire à un IOL monofocal en termes de QdV ;

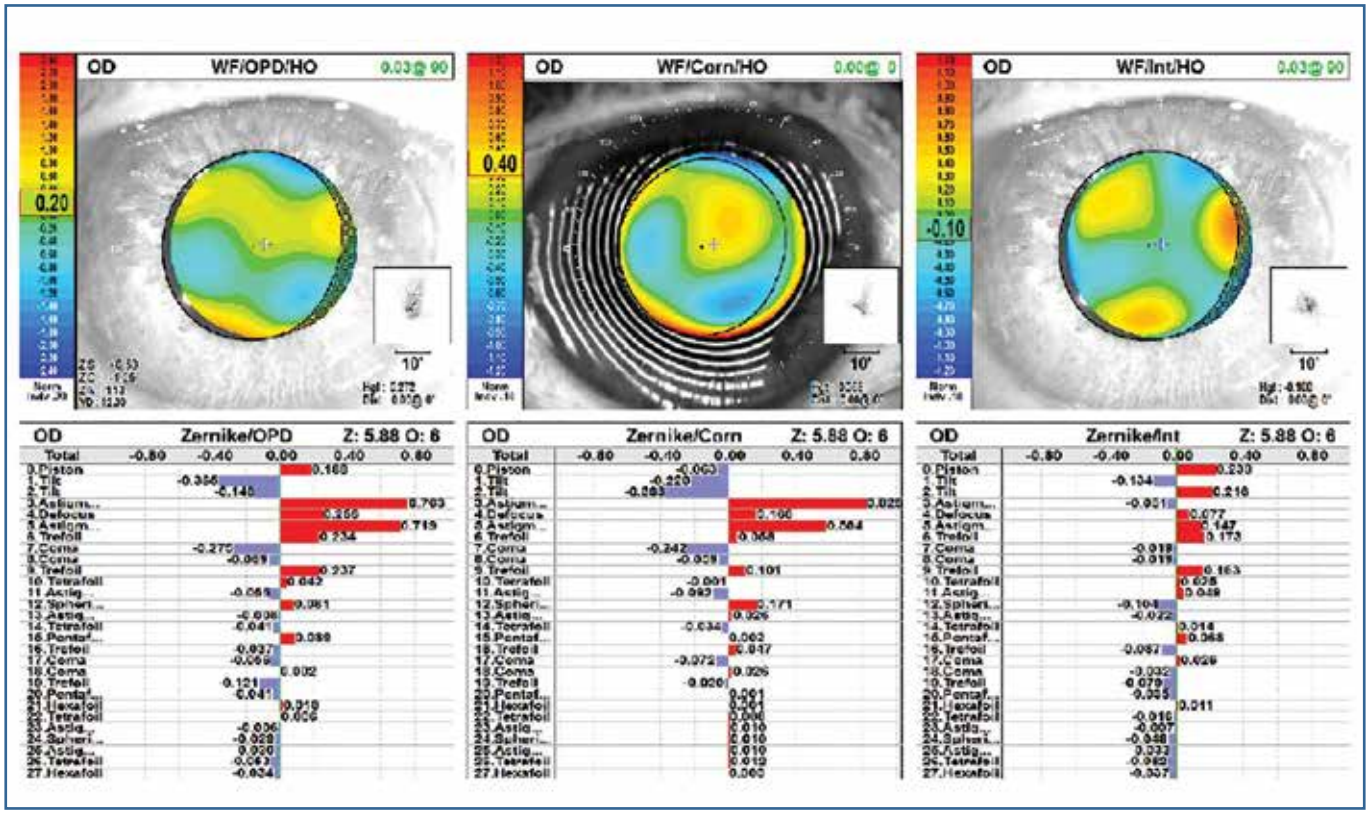


Fig. 3 : Analyse aberrométrique sur une zone de 6 mm par *ray tracing* (OPD-Scan III, Nidek) d'un IOL monofocal (modèle ARTIS préchargé de Cristalens). On retrouve de gauche à droite les cartes de vergence totale, cornéenne et dans le plan de la pupille (implant). L'aberration sphérique cornéenne mesurée est discrètement positive (+0,171 μ RMS). La carte de vergence pupillaire est globalement homogène avec une aberration sphérique dans le plan pupillaire légèrement négative (–0,104 μ RMS). Il en résulte une aberration sphérique globale quasi nulle (+0,081 μ RMS) avec une carte de vergence lissée (la puissance optique de cet œil est quasi-constante dans la zone optique analysée, sans myopisation). Le stigmatisme de cet œil en postopératoire est idéal et maximal pour la qualité de vision mais sans aucune profondeur de champ possible.

– qu'il apporte pourtant une vraie profondeur de champ qui justifie pleinement son appellation d'implant EDOF.

Cet implant aberratif nouvelle génération, sorte de compromis idéal entre la qualité du monofocal et la profondeur de champ du diffractif *soft* (type Symfony de AMO ou AT-LARA de Zeiss), peut figurer en bonne place dans notre arsenal de traitement. Son utilisation en chirurgie de la cataracte à visée emmetropisante permet de proposer un implant sans compromis sur la QdV, tout en permettant une relative indépendance sans lunettes, particulièrement sur la vision intermédiaire (ordinateur, tablette…). Mais certains patients peuvent aussi, en condition d'éclairage suffisant, jouir d'une autonomie de près (lecture de SMS, journal…). Encore une fois, cette autonomie va dépendre de la quantité totale d'ASN postopératoire induite.

Il aurait été idéal de pouvoir bénéficier d'un système parfaitement "customisable" qui aurait consisté en :
– une prise d'empreinte aberrométrique préopératoire de la cornée du patient ;
– une analyse de la variation pupillaire en fonction de la luminosité ;
– la définition d'une cible d'ASN postopératoire ;
– la simulation de la tolérance de cette ASN par optique adaptative (mais qui ne pourrait pas être utilisée chez un patient cataracté !) ;
– la conception d'un implant avec une valeur dioptrique et surtout une valeur d'ASN personnalisée, avec un profil de répartition de l'asphéricité sur l'implant tenant compte de la motricité pupillaire !

En attendant ces possibilités futures dans la manufacture des implants, l'ICB00 remplit bien son rôle d'implant monofocal +.

Il peut être également envisagé dans une stratégie Prelex. En effet, l'intérêt ici est de viser l'emmétropie sur l'œil dominant sensoriel et de cibler une myopie résiduelle de –1,25 D sur l'œil dominé. On va chercher, avec une dose de monovision parfaitement tolérée en binoculaire et qui manque pour obtenir une véritable indépendance sans lunettes en vision de

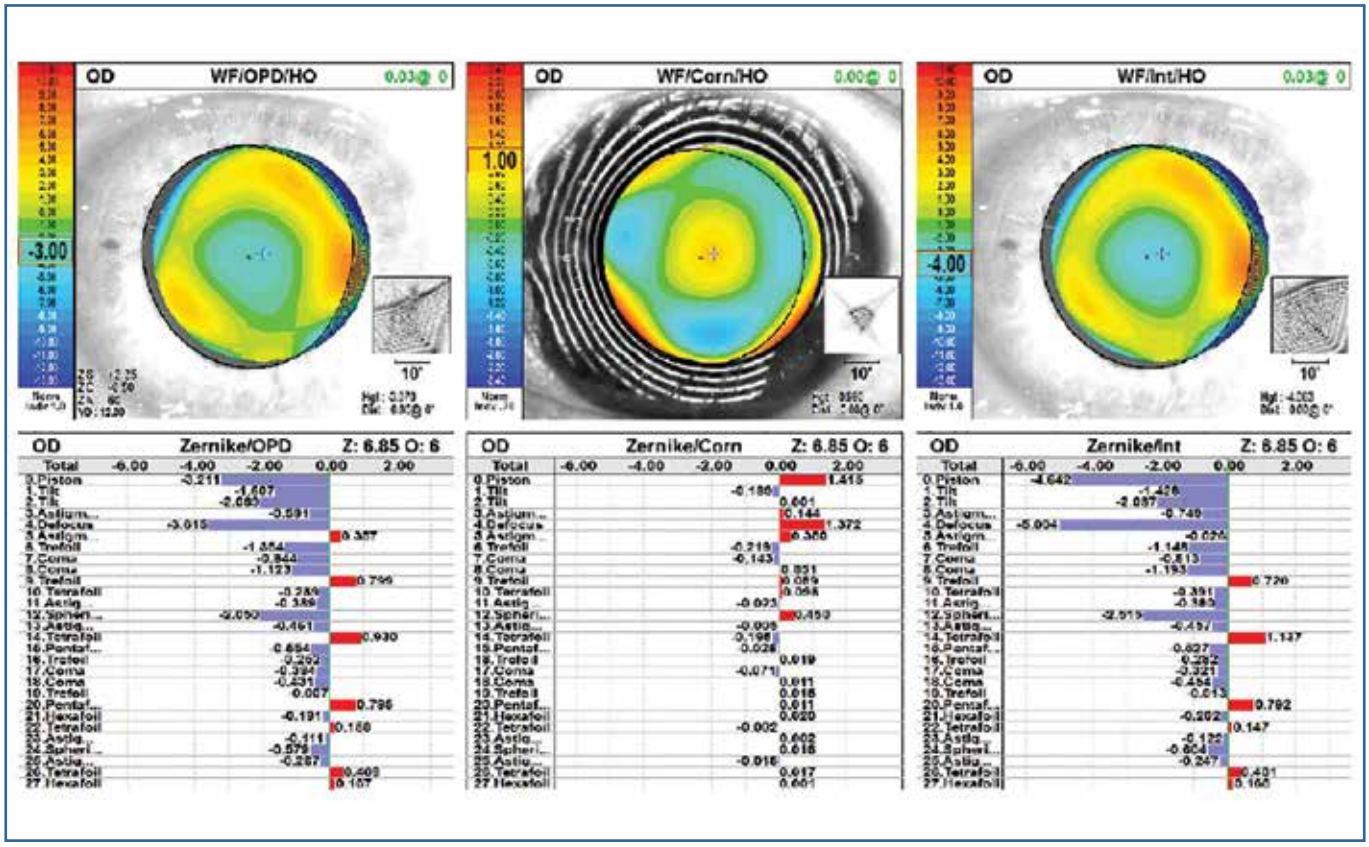


Fig. 4 : Analyse par *ray tracing* sur une zone de 6 mm d'un implant EDOF ICB00. L'aberration sphérique cornéenne est positive (+0,450 μ RMS). En revanche, l'aberration sphérique induite par l'implant est ici mesurée sur une forte valeur négative (–2,515 μ RMS). On note ainsi, sur la carte de vergence pupillaire, la présence d'une forte myopisation centrale (–4 dioptries), entourée d'une couronne hypermétropique (le bord de la zone optique correspondant aux "épaules" de l'implant). L'aberration sphérique totale résultante est donc ici nettement négative (–2,05 μ RMS), ce qui se traduit par une carte de vergence totale qui montre une myopisation centrale progressive (maximum de –3 D au niveau de l'axe pupillaire).

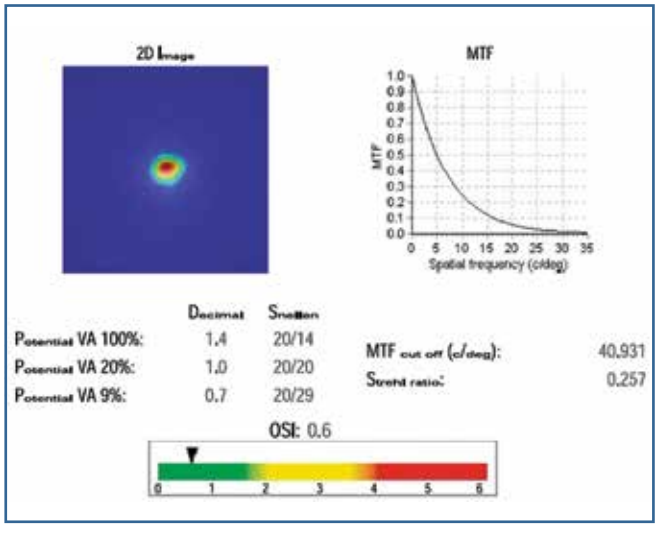


Fig. 5 : Même œil que dans la ***figure 4***, analysé par HDA *double pass*. Les marqueurs objectifs de qualité de vision sont excellents (MTF *cut-off* à 40,9 cpd, Strehl ratio > 0,25 et OSI < 1). L'acuité visuelle simulée est de 14/10e avec un contraste de 100 %. La profondeur de champ induite par l'ASN n'a pas entraîné de phénomène de diffusion cliniquement significatif.

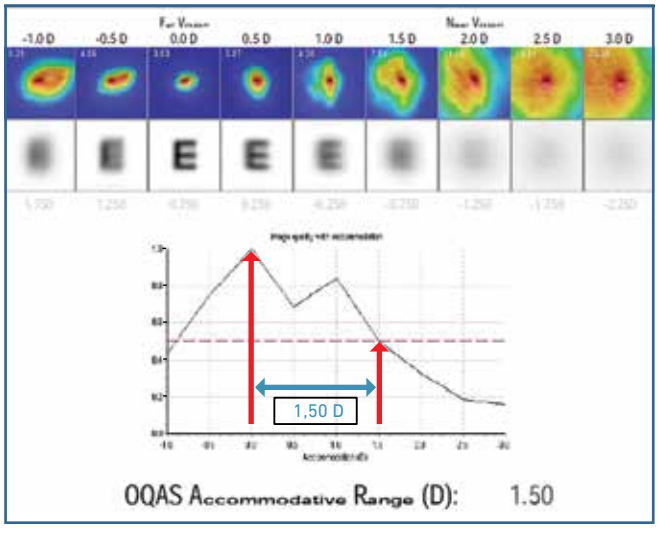


Fig. 6 : Même œil que dans les ***figures 4 et 5***. Analyse objective par HDA de l'accommodation postopératoire avec le module OAR (OQAS *accommodative range*). La meilleure focalisation du signal est obtenue avec un défocus nul (valeur 1) et la perte de 50 % de cette qualité de signal est obtenue avec +1,5 D de défocus. L'accommodation objective est donc de 1,50 D pour cet œil opéré.

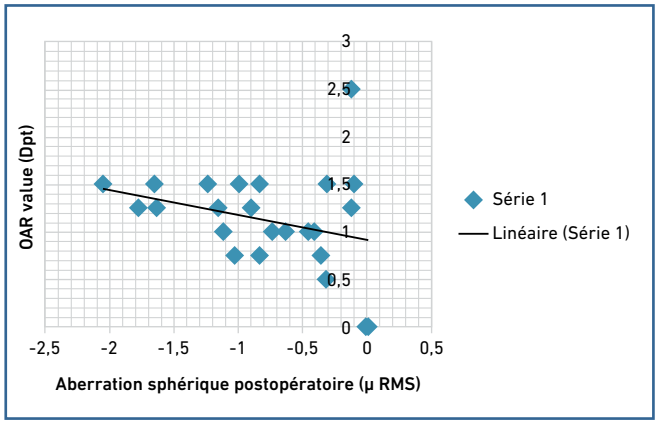


Fig. 7 : Analyse par nuage de points de la profondeur de champ induite (OAR *value*) en fonction de l'ASN postopératoire mesurée. Il semble exister une corrélation logique entre ces 2 paramètres : plus l'aberration sphérique négative finale est importante et plus la profondeur de champ obtenue est grande.

près, la profondeur de champ permettant de lisser le décalage entre les 2 yeux et de diminuer l'importance de la bascule. On peut parler ici de véritable "*Laser Blended Vision* du pseudophaque". Ce n'était pas le but, dans notre série, d'étudier ce concept, mais les quelques patients opérés selon cette stratégie présentent un résultat très satisfaisant avec un équilibre binoculaire correct. L'avantage essentiel étant de pouvoir faire une approche Prelex sans grand risque majeur d'intolérance optique, comme on peut en rencontrer (heureusement rarement) avec des IOL diffractifs.

L'implant ICB00 trouve aussi une place particulière dans la chirurgie de la cataracte du patient antérieurement opéré de Lasik myopique. En effet, après un Lasik démyopisant et une photoablation centrale, la cornée est oblate avec un facteur $q > 0$. Elle présente donc un fort taux de Z4 positif [10]. Cette aberration sphérique positive importante peut être à l'origine en postopératoire de phénomènes photiques délétères. Une bonne façon de la compenser serait de choisir, au moment de la chirurgie de la cataracte, un implant de type ICB00. L'ASN induite par cet implant permet ainsi :
– de s'opposer au fort taux d'aberration sphérique positive induit par le Lasik démyopisant ;
– de restituer une certaine profondeur de champ (en fonction de l'aberrométrie de départ) ;
– de compenser une éventuelle erreur réfractive hypermétropique grâce à la profondeur de champ (fréquente en cas de calcul d'implant post-Lasik).

Ce dernier point s'applique également au sujet des patients astigmates. On sait que la précision du calcul biométrique des implants est dans ce cas plus faible et qu'elle dépend de l'analyse de plusieurs facteurs, dont notamment celle de la face postérieure de la cornée [11]. Or, les biomètres optiques actuels ne sont pas tous équipés pour prendre en compte la face postérieure et l'inclure dans des formules de calcul complexe (Barrett true-K, Baylor, Abulafia-Koch…) afin d'optimiser l'équivalent sphérique (ES) postopératoire.

La disponibilité de cet implant en version torique pourrait permettre, grâce à sa profondeur de champ significative, de "gommer" un éventuel ES résiduel postopératoire et d'améliorer la qualité de vision du patient, cet avantage théorique restant bien évidemment à étayer par des études.

Conclusion

L'implant Eyhance ICB00 respecte bien le cahier des charges prévu. Il présente un comportement aberrométrique bien équilibré : les marqueurs de qualité de vision objectifs peuvent le placer dans la catégorie des implants monofocaux et, en même temps, il peut être analysé comme un EDOF du fait de l'aberration sphérique négative contrôlée qu'il induit.

Son matériau est connu.

Il peut être utilisé facilement dans des indications en routine de cataracte, en apportant une profondeur de champ sans risque. Il peut également trouver sa place dans des prises en charge plus complexes (Prelex, post-Lasik, toricité).

Sa disponibilité sans surcoût pour le patient lui confèrera une place de choix dans notre arsenal chirurgical.

L'auteur tient à remercier chaleureusement Boris Braunsteffer, optométriste, pour le recueil des données nécessaires à cette étude, ainsi que ses associés de la Clinique de la Vision de Montpellier pour nous avoir facilité l'accès aux aberromètres de la plateforme.

Bibliographie

1. Zhao H, Mainster MA. The effect of chromatic dispersion on pseudophakic optical performance. *Br J Ophthalmol*, 2007;91:1225-1229.
2. Gatinel D, Malet J, Hoang-Xuan T *et al*. Analysis of customized corneal ablations: theoretical limitations of increasing negative asphericity. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2002;43:941-948.
3. Saad A, Saab M, Gatinel D. Repeatability of measurements with a double-pass system. *J Cataract Refract Surg*, 2010;36:28-33.

4. Berrio E, Tabernero J, Artal P. Optical aberrations and alignment of the eye with age. *J Vis*, 2010;31:10-14.
5. Beiko GH, Haigis W, Steinmueller A. Distribution of corneal spherical aberration in a comprehensive ophthalmology practice and whether keratometry can predict aberration values. *J Cataract Refract Surg*, 2007;33:848-858.
6. Liao X, Haung X, Lan C *et al*. Comprehensive evaluation of retinal image quality in comparing different aspheric to spherical intraocular lens implants. *Curr Eye Res*, 2019;44:1098-1103.
7. Beiko GH, Gostimir M, Haj-Ahmad L. A comparison of mesopic visual acuity and objective visual quality following cataract surgery with hydrophobic acrylic intraocular lenses. *Clin Ophthalmol*, 2017;11:641-646.
8. Alió JL, Piñero DP, Ortiz D *et al*. Clinical outcomes and postoperative intraocular optical quality with a microincision aberration-free aspheric intraocular lens. *J Cataract Refract Surg*, 2009;35:1548-1554.
9. Rozot P. Implant EDOF EYHANCE ; résultats préliminaires. *Réflexions Ophtalmologiques*, 2019;228:22-24.
10. Amigó A, Martinez-Sorribes P, Recuerda M. Refractive changes induced by spherical aberration in laser correction procedures: an adaptive optics study. *J Refract Surg*, 2017;33:470-474.
11. Abulafia A, Barrett GD, Kleinmann G *et al*. Prediction of refractive outcomes with toric intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg*, 2015;41:936-944.

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

F. COSTANTINI
Centre Ophtalmologique Étoile, PARIS.
florentcostantini@gmail.com

L'IA en 2020 : que sait-on, que nous est-il permis d'espérer ?

La mode de l'intelligence artificielle (IA) a la peau dure : elle persiste même si la majorité des gens a du mal à s'en représenter concrètement les contours. Est-ce vraiment de l'IA ? Est-ce un terme marketing galvaudé ici et là ? Et peut-être la plus intéressante des questions, pourquoi aurait-on finalement besoin d'elle ? Essayons d'y voir plus clair en proposant ici une définition la plus simple possible de l'IA, puis un rapide tour d'horizon des grands outils dudit *machine learning*.

À propos de l'intérêt de l'IA

Toute forme d'IA aujourd'hui partage une seule et unique architecture de base : une entrée, un classificateur algorithmique et une sortie (***fig. 1***). Les entrées représentent bien évidemment un ensemble de données à partir desquelles un classificateur (algorithme) va chercher à obtenir un ensemble de sorties. Comme on le sait, qui dit données aujourd'hui dit nombres et donc mathématiques.

En effet, une image, un son ou d'autres stimuli peuvent tout à fait être retranscrits, stockés et transférés de façon numérique (combinaison d'intensité de couleurs primaires pour un pixel, niveau et localisation de pression sur un microphone pour un son, etc.). Pour cela, on utilise très souvent les fameux *bit* ou *binary digit* permettant de manipuler ces informations à partir d'une unité qui ne peut prendre que deux valeurs : zéro ou un. On comprend alors bien que les grandes lois derrières toutes ces opérations seront des lois mathématiques.

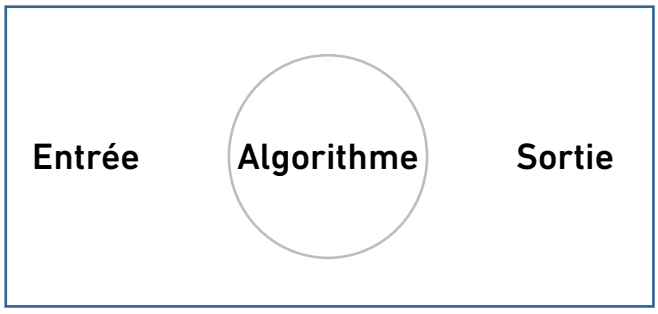


Fig. 1 : Architecture de base de tout système d'intelligence artificielle.

Regardez maintenant l'évolution de nos consultations et, surtout, l'évolution du nombre et de la quantité de données que nous stockons par patient au fil des ans. Toute opération d'envergure sur ces données est et sera de plus en plus impossible sans passer par des opérations mathématiques. Imaginez-vous aujourd'hui un comptable émettre un bilan sans calculatrice ou logiciel tableur ? Tout l'intérêt de l'IA est là.

Essai de définition de l'intelligence artificielle

"Artificielle" : très bien, pas de difficulté particulière. Mais "intelligence" ? Il s'agit de l'"*habilité à accomplir des tâches complexes*". Moins évident, vous en conviendrez. D'autant que l'expression a quelque chose d'oxymorique ou du moins de problématique : l'intelligence est-elle naturelle ou artificielle, c'est-à-dire le résultat d'un art au sens étymologique donc d'une technique ?

Pour avancer, nous allons nous aider de la définition donnée par Max Tegmark, éminent cosmologiste au *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) de Boston. Il définit trois niveaux d'intelligence : niveau 1 biologique, niveau 2 culturel et niveau 3 technologique (***fig. 2***).

Le niveau 1 ou biologique est représenté par des organismes, comme les bactéries par exemple. Lorsque la bactérie détecte un taux de glucose dans son environnement proche trop faible, elle va activer son flagelle pour se mouvoir. En revanche, hormis sur des cycles très longs faisant intervenir par exemple

la théorie darwinienne de l'évolution, elle est incapable par elle-même au cours de son cycle de vie de faire évoluer sa structure propre afin de s'améliorer ou de s'augmenter.

Le niveau 2 ou culturel caractérise des entités comme nous autres les humains. S'il nous est impossible (ou presque) de modifier notre structure physique (*hardware*), il nous est en revanche tout à fait possible de nous améliorer en acquérant des facultés additionnelles comme la maîtrise d'une nouvelle langue, d'une nouvelle technique de défense (*software*).

Le niveau 3, enfin, représente un niveau d'intelligence que nous ne connaissons pas encore. Il faudrait imaginer une entité capable de modifier, au cours de son cycle de vie propre, à la fois son *software* mais aussi son *hardware*. Cela demande un effort important d'imagination pour nous aujourd'hui. Les seuls exemples nous viennent des films de science-fiction. Néanmoins, cette question doit être prise au sérieux. Elle fait d'ailleurs l'objet de nombreux travaux émanant des plus grandes institutions internationales de recherche.

À partir de ces définitions d'intelligence, nous allons maintenant pouvoir discriminer plus aisément 3 niveaux d'IA (***fig. 3***) :

Fig. 2 : Les trois niveaux d'intelligence.

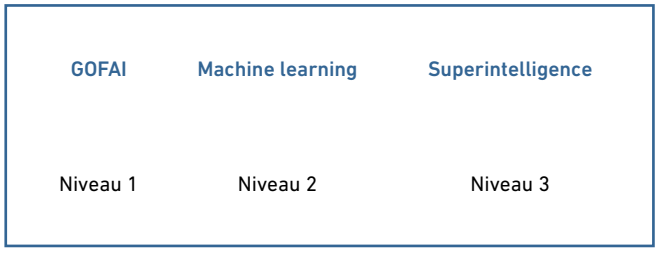


Fig. 3 : Les trois niveaux d'intelligence artificielle.

>>> Le niveau 1 ou *good old fashioned artificial intelligence* (GOFAI)

Il s'agit d'une forme très ancienne et très répandue d'IA que les puristes ne considèrent pas en tant que telle. En effet, il n'y a ici pas d'évolution au fil de l'expérience. Tout est défini en amont par le développeur, l'ensemble des données d'entrée est connu ainsi que les sorties possibles. Par exemple, sur un OCT des fibres nerveuses rétiniennes péripapillaires (RNFL) : niveau de fibres normal ou pathologique.

>>> Le niveau 2 ou *machine learning*

C'est cela que les scientifiques appellent à proprement parler IA. Ici, la structure du classificateur est également définie par un développeur mais, et c'est là tout l'intérêt, le système va effectuer des changements dans sa structure par lui-même, au gré de ses expériences, dans le but d'améliorer ses performances de réponses. L'objectif final étant de pouvoir généraliser c'est-à-dire, pour le classificateur, développer sa capacité à répondre à la question alors même qu'il n'a jamais rencontré cette donnée d'entrée auparavant.

>>> Le niveau 3 ou superintelligence

Le fameux niveau que nous ne connaissons pas encore à ce jour mais qui, selon les plus grands spécialistes, saura si un jour il existe le moyen pour la vie sur Terre de s'étendre au-delà de notre système solaire…

Introduction au *machine learning*

Il existe en médecine deux grands types de *machine learning* (***fig. 4***).

1. L'apprentissage supervisé

À partir d'un échantillon de données, appelé échantillon d'apprentissage, le classificateur va apprendre, sur la base de

	Aprentissage supervisé	Aprentissage Non ou auto-supervisé
Échantillon :	Connu et labellisé	Inconnu
Objectif :	Classification	Modéliser une distribution

Fig. 4 : Les grands types de *machine learning* utilisés en médecine.

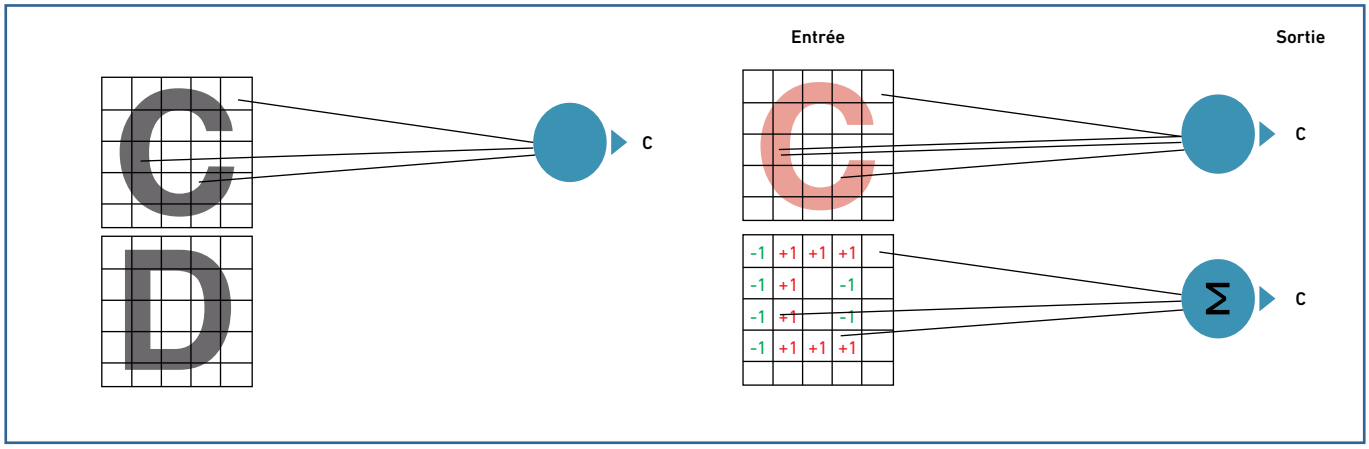


Fig. 5 : Exemple d'apprentissage supervisé simple : le perceptron.

critères précis et préalablement définis par le développeur, à séparer et classer les données d'entrée. Prenons un exemple simple : un système de reconnaissance de caractères dont le but est de reconnaître une lettre C d'une lettre D. Une des premières versions d'algorithme utilisées pour cela fut créée en 1957 sous le nom de perceptron (***fig. 5***). Le classificateur, appelé "neurone", est connecté à une image de 25 pixels. À chaque pixel est attribuée une valeur dont le but est, après addition, de pouvoir déterminer s'il s'agit d'un C (résultat positif) ou bien d'un D (résultat négatif).

Il existe cependant une limite importante. Lorsque les lettres sont très différentes de l'échantillon d'apprentissage, il devient difficile avec ces simples critères de faire le distinguo. Il faut donc ajouter une couche : c'est ce que l'on appelle des extracteurs de caractéristiques (*feature extractor*). Ces fonctions vont cibler des points très discriminants, en l'occurrence ici par exemple les coins des lettres C et D, afin de pouvoir améliorer les performances du classificateur sur des entrées rencontrées pour la première fois (***fig. 6***).

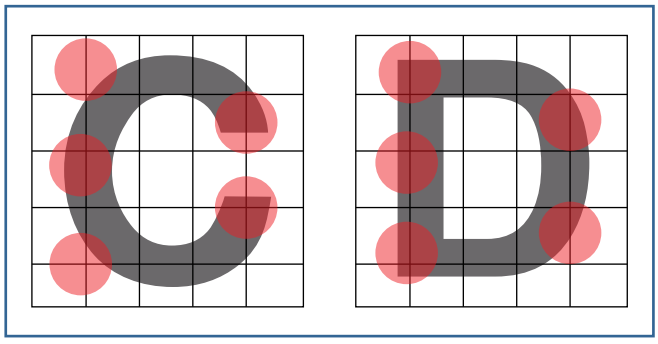


Fig. 6 : Extracteur de caractéristiques : fonction ciblant des points hautement discriminants.

Mais il reste encore un problème de taille, ces fonctions doivent être ajoutées et dessinées à la main par le développeur. Nous sommes ici dans un système très simple de 25 pixels avec deux sorties possibles. Imaginez la complexité pour un système de reconnaissance faciale avec la qualité de nos photographies d'aujourd'hui.

2. L'apprentissage non ou auto-supervisé

L'apprentissage profond ou *deep learning* tient simplement son nom de sa structure même, organisée en plusieurs couches. L'architecture d'interconnexions de ces réseaux va permettre une circulation de l'information dans les deux sens. C'est ce que l'on appelle la rétropropagation et c'est cela qui va permettre la construction d'extracteurs de caractéristiques par la machine elle-même (***fig. 7***) !

Voyons un exemple simple : les réseaux de neurones convolutifs dans la reconnaissance d'image. Ces derniers sont directement inspirés des travaux des fameux neurobiologistes Hubel et Wiesel sur le cortex visuel des mammifères. Le principe est le suivant : chaque couche est composée d'un certain nombre de neurones responsables chacun d'une partie limitée de la donnée d'entrée, c'est-à-dire ici d'une partie limitée de l'image concernée. Les neurones de la même couche ont les mêmes caractéristiques et répondent sur la présence ou l'absence de tel ou tel élément dans leur espace. L'analyse au travers de chaque couche va donc se traduire par une matrice simplifiée de l'image de départ, résumée en la présence ou l'absence des éléments filtrés spécifiquement par les neurones de ladite couche. On arrive à un ensemble de matrices sommées les unes aux autres (*pooling*) afin d'obtenir notre sortie, c'est-à-dire la réponse finale attendue (***fig. 8***).

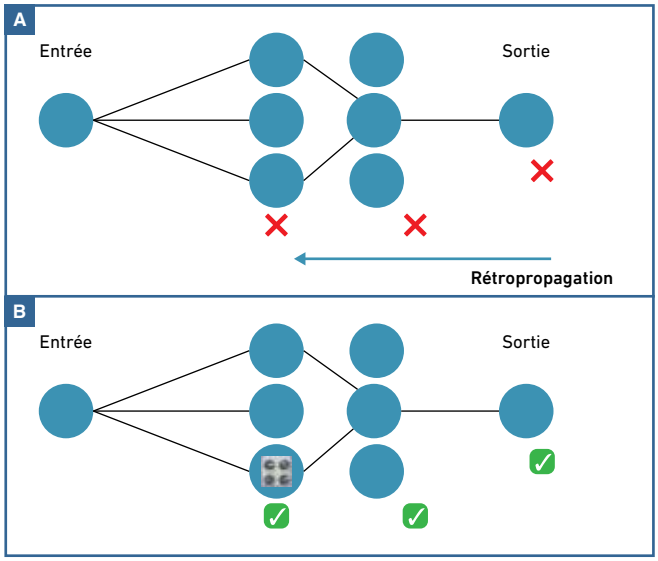


Fig. 7 : Apprentissage profond ou *deep learning*. **A :** rétropropagation de l'information permettant aux neurones des couches d'aval de renvoyer l'information en amont en disant "*tu ne me donnes pas la bonne réponse, change tes paramètres pour arriver à me donner cette réponse-là.*" **B :** cette méthode permet la construction d'extracteurs de caractéristiques par la machine elle-même afin d'améliorer ses propres performances.

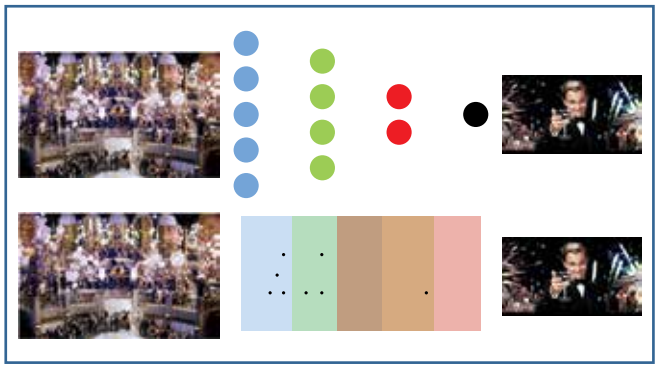


Fig. 8 : Réseau neuronal convolutif, exemple de reconnaissance d'image. On cherche ici à établir la présence ou l'absence d'un individu dans l'image. **En haut :** l'image d'entrée est analysée par la première couche de neurones (couche sensorielle). Chaque neurone est responsable d'une partie limitée de l'image. Tous les neurones de la même couche cherchent le même élément (ils ont les mêmes caractéristiques). **En bas :** l'analyse couche par couche aboutit à une simplification de l'image d'entrée (matrice). Imaginons ici, la première couche cherche un homme, la deuxième une taille bien précise, la troisième des cheveux blonds, etc. La sommation des simplifications obtenues par les différentes couches amène de proche en proche à notre résultat final recherché, à savoir la présence ou l'absence de l'individu.

Black box is the new black

Comme nous l'avons vu plus haut, les phénomènes de *machine learning* et de rétropropagation en particulier vont permettre de développer automatiquement des classificateurs. Cependant, nous ne savons pas exactement comment la machine fait pour ajuster par elle-même ses paramètres en vue d'obtenir la sortie désirée. En effet, à la différence de notre utilisation de biomarqueurs (i.e. exsudats, hémorragies, néovaisseaux pour la gradation de la rétinopathie diabétique), les classificateurs développent eux-mêmes leurs propres éléments distinctifs sans que nous en ayons un accès et une connaissance facile. Cela peut paraître tout à fait inquiétant et bon nombre de scientifiques demandent justement des travaux de recherche supplémentaires afin d'éclaircir ces *black boxes*. On peut citer le rapport Villani en France ou *explainable AI* aux États-Unis.

A contrario, pour d'autres comme Yann Le Cun, éminent chercheur français en IA à l'origine de nombreuses innovations en la matière, si la science montre souvent la voie à la technologie, il arrive également que la technologie montre la voie à la science. Plusieurs exemples existent en santé : nous utilisons depuis des décennies le lithium en psychiatrie sans en connaître encore à ce jour le principe de fonctionnement, il en est de même pour l'aspirine inventée en 1897 et dont le mécanisme d'action fut publié en 1971. Pour Yann Le Cun, la question n'est pas tant de chercher à comprendre comment cela fonctionne mais plutôt de vérifier que cela amène à des bons résultats tout en garantissant une bonne sécurité.

Il y a probablement aussi des bonnes nouvelles avec l'IA. Effectivement, les niveaux seuils de détection des anomalies vont probablement considérablement diminuer, amenant un gain de temps pour le pronostic (analyse d'images IRM pour le diagnostic de pathologie vasculaire ou dégénérative par exemple). Imaginez les applications possibles en pharmacovigilance : nous n'aurons probablement pas à assister au décès de nombreuses personnes avant de développer l'intuition d'une implication médicamenteuse précise.

Pourquoi, selon moi, nous n'avons pas à être inquiets

Comme le disent les spécialistes, nous sommes très loin du stade de superintelligence. Tous les algorithmes qui tournent aujourd'hui (et même ceux utilisés par nos chers GAFA [Google, Apple, Facebook, Amazon]) sont très spécialisés, c'est-à-dire qu'ils n'ont absolument aucune idée intelligible du monde en tant que constituant une entité. Pour faire simple, il est aujourd'hui possible de générer par IA un script ou un morceau musical, mais vous n'arriverez jamais à créer à partir de cela un opéra. Chaque système résonne et produit pour son propre compte indépendamment de l'environnement existant en dehors de son champ d'action.

L'IA va augmenter les revenus des médecins. Comme le dit Peter Karth, responsable du programme de dépistage de la rétinopathie diabétique chez Google, "*L'IA va permettre à plus de monde d'accéder au système de santé*". Je suis pour ma part sincèrement convaincu que les outils développés dans les années à venir permettront d'amener plus de monde en face d'un médecin. Regardez simplement l'évolution de nos consultations ces dernières années avec les arrivées successives des auto-réfractomètres puis des assistants : bien que ces derniers étaient craints par nombre d'entre nous, nous avons finalement abouti à une augmentation significative de nos activités.

John Nosta, expert en santé digitale pour le compte de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), déclare que "*le rôle du médecin est en train de subir une transformation vers quelque chose qui pourrait plaire davantage à Hippocrate et aux patients*." Je partage également cette vision. Cela peut sembler contre-intuitif mais je pense qu'en déléguant une partie de nos tâches de collecte et d'analyse des données, nous allons revaloriser nos consultations en présentiel et instaurer une gradation du soin avec l'échange médecin-patient en son acmé.

Enfin, il faut savoir que la transformation de nos pratiques quotidiennes par l'utilisation de l'IA n'est pas pour demain. Erik Brynjolfsson, professeur d'économie numérique au MIT, qualifie l'IA de "*technologie d'application générale*", au même titre que l'informatique ou internet par exemple. Et comme ces dernières, avant que leur utilisation soit réellement démocratisée, il a fallu inventer des outils permettant leur adoption par le plus grand nombre (comme les claviers ou les souris pour l'informatique par exemple). Tout cela prendra du temps et surtout nécessitera une contribution de notre part.

Pour en savoir plus

- Tegmark M. Life 3.0: *Being human in the age of artificial intelligence*. Knopf, 2017.
- Le Cun Y. *Quand la machine apprend : la révolution des neurones artificiels et de l'apprentissage profond*. Odile Jacob, 2019.
- Consejo A, Melcer T, Rozema JJ. Introduction to machine learning for Ophthalmologists. *Seminars in Ophthalmology*, 2019;34:19-41.

N. MESPLIÉ
Espace Hélios Ophtalmologie, SAINT-JEAN-DE LUZ,
Centre Activa, PAU.
nicolas.mesplie@gmail.com

Dépistage du kératocône fruste et intelligence artificielle

Pour l'ensemble des chirurgies réfractives cornéennes, le dépistage du kératocône fruste reste plus que jamais d'actualité afin d'éviter le risque d'ectasie. Si le diagnostic du kératocône ne pose aujourd'hui quasiment aucune difficulté (et ne sera d'ailleurs pas abordé ici), le diagnostic de kératocône fruste est quant à lui extrêmement difficile.

L'intelligence artificielle existe depuis près de 20 ans et ses progrès permanents nous permettent aujourd'hui de dépister ces cornées à la frontière entre le normal et le pathologique. Et ce n'est que le début ! L'objectif ultime n'est sans doute pas de dépister des cornées suspectes mais de dépister des patients qui développeraient une ectasie suite à une chirurgie réfractive cornéenne. L'avènement en intelligence artificielle du *machine learning* devrait permettre dans les prochaines années de répondre à cette problématique que l'homme seul n'arrivera probablement jamais à résoudre.

Les données à recueillir lors de la consultation (*tableau I*)

Lors d'une consultation préopératoire de chirurgie réfractive, on s'intéresse essentiellement à récuser les patients qui ont un risque d'ectasie (et pas seulement une cornée suspecte). Un interrogatoire minutieux et orienté vers ce dépistage doit systématiquement être réalisé, on recherche particulièrement :
– l'âge ;
– les antécédents familiaux de kératocône ;
– les frottements oculaires ;
– les dysphotopsies en vision nocturne ;
– l'atopie.

Vient ensuite le temps de l'examen clinique qui ne retrouve aucun signe de kératocône à la lampe à fente (sauf en cas de kératocône avéré) mais qui permet d'écarter des artéfacts qui pourraient fausser les examens topographiques (par exemple,

	Interrogatoire	Amétropie et biomécanique	Pachymétrie	Topographie	Tomographie	Aberrométrie
Éléments importants à recueillir pour prévenir le risque d'ectasie post-chirurgie réfractive cornéenne	• Antécédents familiaux de kératocône • Frottements oculaires • Âge < 21 ans • Dysphotopsies nocturnes • Maladies du collagène • Atopie • Travail de nuit • Temps d'écran • Position latérale de sommeil	• Instabilité réfractive et kératométrique • Myopie forte • Astigmatisme myopique • Astigmatisme inverse • Anisométropie • TAP > 40 % de la cornée sans rôle biomécanique • CH > CRF	• < 500 microns • Mur stromal résiduel post-chirurgie > 300 microns • Chirurgie traitant plus de 40 % de l'épaisseur totale de la cornée	• Kératométrie > 46 D • Perte de l'énantiomorphisme cornéen • Asymétrie cornéenne • I-S > 0,8 D • SRAX > 15°	• Point le plus fin décentré • Dissociation face antérieure face postérieure • Bombement de la face postérieure de la cornée avec asymétrie postérieure • Volumétrie cornéenne diminuée • *Mapping* épithélial : aspect de "donut" avec amincissement épithélial au point le plus fin	• Augmentation des aberrations comatiques cornéennes verticales

Tableau I : *Check-list* indispensable lors d'une consultation de chirurgie réfractive.

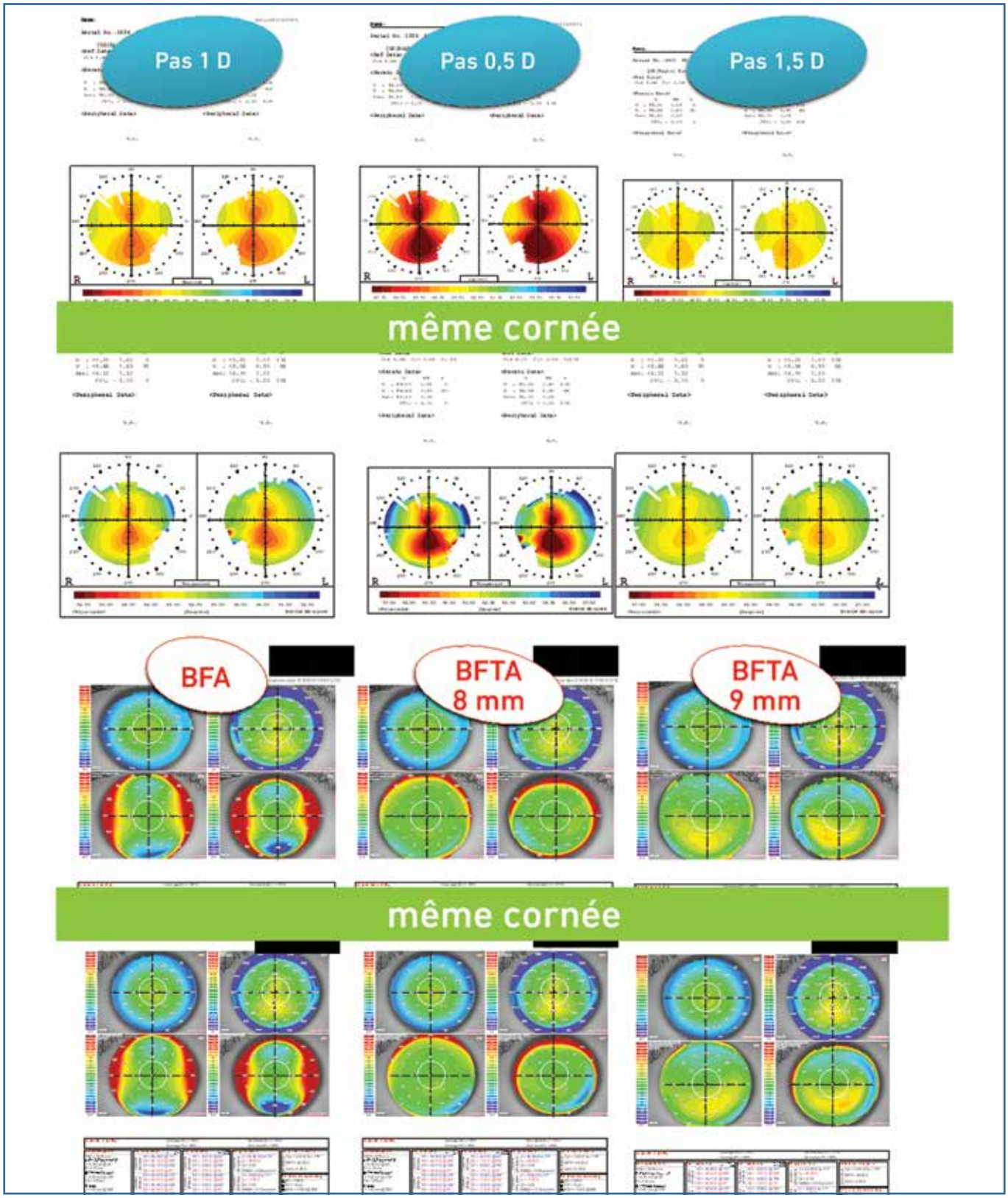


Fig. 1 : Importance du paramétrage des topographes et tomographes. Plus le pas d'échelle est bas, plus on augmente la sensibilité du dépistage. L'analyse tomographique doit se faire à partir d'une sphère de référence "asphéro-torique" afin d'analyser au mieux les asymétries.

une kératite ponctuée superficielle). Cet examen permet aussi de définir l'amétropie à corriger qui est un élément bien entendu déterminant, non seulement dans le choix de la technique mais aussi dans le risque d'ectasie.

Les temps des examens complémentaires sont une étape primordiale. Une pachymétrie fine peut nous orienter mais ne doit pas rassurer en cas de normalité. La topographie Placido antérieure garde encore un intérêt même si cela reste insuffisant pour conclure à une normalité des cornées. Une asymétrie topographique avec bombement inférieur, une kératométrie extrême (> 47 D) ainsi qu'une perte de l'énantiomorphisme entre les deux yeux sont les trois critères principaux à observer (***fig. 1***).

La tomographie cornéenne est aujourd'hui l'examen incontournable du dépistage du kératocône (***fig. 1 à 4***). Le raffinement

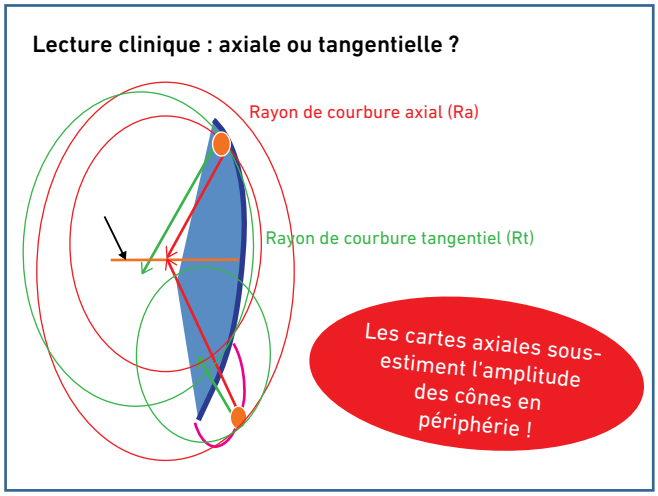


Fig. 2 : Importance du paramétrage des topographes et tomographes. Intérêt d'une carte tangentielle pour détecter les asymétries cornéennes (schéma du Dr Smadja).

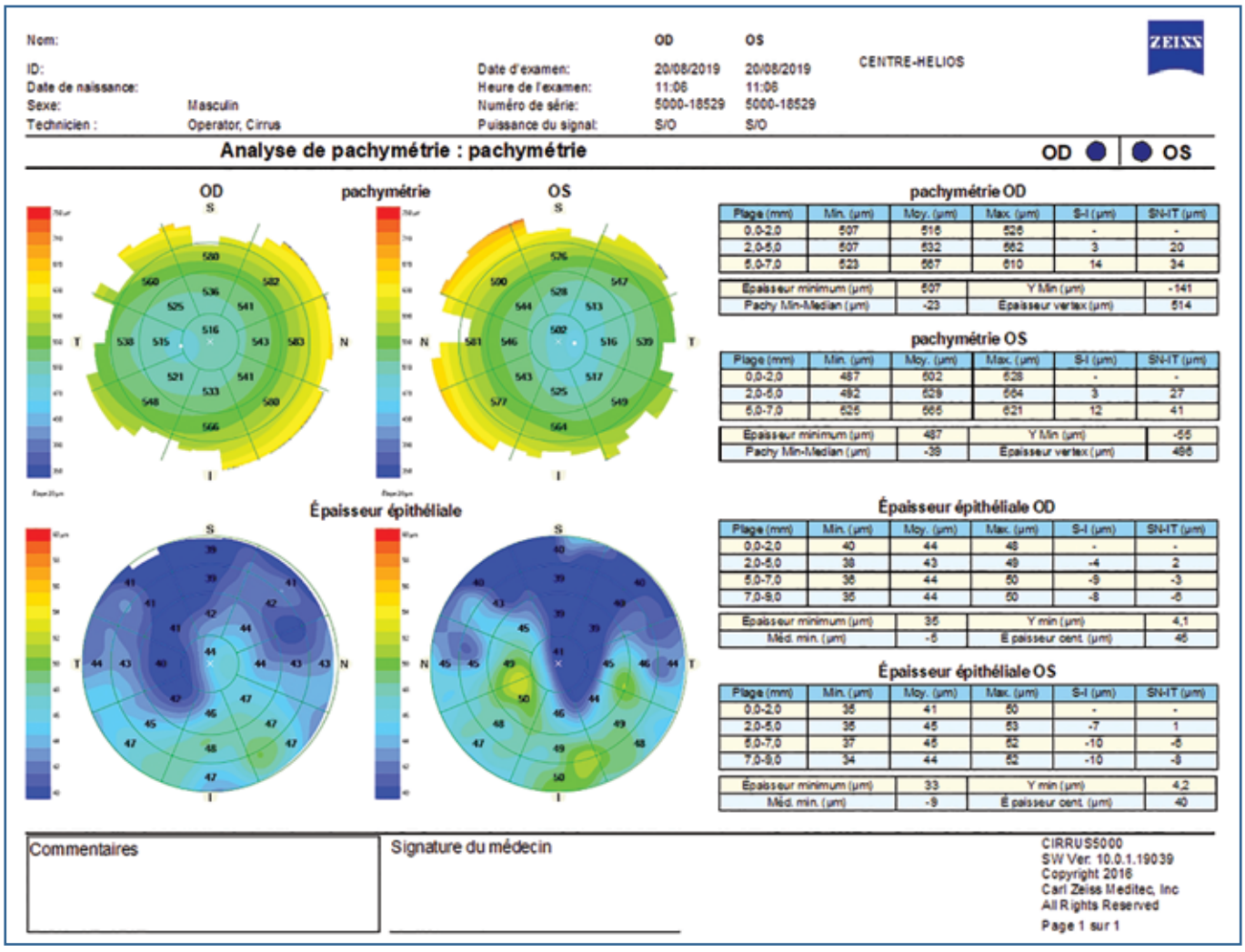


Fig. 3 : *Mapping* épithélial avec suspicion de kératocône débutant.

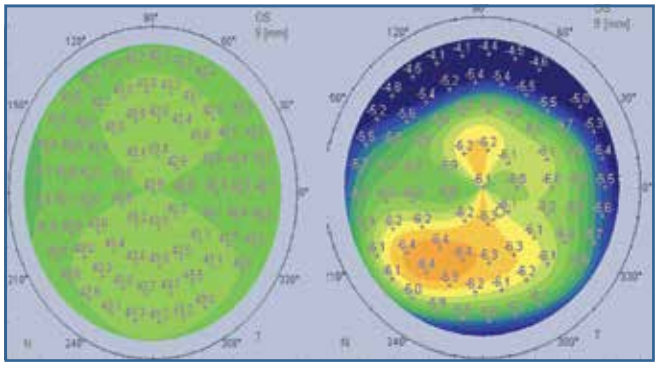


Fig. 4 : Dissociation de la face antérieure et de la face postérieure chez un patient dont le frère est atteint d'un kératocône.

des machines permet aujourd'hui d'obtenir non seulement une cartographie pachymétrique, ainsi qu'un *mapping* épithélial, mais aussi une analyse de la cornée en 3 dimensions et permet d'explorer à la fois la face antérieure de la cornée et la face postérieure. Enfin, elle est le plus souvent couplée à une analyse aberrométrique de la cornée. Les critères tomographiques principaux sont récapitulés dans le ***tableau I***.

L'analyse de la biomécanique par des machines dédiées comme l'ORA ou le Corvis peut apporter des éléments complémentaires à la recherche de cornée anormale.

On l'aura compris, c'est tout un ensemble d'éléments qui nous permet de conclure à un risque potentiel d'ectasie post-opératoire. Néanmoins, ces éléments ne peuvent pas être facilement hiérarchisés par le cerveau de l'homme et c'est pourquoi l'intelligence artificielle devrait s'avérer d'une aide précieuse.

Rappel sur l'intelligence artificielle (*fig. 5 et 6*)

Sans être un spécialiste du domaine, on peut tout de même retenir quelques fondamentaux sur l'intelligence artificielle. Si l'intelligence artificielle vise à mimer la logique et le fonctionnement d'un cerveau humain, il est défini classiquement deux niveaux d'intelligence artificielle :

>>> L'IA dite "faible" : l'objectif de cette IA est d'exécuter la tâche qui lui a été définie. Ce type d'IA présente des performances élevées dans un domaine et un seul. À partir d'algorithmes et de systèmes autonomes, on cherche à résoudre un problème donné. Un comportement observé sera codé par la machine afin qu'elle exécute une tâche précise. Pour une même situation analysée, sa réponse sera donc toujours la même…

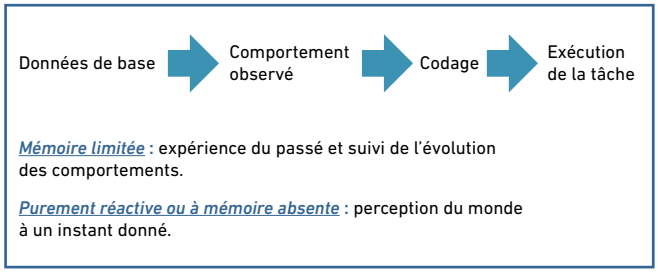


Fig. 5 : L'IA dite "faible".

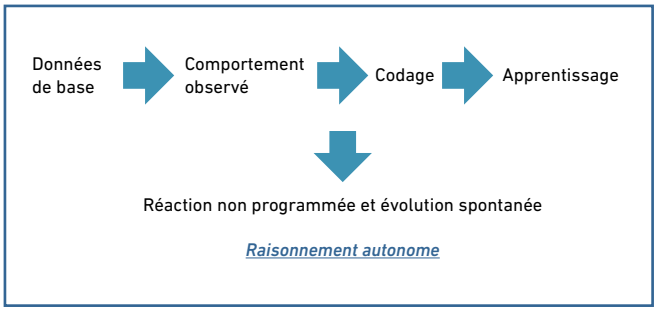


Fig. 6 : L'IA dite "forte".

>>> L'IA dite "forte" : encore appelée *machine learning*, elle est censée reproduire le fonctionnement cognitif du cerveau humain. La particularité de cette IA est d'évoluer au fur et à mesure de son apprentissage. Si cette IA peut paraître effrayante, elle doit permettre de résoudre des problèmes que l'homme ne peut résoudre.

L'intelligence artificielle pour le dépistage du kératocône (*fig. 7 et 8*)

Actuellement, à chaque machine topographique et tomographique son intelligence artificielle ! Nous sommes à l'ère où de multiples algorithmes et autres réseaux neuronaux permettent de prendre en compte différentes analyses topographiques et tomographiques afin de savoir si les cornées sont à risque d'ectasie. Dans notre pratique courante, ces tests correspondant à des "boîtes noires" peuvent aussi être assimilés à de l'IA faible de type réactive.

De grands noms ont proposé une intelligence artificielle pour le dépistage du kératocône, évaluant tout d'abord les anomalies topographiques (Rabinowitz, Maeda, Klyce, Smolek) puis les anomalies tomographiques (Gatinel, Ambrosio, Smadja, Arbelaez), permettant d'obtenir jusqu'à plus de

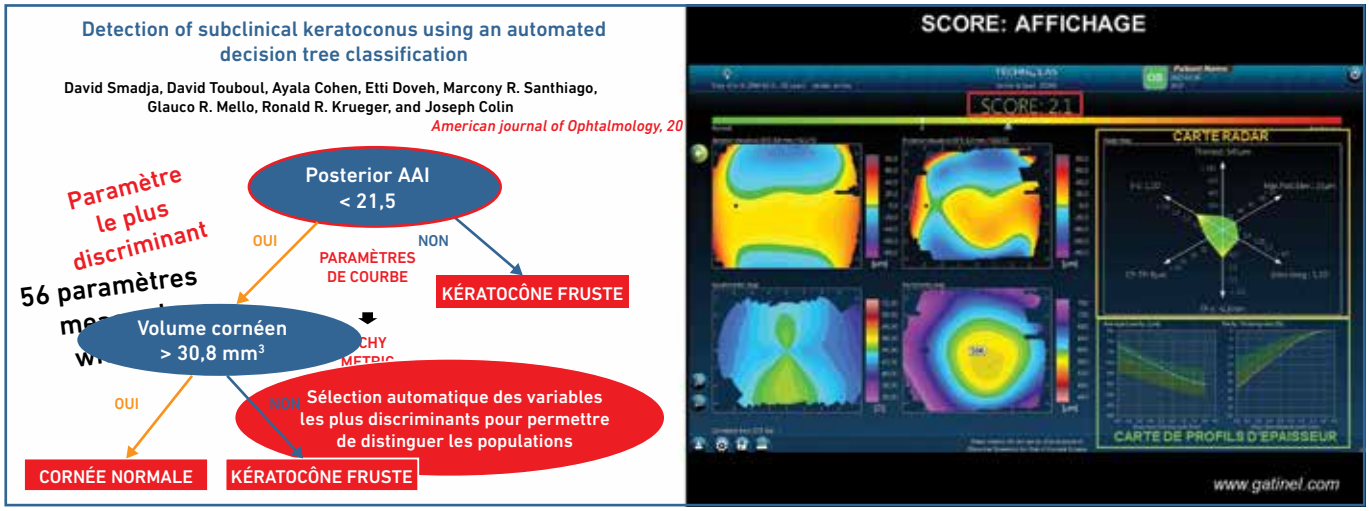


Fig. 7 : Cocoricooo ! Parmi les tests de dépistage du kératocône, les français sont au premier plan. Le Dr Smadja, à partir d'une base de données du Centre de référence national du kératocône (CRNK) de Bordeaux et avec l'aide d'une équipe de mathématiciens israéliens, a présenté un test de dépistage du kératocône infraclinique sur le Galilei avec une spécificité supérieure à 97 % et une sensibilité supérieure à 93 %. Le test a pris en considération plus de 55 éléments à partir d'une machine dotée d'IA type *machine learning*, ce qui a permis d'obtenir ces excellents résultats. Dans le même esprit, cette fois sur l'Orbscan et avec une prise en compte d'une vingtaine d'éléments tomographiques, les Drs Saad et Gatinel ont permis de mettre au point un test de dépistage du kératocône infraclinique avec une sensibilité et une spécificité de l'ordre de 92 %. Il est important de noter que, pour ces deux dépistages, la définition de kératocône infraclinique (dit fruste) est la même, à savoir une topographie normale chez un patient atteint de kératocône sur l'œil controlatéral, ce qui ne fait que donner plus de valeur à ces excellents pourcentages.

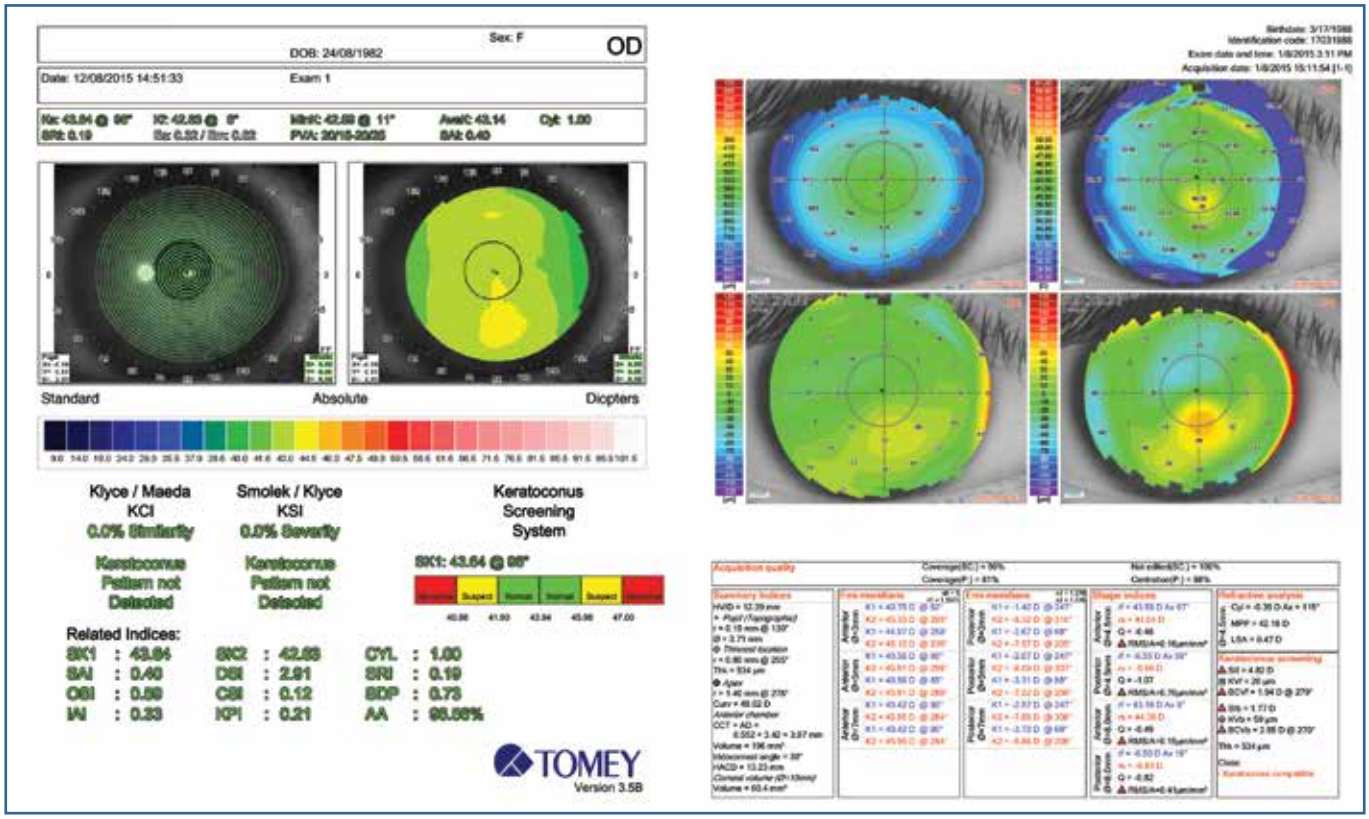


Fig. 8 : Dépistage du kératocône par la topographie Placido et le tomographe Sirius. À Hélios Ophtalmologie, le centre est équipé d'un topographe Placido où l'on peut retrouver les critères de Klyce et de Maeda. 21 indices sont calculés et un réseau neuronal dégage une probabilité diagnostique d'avoir un kératocône suspect. Ce test est encore une référence pour la topographie Placido. Le tomographe Sirius permet quant à lui, grâce à une machine analysant la cornée en 3 dimensions de type *machine learning*, de dépister les kératocônes infracliniques frustes (même définition que les Français) dans 92 % des cas et les cornées anormales dans 96 % des cas. Ce test prend en compte non seulement les asymétries de la face antérieure et postérieure, mais aussi la carte pachymétrique et les aberrations optiques de haut ordre sur les deux faces de la cornée.

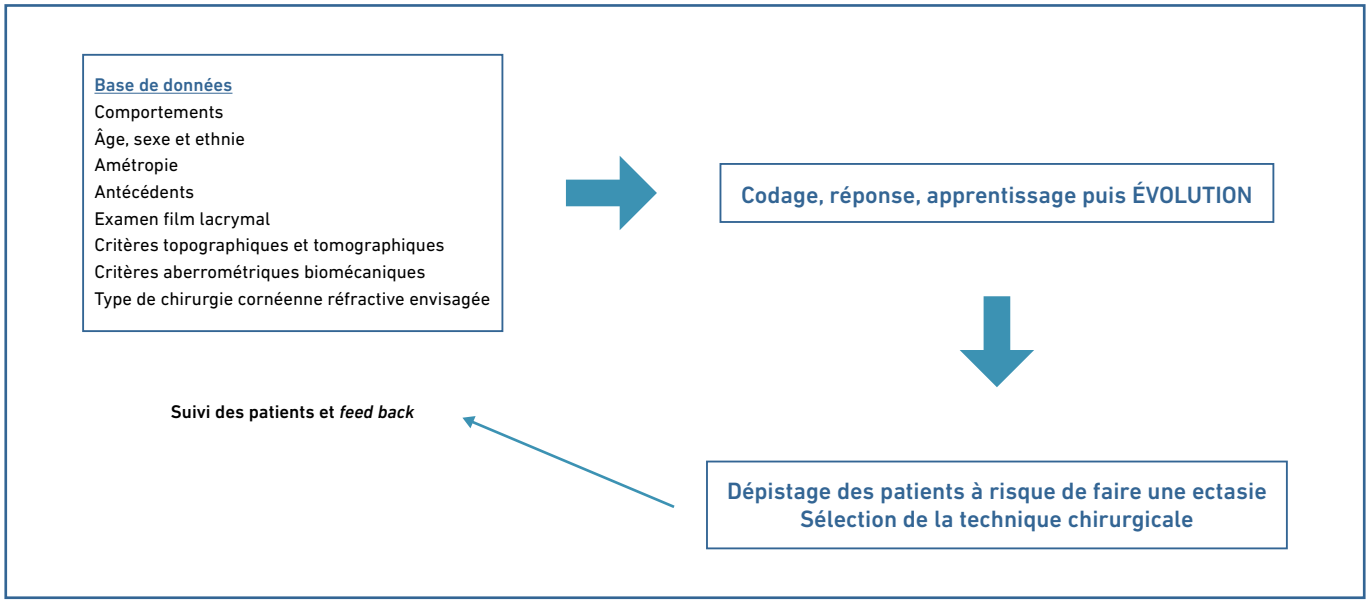


Fig. 9 : IA idéale du dépistage du patient à risque d'ectasie post-chirurgie réfractive.

95 % de sensibilité pour le dépistage des kératocônes frustes. Il est à notre sens inutile de tous les décrire ici car chaque test de dépistage est adapté à une machine et une seule. Il faut noter néanmoins les points communs de la mise au point des derniers tests de dépistage : ils sont quasiment tous élaborés à partir d'une IA de type *machine learning*. Ainsi, la boîte noire (que nous avons qualifié d'IA faible de type réactive) est issue d'une forme d'IA forte.

L'avenir (*fig. 9*)

1. Le dépistage idéal

Si le nombre d'ectasies post-Lasik a très largement diminué au cours de la dernière décennie, il reste beaucoup à faire pour supprimer totalement cette complication. À ce jour, aucun chirurgien, aussi expérimenté soit-il, ne pourra certifier qu'un patient ne fera pas d'ectasie. Les IA fortes et le *machine learning* pourraient avoir l'ambition non seulement de détecter des kératocônes frustes, mais aussi de savoir quel patient fera une ectasie post-chirurgie réfractive cornéenne.

Conceptuellement, on imagine une machine prenant en compte un patient dans sa globalité, c'est-à-dire non seulement ses anomalies topographiques et tomographiques mais aussi ses antécédents, son âge, son amétropie et la technique chirurgicale envisagée.

2. Les contraintes et les risques d'une IA forte pour un dépistage

Toute la difficulté d'une telle démarche serait avant tout de fournir à la machine une base de données suffisamment puissante et fiable pour que celle-ci ne donne pas de résultats erronés. La machine devrait être capable d'analyser tous les topographes aberromètres et tomographes du marché, ce qui pourrait s'avérer difficile…. À la vue de la rareté de cette complication, de son origine plurifactorielle et de son polymorphisme clinique, un *feed back* des patients en postopératoire sera obligatoire afin que la machine progresse et s'améliore. Le *feed back* se heurterait alors au risque de dégrader le mode de pensée de la machine si la fiabilité des données n'était pas vérifiée, démarche systématique dans l'IA. Un panel d'experts devrait sans doute être sélectionné pour effectuer ce *feed back*.

Conclusion

L'IA est déjà présente dans notre quotidien et cela depuis de nombreuses années. Son éclosion, très prometteuse mais aussi quelque peu effrayante, nous permet d'entrevoir toutes les possibilités qu'elle pourra nous offrir.

L'avènement de l'IA forte et le *machine learning* devraient nous permettre dans les prochaines années de sélectionner les bons candidats pour une chirurgie cornéenne en nous stipulant la technique la plus adéquate pour chaque patient.

Pour en savoir plus

- Rabinowitz YS. Keratoconus: classification scheme based on videokeratography and clinical signs. *J Cataract Refract Surg*, 2009;35:1597-1603.
- Klyce SD, Smolek MK, Maeda N. Keratoconus detection with the KISA% method-another view. *J Cataract Refract Surg*, 2000;26:472-474.
- Saad A, Gatinel D. Topographic and tomography properties of forme fruste keratoconus corneas. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2010;51:5546-5555.
- Smadja D, Touboul D, Cohen A *et al*. Detection of subclinical keratoconus using an automated decision tree classification. *Am J Ophthalmol*, 2013;156:237-246.
- Arbelaez MC, Versaci F, Vestri G. Use of a support vector machine for keratoconus and subclinical keratoconus detection by topographic and tomographic data. *Ophthalmology*, 2012;119:2231-2238.
- Santhiago MR, Smadja D, Gomes BF *et al*. Association between the percent tissue altered and post-laser in situ keratomileusis ectasia in eyes with normal preoperative topography. *Am J Ophthalmol*, 2014;158:87-95.
- Vannieuwenhuyze A. *Intelligence artificielle vulgarisée : le Machine Learning et le Deep Learning par la pratique*. Editions Eni, 2019.

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

L. GAUTHIER-FOURNET[1], S. MÉSSIKA[2]
[1] Espace Hélios, Layatz II, SAINT-JEAN-DE-LUZ,
[2] Kynapse, PARIS.
docteurgauthier@ophtaluz.com

Optimisation des résultats du calcul d'implant et intelligence artificielle

L'intelligence artificielle (IA) et le big data sont deux technologies en plein essor, dont la combinaison est en train de révolutionner toutes les prises de décision dans quelque domaine que ce soit. Le champ de l'ophtalmologie – et en particulier du calcul d'implant – commence à être affecté par ces évolutions technologiques, même si nous restons pour l'instant dans le cadre d'une intelligence artificielle faible, c'est-à-dire d'une IA non sensible se concentrant sur la résolution d'une tâche précise sans aucune notion de "conscience" et d'intelligence générale.

La coexistence de compétences mathématiques et métier (ophtalmologique) nous a conduit à écrire cet article à 4 mains.

Le concept d'IA

Quel animal de la ***figure 1*** n'est pas un mouton ? Question évidente, pas besoin d'être ophtalmologiste pour distinguer le cheval des 5 autres moutons ! Même un enfant y arrive en un clin d'œil. La question qui nous intéresse donc est : qu'est-ce qui nous permet, dans notre cerveau, de distinguer un mouton d'un cheval ? Souvenez-vous, petits, vous aviez un livre d'images d'animaux ou, mieux encore, un memory avec des vignettes d'animaux et on vous faisait répéter : "ceci est une poule", "voici une vache, un mouton, un cheval", etc. Cette répétition permanente d'images fortement ressemblantes a permis à votre cerveau de construire une formule qui, en présence d'une image d'animal, vous en donne le nom. Souvenez-vous encore, vous aviez du mal à distinguer le mouton, la chèvre et la brebis, peut-être même avez-vous encore un peu de mal aujourd'hui. Cette formule n'est donc pas infaillible, elle est basée sur la répétition et l'apprentissage, les fondements de l'intelligence artificielle.

Essayons maintenant de répondre à une nouvelle question : quel animal de la ***figure 2*** n'est pas un mouton européen ? Notre formule cérébrale est clairement en train de bugger. On essaie de trouver des similarités entre 5 images pour en éliminer la 6e, on n'y arrive pas, on accuse par délit de sale gueule le D et on abandonne (la vraie réponse est le F). La raison pour laquelle nous n'arrivons pas à faire cette distinction est donc simplement le fait que nous n'y avons jamais été entraînés. Jamais personne dans notre enfance ne nous a offert le memory mouton écossais contre mouton néo-zélandais. Jamais personne ne nous a raconté l'histoire de

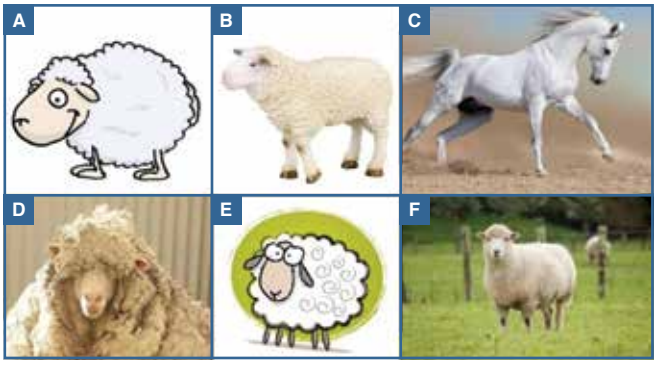


Fig. 1 : Lequel de ces animaux n'est pas un mouton ?

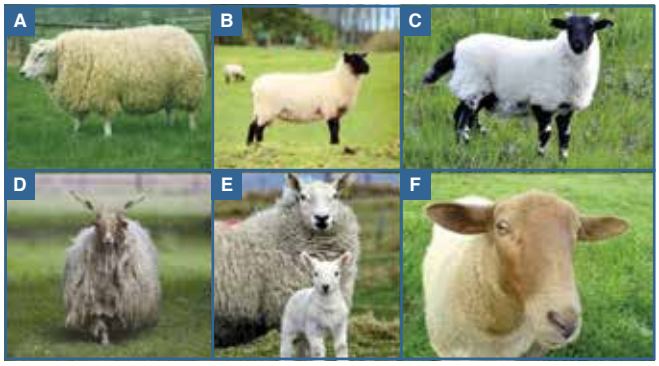


Fig. 2. : Lequel de ces moutons n'est pas un mouton européen ?

Stiff le mouton sud-africain rendant visite à Joff son cousin irlandais. Nous ne savons donc pas faire la distinction.

L'intelligence artificielle consiste à programmer un ordinateur ou un grand nombre d'ordinateurs pour qu'ils construisent une formule leur permettant de distinguer quelque chose à partir de données d'apprentissage. Essayons d'expliquer de la manière la plus simple possible comment cela fonctionne.

1. On préétablit une liste de *features* possibles pour la chose que nous essayons de reconnaître, dans le cas d'un animal par exemple : nombre de pattes, couleur, nombre d'oreilles, forme des oreilles, taille, forme des poils…

2. On montre à ces fameux ordinateurs des milliers et des milliers d'images en leur disant "ceci est un mouton", "ceci est un cheval"…

3. Les ordinateurs construisent une formule la plus simple possible pour distinguer les animaux. Cette formule est souvent un arbre de décision (si grand, si avec une crinière, si musclé alors cheval ; si… alors mouton) mais peut aussi être une formule plus complexe comme une régression linéaire (tous ceux qui sont à gauche de la ligne sont des moutons, les autres sont des chevaux), une régression polynomiale, voire même des formules qui ne sont ni explicites ni explicables mais très efficaces comme des réseaux de neurones.

4. Nous vérifions la validité de la formule sur des nouvelles données et ré-entraînons les ordinateurs (on dit qu'on entraîne le modèle) de manière récurrente.

5. On affine la formule en fonction des résultats qu'on veut voir (réduction des faux positifs, réductions des faux négatifs).

Une fois qu'on comprend comment un algorithme d'intelligence artificielle fonctionne, on comprend aussi que la qualité et la quantité des données à notre disposition nous permet de mieux distinguer les choses. Imaginez une minute que nous n'avions que des photos de chevaux noirs et de moutons blancs : la machine, cherchant le plus simple modèle, vous dirait qu'un cheval blanc est un mouton.

La bonne nouvelle est que l'avènement du big data a redonné à l'intelligence artificielle ses lettres de noblesse. Pendant longtemps, nous n'étions capables que de distinguer des chevaux des moutons, pas très intéressant vous me direz. Maintenant, nous sommes capables de gérer des millions voire des milliards et des milliards de données qui nous permettent de distinguer très finement des objets très ressemblants. Les champs d'application sont infinis, reconnaître un mouton n'étant pas évidemment le plus intéressant, mais on peut citer : reconnaître un véhicule qui freine devant nous, reconnaître une cellule cancéreuse, reconnaître un futur client, reconnaître un client mécontent, reconnaître une machine qui va tomber en panne, reconnaître un patient sain, reconnaître une œuvre musicale, reconnaître vos goûts culinaires et j'en passe des centaines. On peut même distinguer un patient qui a besoin d'une lentille de 0,75 dioptrie d'un patient qui a besoin d'une lentille de 0,5 D.

Enfin, on y vient. Notre approche, comme vous commencez à l'imaginer maintenant, a été de combiner des formules purement optiques avec des algorithmes d'intelligence artificielle afin de créer un calcul plus performant, plus conforme à la réalité et, surtout, qui apprend en emmagasinant des données supplémentaires. Nous avons ajouté des informations importantes (sexe, résultats de l'opération du premier œil, âge du patient) et nous avons ainsi pu améliorer nettement la véracité du calcul d'implant.

Le calcul d'implant lors de la chirurgie de la cataracte

Depuis longtemps, ce calcul est basé sur des formules théoriques modélisant un œil humain et calculant le trajet des rayons lumineux au sein de cet œil.

1. Les formules de régression ont été établies de manière rétrospective et statistique à partir des éléments biométriques

La formule SRK, développée par Sanders, Retzlaff et Kraft, ne prenait en compte, pour le calcul de la puissance de l'implant, que la longueur axiale et la kératométrie. Cette formule était $P = A - 2{,}5\,L - 0{,}9\,K$. La constante A, le plus souvent située entre 117,5 et 120, était censée représenter l'impact de la position de l'implant dans l'œil : plus cet implant était postérieur, plus la constante de l'implant devait être importante. Cette formule simple pouvant être calculée à la main a été utilisée pendant la première décennie de l'implantation intraoculaire, mais s'est montrée imprécise dès que l'on s'éloignait d'une certaine norme d'œil.

2. Les formules théoriques

Elles utilisent un modèle d'œil simplifié. Elles diffèrent essentiellement par les moyens utilisés pour extrapoler l'ELP

(*effective lens position*) [1]. Les formules théoriques de première génération reposant sur les formules de vergence n'utilisaient que la valeur de longueur axiale pour prédire la profondeur de chambre antérieure, c'était par exemple le cas des formules de Hoffer et Binkhorst.

Parmi les formules théoriques de troisième génération, le chef de file est la formule SRKT qui utilise, dans le cadre d'une formule très sophistiquée, le couple kératométrie et longueur axiale pour prédire la position de l'implant. Cette formule est intégralement publiée mais ne peut se résumer à une équation simple et nécessite un logiciel pour la mettre en œuvre (***fig. 3***). Il s'agit toujours aujourd'hui de l'une des formules leader en raison de la transparence des calculs effectués et de la bonne reproductibilité de ses résultats.

La formule de Hoffer Q intègre un mode de prédiction différent de l'ELP et serait adaptée selon la plupart des auteurs pour des globes oculaires courts.

La formule de Haigis [2] introduit un paramètre supplémentaire pour estimer l'ELP : c'est la profondeur de chambre antérieure mesurée, laquelle n'est pas extrapolée mais bien mesurée.

La formule de Olsen intègre un quatrième paramètre, l'épaisseur du cristallin, et ce en présupposant que l'implant vienne se positionner au niveau de l'équateur du cristallin. Seuls les biomètres optiques de dernière génération sont capables de mesurer cette épaisseur. Plus récemment, la formule de Barett utilise également ce paramètre.

De nouveaux paramètres biométriques viennent compléter les éléments pris en compte, à savoir le blanc à blanc (WTW) et la mesure de la face postérieure de la cornée (TK ou *total keratometry*). Cette dernière est actuellement mesurée par l'IOL Master 700 qui combine une mesure conventionnelle de la courbure de la face antérieure de la cornée, par un processus optique de réflexion de points sur le film lacrymal, et une carte pachymétrique de la cornée, réalisée par un OCT la courbure de la face postérieure, cette dernière étant reconstruite à partir de ces deux données (***fig. 4***).

Cette TK a potentiellement plusieurs avantages :
– la prise en compte de la face postérieure de la cornée dans le calcul de l'astigmatisme cornéen total, non pas par extrapolation mathématique plus ou moins transparente mais par une mesure directe ;
– l'absence d'extrapolation du parallélisme entre la face antérieure et postérieure de la cornée, qui est complètement

Emmetropia IOL power, D (IOL_{emme}) :

$$IOL_{emme} = \frac{1000 \times n_a \times (n_a \times r - n_c ml \times LOPT)}{(LOPT - ACD) \times (n_a \times r - n_c ml \times ACD)}$$

Fig. 3 : Formule SRKT partielle.

Fig. 4 : Mesure de la face postérieure de la cornée. TK : *total keratometry*.

fausse post-chirurgie réfractive cornéenne et qui modifie la face antérieure sans modifier la postérieure.

La validité de cette TK devra cependant être vérifiée car les autres mesures de la face postérieure réalisées avec des Scheimpflug n'ont pas permis d'améliorer le résultat du calcul des implants toriques *versus* des formules d'extrapolation à partir de la face antérieure.

3. L'intelligence artificielle

L'IA et les raffinements statistiques liés au big data vont très rapidement venir bousculer ces classifications et formules établies depuis de nombreuses années. En effet, les retours d'expérience en utilisant ces formules vont permettre d'améliorer leurs résultats par des biais purement statistiques.

On pourrait d'ores et déjà envisager des formules sans formules, uniquement statistiques, qui prédiraient le résultat, non pas en fonction de paramètres dont on comprendra le rôle théorique, mais qui anticiperaient ce dernier à partir d'algorithmes purement probabilistes permettant de le comparer à de très nombreux cas dont on connaît les données biométriques et préopératoires et dont on connaît le résultat réfractif. On peut aussi envisager des formules hybrides permettant d'optimiser le résultat de formules théoriques en fonction de résultats statistiques, ce sont des formules dopées à l'intelligence artificielle.

Patient

Né(e) le — Sexe: Féminin
ID patient

Médecin — Opérateur: DO-0987651234

Date vérif. calibrage : 14.09.2018 — Par : DO-0987651234 — Résultat : Échec
Date de la mesure : 19.09.2018 — n: 1.3375 — CVD: 12.00 mm

La longueur axiale de l'oeil droit est 0.46 mm plus courte que celle de l'oeil gauche. - Remarque : vérifier de nouveau les valeurs de mesure.
[OD] SRK® est une marque de la société CTI (Computational Technology Inc.) Hoffer® Q est une marque de Kenneth Hoffer.
[OS] SRK® est une marque de la société CTI (Computational Technology Inc.) Hoffer® Q est une marque de Kenneth Hoffer.

Calcul IOL

OD droite	OS gauche
État de l'oeil	
LS: Phaque	LS: Phaque
Réf: ---	Réf: ---
LVC: Non traité	LVC: Non traité
Réf. cible: Plan	Réf. cible: Plan
VS: Corps vitré	VS: Corps vitré
VA: ---	VA: ---
Mode LVC: -	Mode LVC: -
SIA: +0.00 D @ 0°	SIA: +0.00 D @ 0°
Valeurs biométriques	
AL: 24.54 mm SD: 9 µm	AL: 25.00 mm SD: 8 µm
ACD: 3.82 mm SD: 9 µm	ACD: 3.82 mm SD: 4 µm
LT: 4.38 mm SD: 10 µm	LT: 4.41 mm SD: 9 µm
WTW: 12.3 mm	WTW: 12.4 mm
SE: 42.66 D SD: 0.01 D	SE: 42.08 D SD: 0.02 D
K1: 42.46 D @ 2°	K1: 41.61 D @ 141°
ΔK: -0.41 D @ 2°	ΔK: -0.96 D @ 141°
K2: 42.87 D @ 92°	K2: 42.57 D @ 51°
TSE: ---	TSE: ---
TK1: ---	TK1: ---
ΔTK: ---	ΔTK: ---
TK2: ---	TK2: ---

- SRK®/T - Const.A: 119.80

IOL (D)	Réf (D)
+21.00	-0.76
+20.50	-0.43
+20.00	**-0.10**
+19.50	+0.23
+19.00	+0.55

+19.85 Emmétropie

- Haigis - A0: +1.839 A1: +0.400 A2: +0.100

IOL (D)	Réf (D)
+21.00	-0.60
+20.50	-0.26
+20.00	**+0.07**
+19.50	+0.40
+19.00	+0.73

+20.11 Emmétropie

- SRK®/T - Const.A: 119.80

IOL (D)	Réf (D)
+20.00	-0.67
+19.50	-0.34
+19.00	**-0.01**
+18.50	+0.32
+18.00	+0.64

+18.99 Emmétropie

- Haigis - A0: +1.839 A1: +0.400 A2: +0.100

IOL (D)	Réf (D)
+20.50	-0.79
+20.00	-0.45
+19.50	**-0.11**
+19.00	+0.22
+18.50	+0.55

+19.33 Emmétropie

- Hoffer® Q - pACD: +6.03

IOL (D)	Réf (D)
+20.50	-0.49
+20.00	-0.16
+19.50	**+0.16**
+19.00	+0.48
+18.50	+0.79

+19.75 Emmétropie

- Barrett Universal II - LF: +2.30 DF: +4.5

IOL (D)	Réf (D)
+21.00	-0.67
+20.50	-0.32
+20.00	**+0.02**
+19.50	+0.35
+19.00	+0.68

+20.03 Emmétropie

- Hoffer® Q - pACD: +6.03

IOL (D)	Réf (D)
+20.00	-0.62
+19.50	-0.29
+19.00	**+0.03**
+18.50	+0.35
+18.00	+0.66

+19.04 Emmétropie

- Barrett Universal II - LF: +2.30 DF: +4.5

IOL (D)	Réf (D)
+20.50	-0.82
+20.00	-0.48
+19.50	**-0.14**
+19.00	+0.20
+18.50	+0.53

+19.30 Emmétropie

(!) valeur douteuse (*) valeur a été editée manuellement --- aucune valeur mesurée

Commentaire

ZEISS

IOLMaster 700 Version 1.80.10.61129 Créé le : 30.09.2019 17:16, créé par : DO-0987651234 Page 1 de 6

ZEISS | Template Version 0.1 05/2012 | - Copyright 2012 All rights reserved

Fig. 5 : En pratique, on recommande aujourd'hui d'utiliser systématiquement des quadri-formules : pour une biométrie donnée, le résultat des quatre formules principales (par exemple SRKT, Haigis, Hoffer Q et Barrett) est affiché.

Déjà, des industriels permettent de calculer sur leur site les implants qu'ils commercialisent, et ce sans donner accès aux bases théoriques des formules qu'ils utilisent. Les résultats réfractifs souvent excellents qui sont obtenus après la pose de ces implants sont-ils dus à la performance intrinsèque de ces lentilles ou plutôt à la pertinence du calcul théorique ? Cette question reste entière mais peut très rapidement venir créer le doute sur la nature du produit réellement distribué : est-ce le dispositif implantable ou le calcul théorique ?

On peut d'ailleurs penser que nous nous dirigeons vers l'utilisation d'algorithmes évolutifs en permanence et de manière quasi autonomes, à l'image des algorithmes de Google changeant quasiment tous les jours de l'année. On pourrait d'ailleurs se retrouver face à la difficulté de gestion d'algorithmes mise à jour automatiquement sans intervention humaine, avec à la fois un risque de dérapage par la non-prise en compte d'un élément aberrant, mais aussi les difficultés réglementaires face à un algorithme n'ayant pas été validé cliniquement puisque changeant en permanence.

La fiabilité des données recueillies est fondamentale pour construire ces algorithmes, l'échelle du phénomène mesuré étant petit, et un bruit trop important venant d'un recueil des données imprécis pourrait impacter de manière significative le résultat de ces calculs. Il existe un adage général d'IA qui dit qu'il vaut mieux un mauvais d'algorithme avec une base de données très importante qu'un bon algorithme avec une base de données plus faible. Cela reste à démontrer dans notre spécialité, tout en sachant qu'il existera probablement un effet seuil au-delà duquel la masse de données sera tellement importante qu'elle pourra rectifier par elle-même les imprécisions d'entrée.

En pratique, on recommande aujourd'hui d'utiliser systématiquement des quadri-formules : pour une biométrie donnée, le résultat des quatre formules principales (par exemple SRKT, Haigis, Hoffer Q et Barrett) est affiché (***fig. 5***). Sur des yeux standards, la différence de résultats est en général très faible mais, en dehors de ces valeurs habituelles, une comparaison du résultat des différentes formules peut être intéressante, le praticien pouvant pondérer l'une par rapport à l'autre. Classiquement, on recommandait d'utiliser plutôt une formule que l'autre sur des biométries particulières (la Hoffer Q par exemple sur des yeux courts). Le but des formules développées à partir de l'intelligence artificielle sera justement d'éviter à avoir à faire cela, les insuffisances des formules développées à partir de base optique étant rectifiées de manière permanente par les algorithmes statistiques.

Dans tous les cas, la constante de l'implant devra être secondairement optimisée. Cette procédure consiste à introduire dans le logiciel du biomètre les résultats réfractifs quelques semaines après la pose. Ce dernier va alors recalculer la constante afin que la moyenne des résultats obtenus soit emmétropisante. Cette procédure, parfois présentée comme l'introduction d'une constante personnalisée, pourrait au contraire représenter une manière d'étalonner son biomètre *a posteriori*. Cette possibilité ancienne, incluse déjà depuis longtemps dans nos biomètres, est insuffisamment utilisée en routine car nécessite d'apporter de manière rétroactive l'information du résultat réfractif au biomètre, ce qui est rarement fait. Une intégration des logiciels de consultation aux systèmes de calculs améliorera considérablement cette optimisation, au prix de la dépendance toujours plus grande à un système non maîtrisé par le praticien.

En attendant d'utiliser une constante personnelle optimisée et en l'absence de confiance en la constante fournie par le laboratoire, on pourra utiliser une constante issue de la consultation du site ULIB où divers utilisateurs publient leur propre constante, ce site n'étant plus évolutif actuellement.

4. Les formules après chirurgie réfractive cornéenne

Tout le monde le sait, les résultats post-chirurgie réfractive cornéenne sont très mauvais si on n'utilise pas des formules particulières. Diverses raisons concourent à ces erreurs réfractives : la mauvaise appréciation de la puissance cornéenne centrale, en général mesurée sur un cercle entre 2,2 et 3,2 mm du centre sous-estimant ainsi, la plupart du temps, la variation kératométrique induite par la chirurgie cornéenne [3]. L'extrapolation, à partir de la kératométrie et de la profondeur de chambre antérieure, est prise en défaut. En effet, cette dernière est basée sur le principe de la flèche cornéenne, laquelle présuppose qu'une cornée plus plate est associée à une profondeur de chambre antérieure plus faible. Après chirurgie réfractive myopique, la kératométrie est abaissée sans que cette flèche cornéenne ne soit modifiée. La longueur de l'œil est modifiée et en particulier la distance cornée/implant, en raison de l'amincissement de la cornée en cas de chirurgie myopique. Cet élément intervient également dans les calculs.

En pratique, si l'on veut utiliser la SRKT, il faudra utiliser la formule double K d'Aramberri [4] qui utilise la kératométrie antérieure à l'intervention cornéenne pour prédire la position de l'implant et la kératométrie postopératoire pour le calcul de vergence. Il convient à tout prix, dans ces cas-là, de proscrire l'utilisation de la SRKT conventionnelle.

La Haigis L [5] est une formule dérivée de la formule de Haigis conventionnelle, dans laquelle la puissance cornéenne centrale est extrapolée à partir d'une base de données de 40 yeux ayant bénéficié d'une chirurgie myopique et/ou l'affinement cornéen est "forfaitisé" sur une base de 120 microns. La profondeur de chambre antérieure, n'étant plus extrapolée mais mesurée, n'est pas impactée par le changement kératométrique.

De nombreuses autres formules moins diffusées existent (Ladas-Stark, Feiz-Mannis, Latkany, Shammas, etc.) et sont disponibles en général sur le site des sociétés savantes [6].

Là aussi, l'irruption du big data va, à très court terme, bouleverser nos habitudes avec la difficulté spécifique de la plus grande rareté des données de patients déjà opérés de chirurgie réfractive mais aussi de la variabilité de procédures réfractives induisant une dispersion mal contrôlée de l'*input* dans les algorithmes.

5. Les formules de calcul du cylindre de l'implant

Initialement, le calcul du tore de l'implant se résumait à la projection de l'astigmatisme antérieur cornéen à la surface de l'implant intraoculaire, rectifié d'un éventuel astigmatisme chirurgicalement induit (calculateurs en ligne des laboratoires). Les résultats des implants toriques ont certes montré une amélioration considérable des résultats réfractifs cylindriques par rapport aux implants sphériques associés ou non à des incisions cornéennes relaxantes, mais ils ont révélé une certaine irrégularité des résultats qui nous ont conduit à nous interroger sur l'origine de ces derniers. Les résultats statistiques ont montré une sur-correction de la compensation des astigmatismes conformes et une sous-correction des astigmatismes inverses. Cela a remis en évidence l'existence d'un astigmatisme cornéen antérieur conforme physiologique venant compenser un astigmatisme interne inverse.

Le nomogramme de Baylor intègre, pour des astigmatismes inverses et conformes, cet astigmatisme interne, mais seuls les calculateurs intégrant un calcul vectoriel permettent théoriquement de calculer ces astigmatismes sur des axes obliques (***fig. 6***). Il s'agit déjà d'une rectification statistique très simple mais basée non pas sur des paramètres mesurés intégrés dans une formule théorique, mais sur une approche probabiliste.

Le plus populaire de ces calculateurs est le calculateur de Barrett (***fig. 7***). C'est ainsi que les calculateurs en ligne offrent dorénavant aux médecins la possibilité de calculer le cylindre de leur implant intraoculaire en prenant en compte ou non un astigmatisme interne extrapolé. Ces formules peuvent même proposer la pose d'un implant torique sur un œil ne présentant aucun astigmatisme cornéen antérieur. Le problème de ces calculateurs est qu'ils appliquent une règle de calcul vectoriel encore une fois non transparente, dont on ne peut valider le bien-fondé. Nous sommes typiquement en face du principe de la boîte noire qui a tendance à se répandre dans le domaine des calculs biométriques.

La mesure directe de la face postérieure de la cornée, que ce soit par des moyens tomographiques ou basés sur l'OCT, pourrait logiquement être intégrée à ces calculs et remplacer avantageusement les extrapolations. L'IOL Master 700 (Zeiss) permet de mesurer, par le biais de la TK, cette face postérieure et donc la valeur réfractive totale de la cornée en calculant sa puissance postérieure, en corrigeant la puissance antérieure de l'impact de la carte pachymétrique mesurée à l'OCT *swept source*, et ce de manière plus performante que les Scheimpflug.

Les études rétrospectives validaient jusque-là la supériorité de l'extrapolation par rapport à la mesure directe,

Baylor Toric IOL Nomogram* (postoperative target: up to 0,40 D WTR astigmatism)

Effective IOL cylinder power at corneal plane (D)	WTR (D)	ATR (D)
0	≤ 1,69 (PCRI if > 1,00)	< 0,39
1,00	1,70-2,19	0,40*-0,79
1,50	2,20-2,69	0,80-1,29
2,00	2,70-3,19	1,30-1,79
2,50	3,20-3,69	1,80-2,29
3,00	3,70-4,19	2,30-2,79
3,50	4,20-4,69	2,80-3,29
4,00	4,70-5,19	3,30-3,79

WTR = with-the-rule astigmatism ; ATR = against-the-rule astigmatism ; D = diopter, PCRI = peripheral corneal relaxing incision.

Fig. 6 : Nomogramme de Baylor.

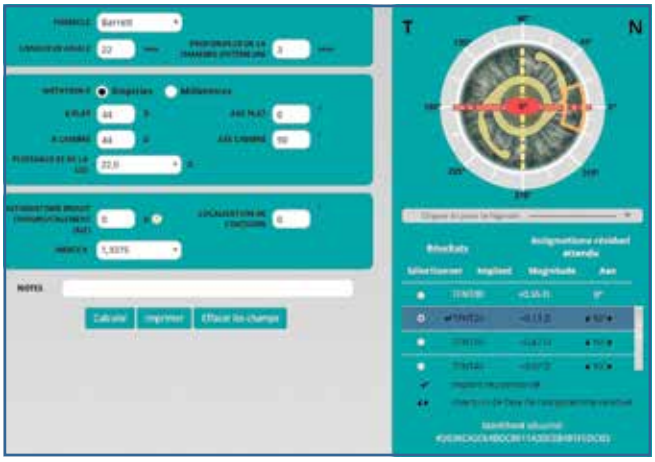


Fig. 7 : Calculateur de Barrett.

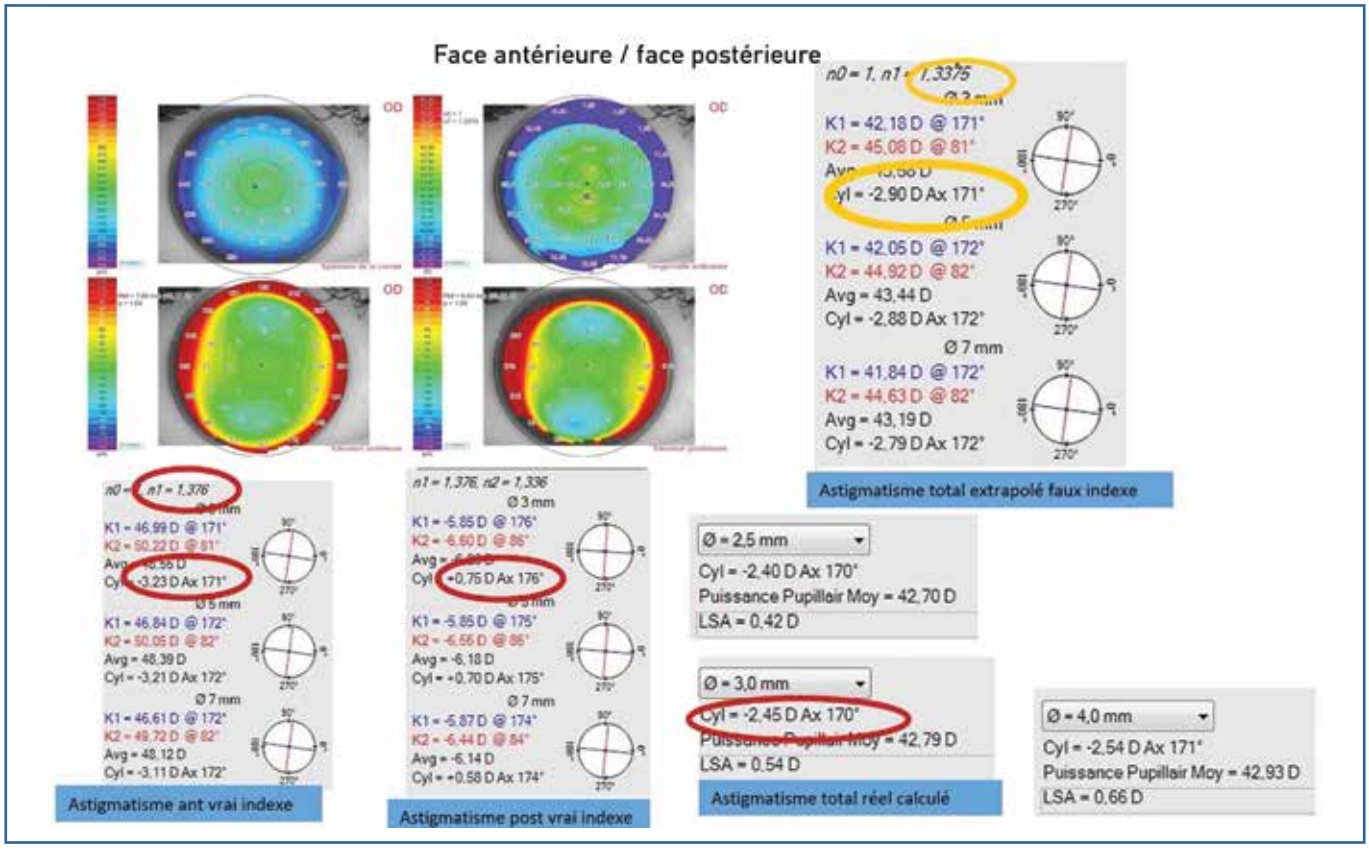


Fig. 8 : Face postérieure mesurée directement par le topographe d'élévation.

objectivant probablement l'imprécision de la mesure de la face postérieure (***fig. 8***). Là aussi, l'irruption du big data viendra perturber des habitudes en augmentant notre dépendance à des systèmes plus ou moins opaques.

Conclusion

Le calcul d'implant est aujourd'hui un challenge plus difficile à relever que le simple recueil de données biométriques, lequel est de mieux en mieux assuré par des appareillages toujours plus divers et plus reproductibles. Les erreurs de prédictions sont de moins en moins le fait de mesures biométriques erronées mais plutôt celui de lacunes dans les formules de calcul [7]. La dimension statistique fait irruption dans un champ précédemment occupé par des raisonnements purement optiques. En cela, elle s'intègre dans une évolution tout juste débutante associant richesse des bases de données, big data et intelligence artificielle.

Pour bénéficier de ces nouvelles potentialités, le praticien sera incité à rejoindre un système d'information dont il contribuera lui-même à constituer la richesse, une dépendance à ces systèmes et à leurs algorithmes devenant alors probable avec un déplacement de la valeur ajoutée que pouvait constituer son expertise dans le sujet traité. La construction d'écosystèmes complets s'autoalimentant des datas recueillies sera sans aucun doute le challenge de demain.

Bibliographie

1. Holladay JT, Musgrove KH, Prager TC *et al*. A three-part system for refining intraocular lens power calculation. *J Cataract Refract Surg*, 1988;14:17-24.
2. Haigis W. The Haigis formula. In: Shammas HJ (ed). *Intraocular Lens Power Calculations*. Thorefare, NJ, Slack, 2004;41-57.
3. Holladay JT. Cataract surgery in patients with previous keratorefractive surgery (RK, PRK, and LASIK). *Ophthalmic Practice*, 1997;15:238-244.
4. Aramberri J. Intraocular lens power calculation after corneal refractive surgery: double K method. *J Cataract Refract Surg*, 2003;29:2063-2068.
5. Haigis W. Intraocular lens calculation after refractive surgery for myopia. *J Cataract Refract Surg*, 2008;34:1658-1663.
6. Shammas HJ, Shammas MC. No-history method of intraocular lens power calculation for cataract surgery after myopic laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg*, 2007;33:31-36.
7. Olsen T. Sources of error in intraocular lens power calculation. *J Cataract Refract Surg*, 1992;18:125-129.

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

D. TOUBOUL
Centre de référence national du kératocône,
CHU de BORDEAUX.
david.touboul@chu-bordeaux.fr

Inhibition des frottements oculaires par le CXL : le nouveau paradigme ?

Le *corneal collagen cross-linking* (CXL) est préconisé pour stopper l'évolution du kératocône (KC) depuis presque 15 ans. Bien que sa validation scientifique fût initialement confrontée à des difficultés méthodologiques, cette procédure est à présent très répandue à travers le monde et figure en première ligne de la prise en charge du KC évolutif. En 2016, l'Agence nationale de sécurité du médicament (ANSM) a ainsi également validé, à l'issue d'une méta-analyse complète, la création d'une codification pour le CXL. Par ailleurs, la *Food and Drug Administration* (FDA) a reconnu et autorisé la procédure du CXL dit "epi-off" conventionnel cette même année.

La diversité des protocoles disponibles sur le marché cache néanmoins certaines incompréhensions dans le mode d'action de la procédure. Un grand nombre de publications cliniques et fondamentales se sont penchées sur ce sujet. Le Centre de référence national du kératocône (CRNK) possède une vaste expertise sur le sujet et a vu l'évolution des patients traités par les différentes procédures de CXL, successivement apparues depuis 2005. Courant 2017, nous sommes finalement arrivés à la conclusion que la simple explication du durcissement du stroma cornéen était insuffisante pour justifier entièrement l'efficacité clinique du CXL.

Définition établie du CXL : méthode de durcissement de la cornée

La réaction photochimique engendrée dans la matrice du stroma cornéen fait intervenir de la riboflavine et des photons UVA. La libération de radicaux libres induit le pontage du collagène dans la matrice et donc le changement des propriétés viscoélastiques du tissu. Cela a été démontré *ex vivo* par des tests élastographiques divers et variés (élongation, inflation, indentation), mais aussi par des tests de digestions enzymatiques, des mesures de calibre de fibrilles en microscopie électronique, etc. *In vivo*, la tâche a été beaucoup plus difficile pour aboutir à la conclusion d'un gain de durcissement (résistance élastique). La microscopie Brillouin et l'élastographie par mesure de la vitesse des ondes de cisaillement ont pu apporter quelques études en faveur d'un durcissement de quelques dizaines de pourcents. Les outils cliniques tels que l'ORA ou le CORVIS ST n'ont en revanche pas facilement démontré les modifications biomécaniques attendues après CXL, ce qui est bien sur très perturbant.

Le logiciel du CORVIS ST évolue actuellement pour améliorer le monitoring du durcissement cornéen post-CXL. L'utilisation de certains facteurs comme le CBI (*corneal biomechanical index*) et le TBI (*topographical and biomechanical index*) arrive lentement à maturité, en particulier dans la configuration couplée au topographe Pentacam (Oculus). Ces facteurs sont fondés sur divers paramètres comme le recul de la cornée (DA ratio) à la position d'aplanation (SP-A1), le recul du globe oculaire sous l'influence du jet d'air, la curvabilité de la surface (*integrated radius*), le gradient d'amincissement cornéen horizontal (ARTh).

D'un point de vue histologique, le processus de cicatrisation induit un appauvrissement transitoire (6 à 12 mois) du maillage kératocytaire et des plexus nerveux, bien visible en microscopie confocale. Ce point devrait aller, au moins transitoirement, contre le durcissement et explique peut-être l'absence de durcissement *in vivo*. Les études montrent également un renouvellement des kératocytes post-CXL avec une densité parfois plus importante après 12 mois. Ce renouveau est peut-être un facteur de renforcement biomécanique en soi, passé un certain "délai de récupération". Enfin, il a été remarqué que sans la déplétion cytologique mentionnée, comme rencontrée dans certaines procédures de CXL transépithéliaux, l'efficacité clinique était bien moindre. Il existe

donc une dimension matricielle (pontages moléculaires) mais également une dimension cellulaire et neurotrophique derrière l'efficacité du CXL.

Définition élargie du CXL : méthode d'inhibition des frottements oculaires

Les frottements sont depuis longtemps reconnus comme principal facteur déclenchant et aggravant de la maladie et devraient être centraux dans le débat autour de l'intérêt du CXL. Il a été récemment mesuré que la pression montait à plus de 300 mmHg pendant les frottements oculaires *in vivo* dans des yeux de primates. Néanmoins, les frottements oculaires sont très peu quantifiés ou rapportés par des études visant l'aggravation du KC ou l'efficacité du CXL. Par ailleurs, bien que le corps médical soit globalement assez convaincu de la toxicité des frottements oculaires, les patients sont souvent arides d'arguments pour expliquer la motivation de leurs frottements oculaires, retrouvés dans plus de 90 % des cas. La raison est très certainement la dimension inconsciente et automatique des frottements oculaires. Le postulat de notre centre est ici de démontrer que, vraisemblablement, le CXL agirait aussi bien, et éventuellement de manière prépondérante, sur l'inhibition des frottements oculaires que sur le durcissement de la cornée.

Dans notre expérience, le remplissage d'un questionnaire orienté sur les frottements oculaires permet une prise de conscience et une introspection pour le sujet suspect ou porteur de KC. Ainsi, si les frottements oculaires "pathologiques" sont la principale cause de déformation de la cornée des sujets jeunes, il est logique de penser que l'inhibition de ces frottements devrait éradiquer ou freiner la progression de la dégénérescence cornéenne.

Malgré de nombreuses publications sur le sujet des frottements, parfois antérieures à l'apparition du CXL, le marketing de ce dernier ne revendique pas du tout cette cible d'action et préfère communiquer sur le canal du renforcement biomécanique cornéen. Il existe une grosse lacune à cet endroit. De notre analyse, si le CXL durcit peu *in vivo* mais que la procédure marche bien cliniquement, c'est bien qu'il existe un autre mécanisme dominant, probablement d'ordre biologique et/ou comportemental. La "prise en charge par le CXL" est donc très certainement un catalyseur de l'inhibition des frottements oculaires qui ne dit pas son nom. Son impact serait polymodal (***fig. 1***) :

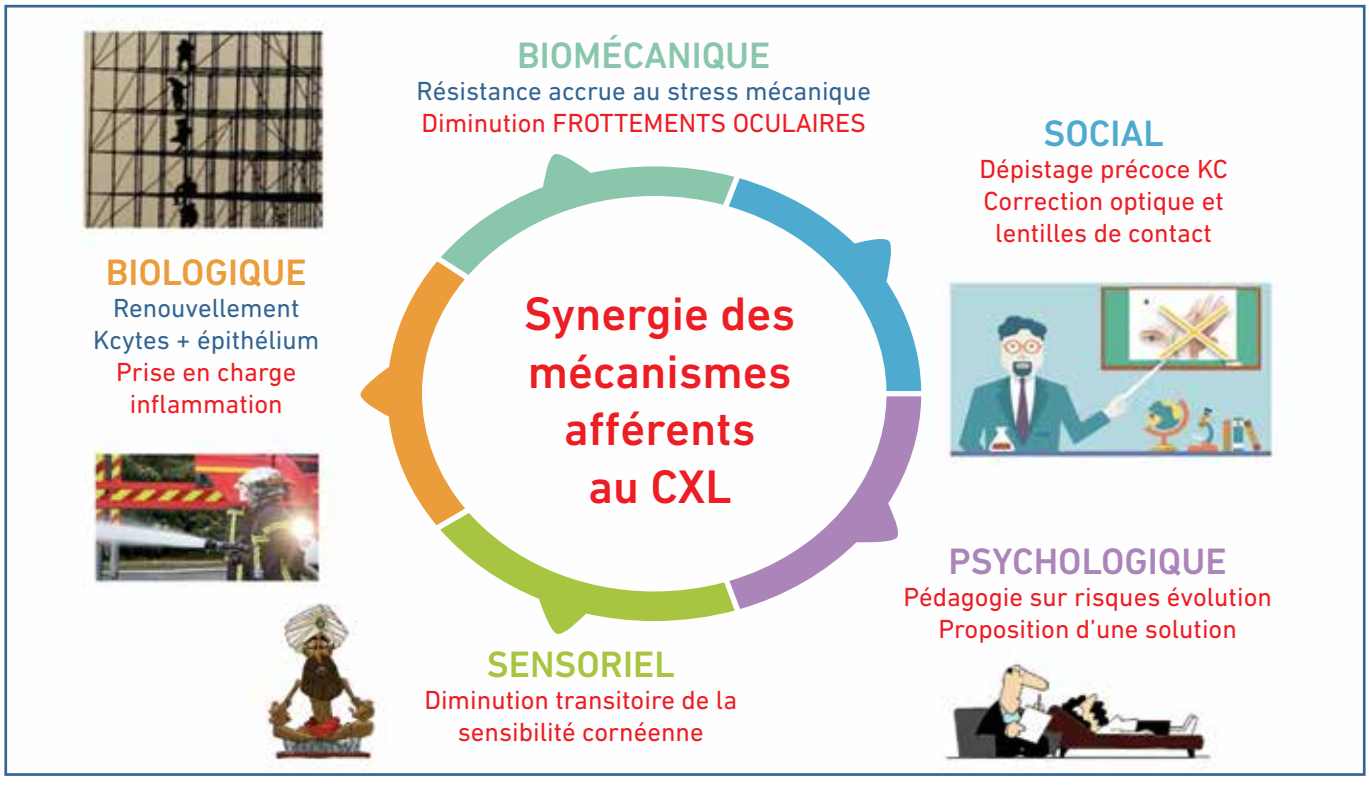


Fig. 1 : Synthèse des mécanismes synergiques impliqués dans le CXL. Kcytes : kératocytes. Illustration D. Touboul.

>>> **Dimension du recours aux soins :** depuis l'apparition du CXL, une solution de freination existe enfin, les médecins s'emploient ainsi à mieux dépister et adresser plus fréquemment et précocement les patients aux centres référents. Le marketing lié au CXL est particulièrement bénéfique et efficace en ce sens.

>>> **Dimension psychologique :** la perspective d'une solution médicale au problème, très anxiogène, du KC évolutif est, en soi, une facette de l'inhibition des frottements pathologiques.

>>> **Dimension éducative :** le patient est informé à l'occasion de la découverte du KC de l'importance d'éviter les frottements oculaires, ce point est obligatoirement confondant dans l'évaluation des résultats du CXL. Le dépistage des troubles obsessionnels compulsifs est important à considérer, surtout chez les adolescents souvent plus anxieux qu'il n'y paraît.

>>> **Dimension de l'inflammation :** le traitement des facteurs de risque associés aux frottements joue certainement également un rôle. La prescription de collyres lubrifiants, les soins de blépharites, la prescription de corrections optiques plus ajustées, la prise de stéroïdes, le recours à la désensibilisation aux allergènes, l'usage d'antiallergiques, l'éviction volontaire des facteurs irritants sont autant de mécanismes convergents vers la diminution de l'envie de se frotter les yeux.

>>> **Dimension sensorielle :** le patient voit diminuer sa sensibilité cornéenne pendant plusieurs mois après le CXL. La dénervation par les radicaux libres et la désépithélialisation en sont les causes. Cette déplétion des plexus nerveux est en cours d'évaluation au CRNK et de nombreux patients témoignent d'ores et déjà avoir considérablement diminué leur envie de frottements dans les suites du CXL. Également, il est intéressant de signaler que l'adaptation en lentilles rigides est souvent facilitée par l'insensibilisation transitoire et le traitement de la micro-inflammation après CXL. Une fois le patient équipé, la vision s'améliore et le stimuli de frottement diminue. Le port de lentilles rigides inhibe également les frottements car la perte de la lentille représente un risque fonctionnel et financier non négligeable.

De notre point de vue, c'est le manque de reconnaissance de cette action polymodale qui permet d'expliquer certaines dérives actuellement constatées sur la prescription du CXL, consistant à traiter trop tôt, trop systématiquement et en particulier les enfants. Également, le traitement des profils non véritablement évolutifs et l'usage d'une procédure prophylactique contre l'ectasie post-laser sont visés par cette remarque. N'occultons pas ici les risques de complications liées aux suites du CXL : infections, lésions endothéliales, taies superficielles, limitation de la perméabilité aux collyres sur le long terme, aplatissements non contrôlés évolutifs, etc. Le CXL n'est pas une procédure sans risques, bien que ces derniers soient < 1 % des cas.

L'ambition de cet exercice de relecture de l'efficacité du CXL est de permette de moduler plus justement ses indications et probablement de les restreindre à certains patients, insensibles aux différentes approches non invasives de l'inhibition des frottements oculaires pathologiques. Ces outils non invasifs d'inhibition des frottements sont essentiellement représentés par :
– l'éducation thérapeutique et l'information, réalisées au mieux avec des outils de quantification et des supports de communication (brochures, sites web, applications, événementiels grand public) ;
– la prise en charge des facteurs oculaires, systémiques et environnementaux favorisants les frottements, visant en particulier le traitement de la micro-inflammation de la surface oculaire ;
– le suivi, d'autant plus rapproché que le patient est jeune et que le profil comportemental est inquiétant ;
– le dépistage familial, pour des raisons de biais de regroupement plus que pour des raisons de filiation génétique ;
– le soutien psychologique, la déculpabilisation et la thérapie comportementale des troubles obsessionnels.

Les justes indications du CXL devraient donc se résumer à tout patient évolutif confirmé et/ou à risque d'évolution rapide. Il faut également mentionner le cas particulier des ectasies post-Lasik qui peuvent faire l'objet d'une attitude plus "agressive" car elles peuvent survenir sur des patients ne frottant pas ou plus leurs cornées. Ils sont à suivre probablement de très près, comme pour les enfants (surveillances trimestrielles). Ainsi, il nous semble important de favoriser le développement d'un score de risque évolutif fondé sur la sévérité morphométrique, la réponse biomécanique et le profil comportemental du patient (questionnaire de frottements). Ce score devrait guider la prescription du CXL à terme. Le groupe français "Questionnaire frottements oculaires (QFK)", crée en septembre 2018, œuvre actuellement sur ce sujet.

Enfin, le CXL n'est pas le seul acteur de freination de la maladie. La ***figure 2*** illustre la cascade d'événements

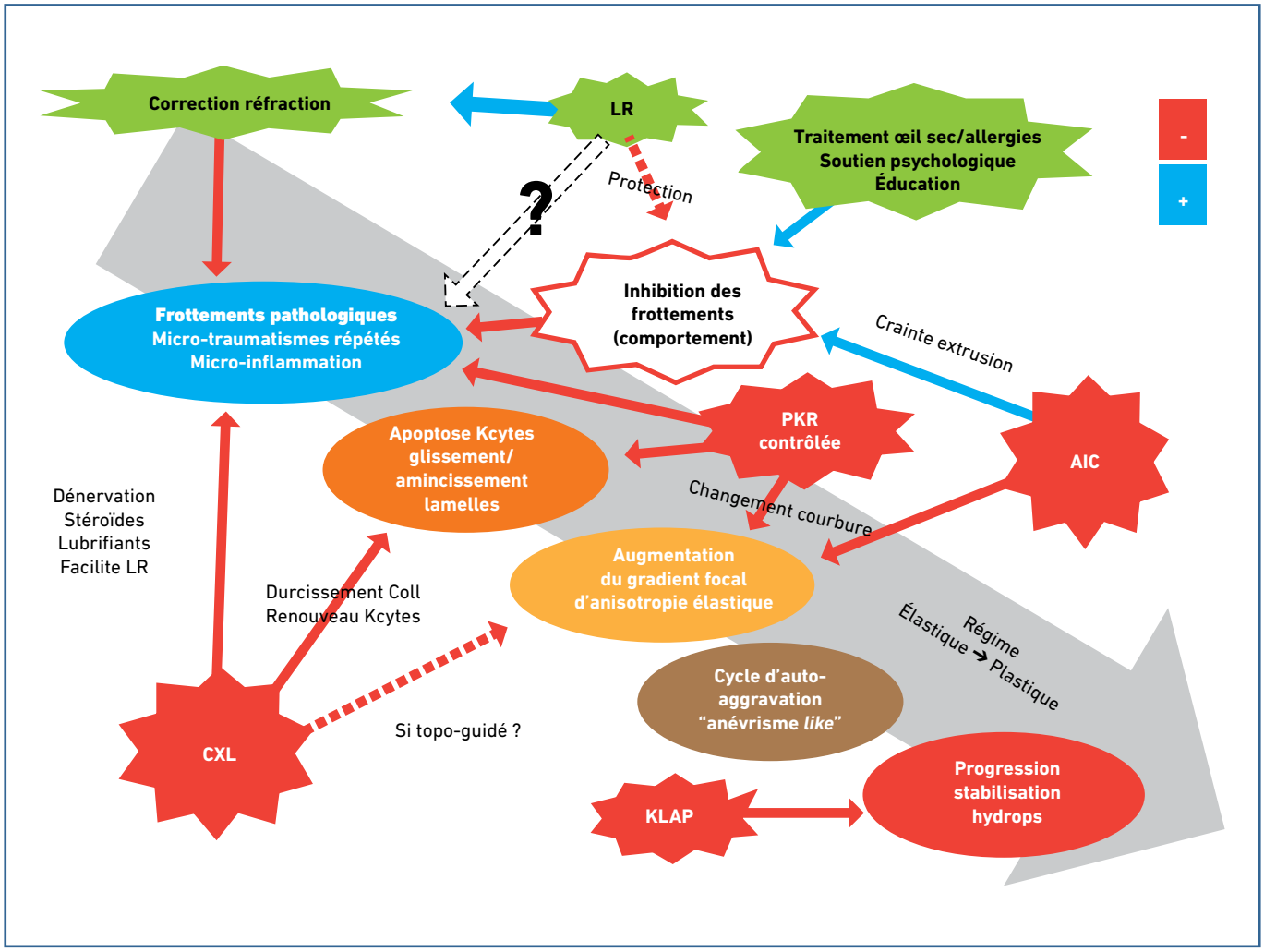


Fig. 2 : Différents mécanismes impliqués dans l'inhibition de la progression du kératocône. AIC : anneaux intracornéens ; Kcyte : kératocytes ; KLAP : kératoplastie lamellaire antérieure profonde ; LR : lentille rigide ; PKR : photokératectomie réfractive. Illustration D. Touboul.

aboutissant à l'évolution du KC et les actions qui permettent théoriquement de la moduler.

Finalement, le choix du protocole de CXL devrait intégrer nos convictions sur les mécanismes d'actions modernes du CXL. C'est-à-dire ne pas se tromper de cible, s'orientant vers un compromis ciblant les plexus nerveux sous-épithéliaux plus que le traitement de tout le stroma antérieur. Un CXL assez antérieur epi-off ou transépithélial epi-on, optimisé par l'iontophorèse, serait possiblement une solution satisfaisante, en particulier pour les patients à risque de complications lors de la cicatrisation. Enfin, le CXL Google Boost (Avedro), récemment introduit et en cours de validation par la FDA, permettra possiblement d'améliorer la profondeur et l'intensité d'interaction d'un CXL epi-on par l'usage d'une atmosphère enrichie en oxygène au cours de la réaction photochimique.

Conclusion

Le CXL consiste en une dévitalisation du stroma cornéen antérieur, c'est donc un geste invasif dont le retentissement s'inscrit sur le long terme. Son effet est polymodal dans l'inhibition des frottements oculaires et ne repose pas exclusivement sur le concept de durcissement matriciel. L'indication doit être posée à la vue du suivi des dégradations morphométriques de la cornée, après mise en œuvre des moyens non invasifs favorisants l'éviction des microtraumatismes répétés de la cornée, impliquant une analyse quantitative poussée du comportement et des habitudes des patients.

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

A. MATTHYS, M. CASSAGNE, F. MALECAZE, P. FOURNIÉ
Service d'Ophtalmologie, Hôpital Pierre-Paul Riquet,
CHU de TOULOUSE.
matthys.alex@yahoo.fr

Supplémentation en oxygène dans le *cross-linking*

L'étude du kératocône connaît une progression importante dans son approche diagnostique et thérapeutique depuis de nombreuses années. Avec l'essor de l'analyse topographique, son diagnostic et son suivi ont été révolutionnés. L'amélioration de la connaissance de sa physiopathologie et les bilans préopératoires de chirurgie réfractive ont rendu son dépistage plus précoce, les patients dépistés sont maintenant plus jeunes et plus nombreux. Or, nous sommes en présence d'une pathologie évolutive. Bien que sa prise en charge du point de vue de la réhabilitation visuelle ait également évolué grâce à l'apport de la contactologie et de la kératoplastie, réussir à endiguer sa progression de manière constante et sûre à un stade précoce reste un objectif majeur de sa prise en charge.

Ainsi, depuis presque 20 ans, la prise en charge du kératocône évolutif repose sur le *cross-linking* (CXL) pour arrêter ou ralentir sa progression.

Le *cross-linking* conventionnel

La procédure de CXL conventionnelle (C-CXL) a été décrite par Seiler *et al*. en 2003 [1]. Elle repose sur le débridement de l'épithélium cornéen, l'imprégnation du stroma par une solution de riboflavine 5'-phosphate et enfin l'irradiation de la cornée par un rayonnement ultraviolet A (UVA) à 3 mW/cm^2 pendant 30 minutes. L'étape du débridement épithélial permet la pénétration de la riboflavine dans le stroma cornéen, où la photoactivation de la riboflavine par les UVA génère des radicaux libres oxygénés. Cette réaction photochimique conduit à la formation de liaisons covalentes entre les terminaisons amines des chaînes latérales du collagène et les protéoglycanes de la matrice extracellulaire. Grâce à de nombreux essais cliniques, cette procédure est maintenant reconnue comme efficace dans la stabilisation de l'ectasie cornéenne des yeux atteints par un kératocône évolutif [2].

Cependant, le C-CXL peut entraîner certaines complications telles que la douleur, le retard de cicatrisation et surtout des kératites infectieuses [3]. La procédure est également longue et inconfortable pour les patients. Ces raisons ont poussé les acteurs de la prise en charge du kératocône à développer de nouvelles procédures afin d'améliorer la sécurité, l'efficacité et le confort des patients.

Les procédures transépithéliales

Les CXL transépithéliaux (TE, TE-CXL), qui évitent la phase de débridement, ont été proposés comme solution alternative au C-CXL. Le maintien de l'épithélium pendant et après la procédure permet de respecter la barrière naturelle de la cornée et limite ainsi le risque d'infection postopératoire. Cela rend la procédure plus confortable et réduit considérablement la phase de récupération et de cicatrisation postopératoires.

Ces procédures transépithéliales visent l'amélioration de la diffusion de la riboflavine dans le stroma cornéen, soit par l'utilisation de l'iontophorèse par laquelle un courant électrique favorise le passage d'une riboflavine ionisée au travers de l'épithélium, soit par l'ajout d'agents perméabilisants qui déstructurent les jonctions serrées de l'épithélium afin que celui-ci laisse passer la macromolécule de riboflavine jusqu'au stroma. Bien que ces procédures soient intéressantes en théorie, les études les évaluant ont montré une efficacité réduite par rapport au C-CXL [4].

C'est dans ce contexte que la procédure transépithéliale a été modifiée, dans le but d'augmenter son efficacité tout en gardant ses bénéfices pour le patient. Nous avons évalué

au CHU de Toulouse une procédure transépithéliale avec supplémentation en oxygène.

L'intérêt de l'oxygène

L'oxygène a un rôle important dans la réaction photochimique d'un CXL. La réaction de réticulation est possible dans deux conditions, aérobie et anaérobie, mais la voie aérobie est celle qui conduit à une génération plus efficace de radicaux oxygène.

Kamaev *et al*. ont mesuré la concentration d'oxygène dans des cornées de porc pendant un CXL conventionnel dans des conditions atmosphériques normales. Ils ont mis en évidence que l'oxygène était consommé en quelques secondes après le début de l'irradiation et se reconstituait sur plusieurs minutes lorsque l'irradiation était interrompue, limitant ainsi sa disponibilité pour la réaction [5].

Dans une autre étude, Richoz *et al*. ont comparé l'effet biomécanique d'un CXL conventionnel accéléré dans des environnements à faible teneur en oxygène et en ambiance atmosphérique normale. La réponse de la cornée à une tension mécanique de 10 % (module de Young) a augmenté de façon significative dans les cornées traitées par CXL en atmosphère normale, tandis que les cornées traitées dans un environnement à faible teneur en oxygène n'ont pas montré d'augmentation de la rigidité par rapport aux cornées témoins non traitées [6].

Dans une dernière étude, Hill *et al*. ont évalué l'effet biomécanique d'un CXL transépithélial pulsé sur des cornées porcines dans des environnements en ambiance atmosphérique normale et à forte teneur en oxygène. Cette fois-ci, les cornées traitées dans un environnement à forte concentration en oxygène ont montré une augmentation plus importante de leur rigidité que celles traitées sous conditions atmosphériques normales [7].

Par conséquent, la réaction de réticulation est dépendante de la concentration en oxygène de l'atmosphère dans laquelle est réalisé le *cross-linking* et une concentration plus importante semble améliorer l'efficacité de la procédure.

Le *cross-linking* transépithélial avec oxygène (TE-CXL)

Le *cross-linking* transépithélial avec oxygène (TE-CXL) se déroule au bloc opératoire. Après l'administration d'un anesthésique topique (tétracaïne), la couche mucinique du film lacrymal est enlevée à l'aide d'une Sponcal humidifiée avec une solution contenant de la riboflavine et du chlorure de benzalkonium (BAK) dans de l'hydroxypropylméthylcellulose (ParaCel Part 1, Avedro). L'objectif est de permettre à la plus grande quantité de solution d'atteindre l'épithélium cornéen en éliminant le film lacrymal de la surface oculaire.

Ensuite, l'imprégnation de la cornée en riboflavine est divisée en deux étapes. Dans un premier temps, 2 gouttes de la même solution (riboflavine + BAK) sont appliquées toutes les 60 secondes pendant 4 minutes. Le chlorure de benzalkonium joue ici le rôle d'agent perméabilisant, il permet de déstructurer les jonctions serrées de l'épithélium afin que celui-ci laisse passer la riboflavine jusqu'au stroma. Après 4 minutes, la première solution est rincée avec une autre solution contenant de la riboflavine sans BAK (ParaCel Part 2, Avedro). Dans un deuxième temps, une fois l'épithélium rendu perméable, 2 gouttes de la solution de riboflavine seule sont appliquées toutes les 30 secondes pendant 6 minutes. À la fin de la période d'imprégnation, l'excès de riboflavine est rincé de la surface cornéenne avec 5 mL de solution saline.

Des lunettes diffusant l'oxygène (Boost Goggles, Avedro, USA) sont ensuite placées et reliées à une source d'oxygène humidifié afin de créer une atmosphère riche en oxygène à la surface de la cornée (***fig. 1***). Le débit de la source d'oxygène est réglé pour obtenir une concentration ≥ 90 % dans les lunettes. Cette concentration est mesurée par une sonde de mesure d'oxygène.

Fig. 1 : Lunettes de diffusion d'oxygène Boost Goggles (Avedro, USA).

Enfin, la cornée est irradiée sur ses 9 mm centraux, au travers de l'ouverture frontale des lunettes, par un rayonnement d'UVA de 30 mW/cm^2 pulsé à une seconde d'intervalle pendant 11 minutes et 6 secondes, pour une dose totale d'UVA administrée de 10 J/cm^2 (Mosaic, Avedro Inc, USA). Une solution saline est instillée sur la cornée par l'ouverture des lunettes au moins une fois toutes les 2 minutes pour maintenir l'hydratation de la cornée pendant l'irradiation. À la fin de l'intervention, la cornée est rincée avec 5 mL de solution saline et une lentille-pansement est appliquée pour protéger l'épithélium fragilisé par la procédure et l'utilisation du BAK.

Dans notre procédure, nous cherchons à optimiser les conditions aérobies par deux mécanismes. Tout d'abord, les lunettes de diffusion permettent de maintenir la concentration d'oxygène à la surface de l'œil à 90 % tout au long de la procédure, en délivrant continuellement de l'oxygène humidifié à haute concentration. Ainsi, la consommation d'oxygène pendant le CXL est équilibrée par l'apport continu et contrôlé en oxygène au travers des lunettes. Deuxièmement, le caractère pulsé de l'irradiation diminue le taux de consommation moyen et laisse du temps pour la régénération partielle de l'oxygène pendant les phases de non-irradiation. En laboratoire, la combinaison de ces deux facteurs produit des conditions aérobies stables dans le stroma au cours du CXL transépithélial [7].

Résultats encourageants

L'efficacité d'une procédure de *cross-linking* va dépendre de la profondeur de traitement de la cornée du patient. Plus les réactions de réticulation auront eu lieu profondément et plus l'effet biomécanique sera important. Une des raisons avancées pour expliquer le défaut d'efficacité des procédures transépithéliales est leur faible pénétration dans le stroma cornéen.

Afin d'évaluer la profondeur de traitement d'un *cross-linking*, nous pouvons mesurer la ligne de démarcation en OCT de segment antérieur. Elle représente la zone de transition entre la cornée traitée, dans laquelle l'apoptose cellulaire et l'œdème stromal sont à l'origine de modifications des propriétés réflectives du stroma, et la cornée non traitée. Elle est utilisée comme un indicateur clinique pour évaluer la profondeur relative du traitement. La profondeur moyenne de la ligne de démarcation est d'environ 100 ± 20 μm pour les protocoles TE-CXL classiques et de 350 ± 20 μm pour le C-CXL [8]. La ***figure 2*** montre la ligne de démarcation d'un patient traité par TE-CXL avec oxygène 1 mois après la réalisation du CXL. L'étude est encore en cours mais ce résultat est encourageant car la profondeur de cette ligne est plus importante que pour les TE-CXL classiques et se rapproche du C-CXL.

L'autre élément intéressant est l'évolution de la kératométrie maximale mesurée sur les cartes tomographiques de courbure axiale antérieure. Elles sont le critère de jugement principal de l'efficacité d'une procédure. Sur la ***figure 3***, nous pouvons

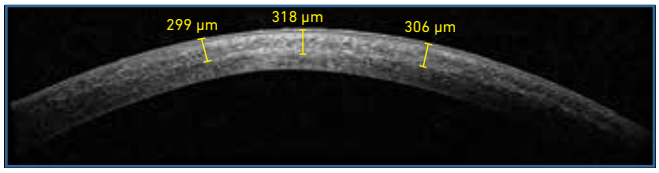


Fig. 2 : Exemple de profondeur de ligne de démarcation en OCT-SA à 1 mois après la procédure.

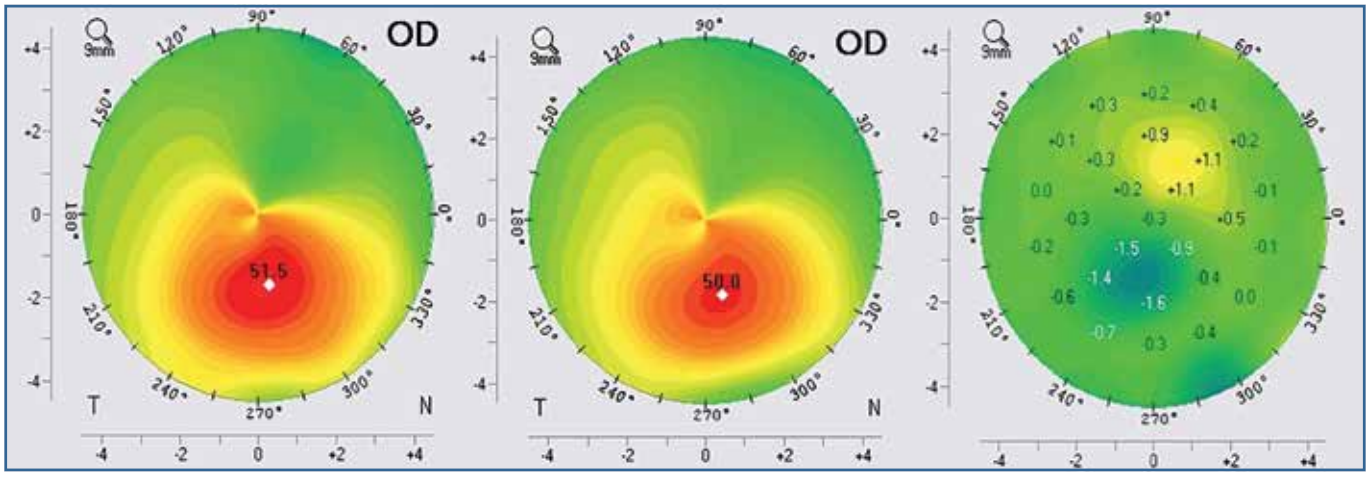


Fig. 3 : Évolution du Kmax en carte tomographique à 6 mois du traitement. **À gauche :** carte de courbure axiale préopératoire. **Au centre :** carte de courbure axiale à 6 mois. **À droite :** carte différentielle de courbure axiale. ΔKmax –1,5 D.

voir l'évolution à 6 mois de cette kératométrie chez un patient traité par cette procédure. La réduction du Kmax est chez ce patient de 1,5 D, ce qui est également encourageant.

Conclusion

L'oxygène est un paramètre qui a jusqu'à présent été négligé dans le CXL. Les dernières études montrent pourtant son importance au cours de la réaction. Afin d'améliorer l'efficacité et la sûreté de nos CXL, il est important de comprendre et d'optimiser l'ensemble des paramètres et notamment l'oxygène.

Le TE-CXL avec supplémentation en oxygène est à l'étude mais semble être une technique encourageante qui cherche à rendre la procédure de *cross-linking* sûre et efficace, en potentialisant le facteur clef de la réaction de réticulation qu'est l'oxygène. Son efficacité et sa sûreté seraient des atouts importants pour faire évoluer le *cross-linking* conventionnel et permettraient de traiter précocement et en toute confiance des patients porteurs d'un kératocône évolutif.

Bibliographie

1. Wollensak G, Spoerl E, Seiler T. Riboflavin/ultraviolet-a-induced collagen crosslinking for the treatment of keratoconus. *Am J Ophthalmol*, 2003;135:620-627.
2. Hersh PS, Stulting RD, Muller D *et al*.; United States Crosslinking Study Group. United States multicenter clinical trial of corneal collagen crosslinking for keratoconus treatment. *Ophthalmology*, 2017;124:1259-1270.
3. Koller T, Mrochen M, Seiler T. Complication and failure rates after corneal crosslinking. *J Cataract Refract Surg*, 2009;35:1358-1362.
4. Soeters N, Wisse RPL, Godefrooij DA *et al*. Transepithelial versus epithelium-off corneal cross-linking for the treatment of progressive keratoconus: a randomized controlled trial. *Am J Ophthalmol*, 2015;159:821-828.e3.
5. Kamaev P, Friedman MD, Sherr E *et al*. Photochemical kinetics of corneal cross-linking with riboflavin. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2012;53:2360-2367.
6. Richoz O, Hammer A, Tabibian D *et al*. The biomechanical effect of corneal collagen cross-linking (CXL) with riboflavin and UV-A is oxygen dependent. *Transl Vis Sci Technol*, 2013;2:6.
7. Hill J, Liu C, Deardorff P *et al*. Optimization of oxygen dynamics, UV-A Delivery, and drug formulation for accelerated epi-on corneal crosslinking: current eye research. *Curr Eye Res*, 2019:1-9.
8. Mazzotta C, Hafezi F, Kymionis G *et al*. In vivo confocal microscopy after corneal collagen crosslinking. *Ocul Surf*, 2015;13:298-314.

Les auteurs ont déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.

O. PRISANT, É. POTTIER
Cabinet Alma-Vision,
Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.
oprisant@gmail.com

Les nouveaux anneaux asymétriques (Keraring AS) sont-ils vraiment innovants ?

Nous savons qu'il existe une corrélation entre la géométrie cornéenne et la fonction visuelle. Chez un patient kératocônique, il est donc important de régulariser sa cornée afin d'améliorer sa vision et de faire remonter sa meilleure acuité visuelle corrigée (MAVC). Les outils de régularisation cornéenne à notre disposition sont au nombre de 2 : les anneaux intracornéens, auxquels nous allons nous intéresser dans cet article, et le laser excimer topoguidé (*topolink*) que l'on couple toujours au *cross-linking* (CXL).

Les anneaux induisent 3 effets géométriques qui permettent d'améliorer la vision du patient :
– un aplatissement cornéen, d'autant plus marqué que l'anneau est épais, entraînant une réduction de la kératométrie maximale (Kmax) et de la myopie de l'ordre de quelques dioptries ;
– un effet torique, d'autant plus marqué que la longueur angulaire est courte, permettant une correction de l'astigmatisme cornéen et réfractif ;
– le plus souvent une réduction et un recentrement du cône, permettant une diminution des aberrations optiques d'ordre supérieur (HOA) et une remontée de la MAVC.

Les caractéristiques du ou des anneaux posés sont choisies selon le phénotype du kératocône, mais aussi selon son stade préopératoire. Le profil d'aplatissement obtenu peut donc se présenter sous différentes formes (***fig. 1A***) en fonction de celles-ci.

Les anneaux intracornéens asymétriques

Des anneaux asymétriques sont récemment apparus : les Keraring AS, commercialisés par Mediphacos (Brésil) et dotés d'un gradient d'épaisseur qui varie progressivement de 100 μm entre les 2 extrémités. Ils existent en version 160° (et 330°, mais nous n'en parlerons pas dans cet article) et avec une épaisseur de 150-250 ou de 200-300 μm. La géométrie de ces anneaux permet donc d'obtenir des profils d'aplatissement différents de ceux obtenus avec les anneaux standards d'épaisseur constante (***fig. 1B***), l'aplatissement cornéen étant plus important là où est positionnée l'extrémité la plus épaisse de l'anneau. Ils enrichissent ainsi l'arsenal thérapeutique déjà disponible dans le traitement chirurgical conservateur du kératocône.

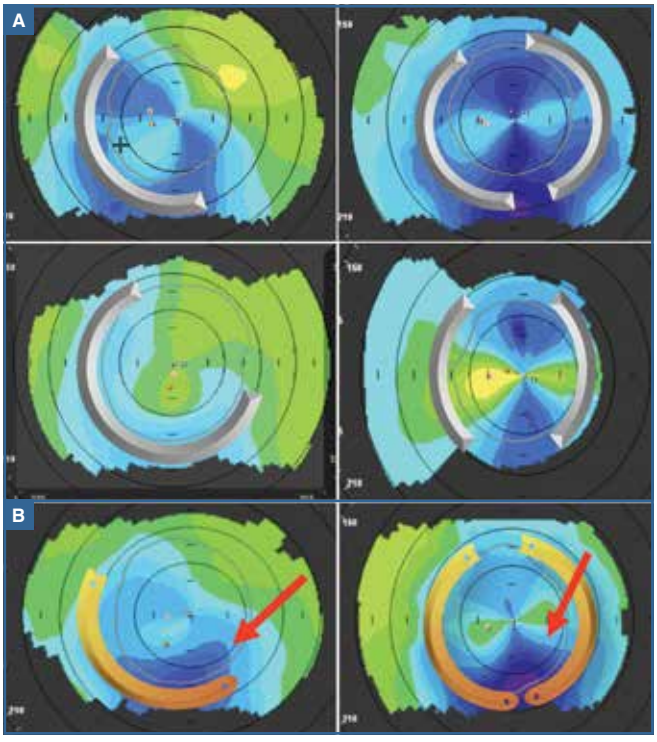


Fig. 1 : Profils d'aplatissement cornéen en fonction des différents anneaux. Cartes différentielles obtenues par soustraction des cartes kératométriques pré- et postopératoires, permettant de visualiser qualitativement et quantitativement l'effet des anneaux intracornéens. **A :** profils d'aplatissement avec des anneaux standards d'épaisseur constante. **B :** profils d'aplatissement avec les nouveaux anneaux asymétriques. La flèche rouge montre l'accentuation de l'effet d'aplatissement en regard de l'extrémité la plus épaisse de l'anneau.

Ils sont utilisés dans la régularisation des kératocônes asymétriques pour lesquels l'hémi-axe cambré inférieur est plus cambré que l'hémi-axe cambré supérieur et qui correspondent soit au phénotype *duck* (***fig. 2***), dans lequel les 2 hemi-axes cambrés ne sont pas alignés (SRAX), soit au phénotype *snowman* (***fig. 3***), dans lequel les 2 hémi-axes cambrés sont alignés.

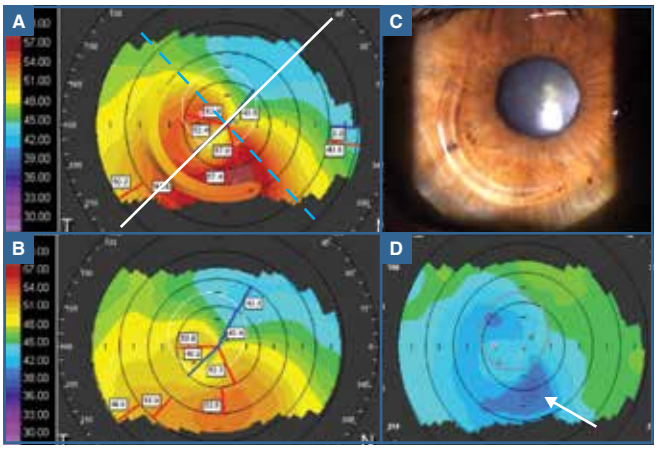


Fig. 2 : Kératocône de phénotype *duck* traité par un seul Keraring AS. **A :** topographie préopératoire montrant un kératocône de type *duck*, opéré d'un anneau Keraring AS 160°/(200-300 µm) *counterclockwise* centré sur l'axe plat (**trait blanc**). En préopératoire, la MAVC est de 6/10e avec –0,50 (–4,00)60° ; Kmax = 52,5 D. **B :** topographie postopératoire montrant une réduction du cône et un aplatissement cornéen. **C :** image à la lampe à fente de l'anneau posé. **D :** carte différentielle montrant l'effet d'aplatissement de l'anneau, plus important en regard de l'extrémité la plus épaisse (**flèche blanche**). MAVC postopératoire = 9/10e avec – 0,25 (–1,75)75° ; Kmax = 48 D.

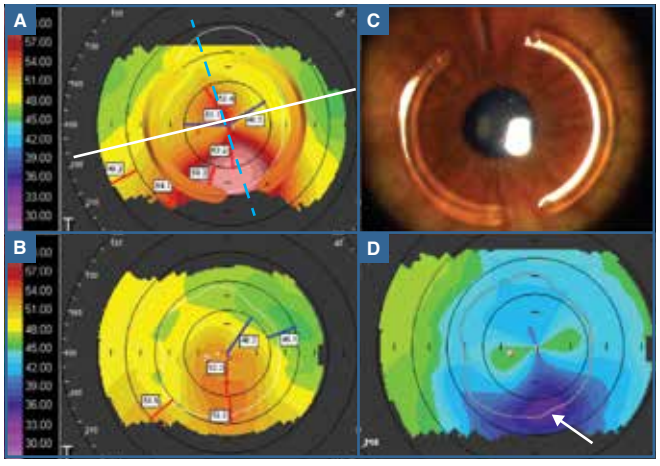


Fig. 3 : Kératocône de phénotype *snowman* traité par 2 Keraring AS. **A :** topographie préopératoire montrant un kératocône de type *snowman*, opéré avec 2 anneaux Keraring AS 160°/(200-300 µm) *clockwise* + *counterclockwise* centrés sur l'axe plat (**trait blanc**). En préopératoire, la MAVC est de 7/10e avec –2,00 (–5,50)20° ; Kmax = 57 D. **B :** topographie postopératoire montrant une réduction du cône et un aplatissement cornéen. **C :** image à la lampe à fente des anneaux posés. **D :** carte différentielle montrant le profil d'aplatissement avec un effet plus marqué en regard de l'extrémité la plus épaisse des 2 anneaux (**flèche blanche**). MAVC postopératoire = 8/10e avec –0,50 ; Kmax = 47,9 D.

Nous les utilisons depuis 2016 environ et avons publié récemment la 1re étude rétrospective les concernant dans la revue *Cornea* [1]. Cette étude porte sur 104 yeux : 75 yeux kératocôniques de phénotype *duck* ayant bénéficié d'un seul anneau asymétrique et 29 yeux de phénotype *snowman* ayant bénéficié de 2 anneaux asymétriques.

Résultats visuels, réfractifs et topographiques

Nos résultats sont en concordance avec ceux des autres études déjà publiées sur les anneaux intracornéens.

Résultats visuels :
– amélioration de la MAVC de 5 à 6,5/10 pour 1 seul anneau (*duck* ; p < 0,001, significatif) et de 4,5 à 5/10 pour 2 anneaux (*snowman* ; p = 0,063, non significatif, ***fig. 4***) ;
– amélioration significative de l'acuité visuelle sans correction (AVSC) qui passe de 1,6 à 3,5/10 pour 1 anneau et de 1,3 à 3/10 pour 2 anneaux (p < 0,001).

Résultats réfractifs :
– réduction de l'équivalent sphérique (ES) de –3,24 à –1,94 D pour 1 anneau et de –5,42 à –1,83 D pour 2 anneaux (p < 0,001) ;
– réduction de l'astigmatisme réfractif de –3,86 à –2,00 D pour 1 anneau et de –5,15 à –2,03 D pour 2 anneaux (p < 0,001, ***fig. 5***).

Résultats topographiques :
– réduction du Kmax de 52,6 à 50 D pour 1 anneau (p < 0,001) et de 56 à 51 D pour 2 anneaux (p < 0,001, ***fig. 6***) ;

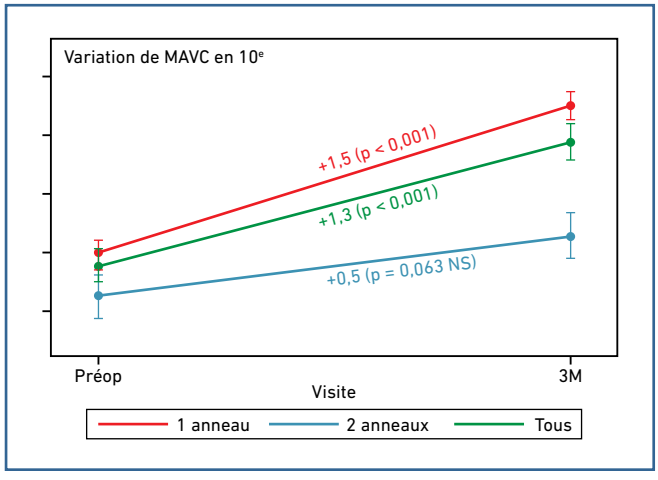


Fig. 4 : Amélioration de la MAVC après la pose d'1 ou 2 Keraring AS. L'amélioration de la MAVC est significative pour les yeux ayant reçu un seul anneau mais non significative pour ceux avec 2 anneaux.

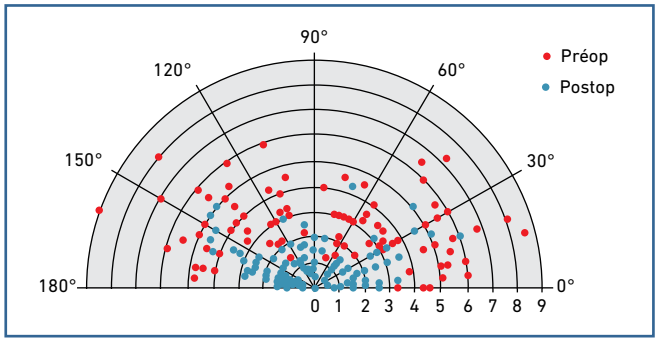


Fig. 5 : Répartition de l'axe et du cylindre avant et après pose d'anneau(x), qui montre une réduction de l'astigmatisme.

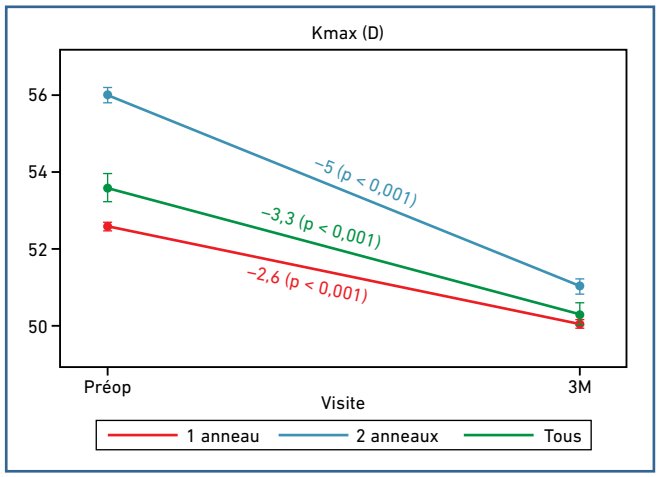


Fig. 6 : Réduction du Kmax après la pose d'1 ou 2 Keraring AS. La réduction du Kmax est significative dans les 2 groupes, mais plus importantes avec 2 anneaux (5 D) qu'avec un seul anneau (2,6 D).

– réduction de l'astigmatisme cornéen de 4,2 à 2,4 D pour 1 anneau et de 5,5 à 1,9 D pour 2 anneaux ($p < 0,001$).

Discussion

Cette étude montre une plus forte remontée de la MAVC dans le groupe *duck* par rapport au groupe *snowman* où elle est non significative. Cela peut s'expliquer par le fait que les kératocônes de type *duck* sont plus décentrés. La pose d'un anneau permet donc de les recentrer, ce qui réduit les HOA et fait remonter la MAVC. Les cônes de phénotype *snowman* quant à eux sont plus centraux. La pose de 2 anneaux a pour effet principal d'aplatir la cornée, ce qui agit sur la réfraction mais a moins d'effet de recentrement et donc d'impact sur les HOA et la MAVC. En revanche et de manière tout à fait logique, les données réfractives et kératométriques sont plus améliorées avec 2 anneaux qu'avec un seul.

Les kératocônes moins avancés ayant un Kmax < 53 D présentent de meilleurs résultats que les kératocônes plus avancés ayant un Kmax > 56 D, ce qui est en accord avec d'autres études [2-4] publiées sur les anneaux montrant que le stade du kératocône, quantifié par le Kmax, est un facteur pronostique important. Comme nous l'avons vu précédemment, le gradient d'épaisseur permet d'avoir plus d'effet à l'extrémité la plus épaisse. Normalement, l'anneau est centré sur le méridien plat. Mais sur certains yeux, et ce afin d'accentuer encore cet effet, nous avons désaxé volontairement l'(les) anneau(x), c'est-à-dire rapproché l'extrémité la plus épaisse de l'anneau de l'hémi-méridien le plus cambré.

Nous traitons la majorité de nos patients kératocôniques en 2 étapes chirurgicales, la 2e étape (laser excimer topoguidé couplé au *cross-linking* : protocole d'Athènes [5, 6]) étant réalisée 3 mois après la pose des anneaux. Cette étape permet d'améliorer encore la vision mais aussi de stabiliser le kératocône. Nous souhaitions ici évaluer l'effet thérapeutique de ces nouveaux anneaux seulement, c'est pourquoi le recul de notre étude est limité à 3 mois en moyenne.

Conclusion

Les Keraring AS contribuent donc à enrichir l'arsenal thérapeutique déjà disponible pour le traitement du kératocône. Ils permettent de générer de nouveaux profils d'aplatissement particulièrement adaptés aux kératocônes asymétriques de type *duck* et *snowman*.

Bibliographie

1. Prisant O, Pottier E, Guedj T *et al*. Clinical outcomes of an asymmetric model of intrastromal corneal ring segments for the correction of keratoconus. *Cornea*, 2020;39:155-160.
2. Shabayek MH, Alió JL. Intrastromal corneal ring segment implantation by femtosecond laser for keratoconus correction. *Ophthalmology*, 2007;114:1643-1652.
3. Alió JL, Shabayek MH, Belda JI *et al*. Analysis of results related to good and bad outcomes of Intacs implantation for keratoconus correction. *J Cataract Refract Surg*, 2006;32:756-761.
4. Zare MA, Hashemi H, Salari MR. Intracorneal ring segment implantation for the management of keratoconus: safety and efficacy. *J Cataract Refract Surg*, 2007;33:1886-1891.
5. Sakla H, Altroudi W, Muñoz G *et al*. Simultaneous topography-guided partial photorefractive keratectomy and corneal collagen crosslinking for keratoconus. *J Cataract Refract Surg*, 2014;40:1430-1438.
6. Kanellopoulos AJ. Ten-year outcomes of progressive keratoconus management with the Athens protocol (topography-guided partial-refraction PRK combined with CXL). *J Refract Surg*, 2019;35:478-483.

O. Prisant mentionne un lien d'intérêt avec la Clinique de la Vision, Paris. É. Pottier a déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.

J.-C. GAVRILOV
Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.
jc.gavrilov@orange.fr

Syndrome sec et chirurgie oculaire : actualités du DEWS II

Le rapport du DEWS II a permis de préciser la définition du syndrome sec oculaire (SSO) en introduisant un concept physiopathologique central, à savoir la rupture de l'homéostasie du film lacrymal, de mettre à jour la classification, de proposer une aide pour les démarches diagnostiques, étiologiques et thérapeutiques, d'en préciser les mécanismes et d'aborder les questions d'épidémiologie. La iatrogénie comme cause du syndrome sec oculaire y a été développée et nous présenterons ci-dessous les actualités concernant l'implication de la chirurgie réfractive et de la cataracte dans la survenue d'un syndrome sec oculaire.

Chirurgie réfractive

1. Incidence et prévalence

L'incidence des symptômes du syndrome sec oculaire (SSO) après une chirurgie au laser par kératomileusis *in situ* (Lasik) varie considérablement en fonction du seuil de gravité et de la présence d'un syndrome sec oculaire préopératoire (***fig. 1***). Il s'agit de la plainte fonctionnelle la plus fréquente. À 6 mois, 20 à 40 % des patients opérés présentent des symptômes de sécheresse oculaire. Il est important de faire la distinction entre le syndrome sec postopératoire, qui est un effet secondaire de la chirurgie et qui va s'atténuer avec le temps, du syndrome sec postopératoire qui est une complication de la chirurgie réfractive et qui altère la fonction visuelle. Ce dernier est estimé à 3,7 %. Dans une étude récente, les symptômes du SSO étaient la principale raison de consultation pour deuxième avis après une chirurgie réfractive [1].

Les conséquences du SSO sont fonctionnelles (sensation de corps étranger, photophobies, kératalgies, brûlures, lourdeurs palpébrales), visuelles (fluctuation, baisse de la vue), avec un possible retentissement psychologique et social. Il s'agit d'une maladie chronique, parfois anxiogène, pouvant pour les cas les plus sévères pénaliser les activités du quotidien et être en lien avec un syndrome dépressif.

Jusqu'à 70 % des patients opérés de chirurgie réfractive auraient des signes fonctionnels et/ou cliniques de SSO. L'âge, le sexe, le port de lentilles de contact, l'allergie, les traitements locaux avec conservateur et certains traitements généraux sont des facteurs de risque bien identifiés. Les facteurs de risque peropératoires tels que l'utilisation de mitomycine C, la profondeur d'ablation ainsi que la longueur de la charnière du volet cornéen sont également établis. Le port de lentilles de contact entraîne des modifications de la surface oculaire à la fois biophysiques (telles qu'une instabilité du film lacrymal, un amincissement de la phase lipidique du film lacrymal, une baisse du volume du film lacrymal, une hyperosmolarité) et biochimiques (augmentation de la

Fig. 1 : Kératite ponctuée superficielle (KPS) 1 mois après Lasik.

concentration de l'enzyme phospholipase A2, baisse de la mucine MUC5AC). Le port de lentilles de contact entraîne une altération des cellules de Langerhans, des cellules à mucus, ainsi qu'une dysfonction des glandes de Meibomius. La neurotoxicité de la mitomycine C sur les fibres cornéennes ne semble pas dépasser 1 mois [2].

La physiopathologie du syndrome sec post-chirurgie réfractive répond à la fois à un mécanisme neurogène (atteinte des fibres nerveuses), inflammatoire (cicatrisation de la cornée) et mécanique (modification de la forme de la cornée).

La survenue du SSO en fonction de la technique opératoire est un sujet d'actualité. Certaines études suggèrent que la photokératectomie réfractive (PKR) induit moins de sécheresse oculaire que le Lasik [3, 4] et vice-versa [5, 6]. D'un point de vue clinique, les fluctuations visuelles décrites 1 mois après une chirurgie réfractive ont la réputation d'être plus fréquentes après PKR que Lasik et seraient attribuées soit au SSO, soit au remodelage épithélial central prolongé. D'un point de vue anatomique, alors qu'au cours d'une procédure Lasik les troncs nerveux centripètes sont sectionnés lors de la réalisation du volet cornéen, ce sont surtout les terminaisons nerveuses qui sont lésées lors d'une procédure PKR, conduisant à une régénération plus rapide dans la PKR. Néanmoins, des interrogations persistent quant à une éventuelle dégénérescence rétrograde des nerfs cornéens [3, 4]. Lors d'une reprise chirurgicale après Lasik, le fait de soulever de nouveau le volet cornéen entraîne la réapparition du SSO.

Le Smile est une technique de chirurgie réfractive qui permet de corriger une myopie et/ou un astigmatisme, sans découpe d'un volet cornéen. À l'aide du laser femtoseconde, un lenticule est prédécoupé dans l'épaisseur du stroma cornéen (classiquement entre 120 μm et 140 μm), puis extrait manuellement. Le respect de l'intégrité du stroma antérieur par la procédure Smile a des conséquences tant anatomiques que biomécaniques et biochimiques. Rapporté au sujet de la sécheresse oculaire et en comparaison avec le Lasik, il a été observé en étude HRT une moindre diminution et une régénérescence plus rapide des fibres nerveuses [7], et dans les modèles animaux une moindre expression des médiateurs inflammatoires (tels que NGF, TGF-β1, IL-1α). Ces données ont été confirmées par les études cliniques qui montrent un bénéfice du Smile par rapport au Lasik dans la survenue postopératoire du SSO [8, 9].

L'impact des *inlays* intracornéens sur la sécheresse oculaire est peu documenté. Il a été suggéré que les *inlays* agissent comme une barrière physique à la repousse des nerfs cornéens sectionnés et entraîneraient une sécheresse plus importante qu'après Lasik. Néanmoins, des travaux complémentaires sont nécessaires pour explorer cette hypothèse.

2. Prise en charge du SSO post-chirurgie réfractive

La meilleure prévention du SSO postopératoire reste l'analyse préopératoire de la surface oculaire. Cet examen permettra de détecter les patients ayant un syndrome sec préexistant et ceux à risque de développer la maladie après l'intervention, qu'ils soient à un stade préclinique ou bien prédisposés à la maladie. Ces 2 dernières catégories ont été définies par le DEWS II (***fig. 2***). Les patients prédisposés à la maladie sont asymptomatiques mais ont des signes cliniques de sècheresse oculaire, alors que les patients à un stade préclinique sont symptomatiques mais sans signe clinique lors de l'examen préopératoire. Ces patients justifient la prise de mesures adjuvantes prophylactiques.

Les soins des paupières sont recommandés en cas de dysfonction des glandes de Meibomius, les suppléances lacrymales prescrites, la cyclosporine A éventuellement proposée, alors que le sérum autologue et les bouchons méatiques sont réservés aux formes sévères. La prise de compléments alimentaires enrichis en acides gras peut être utile. La place des corticoïdes en préopératoire reste discutée et le ratio bénéfice/risque devra être évalué au cas par cas. Il est également important de traiter les affections associées telles que, par exemple, la rosacée oculaire.

Le traitement d'un SSO postopératoire doit être long, parfois prolongé jusqu'à 6 ou 8 mois, le temps de la réinnervation cornéenne. Les reprises chirurgicales sont souvent associées à une récidive des symptômes du SSO et sa prise en charge ne doit pas être négligée.

Chirurgie de la cataracte

1. Prévalence et incidence

La chirurgie de la cataracte peut induire ou aggraver de manière transitoire un syndrome sec oculaire [10]. Ce dernier débute dès le 1er jour de l'intervention. Le SSO postopératoire impacte directement le degré de satisfaction du patient à la fois par la gêne ressentie et par les fluctuations visuelles associées, cela étant d'autant plus conséquent qu'une implantation multifocale aura été réalisée. L'âge moyen des patients opérés de la

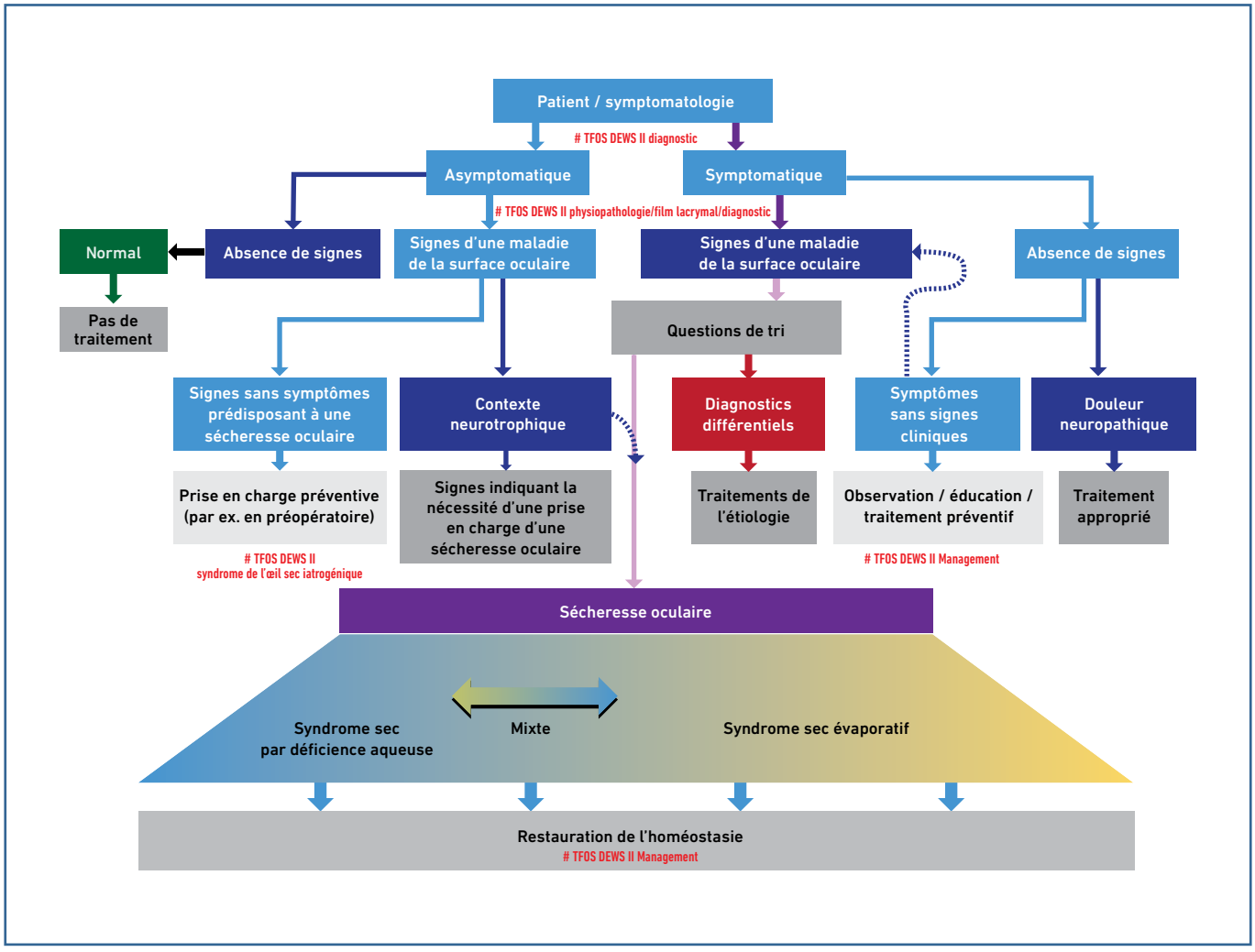


Fig. 2 : Algorithme de décision clinique du DEWS II dans lequel les patients prédisposés au syndrome sec oculaire et les patients au stade préclinique sont identifiés et justifient de mesures préventives.

cataracte est plus élevé que celui des patients candidats à une chirurgie réfractive et l'incidence du SSO y est plus importante. 50 % de ces patients présentent une kératite ponctuée superficielle (KPS), 63 % un *break up time* (BUT) diminué et 52 % une dysfonction des glandes de Meibomius [11]. Deux fois plus de signes cliniques que de symptômes sont observés en préopératoire, prédisposant ces patients au SSO postopératoire.

Cliniquement, les symptômes et les signes cliniques (tels que mesure du BUT et KPS) du SSO secondaire à une chirurgie de la cataracte peuvent perdurer jusqu'à 3 mois après l'intervention [10]. Les mesures de la hauteur du ménisque lacrymal comme témoins du SSO semblent à ce jour trop variables pour être contributives. La prise en charge thérapeutique de ces symptômes permet de réduire significativement leur durée. Pour les patients diabétiques, la survenue d'un SSO après chirurgie de la cataracte est plus fréquente et plus durable. L'expression des glandes de Meibomius (mais pas leur structure) est également altérée après chirurgie de la cataracte. L'usage du laser femtoseconde pour la chirurgie de la cataracte (FLACS) majore le risque de SSO postopératoire [12].

2. Mécanismes

Les mécanismes physiopathologiques envisagés pour expliquer la survenue d'un SSO induit par la chirurgie de la cataracte sont les suivants : l'antisepsie, l'usage d'anesthésiants topiques et de collyres cyloplégiques, la section des fibres nerveuses lors de l'incision, l'élévation de facteurs inflammatoires, la toxicité lumineuse du microscope opératoire, la perte de cellules caliciformes et les dysfonctions des glandes de Meibomius.

L'antisepsie préopératoire par la povidone iodée 5 % est largement répandue et son efficacité dans la prévention de l'endophtalmie est unanimement admise. Son utilisation ne doit pas être remise en cause. Bien que la tolérance soit bonne, son usage est associé à des gênes oculaires immédiatement après instillation, et ce même en présence d'un anesthésiant topique. La povidone iodée altère la fonction visuelle par rupture du film lacrymal et par sa toxicité envers les cellules épithéliales. Cette cytotoxicité est due à son faible pH, son osmolarité et à la concentration de iode libre. L'atteinte épithéliale après usage de povidone iodée est maximale entre 30 et 60 minutes après instillation et perdure jusqu'à 24 heures [13].

L'association topique de phényléphrine et de tropicamide permet d'obtenir une mydriase indispensable à la chirurgie de la cataracte. Ces 2 produits présentent une toxicité épithéliale sans que les mécanismes exacts soient établis. La néosynéphrine 10 % entraîne une nécrose de cellules et une apoptose dans les modèles animaux, et son effet est temps-dépendant [14]. Les solutions intracamérulaires ont montré leur efficacité et sont une option intéressante devant des cornées fragiles [15].

L'incision de la cornée entraîne une baisse de la sensibilité cornéenne. Cette baisse est transitoire, pouvant atteindre 3 mois, et concerne l'ensemble de la cornée. La récupération fonctionnelle est proportionnelle à la taille de l'incision, variant de 1 mois pour une incision de 2,8 mm [16] à 3 mois pour une incision de 4,1 mm [17]. La localisation de l'incision semble avoir peu d'impact. Pour rappel, après chirurgie intra- ou extra-capsulaire, la réinnervation cornéenne peut atteindre 2 ans. L'architecture et le *stretching* de l'incision, ainsi que le gap épithélial, peuvent renforcer la sensation de corps étranger.

La réponse inflammatoire lors de l'opération chirurgicale de la cataracte entraîne un recrutement des macrophages et des polynucléaires neutrophiles et induit la production de radicaux libres, d'enzymes protéolytiques, de prostaglandines, de leucotriènes et de cytokines inflammatoires. Tous ces médiateurs altèrent la sensibilité cornéenne, augmentent l'inflammation et contribuent à l'instabilité du film lacrymal. Il est important de garder à l'esprit le caractère pro-inflammatoire du chlorure de benzalkonium, qui est présent dans certains collyres conservés et dont l'usage sur des surfaces oculaires prédisposées au SSO sera à éviter.

La chirurgie de la cataracte entraînerait une altération de l'expression des glandes de Meibomius, sans atteinte de la structure [18]. Cette altération perdurerait au-delà de 3 mois et expliquerait la persistance de certains SSO induits par la chirurgie. Le mécanisme reste à ce jour inconnu mais l'inflammation, la modification de la flore bactérienne et l'usage de collyres conservés joueraient un rôle.

Les cellules à mucus (ou caliciformes) sécrètent les mucines qui permettent l'ancrage du film lacrymal à la cornée et à la conjonctive. Elles agissent également en diminuant l'hydrophobicité de la surface oculaire. Une baisse de la densité des cellules à mucus a été observée après chirurgie de la cataracte, sans récupération 3 mois après l'opération [16]. La perte cellulaire est corrélée au temps passé dans la salle opératoire et à la durée de l'exposition peropératoire à la lumière du microscope [19]. Le mécanisme reste à ce jour inconnu. Le rôle de l'inflammation a été suspecté mais les études *in vitro* sont contradictoires, l'IL13 et les leucotriènes semblant favoriser la différenciation et la sécrétion des cellules à mucus [20, 21].

3. Prise en charge du SSO post-chirurgie de la cataracte

Même en l'absence de SSO préopératoire, la surface oculaire doit être la plus stable possible afin d'optimiser les mesures pour la biométrie et de prévenir au maximum les symptômes postopératoires, et il est important d'identifier les patients prédisposés au SSO postopératoire. La recherche de facteurs généraux comme la rosacée seront recherchés. La prévention passera avant tout par le traitement préopératoire d'un SSO préexistant, par les mesures d'hygiène des paupières en cas de dysfonction des glandes de Meibomius et de substituts lacrymaux sur des surfaces oculaires fragiles. L'utilisation préopératoire de larmes artificielles permet d'améliorer le BUT, la coloration de la cornée et les symptômes de sécheresse oculaire en postopératoire [22]. Les corticoïdes, la ciclosporine A et les bouchons méatiques resteront des traitements de 2e intention ou en cas de sécheresse sévère. Il convient d'éviter les soins des paupières en période périopératoire afin de ne pas majorer le risque infectieux. En raison de leurs propriétés anti-inflammatoires, les tétracyclines *per os* et les macrolides topiques pourront être proposés devant des blépharites persistantes. La doxycycline inhibe l'activité de la MMP-9 et diminue l'expression des cytokines pro-inflammatoires IL1 et TNFα, alors que l'azithromycine agit au niveau de l'IL6, l'IL8 et du NFkB. Cette dernière a également montré sa capacité à normaliser le profil de la phase lipidique du film lacrymal et à désobstruer les orifices des glandes de Meibomius. L'efficacité de l'azithromycine est comparable à celle de la doxycycline [23]. Les traitements par lumière pulsée et LipiFlow sont encore peu répandus.

L'usage des collyres anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS), prescrits aussi pour la prévention du syndrome d'Irvine-Gass, sera à évaluer avec attention sur ces cornées fragiles en raison du risque de perforation cornéenne.

Conclusion

L'analyse préopératoire de la surface oculaire, avant chirurgie réfractive ou de la cataracte, est une étape indispensable à la réussite de l'opération. L'identification de patients au stade préclinique ou bien prédisposés au syndrome sec oculaire permet d'adopter des mesures prophylactiques préopératoires et la connaissance des mécanismes physiopathologiques est nécessaire pour adapter au mieux les traitements du syndrome sec oculaire iatrogénique.

Bibliographie

1. Patryn EK, Vrijman V, Nieuwendaal CP *et al*. Indications for and outcomes of tertiary referrals in refractive surgery. *J Refract Surg*, 2014;30:54-61.
2. Medeiros CS, Marino GK, Lassance L *et al*. The impact of photorefractive keratectomy (PRK) and mitomycin C (MMC) on corneal nerves and their regeneration. *J Refract Surg*, 2018;34:790-798.
3. Lee HK, Lee KS, Kim HC *et al*. Nerve growth factor concentration and implications in photorefractive keratectomy vs laser in situ keratomileusis. *Am J Ophthalmol*, 2005;139:965-971.
4. Torricelli AA, Bechara SJ, Wilson SE. Screening of refractive surgery candidates for LASIK and PRK. *Cornea*, 2014;33:1051-1055.
5. Bower KS, Sia RK, Ryan DS *et al*. Chronic dry eye in photorefractive keratectomy and laser in situ keratomileusis: manifestations, incidence, and predictive factors. *J Cataract Refract Surg*, 2015;41:2624-2634.
6. Murakami Y, Manche EE. Prospective, randomized comparison of self-reported postoperative dry eye and visual fluctuation in LASIK and photorefractive keratectomy. *Ophthalmology*, 2012;119:2220-2224.
7. Li M, Niu L, Qin B *et al*. Confocal comparison of corneal reinnervation after small incision lenticule extraction (SMILE) and femtosecond laser in situ keratomileusis (FS-LASIK). *PLoS One*, 2013;9:e81435.
8. Denoyer A, Landman E, Trinh L *et al*. Dry eye disease after refractive surgery: comparative outcomes of small incision lenticule extraction versus LASIK. *Ophthalmology*, 2015;122:669-676.
9. Zhang Y, Shen Q, Jia Y *et al*. Cinical outcomes of SMILE and FS-LASIK used to treat myopia: a meta-analysis. *J Refract Surg*, 2016;32:256-265.
10. Li XM, Hu L, Hu J *et al*. Investigation of dry eye disease and analysis of the pathogenic factors in patients after cataract surgery. *Cornea*, 2007;26:S16-S20.
11. Sutu C, Fukuoka H, Afshari NA. Mechanisms and management of dry eye in cataract surgery patients. *Curr Opin Ophthalmol*, 2016;27:24-30.
12. Yu Y, Hua H, Wu M *et al*. Evaluation of dry eye after femtosecond laser-assisted cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2015;41:2614-2623.
13. Ridder WH 3rd, Oquindo C, Dhamdhere K *et al*. Effect of povidone iodine 5% on the cornea, vision, and subjective comfort. *Optom Vis Sci*, 2017;94:732-741.
14. You XG, Fan TJ, Jiang GJ. Phenylephrine induces necroptosis and apoptosis in corneal epithelial cells dose- and time-dependently. *Toxicology*, 2019;428:152305.
15. Labetoulle M, Findl O, Malecaze F *et al*. Intracameral Mydrane Study 2 Group. Evaluation of the efficacy and safety of a standardised intracameral combination of mydriatics and anaesthetics for cataract surgery. *Br J Ophthalmol*, 2016;100:976-985.
16. Oh T, Jung Y, Chang D *et al*. Changes in the tear film and ocular surface after cataract surgery. *Jpn J Ophthalmol*, 2012;56:113-118.
17. Khanal S, Tomlinson A, Esakowitz L *et al*. Changes in corneal sensitivity and tear physiology after phacoemulsification. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2008;28:127-134.
18. Han KE, Yoon SC, Ahn JM *et al*. Evaluation of dry eye and meibomian gland dysfunction after cataract surgery. *Am J Ophthalmol*, 2014;157:1144-1150.
19. Cho YK, Kim MS. Dry eye after cataract surgery and associated intraoperative risk factors. *Korean J Ophthalmol*, 2009;23:65-73.
20. Pflugfelder SC, Corrales RM, de Paiva CS. T helper cytokines in dry eye disease. *Exp Eye Res*, 2013;117:118-125.
21. Dartt DA, Hodges RR, Li D *et al*. Conjunctival goblet cell secretion stimulated by leukotrienes is reduced by resolvins D1 and E1 to promote resolution of inflammation. *J Immunol*, 2011;186:4455-4466.
22. Mencucci R, Boccalini C, Caputo R *et al*. Effect of a hyaluronic acid and carboxymethylcellulose ophthalmic solution on ocular comfort and tear-film instability after cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2015;41:1699-1704.
23. Foulks GN, Borchman D, Yappert M *et al*. Topical azithromycin and oral doxycycline therapy of meibomian gland dysfunction: a comparative clinical and spectroscopic pilot study. *Cornea*, 2013;32:44-53.

L'auteur mentionne un lien d'intérêt avec la Clinique de la Vision, Paris.

S. ZALUSKI
VISIS, PERPIGNAN.
sz@visis.fr

Plateformes et fonctionnalités numériques d'optimisation de l'organisation des flux patients au cabinet

La prise de rendez-vous en ligne est, pour le professionnel de santé en général et l'ophtalmologiste en particulier, la partie visible des outils numériques d'optimisation de l'organisation. Elle acquiert aujourd'hui, et plus encore demain, un statut incontournable pour l'offre de services proposée à la patientèle.

Qui, parmi nous, appelle aujourd'hui encore Air France ou la SNCF pour effectuer une réservation ? Offrir aux patients la même liberté pour sa prise de rendez-vous médical relèvera, si ce n'est déjà le cas, d'une obligation organisationnelle tant il apparaît déjà anachronique à la génération millenium de passer un appel pour organiser un rendez-vous.

Pour autant, les objectifs qu'elle supporte peuvent s'inscrire soit dans une simple démarche verticale d'accès à la prise du rendez-vous, parfois considérée par certains acteurs du marché comme un bien de consommation, soit comme partie d'une démarche transversale d'accompagnement du patient dans le parcours de soin.

Les avantages de la prise de rendez-vous en ligne s'inscrivent sur trois niveaux

1. Pour le patient

De nombreux standards de cabinets médicaux sont très difficilement accessibles et imposent de longues minutes d'attente dans l'espoir (pas toujours satisfait) d'obtenir une réponse. Avoir un accès depuis son écran d'ordinateur ou de smartphone permet à tout un chacun la liberté du moment choisi pour prendre son rendez-vous. La plupart des plateformes proposent également au patient l'accès à son espace permettant de gérer ses rendez-vous (modification, annulation…).

2. Pour le praticien

Cela s'inscrit dans une démarche de modernisation de ses outils et de qualité au service des patients. Qui ne ressent pas une lassitude à entendre ses patients se plaindre, à juste titre, des difficultés qu'ils rencontrent pour prendre un rendez-vous par téléphone ?

3. Pour le secrétariat

C'est un soulagement de la charge de travail. Chaque rendez-vous pris représente un temps économisé disponible pour d'autres tâches. Cette libération du temps de secrétariat n'est totalement efficace que dans l'hypothèse où le système de prise de rendez-vous est synchronisé au logiciel métier utilisé, évitant les risques de doublons ou la copie des rendez-vous pris avec la perte de temps et les erreurs qu'elle peut entraîner.

Pour autant, toutes les solutions ne sont pas comparables.

Les acteurs en présence

Il est impossible de ne pas évoquer en premier lieu Doctolib qui, par sa force commerciale, a su séduire un nombre important de médecins et enregistre certainement plus de 1 000 clients parmi les ophtalmologistes. Interfacé à de nombreux logiciels métiers, il n'en développe pas moins actuellement une offre de logiciel qui a pour but de les concurrencer. Entre concentration et rachat de sociétés, le marché évolue tout de même avec des solutions alternatives.

Docavenue, filiale de Cegedim, a récemment racheté RDVmédicaux.com et travaille avec un grand nombre de permanences téléphoniques. Son ambition est de s'étendre vers le secteur hospitalier. CGM, un opérateur très présent dans la

télétransmission (HelloDoc), a lancé le service CLICKDOC. Des opérateurs de téléconsultation comme Hellocare se sont également dotés d'une fonctionnalité de prise de rendez-vous.

De nombreux éditeurs de logiciels métiers ont cherché à développer des solutions de prise de rendez-vous couplées à leur outil afin de proposer une offre complémentaire. Ces développements pâtissent cependant souvent du fait qu'ils ne font pas partie du cœur de métier de ces éditeurs.

Certaines solutions ont été initiées par des ophtalmologistes : le site des médecins est un site dont l'actionnariat est, ou était, ouvert à tous les praticiens et qui propose potentiellement l'accès à toutes les spécialités. Il s'inscrit dans la catégorie des annuaires. Eyeneed propose une plateforme de prise de rendez-vous spécialisée en santé visuelle permettant la prise de rendez-vous chez l'ophtalmologiste, l'orthoptiste ou l'opticien. L'accès se fait également par le site de la société et une recherche selon la localisation géographique. Alaxione n'est pas un site annuaire mais propose ses outils en marque blanche sur les sites des praticiens ou des établissements de santé. Seuls leurs noms apparaissent lors des rappels de rendez-vous.

Ce qui est différenciant

Le leader du marché a, auprès du grand public, une notoriété indéniable qu'il doit aux médecins qui la lui ont fait acquérir (et non l'inverse). Le praticien se trouve sur une page annuaire où il peut être noyé au milieu des dizaines de confrères inscrits. Tous les témoignages, y compris chez les médecins hospitaliers, concordent sur le fait que le primo consultant d'une telle plateforme représente souvent une consultation non pertinente quant à son orientation et qui relève souvent du *one shot* (médecin Kleenex). L'effet "waouh" pour un jeune installé s'estompe rapidement lorsqu'il reçoit ce type de patients alors que, parallèlement, sa visibilité sur le site peut être modifiée (quels sont les algorithmes de présentation ?) et que l'allongement de ses délais de rendez-vous le rend moins attractif.

Les autres sites annuaires sont donc confrontés à une concurrence importante en termes de notoriété et à une visibilité plus aléatoire.

La prise de rendez-vous sur son propre site et sa propre page permet d'offrir un service à ses patients sans se retrouver en compétition pour les délais et le secteur d'exercice avec d'autres confrères. Le prédécroché téléphonique permet de proposer au patient d'accéder directement au site du médecin ou du centre. Un avantage secondaire non négligeable est lié au fait qu'un médecin proposant une prise de rendez-vous sur son site voit la fréquentation de ses pages web décuplée par le nombre de VU (visiteur unique) et de clics sur ses pages de prises de rendez-vous. En conséquence, la notoriété augmente considérablement en même temps que le référencement naturel du site est amélioré sur tous les moteurs de recherche.

L'intégration dans un parcours de soin

La verticalité de la prise de rendez-vous est aujourd'hui l'enjeu d'une forte concurrence alors même qu'elle n'est que la partie visible de l'iceberg que peuvent représenter les outils d'optimisation des flux patients.

1. L'entrée dans le parcours de soin : le rendez-vous

L'accès aux rendez-vous ne se limite pas à la seule prise de rendez-vous par le patient *via* internet mais peut être accessible à des confrères de la spécialité et à d'autres professionnels de santé, avec des codes d'accès spécifiques permettant de gérer des droits d'utilisation différents. Un confrère ophtalmologiste peut inscrire un patient pour un examen ou une consultation spécialisée éventuellement suivie d'une chirurgie, un médecin généraliste ou un autre professionnel pourra avoir accès à des rendez-vous urgents disponibles en moins de 48 heures… Du côté du patient, des codes spécifiques, que l'on peut limiter dans le temps, peuvent être fournis permettant un accès urgent par le web aux consultations (situation postopératoire, maladie chronique susceptible d'aggravation rapide…).

La prise de rendez-vous par le web ne représente pas la seule alternative, certains patients restant attachés à l'appel téléphonique. La mise en place d'un automate vocal de prise et de gestion des rendez-vous a l'avantage de faire disparaître les appels restés sans réponse et d'ouvrir votre standard 24 heures sur 24. Des stratégies de reconnaissance du numéro d'appel ou d'identification vocale du nom du patient permettent de remplacer, en mode automatique, le déroulement d'une prise de rendez-vous par internet.

Les ressources de la téléphonie permettent de rediriger certains numéros d'appels reconnus, car identifiés de façon temporaire ou non, vers des numéros programmés et variables selon le moment du jour et de la semaine (poste de secrétariat en journée ouvrable, numéro de mobile du médecin, urgences

de l'établissement de santé…). Ainsi, un patient identifié "à risque" ou un confrère dont le numéro d'appel est programmé dans le système ont une assurance de réponse téléphonique.

La plupart sinon tous les opérateurs de prise de rendez-vous en ligne offrent des choix multiples de motifs de prise de rendez-vous, plus ou moins bien suivis par le patient (dépendant en partie de sa fidélité au praticien). Ces motifs orientent le patient vers un praticien et un type de rendez-vous. Les stratégies modernes permettent de partir, non de la demande du patient, mais de ses réponses à un cheminement de questions permettant de déterminer le bon rendez-vous au bon moment, soit la pertinence du motif et du praticien dans un cabinet multicompétences et la pertinence du délai. Ces stratégies vont pouvoir sous peu se développer en *chatbot* puis en *voicebot*.

Le rappel du rendez-vous se fait, de façon traditionnelle, par SMS et/ou mail et permet également de réaliser des préconisations organisationnelles (adresse, stationnement, carte vitale…) ou liées à l'examen (ne pas conduire, être accompagné, prévoir une durée d'examen…). Il permet également l'accès à la fiche patient (non médicale) pour le rendez-vous afin de pouvoir le modifier ou l'annuler. Ces stratégies de rappel limitent de façon importante le nombre de *no show*, pour autant que le patient vous soit fidèle et non un patient opportuniste capable, sur une plateforme annuaire, de prendre plusieurs rendez-vous chez des praticiens différents. Cependant, ces stratégies par SMS ou mail ne sont pas toujours suffisantes et il est parfois utile (personnes plus âgées ou absence de mobile) d'y adjoindre des rappels vocaux sur téléphone mobile ou fixe.

2. Le parcours dans l'établissement

L'accueil par les secrétaires est, dans certains cabinets ou établissements de santé, parfois saturé. La mise en place de bornes d'accueil permettant l'identification du patient et donc de son rendez-vous autorise l'inscription en salle d'attente, l'information sur l'espace vers lequel il doit se diriger et sur le déroulement de la consultation sans intervention humaine. Des fonctions de mise à jour des cartes Vitale, d'impression de documents, de prise et de gestion des rendez-vous sont également possibles.

D'éventuelles informations pertinentes peuvent être *pushées* vers le smartphone du patient. Elles peuvent s'inscrire dans la logistique du parcours patient ou dans la pertinence de l'information médicale liée au motif de l'examen.

3. Les stratégies de rendez-vous

Dans le cadre du suivi de nos patients, nous sommes de plus en plus amenés à programmer, pour une pathologie donnée, un certain – parfois grand – nombre de rendez-vous de natures différentes. L'intégration dans les outils de l'agenda d'une planification, personnalisée par chaque praticien, de ces rendez-vous permet en un clic d'inscrire et d'éditer ce plan de suivi. DMLA, glaucome, surveillance d'un enfant amblyope, etc., les exemples sont nombreux dans notre discipline.

4. Le parcours se poursuit après l'acte

Nous l'avons déjà évoqué, des stratégies par internet ou en mode vocal permettent de sélectionner des patients qui peuvent avoir accès à des rendez-vous urgents dans le cadre de la permanence et de la continuité des soins. Un opéré se verra attribuer, de façon temporaire sur une période déterminée, un accès direct et de la même façon un patient présentant, par exemple, des uvéites sévères récurrentes pourra bénéficier d'une priorisation à durée indéterminée. Un patient pour qui un contrôle s'avère justifié dans un délai éloigné, 1 ou 2 ans par exemple, pourra (avec son consentement) se voir automatiquement proposer ou attribuer, quelques semaines avant l'échéance, un rendez-vous (qu'il pourra modifier ou annuler). Des informations pertinentes liées à leur pathologie ou à la programmation des rendez-vous à venir peuvent être adressées aux patients.

L'accès aux rendez-vous de consultation pré-anesthésique, pour ceux qui programment des interventions, peut se faire directement par le web en quelques clics en respectant les délais réglementaires avant l'intervention et, lorsque les équipes d'anesthésie sont organisées pour, en donnant le rendez-vous avec l'anesthésiste qui sera en fonction le jour de l'intervention. Le patient quitte le cabinet du chirurgien avec son rendez-vous d'anesthésie.

Le transfert du secrétariat du *back office* vers le *front office*

L'ensemble des fonctionnalités a pour objectif de faciliter la vie des patients, l'image des médecins mais également de soulager le secrétariat. Des outils de déplacement automatique d'une plage de rendez-vous permettent de déplacer en quelques clics un grand nombre de rendez-vous avec transmission de l'information au patient par SMS ou

mail et possibilité pour lui de gérer le nouveau rendez-vous (modification, annulation).

La protection des données, l'image, l'indépendance

L'hébergement des données se fait sur des serveurs agréés santé mais peut être partitionné de façon à ce que chaque structure possède son espace personnel qui, en quelque sorte, est loué mais lui appartient. C'est le gage d'une indépendance et une assurance pour l'absence d'exploitation ou d'utilisation des données par l'opérateur.

Conclusion

L'organisation des flux patients est au cœur de l'efficience de notre profession, les fonctionnalités numériques de gestion des flux et des agendas sont un des éléments de l'optimisation du parcours de soins.

La prise de rendez-vous en ligne est un des éléments de cette organisation. Y souscrire justifie quelques interrogations : quel est mon objectif, offrir un service à mes patients ou espérer un afflux de patientèle ? Ai-je pour ambition de valoriser le référencement de mon site ou ma page web de prise de rendez-vous ? Dois-je considérer cette prise de rendez-vous comme l'unique point d'entrée dans la prise de rendez-vous ou utiliser d'autres recours ? La prise de rendez-vous est-elle un besoin, une fonctionnalité isolée ou doit-elle s'inscrire dans un parcours de soins ?

Quoi qu'il en soit, si la compétition, l'évolution du marché et des technologies, les appétits des opérateurs, les inquiétudes de plus en plus exprimées du corps médical devant l'hégémonie d'un opérateur vont entraîner des ajustements de l'offre actuelle, il n'en reste pas moins vrai que ces solutions sont aujourd'hui et seront plus encore demain inséparables de l'offre de service à nos patients.

L'auteur a déclaré être cofondateur d'Alaxione.

NOTES

Le traitement TRANSEPI™ est un algorithme utilisé par le laser Excimer TECHNOLAS®TENEO™

Dispositif Médical fabriqué par TECHNOLAS PERFECT VISION du groupe BAUSCH & LOMB Inc. USA. Ce Dispositif Médical de classe III est marqué CE 0197. Ce laser Excimer est utilisé pour modifier la forme de la cornée afin de compenser un ou plusieurs défauts visuels comme la myopie, la presbytie, l'astigmatisme ou l'hypermétropie. Il est réservé aux établissements de santé pour les chirurgiens ophtalmologistes et les personnels qualifiés dans les procédures chirurgicales. Ces dispositifs médicaux ne sont pas pris en charge par les organismes publics d'assurance maladie. 20-06-BAUSCHCHIR-PM-004

www.bausch.com | www.bausch.fr

LUXSMART™

PRÉCHARGÉ

IMPLANT HYDROPHOBE PRÉCHARGÉ
À PROFONDEUR DE CHAMP

Pour la vision au quotidien

MADE IN FRANCE

BAUSCH + LOMB
Mieux voir. Mieux vivre.

L'implant intraoculaire LUXSMART est un implant monobloc de chambre postérieure à profondeur de champ étendue en acrylique hydrophobe, réservé à l'usage des chirurgiens ophtalmologistes pour le remplacement du cristallin dans la procédure chirurgicale d'opération de la cataracte. Classe IIb. CE 0197. Fabricant : Bausch & Lomb Incorporated USA. Lire attentivement les instructions figurant dans la notice ou sur l'étiquetage. Dispositif médical pris en charge par les organismes publics d'assurance maladie au titre de leur inclusion dans le financement des groupes homogènes de malades et de séjour relatifs aux interventions intraoculaires.
20-06-BAUSCHCHIR-PM-007