

Chirurgie Laser Vision



VISYA

Clinique de la Vision

CHIRURGIE RÉFRACTIVE 2022

Coordination : M. ASSOULINE et C. ALBOU-GANEM



www.cliniquedelavision.com

Avec le soutien de

BAUSCH+LOMB
Mieux voir. Mieux vivre.

TECHNOLAS® 317
TENEOLAS MODEL 2

1 s / D*

360°

INTRODUCING

1740 Hz

SUPRACOR™

BAUSCH + LOMB

Le traitement SUPRACOR™ est un algorithme, utilisé par le laser TECHNOLAS® TENEOLAS™ 317 Model 2 qui est un laser Excimer utilisé dans la chirurgie réfractive. Ce système permet de réaliser l'ablation préprogrammée précise de la cornée de l'oeil humain pour corriger les erreurs réfractives en remodelant la surface cornéenne en mode LASIK, par une ablation de surface ou transPKR.

Dispositif médical de classe IIb qui porte le marquage CE0197 établi par le TÜV Rheinland LGA Products GmbH (CE0197). Fabricant légal : Technolas Perfect Vision GmbH, Allemagne.

Avant utilisation, lire attentivement les instructions figurant dans la notice et sur l'étiquetage.

Les procédures chirurgicales inhérentes à cette plateforme laser ne sont pas prises en charge par les organismes publics d'assurance maladie. 22/09/BAUSCHLOMB/PM/004

www.bausch.com | www.bausch.fr



M. ASSOULINE

Centre Iéna Vision et Clinique de la Vision/OneClinic – Groupe Visya, PARIS.
Mikajaki SA, PLAN-LES-OUATES, Suisse.
dr.assouline@gmail.com

Éditorial

Nous avons le plaisir de vous présenter le 11^e numéro (2022) de la revue annuelle des Cliniques de la Vision (Groupe Visya/One Clinic). Grâce aux efforts de Dan Lebuissou, Jean-Jacques Saragoussi et Cati Albou-Ganem, la revue annuelle jouit à présent d'un statut de conférence de consensus informelle, qui permet à tous et à chacun de délimiter les tendances actuelles de ce qui se fait et de ce qui ne se fait pas... ou plus.

Nous avons souhaité que le numéro 2022 soit à nouveau un événement éditorial et professionnel aussi marquant et utile que possible, pour mettre en avant notre expérience, nos valeurs et notre offre de services unique pour nos correspondants, nos chirurgiens et nos patients. Notre revue, c'est le forum qui nous réunit pour approfondir notre réflexion collective et assumer l'exemplarité de notre mission si particulière d'une "médecine sans malades" au service d'une idée plus large de la santé visuelle. Cette édition annuelle est le trait d'union entre nos établissements du groupe Visya/One Clinic et les leaders d'opinion francophones de notre spécialité, qui offre chaque année une tribune exceptionnelle à nos chirurgiens et à nos collègues dont l'influence ou la réflexion sont significatives pour nos pratiques.

Les qualités pédagogiques de ce numéro spécial en font un outil de choix pour parfaire la formation de nos équipes et de nos correspondants, afin d'accroître notre rayonnement et d'améliorer l'orientation et la prise en charge de nos patients. Depuis 1999, notre veille technologique annuelle nous permet de comprendre les innovations intellectuelles ou technologiques de notre spécialité, d'anticiper les évolutions et de conforter l'image de "premiers de cordée" qui a fait notre réputation. Il semble important de stimuler le débat pour faire bouger les lignes là où cela semble nécessaire, et ce numéro fait une bonne place aux principales controverses qui nous différencient pour définir la place respective de la transPKR, du FemtoLasik, du Smile, des ICL, du PresbyLasik, du Prelex, des segments intracornéens, du *cross-linking* ou du Topolink. Nous avons laissé une large place aux cas cliniques courts afin de faire passer des messages concrets dans un format compact.

Nous avons enfin saisi l'opportunité de ce numéro pour présenter One Clinic, qui a pris une participation majoritaire dans la Clinique de la Vision Paris fin 2021 et affiche de grandes ambitions pour promouvoir l'ophtalmologie libérale française et la chirurgie réfractive.

Bravo à tous nos auteurs, et encore un grand "Merci" à notre fidèle sponsor, Bausch + Lomb Chirurgie, leader historique de la chirurgie réfractive, qui nous accompagne depuis 12 ans, avec Richard Niddam et son équipe de *Réalités Ophtalmologiques*, dans cette démarche scientifique et pédagogique.

Je vous souhaite une bonne lecture et une excellente rentrée 2022-2023. Vive la chirurgie réfractive !

LUXSMART™
P R É C H A R G É

LUXSMART™
P R É C H A R G É **TORIC**



70's

ARE THE NEW

40's

L'IMPLANT DE LA VISION SOCIALE



POUR PLUS D'INFORMATIONS, CONSULTEZ NOTRE SITE WEB :



70's are the new 40's - Les septuagénaires sont les nouveaux quadragénaires

Les implants intraoculaires LUXSMART™ et LUXSMART™ Toric sont des implants monobloc de chambre postérieure acrylique hydrophobe, réservés à l'usage des chirurgiens ophtalmologistes pour le remplacement du cristallin dans la procédure chirurgicale d'opération de la cataracte. Dispositifs médicaux de classe IIb. Organisme notifié : TUV Rheinland. CE 0197. Fabricant : Cutting Edge. 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.

22/06/BAUSCHLOMB/PM/003

BAUSCH+LOMB
Mieux voir. Mieux vivre.

SOMMAIRE

Éditorial	3
M. ASSOULINE	
Groupe One Clinic	8
N. AMSELLEM	
La chirurgie réfractive du point de vue des assureurs	9
V. AMELINE	
Les mutuelles et la chirurgie réfractive	11
A. NICOLAS-BOLUDA	
Doctolib : la fourchette est bien plantée !	13
D.-A. LEBUISSON	
Partage des compétences et des tâches en santé visuelle	17
T. BOUR, M. ASSOULINE	
Pourquoi la SoFem (Société ophtalmologique féminine française) ?	21
C. ALBOU-GANEM	
Quel avenir pour la chirurgie réfractive ?	22
A. NICOLAS-BOLUDA	
Évolution des indications de chirurgie à la Clinique de la Vision de Paris de 1999 à 2021 : à propos de 118214 cas consécutifs	24
M. ASSOULINE, O. SHUKRON	
Enquête sur les pratiques de chirurgie réfractive des chirurgiens des Cliniques de la Vision	29
M. ASSOULINE	
Agent virtuel probabiliste, robotique et IA : la solution d'intelligence médicale intégrée Ariane Ophthalmology Suite de Mikajaki appliquée à la chirurgie réfractive	32
M. ASSOULINE, J. HOCHNER	
Glasspop : réfractomètre subjectif	38
F. COSTANTINI	
DOCTOVUE : une solution aux déserts médicaux en ophtalmologie	41
E. GARDEA	
OCT de segment antérieur Advanced Corneal Explorer (ACE) : une plateforme polymodale incontournable en 2022 ?	44
J. COULLET	

SOMMAIRE

Intelligence artificielle pour la prédiction du risque d'ectasie post-Lasik	52
R. AMBRÓSIO (traduction M. ASSOULINE)	
Système d'aide à la décision pour l'éligibilité et l'indication opératoire en chirurgie réfractive	56
M. ASSOULINE, O. SHUKRON	
Prédiction de la puissance d'une lentille intraoculaire pour la chirurgie de la cataracte : nouveau modèle d'IA de type machine learning	59
O. SHUKRON, M. ASSOULINE	
Prédiction de la réfraction subjective par un nouveau modèle d'IA de type machine learning	63
O. SHUKRON, E. PRÉVOT, M. ASSOULINE	
Pathogénie du kératocône : génétique ou traumatique ?	66
D. TOUBOUL	
La photokératectomie réfractive transépithéliale (transPKR) : quels avantages ?	70
N. MESPLIÉ	
PKR ou Lasik pour les myopies de -2 D ?	72
L. MOYAL	
Lasik : femtoseconde ou microkératome ?	74
N. MESPLIÉ	
Les nouveaux implants multifocaux et EDOF	76
M. ASSOULINE	
Principes théoriques des implants multifocaux et EDOF réfractifs et diffractifs	79
F. CASTIGNOLES	
Implant trifocal basé sur l'élévation de transition de phase : le Liberty de MediconTur	87
A. KONTUR	
Conjunctivochalasis : un facteur de risque méconnu du Lasik ?	90
J. COULLET, C. ALBOU-GANEM	
PKT transépithéliale aidée par l'OCT dans le traitement des astigmatismes irréguliers induits par la chirurgie réfractive	94
J. MALECAZE, F. MALECAZE	
SOS après Lasik : on a eu chaud !	96
O. PRISANT	

SOMMAIRE

Intérêts des implants phaques dans certaines situations où la chirurgie réfractive par laser est possible P. LEVY	98
Imprécision réfractive dans le cadre d'un syndrome d'iris plateau N. MESPLIÉ	102
Décentrement d'un petit capot de Lasik : savoir attendre et retraiter en PKR guidée par l'aberrométrie L. MOYAL	103
Cas clinique : cataracte avec implant à profondeur de champ LuxSmart C. ALBOU-GANEM	105
Reprise sur traitement laser multifocal : expérience avec le Presbyreversal après chirurgie PresbyMAX A. HAGÈGE, M. EL SANHARAWI, O. CASADESSUS	106
Panorama des techniques chirurgicales de réhabilitation visuelle du kératocône à travers un cas clinique O. PRISANT	116
PresbyLasik en mode PROSCAN/SUPRACOR avec le laser Excimer TECHNOLAS TENE0 317 de Bausch + Lomb C. ALBOU-GANEM	119



La Clinique de la Vision poursuit son développement au sein du Groupe One Clinic pour promouvoir une offre de santé visuelle innovante, attentive et engagée.

La diversité des chirurgies ophtalmologiques et l'innovation permanente en chirurgie réfractive engagent One Clinic à participer à tous les grands événements en ophtalmologie et à investir dans le renouvellement des équipements de pointe.

La Clinique de la Vision et One Clinic partagent de grandes ambitions pour promouvoir l'ophtalmologie libérale avec tous les acteurs : chirurgiens, établissements et partenaires au service d'une idée plus large de la santé visuelle dans le respect du principe d'indépendance médicale.

One Clinic développe un leadership de la médecine de ville avec trois principaux pôles d'activité – santé de la femme, santé visuelle et médecine générale – épaulés par plusieurs services transversaux (chirurgie et télémédecine) afin d'offrir des parcours de soins pluridisciplinaires.

Avec plus de 20 000 patients accueillis chaque mois au sein de ses centres médicaux, One Clinic réunit plus de 200 médecins, salariés ou libéraux, à temps plein ou à temps partagé.

Cet exercice multimodal, combiné à la formation (One Académie), aux activités de recherche et publications scientifiques, aux équipements de pointe, aux fonctions support qualitatives mises à disposition, constituent autant d'atouts majeurs pour fédérer médecins et chirurgiens autour du projet médical.

En proposant une approche du soin experte, participative et personnalisée dans le cadre de parcours et de filières de soins, nourrie par la Valeur en Santé (*Value Based Health Care*), One Clinic et la Clinique de la Vision se concentrent, au-delà de la maladie et du confort du patient, sur le service qui lui est dû, sur sa singularité et son projet de vie, tout en privilégiant les relations ville-hôpital. Aussi, chaque année, les réalisations communes du projet médical reposant sur les piliers stratégiques de One Clinic (Innovation, Valeur en Santé et lien Ville-Hôpital) seront approfondies et permettront de gagner en visibilité.

N. AMSELLEM
Groupe One Clinic,
Fondateur et Co-Président.



V. AMELINE
Ophtalmologiste conseil MACSF, PARIS.
valerieameline@orange.fr

La chirurgie réfractive du point de vue des assureurs

Chaque année, environ 200 000 procédures de chirurgie réfractive sont effectuées en France, avec bien sûr une majorité de chirurgies de la myopie. Quelle que soit la technique utilisée, on compte moins de 100 procédures contentieuses annuelles, tous assureurs confondus. Les chirurgiens réfractifs, comme tous les chirurgiens ophtalmologistes, craignent naturellement une mise en cause de leur responsabilité civile professionnelle, même si les statistiques au cours de ces dernières années restent globalement stables. Nous nous basons pour cet article sur les chiffres des mises en cause de responsabilité civile professionnelle des ophtalmologistes assurés à la MACSF. La MACSF assure plus de 80 % des ophtalmologistes libéraux et fait face, chaque année, à environ 250 nouveaux dossiers de sinistres dont environ 50 concernent la chirurgie réfractive.

Le patient qui décide d'initier une procédure peut choisir une réclamation amiable initialement, auprès de son ophtalmologiste ou auprès de l'établissement de santé où il a été opéré. Il peut également se tourner vers la CCI (commission de conciliation et d'indemnisation) qui a l'avantage d'être une procédure rapide et gratuite, ne lui demandant pas d'être assisté d'un avocat. Enfin, le patient peut se tourner vers une procédure judiciaire avec assignation en référé du ou des ophtalmologistes mis en cause et, éventuellement, des établissements de soins intervenus dans sa prise en charge.

Nous constatons, en chirurgie réfractive comme ailleurs, au cours de ces dernières années, une montée en puissance des recours à la CCI avec, de ce fait, une diminution relative des procédures judiciaires. Nous remarquons également une augmentation de la sévérité des juges puisqu'actuellement, plus de 60 % des dossiers défendus lors d'une procédure judiciaire sont considérés fautifs, tandis que les CCI ne concluent à un dossier fautif que dans moins de 30 % des cas. De même, les montants d'indemnisation alloués au patient pour ses préjudices sont plus

élevés pour un même dommage lorsqu'ils sont attribués par un juge que par une CCI ou l'Oniam (Office national d'indemnisation des accidents médicaux), qui intervient en cas d'aléa médical non fautif en présence d'un préjudice sévère (plus de 25 % d'incapacité permanente partielle [IPP] ou arrêt de travail de plus de 6 mois consécutifs ou arrêts de travail non consécutifs de plus de 6 mois dans l'année ou perte de l'aptitude professionnelle ou troubles graves dans les conditions d'existence). Nous constatons globalement une stabilité de la sinistralité avec environ 6 % des ophtalmologistes libéraux mis en cause annuellement (250 dossiers pour plus de 4 000 assurés environ). Le sous-groupe des chirurgiens réfractifs est cohérent avec ces chiffres et est même en faveur d'une moindre mise en cause que la chirurgie de la cataracte. Au fil des années, nous notons surtout une augmentation de la gestion défailante des complications non fautives, qu'il s'agisse de chirurgie réfractive ou d'autres chirurgies ophtalmologiques.

En cas de sinistre, lors d'une procédure amiable ou judiciaire, les points examinés pendant l'expertise sont toujours les mêmes :

- l'indication opératoire, avec le fait que toute suspicion de kératocône fruste doit par exemple faire récuser une procédure Lasik ;
- l'information préopératoire délivrée, orale et écrite, avec recueil d'un consentement éclairé avec signature manuscrite ;
- le bilan préopératoire ;
- l'acte opératoire avec ou sans complication (découpe de capot incomplète, perte du capot...);
- le suivi postopératoire d'autant plus rigoureux et régulier qu'une complication est survenue (syndrome de l'interface...).

Les assureurs constatent que les patients opérés en chirurgie réfractive sont habituellement des patients jeunes, avec une meilleure acuité visuelle corrigée à 10/10 P2, souvent chargés de famille et en pleine ascension professionnelle. En cas

de dossier fautif, les montants d'indemnisation seront donc élevés et souvent supérieurs à ceux d'une chirurgie de cataracte compliquée du fait du jeune âge du patient, du retentissement professionnel, voire de la nécessité de tierce personne pour emmener les enfants à l'école si le patient perd l'aptitude à la conduite. Heureusement, de tels cas sont exceptionnels.

La baisse de la meilleure acuité visuelle corrigée entraîne à juste titre un flot de doléances du patient gêné dans sa vie personnelle, professionnelle, sportive... Il faut retenir qu'un patient insatisfait, même en cas de réalisation parfaite du geste chirurgical, ne tiendra pas le même discours lors de l'expertise que lors de la consultation préopératoire. Cela permet d'insister sur l'importance des contre-indications relatives à la chirurgie réfractive. En effet, un patient se plaignant d'œil sec avec ses lentilles souhaite à juste titre se débarrasser de celles-ci. Néanmoins, une sécheresse oculaire trop importante en préopératoire doit faire recuser le patient qui ne manquera pas d'accuser son chirurgien d'avoir aggravé son inconfort en rapport avec la sécheresse oculaire après chirurgie réfractive. Les yeux secs, sources d'inconfort certain et difficile à quantifier objectivement, sont un élément fréquent de mise en cause au sein des actes de chirurgie réfractive. Tout ce qui sera annoté dans le dossier en préopératoire sera fondamental et tout ce qui sera non écrit sera réputé "ne pas exister", de même lors des consultations postopératoires. Il sera indispensable de noter les chiffres tensionnels, par exemple lorsqu'un patient est traité sur une longue période par collyres cortisonés. Un dossier malheureux de glaucome cortisonique agonique a été découvert chez un jeune patient traité pendant plus de 6 mois pour syndrome de l'interface sans chiffre tensionnel ni fond d'œil décrit dans le dossier de consultation, d'où un dossier jugé 100 % fautif sans perte de chance défendable.

Les infections postopératoires représentent un cas à part des sinistres en chirurgie réfractive (abcès sous lentille pansement, abcès mycotiques post-Lasik...). Les infections nosocomiales relèvent de la responsabilité sans faute de l'établissement de soins, c'est-à-dire que le dommage sera indemnisé par l'assurance de la clinique ou de l'établissement de soins. Néanmoins, il faut garder à l'esprit qu'une mise en cause ne signifie pas une "responsabilité avérée", même si toutes les procédures sont contrariantes et souvent mal vécues. Une expertise contradictoire est systématiquement organisée, qu'il s'agisse d'une expertise CCI ou d'une expertise judiciaire ou encore, dans certains cas, d'une expertise amiable.

Tout dossier mal tenu sera considéré comme une "négligence fautive". Il est donc très important de tracer tout le parcours

du patient. Nous insistons sur les différents éléments étudiés avec attention par l'expert qui seront :

>>> L'indication opératoire : était-elle justifiée ou non ? Le patient avait-il une grande pupille ou non ? Souffrait-il de sécheresse oculaire ?

>>> L'information orale et écrite devra être tracée dans le dossier de consultation avec recueil systématique d'un consentement éclairé. Il ne suffit pas de donner la fiche SFO au patient. Cette dernière doit être rendue signée en préopératoire, idéalement avec une date ne correspondant pas à celle de la 1^{re} consultation ou au jour opératoire. En effet, en cas de sinistre, le patient ne manquera pas de dire qu'il a signé le jour de la chirurgie, n'importe où, sans ses lunettes, sans voir quoi que ce soit.

>>> Le compte rendu opératoire devra bien préciser la désinfection cutanée et des culs-de-sac conjonctivaux. En cas de compte rendu opératoire pré-fait, ce dernier devra être modifié dès le bloc opératoire en cas de complication. En effet, il est toujours malvenu de retrouver deux comptes rendus opératoires différents dans le même dossier, l'un ne relatant aucune complication peropératoire puisque rédigé avant la chirurgie et un second rédigé le lendemain ou le surlendemain de la chirurgie relatant la complication peropératoire.

>>> Le suivi postopératoire devra être tracé dans le dossier de consultation : en effet, un aléa thérapeutique non fautif sera considéré comme une "négligence fautive" avec perte de chance de récupération visuelle pour le patient si le suivi n'est pas assez diligent. À l'inverse, cet aléa thérapeutique sera non fautif, pouvant survenir dans les meilleures mains, si le patient est suivi correctement en postopératoire.

Tout dossier bien tenu sera favorable au chirurgien.

■ Conclusion

Les points cruciaux analysés par l'expert seront le dossier, encore le dossier et toujours le dossier, qui se devra d'être le plus exhaustif possible (fiche SFO rendue signée, topographies pré- et postopératoires, suivi tensionnel, etc.). Nous retiendrons que la chirurgie réfractive donne d'excellents résultats avec de rares mises en cause, pouvant néanmoins entraîner de lourds préjudices pour ces patients le plus souvent jeunes avec une acuité visuelle corrigée normale en préopératoire.

L'auteure a déclaré être ophtalmologiste conseil pour la MACSF.



A. NICOLAS-BOLUDA
One Clinic, PARIS.
alba.nicolas-boluda@one.fr

Les mutuelles et la chirurgie réfractive

Les mutuelles aident à voir loin... mais aident-elles vraiment à corriger la vue par chirurgie réfractive ?

La Sécurité sociale a pour rôle, en France, de protéger les citoyens face aux risques sociaux : maladie, invalidité, accidents du travail, vieillesse. Elle est complétée par les mutuelles. En théorie, une mutuelle n'est pas sensée couvrir des consultations ou des actes qui ne sont pas dans le panier de soins de la Sécurité sociale. Les médecines douces, la médecine esthétique (sauf reconstructrice) et la chirurgie réfractive ne sont pas prises en charge, car considérées comme des "interventions de confort".

Nous avons interrogé trois représentants de mutuelles françaises (qui souhaitent conserver l'anonymat), pour recueillir leur opinion sur le remboursement de la chirurgie réfractive. Les Français couverts par la Sécurité sociale peuvent souscrire un contrat individuel ou, s'ils sont salariés, un contrat collectif d'entreprise. 95 % des mutuelles d'entreprises sont des contrats dits responsables, ce qui signifie que leur cahier des charges est défini par décret : le contrat doit respecter des règles de parcours de soins, et des plafonds et planchers de remboursement. Les contrats "non responsables" permettent de bénéficier d'une prise en charge supérieure, notamment de la chirurgie réfractive, mais les cotisations sont plus élevées car ces conventions d'assurance sont taxées à 14 % (contre 7 % pour les contrats responsables).

Comment les mutuelles prennent-elles en charge les opérations de chirurgie réfractive et qu'est-ce qui explique leurs différences ?

■ 100 % Santé, 100 % réussite ?

Depuis 2019, le gouvernement propose une offre élargie de dispositifs en optique, audiologie ou dentaire remboursés à

100 % par l'Assurance Maladie obligatoire et complémentaire. "Avec le 100 %, les assurances ont déjà beaucoup absorbé", confie l'un de nos interlocuteurs : en effet, le 100 % Santé force les complémentaires à prendre en charge une importante partie des coûts liés à l'achat de lunettes et lentilles. La chirurgie réfractive se retrouve donc le parent pauvre de l'optique couverte par les complémentaires, avec une part du panier réduite.

Le 100 % Santé n'encourage donc pas à la chirurgie réfractive et pourrait même mener à son recul en France, puisque le panier des complémentaires responsables est majoritairement absorbé par les lunettes et lentilles.

■ Un luxe de salariés ?

Les contrats collectifs sont souscrits entre une entreprise et une mutuelle. Nous observons que pour les déciles les mieux couverts, les contrats collectifs sont plus généreux que les contrats individuels en matière de remboursement de la chirurgie réfractive (fig. 1). D'où vient cette différence ?

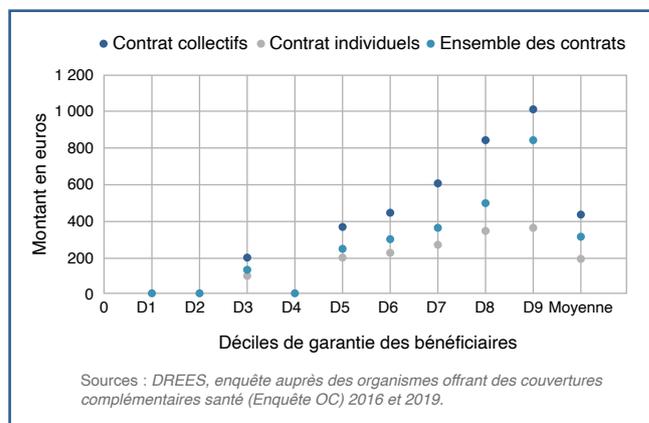


Fig. 1 : Déciles des garanties souscrites auprès d'organismes complémentaires pour la chirurgie réfractive sur un œil non remboursée par la Sécurité sociale.

D'abord, d'une différence de temporalité. La chirurgie réfractive est coûteuse mais, comparée au coût des lunettes et lentilles, elle est amortie en 8 à 10 ans¹. Les contrats d'assurance ont donc intérêt à fidéliser leurs souscripteurs pour cette période au minimum et il est plus facile de fidéliser des salariés, affiliés à la même mutuelle. Le calcul de la mutuelle se fait avec une certitude sur la durée du contrat d'assurance, en plus d'une incertitude sur le moyen et long terme.

Le gouvernement, par le dispositif 100 % Santé, encourage donc à corriger la vue par des dispositifs externes plutôt que par chirurgie réfractive. Les contrats collectifs, en revanche, proposent, pour les déciles les mieux couverts, une prise en

¹ En moyenne, les Français changent de lunettes tous les 3 ans. Une chirurgie réfractive coûte entre 500 et 1500 € par œil.

charge de la chirurgie bien meilleure que celle des contrats particuliers. Les opérations de la myopie et de la presbytie pourraient-elles ainsi devenir un argument de poids lors de la négociation des avantages salariés ?

“Si une mutuelle prend en charge l'intégralité de la chirurgie réfractive, les autres finiront par s'aligner”, note cependant l'un de nos interlocuteurs. Les récentes évolutions des mutuelles, dues au dispositif 100 % Santé, à l'impact du COVID et aux adaptations de la Sécurité sociale, pourraient bien aller en ce sens...

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



D.-A. LEBUISSON¹
 Direction médicale, One Clinic – Clinique de la Vision, PARIS.
 dalebuisson@gmail.com

Doctolib : la fourchette est bien plantée !

L'emprise de Doctolib sur la prise de rendez-vous médicaux en France est un modèle de réussite et non pas de créativité. Doctolib n'est pas le pionnier des rendez-vous en ligne ni des services internet, mais il est devenu le premier site en charge de cet outil.

Créée relativement tard (2013), l'entreprise s'est construite en adoptant un format primitivement destiné aux restaurants et qui a très bien fonctionné : celui de La Fourchette. L'astuce et l'intelligence du metteur en place a été de considérer les médecins à l'instar des clients de sites de voyages ou de salons de coiffure (c'est là que l'initiateur de l'entreprise a fait ses premières armes). Shampoings et petits restos sont le socle marketing de Doctolib. On pourrait s'étonner qu'arrivée tard, cette plateforme devore les autres mais, en fait, le terrain n'était occupé que par des petits bras ou des entreprises limitées.

Toutefois, rien n'est immuable et déjà une solution plus novatrice est proposée par Google aux États-Unis, en permettant aux médecins américains d'afficher leurs disponibilités directement dans le moteur de recherche. Google pourra aussi acheter Doctolib et consorts. C'est la loi de l'évolution.

En attendant, parlons de Doctolib.

La campagne de vaccination a donné une fantastique visibilité au système qui est devenu connu et accepté par presque tout le pays et les tutelles. Doctolib s'est construit sans publicité payante.

Bien qu'il s'agisse d'une **technologie propriétaire**, développée en interne, elle est **ouverte et peut être aisément connectée** aux autres logiciels médicaux tels que les systèmes d'information hospitaliers ou les solutions de gestion de cabinet. L'infrastructure repose sur les services d'hébergement de

¹ Utilisateur.

données de santé les plus performants du marché. **Mais elle n'est pas elle-même hébergeur de santé.** Surtout, c'est une offre logicielle couplée à du service pour les professionnels.

Avec Doctolib, les patients peuvent utiliser **un vaste annuaire pour trouver le praticien** ou l'établissement de santé dont ils ont besoin. Cet annuaire regroupe non seulement les coordonnées des professionnels, mais aussi des informations à leur sujet.

Peu encombrée par la pusillanimité médicale et ses considérations financières, et dopée par une gouvernance de plusieurs fondateurs de start-up, la firme a décollé en raison de la qualité de son interface, de la réactivité de ses équipes et surtout de la faiblesse insigne de ses concurrents. Par le rachat de certains concurrents et la disparition d'autres, la firme dispose, à ce jour, d'une position prépondérante.

Le dispositif possède deux centres R&D situés à Paris et Berlin. Pour s'adapter à la demande, Doctolib utilise le modèle Agile avec notamment des accélérations de développement et un système de déploiement rapide. Pour utiliser Doctolib, les médecins doivent **payer un abonnement mensuel.** C'est l'unique source de revenus de l'entreprise. Cet abonnement est sans engagement et peut être résilié à tout moment.

Doctolib a très vite fait appel au marché. Il a fait entrer massivement au capital des fonds, des acteurs financiers... pour devenir une entreprise fortement européenne de droit et de siège français. **Le capital est un mélange d'equity et de dette** – la répartition exacte n'a pas été précisée et valorise la société à 5,8 milliards d'euros. Les fondateurs ne possèdent plus qu'environ 30 % du capital mais contrôlent très bien. Les principaux actionnaires – Banque publique d'investissement et Eurazeo – sont tricolores et les autres sont américains ou germaniques. L'implantation est forte en Allemagne et se développe vite.

La prise de rendez-vous numérique est un atout pour tous, le public et les médecins sont rodés. L'outil est simple, peu sophistiqué et très commercial. Les médecins l'adoptent vite et, en dépit d'un coût plus élevé que celui de la concurrence, il rencontre une large adhésion. De surcroît, il assure **une mise en avant des médecins adhérents** (même si Doctolib le nie) et offre une palette de services associés, souvent payants. Les astuces habituelles des start-up sont présentes : groupe team, pseudo-communauté médicale, demande des avis des médecins, dialogue langue de bois avec les conseillers... Tout laisse croire à une grande famille, alors que le concept est farouchement autoritaire.

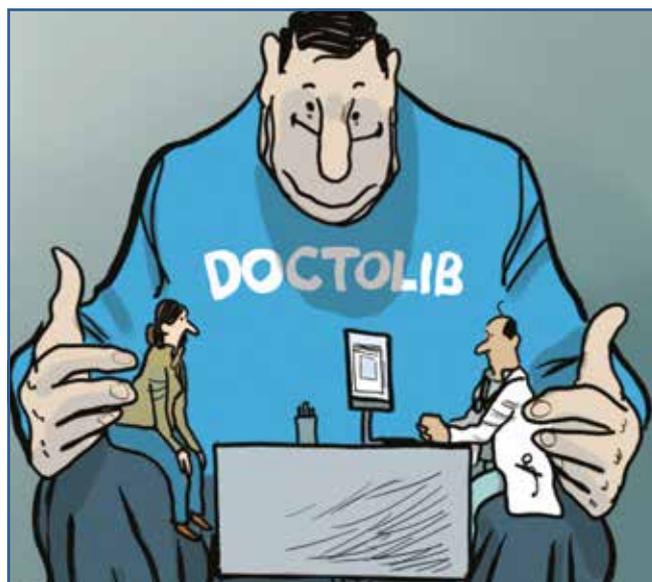
Les 5 piliers proposés à ses salariés par Doctolib, le "SPAAH" : commentaires

- Service : fournir un service hors du commun – rien de spécial, les autres le faisaient aussi.
- Passion : prendre toujours du plaisir – l'actionnaire principalement.
- Ambition : n'avoir aucune limite – en face, que des entreprises bridées.
- Attaque : être déterminé, réussir par la porte ou par la fenêtre – du culot.
- Humilité : être à l'écoute et se remettre en question – écouter et ne pas entendre.

Légalement, **Doctolib n'est qu'un intermédiaire entre le médecin et le patient**, ce qui lui permet d'envoyer des mails et des textos même si on ne le souhaite pas et cela permet aussi d'échapper à toute réglementation contraignante, bref, de faire ce que Doctolib veut. Cette puissance permet l'innovation, l'équipement, la diffusion.

Avec 2 300 employés, Doctolib embauche encore 100 % des employés devenus actionnaires de l'entreprise début 2022 via des BSPCE, sorte de stock-options. La firme a des contrats avec des cliniques et hôpitaux, et près de 300 établissements sont ses clients. En dépit de cette masse, **la société ne serait pas rentable!! C'est prendre le lecteur pour un idiot**. On évalue la fortune personnelle du PDG à environ 500 millions d'euros. **Le modèle économique reste celui d'un éditeur de logiciels**, qui se rémunère non pas avec les données recueillies – un tabou, affirme la société –, mais par le service vendu aux médecins. Doctolib aujourd'hui n'est pas très loin du **monopole privé qui occupe aussi le terrain public (l'État est un actionnaire notable de Doctolib via la Banque publique d'investissement)**.

Doctolib a les mains libres et un grand projet avec ses premiers pas dans la télémédecine et les applications de gestion comme Doctolib Médecin, proposé à toutes les spécialités sauf, pour l'heure, à l'ophtalmologie. Cette avancée va certainement provoquer un tohu-bohu dans ce champ où l'on compte pas moins



de 600 entreprises, dont certaines assez importantes comme Cegedim.

Les médecins s'accrochent à ce monopole de fait car Doctolib comble un vide et ils savent travailler avec de grands organismes qui interfèrent en permanence dans l'activité médicale – ne citons que l'Assurance Maladie ou les mutuelles. Les politiques sont à la remorque et les tutelles incapables d'imaginer quoique ce soit d'autres. Les quelques dispositifs alternatifs de rendez-vous en ligne sont souvent soit des programmes maison qui marchent pas mal car limités, soit des logiciels essayant d'apporter des avantages tels qu'une messagerie instantanée, des serveurs et stockages nationaux. Ces sociétés issues d'entreprises présentes sur le marché numérique comme Cegedim ont pour credo de n'accepter que des professionnels disposant d'un numéro RPPS ou Adeli, deux certifications qui garantissent que l'on a affaire à un professionnel de santé. D'autres, comme Alaxione, proposent un service de prise de rendez-vous accessible exclusivement sur le site personnel d'un professionnel de santé. Enfin, il existe des sites offrant des rendez-vous pour toutes professions. Doctolib est moins sécurisé qu'il ne le faudrait. L'entreprise se présente comme un annuaire de professionnels de santé, dont 3 % des 170 000 profils référencés exercent cependant dans le domaine du bien-être ou du médico-social ; mais la ligne de démarcation entre psychologues, sophrologues, homéopathie, naturopathie et autres appellations "alternatives" est ardue à tracer sauf à ne se référer qu'aux diplômes universitaires et aux certifications des tutelles. Quelques tentatives brouillonnes et mal encadrées au nom d'une supposée indépendance se sont plantées. On ne comprend économiquement pas les avantages que les acteurs

résiduels pourront retirer de l'apparente sécurité numérique qu'elles affichent. C'est cet espace flou qui justement donne de la valeur. Les naufragés n'ont pas été rares.

La société prépare activement la labellisation Ségur de son logiciel médical Doctolib Médecin en collant aux DSR de l'ANS (acronymes connus évidemment de tous), ce qui devrait être acté en 2022.

Le talon d'Achille théorique demeure la protection des données ainsi que la sécurité. Pour le moment, les données sont hébergées par Amazon Web Services. Toutefois, un addendum prévoit en particulier la contestation de "toute demande générale" ou ne respectant pas le Règlement général sur la protection des données (RGPD). Cela constitue une barrière suffisante pour le tribunal français qui a eu à statuer sur ce litige soulevé par une association d'utilisateurs. Le géant de Seattle a d'ailleurs reçu la certification d'hébergeur de données de santé à caractère personnel par l'Agence du numérique en santé. Doctolib a obtenu deux certifications en novembre dernier, l'une sur la sécurité des systèmes d'information et l'autre sur l'hébergement des données de santé. Doctolib continue sa stratégie de sécurisation des données de santé. Il vient de racheter la start-up Tanker, à l'origine d'une technologie de chiffrement de bout en bout intégrable sous forme de SDK. Autrement dit, seules les personnes qui communiquent – le professionnel de santé et son patient – peuvent lire les messages échangés. Mais Doctolib utilise ce procédé depuis 3 ans : rien de nouveau.

À noter que, dans sa communication, Doctolib est très habile et informe peu patients et autres si le médecin les quitte... De même, les modifications tarifaires sont très peu signalées et enrobées de microchangements du contrat. Les médecins ne peuvent pas aisément récupérer le fichier patient et les utilisateurs ont intérêt à très vite adopter un système de copie. Les ponts de récupération des bases administratives avec les logiciels outils sont absents ou ardues. Doctolib a connaissance de tous les praticiens qu'un patient consulte, quand leurs agendas sont sur Doctolib.

Enfin, n'oublions jamais que Doctolib facilite largement l'accès aux soins par les patients. Pas question pour Doctolib de donner la main aux médecins pour restreindre ou contrôler ce flux : le but n'est pas de renforcer un mode de travail spécifique à un médecin mais, au contraire, d'élargir au maximum la palette des choix des patients. **Doctolib est avant tout au service de la demande**, les patients, et profite aux actionnaires, c'est déjà pas mal. Les médecins représentent l'offre et sont le produit et les payeurs.

Doctolib efface l'historique patient tous les 5 ans, ce qui est en contradiction avec la loi qui demande au médecin de conserver les données bien plus longtemps. Par ailleurs, le partage de documents est visible par le professionnel, le patient ET le secrétariat, ce qui est une faille sécuritaire car on ne peut pas sélectionner la fonction secrétaire sans donner accès aux documents.

>>>> Les données sont hébergées en France et en Allemagne.

>>>> L'ensemble des données des utilisateurs de Doctolib est chiffré.

>>>> Les clés de chiffrement sont hébergées en France chez ATOS, une société française.

>>>> Doctolib a transmis pendant plusieurs mois des données de recherche de ses utilisateurs en Allemagne à Facebook et Outbrain, mais indiqué qu'aucune donnée de santé n'était collectée.

Un hébergement en Europe ne met pas à l'abri car c'est la nationalité de l'entreprise hébergeant qui compte. De surcroît, les outils d'édition collaborative des géants du numérique commencent à être déclarés indésirables en Europe. Ajoutons que Google Analytics captant les adresses IP et permettant les identifications de données personnelles est complètement incompatible avec le RGPD. **Doctolib n'est pas hébergeur de données de santé et, à ce titre, ne possède pas cette certification.**

Le 14 juillet 2021, Doctolib se voit décerner le Big Brother Award. Ce prix décerné aux structures qui attentent à la vie privée lui est attribué en identifiant plusieurs problèmes :

>>>> Lorsque des professionnels de santé demandent à utiliser Doctolib, ce service leur demande à accéder aux données de santé de toute leur patientèle, sans que celle-ci en soit informée, et ce même si cette patientèle ne dispose d'aucun compte Doctolib.

>>>> Le manque de transparence de la politique de confidentialité de Doctolib, multipliant les documents qui précisent les conditions d'exploitation des données collectées.

>>>> Lorsque des personnels de santé utilisent Doctolib, ce service accède à la liste complète de leur patientèle alors que les créneaux libres suffiraient.

>>>> L'usage de cookies publicitaires permet à de nombreuses entreprises telles que Google, Twitter, Instagram, Facebook,

LinkedIn, Medium et YouTube d'être informées quand un rendez-vous est pris par un patient. Facebook et Outbrain ont eu accès aux données des utilisateurs de Doctolib. Toutes ces firmes minimisent la chose et, depuis, l'emploi des cookies serait supprimé. Il est certain que Doctolib recouvre d'un voile cette épisode.

>>> La fusion de données de santé sur des patients et patientes transmises par plusieurs personnels de santé, sans aucune suppression une fois que les données ne sont plus utiles pour la prise de rendez-vous.

>>> Ajoutons que **le patient ne peut pas obtenir un historique complet de ses données de santé** et cela contrairement à l'esprit du RGPD. En effet, Doctolib argue qu'il n'est pas hébergeur de santé. Il existe donc un hiatus légal que Doctolib pourrait traiter s'il le voulait mais qui, pour le moment, joue à l'encontre des intérêts des inscrits.

>>> Enfin, s'il y a eu des fuites par le passé, il apparaît que ce n'était le service en lui-même qui était vulnérable, mais **l'API permettant aux logiciels tiers de s'y connecter**. Cette API était notamment utilisée par des logiciels tiers de prise de rendez-vous ou de gestion d'agendas.

>>> Pour ceux qui veulent en savoir un peu plus, le lien de Doctolib est le suivant : community.doctolib.com/t5/custom/page/page-id/privacy-policy. Il est aisé de voir que si les hébergements principaux sont en Union européenne, un nombre non négligeable d'autres sont sous égide étrangère et en particulier aux États-Unis.

À l'été 2022, Doctolib lancera aussi un ersatz de WhatsApp permettant aux personnels de santé d'échanger des messages et documents de façon sécurisée sur leurs patients communs. Des projets autour de la téléconsultation, la télésurveillance et la santé mentale sont sous cloche.

Mais toutes ces critiques ne pèsent pas lourd, fort peu de médecins refusant Doctolib pour sa faiblesse vis à vis des listings privés.

Doctolib sauvegarde les données sur ses serveurs, ainsi que les autres logiciels en ligne. On peut obtenir, en le demandant, un

fichier **xls** des rendez-vous pris. On peut aussi sauvegarder en enregistrant chaque page d'agenda à partir de Chrome après avoir transitoirement débranché javascript.

En conséquence, les médecins sont des utilisateurs et des consommateurs. Ils ne sont pas garants des conditions numériques acceptées par les institutions. Ils se portent naturellement vers des solutions rapides, fiables, simples et qui sont susceptibles de renforcer leur attraction personnelle. En ce domaine, Doctolib fait le travail. L'omnipotence du service s'accompagne de manques et d'excès mais somme toute bien moins gênants que les tracas potentiels d'un secrétariat humain.

Les médecins en mal de patientèle ou de gestion de celle-ci aiment Doctolib car le système nourrit le carnet de rendez-vous, même au prix de près de 30 % de *no show*. De surcroît, ces médecins évitent le recours à une embauche d'assistant en présentiel ou distanciel.

C'est aussi un vrai dispositif de secours pour les patients et les pouvoirs publics, on amène la demande dans les trous du gruyère. Les amateurs de numérique et de réseaux sociaux adorent ce système qui supprime les longues attentes téléphoniques et parfois les réponses revêches d'une secrétaire *old fashion*.

Last but not the least, Doctolib entend "profiter" de la loi Pacte qui introduit la qualité de société à mission, permettant à une entreprise de déclarer sa raison d'être à travers plusieurs objectifs sociaux et environnementaux. Le tour est joué, Doctolib ne fait pas de publicité, ne vend pas ses données et ne vit que d'abonnements... quoi de plus conforme au RSE ?

Au fond, ce qui a assuré le succès de Doctolib, c'est de ne pas partir du socle médical mais de la fonction de service au patient. Le terme Doctolib est un peu trompeur. C'est le demandeur qui est libre, le professionnel libéral ou non a les pieds dans le béton et n'a comme choix que de moduler à la marge l'emprise qu'il subit, c'est la règle des services numériques.

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



T. BOUR
Président du Syndicat national
des ophtalmologistes français.
thbour57@gmail.com

M. ASSOULINE
Centre Iéna Vision, PARIS,
Clinique de la Vision/OneClinic –
Groupe Visya, PARIS,
Mikajaki SA, PLAN-LES-OUATES, Suisse.
dr.assouline@gmail.com



Partage des compétences et des tâches en santé visuelle

Cette interview du Dr Thierry Bour, Président du Syndicat national des ophtalmologistes français (SNOF), dont les propos ont été recueillis par le Dr Michael Assouline, a eu lieu dans le cadre de la conférence présentée lors du Grand Débat pendant le congrès Refractiv'News de Nice, le 1^{er} juillet 2022.

M. Assouline : Quelles sont les particularités du marché de l'optique en France ?

T. Bour : Le marché de l'optique français, très soutenu par les assurances complémentaires santé et un budget publicitaire annuel de plus de 1 milliard d'euros (60 euros par paire de lunettes, soit le double du prix de la consultation d'ophtalmologie au tarif conventionnel), est le plus actif d'Europe et toujours en forte croissance. En 2021, il s'est vendu 41 millions de verres correcteurs dans notre pays, soit 16,8 millions de premiers équipements de paires de lunettes correctrices (et 5 millions de paires solaires). Le chiffre d'affaires de l'optique était en 2021 de 6,7 milliards d'euros en France pour 67 millions d'habitants (contre seulement 5,9 en Allemagne pour 83 millions d'habitants et 2,9 en Italie pour 59 millions d'habitants). Cela est à comparer aux 2 milliards de dépenses non optiques de la santé visuelle couvrant le diagnostic ou les soins et 1 milliard pour la chirurgie. En 13 ans, la vente de montures a progressé de 95 % et celle de verres correcteurs de 117 % alors que, dans le même temps, la population n'a augmenté que de 5,4 % !

Ce marché de l'optique va cependant se durcir. La loi a abaissé par deux fois en quelques années les niveaux de remboursements. Ceux-ci ne sont plus possibles que tous les 2 ans (en l'absence d'évolution réfractive), et les remboursements pour les contrats complémentaires responsables sont désormais plafonnés à 420 euros pour les corrections simples et 800 euros pour les corrections complexes, dont 100 euros maximum pour la monture. Les mutuelles ont, par ailleurs, poussé leurs

cotisants à entrer dans des parcours de soins chez des opticiens agréés. Le remboursement des montures baisse à 30 euros dans le panier A 100 % Santé.

M. A. : Quelle est le retour d'expérience de l'autorisation du renouvellement optique par les opticiens ?

T. B. : Environ 12 % des lunettes sont renouvelées chez l'opticien et 76 % des patients déclarent préférer revoir leur ophtalmologiste à chaque fois. Une étude qui sera publiée prochainement montrera une tendance à l'augmentation de cette préférence pour l'ophtalmologiste. Les ophtalmologistes ne sont que 2 % à refuser systématiquement le renouvellement sur cette prescription et 3 % à le faire "souvent". De nouveaux champs d'intervention sont donc à l'étude pour les opticiens (Ehpad, domicile, entreprises, permis de conduire...) et devraient accélérer la réforme de leur cursus en 3 ans au lieu de 2.

M. A. : Les orthoptistes sont-ils en train d'acquérir la compétence généralisée pour une primo-prescription optique ?

T. B. : Le protocole RNO (Renouvellement d'Optique) en application depuis 2018, avec une cotation de l'acte valorisée de 28 euros (sans dépassement d'honoraires), autorise les orthoptistes à réaliser un bilan visuel (détermination de l'acuité visuelle et de la réfraction, recherche du déséquilibre oculomoteur, mesure du tonus oculaire avec un tonomètre à air au-delà de 16 ans, rétinographie) au sein du cabinet en l'absence de l'ophtalmologiste dans le cadre du renouvellement ou de l'adaptation des corrections optiques pour les patients de 6 à 50 ans :

- connus et suivis par le cabinet d'ophtalmologie ;
- dont la dernière consultation avec l'ophtalmologiste remonte à moins de 5 ans ;
- sans autre pathologie oculaire associée ;
- sans œil rouge et/ou douloureux ;
- sans baisse de vision profonde, brutale ou récente.

Le protocole dérogatoire RMN (Maurine) permet aux professionnels inscrits à l'Agence régionale de santé de transposer ce dispositif en télémedecine depuis 2018 pour les patients sans pathologie ayant vu un ophtalmologiste depuis moins de 5 ans. L'orthoptiste réalise l'ensemble du bilan visuel prévu au protocole au sein d'une structure à distance (maison de santé pluridisciplinaire, centre de santé, cabinet d'orthoptie, cabinet d'ophtalmologie secondaire) et transmet les résultats du bilan par télétransmission sécurisée à l'ophtalmologiste exerçant en lien avec la structure, sans présence du patient. L'ophtalmologiste interprète les résultats et envoie la prescription au patient sous 8 jours. La prise en charge sans dépassement est également de 28 euros. Ce protocole pourrait être modifié dans les prochains mois.

L'autorisation de prescrire une correction optique en première intention sans bilan ophtalmologique, inscrite dans le projet de la loi de financement de la Sécurité sociale (article 68 du 26/12/2021), a suscité un vif débat législatif. Le rejet unanime par les instances médicales (SNOF, Conseil national professionnel d'ophtalmologie, Association nationale des jeunes ophtalmologistes, syndicats, Conseil national de l'ordre des médecins, Fédération des spécialités médicales...), conjugué à une réduction récente très importante des délais de rendez-vous chez l'ophtalmologiste, a entraîné une inversion du

calendrier de l'Inspection générale des affaires sociales (IGAS) et cette mesure a été retardée dans son application à l'automne. Elle concernera la prescription de lunettes et lentilles souples de $-2,75$ à $+2,75$ D avec mention "prescription non médicale" encadrée par une liste de contre-indications. Dès la rentrée, les compétences des orthoptistes seront élargies au dépistage des enfants amblyopes (9 à 15 mois) et aux troubles de la réfraction de l'enfant (2,5 à 5 ans).

D'autres protocoles en collaboration avec l'ophtalmologiste sont prévus (renouvellement optique de 50 à 65 ans, suivi en alternance des glaucomes stabilisés). Au total, cela pourrait concerner jusqu'à 500 000 patients par an...

M. A. : Qu'en est-il du futur rôle des orthoptistes dans la prise en charge non optique des patients ?

T. B. : Un élargissement du RNO est en cours de validation avec la Caisse nationale d'Assurance Maladie (Cnam) pour une rémunération dans un cadre commun et pourrait concerner 150 000 patients par an, dont 50 000 pour le suivi des glaucomes stabilisés.

M. A. : L'ophtalmologie est une spécialité pionnière de référence pour le reste de la médecine pour l'organisation

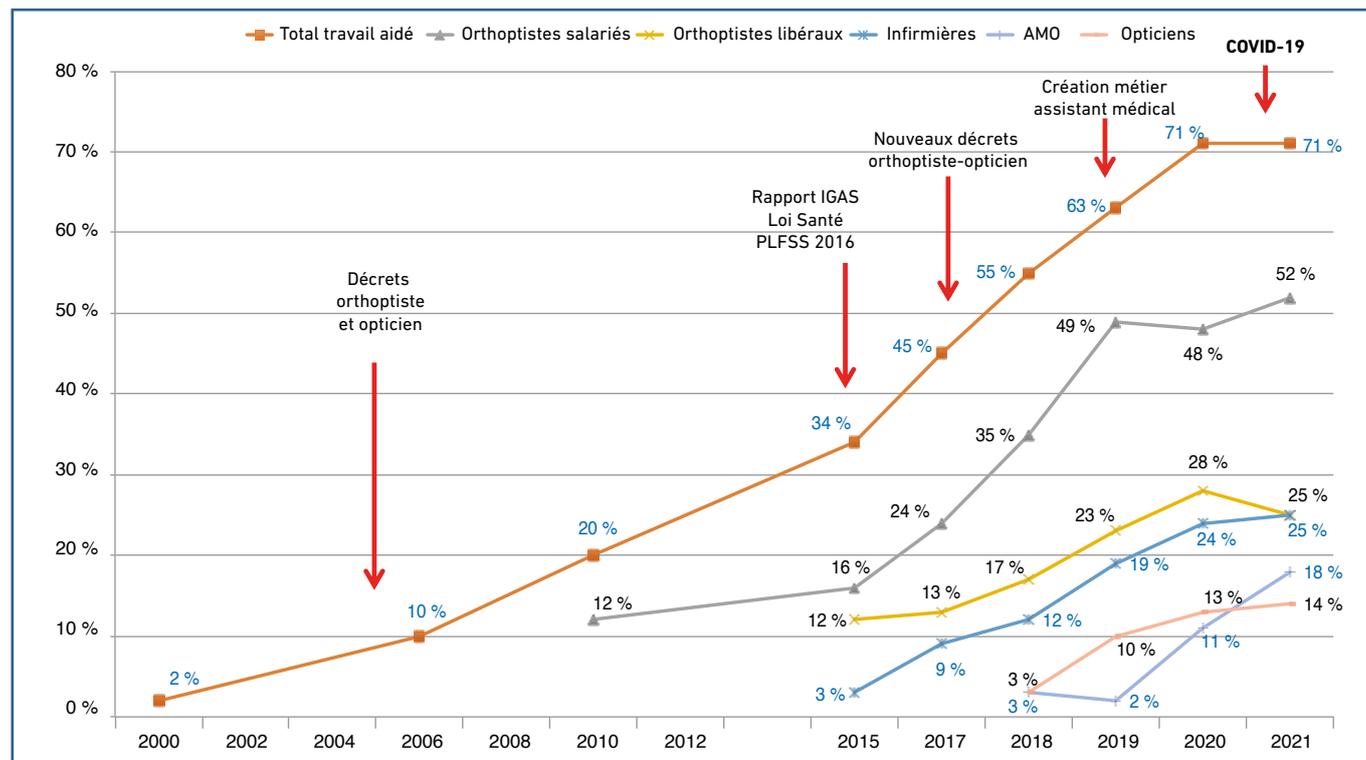


Fig. 1 : Évolution du travail aidé en ophtalmologie. Source SNOF : enquête annuelle adhérents (taux de réponses : 60 à 80 % suivant les années).

multidisciplinaire de la filière de santé visuelle, sous forme de travail aidé. Comment se profile l'évolution du travail en équipe au sein des cabinets d'ophtalmologie ?

T. B. : Le travail aidé est à présent quasi généralisé (83 %) pour les cabinets de plus de 3 ophtalmologistes. On assiste à une accélération et une diversification soutenue depuis le rapport de l'IGAS 2015, qui fait appel à la collaboration d'orthoptistes salariés (2 166, +9 % en 2020) ou libéraux (740, -20 %), d'infirmières (600, +73 %), et plus récemment d'assistants en ophtalmologie (665, +136 %, autorisés à exercer mais dont la formation en ophtalmologie est en voie de finalisation) et d'opticiens (267, +18 %, à présent légalement autorisés dans les cabinets ; *fig. 1*). Le travail aidé concerne plus de 3 ophtalmologistes sur 4 au sud de la Loire et en Bretagne, avec une très forte progression depuis 2019 en Franche-Comté et dans les Hauts-de-France.

M. A. : Cela a-t-il eu l'impact souhaité sur les statistiques d'activité médicale ?

T. B. : Selon la Cnam en 2021, les ophtalmologistes ont examiné 20,3 millions de patients (30,3 millions de séances d'exams), soit 17 % de plus qu'en 2013 pour un accroissement de population de 3,3 %. La réalité est encore plus importante car les ophtalmologistes essaient à présent de régler les problèmes en une seule séance, quand ils faisaient revenir les patients plusieurs fois il y a une quinzaine d'années. Le travail aidé n'est pour l'instant qu'à 56 % de son potentiel et devrait croître pendant encore 8 à 10 ans.

M. A. : L'assouplissement du contexte réglementaire de l'ouverture de centres de santé en ophtalmologie a-t-elle porté ses fruits ? Que penser des dérives observées récemment ?

T. B. : Ces centres de santé sont apparus en 2018 sous l'impulsion de la ministre Marisol Touraine, avec l'intention politique de créer rapidement une offre de soins en santé visuelle au tarif conventionnel et en tiers payant, et ainsi de réduire ou mettre fin aux "dépassements d'honoraires" pratiqués par la majorité des spécialistes afin de compenser le désengagement progressif du remboursement des soins de ville par l'Assurance Maladie et les assurances complémentaires santé. Un des premiers effets pervers de cette réforme a été de donner une fausse impression de gratuité des soins aux patients, alors que la facture réelle pour l'Assurance Maladie est souvent très élevée.

Cette financiarisation de l'exercice médical (détention des centres par des non-médecins, adossés à des investisseurs,



Fig. 2 : Publicité non déontologique des centres de santé ophtalmologiques.

pratiques commerciales publicitaires non encadrées par la déontologie médicale ; *fig. 2*) ainsi que des mesures "réglementaires" favorables (cotation des actes d'orthoptie, suppression de la notion de temps pour les bilans) ont également encouragé une course au profit et dans certains cas des pratiques véritablement frauduleuses. Les enquêtes récentes de la Cnam et du SNOF ont montré que, loin de réduire la dépense ou de faciliter l'accès aux soins, ces centres se sont principalement installés dans les zones déjà bien pourvues et que la multiplication injustifiée des actes a plus que doublé le prix moyen de la prestation médicale constatée dans les cabinets médicaux conventionnels. On estime à plus de 150 millions d'euros le préjudice financier pour l'Assurance Maladie et les complémentaires depuis 2018.

M. A. : Comment se structurent les rémunérations actuelles des salariés de l'entreprise médicale en ophtalmologie ?

T. B. : La convention collective des cabinets médicaux a précisé 16 niveaux dans la grille salariale en fonction du type de formation, de la complexité du travail, de l'autonomie et de la dimension relationnelle imputée au salarié.

M. A. : Quel est le cadre réglementaire de la distribution des tâches au sein du cabinet d'ophtalmologie ?

T. B. : Actuellement, les secrétaires ne peuvent utiliser que le frontofocomètre et l'autoréfractomètre. Les orthoptistes peuvent également interroger les patients et mesurer l'acuité et la réfraction sans restriction, mais ne peuvent faire la tonométrie ou la rétinographie que sur prescription médicale ou sous protocole. Le *tableau 1* résume les spécificités pour chacun des professionnels.

M. A. : Quel est le cadre définissant la nouvelle fonction d'assistant en ophtalmologie ?

	Frontofocmètre/ autoréfractomètre	Interrogatoire	Mesure de l'acuité visuelle	Réfraction	Tonomètre sans contact	Rétinographies
Secrétaire	Autorisé sans restriction	Non autorisé	Non autorisée	Non autorisée	Non autorisé	Non autorisées
AM	Autorisé sans restriction	Autorisé sous la responsabilité du médecin	Autorisée sous la responsabilité du médecin	Sous conditions de formation et sous la responsabilité du médecin	Sous conditions de formation et sous la responsabilité du médecin	Sous conditions de formation et sous la responsabilité du médecin
Opticien	Autorisé sans restriction	Non autorisé	Autorisée sans restriction	Autorisée sans restriction	Non autorisé	Non autorisées
IDE	Autorisé sans restriction	Autorisé sans restriction	Autorisée sans restriction	Autorisée sous la responsabilité du médecin	Autorisé sous la responsabilité du médecin	Autorisées sous la responsabilité du médecin
Orthoptiste	Autorisé sans restriction	Autorisé sans restriction	Autorisée sans restriction	Autorisée sous protocole ou sur prescription médicale	Autorisé sous protocole ou sur prescription médicale	Autorisées sous protocole ou sur prescription cotation si diabète

Tableau 1 : Délégation des tâches en ophtalmologie.

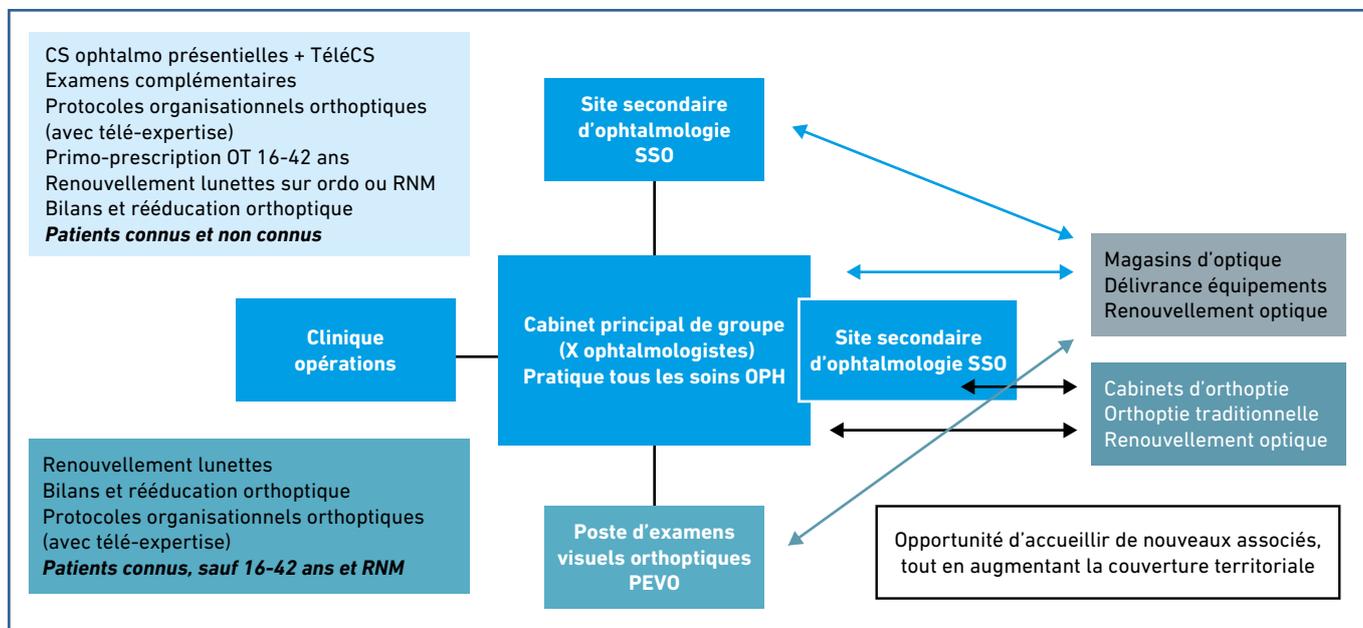


Fig. 3 : Organisation d'un pôle d'ophtalmologie libéral à développer sur les territoires.

T. B. : Cela résulte d'un contrat conventionnel fondé sur un certificat de qualification professionnelle (CQP) correspondant à un tronc commun de 384 heures d'enseignement et concerne les secrétaires médicales, les opticiens et les infirmières (pour lesquelles la formation n'est que de 112 heures). La formation est financée par l'OPCO-EP. Une formation complémentaire en ophtalmologie peut rentrer dans la formation professionnelle continue. Un stage en cabinet médical est obligatoire.

M. A. : Si les délais de rendez-vous en ophtalmologie semblent s'améliorer rapidement, notamment dans les villes de plus de 60 000 habitants, comment mieux répondre aux besoins des patients dans les territoires sous-dotés ?

T. B. : L'enquête du SNOF de 2020 (992 répondants) a précisé les préférences des ophtalmologistes en matière d'ouverture

de cabinet secondaire au plus près des besoins (patients âgés, mobilité réduite, pathologies plus lourdes). Seuls 2 % sont en faveur de l'ouverture de téléconsultations dans les magasins d'optique. Environ 23 % préfèrent l'installation d'une consultation de télémedecine animée par un orthoptiste sur place, reliée au cabinet principal, et 75 % plébiscitent le modèle d'un cabinet secondaire avec une présence intermittente de l'ophtalmologiste et la collaboration d'un orthoptiste sur place pour implémenter des protocoles validés. Ce modèle de pôle d'ophtalmologie libéral à développer dans les territoires est décrit dans la *figure 3*.

Les auteurs 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;
Fondatrice et Présidente de la SoFem.
cati@albou-ganem.com

Pourquoi la SoFem (Société ophtalmologique féminine française)?

En 2021, nous avons créé, avec Barbara Ameline et Marie Weissrock, la SoFem. La SoFem est née d'un constat – l'ophtalmologie est une spécialité féminine avec 52 % de femmes au début et à l'issue de leur cursus (SNOF, 2021) – et d'un paradoxe – il y a peu de femmes sur les podiums des congrès (5 à 15 %). L'idée était simple et le but à atteindre évident : redonner la parole aux femmes souffrant de cette exclusion comme leur absence des postes à responsabilité de notre discipline. Nous ne nous doutions pas que notre projet allait susciter autant de réactions négatives de la part de nos confrères et même consœurs qui n'avaient pas connaissance de ces chiffres.

Au même moment paraissait le livre d'Emmanuel Todd, *Où en sont-elles ? Une esquisse de l'histoire des femmes* (Le Seuil), retraçant les combats du féminisme à partir des années 1950 pour l'émancipation des femmes et leur entrée sur le marché du travail. Cependant, cette émancipation réussie et la volonté d'atteindre la parité dans tous les domaines de la vie professionnelle se heurtent malheureusement encore à une discrimination parfois inconsciente et à des comportements sexistes qu'une association nationale (Donner des ELLES à la santé) se charge chaque année de mettre à jour au travers d'un sondage Ipsos très révélateur. Et ce déséquilibre dans le partage du travail entre hommes et femmes est particulièrement présent dans ce qu'Emmanuel Todd nomme des "pôles de résistance", parmi lesquels il cite le corps médical et surtout l'ophtalmologie. Cette constatation ne relève, ni chez lui ni chez nous, d'un sentiment anti-masculin et toutes les femmes du conseil d'administration appartiennent à cette vague du féminisme sans rien devoir au mouvement #MeToo dont les exagérations conduisent à vouloir remplacer les hommes par les femmes.

Cette sous-représentation des femmes dans les congrès est multifactorielle : la vie de famille est chronophage, les congrès ont lieu le soir et pendant les week-ends, leur préparation se fait en dehors des heures de bureau et il est difficile de dégager

du temps si l'on n'est pas soutenu. Or, les femmes le sont moins que les hommes. Pourtant, participer à des congrès en tant qu'orateur est un avantage inestimable tant sur le plan professionnel que personnel. Il fallait trouver une solution pour aider, soutenir, parrainer et motiver les jeunes femmes ophtalmologistes afin de promouvoir leur parole pour prôner l'égalité des chances tout en enrichissant la communauté ophtalmologique par une plus grande diversité intellectuelle.

La SoFem a donc organisé son premier congrès en juin dernier et, devant le succès obtenu, il est prévu de renouveler chaque année cette journée. Mais, si nous cherchons sur le principe à promouvoir les femmes, les orateurs de cette réunion ne seront pas exclusivement des femmes. Seuls les membres du conseil d'administration le sont. En effet, nous ne voulons en aucun cas faire une société conçue par les femmes pour les femmes. Nous ne pourrions surmonter cette inégalité sans l'aide des hommes et sans une solidarité exemplaire.

Notons également que la SoFem est soutenue par un comité d'honneur uniquement masculin. Ce congrès est donc ouvert à tous car mixité doit rimer avec réciprocité. Et si plus de femmes se sentent pousser des ailes grâce à nous, alors nous aurons atteint notre but. Et surtout, nous aurons définitivement gagné lorsque l'accès aux postes à responsabilité des femmes ophtalmologistes et leur présence sur les podiums se rapprochera en pourcentage de celui de leurs collègues masculins.

Pour l'instant, être une femme dans notre milieu, comme dans beaucoup d'autres, impose de surmonter de nombreuses difficultés. Nous voulons en faire une force pour toutes celles qui pensent aujourd'hui qu'il est trop difficile, voire impossible, d'avoir les mêmes opportunités que les hommes dans leur domaine professionnel. Et c'est ainsi que l'exemple des grandes figures féminines de l'ophtalmologie française apportera la preuve que les femmes auront désormais toutes les possibilités pour reconquérir le terrain perdu.



A. NICOLAS-BOLUDA
One Clinic, PARIS.
alba.nicolas-boluda@one.fr

Quel avenir pour la chirurgie réfractive ?

Plus d'un tiers de l'humanité a besoin d'une correction visuelle, soit 2,3 milliards de personnes dans le monde. Entre vieillissement de la population et temps passé sur les écrans, ce chiffre devrait atteindre 3,3 milliards en 2030 [1]. La demande mondiale de chirurgie réfractive devrait croître à un taux annuel de 6,6 % dans les quatre années à venir selon le Refractive Surgery Market Report de 2021. Son volume actuel de 4 millions de procédures par an dans le monde devrait atteindre les 6 millions en 2026.

Face à ces prédictions, quelles évolutions peut-on envisager pour la chirurgie réfractive ?

■ Un besoin en forte augmentation

1. Vieillesse de la population

L'augmentation constante de la durée de vie s'accompagne d'un vieillissement de la population et d'un plus fort besoin en soins – particulièrement ophtalmologiques. Ce phénomène est notamment observable dans les pays en fort développement. Ainsi, les États-Unis, la Chine et la Corée du Sud promettent de belles opportunités au marché de la chirurgie réfractive pour le grand âge.

En France, il sera cependant difficile de faire face à l'augmentation de la demande à cause de la pénurie de personnels qualifiés (une baisse de 8 % en 5 ans du nombre d'ophtalmologues dans l'Hexagone) et du manque d'installations de soins pour les traitements oculaires.

Ce défi se présente particulièrement dans les déserts médicaux : d'après le Rassemblement des opticiens de France (ROF), 25 millions de Français vivent dans des déserts médicaux visuels [2].

2. Effet COVID

Bien que la consultation de chirurgie réfractive ait considérablement diminué pendant la pandémie, on constate à présent un fort rebond lié à la situation financière et aux habitudes des patients. Ce rebond est très sensible par rapport aux autres spécialités.

Pour ceux qui n'ont pas été trop dépensiers sur internet, le confinement a permis d'épargner : 2021 a été une année record pour l'épargne des ménages en France, une manne dont bénéficient aujourd'hui les dépenses dites "de confort" telles que les opérations de la myopie.

Surtout, avec la nécessité du télétravail, la généralisation du port du masque et l'augmentation du temps passé sur écrans, les gens ont expérimenté les limites des dispositifs optiques : les porteurs de lunettes ont connu les désagréments de la buée, alors que les porteurs de lentilles ont souffert de sécheresse oculaire [3].

Le développement de la myopie a été encouragé par la réduction des activités de plein air, souvent remplacées par du temps sur écran [4, 5]. De l'autre côté, l'accès aux soins a été facilité, grâce à la démocratisation de la téléconsultation et au travail à distance, dont les horaires plus flexibles offrent davantage de liberté pour fixer des rendez-vous médicaux.

On observe également un effet durable de la pandémie, un sentiment d'imprévisibilité pour de nombreux patients qui se demandent "quand, si ce n'est pas maintenant ?" Ce changement d'état d'esprit se manifeste par une augmentation du volume des chirurgies de la réfraction, mais aussi par une augmentation des taux de conversion vers des lentilles de qualité supérieure [6].

■ Des solutions en constante amélioration

1. Amélioration technique

Les nouveaux lasers, dotés d'une meilleure ergonomie opératoire, permettent des opérations plus sûres et rendent la chirurgie réfractive accessible à davantage de patients. La technologie Lasik en particulier fait désormais partie des plus utilisées. Il faut y ajouter l'essor remarquable des implants phaqes de chambre postérieure pour la correction des myopies fortes et des implants multifocaux pour la presbytie.

2. Plus de confiance

Il y a en médecine un "effet réseau" : les patients vont être rassurés par l'exemple de pairs. Plus les succès se multiplient, plus les patients hésitants vont être amenés à se laisser convaincre. D'autant qu'avec plus de 30 ans de recul maintenant, ces technologies ont prouvé leur fiabilité et leur efficacité.

Avec un besoin en forte augmentation et des solutions en constante amélioration, le marché de la chirurgie réfractive est donc promis à un bel avenir. Son principal défi dans les

années à venir sera la mise en relation : être capable de fournir une réponse satisfaisante aux nouvelles demandes des patients. Les cliniques privées, telles que la Clinique de la Vision, joueront un rôle certain dans la lutte contre les déserts médicaux en faisant face à la demande, tout en améliorant la prise en charge globale des patients.

Bibliographie

1. HOLDEN BA, FRICKE TR, WILSON DA *et al.* Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*, 2016;123:1036-1042.
2. www.rassemblementopticiens.fr/blog/espace-presse/cp-acces-aux-soins-visuels-desastre-en-vue-19-juillet-2021 (consulté le 4/04/2022).
3. PANDEY SK, SHARMA V. Mask-associated dry eye disease and dry eye due to prolonged screen time: are we heading towards a new dry eye epidemic during the COVID-19 era? *Indian J Ophthalmol*, 2021;69:448-449.
4. WONG CW, TSAI A, JONAS JB *et al.* Digital screen time during the COVID-19 pandemic: risk for a further myopia boom? *Am J Ophthalmol*, 2021;223:333-337.
5. ENTHOVEN CA, TIDEMAN JW, POLLING JR *et al.* L'impact de l'utilisation de l'ordinateur sur le développement de la myopie dans l'enfance : l'étude Generation R. *Prev Med*, 2020;132:105988.
6. CUMMINGS A, DAYA S, LAHOOD B *et al.* Refractive recovery and COVID-19 roundtable, 26 juin 2020.

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



M. ASSOULINE^{1,2,3}, O. SHUKRON³

¹ Centre Iéna Vision, PARIS.

² Clinique de la Vision/OneClinic – Groupe Visya, PARIS.

³ Mikajaki SA, PLAN-LES-OUATES, Suisse.

dr.assouline@gmail.com

Évolution des indications de chirurgie à la Clinique de la Vision de Paris de 1999 à 2021 : à propos de 118 214 cas consécutifs

L'activité chirurgicale de la Clinique de la Vision de Paris, premier centre de chirurgie réfractive français fondé en 1998 par 7 chirurgiens ophtalmologistes (Dan Lebuissou, Jean-Jacques Saragoussi, Dominique Piétrini, Cati Albou-Ganem, Alain Abenheim, Michael Assouline et Guy Montéfiore), s'est considérablement étoffée et diversifiée depuis 20 ans avec l'adoption – le plus souvent pionnière et décisive pour la communauté chirurgicale française – des nouvelles méthodes rendues disponibles par les progrès techniques de la chirurgie réfractive.

Nous avons analysé les intitulés des comptes rendus opératoires de la Clinique de la Vision archivés dans le logiciel médical Oplus (Alor) de l'établissement afin d'évaluer

l'évolution des pratiques chirurgicales de 1999 à 2021. Nous avons identifié 4 081 intitulés distincts, liés à la grande variabilité des dénominations techniques successives et à l'absence de normalisation formelle imposée aux secrétaires médicales en charge de la saisie. Nous avons donc utilisé une méthode semi-automatisée d'intelligence artificielle textuelle (*text mining*) pour assigner chacun de ces intitulés à l'une des 16 principales catégories chirurgicales retenues.

La **figure 1** détaille, par année, le pourcentage d'intervention de chaque catégorie sur un total de 118 214 cas opérés par un collectif de 102 chirurgiens (environ 70 % de l'activité a été réalisée par les 7 fondateurs). Le taux général de retouches chirurgicales, reflétant la précision et la sécurité des corrections

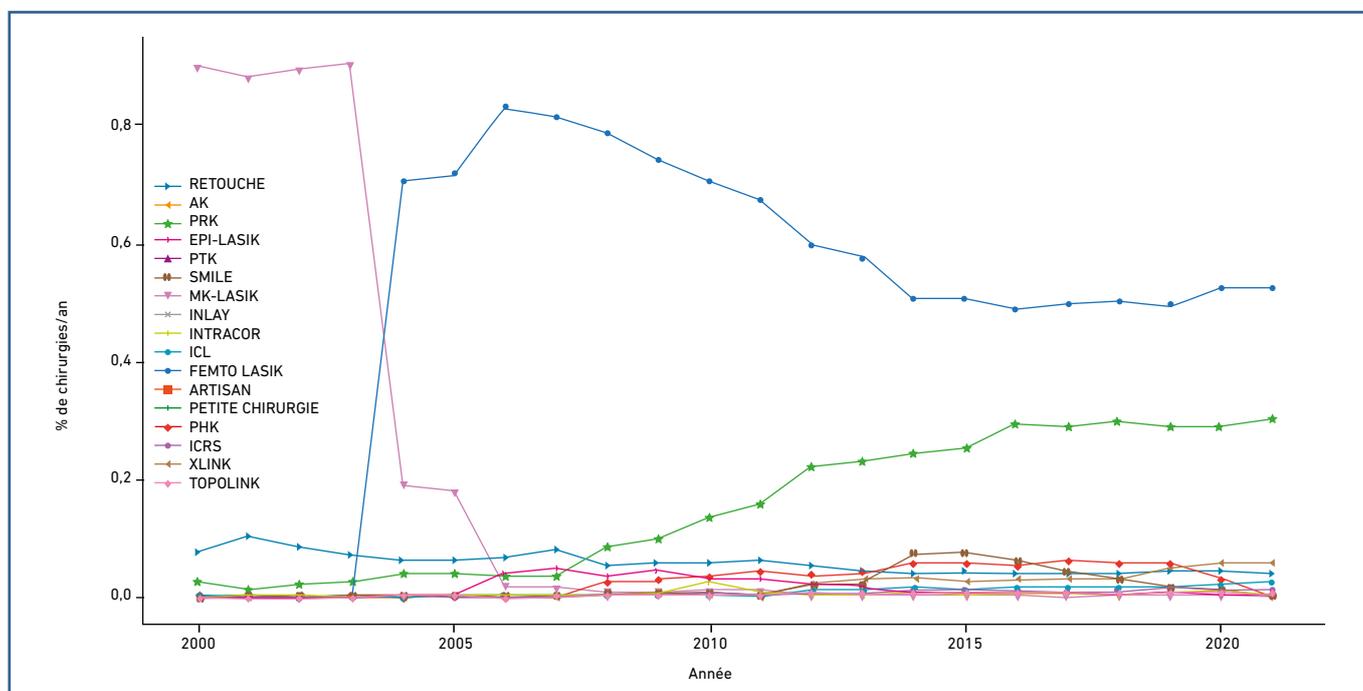


Fig. 1.

réfractives obtenues en première intention, s’est amélioré dans le temps, passant de 10 % en 2001 à 4 % en 2021.

Compte tenu du volume de cas et du caractère abrégé des intitulés, nous n’avons pas été en mesure de détailler certaines indications spécifiques (par exemple : utilisation de la mitomycine, traitement guidé par l’aberrométrie, PresbyLasik par modulation du facteur Q vs PresbyLasik Supracor vs Prelex, indications de photoablation thérapeutique [PTK], femtocataracte, photokératectomie réfractive [PKR] transépithéliale...).

■ Chirurgie de la myopie

La **figure 2** indique avec plus de lisibilité la répartition annuelle des méthodes correctrices de la myopie.

Initialement, l’activité était dédiée presque exclusivement à la correction de la myopie (de -1 à -15 D) par la technique du Lasik, réalisée avec un microkératome de type Hansatome (**MK-Lasik**). Le Lasik, apparu en 1995, a en effet rapidement détrôné la PKR, introduite en 1990, en raison d’un meilleur

confort et d’une réhabilitation visuelle plus rapide, et était devenu largement majoritaire en 1999 avec 96 % des cas. À partir de 2001, la Clinique de la Vision a été le centre français pionnier de la chirurgie de la myopie par traitement personnalisé “sur mesure” guidé par l’aberrométrie, qui reste aujourd’hui la référence, notamment pour le traitement de l’astigmatisme et l’amélioration de la qualité de vision par la correction des aberrations optiques d’ordre supérieur.

En 2004, la Clinique de la Vision a été également le premier établissement français à s’équiper du laser femtoseconde IntraLase pour la préparation des volets cornéens du Lasik. Le **FemtoLasik**, beaucoup plus performant et fiable, a rapidement détrôné les microkératomes mécaniques de l’époque, contribuant à éradiquer les rares incidents de découpe (*button holes*, capots libres, découpe centrale, décentrement), les problèmes inflammatoires (SOS-DLK) et les déformations cornéennes induites par l’imprécision de la profondeur de découpe des systèmes mécaniques (ectasie cornéenne).

Au fil des années, les publications scientifiques, notamment la méta-analyse de Randelman, ont cependant attiré l’attention

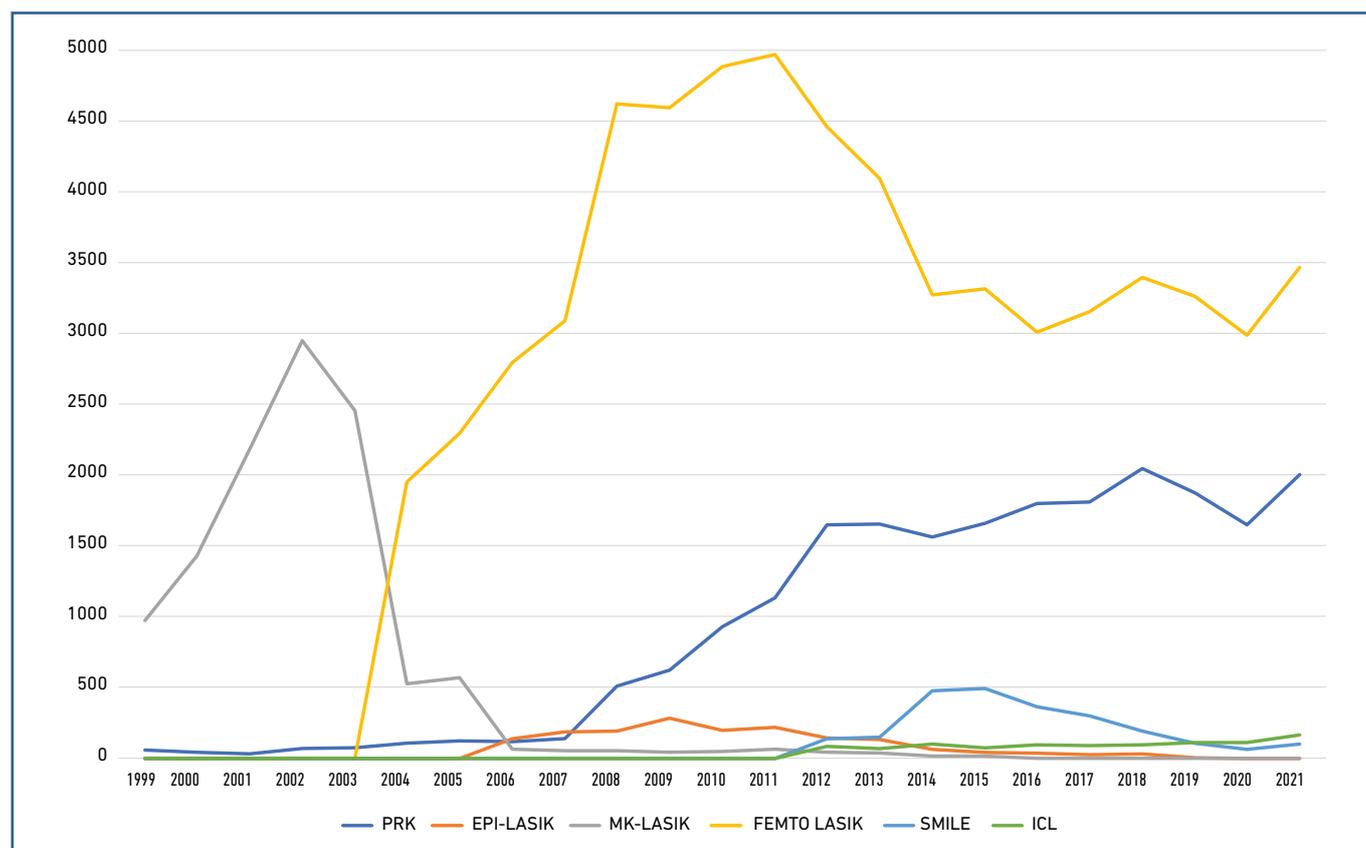


Fig. 2 : Méthodes de chirurgie réfractive (n = 103 110).

sur le problème des ectasies cornéennes post-Lasik dont l'incidence à 5 ans était d'environ 1 cas sur 500 à 1 000 opérés. L'accompagnement postopératoire de la PKR s'est par ailleurs amélioré pour la prise en charge de la douleur par indométacine soluble topique et codéine orale, ainsi que pour la prévention de la régression cicatricielle par mitomycine C topique intraopératoire. Les chirurgiens ont de ce fait augmenté progressivement la proportion de correction par PKR, en excluant notamment du Lasik les patients présentant des myopies faibles (< 2 D) ou des facteurs de risque d'ectasie (cornée fine inférieure à 500 µm, kératométrie élevée > 46,50 D, topographie suspecte, âge jeune < 25 ans, kératocône chez un apparenté au 1^{er} degré), jusqu'à atteindre un taux de 40 % environ actuellement. Ce choix sécuritaire est sans doute un peu excessif. On estime en effet que la proportion de kératocône à l'origine des ectasies post-Lasik n'est que de 3 pour 1 000 dans la population générale et de 3 à 7 % chez les candidats à la chirurgie réfractive.

L'adoption de l'**EpiLasik**, une variante de la PKR mécanisée apparue en 2003, par quelques chirurgiens du groupe a été de courte durée en l'absence de bénéfice médical significatif démontré.

L'apparition en 2012 de l'ablation stromale lenticulaire (Flex/Smile Relex au laser Visumax Zeiss) a en revanche suscité un intérêt plus soutenu. Les avantages mis en avant par les promoteurs de la méthode (préservation de l'intégrité mécanique et neurale de la cornée avec réduction ou suppression du risque d'ectasie et de sécheresse associées au Lasik), l'élégance de la procédure (un seul laser femtoseconde pour toute la procédure) et la promesse de combiner la sécurité de la PKR avec le confort du Lasik ont initialement séduit une majorité d'opérateurs. Cependant, le taux plus important d'incidents peropératoires (notamment découpe incomplète, rétention de fragments de lentille) ou postopératoires (invasion épithéliale), la moindre précision réfractive (environ 92 % de résultats "parfaits" contre 98 % pour le Lasik ou la PKR), l'apparition de cas rapportés d'ectasie post-Smile dans la littérature et la difficulté technique des retouches pour convertir le Smile en Lasik (logiciel c-Circle) n'ont pas convaincu à long terme et le Smile n'est actuellement plus pratiqué à la Clinique de la Vision que très occasionnellement, par quelques opérateurs seulement.

L'évolution la plus récente et significative en chirurgie de la myopie est l'abandon des implants phaqes de chambre antérieure à appui angulaire (ZB5M, Icare, Cachet) ou à fixation irienne (**Artisan/Artiflex**) au profit des implants phaqes de chambre postérieure (**ICL** Visian Staar), et leur adoption

croissante pour la correction des myopies fortes et dans les cas pour lesquels les méthodes ablatives (Lasik, PKR, Smile) semblent moins favorables (cornée trop fine, trop peu cambrée ou suspecte). Les ICL ont dépassé le Smile en 2020, mais restent encore assez limités en volume du fait de la nécessité d'une formation chirurgicale plus spécifique (courbe d'apprentissage), à laquelle la majorité des chirurgiens de la Clinique de la Vision n'a pas encore souscrit.

Depuis 2021, la technique de PKR transépithéliale tend également à remplacer la désépithélialisation manuelle du fait de sa simplicité, sans que les bénéfices en termes de rapidité de la cicatrisation ou de précision réfractive ne soient encore complètement établis.

■ Chirurgie multifocale de la presbytie

Plusieurs méthodes de chirurgie multifocale de la presbytie ont été mises en œuvre à la Clinique de la Vision depuis 1998.

La méthode la plus employée reste le PresbyLasik, à la suite des travaux pionniers de Chaubard et de Ghenassia (Nice), relayés par nous-mêmes à partir de 1999. Malgré de fortes réticences initiales, notamment universitaires, le Lasik multifocal est aujourd'hui très largement utilisé sous diverses formes commerciales, pour les hypermétropes de plus de 45 ans. Plusieurs modalités ont été proposées et notamment :

- l'application séquentielle de 2 profils ablatifs complémentaires avec des zones optiques différentes, parfois décentrées en inférieur pour favoriser des aberrations optiques d'ordre supérieur défocalisantes (aberration sphérique et coma) ;
- la modulation de l'aberration sphérique du front d'onde par la modification contrôlée de l'asphéricité cornéenne (modulation du facteur Q par la méthode du C4 constant) au laser Wavelight Allegretto ;
- le traitement réfractif multizone intégré Supracor plus récemment.

Le kératokyphosis intrastromal au laser femtoseconde (**Intracor**), introduit par Ruiz en 2009 et proposé pour le traitement des emmétropes presbytes, a eu un certain succès en raison des excellents résultats observés chez 80 % des opérés, notamment de la meilleure préservation de l'acuité visuelle de loin non corrigée par rapport au PresbyLasik, mais cette méthode a été assez rapidement abandonnée en raison d'une population candidate assez réduite, de fréquentes difficultés de réalisation (centrage), d'une imprédictibilité relative de la découpe intrastromale et de la stabilité de la forme cornéenne

à long terme (myopisation progressive observée dans quelques cas isolés).

Les **inlays** cornéens réfractifs ou sténopéïques, de type Kamra acufocus (apparus en 2011), sont abandonnés aujourd’hui en raison des problèmes relativement prévisibles de mise en œuvre (centrage), de qualité de vision obtenue (limitation du champ visuel et de l’acuité dynamique par l’effet sténopéïque), et surtout de la mauvaise tolérance stromale antérieure et épithéliale à long terme liée aux interférences métaboliques des implants avec la physiologie cornéenne.

La chirurgie cristallinienne (**Phaco**) avec implantation multifocale pour la compensation de la presbytie (Prelex) est une approche de plus en plus populaire, limitée cependant par la perception classique des risques vitréorétiniens de la méthode. Réalisée à la Clinique de la Vision dans un bloc opératoire techniquement aux normes les plus exigeantes mais sous anesthésie topique pure non potentialisée, en dehors de la présence d’un anesthésiste ou d’une structure d’établissement de soins conventionnelle, cette technique s’est révélée parfaitement fiable et confortable pour les patients pendant plus de

20 ans sur près de 4 000 cas. L’évolution récente du contexte administratif et réglementaire français en interdit actuellement autoritairement l’usage en dehors des établissements de soins conventionnés, dans l’attente d’accords dérogatoires spécifiques qui devraient prochainement reconnaître l’évolution consensuelle internationale des pratiques chirurgicales dans ce domaine, en faveur d’une simplification légitime de la prise en charge des patients.

■ Autres indications

L’activité de la Clinique de la Vision s’est par ailleurs étendue rapidement à d’autres domaines que celui de la chirurgie de la myopie et de la presbytie :

>>> Chirurgie de l’hypermétropie par Lasik ou PKR.

>>> **PTK** au laser Excimer pour le traitement de surface des pathologies de la cornée : kératalgies épithéliales récidivantes, dystrophie de cornée superficielle (type Groenouw 1 ou Reis-Bücklers) ou plus profondes (type Biber-Haab-Dimmer ou

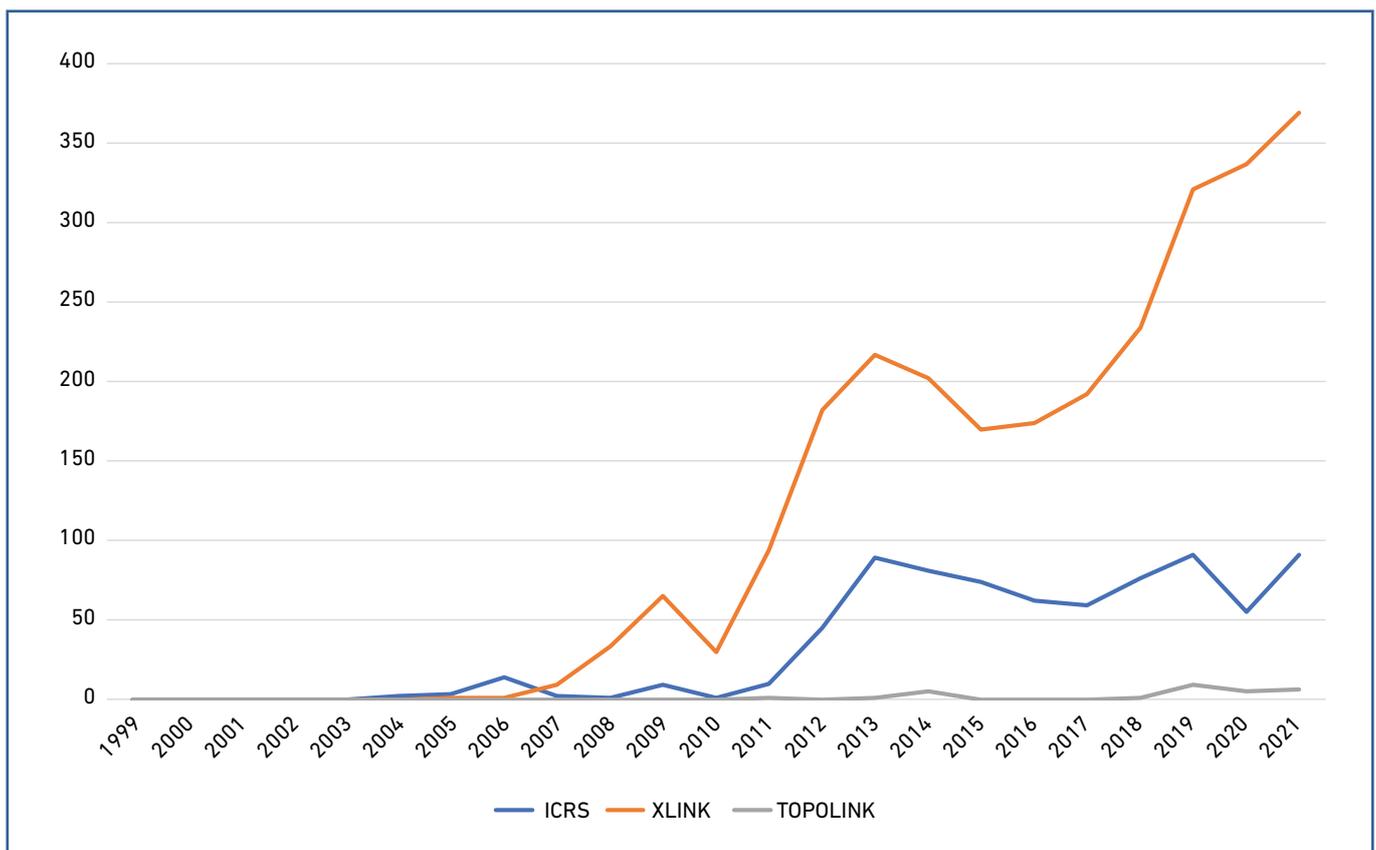


Fig. 3 : Indications des traitements du kératocône (n = 3 529).

Groenouw 2), leucome et cicatrices, lésions métaplasiques surélevées (type dégénérescence nodulaire de Salzmann, îlots de Fuchs du pterygion ou nodule apical du kératocône)...

>>> Chirurgie de l'astigmatisme de haut degré, isolée ou combinée au Lasik de façon séquentielle par incision relaxante arciforme au laser femtoseconde (*arcuate incisions* ou **AK**), notamment dans le traitement des astigmatismes sur greffe de cornée.

>>> Chirurgie du kératocône (*fig. 3*):

- par implantation de segments intracornéens (**ICRS** de type Intacs puis Keratacs puis actuellement Keraring). À noter que le nombre de cas d'ICRS indiqué est très inférieur au total des cas traités, une large majorité des patients ayant eu la réalisation de la tunnelisation au laser femtoseconde à la Clinique de la Vision mais l'implantation des ICRS dans des cliniques conventionnées afin de permettre d'obtenir un remboursement partiel de la procédure par l'Assurance Maladie;
- par *crosslinking* stromal cornéen (**XLINK**);
- par photoablation thérapeutique au laser Excimer guidée par l'aberrométrie ou la topographie cornéenne (**Topolink**).

>>> Chirurgie de la cataracte thérapeutique ou réfractive (**Phaco**) réalisée principalement aux ultrasons ou, pendant quelques temps, au laser femtoseconde Victus Bausch + Lomb.

■ Conclusion

La Clinique de la Vision de Paris a été en première ligne de la maîtrise de l'innovation en chirurgie réfractive en France et en Europe, grâce à l'esprit académique de progrès qui anime son équipe médicale depuis l'origine et au soutien constant de ses nombreux partenaires industriels. Cette volonté de mettre au service des patients les méthodes les plus avancées a fait le succès de l'établissement, toujours leader du marché français depuis 1999, et assuré son rayonnement national et international. La prise de participation majoritaire dans la Clinique de la Vision de Paris par l'investisseur institutionnel OneClinic devrait contribuer à renforcer cette démarche d'innovation et de qualité des soins en chirurgie réfractive.

O. Shukron et M. Assouline sont respectivement chief artificial intelligence data science and computer vision et cofondateur de Mikajaki.



M. ASSOULINE, avec la participation de A. ABENHAIM, C. AKNIN, C. ALBOU-GANEM, B. AMELINE, E. ALUMEN OHANNA, D. CHONG-SIT, F. COSTANTINI, J. COULLET, V. CIMEGLIO, P. LORIAUT, L. MOYAL-ROUCH, E. PETIT, B. ROUQUIE, M. SELLAM, L. VISSAC, P. WAGNER et 27 chirurgiens des Cliniques de la Vision...

Enquête sur les pratiques de chirurgie réfractive des chirurgiens des Cliniques de la Vision

Nous avons adressé par mail et par SMS un lien permettant aux 163 chirurgiens des Cliniques de la Vision de répondre à un questionnaire en ligne (webquest.fr) sur leurs habitudes et leurs pratiques de chirurgie réfractive. Nous avons reçu 44 réponses. Voici les résultats détaillés de ce sondage :

1. Parmi les méthodes réfractives suivantes, lesquelles pratiquez-vous au moins une fois par mois? (fig. 1)

(2 abstentions)

- PKR : 36 (86 %)
- PKR transépithéliale : 26 (62 %)
- Smile : 6 (14 %)
- FemtoLasik : 38 (90 %)
- PresbyLasik multifocal : 25 (60 %)
- Implant phake (ex. : ICL) : 15 (36 %)
- Prelex avec implants multifocaux : 24 (57 %)
- PTK au laser excimer : 10 (24 %)
- Segments intracornéens pour le kératocône : 9 (21 %)
- Cross-linking : 9 (21 %)
- TopoLink : 9 (21 %)
- Incisions relaxantes limbiques ou arciformes : 5 (12 %)

2. Parmi les méthodes suivantes, lesquelles prévoyez-vous d'utiliser de plus en plus dans l'avenir? (fig. 2)

(6 abstentions)

- PKR transépithéliale : 25 (66 %)
- Implant phake (ex. : ICL) : 17 (45 %)
- Prelex avec implants multifocaux : 18 (47 %)
- FemtoLasik guidé par l'aberrométrie : 21 (55 %)
- Smile : 3 (8 %)

3. Pratiquez-vous le Lasik en dessous de -1,25 D?

(1 absence)

- Non : 17 (40 %)
- Oui : 26 (60 %)

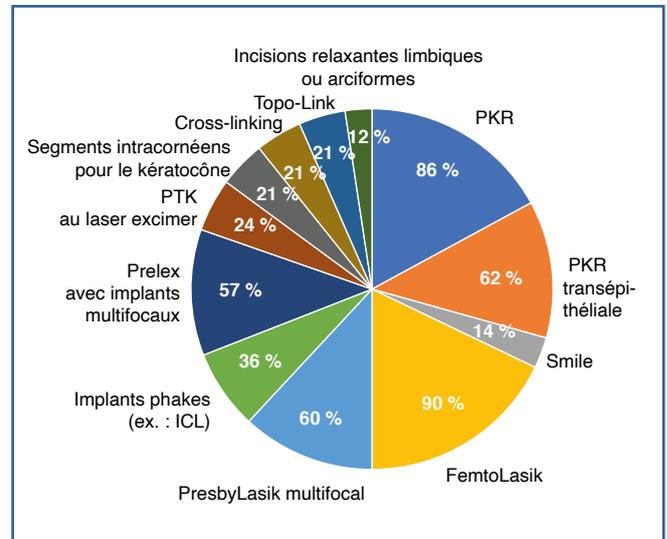


Fig. 1.

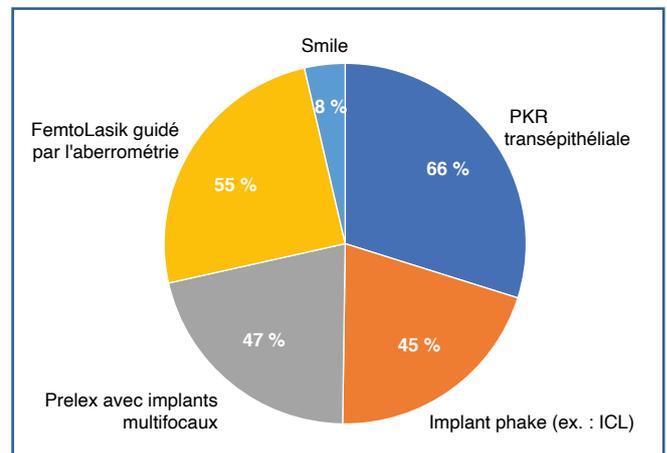


Fig. 2.

4. Pratiquez-vous le Lasik au-delà de -10 D?

- Non : 38 (86 %)
- Oui : 6 (14 %)

5. Pratiquez-vous le Lasik au-delà de +5 D ?

- Non : 23 (52 %)
- Oui : 21 (48 %)

6. Pour la correction des myopies faibles, inférieures à -2,50 D, quelle est votre méthode de choix ?

- PKR : 24 (55 %)
- Lasik : 27 (61 %)
- Smile : 1 réponse (2 %)

7. Dans la PKR, utilisez-vous la mitomycine C ?

- Systématiquement : 17 (39 %)
- Au cas par cas, en fonction du type et du degré de correction : 18 (41 %)
- Uniquement au-delà d'une certaine profondeur d'ablation (ex. : 70 mm) : 7 (16 %)
- Jamais : 2 (5 %)

8. Dans la PKR, utilisez-vous les corticoïdes topiques ?

(1 abstention)

- Jamais : 7 (16 %)
- Systématiquement, au-delà de la première semaine : 18 (42 %)
- Systématiquement, pendant quelques jours : 18 (42 %)

9. Pour la correction des myopies fortes, supérieures à -8,00 D, que préférez-vous en général ?

- ICL : 27 (61 %)
- Abstention : 6 (14 %)
- Lasik : 24 (55 %)
- Smile : 2 (5 %)

10. En ce qui concerne la chirurgie Lasik des hypermétropes, quand recommandez-vous une abstention en général ? (fig. 3)

- Au-delà de +4 D : 11 (28 %)
- Au-delà d'une kératométrie postopératoire de plus de 50 D : 31 (79 %)
- En cas de majoration du strabisme en lentilles de contact : 20 (51 %)
- En cas d'angle Kappa supérieur à 9° : 14 (36 %)
- En cas de pupille mésopique supérieure à 6 mm : 14 (36 %)

11. Pour la correction de la presbytie chez un(e) patient(e) de 60 ans, hypermétrope de +2,50, œil droit dominant, que proposez-vous en général ? (fig. 4) (2 abstentions)

- PresbyLasik multifocal OG, Lasik simple OD : 15 (36 %)
- PresbyLasik multifocal bilatéral : 9 (21 %)
- Prelex avec implants multifocaux Mix & Match : 12 (29 %)

- Prelex avec implants multifocaux diffractifs identiques : 19 (45 %)
- Prelex avec EDOF en minibasculé : 4 (10 %)
- Lasik simple OD pour 0 OG pour myopie résiduelle (ex : -1,50) : 5 (12 %)

12. Pour les retouches de Lasik, que préférez-vous faire en général ? (3 abstentions)

- Faire une PKR classique : 4 (10 %)
- Faire une PKR transépithéliale si possible : 3 (7 %)
- Soulever l'ancien volet : 37 (90 %)

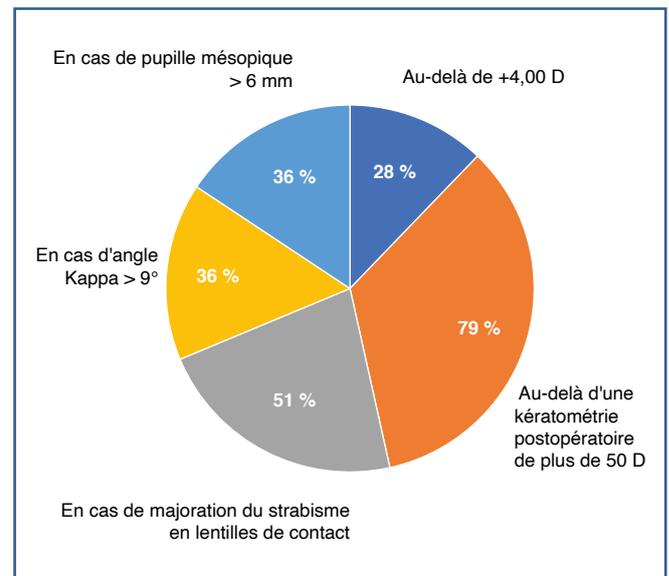


Fig. 3.

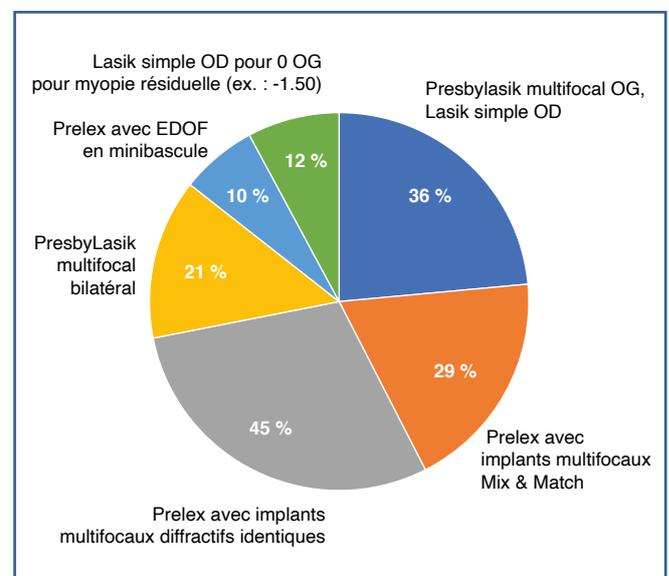


Fig. 4.

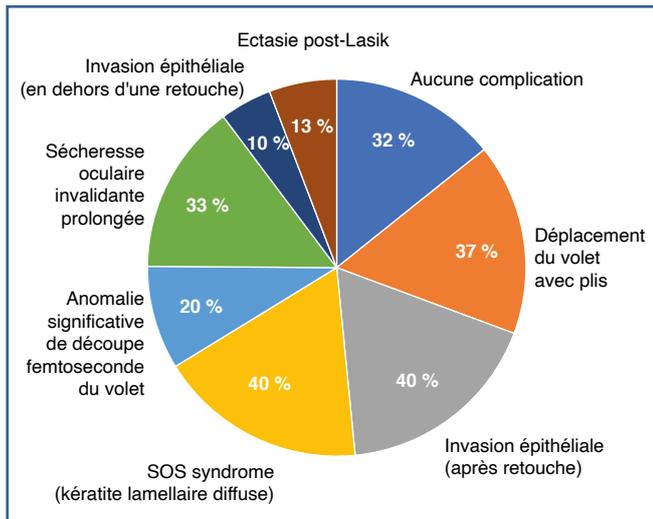


Fig. 5.

13. Au cours des 12 derniers mois, avez-vous observé l'une des complications suivantes du Lasik? (fig.5)

(14 abstentions)

- Aucune complication : 14 (32 %)
- Déplacement du volet avec plis : 11 (37 %)
- Invasión épithéliale (après retouche) : 12 (40 %)
- SOS syndrome (kératite lamellaire diffuse) : 12 (40 %)
- Anomalie significative de découpe femtoseconde du volet : 6 (20 %)
- Sécheresse oculaire invalidante prolongée : 10 (33 %)
- Invasión épithéliale (en dehors d'une retouche) : 3 (10 %)
- Ectasie post-Lasik : 4 (13 %)

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

EN PRATIQUE, ON RETIENDRA

- Le FemtoLasik est la méthode pratiquée par le plus grand nombre (90 %) des chirurgiens des Cliniques de la Vision ayant répondu à ce questionnaire (44 sur 163).
- Dans la photokératectomie réfractive (PKR), l'usage de la mitomycine C n'est pas encore systématique (39 %) tandis que celui des corticoïdes topiques semble peut-être excessif (84 %).
- Le Smile-Relex semble de moins en moins pratiqué (14 % des répondants), notamment en dessous de -2,50 D (2 %). Seuls 8 % des répondants pensent augmenter leurs indications à l'avenir.
- Les indications "limites" ne sont toujours pas consensuelles, ce qui traduit encore une certaine "liberté" de choix des chirurgiens. Le Lasik est pratiqué pour la myopie en dessous de -1,25 D par 60 % des répondants et au-delà de -10 D par 14 %. Pour l'hypermétropie, le Lasik n'est pas contre-indiqué au-delà de +5 D pour 48 % des répondants, au-delà d'une kératométrie prédite de plus de 50 D pour 21 %, ou en cas de majoration du strabisme par la correction au vertex pour 49 %...
- Si près d'un tiers des chirurgiens répondants n'ont observé aucune complication du Lasik cette année, les effets indésirables les plus communs (déplacement du volet, inflammation de l'interface ou invasion épithéliale post-retouche) ont été constatés chacun par 2 chirurgiens sur 5.
- Pour la myopie forte, 36 % des répondants utilisent régulièrement les implants phakes (ICL) et 11 % envisagent de les utiliser plus souvent dans l'avenir.
- Pour la correction de la presbytie chez l'hypermétrope de 60 ans, PresbyLasik et Prelex semblent encore assez équilibrés.
- Seulement 21 % des répondants prennent en charge le traitement chirurgical conservateur du kératocône mais tous utilisent les 3 méthodes principales (segments intracornéens, cross-linking et TopoLink).



M. ASSOULINE^{1,2,3}, J. HOCHNER³

¹ Centre Iéna Vision, PARIS.

² Clinique de la Vision/OneClinic – Groupe Visya, PARIS.

³ Mikajaki SA, PLAN-LES-OUATES, Suisse.

dr.assouline@gmail.com

Agent virtuel probabiliste, robotique et IA : la solution d'intelligence médicale intégrée Ariane Ophthalmology Suite de Mikajaki appliquée à la chirurgie réfractive

Selon le dernier rapport de l'Organisation mondiale de la santé sur la santé visuelle, il manquerait actuellement plus d'un million de professionnels de l'œil dans le monde. Plus de 285 millions de personnes sont porteuses d'une maladie cécitante non détectée et 80 % des cécités seraient évitables par une prise en charge adaptée en temps utile. Une étude de Deloitte a chiffré à plus de 3 000 milliards de dollars la perte annuelle de productivité globalement liée aux affections visuelles incapacitantes. Les principales causes de cécité sont la cataracte, la rétinopathie diabétique (RD), le glaucome et la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA). La principale cause de malvoyance est cependant liée à de simples difficultés d'accès à la correction de la réfraction.

Les populations les plus défavorisées sont les premières concernées. Plusieurs variables démographiques telles que l'ethnie, le statut socio-économique et le niveau d'éducation peuvent influencer la prévalence et la sévérité de ces maladies oculaires courantes. Un programme de dépistage communautaire en milieu défavorisé aux États-Unis a montré que 25 % des 8 547 participants dépistés étaient suspects de glaucome, 15 % ont été jugés comme nécessitant des examens complémentaires de maladies oculaires autres que le glaucome et 57 % n'avaient jamais vu d'ophtalmologiste au cours de leur vie. Une grande partie de la population de différents milieux socio-économiques est confrontée à divers types d'obstacles, notamment des obstacles liés au coût, au temps et à l'accessibilité. Un autre obstacle est le manque de compréhension de l'importance de soins oculaires appropriés, ce qui entraîne une diminution de l'observance des soins oculaires de routine pour les groupes de population à faible revenu mais aussi à revenu élevé.

Dans les économies développées, on observe depuis 30 ans un accroissement très significatif des coûts de mise en œuvre du diagnostic et des soins en santé oculaire lequel, combiné à la

réduction des effectifs des professionnels de santé, concourt à la formation de "déserts médicaux" et de grandes difficultés d'accès aux soins, dans des territoires étendus. Les pratiques ophtalmologiques récentes sont de plus en plus consommatrices d'équipements sophistiqués et coûteux, de ressources humaines spécialisées liées à la délégation des tâches, dont les coûts et les charges salariales ont augmenté plus rapidement que les revenus médicaux, et d'espaces fonciers devenus également plus rares et plus chers.

Dans ce contexte, nous avons fondé à Genève le 6 mai 2018 la société Mikajaki pour faire évoluer le processus diagnostic en ophtalmologie vers plus d'efficacité, mais surtout pour mettre en œuvre des solutions technologiques avancées afin d'améliorer la qualité et l'accessibilité du service médical rendu par les professionnels. Nous avons donc cherché à associer les développements récents des agents virtuels, de l'optoélectronique, de la robotique et de l'intelligence artificielle (IA) pour concevoir une solution intégrée d'intelligence médicale en santé oculaire sur le principe d'une équation médicale classique : **données subjectives + données objectives = intelligence médicale = diagnostic + conduite à tenir.**

■ Ariane Ophthalmology Suite

La solution d'intelligence médicale en santé oculaire Ariane Ophthalmology Suite que nous avons développée comporte 3 piliers complémentaires :

1. Agent virtuel Ariane-InSight

L'agent virtuel Ariane-InSight est un robot conversationnel en ligne qui permet à chaque patient de communiquer **l'ensemble des éléments subjectifs relatifs à sa santé oculaire.** À la suite d'une prise de rendez-vous avec le professionnel,

le patient reçoit un lien SMS ou mail unique lui permettant d'activer une session interactive en ligne avec l'agent virtuel. Cette session intervient à domicile ou sur site, à l'avance ou *a posteriori*, avant ou après la consultation d'un ophtalmologiste ou d'un professionnel de l'œil (orthoptiste, optométriste, opticien) ou de la santé (médecin généraliste, médecin du travail...). L'agent virtuel permet de collecter les données subjectives pertinentes selon 4 étapes :

>>> Le recueil du consentement éclairé (RGDP, déontologie) à l'utilisation des données personnelles par l'équipe médicale sous la responsabilité de l'ophtalmologiste traitant.

>>> La définition du profil ophtalmologique du patient comportant :

- les données démographiques ;
- la correction optique en lunettes ou en lentilles habituellement portée et l'évolution récente de cette correction ;
- les antécédents et facteurs de risque personnels et familiaux (médicaux, chirurgicaux et thérapeutiques), oculaires et généraux ;
- le motif de la consultation (bilan de routine, prescription optique, bilan préopératoire, maladie oculaire...).

>>> L'administration en ligne des principaux tests visuels :

- acuité visuelle non corrigée et corrigée par les lunettes habituelles à l'aide de l'application Dyop ;
- tests duochromes pour la détection d'une amétropie sphérique résiduelle ;
- test de Parent pour la détection d'une amétropie cylindrique résiduelle ;
- test de la PSF pour le dépistage du kératocône ;
- test d'Amsler pour le dépistage des affections maculaires ;
- test d'Ishihara pour la vision des couleurs ;
- test de perception de halos lumineux ;
- test de vitesse de lecture ;
- évaluation du champ visuel par confrontation...

>>> Le questionnaire interactif probabiliste sur les facteurs de risque, les signes et les symptômes perçus par le patient. Ce questionnaire en ligne initié par le patient est piloté par un algorithme d'intelligence artificielle probabiliste (*smart-bot*) qui identifie, parmi une banque de 600 questions médicales (actuellement 209 questions disponibles), les questions les plus pertinentes à poser à la suite des réponses successives du patient. L'agent virtuel utilise indifféremment des questions à choix simple, à choix multiple, des questions illustrées par un photolangage (images d'aspects oculaires ou illustration de la vision) ou des tests visuels complémentaires en ligne. En

fin de questionnaire (12 à 20 questions en moyenne), l'agent virtuel délivre le ou les diagnostics les plus concordants avec les données subjectives, assortis d'un coefficient de probabilité en pourcentage parmi la liste inclusive des 166 affections oculaires répertoriées par l'Académie américaine d'ophtalmologie (actuellement 110 diagnostics disponibles).

L'évaluation de ce système par des ophtalmologistes et des étudiants en médecine non spécialisés a confirmé l'excellente valeur prédictive du diagnostic (entre 60 et 99 % de corrélation selon les affections) à la condition que les réponses aux questions posées soient cohérentes. Une évaluation clinique pilote est en cours.

2. Station diagnostique EyeLib-2

La station diagnostique EyeLib-2 est une plateforme robotique destinée à collecter **l'ensemble des données objectives mesurables** sur les yeux des patients. Cette station est conçue pour un usage complètement autonome par les patients (auto-administrée en quasi self-service par analogie avec les caisses automatisées des supermarchés ou les bornes d'enregistrement et de dépose-bagage des aéroports). À l'arrivée sur site, le patient se présente à une borne d'enregistrement interactive et insère sa carte Vitale (en France) ou scanne un document d'identité (dans d'autres pays).

La borne transfère les données administratives de la carte Vitale dans la base de données du système et capture en quelques secondes au moyen d'une caméra 3D la photo du visage du patient ainsi que sa morphométrie corporelle et faciale (taille, distance du sol au menton, écart interpupillaire, distance entre le menton et la ligne interpupillaire...). La reconnaissance faciale ne sert qu'à sécuriser l'identification des données de l'examen et n'est pas archivée dans le système en fin d'examen. La borne d'accueil transfère les données morphométriques à la station robotique qui adapte automatiquement sa hauteur et la hauteur de la mentonnière aux caractéristiques physiques du patient. Le patient mesure lui-même ses lunettes sur un frontofocomètre automatisé avec lecture du front d'onde.

Le patient est ensuite appelé par son nom par la station, et des instructions audio et visuelles (écran en façade) lui sont communiquées tout au long de l'examen afin de favoriser le bon déroulement des mesures. L'examen est réalisé en majorité en position debout, mais peut être effectué en position assise ou sur un fauteuil roulant pour les personnes à mobilité réduite. La station est équipée de nombreux capteurs qui détectent la présence et la bonne position du patient, ainsi que la position

spatiale des pupilles pendant les mesures. Des capteurs anti-intrusion et des bords sensibles conformes à la réglementation assurent la sécurité active du processus.

Le cycle complet dure habituellement 5 à 6 minutes et permet l'acquisition automatisée d'une centaine de mesures de l'œil au moyen d'un analyseur du segment antérieur (Visionix VX120/130) et d'un OCT spectral antérieur et postérieur, rétinographe et biomètre (Revo, Optopol). Ces mesures comportent notamment la réfractométrie, la kératométrie, l'aberrométrie du front d'onde, la pupillométrie, l'imagerie Scheimpflug de la chambre antérieure, la biométrie Scheimpflug des angles et de la profondeur de la chambre

antérieure, la tonométrie, l'imagerie en rétro-illumination de la pupille, la densitométrie qualitative du cristallin, l'OCT épithélial et cornéen, l'OCT antérieur, l'OCT postérieur, la biométrie axiale segmentaire et la rétinographie couleur 45°.

La station peut être supervisée sur site ou à distance par un agent d'accueil ou un technicien non spécialisé, lequel peut éventuellement assister plusieurs patients simultanément.

3. Rapport synthétique SmartVision Report

Le rapport synthétique SmartVision Report intègre l'ensemble des données subjectives et objectives dans un document

À propos de Mikajaki

Mikajaki est une startup cofondée en 2018 par Michael Assouline et Jacky Hochner, initialement incubée par la Fongit à Genève, et financée à 60 % par des ophtalmologistes français, suisses et européens, puis par des *business angels* et des fonds d'investissement. Les premiers tests cliniques supervisés par l'agence régulatrice suisse (SwissMed) ont été conduits en mai 2020 et la certification européenne (CE mark class 1a) de la station robotique EyeLib-1 a été obtenue en juillet 2020, suivie début 2021 par la certification QMS ISO 1385.

Après plusieurs mois de tests cliniques conduits à Paris (Centre Iéna Vision) et à Nantes (Institut Ophtalmologique de l'Ouest Jules Vernes), une deuxième version de la station robotique a été conçue pour en améliorer la performance (réduction de la durée du cycle de 9 à 5 minutes), la robustesse, le design et surtout pour en simplifier l'industrialisation, le transport, l'installation et la maintenance. La station EyeLib-2 a obtenu le marquage CE en septembre 2021. Après 6 mois de nouveaux tests cliniques sur plus de 1 000 patients, le lancement commercial

de la station EyeLib-2 est intervenu lors des JRO en mars 2022 puis lors du congrès annuel de la Société française d'ophtalmologie en mai 2022, avec 7 stations déjà installées à Paris, La Défense, Nantes, Provins, Bordeaux, Luxembourg et Cologne (**fig. 1**). Une quinzaine d'installations supplémentaires sont prévues en 2022 en France, en Suisse, en Allemagne, en Belgique, en Israël et aux Pays-Bas.

Fig. 1 : La station EyeLib-2.



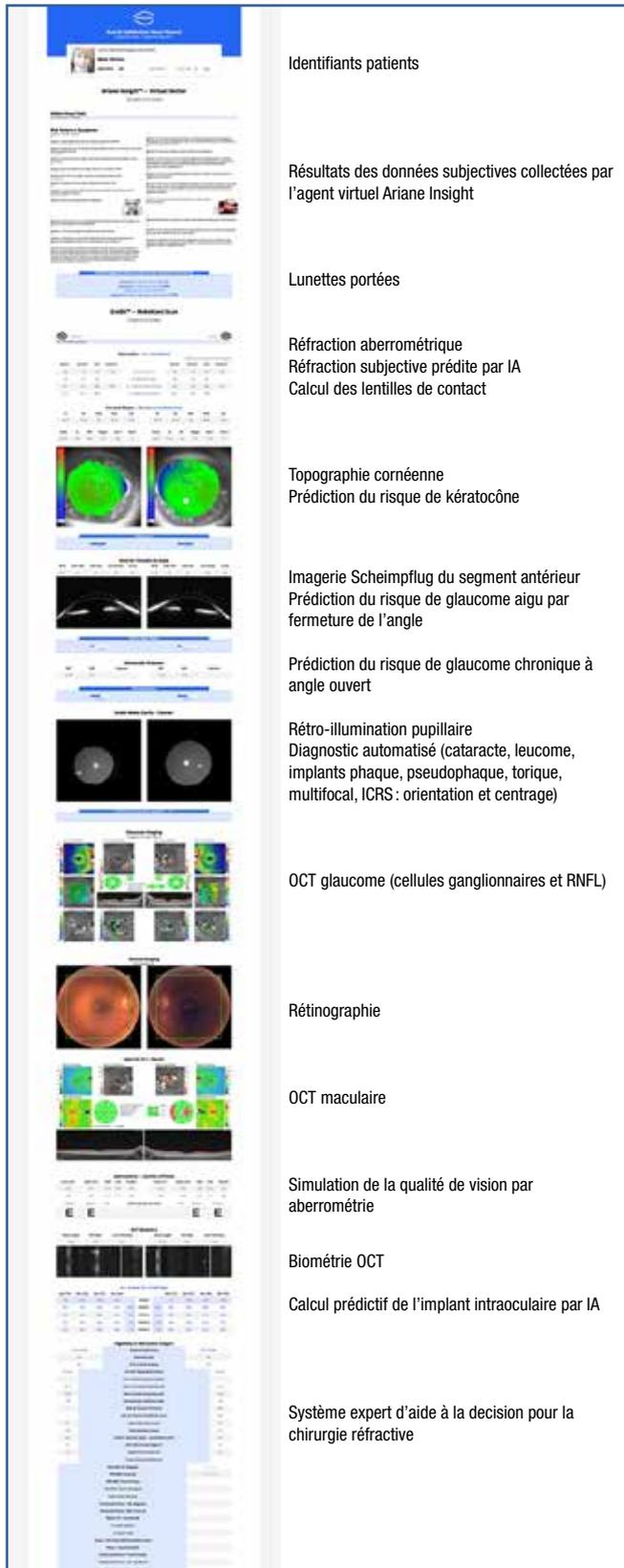


Fig. 2 : Le SmartVision Report de Mikajaki au format HTML.

dynamique unique et traite ces informations au moyen d'algorithmes divers de type décisionnel (système expert d'aide à la décision ou basé sur une intelligence artificielle de type apprentissage machine [*machine learning*]). Un exemple de ce rapport est présenté dans la **figure 2**. Les données sont exportées directement dans le logiciel métier (Oplus, Area...) sous forme de champs de base de données et également sous forme d'un document PDF attaché au dossier patient ou sous forme d'une page HTML interactive permettant au praticien d'explorer directement les examens d'imagerie médicale (topographie, OCT) à distance, à l'aide du *viewer* de chaque instrument.

Les fonctionnalités actuelles comportent différentes aides au diagnostic de type prédictif :

>>> Prédiction de la meilleure réfraction subjective basée sur un algorithme d'IA utilisant 37 paramètres anatomiques et optiques de l'œil, capable de déterminer la réfraction effectivement prescrite dans 90 % à ± 0,25 D pour le cylindre et dans 84 % à ± 0,25 D pour la sphère (contre 80 % et 76 % respectivement lorsque l'autoréfractomètre est utilisé seul).

>>> Prédiction du risque de kératocône (par l'index KPI et par les données subjective recueillies par l'agent virtuel).

>>> Prédiction du risque de glaucome aigu par fermeture de l'angle (basée sur une analyse des facteurs de risque identifiés dans la littérature : volume de la chambre antérieure, profondeur de la chambre antérieure, ouverture des angles, diamètre blanc à blanc de la cornée).

>>> Prédiction du risque de glaucome chronique à angle ouvert (sur la base de la pression intraoculaire, de la pachymétrie, de l'âge et de l'analyse des cellules ganglionnaires).

>>> Suggestion de la meilleure indication de chirurgie réfractive par un système expert intégrant les caractéristiques démographiques, réfractives, anatomiques et optiques du patient, ainsi que les contraintes techniques spécifiées par les fabricants de lasers ou d'implants et les règles de consensus scientifique médical.

>>> Prédiction de la puissance de l'implant intraoculaire pour la chirurgie de la cataracte par un algorithme d'IA capable de sélectionner ou pondérer les 7 formules optiques disponibles pour réduire l'erreur réfractive résiduelle à moins de 0,50 D dans 81 % des cas (contre 63 % pour la formule SRK/T la plus utilisée).

Constructeur						
Modèle	Conventionnel	Globechek	Tessan	Glasspop	Doctovue	Eyelib-2
Spécifications/fonction/performances						
Type de structure	Table	Station motorisée	Table	Instrument	Cabine intégrée	Station robotique
Transportable et livrable totalement pré-assemblé	X	X	X	✓	X	✓
Emprise inférieure à 1 m ²	✓	X	✓	✓	X	✓
Instruments de diagnostic	1 à 4	4	3	2 + 1	3	2 à 3+1
Borne d'accueil avec vérification Carte vitale et gestion logiciel métier (oplus, area...)	X	X	X	X	X	✓
Morphométrie corporelle et faciale 3D	X	X	X	X	X	✓
Fronto	Au choix	Topcon	Nidek	Nidek	VX40 WF	VX40 WF
Auto ref kérateo tono pachy	Au choix	Topcon	Nidek	Nidek	VX650	VX130/650
OCT antérieur	X	Option	X	X	X	REVO FC
Réfracteur	✓	Topcon	EyeRefract	Nidek	?	Option
OCT postérieur	X	Topcon	X	X	?	REVO FC
Rétinographie	Au choix	Topcon	X	X	VX650	REVO FC
Full-auto/self-service						
Fonctionnement possible sans orthoptiste, optométriste ou technicien	X	X	X	X	X	✓
Prise de mesures autonome mais assistée à distance	X	X	✓	✓	✓	✓
Prises de mesures et export vers logiciel métier automatiques en self-service	X	X	X	X	X	✓
Identito-vigilance des dossiers par reconnaissance faciale	X	X	X	X	X	✓
Ergonomie						
Ajustement automatique de l'assise ou de la hauteur à la taille du patient	X	X	X	X	X	✓
Ajustement automatique de la mentonnière à la morphologie faciale du patient	X	X	X	X	X	✓
Appui-tête unique multi-instruments sans changement de position du patient	X	X	X	X	X	✓
Commutation droite/gauche robotisée automatique des instruments	X	X	X	X	X	✓
Position debout ou assise	X	✓	X	X	X	✓
Compatibilité morphologies extrêmes (enfants, obèses, très grande taille)	Limitée	Limitée	Limitée	Limitée	Limitée	✓
Compatibilité fauteuils roulants et personnes à mobilité réduite	Limitée	Limitée	Limitée	Limitée	X	✓
Acquisition automatique de données/mesures/imagerie						
Frontofocomètre automatisé wavefront	✓	X	X	X	X	✓
Kérato-réfractométrie	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Aberrométrie	X	X	✓	X	✓	✓
Topographie d'élévation	X	X	✓	X	✓	✓
Imagerie Scheimpflug	X	X	✓	X	✓	✓
Pachymétrie	✓	✓	✓	X	✓	✓
Carte pachymétrique	X	X	X	X	✓	✓
Tonométrie sans contact	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Rétro-illumination cornéocristallinienne	X	X	✓	X	✓	✓
Rétinographie couleur 45°	X	X	✓	X	✓	✓
OCT postérieur (macula, RNFL, RGCL)	X	✓	X	X	X	✓
OCT antérieur (carte épithéliale, cornée, SA)	X	Option	X	X	X	✓
Biométrie OCT	X	X	X	X	X	✓

Tableau I.

Constructeur						
Modèle	Conventionnel	Globechek	Tessan	Glasspop	Doctovue	Eyelib-2
Spécifications/fonction/performances						
Aide à la décision médicale						
Recueil du profil patient, des symptômes, facteurs de risque et tests visuels en ligne	×	×	×	×	×	✓
Diagnostic présumé par IA basé sur les éléments subjectifs	×	×	×	×	×	✓
Prédiction de la réfraction subjective par IA	×	×	×	×	×	✓
Simulation de la qualité de vision diurne et nocturne	×	×	✓	×	✓	✓
Détection automatisée du kératocône	×	×	✓	×	✓	✓
Détection automatisée du risque de glaucome par fermeture de l'angle	×	×	×	×	×	✓
Calcul d'implant intraoculaire automatisé optimisé par IA	×	×	×	×	×	✓
Système expert d'éligibilité et d'indication à la chirurgie réfractive	×	×	×	×	×	✓
Durée d'un cycle complet (en minutes)	12 min	10 min	10 min	6 min	10 min	5 min
Installation du patient (secondes)	30 s	30 s	30 s	30 s	30 s	5 s
Changement des instruments (secondes)	10 s	20 s	5 s	5 s	10 s	5 s
Nombre de patients par heure	5 à 6	4	6	8	5	9
Usage						
Centres à forts volumes (productivité)	×	×	×	×	×	✓
Centres satellites (délégation)	×	×	×	×	×	✓
Télé médecine (distanciel)	×	×	✓	×	✓	✓
Self-service/autres professionnels de santé non spécialisés (dépistage de masse)	×	×	×	×	×	✓

Tableau I (suite).

II Conclusion

La solution d'intelligence médicale innovante développée par Mikajaki apporte une optimisation notable du processus diagnostique en ophtalmologie et en chirurgie réfractive, grâce au recueil d'informations en ligne et à l'automatisation de l'acquisition des mesures. Le rapport synthétique dynamique présente dans un document unique l'ensemble des données subjectives

et objectives nécessaires à la réflexion du praticien. Ce rapport est assorti de puissants systèmes d'aide à la décision fondés sur des systèmes experts et des algorithmes d'intelligence artificielle, dont la performance déjà remarquable devrait encore s'améliorer considérablement avec l'usage (*tableau I*).

Les auteurs sont cofondateurs de Mikajaki.



F. COSTANTINI
Centre Ophtalmologique Étoile, PARIS.
florentcostantini@gmail.com

Glasspop : réfractomètre subjectif

La réfraction est sûrement l'un des pans de l'ophtalmologie où l'innovation s'est faite la plus rare. En effet, il reste peu de chapitres de notre spécialité où ce qu'il fut écrit il y a 20 ou 30 ans est encore vrai aujourd'hui. C'est pourtant le cas en réfraction. La dernière révolution remonte probablement à l'arrivée des autoréfractomètres, il y a maintenant une quarantaine d'années en France, avec à l'époque toutes les craintes, critiques et réticences dont certains se souviennent.

■ Une pression de consultation toujours en forte augmentation

De tous les examens possibles en ophtalmologie, il y en a bien un qui est quasi systématique : la réfraction. Au vu de l'augmentation de la demande de consultations, c'est dire s'il y a embouteillage sur ce poste.

La France peut se féliciter d'avoir su inventer, imposer et développer le modèle du travail aidé avec nos collègues orthoptistes. Ce dernier a permis un gain de temps et d'efficacité considérable dans notre quotidien avec, à la clé, une meilleure accessibilité à nos consultations pour les patients. Là encore, ce ne fut pas sans peine. Chacun se rappelle encore les inquiétudes et l'effroi que cela suscita et suscite encore même chez certains d'entre nous, sans réel bien-fondé.

Cependant, il semble que ce système arrive lui aussi à ses limites. Les cadences de travaux élevées qu'impose notre profession en préconsultation ne sont pas extensibles à l'infini. De plus, force est de constater que le niveau de nos aides, acquis à notre contact au plus près des malades, ne cesse d'augmenter d'année en année.

Il en devient souvent ridicule, au vu de leurs prétentions salariales et de leur niveau de connaissance, de se cantonner à leur

demande d'apporter 0,25 dioptrie de plus à un jeune myope pour qu'il lise 10/10, et ce, plusieurs dizaines de fois par jour. Une translation de leur rôle vers un poste plus ambitieux semble aujourd'hui faire sens. L'écoute du malade, le recueil précieux des éléments sémiologiques, la réalisation soigneuse des examens de dépistage, des bilans préopératoires et même une place d'aide opératoire me paraissent pour le moins légitimes.

■ Glasspop : autoréfractomètre subjectif

Un point commun existe à chacune des évolutions de notre métier : une avancée technologique. Les autoréfractomètres objectifs et les têtes de réfracteurs automatiques ont permis la facilitation de la tâche de réfraction et donc un transfert plus aisé de cette dernière de l'ophtalmologiste vers l'orthoptiste. Nous sommes convaincus aujourd'hui que la puissance du logiciel et la force du *cloud computing* permettent désormais de transférer la tâche de réfraction subjective des sujets jeunes (16-65 ans) de l'orthoptiste vers le patient lui-même.

Il s'agit bien ici de permettre à un patient seul de réaliser l'étape de lecture, et donc d'arriver à obtenir la réfraction subjective directement envoyée dans sa fiche patient et comprenant :

- l'acuité visuelle sans correction (si besoin) ;
- l'acuité avec la correction portée ;
- la réfraction subjective finale amenant à la meilleure acuité.

L'ophtalmologiste qui recevra le patient par la suite pourra ainsi conclure son examen avec l'ensemble des éléments nécessaires à la rédaction de l'ordonnance de correction optique, si besoin est.

Le kiosk de réfraction Glasspop très compact, pouvant se coller contre un mur, permet ainsi d'ajouter une ligne de réfraction supplémentaire avec un encombrement minimum (*fig. 1*).

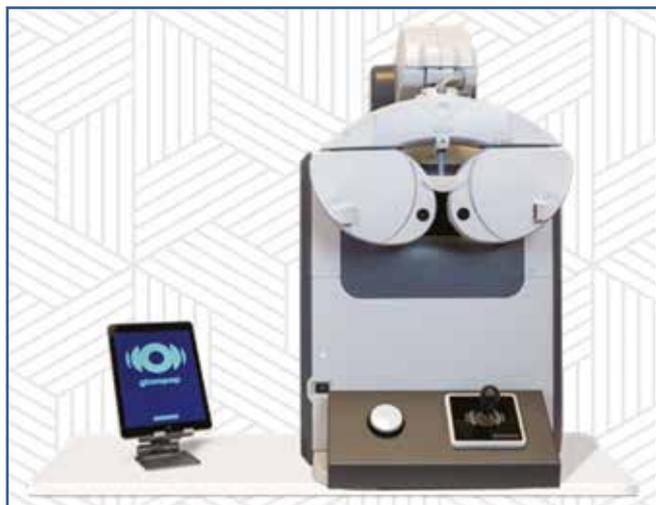


Fig. 1 : Kiosk de réfraction Glasspop.

Afin d'être utilisable par le plus grand nombre, nous avons cherché à simplifier au maximum le test. L'utilisateur se voit projeter des E de Snellen dans 4 orientations différentes (fig. 2). Il répond à l'aide du joystick en l'inclinant dans le même sens que la lettre affichée. Lorsque cela lui est impossible, il appuie simplement sur le bouton. En fonction des réponses données, l'algorithme pilote automatiquement la tête de réfracteur pour arriver à la réfraction subjective finale.



Fig. 2 : Déroulé de l'examen.

■ Une intégration facile en cabinet

Deux organisations optimales semblent se dégager de nos différentes expériences. Premièrement évidemment, les ophtalmologistes n'exerçant pas encore en travail aidé. Deuxièmement, les ophtalmologistes ayant des aides mais désireux de les soulager et/ou les recentrer sur des tâches plus complexes.

Un tri des malades selon l'âge est alors effectué en amont via une plateforme internet de rendez-vous ou bien directement auprès du secrétariat à l'arrivée au cabinet. Les patients de

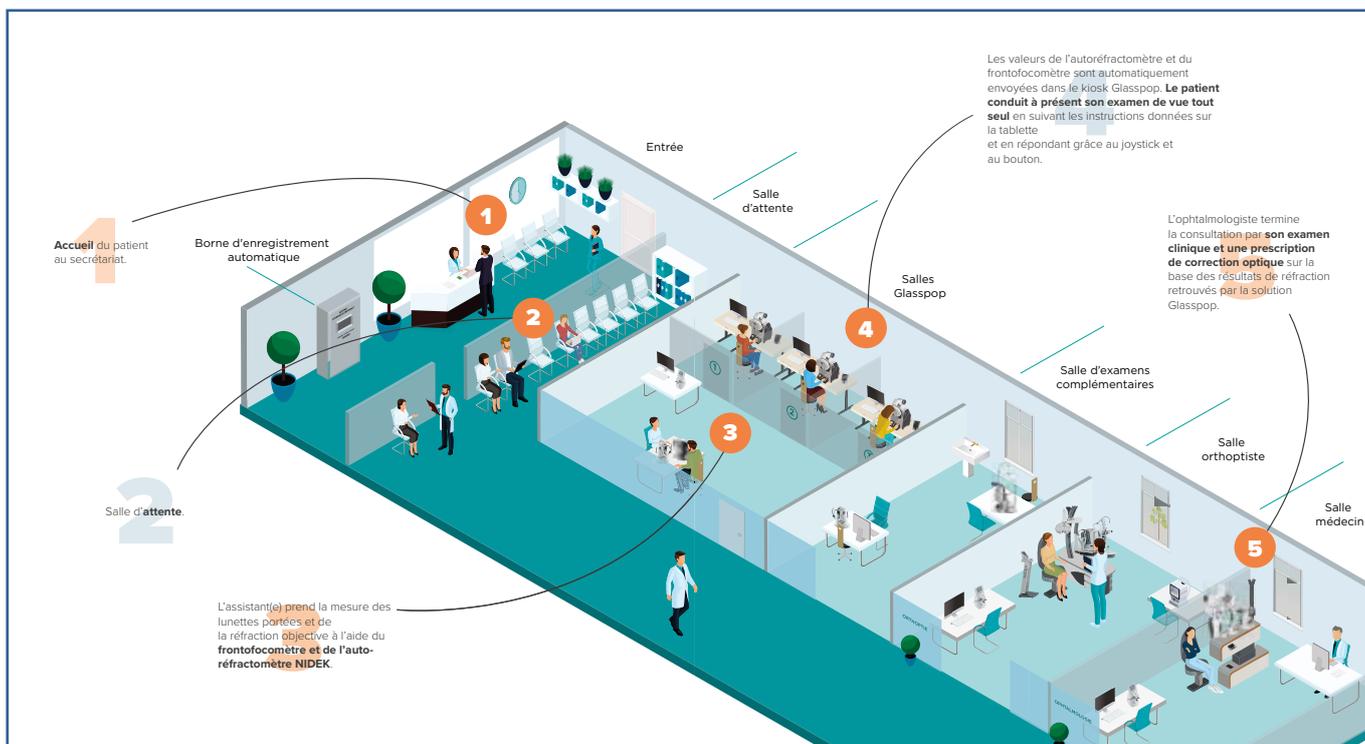


Fig. 3 : Création d'un nouvel espace de réfraction.

16 à 65 ans sont dirigés vers le circuit Glasspop. Pour les autres, le circuit traditionnel ne change donc pas avec l'aide présent en préconsultation (fig. 3).

■ Un algorithme de réfraction personnalisable : à chaque praticien son algorithme

Après plus de 100 000 réfractions réalisées à ce jour, une conclusion apparaît : il n'y a pas en réfraction de méthode étalon-or. Il ne peut donc y avoir d'algorithme parfait satisfaisant tout professionnel. Les écoles sont nombreuses et amènent systématiquement à des résultats réfractifs différents pour un même et unique patient.

Pour être utile, un outil doit être fait à la main de son ouvrier. C'est à l'outil d'apprendre de son utilisateur et non l'inverse. Nous cherchons donc à permettre à chaque orthoptiste, chaque ophtalmologiste de réaliser son propre algorithme de réfraction, le but étant que ce dernier suive automatiquement les habitudes du professionnel et que les résultats obtenus soient fidèles à son attente.

Le niveau de détail que nous proposons est infini, allant du niveau de saturation hypermétropique recherché jusqu'à la

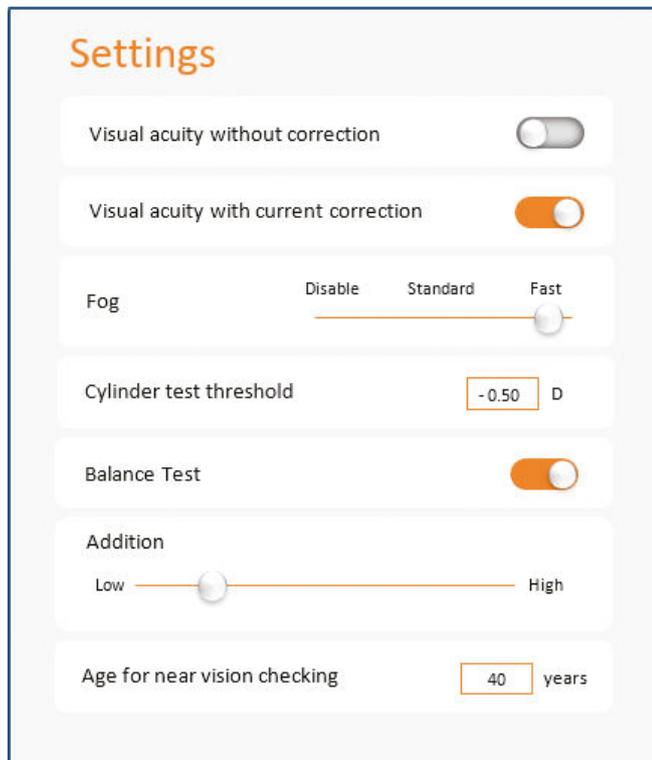


Fig. 4 : Interface de personnalisation de l'algorithme.

personnalisation d'un seuil de puissance cylindrique, dans une fenêtre d'axe particulière, pour déclencher ou non un test précis par exemple. Déjà plusieurs dizaines d'orthoptistes et ophtalmologistes ont élaboré leur propre version (fig. 4).

Avec quelques échanges d'algorithmes entre utilisateurs internationaux, nous touchons du doigt le fait que l'informatique peut être un incroyable moyen de partage du savoir. Le compagnonnage médical et la transmission de savoir ne sont alors plus limités à la porte du cabinet.

■ Les enjeux d'aujourd'hui et de demain : un médecin devant chaque patient

Le monde connaît aujourd'hui un accroissement de population comme jamais, notamment sur la tranche d'âge active (25-65 ans). Tout individu aura au cours de sa vie besoin d'un examen visuel. Selon l'Organisation mondiale de la santé, en 2050, 50 % de la population mondiale sera myope. La pression de consultation en ophtalmologie est donc vraiment loin de retomber. Un de nos plus grands défis est d'améliorer et de maintenir une accessibilité forte de nos consultations. Il nous faut encore réinventer les moyens de recevoir les patients.

Nous pouvons retenir au moins deux choses de la crise de la COVID-19. Premièrement, c'est bien le facteur humain qui a le plus de valeur dans le parcours de soin. Il est irremplaçable et doit être sanctuarisé. Deuxièmement, la technologie est une chance. Elle peut s'avérer d'une aide formidable dans certaines situations. Ce ne sera donc pas l'un ou l'autre mais bien l'un et l'autre. La technologie au service de l'humain.

Le recueil de la mesure sera de plus en plus automatisé et déplacé en amont de la consultation médicale. C'est heureux car nous allons devoir consacrer plus de temps à un plus grand nombre encore de nos patients.

Pour en savoir plus

- World Health Organization, world report on vision, 2022.
- PÉREZ C. *Technological Revolutions and Financial Capital: The Dynamics of Bubbles and Golden Ages*. Edward Elgar Publishing, 2002.
- Christensen CM. *The Innovator's Prescription: A Disruptive Solution for Health Care*. McGraw-Hill, 2008.

L'auteur est cofondateur de Glasspop.



E. GARDEA
Chirurgien ophtalmogiste, Président fondateur de la société Eyeneed.

DOCTOVUE: une solution aux déserts médicaux en ophtalmologie

La société Eyeneed œuvre depuis 5 ans au développement de la télémédecine en ophtalmologie. Après avoir développé un logiciel complet et cloud, elle lance la première cabine de préconsultation en ophtalmologie.

■ Qu'est-ce que Doctovue ?

Doctovue est la première cabine de préconsultation qui permet de réaliser un examen ophtalmologique complet et d'organiser un rendez-vous distanciel avec un ophtalmogiste du territoire dans un délai de quelques jours.

■ Doctovue par rapport à un cabinet secondaire ?

Nous sommes partis du constat que la création d'un cabinet secondaire demandait beaucoup d'investissement financier et humain. Cette cabine est comme un box de préconsultation en cabinet mais ne demande aucun financement ni embauche. Sur place, il y a juste un agent d'accueil et nous nous occupons de la téléopération par un orthoptiste. Cela permet d'économiser du temps médical et de multiplier les sites secondaires.

■ Quel est son fonctionnement ?

Sur demande d'une collectivité, Doctovue installe une cabine dans un lieu comme une maison de santé par exemple (*fig. 1 et 2*). Dès lors, tout patient du territoire peut prendre un rendez-vous en quelques jours sur internet ou sur des bornes physiques en mairie. Il se rend ensuite à la cabine où il est attendu par un agent d'accueil qui procède à son installation. Une fois installé, un orthoptiste Doctovue prend le relai et réalise tous les examens à distance, en étant constamment présent en visioconférence avec le patient et en répondant à



Fig. 1.



Fig. 2.

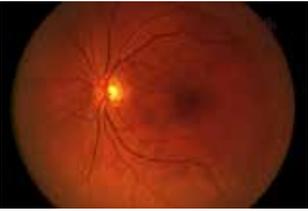
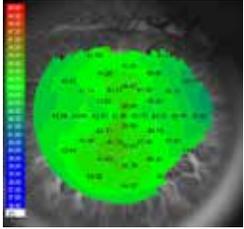
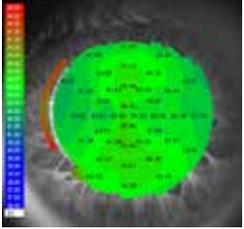
Eyeneed Report 26/07/2021 Créé / Dr John DEA					
Tel :		Mail :			
MC : Contrôle de vue / RNM		Note :			
OD			OG		
CP +1.25			+1.25		
AVSC					
RO VL : 1 VP : 1 +0.25 152°			VL : 1 VP : 1 +1.0 (-0.25 à 176°)		
RF VL : 1 VP : 1 +0.5 152°			VL : 1 VP : 1 +1.0 (-0.25 à 176°)		
Kerato 43.67 176.0°		44.79 86.0°		43.32 180.0°	
44.62 90.0°					
Pachy 532µm			545µm		
TO 16.0	MOY	COR 16.1	19.0		18.8
CA 3.1mm	BAB 11.81mm	DP 3.0mm	3.1mm	11.79mm	3.0mm
FO					
SA					
TOPO					
PHOTO					
Com :					

Fig. 3.

toutes ses questions. Une fois les examens transmis, c'est toujours par visioconférence, lors d'un second rendez-vous, que l'ophtalmologue du territoire peut échanger avec le patient, poser son diagnostic et lui envoyer feuille de soin et prescription médicale (*fig. 3*).

■ Qui finance la cabine ?

La cabine est soit financée par la collectivité – et dans ce cas son utilisation est partagée par tous les ophtalmologues intéressés sur le territoire – soit achetée par un gros cabinet d'ophtalmologie pour fonctionner comme un "cabinet secondaire".

■ Quels sont les examens effectués ?

Nous réalisons une mesure des lunettes portées, une réfraction objective et subjective complète, une prise de tension oculaire, une topographie cornéenne, une analyse anatomique du segment antérieur, une photographie de la surface et une

rétinographie. Cet ensemble d'examens permet de dépister la majorité des pathologies ophtalmologiques nécessitant un bilan plus avancé en cabinet médical.

■ Que pensent les autorités médicales de Doctovue ? Et les ophtalmologistes ?

Eyeneed a été récompensée par de nombreux prix (Prix Galien en 2019, Prix de la Société française de santé digitale en 2020, prix de la SAFIR lors de la SFO 2022) et sélectionnée par le ministère de la Santé pour le développement du carnet de santé numérique. Le développement du projet Doctovue est quant à lui soutenu par la CPAM et l'ARS de Normandie qui saluent le respect de la territorialité et du parcours de soins. De nombreux ophtalmologues nous rejoignent et nous soutiennent. En moyenne, 50 % des ophtalmologues d'un territoire demandent à participer à la mise en place de notre solution !

Pour nous contacter : contact@doctovue.fr



J. COULLET

Clinique de la Vision – Groupe Visya et Centre Odysseum Ophtalmologie, MONTPELLIER.
couillet.j@gmail.com

OCT de segment antérieur Advanced Corneal Explorer (ACE): une plateforme polymodale incontournable en 2022?

La mise sur le marché d'un tout nouvel appareil OCT *swept source* produit par Heidelberg, société pionnière dans le savoir-faire de cette technologie de pointe, et enrichi par l'expertise reconnue de Bausch + Lomb dans le domaine de la chirurgie réfractive n'a pas manqué de retenir l'attention de la communauté ophtalmologique. Mais quels sont les caractéristiques techniques de l'Advanced Corneal Explorer (ACE)? Que faut-il en attendre dans notre pratique au quotidien? Quelles sont ses évolutions possibles? Faut-il acheter un ACE (prononcer *ace* comme au tennis) en 2022? Nous allons essayer de faire un point complet sur cet instrument ophtalmologique novateur.

■ Rappel technologique : l'OCT *swept source*

La technologie OCT est basée sur l'émission et le recueil d'un signal lumineux émis dans le proche infrarouge, sous mode de pulse, et dont on analyse la réflexion par le milieu observé et en comparant cette réflexion avec une surface dite de référence, représentée par un miroir (interférométrie; *fig. 1*). Le détecteur enregistre les décalages de phases (constructives ou destructrices) qui existent entre les ondes électromagnétiques réfléchies par le miroir de référence et la couche de tissu analysée.

Passons sur la technologie *time domain*, certes pionnière, mais qui n'est plus utilisée aujourd'hui du fait de la faible résolution axiale et du temps d'acquisition trop long (mouvement mécanique du miroir mobile).

Tous les OCT actuels sont donc des OCT *frequency domain* (ou *Fourier domain*). Ils fonctionnent tous avec le recueil d'un signal lumineux complexe, composé de trains de longueurs d'onde enchevêtrés, qui va être simplifié par une transformation mathématique (transformée de Fourier) en analyse de pics de fréquences (pic de résolution axiale; *fig. 2*).

Contrairement à un OCT *time domain*, ces nouveaux OCT utilisent, non pas une lumière monochromatique, mais une source de lumière polychromatique. On distingue ainsi :

– la technologie *spectral domain* (SD) dont la source lumineuse est une lumière large spectre infrarouge (*broad beam*)

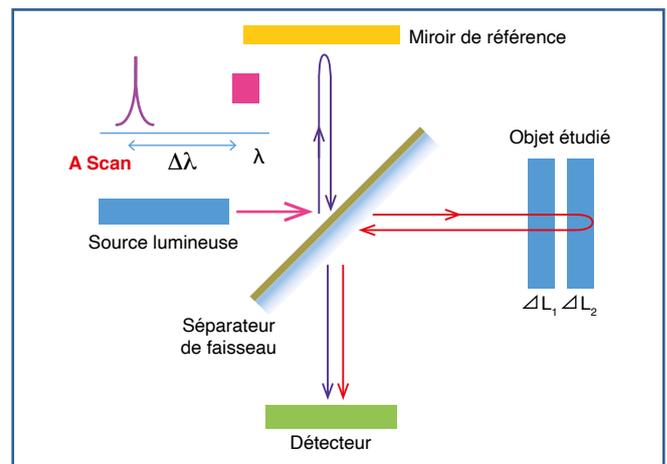


Fig. 1.

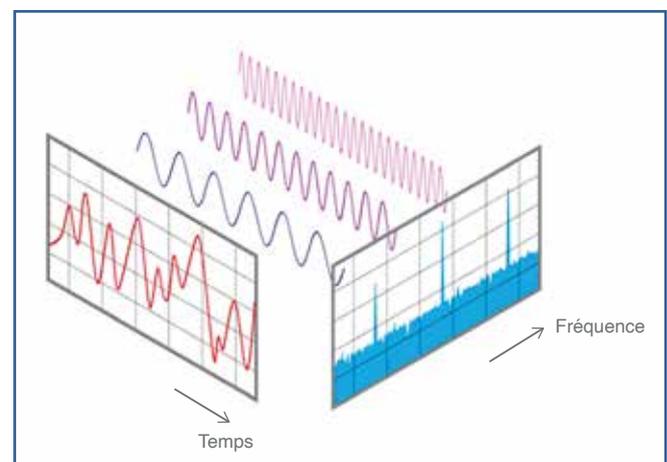


Fig. 2.

qui va générer un signal d’interférence particulièrement riche et complexe, et dont l’analyse fréquentielle va faire appel à un spectromètre lors de la détection (séparation du signal en aval) ;
 – la technologie *swept source* (SS) dont la source lumineuse est une diode laser avec une fréquence émissive variable (*tunable laser*) qui va balayer (*swept*) le spectre lumineux infrarouge, mais par “tranche” de fréquence. Le signal recueilli, plus simple, est alors directement analysé (séparation du signal en amont ; **fig. 3**).

Il résulte de ces différences technologiques une différence dans les caractéristiques de l’image obtenue en SD et en SS :
 – la résolution axiale est sensiblement meilleure en OCT-SD (3-5 μm) ;
 – la largeur et la profondeur de champ de l’image sont meilleures en OCT-SS (**fig. 4**).

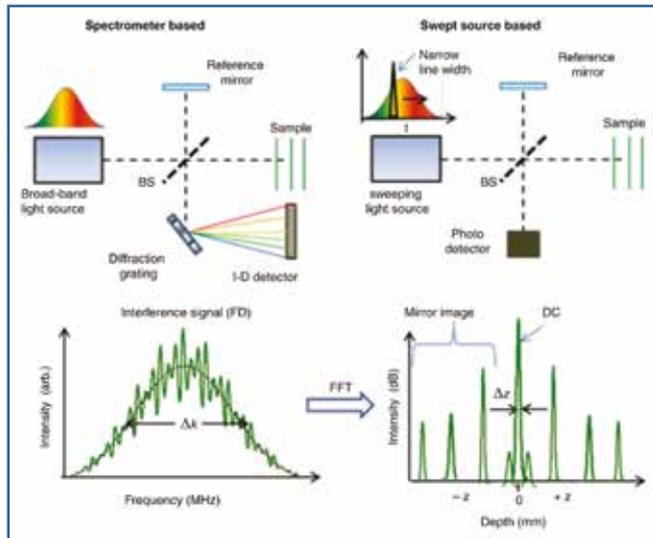


Fig. 3.

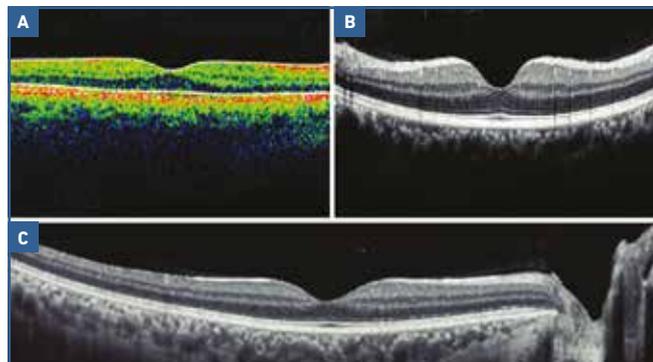


Fig. 4 : Exemples de coupe maculaire avec différentes technologies OCT. **A :** image maculaire en OCT *time domain*, résolution faible de 20 μm et beaucoup d’artefacts liés au temps d’acquisition. **B :** image maculaire en OCT-SD, très bonne résolution mais champ d’analyse étroit. **C :** image maculaire en OCT-SS, image large et champ profond (permettant de mesurer l’épaisseur de la choroïde), mais résolution un peu moindre qu’en SD.

II Présentation technique et prise en main de l’ACE

L’ACE se présente sous la forme d’une unité compacte avec un parti pris résolument “full-OCT”, puisque cette machine qui est orientée réfractive ne présente aucun disque de Placido, contrairement à certains de ses concurrents directs (MS-39 de CSO par exemple ; **fig. 5**). Les prises de mesure sont assez rapides (1 seconde pour la topographie, 2 secondes pour la biométrie et 3-4 secondes pour des images plus complexes du segment antérieur [SA]). La fixation du patient est assurée par un spot lumineux réglable en intensité et en focus (–15/+15 D). Le contrôle qualité des mesures est ensuite affiché sur 3 critères : qualité de la fixation/mouvement oculaire/qualité du film lacrymal-paupières.

Le **tableau I** liste les principales caractéristiques de l’acquisition OCT de l’ACE.



Fig. 5 : Vues patient et opérateur de la plateforme ACE.

Longueur d’onde utilisée	1300 nm (au centre du balayage)
Fréquence A-scan (coupe axiale)	50 000 Hz
Nombre maximal de A-scan pour un profil B-scan	768 (réglable)
Fréquence maximale de B-scan	65 Hz
Nombre maximal de scan moyennés par B-scan	8
Largeur maximale de l’image B-scan	16,5 mm
Profondeur maximale de l’image B-scan	7,5 mm
Arc maximal d’exploration B-scan	90°
Patterns de B-scan disponibles	Radial, ligne, volume, arc
Résolution axiale	< 10 μm
Résolution spatiale	30 μm

Tableau I.

■ 4 modules actuels d'exploration : Cornea, Cataract, Metrics et Imaging

L'ACE s'articule autour de 4 applications de base permettant une exploration polyvalente du segment antérieur.

1. Cornea App

On profite ici de toute la précision de l'acquisition OCT sur les deux faces de la cornée. C'est une vraie évolution technologique pour la mesure de la face postérieure par exemple, par rapport aux technologies plus anciennes (caméra Scheimpflug du TMS-5 ou du Pentacam, ou balayage lumineux mécanique *slit-scanning* de l'Orbscan, encore plus ancien ; **fig. 6**). L'ACE, on l'a déjà dit, s'affranchit également du Placido et donc de ses limites techniques (sensibilité au film lacrymal, éblouissement, problème d'acquisition lié à l'enophtalmie/aux cils et paupières...) pour réaliser une topographie de courbure axiale ou tangentielle uniquement basée sur le profil OCT (**fig. 7**).

Le mode d'affichage choisi peut être en carte unique/multivue en 2, 3, 4 ou 6 images/comparatif ODG/cartographie différentielle de suivi. La lisibilité en multivue étant assez ramassée, il est souvent intéressant de faire un affichage *single map* sur des cartes qui nécessitent une analyse plus approfondie. Les fonctions tomo-topographiques sont les suivantes :

- topographie axiale antérieure et postérieure ;
- topographie tangentielle (ou instantanée) antérieure et postérieure ;
- tomographie d'élévation antérieure et postérieure, selon une BFS ou un BFT (*best fit tore*) ;
- cartographie pachymétrique ;
- cartographie de puissance cornéenne totale par *ray tracing* (*total corneal power* [TCP]).

Y sont associées des coupes OCT transversales ainsi qu'une fonction d'analyse du front d'onde cornéen antérieur et total (utile pour détecter une augmentation des HOA de type impair dans le dépistage du kératocône). Cette fonction s'entend par une reconstruction mathématique du front d'onde à partir du dioptré cornéen, comme on peut le retrouver sur d'autres machines (TMS-5, OPD scan III...), mais cela n'égale pas une mesure directe du front d'onde global, effectuée par un aberromètre dédié.

2. Cataract App

L'idée est d'installer ici l'ACE comme un "super biomètre" permettant de rivaliser avec les biomètres les plus en vue

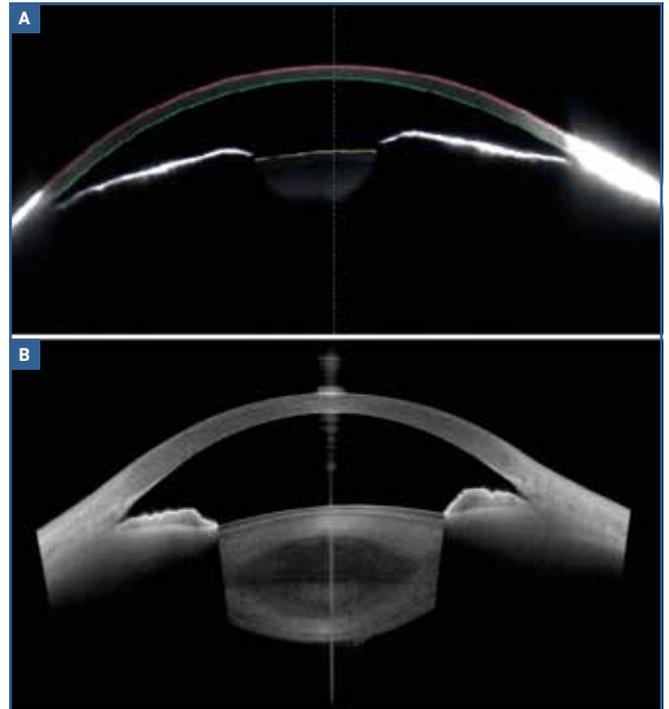


Fig. 6 : Comparaison résolution/précision d'images en coupe du segment antérieur par caméra rotative Scheimpflug (A) et par OCT-SS (B).

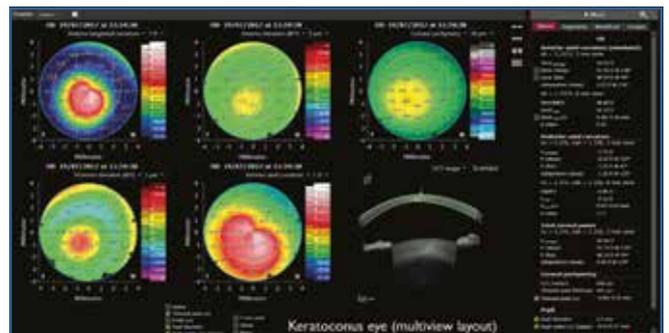


Fig. 7 : Cartographie multivue ACE d'un kératocône associant topographie axiale et tangentielle, tomographie en élévation antérieure et postérieure, carte pachymétrique et coupe OCT B-scan.

du marché, comme l'IOL Master 700 de Zeiss par exemple. Effectivement, la combinaison de mesures très sensibles permises par la technologie SS, comme la LT (*lens thickness*), la profondeur de chambre antérieure, la courbure axiale antérieure et postérieure du cristallin, permet de mieux évaluer la valeur de la position postopératoire de l'implant dans l'œil (ELP : *effective lens position*), qui est la clé de nombreuses formules de calcul de régression de dernière génération.

De la même façon, la précision de l'analyse OCT de la face antérieure/postérieure de la cornée et de la TCP autorise l'accès à des formules de calcul pertinentes, à la fois pour le calcul

des implants toriques (True K Barrett toric) ou pour les patients déjà opérés de chirurgie réfractive (Haigis-L, Shammas No History, Holladay II, True K Barrett No History... voire *ray tracing*; **fig. 8**). Les formules intégrées dans l'ACE sont les suivantes :

- SKR II et SRK/T;
- Haigis;
- Holladay I;
- Hoffer Q.

Les formules de Barrett (Universal II, Barrett toric, True K No History, True K toric) ainsi que le calcul de la puissance

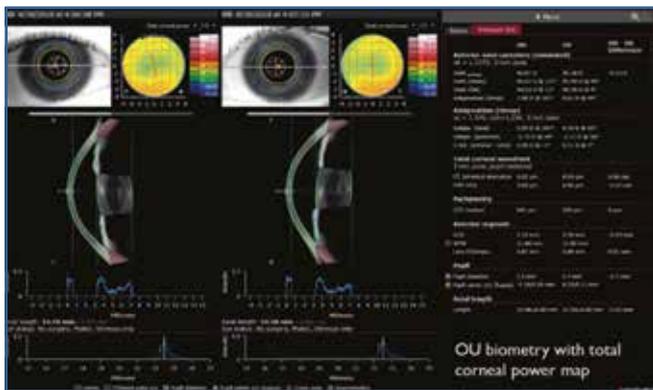


Fig. 8 : Biométrie ODG pour calcul d'implant. L'ACE corrèle les valeurs de pics A-scan avec les images en coupe OCT et y associe la valeur de la puissance cornéenne totale pour une optimisation du calcul.



Fig. 9 : Planificateur torique ODG prenant en compte la toricité antérieure et postérieure de la cornée, l'astigmatisme induit par la chirurgie et la position de l'incision principale, permettant ainsi d'évaluer le positionnement optimal de l'IOL torique dans l'œil.

de l'implant par *ray tracing*, grâce au logiciel Okulix, sont actuellement uniquement disponibles sur la version Anterior Heidelberg, distribuée par Sanotek (cf. Aspects pratiques).

La Cataract App inclut également un planificateur pour IOL torique, à l'image de ceux que l'on trouve en ligne sur les sites de différents laboratoires (**fig. 9**).

3. Metrics App

Cette application permet une analyse métrique radiale sur 360°. Cela a un intérêt significatif dans l'analyse de l'angle iridocornéen, du cristallin et de la chambre antérieure. La résolution dans la sclère et au limbe permet de très nettement identifier les éperons scléaux et le trabéculum. La mise en place des calipers de repérage se fait de façon manuelle (contrairement à certains OCT-SS comme le Casia 2 qui ont un mode de repérage semi-automatique).

Une fois le marquage des éperons scléaux effectué, l'ACE va pouvoir calculer les éléments métriques suivants :

- STS (*spur to spur*): distance éperon à éperon;
- *lens vault*: *vaulting* du cristallin au-delà de la ligne STS. Attention ++ à ne pas confondre avec le calcul de la flèche cristallinienne qui est le *vaulting* calculé au-delà de la ligne *sulcus to sulcus*;
- AOD (*angle opening distance*) 500/750: ouverture de l'angle à distance de 500/750 μm de l'éperon (en μm);
- TISA (*trabecular iris space area*) 500/750: surface de séparation iridotrabéculaire à 500/750 μm (en mm^2);
- ACA (*anterior chamber angle*): mesure de l'angle iridocornéen (en degrés);
- mesure du blanc à blanc (automatique; **fig. 10**).

Associés à la biométrie de la chambre antérieure (volume, profondeur), la longueur axiale ainsi que l'épaisseur et le *vaulting* du cristallin, ces éléments sont importants pour l'évaluation du risque de fermeture de l'angle (idéalement mesurés en condition scotopique). On peut également afficher ces valeurs selon une distribution radiale sur 360° pour avoir, par exemple, une estimation de l'ouverture sur toute la circonférence de l'angle iridocornéen.

4. Imaging App

C'est l'application qui permet de faire des coupes OCT grand champ, permises par la résolution maximale de $16,5 \times 7,5 \text{ mm}$, de tout le segment antérieur et selon différents modes de coupe (ligne, radial, arc et volume; **fig. 11 à 13**).

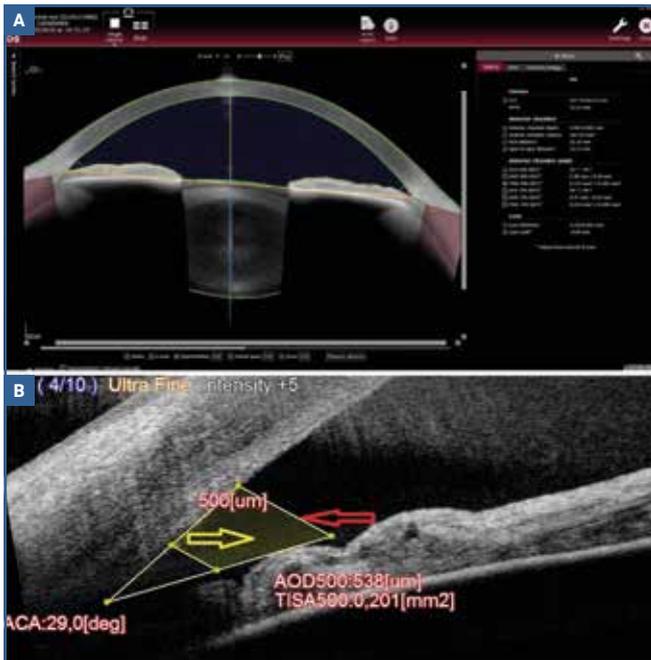


Fig. 10A : Metrics App. Une fois les repères anatomiques placés, l'ACE mesure automatiquement les zones d'intérêt, en particulier pour l'évaluation de l'angle iridocornéen. **B :** ACA, AOD 500 et TISA 500 (détails). À partir du repère de l'éperon scléral, la machine peut déterminer la surface du TISA (flèche jaune) en mm², la distance de l'AOD (flèche rouge) en μm ou l'ouverture de l'angle en degré.



Fig. 11 : Coupe OCT grand champ d'une cataracte cortico-nucléaire. Le cortex et le noyau, normalement hypodenses, sont ici opacifiés et deviennent donc hyperréfectifs en OCT. Ils sont séparés par un anneau hyporéfectif.

Publications relatives à l'ACE

Depuis son apparition sur le marché, cet OCT a été l'objet de nombreuses publications. Certaines ont été présentées au cours du symposium de l'ESCRS 2021. À cette occasion, Findl a présenté une étude sur la fonction biométrique de l'ACE *versus* l'IOL Master 700 et le Lenstar 900, qui a montré une reproductibilité et une congruence des mesures identiques à celle de l'IOL Master et plus reproductible qu'en réflectométrie à cohérence optique (Lenstar) [1]. Ces très bons

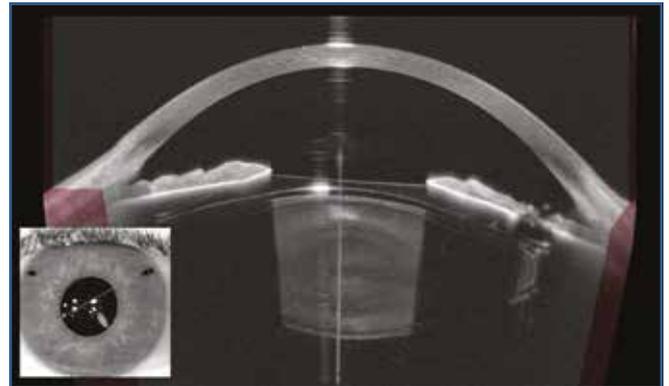


Fig. 12 : Coupe OCT grand champ selon un axe de 40°. On visualise bien la présence de l'implant phaqué de chambre postérieure associé à une iridotomie périphérique nasale supérieure (œil droit). Le vaulting est satisfaisant mais on notera quand même la présence d'une hyperréfectivité dans le cortex antérieur, traduisant l'existence d'une cataracte sous-capsulaire antérieure débutante.



Fig. 13 : Aspect étonnant d'une coupe OCT grand champ, immédiatement après la réalisation d'un capsulorhexis et d'une phacodisruption par laser femtoseconde.

résultats *versus* IOL Master 700 ont été confirmés par d'autres articles [2-4], ce qui tend à installer l'ACE comme un biomètre OCT efficace. Il sera durement concurrencé sur ce segment par l'EyeStar 900 de Haag-Streit, le biomètre Argos d'Alcon ou l'OA-2000 de Tomey.

Pour l'analyse cornéenne, les études soulignent la très bonne reproductibilité des mesures [5, 6]. Cependant, du fait de la jeunesse de la machine, il nous manque encore des études comparatives avec d'autres OCT-SA (Casia 2 ou MS-39) ou des machines de référence (Orbscan ++, TMS-5, Pentacam HR...). La mesure et le suivi des paramètres de l'angle iridocornéen semblent également pertinents, notamment pour l'analyse avant/après une iridotomie [7] ainsi que le *lens vault* dans les suspicions de fermeture de l'angle [8].

Concernant l'implantation phaqué de chambre postérieure, une équipe espagnole vient de publier une étude concernant les résultats post-ICL chez 21 patients (33 yeux) de plus de 40 ans, avec des résultats réfractifs et de *sizing* de l'implant

très satisfaisants [9]. Les mesures de la kératométrie, du blanc à blanc et de l'ACD (*anterior chamber depth*), nécessaires au calcul de la puissance et de la taille de l'implant phaqué, ont été exclusivement réalisées grâce à l'ACE.

■ Modules et implémentations futurs

L'ACE est indiscutablement une machine vouée à évoluer, notamment dans le domaine réfractif. Le potentiel de développement de cet appareil semble très prometteur. Les modules en préparation sont les suivants :

1. Le SCORE ACE (*fig. 14*)

Très utilisé et apprécié par les opérateurs possédant un Orbscan, cette aide algorithmique au dépistage du kératocône fruste est également développée pour ce nouvel appareil. D'après ses concepteurs (Drs Saad et Gatinel), la date de sortie serait imminente, le dossier de marquage CE étant à présent soumis et en attente de validation. Quant à l'utilisation du SCORE, elle devrait être basée le plus probablement sur un logiciel à acquérir.

2. Le mapping épithélial

Malgré une idée répandue, la résolution de l'OCT-SS permet de réaliser des cartographies de l'épaisseur de l'épithélium cornéen, même si seuls les OCT-SD embarquent ce type de fonction actuellement (MS-39 de CSO et XR-Avanti d'Optovue). Cette mesure devient aujourd'hui incontournable dans l'analyse de la cornée, particulièrement en préopératoire de chirurgie réfractive. En effet, la recherche d'un amincissement ± associé à une hypertrophie périphérique (*donut pattern*) est un élément crucial dans le dépistage du kératocône [10-13]. Ce paramètre devrait être également intégré dans le futur SCORE développé pour l'ACE (*cf. supra*).

Le *mapping* épithélial permet également de faire le diagnostic différentiel, en cas d'astigmatisme asymétrique et/ou irrégulier, entre kératocône fruste, *corneal warpage* ou anomalie liée au film lacrymal. Il permet aussi de guider des PKT trans-épithéliales pour le traitement des astigmatismes irréguliers.

3. Laser Link

À l'instar de la station ZyWave, l'ACE est une centrale de transfert de données patient directement vers le laser Teneo 317 Model 2. Les dossiers de type .OTE peuvent

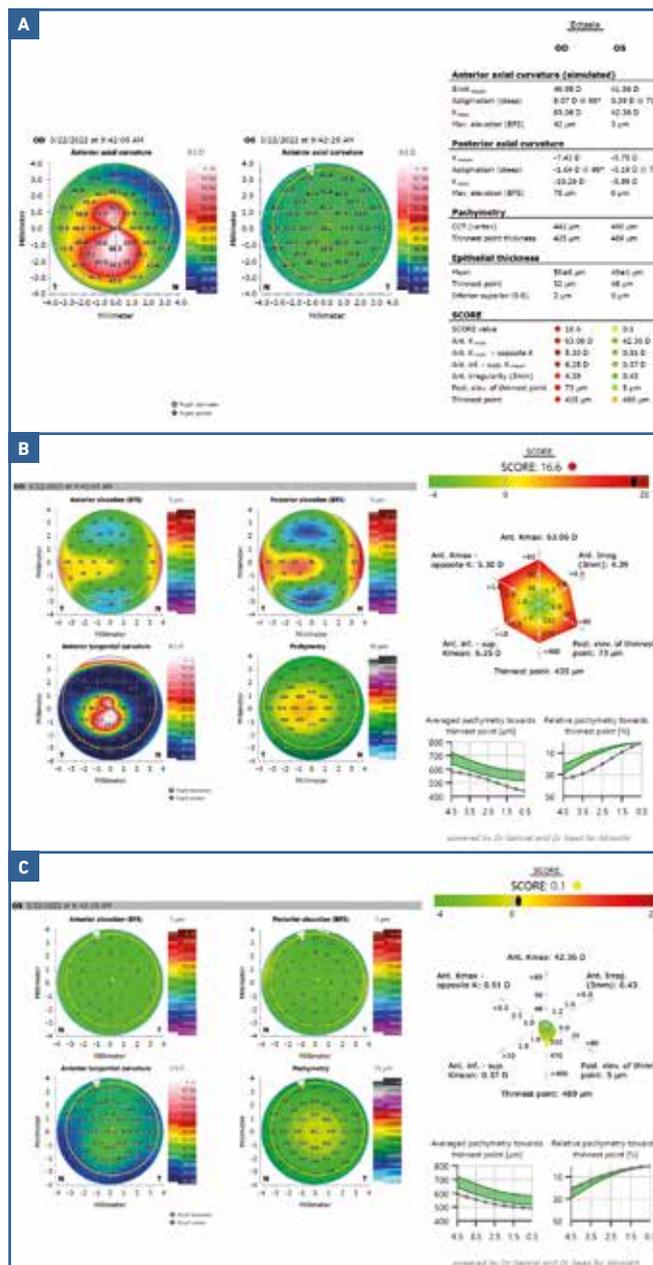


Fig. 14 : SCORE ACE. Images d'un logiciel d'investigation en cours de développement. **A :** Analyse d'un patient présentant un kératocône OD et un kératocône fruste (FFKC) OG. Représentation en mode simultané ODG associant une iconographie de topographie axiale antérieure et une double colonne de paramètres. On note déjà une analyse colorimétrique des différents paramètres analysés, dans la partie inférieure de la colonne. On remarque également une autre nouveauté : l'apparition d'une partie dévolue à l'analyse de l'épaisseur de l'épithélium cornéen ! **B :** même patient, analyse SCORE de l'œil droit. On remarque toujours la présence d'une carte RADAR, mais les 6 paramètres ont été modifiés : exit le différentiel CP-TP et les coordonnées y du point le plus fin, remplacés par la valeur maximale en kératométrie axiale antérieure et un différentiel entre le point de kératométrie maximale antérieure et celui situé sur l'hémiméridien opposé. Enfin, concernant le paramètre de l'élevation postérieure, on ne considère plus l'élevation postérieure maximale mais celle, plus discriminante, du point correspondant à la pachymétrie minimale. **C :** même patient, analyse SCORE de l'œil gauche (FFKC) ; avec l'aimable autorisation du Dr Saad).

d'ores et déjà être exportés vers le laser pour la programmation directe des chirurgies réfractives.

4. Photoablation topoguidée (attention, en cours de développement)

Les cartes éditées par l'ACE vont pouvoir servir de support, en lien avec le Teneo, pour la réalisation d'une ablation *topolink*.

5. Photoablation épiguidée (attention, en cours de développement)

Une fois la fonction de *mapping* épithélial en place, elle pourra également ouvrir le champ à une ablation transépithéliale guidée par épimapping.

■ Aspects pratiques

Forte de son expérience technologique dans le domaine OCT, la société Heidelberg a développé initialement l'OCT-SA Anterior. Ensuite, un accord/partenariat s'est noué avec Bausch + Lomb pour le développement du *software* et étoffer les applications de la machine dans le domaine réfractif. C'est à partir de là que tout devient plus compliqué pour le client, donc nous...

En effet, l'Anterior est "rebadgé" ACE quand il est distribué et vendu par Bausch + Lomb alors que Heidelberg, de son côté, a gardé son réseau distributeur français Sanotek pour l'Anterior. De plus, les deux machines ne sont pas équivalentes car l'Anterior est uniquement destiné à une utilisation diagnostique et correspond donc à un appareil de classe IIA alors que l'ACE, qui va pouvoir être lié à un laser Teneo et permettre le transfert de données patients, est lui considéré comme un appareil de classe IIB. Raison pour laquelle l'ACE ne peut pas bénéficier du *viewer* de Heidelberg dédié (logiciel Heyex et Heyex 2), car on ne peut pas mettre en réseau une machine de classe IIB, alors que l'Anterior le peut. L'ACE ne peut donc pas non plus être inclus dans le réseau interne du cabinet, pour le connecter par exemple à une imprimante à distance ou exporter ses données *via* un PDF sur un poste médecin.

Cette situation réglementaire ubuesque n'est pas le fait du fabricant mais de l'Union européenne. Il existait déjà sur le marché une configuration similaire : le Pentacam (Oculus) est un appareil de diagnostic IIA et vendu comme tel, l'Oculyzer (Alcon) est identique mais classé IIB car relié à la plateforme Allegretto.

Points forts	Points faibles
<ul style="list-style-type: none"> ● Excellent topo-tomographe ● Excellent biomètre OCT-based ● Image grand champ ● Application glaucome ● Rapidité/qualité de la prise de mesure ● Potentiel évolutif (SCORE, épimap, laser Link...) ● Disparition du Placido 	<ul style="list-style-type: none"> ● Ergonomie des cartes (<i>multiview ++</i>) ● Prix +++ ● Double réseau de distribution ● Formules IOL disponibles limitées ● Okulix (<i>ray tracing</i>) uniquement sur l'Anterior ● Pas de <i>viewer</i> et de mise en réseau possible pour l'ACE +++ ● Disparition du Placido (?)

Tableau II.

Enfin, le double réseau de distribution/vente entraîne également d'autres différences : le *ray tracing* par Okulix n'est disponible actuellement que sur l'Anterior, les modules réfractifs à venir ne seront probablement disponibles que pour l'ACE, le prix de vente des deux machines n'est pas le même (*tableau II*)...

■ Conclusion

L'ACE réalise sans conteste une réelle avancée technologique dans l'exploration du segment antérieur et de la cornée en particulier. Il est pour l'instant le seul OCT de segment antérieur du marché à offrir des fonctionnalités avancées dans le domaine de la chirurgie réfractive et de la cataracte. Sa robustesse technologique est étayée par de nombreuses publications qui la placent au niveau des meilleurs topographes et biomètres disponibles actuellement.

Son potentiel évolutif concernant la chirurgie cornéenne semble très important dans un proche avenir. Il devrait, à terme, devenir un outil indispensable dans nos centres de consultation, grâce à la précision des mesures effectuées (rupture technologique), que ce soit pour le dépistage du kératocône fruste ou le calcul d'implant après chirurgie réfractive. Son association avec le laser Teneo II permettra de redéfinir de nouveaux standards dans le traitement photoablatif cornéen.

L'auteur tient à remercier tout particulièrement le Dr A. Saad pour son aide concernant le chapitre sur le SCORE ACE.

Bibliographie

1. FIŞUŞ AD, HIRNSCHALL ND, RUISS M *et al.* Repeatability of 2 swept-source OCT biometers and 1 optical low-coherence reflectometry. *J Cataract Refract Surg*, 2021;47:1302-1307.
2. SHETTY N, KAWERI L, KOSHY A *et al.* Repeatability of biometry measured by three devices and its impact on predicted intraocular lens power. *J Cataract Refract Surg*, 2021;47:585-592.

3. KIM KY, CHOI GS, KANG MS *et al.* Comparison study of the axial length measured using the new swept-source optical coherence tomography ANTERION and the partial coherence interferometry IOL Master. *PLoS One*, 2020 31;15:e0244590.
4. TAÑÁ-SANZ P, RODRÍGUEZ-CARRILLO MD, RUIZ-SANTOS M *et al.* Agreement of predicted intraocular lens power using swept-source optical coherence tomography and partial coherence interferometry. *Expert Rev Med Devices*, 2021;18:1219-1234.
5. TAÑÁ-RIVERO P, AGUILAR-CÓRCOLES S, RUIZ-MESA R *et al.* Repeatability of whole-cornea measurements using a new swept-source optical coherence tomographer. *Eur J Ophthalmol*, 2021;31:1709-1719.
6. RUIZ-MESA R, AGUILAR-CÓRCOLES S, MONTÉS-MICÓ R *et al.* Ocular biometric repeatability using a new high-resolution swept-source optical coherence tomographer. *Expert Rev Med Devices*, 2020;17:591-597.
7. MEDURI E, GILLMANN K, BRAVETTI GE *et al.* Iridocorneal angle assessment after laser iridotomy with swept-source optical coherence tomography. *J Glaucoma*, 2020;29:1030-1035.
8. TAÑÁ-RIVERO P, RUIZ-MESA R, AGUILAR-CÓRCOLES S *et al.* Lens-vault analysis and its correlation with other biometric parameters using swept-source OCT. *J Optom*, 2022;15:88-99.
9. TAÑÁ-RIVERO P, PASTOR-PASCUAL F, CRESPO M *et al.* Posterior-chamber phakic intraocular lens implantation in patients over 40 years of age. *J Ophthalmol*, 2020;29;2020:7457902.
10. REINSTEIN DZ, GOBBE M, ARCHER TJ *et al.* Epithelial, stromal, and total corneal thickness in keratoconus: three-dimensional display with artemis very-high frequency digital ultrasound. *J Refract Surg*, 2010;26:259-271.
11. LAHME L, STORP JJ, DIENER R *et al.* Corneal epithelial thickness in keratoconus patients compared to healthy controls. *Ophthalmologe*, 2022 [Epub ahead of print].
12. YANG XL, WANG Y, LUO BG *et al.* Corneal epithelial thickness analysis of forme fruste keratoconus with optical coherence tomography. *Int J Ophthalmol*, 2021;14:89-96.
13. TEMSTET C, SANDALI O, BOUHERAOUA N *et al.* Corneal epithelial thickness mapping using Fourier-domain optical coherence tomography for detection of forme fruste keratoconus. *J Cataract Refract Surg*, 2015;41:812-820.

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



R. AMBRÓSIO
RIO DE JANEIRO – Brésil.

Intelligence artificielle pour la prédiction du risque d'ectasie post-Lasik

Le professeur Renato Ambrósio est un chirurgien réfractif et un scientifique de renommée internationale. Ses principaux domaines d'intérêt sont le diagnostic cornéen/réfractif, la correction de la vision au laser sur mesure, la chirurgie réfractive de la cataracte et les procédures thérapeutiques pour le kératocône. Outre ses activités académiques, il exerce dans des cabinets privés à Rio de Janeiro : Instituto de Olhos Renato Ambrósio et VisareRIO-Refracta Personal Laser.

Michael Assouline : Quels sont les principaux facteurs de risque d'ectasie cornéenne post-Lasik ?

Renato Ambrósio : La correction de la vision au laser est l'une des procédures chirurgicales les plus pratiquées dans le monde. Elle apporte des avantages remarquables en termes de qualité de vie des patients, avec des risques relativement faibles. Néanmoins, compte tenu de la nature élective de la procédure, les complications potentielles doivent être soigneusement prises en compte, en particulier l'ectasie iatrogène post-Lasik (ELP) qui se produit en raison d'une défaillance biomécanique du tissu cornéen compromettant la stabilité de sa forme. Le dépistage préopératoire des candidats

à la chirurgie réfractive est donc essentiel pour éliminer les conditions prédisposant à l'ectasie iatrogène. La prédiction du risque d'ectasie post-Lasik doit prendre en compte une combinaison de données relatives au patient et de paramètres liés à la procédure (**tableau 1**). Notamment, le pourcentage d'altération du tissu supérieur à 40 % est un paramètre plus sensible qu'une valeur fixe pour le lit stromal résiduel minimal de 250 µm. Cependant, l'impact biomécanique de la chirurgie est lié à la région et au nombre de lamelles qui sont sectionnées, de sorte que l'épaisseur et la géométrie du lambeau devraient jouer un rôle plus pertinent, en accord avec les simulations par éléments finis.

M. A. : Pourquoi est-il toujours aussi difficile d'exclure les formes très précoces de kératocône ?

R. A. : Il n'existe pas de marqueur biologique du kératocône permettant d'établir un diagnostic de certitude et de valider les méthodes de détection avec précision. Même si les cas cliniquement évidents sont faciles à détecter par la rétinoscopie, l'examen à la lampe à fente et les topographies démontrant une évolution de la forme de la cornée avec le temps, les stades précoces de l'ectasie sont difficiles à détecter en raison de la grande similitude avec les cornées normales et de l'absence de consensus dans la définition de ces cas, appelés forme fruste du kératocône (FFKC), kératocône suspect (KCS) et kératocône préclinique et infraclinique.

Pour évaluer la valeur d'une méthode de détection, la meilleure conception d'étude consiste à comparer les données préopératoires de patients qui sont restés stables après la chirurgie LASIK avec les données de patients qui ont développé une ectasie iatrogène (PLE). Un autre design consiste à utiliser un groupe témoin présentant une ectasie très asymétrique (VAE-NT : topographie normale dans un œil et kératocône clinique dans l'autre), car c'est le groupe qui présente le plus

Susceptibilité préopératoire de la cornée (faibles propriétés biomécaniques) :

- Maladie ectasique préopératoire de la cornée
- Jeune âge
- Faible pachymétrie préopératoire

Impact biomécanique sévère de la chirurgie :

- Pourcentage élevé de tissu altéré (PTA \geq 40 %)
- Lit stromal résiduel (RSB) faible en raison d'une ablation laser excessive pour des corrections élevées ou de multiples retraitements (RSB \leq 250 µm ou 1/2 de l'épaisseur préopératoire)
- Lambeau LASIK épais
- Petite zone de traitement entraînant une distribution anormale des contraintes focales.

Traumatisme sévère après la chirurgie :

- Frottement agressif de l'œil
- Autres sources de traumatisme cornéen contondant

Tableau 1 : Facteurs de risque d'ectasie cornéenne post-Lasik (PLE).

Pour la pratique on retiendra

- La prédiction du risque d'ectasie post-Lasik doit prendre en compte une combinaison de données relatives au patient et de paramètres liés à la procédure.
- Un pourcentage d'altération du tissu supérieur à 40 % est un paramètre plus sensible qu'une valeur fixe pour le lit stromal résiduel minimal de 250 µm. Cependant, l'impact biomécanique de la chirurgie est lié à la région et au nombre de lamelles sectionnées, de sorte que l'épaisseur et la géométrie du lambeau devraient jouer un rôle plus pertinent, en accord avec les simulations par éléments finis.
- L'utilisation de la caractérisation cornéenne avancée de l'état préopératoire des cas qui ont développé une ectasie et de ceux qui sont stables après le Lasik représente les populations les plus proches de l'idéal pour le développement et le test de la sensibilité et de la spécificité des approches d'évaluation du risque d'ectasie.
- Les technologies de diagnostic de la forme de la cornée sont l'outil le plus couramment utilisé par les chirurgiens pour sélectionner les candidats à la chirurgie Lasik. En raison de la grande variabilité des classifications subjectives des cartes à code couleur de la topographie cornéenne, des critères objectifs et validés sont essentiels pour que le clinicien puisse tirer pleinement parti de ces technologies.
- Les paramètres biomécaniques de la cornée et les cartes topographique de l'épaisseur épithéliale peuvent également contribuer à cette détection.
- L'intégration de l'analyse de simulation et des stratégies d'intelligence artificielle (analyse de régression, support-vector machine SVM, random forest) devrait permettre de combiner ces paramètres et de jouer un rôle important dans ce domaine. L'application de techniques de validation croisée et de validations externes dans des populations distinctes sont des étapes fondamentales pour le développement de ces méthodes afin de garantir leur applicabilité et leur fiabilité cliniques.

de similitudes avec les patients à risque d'ectasie post-LASIK, même si les altérations dans le groupe ectasie peuvent être différentes du modèle trouvé dans le kératocône subclinique (N.d.T. : la combinaison de ces deux groupes de contrôle a été initialement introduite en 2004 par Assouline & Angot).

M. A. : La topographie cornéenne est-elle suffisante dans le bilan préopératoire de routine pour le Lasik et quelle est la valeur des critères statistiques fournis par les fabricants ?

R. A. : Les technologies de diagnostic de la forme de la cornée sont l'outil le plus couramment utilisé par les chirurgiens pour sélectionner les candidats à la chirurgie Lasik. En raison de la grande variabilité des classifications subjectives des cartes couleur de la topographie cornéenne, des critères objectifs et validés sont essentiels pour que le clinicien puisse tirer pleinement parti de ces technologies. Diverses approches mathématiques ont donc été introduites pour détecter les KC avec la topographie cornéenne :

– Klyce et Maeda ont été les pionniers dans ce domaine et ont utilisé des méthodes basées sur un réseau neuronal pour analyser les indices de topographie à partir du vidéokératoscope TMS de Tomey ;

– nous avons ensuite mis en œuvre un modèle de régression basé sur les indices Pentacam pour introduire l'affichage de la déviation Belin/Ambrosio (BAD-D). L'index BAD-D ne permet toutefois de classer correctement que 55,3 % des EPL ;

– Saad et Gatinel ont décrit un modèle linéaire discriminant qui a été développé avec un autre tomographe cornéen (Score[®], Orbscan II ; Technolas, Munich, Allemagne), avec une sensibilité plus élevée (93 %) et une spécificité plus faible (92 %). Ce modèle a ensuite été validé dans deux populations indépendantes, bien que dans un groupe ethnique différent une diminution de la sensibilité à 70,8 % ait été observée, avec malgré tout le maintien de la spécificité (98,1 %) ;

– Smadja et ses associés ont utilisé des méthodes de détection des cornées ectasiques basées sur un autre tomographe, le Galilei Dual Scheimpflug Analyzer (Ziemer Ophthalmic Systems AG, Port, Suisse) pour détecter le KC avec une sensibilité et une spécificité supérieures à 99 %. La détection du VAE-NT a atteint une sensibilité corrigée de 90 % et 86 %, respectivement ;

– Ruiz Hidalgo et son équipe ont rapporté un modèle SVM appliqué aux données HR de Pentacam qui a obtenu une aire sous la courbe (AUC) légèrement inférieure de 0,922 avec une sensibilité de 79,1 % et une spécificité de 97,9 % dans la détection du VAE-NT ;

– Kovacs et ses collaborateurs ont abordé le problème de la détection du VAE-NT en utilisant des réseaux neuronaux et des données bilatérales de patients. Ils ont obtenu une AUC de 0,96 avec une sensibilité de 92 % et une spécificité de 85 % ;

– Arbelaez et ses collaborateurs ont utilisé le modèle SVM pour détecter le kératocône subclinique et ont obtenu une sensibilité de 92 % et une spécificité de 97,7 % ;

– Bae et ses collaborateurs, avec les indices uniques de Pentacam HR, ont atteint la meilleure précision dans la

détection du VAE-NT avec l'indice d'asymétrie ST-IN (*superotemporal-inferonasal asymmetry*), AUC $\frac{1}{4}$ 0,809 ;

– nous avons récemment développé un algorithme d'intelligence artificielle d'apprentissage automatique de Random Forest plus avancé (PRFI) basé sur les données de topographie cornéenne Pentacam collectées sur trois continents pour prendre en compte les différences ethniques et obtenir une cohorte d'étude suffisamment grande (3 693 cas avec 188 VAE-NT). Notre PRFI a correctement classé 80 % des PLE. Pour la détection des VAE-NT, le PRFI a présenté une sensibilité de 85,2 % et une spécificité de 96,6 % (AUC $\frac{1}{4}$ 0,968).

M. A. : Pouvons-nous encore améliorer notre capacité de détection avec d'autres méthodes alternatives ?

R. A. : Malgré cette amélioration de la précision, la classification erronée de 20 % des cas suggère la nécessité de poursuivre les recherches afin de mieux comprendre les changements structuraux de la cornée, notamment la réponse biomécanique, la topographie de l'épaisseur épithéliale et l'analyse du front d'onde oculaire.

L'Ocular Response Analyzer (ORA ; Reichert Ophthalmic Instruments, Buffalo, NY), introduit en 2005, est un tonomètre

sans contact (NCT) conçu pour fournir une mesure plus précise de la pression intraoculaire (PIO) et évaluer la réponse de la cornée pendant le processus d'aplanissement bidirectionnel induit par un jet d'air pressurant la cornée.

Le Corvis ST (Oculus, Wetzlar, Allemagne), introduit en 2010, enregistre la déformation de la cornée à l'aide d'une caméra Scheimpflug à ultra haute vitesse (UHS) afin de fournir une véritable visualisation et des détails supplémentaires sur le processus de déformation de la cornée pendant le NCT. Contrairement à l'ORA, la bouffée d'air qui déforme la cornée est constante tant dans sa pression maximale que dans son profil de pression.

Des études ont démontré la capacité de l'évaluation biomécanique de la cornée à détecter une forme fruste (FFKC) légère de KC subclinique dans des yeux présentant une carte topographique antérieure "innocente" et relativement normale de patients présentant un KC clinique controlatéral.

L'intégration de la tomographie cornéenne et des données biomécaniques dans l'indice biomécanique tomographique (TBI), combinant les données du Corvis ST et du Pentacam HR, par le biais d'une approche d'intelligence artificielle (méthode *random forest* avec validation croisée de type

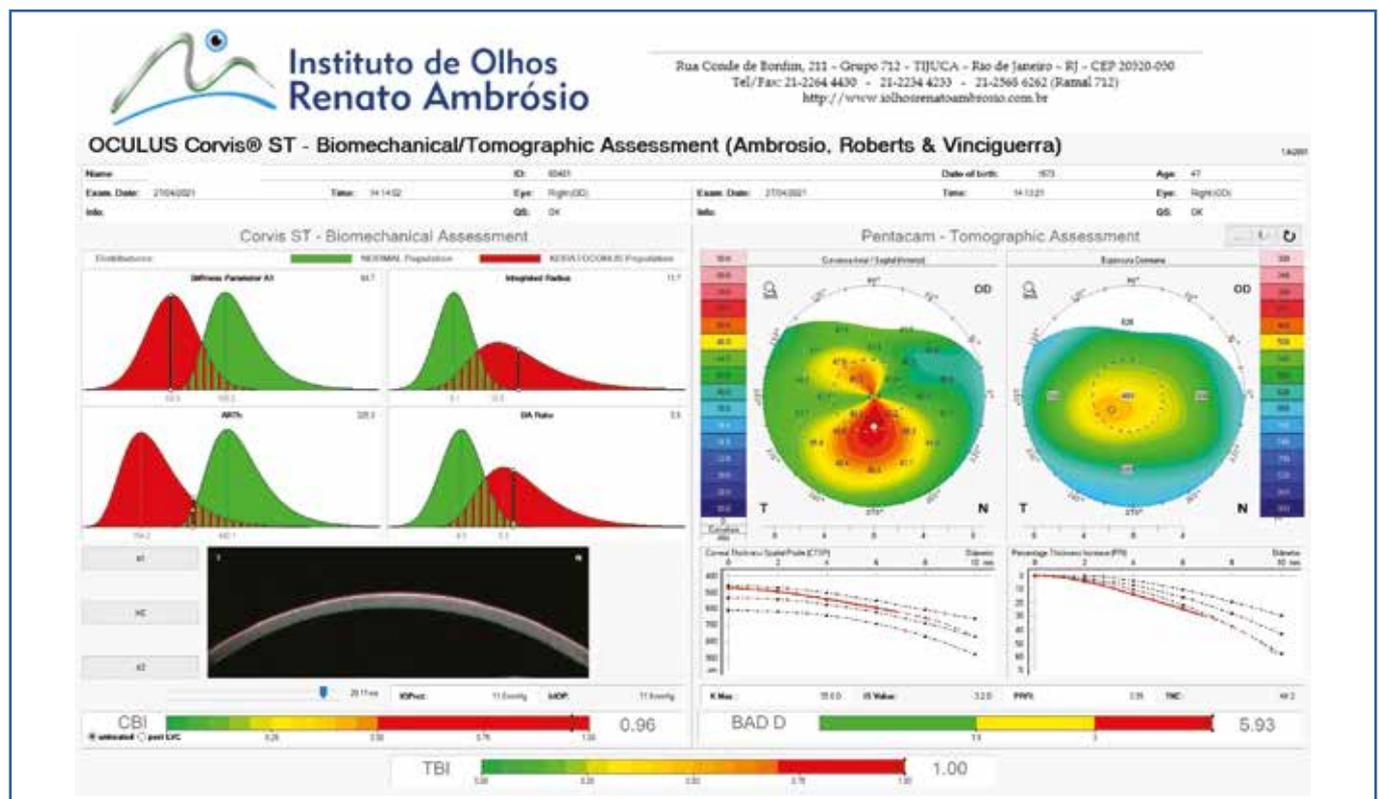


Fig. 1.

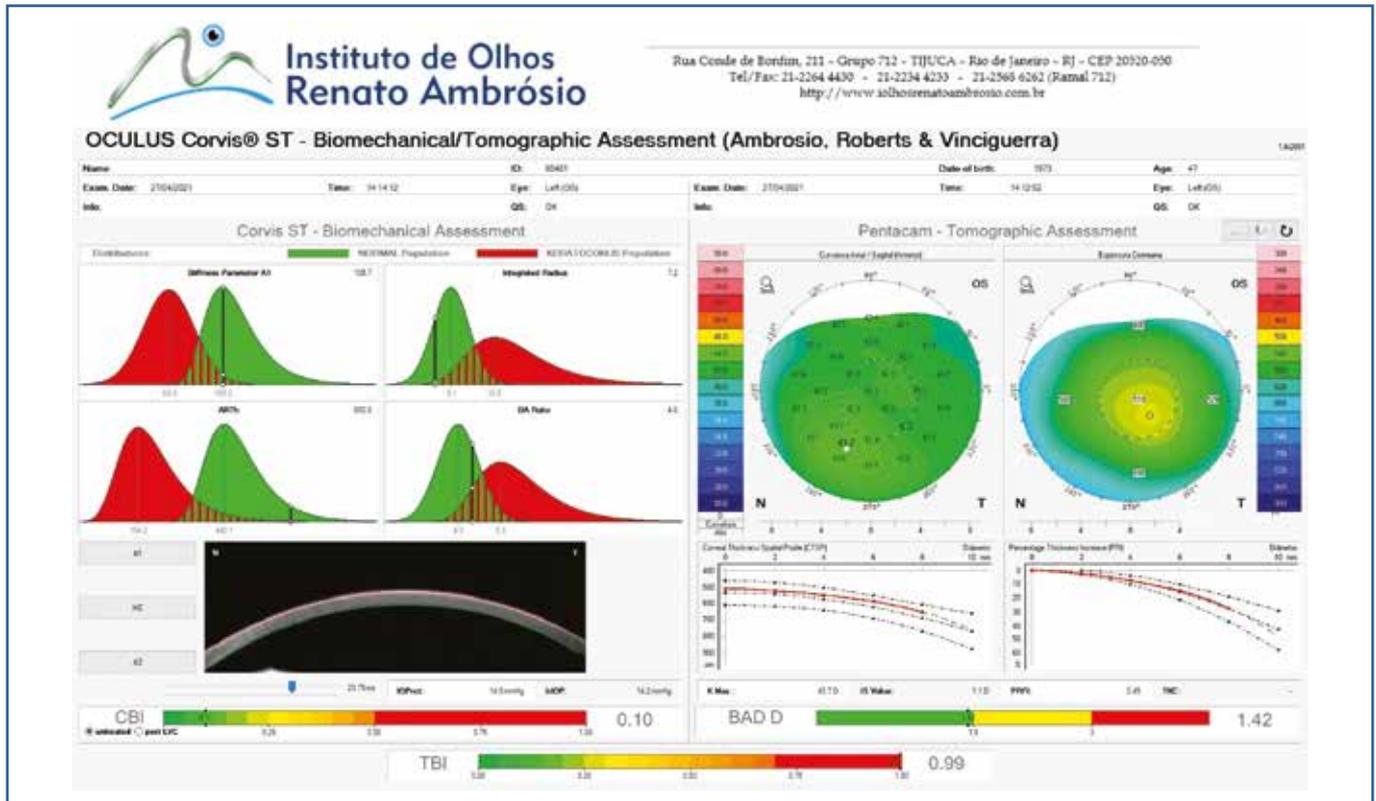


Fig. 2.

leave-one-out-RF-LOOCV) a encore amélioré notre capacité à détecter les cas très précoces et les cas de VAE-NT (fig. 1 et 2). Le TBI a été construit à l'aide d'un modèle de *random forest* utilisant des données provenant à la fois de la réponse de déformation de la cornée et de la forme de la cornée (tomographie) afin d'optimiser notre capacité à distinguer les yeux normaux des yeux altérés. Le seuil de 0,79 a fourni une sensibilité et une spécificité de 100 % pour détecter l'ectasie clinique formée par les cas de KC et d'ectasie très asymétrique (VAE-E). Pour les yeux présentant un standard topographique normal, un seuil optimisé de 0,29 offrait une sensibilité de 90,4 % et une spécificité de 96 %, avec une aire sous la courbe ROC de 0,985. L'AUC du TBI était statistiquement plus élevée que tous les autres paramètres analysés.

D'autres méthodes d'imagerie telles que l'OCT Swept Source, la technologie d'imagerie par ondes de cisaillement super-soniques, la topographie OCT de la couche de Bowman, la microscopie optique Brillouin et l'élastographie OCT sont actuellement à l'étude pour améliorer encore l'évaluation *in vivo* de la biomécanique cornéenne.

L'intégration de l'analyse de simulation et des stratégies d'intelligence artificielle (analyse de régression, *support-vector*

machine, random forest) devrait permettre de combiner tous ces paramètres et de jouer un rôle important dans ce domaine en attendant que la biologie moléculaire ou la protéomique apportent une réponse décisive à ce problème. L'application de techniques de validation croisée et de validations externes dans des populations distinctes est une étape fondamentale pour le développement de ces méthodes afin de garantir leur applicabilité et leur fiabilité cliniques.

Pour en savoir plus

- AMBRÓSIO R, LOPES BT, FARIA-CORREIA F *et al.* Integration of Scheimpflug-Based Corneal Tomography and Biomechanical Assessments for Enhancing Ectasia Detection. *J Refract Surg*, 2017;33:434-443.
- LOPES BT, RAMOS IC, SALOMÃO MQ *et al.* Enhanced Tomographic Assessment to Detect Corneal Ectasia Based on Artificial Intelligence. *Am J Ophthalmol*, 2018;195:223-232.
- YANG Y, PAVLATOS E, CHAMBERLAIN W *et al.* Keratoconus detection using OCT corneal and epithelial thickness map parameters and patterns. *J Cataract Refract Surg*, 2021;47:759-766.
- ESPORCATE LPG, SALOMÃO MQ, LOPES BT *et al.* Biomechanics in Keratoconus Diagnosis. *Curr Eye Res*, 2022;1-7. doi:10.1080/02713683.2022.2041042 [Online ahead of print].

Propos recueillis et traduits par le Dr Michael Assouline.



M. ASSOULINE^{1,2,3}, O. SHUKRON³

¹ Centre Iéna Vision, PARIS.

² Clinique de la Vision/OneClinic – Groupe Visya, PARIS.

³ Mikajaki SA, PLAN-LES-OUATES, Suisse.

dr.assouline@gmail.com

Système d'aide à la décision pour l'éligibilité et l'indication opératoire en chirurgie réfractive

La chirurgie réfractive est une pratique ophtalmologique très répandue et sûre pour corriger les différents défauts de la vision afin de bénéficier d'une indépendance totale ou relative vis-à-vis d'une correction optique conventionnelle par lunettes ou lentilles de contact. On estime que plus de 60 millions de cas ont bénéficié d'une chirurgie de correction de la vision au laser depuis 1990. Les volumes actuels sont de l'ordre de 4 millions de procédures annuelles à l'échelle mondiale, avec une croissance robuste de 9,6 % par an attendue d'ici 2025, générant un marché de 10 milliards de dollars annuels environ.

La sélection des candidats à la chirurgie réfractive est un processus codifié et rigoureux, qui permet aux praticiens spécialistes d'orienter (ou de récuser parfois) les patients vers l'une ou plusieurs des nombreuses options chirurgicales disponibles. L'indication opératoire pertinente pour un patient donné nécessite l'intégration de nombreux paramètres, tels que les caractéristiques démographiques, médicales, optiques, anatomiques ou biométriques de l'œil, ainsi que les facteurs subjectifs propres à chaque patient (préférences, coût, style de vie, contraintes professionnelles). Ces paramètres permettent à chaque chirurgien de formuler une appréciation du rapport bénéfice/risque de chaque type d'intervention basée sur la science médicale et sur sa propre expertise de chacune des méthodes possibles.

Cette analyse est très largement dépendante de la qualité et de l'exhaustivité du bilan préopératoire ainsi que de l'éducation, de la spécialisation et de l'expérience du chirurgien. Une large proportion des effets indésirables et des complications de la chirurgie réfractive est directement imputable à l'absence relative de prise en compte des critères objectifs de la sélection des patients ou au choix discutable d'une procédure suboptimale pour le cas envisagé.

L'exemple le plus caractéristique est celui des indications excessives de Lasik pour des amétropies trop élevées (au-delà de

8 dioptries) avec des cornées trop fines ou suspectes, pour des pupilles trop larges, générant un risque important d'asphéricité, d'aberrations optiques avec perte de la qualité de vision et d'instabilité mécanique avec ectasie cornéenne irréversible. Il existe également de nombreuses autres situations pour lesquelles les praticiens peuvent hésiter par méconnaissance relative des critères limites (par exemple kératométrie minimale ou maximale admissible) ou des bénéfices comparatifs des différentes approches (zone optique effective des implants phaqes, avantage du traitement guidé par l'aberrométrie, implants asphériques...).

■ Un nouveau système automatisé d'aide à la décision

Afin de contribuer à la normalisation de l'usage des règles consensuelles et de faciliter la sélection des patients et des procédures, nous avons développé un système expert automatisé d'aide à la décision pour la chirurgie réfractive fondé sur un ensemble de règles de décisions personnelles appliquées dans notre pratique quotidienne, reflétant largement le consensus scientifique actuel.

Notre système d'aide à la décision est basé sur l'analyse et l'intégration automatisées de 3 catégories de données :

- des informations subjectives, telles que les éléments démographiques, symptômes, habitudes de vie, préférences, antécédents et facteurs de risque du patient, collectées à l'aide d'un agent virtuel en ligne (Ariane-InSight, Mikajaki, Paris) ;
- des mesures oculaires objectives provenant de la station robotique de diagnostic ophtalmologique (EyeLib-2, Mikajaki, Genève) comportant un OCT spectral biomètre antérieur et postérieur (Revo, Optopol) et un analyseur de segment antérieur (VX130, Visionix Luneau) ;
- des contraintes techniques d'application spécifiées pour chaque procédure par les fabricants (taux d'ablation tissulaire

par dioptrie pour une zone optique nominale de 6,50 mm par défaut pour la photoablation au laser Excimer ou l'extraction lenticulaire, contraintes anatomiques géométriques de la chambre antérieure pour les implants phaques de type ICL, Visian Staar ; *fig. 1*).

L'objectif de ce système est de suggérer l'indication opératoire de chirurgie réfractive la plus pertinente pour chaque candidat ("recommandée"), ainsi que de préciser les indications éventuellement "acceptables" et les "contre-indications" en fonction des données spécifiques du patient. Cela permet aux praticiens d'optimiser instantanément la sélection des candidats, en tenant compte de tous les paramètres objectifs ou subjectifs et de l'analyse des risques postopératoires, sans avoir à rechercher les divers documents nécessaires à partir des différentes sources d'examen, ni à réaliser manuellement les calculs critiques requis.

■ Caractéristiques actuelles du système

>>> Aide à la décision automatisée et intuitive :

- pour toutes les amétropies (myopie, hypermétropie, astigmatisme, presbytie) ;
- sélection parmi une douzaine de chirurgies réfractives possibles ;

- 3 niveaux de décision : chirurgie recommandée, acceptable et contre-indications.

>>> Prédiction détaillée par intelligence artificielle ou algorithme dédiés :

- de la marge d'erreur de la réfraction postopératoire ;
- de la kératométrie postopératoire ;
- du lit stromal résiduel attendu après ablation stromale (Lasik, PKR, Smile) ;
- du risque d'ectasie post-Lasik.

>>> Paramétrable facilement :

- intégration de questionnaires spécifiques (agent virtuel Ariane Insight) ;
- prise en charge de nouveaux types de chirurgies et de l'évolution du consensus ;
- prise en compte des règles et habitudes de chaque chirurgien.

>>> Ergonomie flexible :

- entièrement intégré à la plateforme EyeLib-2 ;
- présenté par défaut dans le rapport diagnostique SmartVision Report ;
- utilisable en tant que produit autonome dans un centre d'ophtalmologie ou de chirurgie réfractive, indépendamment de la plateforme EyeLib-2 ;
- sécurisation du dossier par reconnaissance faciale.

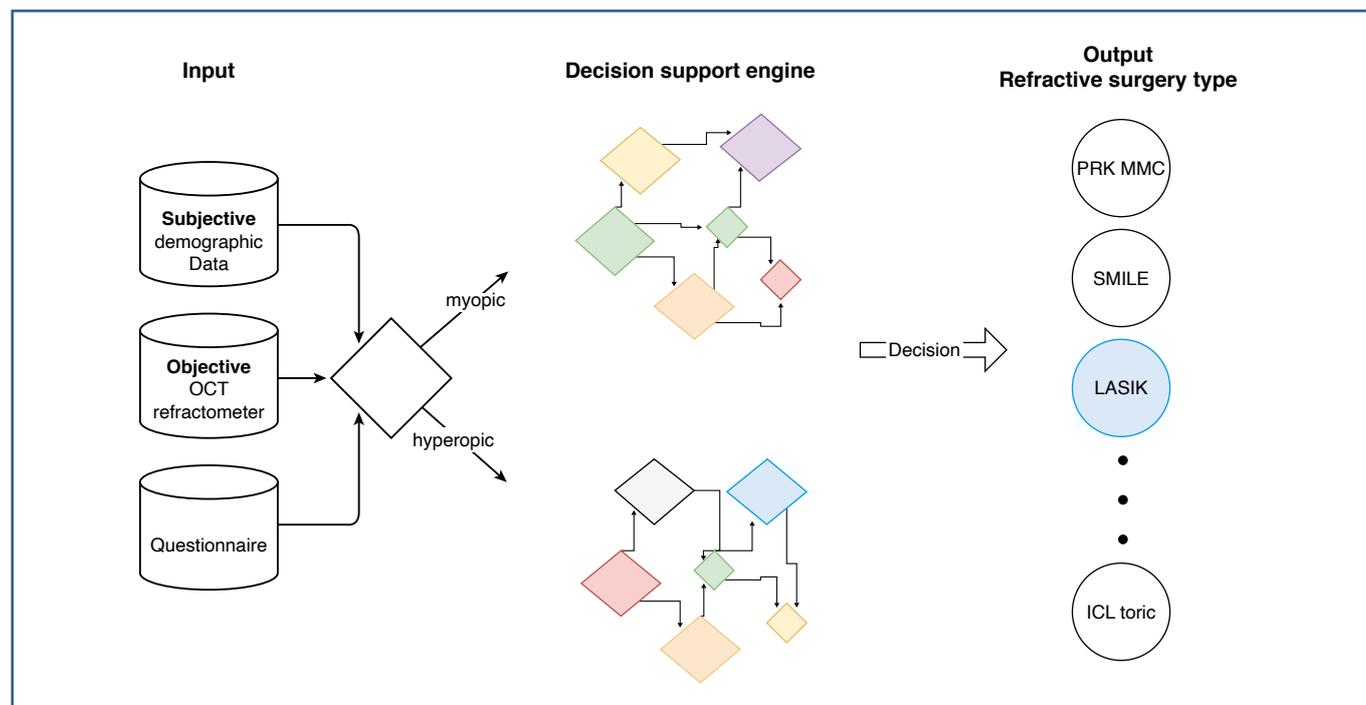


Fig. 1.

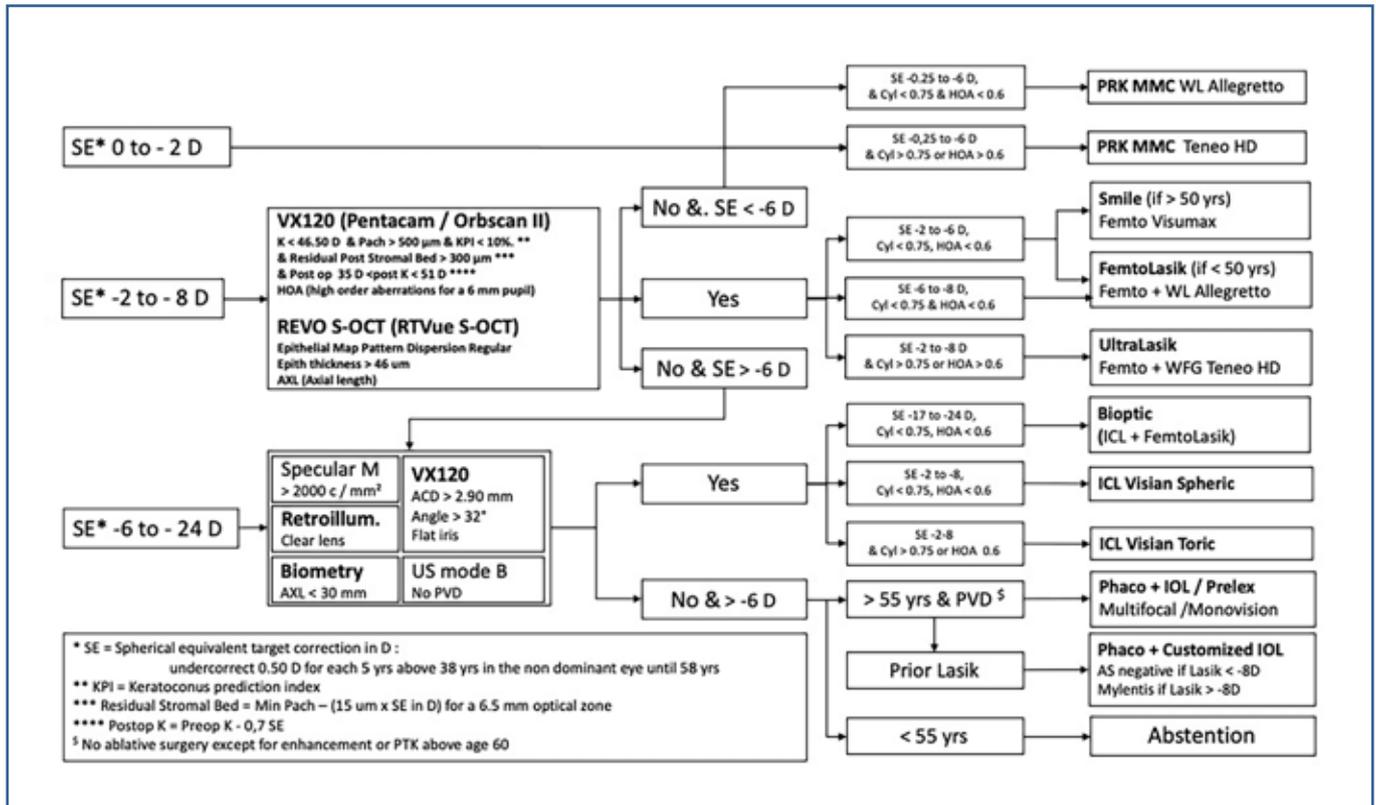


Fig. 2 : Algorithme décisionnel EyeLib (© M. Assouline).

■ Caractéristiques supplémentaires en cours de développement

>>> Modèle paramétrable directement permettant à chaque utilisateur l'ajustement des règles et des seuils au moyen d'une interface graphique intuitive.

>>> Analyse automatisée de la topographie épithéliale en OCT spectral.

>>> Analyse automatisée de la transparence du cristallin en rétro-illumination (fig. 2).

M. Assouline et O. Shukron sont respectivement cofondateur et chef artificiel intelligence data science and computer vision de Mikajaki.



O. SHUKRON¹, M. ASSOULINE^{1,2,3}

¹ Mikajaki SA, PLAN-LES-OUATES, Suisse.

² Centre Iéna Vision, PARIS.

³ Clinique de la Vision/OneClinic – Groupe Visya, PARIS.

dr.assouline@gmail.com

Prédiction de la puissance d'une lentille intraoculaire pour la chirurgie de la cataracte

Nouveau modèle d'IA de type machine learning

La puissance de la lentille intraoculaire (LIO) implantée pour une chirurgie de la cataracte peut être prédite par un calcul empirique ou théorique à l'aide de diverses formules classiques (Haigis, Hoffer Q, Holladay 1 et 2, et SRK/T). Il n'existe cependant à ce jour aucune formule universelle adaptée à tous les variants anatomiques et les chirurgiens s'appuient sur leur expérience personnelle subjective pour choisir ou ajuster la formule la plus appropriée, en fonction des caractéristiques spécifiques du patient.

Malgré ces ajustements, une erreur réfractive significative (supérieure à 0,50 D) subsiste en postopératoire avec les formules classiques dans environ 22 à 33 % des cas, ce qui est bien moins précis que la chirurgie réfractive au laser (1 à 9 % d'erreur résiduelle supérieure à 0,50 D).

L'erreur réfractive résiduelle constatée peut provenir de diverses sources :

- erreurs de mesure préopératoire de la kératométrie ou de la longueur axiale ;
- variations chirurgicales dans le placement de la lentille ;
- imperfections du modèle dans la prédiction des valeurs postopératoires critiques déterminant la puissance apparente de l'implant, liées par exemple à la position effective de la lentille (*effective lens position*, ELP) ;
- limitations d'une formule donnée pour prédire la puissance de la LIO chez tous les variants anatomiques oculaires (par exemple yeux courts par rapport aux yeux longs).

Des formules plus récentes (Barrett Universal II-BUII, Emmetropia Verifying Optical-EVO, Kane, Næser 2, Olsen, Panacea, Pearl-DGS, Radial Basis Function-RBF, T2 et VRF) ont été développées pour améliorer la précision de ce calcul prédictif. La formule de Barrett Universal II est basée sur l'intégration par *ray tracing* de plusieurs paramètres anatomiques. D'autres formules développées notamment par Hill puis par

Debellemannière et Gatinel utilisent une approche basée sur l'intelligence artificielle [1-7].

Trois études comparatives récentes ont analysé entre 11 et 13 formules :

>>> Pour Pereira *et al.*, les formules ayant le pourcentage le plus élevé d'yeux à $\pm 0,50$ D d'erreur de réfraction, par ordre décroissant, étaient les suivantes : Kane (77,7 %), BUII (77,4 %), EVO (76,6 %), T2 (76,4 %), Super (75,9 %), Holladay 1 (75,4 %), Hill-RBF 2.0 (74,7 %), SRK/T (72,6 %), Hoffer Q (72,5 %), Haigis (71,7 %), Olsen (67,4 %) et Holladay 2 (67,3 %). La formule la plus précise était, pour les yeux courts, la formule Holladay 1 ($n = 69$, 78,3 % à $\pm 0,50$ D) et, pour les yeux longs, la formule Barrett Universal II ($n = 116$, 76,7 % à $\pm 0,50$ D). Les formules Kane, Barrett, EVO, T2 et LadarSuper ont conduit à une erreur absolue moyenne significativement inférieure par rapport aux calculs *open source* avec des constantes de lentilles optimisées ($p < 0,001-0,042$) [8].

>>> Pour Carmona *et al.*, les formules BUII et Haigis ont donné les erreurs moyennes les plus faibles dans toute la gamme des longueurs axiales ($p < 0,01$, sauf EVO), ainsi que dans les yeux longs ($p < 0,01$, toutes les formules) et normaux ($p < 0,01$, sauf Haigis, Holladay II, Olsen et LSF). Dans les yeux courts, les erreurs moyennes les plus faibles ont été fournies par Haigis et EVO ($p < 0,01$, sauf Hoffer Q, SRK/T et Holladay I) [9].

>>> Pour Savini *et al.*, la formule BUII sans ACD (*anterior chamber depth*) présentait l'écart type le plus faible ($\pm 0,343$ D), suivie des formules T2 (0,347 D), Kane (0,348 D), EVO 2.0 sans ACD (0,348 D) et BUII avec ACD (0,353 D). Les valeurs les plus basses ont été obtenues avec les formules Kane (0,214 D), RBF 2.0 (0,215 D), BUII avec et sans ACD

(0,218 D) et SRK/T (0,223 D). Un pourcentage allant de 80 à 88,5 % des yeux a montré un PE à $\pm 0,50$ D [10].

Nous présentons un cadre unifié de modélisation d'intelligence artificielle par apprentissage machine ou *machine learning* (ML) pour prédire la puissance d'une LIO dans la gamme complète des paramètres biophysiques. Notre cadre corrige d'abord la puissance calculée à partir des formules usuelles, puis sélectionne automatiquement la formule corrigée optimale en fonction des mesures objectives spécifiques du patient, afin d'obtenir la réfraction résiduelle postopératoire minimale la plus conforme à la réfraction cible.

■ Patients et méthodes

Les données de cette étude rétrospective, approuvée par le comité d'éthique national en 2019, sont extraites de façon anonyme de 4980 dossiers de chirurgies de la cataracte réalisées par un seul opérateur (Dr Assouline, Centre Léna Vision, Paris). Un total de 1387 cas complètement documentés en postopératoire a été retenu pour la modélisation. Les mesures objectives avant la chirurgie ont été acquises par un IOL Master 500 (Zeiss) et une échographie en mode B systématique.

Les critères d'inclusion étaient les suivants :

- âge de 40 à 85 ans ;
- kératométrie moyenne \bar{K} 35 à 47 D ;
- longueur axiale 20 à 40 mm ;
- profondeur de la chambre antérieure 2 à 5 mm ;
- blanc à blanc (*white-to-white*, WTW) 10 à 13 mm ;
- réfraction cible R_t -10 à 10 D ;
- suivi postopératoire entre 10 et 90 jours.

La kératométrie moyenne, déterminée par l'IOL Master 500 et par 3 mesures concordantes au kératomètre Nidek (Tonoref II), a été recalculée à partir du rayon moyen de la cornée (mm) en utilisant un indice de réfraction de 1,336.

Les formules suivantes, basées sur l'optique gaussienne, ont été utilisées pour le calcul de la puissance des LIO et la modélisation :

- SRK/T ;
- Shammas ;
- Haigis ;
- Binkhorst-2 ;
- Holladay1 ;
- Hoffer Q ;
- Olsen.

Pour toutes les formules, les équations pour la puissance P de la LIO et la réfraction attendue R (sphère uniquement) sont données par :

$$P = \frac{n_v}{L-e} - \frac{n_c}{K+R_t} - e \quad (1)$$

$$R = \frac{\frac{n_c}{\frac{n_v}{L-e} - P_i} - K}{\frac{n_v}{L-e} - P_i} \quad (2)$$

où :

- n_c est l'indice de réfraction de la cornée,
- n_v est l'indice de réfraction des milieux aqueux,
- L est la longueur axiale, en mm,
- K est la kératométrie moyenne (D),
- e est la position effective de la lentille, en mm,
- P_i est la puissance de la LIO implantée (D),
- R_t est la réfraction cible (D).

En théorie, la réfraction prédite R devrait être égale à la réfraction cible R_p , ce qui signifie que toutes les formules de LIO devraient avoir une erreur absolue moyenne (EAM) similaire : $|\Delta R| = |R_f - R|$, où R_f est la réfraction subjective finale (acuité visuelle postopératoire).

Cependant, P dans l'équation 1 est d'abord arrondi au 0,5 D le plus proche (intervalles disponibles des lentilles commerciales) et le résultat est ensuite substitué dans l'équation 2 pour obtenir la réfraction attendue R , ce qui donne généralement $R \neq R_t$. La sensibilité de R à l'arrondi de P constitue toute la différence entre les capacités prédictives des différentes formules de calcul de la puissance des LIO. Lorsque les fabricants de LIO fourniront des lentilles avec des intervalles dioptriques plus petits, les différences entre les formules de calcul des LIO deviendront plus négligeables.

Pour prédire la puissance des LIO, nous formons d'abord un prédicteur en ML sur l'erreur de réfraction subjective $\Delta R = R_f - R$, en se basant sur les paramètres démographiques et biophysiques préopératoires spécifiques du patient. Nous utilisons ensuite le ΔR prédit pour obtenir un ajustement ΔP de la puissance de la LIO en dérivant la relation suivante :

$$\Delta P = \frac{-n_c^2 \Delta R}{\alpha^2 - e \alpha \Delta R} \quad (3)$$

où : $\alpha = n_c - e(K + R_t)$ avec e l'ELP (en mm).

Nous calculons ensuite la puissance de l'implant corrigé P_{corr} comme suit :

$$P_{corr} = P + \Delta P \quad (4)$$

Nous appliquons cette procédure pour obtenir une puissance de LIO corrigée pour chaque formule et pour chaque ensemble de données de patients.

Les caractéristiques utilisées pour l’entraînement du prédicteur de ΔR étaient les suivantes :

- âge (année) ;
- K (D) ;
- ACD (en mm) ;
- L (en mm) ;
- R_i (D), où nous avons utilisé des valeurs spécifiques à la formule pour n_c et n_v ;
- L ajusté et ELP e prédit, qui sont indépendants de R_i .

Nous utilisons 85 % de notre base de données pour l’entraînement et le reste pour la validation.

Chaque prédicteur formé pour corriger la formule LIO produira un ΔR et un ΔP différents et aura une précision différente, même en utilisant les mêmes données patients. Nous formons donc un classificateur pour sélectionner automatiquement la formule LIO corrigée qui produit le ΔR le plus bas pour chaque ensemble de données de patients. Nous ajustons les hyper-paramètres du modèle par une *grid search* exhaustive avec une fonction de validation croisée adaptée, favorisant les modèles dont les prédictions se situent dans la plage de $|\Delta R| \leq 0,2 D$. Nous commençons par estimer la précision conditionnelle des formules de LIO dans la prédiction de la réfraction finale R_f selon P_i . Nous avons d’abord calculé R (équation 2) pour chaque formule, et utilisé comme paramètre le P_i enregistré, la longueur axiale et l’ELP prédite spécifique à la formule. Nous avons ensuite calculé l’EAM pour R par rapport à R_f (arrondi à 0,25 D près). Puis nous avons calculé l’erreur absolue $|R - R_f|$ pour les entrées de notre ensemble de données, où nous avons arrondi R calculé à partir de chaque formule à la 0,25 D la plus proche. L’EAM de toutes les formules était de 0,55 D.

Nous avons ensuite entraîné un prédicteur pour la réfraction résiduelle $R = R - R_f$ postopératoire. L’ensemble d’entraînement (*training set*) comprenait 1 179 échantillons choisis uniformément au hasard et nous avons examiné la précision des prédicteurs en utilisant les 208 échantillons restants. Enfin, nous avons entrepris de construire un classificateur pour les formules de LIO corrigées, en fonction des caractéristiques spécifiques au patient. À cette fin, nous avons entraîné un classificateur en ML, puis ajusté les réglages des hyper-paramètres en utilisant une *grid search* avec une fonction de validation croisée adaptée sur 85 % de notre base de données. Nous avons

ensuite substitué la prédiction ΔR dans l’équation 3 pour obtenir la correction ΔP de la puissance de la LIO, puis nous avons calculé la puissance corrigée de la LIO P_{corr} (équation 4).

■ Résultats

Les résultats de notre modèle sont présentés dans la **figure 1**. La différence moyenne entre la puissance implantée P_i et la puissance prédite P était de $-0,51 D$ (différence absolue de 0,81 D), ce qui indique que la puissance prédite à partir des formules n’est pas toujours utilisée par les chirurgiens dans la pratique, mais qu’elle est ajustée manuellement. L’EAM entre la réfraction cible R_i et la réfraction subjective finale R_f (VA) était de 0,55 D, ce qui indique qu’une erreur de réfraction résiduelle subsiste malgré l’ajustement de la LIO calculée par le chirurgien.

Dans cette cohorte, nous constatons que les EAM des formules étaient initialement les suivantes :

- SRK/T : 0,82 D ;
- Shammas : 0,73 D ;
- Haigis : 0,63 D ;
- Hoffer Q : 1,40 D ;
- Holladay 1 : 0,70 D.

Pour les formules Olsen et Binkhorst-2, l’ELP prédite était de 3 mm, soit près de la moitié de celle prédite par les autres formules (moyenne de 5,5 mm), ce qui donne une EAM de 3 D, que nous traitons comme des valeurs aberrantes.

L’erreur de réfraction cumulée par rapport à la réfraction finale enregistrée était similaire pour toutes les formules : 26 % ne présentent aucune erreur, 47 % une erreur inférieure à 0,25 D, 68 % inférieure à 0,5 D, 85 % inférieure à 0,75 D et 91 %

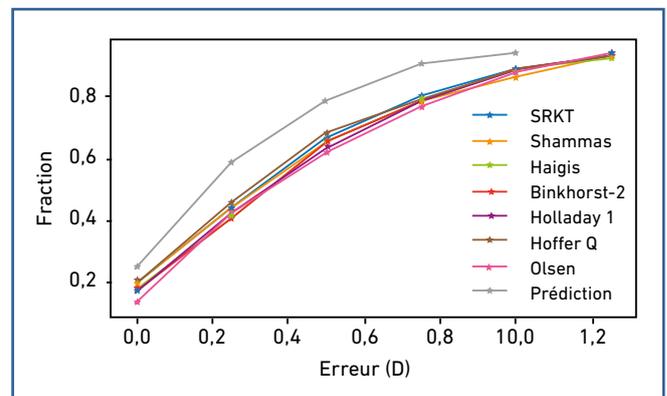


Fig. 1 : Fraction cumulée des observations avec la prédiction $|\Delta R - \Delta R_o|$ (engrais) par rapport à l’erreur de réfraction absolue $|\Delta R| = |R - R_f|$ des formules individuelles, où ΔR_o est l’erreur de réfraction observée (D).

inférieure à 1 D, indiquant qu'aucune distinction *a priori* entre les formules ne peut être faite en utilisant l'EAM. Après avoir appliqué notre correction des formules (équation 4 dans méthodes), les 7 formules de LIO présentaient une erreur cumulée résiduelle similaire, avec : 20 % des observations n'ayant aucune erreur, 60 % une erreur égale ou inférieure à 0,25 D, 81 % égale ou inférieure à 0,5 D et 90 % égale ou inférieure à 0,75 D, suggérant que les prédictions des erreurs de réfraction ΔR peuvent être faites avec la même précision pour n'importe quelle formule.

Notre classificateur a atteint une précision de 85 % dans l'attribution correcte de la meilleure formule de calcul de la LIO ajustée, ce qui produit la différence de réfraction absolue résiduelle minimale $|\Delta R - \Delta R_o|$, où ΔR_o est l'erreur de réfraction observée.

Dans la **figure 1**, nous rapportons la différence absolue cumulée $|\Delta R - \Delta R_o|$ après classification par rapport à l'erreur de réfraction des formules de LIO. Après classification par notre modèle, nous obtenons une erreur de réfraction prédite plus faible que toutes les formules IOL utilisées dans cette étude pour toutes les longueurs axiales représentées dans la cohorte. Le minimum théorique $|\Delta R - \Delta R_o|$ était de 0,33 D, ce qui aurait résulté d'une classification parfaite en utilisant les formules disponibles dans cette étude. Nous obtenons $|\Delta R - \Delta R_o| = 0,35$ D après classification. Le ΔP prédit moyen était de -0,47 D, ce qui correspond à la correction de la puissance de la LIO nécessaire pour obtenir la réfraction cible.

■ Discussion

Dans ce travail, nous avons présenté un modèle de ML pour prédire la puissance corrigée de la LIO à partir de n'importe quelle formule basée sur l'optique gaussienne. Nous fournissons également une sélection automatique de la formule de LIO la plus appropriée en fonction des paramètres biométriques spécifiques au patient.

Notre classificateur a atteint une précision de 85 % dans la sélection de la formule qui produit la réfraction résiduelle la plus faible en postopératoire et atteint une précision de prédiction de 81 % à 0,5 OD près de la réfraction subjective finale (**figure 1** courbe grise). Notre modèle est facile à mettre en œuvre dans la pratique, peut inclure n'importe quelle formule de LIO et devrait pouvoir servir d'outil précieux dans la planification rationnelle de la chirurgie de la cataracte [11, 12].

Bibliographie

1. WAN KH, LAM TCH, YU MCY *et al.* Accuracy and precision of intraocular lens calculations using the new Hill-RBF version 2.0 in eyes with high axial myopia. *Am J Ophthalmol*, 2019;205:66-73.
2. LI T, STEIN J, NALLASAMY N. AI-powered effective lens position prediction improves the accuracy of existing lens formulas. *Br J Ophthalmol*, 2021 [online ahead of print].
3. CLARKE GP, KAPELNER A. The bayesian additive regression trees formula for safe machine learning-based intraocular lens predictions. *Front Big Data*, 2020;3:572134.
4. MORI Y, YAMAUCHI T, TOKUDA S *et al.* Machine learning adaptation of intraocular lens power calculation for a patient group. *Eye Vis*, 2021;8:42.
5. CARMONA GONZÁLEZ D, PALOMINO BAUTISTA C. Accuracy of a new intraocular lens power calculation method based on artificial intelligence. *Eye*, 2021;35:517-522.
6. GATINEL D, DEBELLEMANIÈRE G, SAAD A *et al.* Determining the theoretical effective lens position of thick intraocular lenses for machine learning-based IOL power calculation and simulation. *Transl Vis Sci Technol*, 2021;10:27.
7. DEBELLEMANIÈRE G, DUBOIS M, GAUVIN M *et al.* The PEARL-DGS formula: the development of an open-source machine learning-based thick IOL calculation formula. *Am J Ophthalmol*, 2021;232:58-69.
8. PEREIRA A, POPOVIC MM, AHMED Y *et al.* A comparative analysis of 12 intraocular lens power formulas. *Int Ophthalmol*, 2021;41:4137-4150.
9. CARMONA-GONZÁLEZ D, CASTILLO-GÓMEZ A, PALOMINO-BAUTISTA C *et al.* Comparison of the accuracy of 11 intraocular lens power calculation formulas. *Eur J Ophthalmol*, 2021;31:2370-2376.
10. SAVINI G, DI MAITA M, HOFFER KJ *et al.* Comparison of 13 formulas for IOL power calculation with measurements from partial coherence interferometry. *Br J Ophthalmol*, 2021;105:484-489.
11. GUTIERREZ L, LIM JS, FOO LL *et al.* Application of artificial intelligence in cataract management: current and future directions. *Eye Vis*, 2022;9:3.
12. WEI L, SONG Y, HE W *et al.* Accuracy improvement of iol power prediction for highly myopic eyes with an XGBoost machine learning-based calculator. *Front Med*, 2020;7:592663

O. Shukron et M. Assouline sont respectivement chief artificial intelligence data science and computer vision et cofondateur de Mikajaki.



O. SHUKRON¹, E. PRÉVOT², M. ASSOULINE^{1, 3, 4}

¹ Mikajaki SA, PLAN-LES-OUATES, Suisse.

² Centre d'ophtalmologie de PROVINS.

³ Centre Léna Vision, PARIS.

⁴ Clinique de la Vision/OneClinic – Groupe Visya, PARIS.
dr.assouline@gmail.com

Prédiction de la réfraction subjective par un nouveau modèle d'IA de type machine learning

La détermination de la meilleure acuité visuelle corrigée (MAVC) par la réfraction subjective (RS) sert à la prescription optique des lunettes et des lentilles correctrices, ainsi qu'au suivi médical de la fonction visuelle. C'est un processus exigeant pratiqué quotidiennement par plus de 500 000 professionnels de la santé oculaire (ophtalmologistes, orthoptistes) ou de l'optique (optométristes, opticiens) et qui s'applique de façon quasi annuelle à l'ensemble de la population mondiale.

Cette mesure, qui nécessite une formation spécialisée, peut être significativement biaisée par le défaut de concentration ou d'expérience de l'examineur, ou des capacités cognitives ou d'attention du sujet examiné. Sa répétabilité est assez médiocre compte tenu des enjeux (erreur médicale sur l'évaluation de la vision, coût des équipements optiques).

La réfraction subjective est le plus souvent déterminée à partir d'une mesure préalable de la réfraction objective à l'autoréfractomètre (AR) en essayant des combinaisons successives de verres correcteurs sphériques et cylindriques qui permettent d'optimiser la vision du patient, auquel sont présentés des optotypes (échelle de Monoyer par exemple) ou des tests visuels (duochrome, cadran de Parent par exemple) aussi discriminants et indépendant du contexte culturel (acuité non morphoscopique) que possible.

La différence entre réfraction objective et subjective s'explique par différents facteurs dont les fluctuations accommodatives pendant l'examen, la taille de la pupille et surtout les imperfections optiques de l'œil, dont seule la région centrale proche de l'axe visuel est testée par le réfractomètre automatique alors que l'ensemble des rayons lumineux passant par la pupille d'entrée (projection optique de la pupille anatomique) contribue à la formation de l'image fovéolaire (effet de Stiles-Crawford). Cette limitation est analogue à celle de la kératométrie, mesurée seulement en 4 points paracentraux, qui

ne permet pas toujours d'extrapoler la topographie cornéenne lorsque celle-ci est irrégulière.

La prescription finale des lunettes présente donc une grande variabilité intra- et interopérateur, liée à des stratégies de réfraction variées, qui peut atteindre une moyenne de $\pm 0,29$ D [1, 2]. La qualité de l'AR utilisé et de sa calibration explique également une différence habituelle de l'ordre de 0,5 D entre la RS objective et la RS finale [3, 4], avec une différence plus prononcée en cas de grande amétropie et d'astigmatisme [5]. Des pathologies sous-jacentes telles que le kératocône ou d'autres affections cornéennes et cristalliniennes peuvent entraver la répétabilité de la RS, avec une différence 4 à 6 fois supérieure à celle observée chez les myopes normaux [6].

Des modèles de prédiction de la meilleure acuité visuelle personnalisée ont été élaborés par le passé, sur la base de données d'aberrométrie du front d'onde [7], d'analyse du vecteur de puissance [8], d'images du fond d'œil [9] et, plus récemment, de modèles d'intelligence artificielle et d'apprentissage machine (*machine learning*, ML) [10-13]. Malgré les bons résultats obtenus par ces modèles, la complexité de la préparation des données et la quantité de données nécessaires pour un apprentissage fiable ont constitué un obstacle à leur utilisation à grande échelle.

Nous présentons ici un nouveau prédicteur par intelligence artificielle type ML capable de prédire objectivement la réfraction subjective sphéro-cylindrique afin de réduire ou d'éliminer à terme la nécessité de mesurer individuellement la réfraction subjective.

■ Patients et méthodes

Cette étude rétrospective multicentrique a été approuvée par le comité d'éthique national en 2019. Nous avons utilisé un

ensemble de 9763 mesures anonymes (*training set*) obtenues avec l'analyseur de segment antérieur VX 130 (Dr É. Prévot, Provins) pour entraîner deux prédicteurs indépendants pour les composantes sphère S et cylindre C de la réfraction subjective. Nous avons utilisé 5150 enregistrements d'une cohorte distincte (Dr M. Assouline Centre Iéna Vision, Paris) comme ensemble de validation (*validation set*). Toutes les données ont été recueillies entre janvier 2019 et février 2022.

Les critères d'inclusion étaient intentionnellement larges pour démontrer la portée générale de notre méthodologie :

- âge 15 à 85 ans ;
- profondeur de la chambre antérieure 2 à 5 mm ;
- sphère objective -5 à $+6$ D ;
- cylindre objectif -6 à 0 D,
- diamètre cornéen blanc à blanc 8 à 16 mm ;
- pachymétrie 430 à 650 μm ;
- angle κ 0 à 25° ;
- indice de probabilité du kératocône (KPI) 0 à 30 %.

Nous avons construit nos modèles en effectuant d'abord un réglage des hyper-paramètres par une *grid search*, suivie d'une recherche bayésienne affinée. Nous avons effectué ensuite une sélection automatique des paramètres ou caractéristiques (*features*) et une validation croisée du modèle sur l'ensemble des données d'entraînement, en utilisant une fonction de notation de validation croisée adaptée avec des préférences pour les prédictions à moins de 0,25 D de la RS enregistré. Nous obtenons finalement deux prédicteurs ML entraînés pour S et C . Nos prédicteurs utilisent 37 paramètres optiques et anatomiques de l'œil pour S et 34 caractéristiques pour C .

Les trois paramètres les plus contributifs pour la composante S sont :

- l'âge ;
- le coefficient de Zernike Z_4^0 ;
- la composante du vecteur de puissance $J_0 = -0.5 \cos(2A)$ où A est l'axe (radian).

Pour la composante C , les trois caractéristiques les plus significatives sont :

- le cylindre de la réfraction objective ;
- l'âge ;
- le terme J_0 .

Nous avons appliqué nos prédicteurs à l'ensemble de données de test et évalué leur précision en termes des différences $\Delta S = S_{obj} - S_{subj}$ et $\Delta C = C_{obj} - C_{subj}$, entre les valeurs objectives (*obj*) et subjectives prédites (*subj*).

■ Résultats

Nous avons calculé la précision de nos prédicteurs pour prédire simultanément la paire sphéro-cylindrique *exacte* (S , C) pour chaque patient. Les résultats sont résumés dans le **tableau I**. Notre prédicteur a atteint une précision supérieure à celle de l'AR, avec 75 contre 64 % pour l'erreur à $\pm 0,25$ D et 95 (modèle) contre 92 % (AR) à $\pm 0,50$ D de la réfraction subjective prescrite. Dans les **tableaux II et III**, nous présentons les résultats de la prédiction séparée des composantes C et S , respectivement, où nos prédicteurs ont montré une précision supérieure à l'AR dans toutes les plages d'erreur, avec une erreur absolue moyenne (EAM) de 0,22 D pour C et 0,2 D pour S .

$ \Delta S , \Delta C \leq \delta$ (D)	Réfractomètre (%)	Modèle (%)
0	14	19
0,25	64	75
0,50	92	95

Tableau I : Résultats (pourcentage de précision) de la prédiction simultanée de la paire (S , C) par rapport aux mesures objectives (réfractomètre) à moins de $\delta \in [0; 0,25; 0,50]$ D des valeurs de RS enregistrées par rapport aux valeurs objectives (réfractomètre).

$ \Delta C \leq \delta$ (D)	Réfractomètre (%)	Modèle (%)
0	35	46
0,25	80	92
0,5	95	98
EAM	0,25	0,22

Tableau II : Résultats (pourcentage de précision) de la prédiction de la composante C (modèle) à moins de ΔC de $\delta \in [0; 0,25; 0,5]$ D de la RS enregistrée, par rapport aux mesures objectives (réfractomètre), et l'erreur absolue moyenne (EAM).

$ \Delta S \leq \delta$ (D)	Réfractomètre (%)	Modèle (%)
0	36	42
0,25	76	84
0,5	92	96
EAM	0,25	0,2

Tableau III : Résultats (pourcentage de précision) de la prédiction de la composante S (modèle) à moins de ΔS de $\delta \in [0; 0,25; 0,5]$ D de la RS enregistrée, par rapport aux mesures objectives (réfractomètre), et l'erreur absolue moyenne (EAM).

■ Discussion

Nous avons présenté un modèle d'intelligence artificielle par *machine learning* prometteur pour prédire la sphère et le cylindre de la meilleure réfraction subjective sur la base de mesures optoélectroniques objectives de l'œil. Nous montrons qu'en utilisant nos prédicteurs, aucun ajustement supplémentaire n'est nécessaire chez trois patients sur quatre pour prescrire la correction optique. Pour les 25 % de prédictions restantes, il suffit d'une moyenne de 2 clics du réfracteur pour arriver à la RS finale avec une erreur de 0,25 D. Une différence de 0,25 D est imperceptible pour les patients et est considérée comme une RS précise, bien que des valeurs inférieures aient également été signalées comme étant perceptibles [14].

Notre prédiction fournit un point de départ pour la réfraction subjective qui est plus proche de la valeur finale (effectivement prescrite) que celle proposée par la réfractométrie automatique, ce qui permet de réduire le temps consacré à la réfraction subjective manuelle. Notre méthodologie peut être adaptée quasiment en temps réel pour répondre aux stratégies de réfraction, aux préférences individuelles des praticiens et aux spécificités des populations examinées, et améliorer sa propre performance au fil du temps de façon automatisée. Cette modélisation peut être facilement installée dans les cabinets médicaux ou les centres d'optique.

La prédiction de la réfraction subjective par notre modèle est sans doute encore plus intéressante dans les cas pour lesquels l'autoréfractomètre ne donne pas de bons résultats, en cas de trouble des milieux ou de l'étage sensoriel, ou encore en cas d'aberrations optiques d'ordre supérieur élevées (aberration sphérique, coma) comme dans le kératocône, en post-chirurgie réfractive cornéenne, dans les greffes de la cornée ou dans le cas d'implants réfractifs sphériques [15].

En continuant à collecter davantage de données d'origines et de démographies diverses, nous élargissons la gamme d'inclusion de notre modèle et augmentons la précision de la prédiction existante, même pour les cas pathologiques. Une amélioration progressive significative de la prédiction est attendue au fil du temps en fonction du volume des données futures utilisées par le modèle, nécessaires à la modélisation

des amétropies plus rares, extrêmes ou irrégulières, et de l'ajout des données objectives de l'OCT spectral biomètre Revo (Optopol) et subjectives collectées en ligne par l'agent virtuel Ariane-InSight, intégrés dans la solution robotique EyeLib-2 de Mikajaki.

Bibliographie

1. BULLIMORE MA, FUSARO RE, ADAMS CW. The repeatability of automated and clinician refraction. *Optom Vis Sci*, 1998;75:617-622.
2. RAASCH TW, BAILEY IL, BULLIMORE MA. Repeatability of visual acuity measurement. *Optom Vis Sci*, 1998;75:342-348.
3. CHOONG Y-F, CHEN A-H, GOH P-P. A comparison of autorefractometry and subjective refraction with and without cycloplegia in primary school children. *Am J Ophthalmology*, 2006;142:68-74.
4. KUMAR RS, MOE CA, KUMAR D *et al.* Accuracy of autorefractometry in an adult Indian population. *PLoS One*, 2021;16:e0251583.
5. THOMPSON AM, LI T, PECK LB *et al.* Accuracy and precision of the Tomey ViVA infrared photorefractor. *Optom Vis Sci*, 1996;73:644-652.
6. RAASCH TW, SCHECHTMAN KB, DAVIS LJ *et al.* Repeatability of subjective refraction in myopic and keratoconic subjects: results of vector analysis. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2001;21:376-383.
7. GUIRAO A, WILLIAMS DR. A method to predict refractive errors from wave aberration data. *Optom Vis Sci*, 2003;80:36-42.
8. LEUBE A, LEIBIG C, OHLENDORF A *et al.* Machine learning based predictions of subjective refractive errors of the human eye. *HEALTHINF*, 2019:199-205.
9. CHUN J, KIM Y, SHIN KY *et al.* Deep learning-based prediction of refractive error using photorefractometry images captured by a smartphone: model development and validation study. *JMIR Medical Inform*, 2020;8:e16225.
10. LUTZ DE ARAUJO A, DIAS PEREIRA SANTOS H, SGANZERLA D *et al.* Development of a multivariable prediction model to predict subjective refraction in patients with refractive errors. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020;61:5172-5172.
11. HERNÁNDEZ CS, GIL A, CASARES I *et al.* Prediction of manifest refraction using machine learning ensemble models on wavefront aberrometry data. *J Optom*, 2022 [online ahead of print].
12. RAMPAT R, DEBELLEMANNIÈRE G, MALET J *et al.* Using artificial intelligence and novel polynomials to predict subjective refraction. *Sci Rep*, 2020;10:8565.
13. VARADARAJAN AV, POPLIN R, BLUMER K *et al.* Deep learning for predicting refractive error from retinal fundus images. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2018;59:2861-2868.
14. MARIN G, MESLIN D. Refraction: Patients are sensitive to increments smaller than a quarter diopter. *Int Rev Ophthalmic Opt*, 2020.
15. ELLIOTT M, SIMPSON T, RICHTER D *et al.* Repeatability and accuracy of automated refraction: a comparison of the Nikon NRK-8000, the Nidek AR-1000, and subjective refraction. *Optom Vis Sci*, 1997;74:434-438.

O. Shukron et M. Assouline sont respectivement chief artificial intelligence data science and computer vision et cofondateur de Mikajaki. E. Prévot a déclaré ne pas avoir de liens d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.



D. TOUBOUL
CRNK, CHU de BORDEAUX.
toubould@gmail.com

Pathogénie du kératocône : génétique ou traumatique ?

La diffusion des topographes modernes a permis d'identifier un très grand nombre de "cas frontières" ou "formes frustes" de kératocône (KC). Ils sont le plus souvent stables et sans retentissement sur la qualité de vie des patients, mais comptabilisés dans la prévalence actualisée du KC. En outre, le dépistage topo- et tomographique des formes dites "suspectes" est à présent bien codifié et permet de récuser bon nombre de cornées irrégulières pour la chirurgie réfractive laser.

La limite admise de prévalence pour définir la rareté d'une maladie est arbitrairement fixée à 1/2 000, soit 0,0005 % de la population. Dans ces conditions, le KC voit sa prévalence publiée largement dépasser ce chiffre depuis une dizaine d'années. Cela ne signifie pas nécessairement que la pathologie s'emballe, mais possiblement que nous dépistons beaucoup plus qu'auparavant les formes frustes. Il faudrait des études prospectives robustes qui puissent décomposer la prévalence du KC par stades de sévérité topographique dans la population générale.

■ Causalité du kératocône

Il nous est tous arrivé de rencontrer des enfants se frottant agressivement les yeux, confortant magistralement l'hypothèse biomécanique de fracture progressive du tissu cornéen. À l'inverse, il nous est tous arrivé de croiser des jeunes patients manifestement évolutifs qui soutiennent, mordicus, ne jamais toucher leurs globes oculaires, ni de jour ni de nuit.

La problématique du déterminisme génétique du KC est une interrogation récurrente en ophtalmologie. Il est pourtant fondamental de pouvoir intellectuellement trancher, car soit la maladie est génétiquement déterminée et elle intègre la longue liste des très rares dystrophies de cornées, soit elle

est liée à l'environnement, devient par conséquent beaucoup plus fréquente et s'intègre au même titre que le glaucome ou la cataracte dans le cadre des maladies plutôt dégénératives. Ainsi, soit il faut insister pour dépister les familles, soit il faut plutôt investir dans l'éducation et l'optimisation de l'éviction des facteurs environnementaux délétères, en particulier comportementaux.

Nous avons parfois pu observer des cas familiaux authentiques avec toute une fratrie touchée et également un des parents. Des cas de jumeaux ont régulièrement démontré des similarités d'atteintes. Dans le cas de la filiation, une étude récente réalisées au centre de référence de Bordeaux a pu retrouver plus de 9 % des cas topographiquement confirmés de KC au premier degré de filiation chez les patients porteurs de KC confirmés. Ce chiffre montait à plus de 20 % si les formes frustes étaient prises en compte (*fig. 1 et 2*).

Plusieurs facteurs confondants à prendre en considération pour l'analyse du lien génétique sont discutés dans cette étude. Il existe ainsi un biais assez évident de regroupement

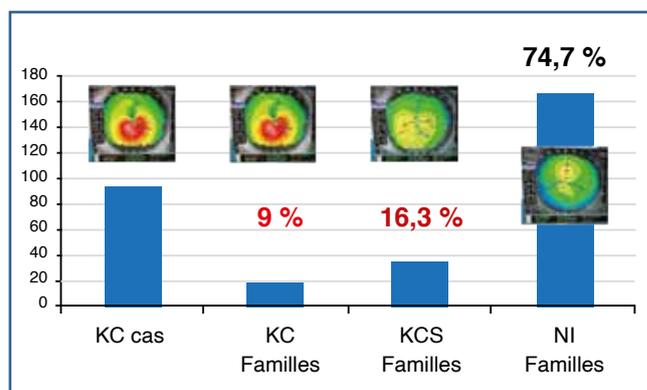


Fig 1 : Répartition des cas familiaux identifiés par topographie Scheimpflug des parents au premier degrés dans une cohorte de patients vus consécutivement au CHU de bordeaux (94 familles ; n = 221 ; D. Touboul, CRNK, Bordeaux).

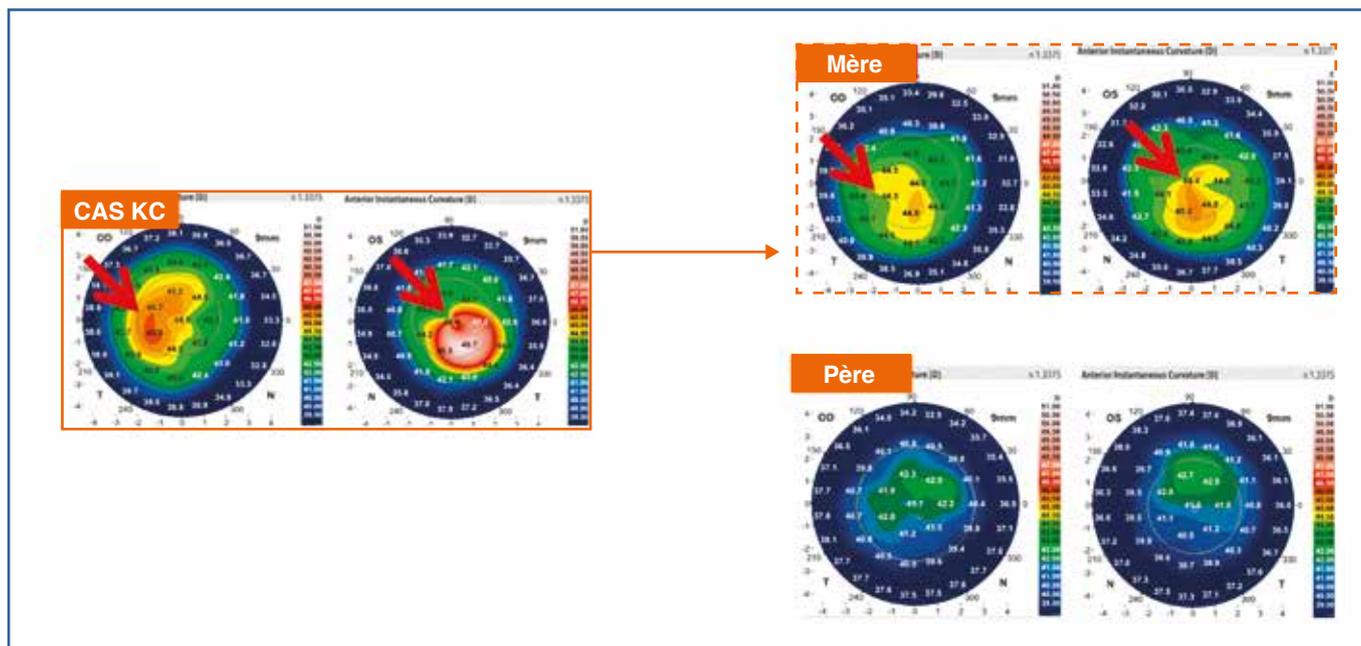


Fig 2 : Cas de filiation topographique du KC. Remarquer la localisation similaire du KC débutant chez la mère et évolué chez l'enfant (D. Touboul, CRNK, Bordeaux).

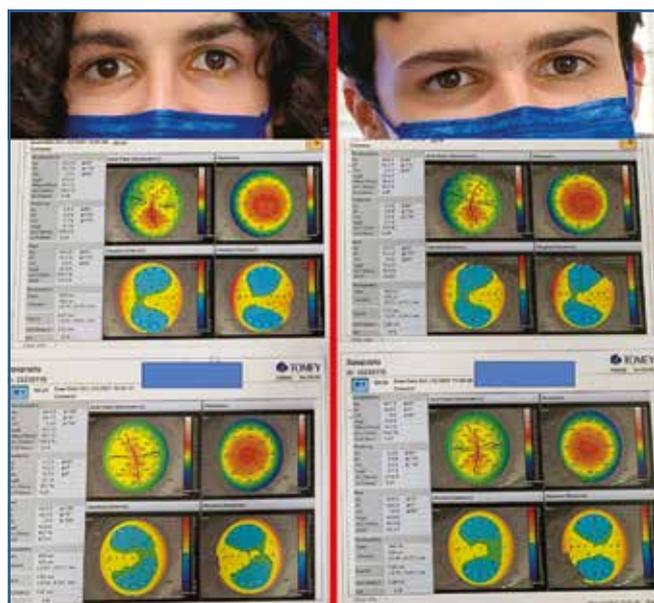


Fig 3 : Deux frères jumeaux hétérozygotes dont la présentation topographique est très ressemblante, avec en particulier une grande similarité de pachymétrie et de profil de déformation. La position des paupières et la forme de l'orbite sont sans doute des éléments de confusion déterminants (D. Touboul, CRNK, Bordeaux).

environnemental car les familles vivent habituellement regroupées et sont exposées aux mêmes facteurs d'agression extérieurs qui favorisent l'irritation et les microtraumatismes oculaires. Un certain mimétisme comportemental est également souvent retrouvé entre les enfants d'une même fratrie. Il existe aussi un biais génétique intrinsèquement confondant lié

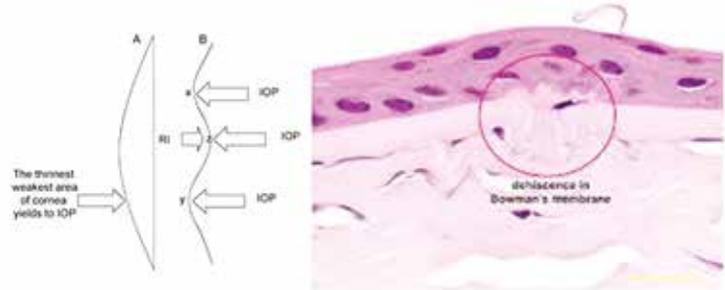
à l'héritage et au brassage de gènes de prédisposition à l'atopie, la myopie forte et l'existence d'une pachymétrie cornéenne fine. Enfin, la ressemblance physique peut influencer l'allure topographique des formes dites familiales car, au-delà des critères de perte de parallélisme des surfaces, d'amincissement et de bombement de la cornée, il existe l'observation d'une réelle transmission du profil topographique de la déformation, c'est-à-dire d'une localisation similaire de la déformation cornéenne entre les membres d'une même famille (fig. 3).

Il est incontestable que les microtraumatismes répétés ou "frottements pathologiques" sont très souvent retrouvés chez nos jeunes patients, facteurs à la fois déclenchants et aggravants de la maladie (fig. 4). La cessation des frottements par l'éducation et la correction de la position de sommeil entraîne dans une très grande majorité des cas l'arrêt de la progression. L'hypothèse du Dr Damien Gatinel "pas de frottement = pas de KC" est de valeur éducative certaine pour les patients, mais ne peut pas résumer l'intégralité des cas observés dans les centres.

Indubitablement, certains patients poursuivent leur aggravation malgré l'absence de frottements, sans doute pour diverses raisons. Nous pouvons évoquer ici une prédisposition de nature épigénétique, une micro-inflammation persistante, une dérégulation des mécanismes d'emmétropisation, calquée sur celle de la myopisation lors de la privation sensorielle, dont le cycle a très bien été exposé dernièrement par le Dr Michael Assouline. De même, il ne faut pas sous-estimer l'aggravation

Des frottements “pathologiques” pour la cornée

- **Trop longs** > 15 s
- **Trop fréquents** > 10 par jour
- **Trop intenses**
 - Mobilisation nette du globe
 - Recul du globe dans l'orbite
 - PIO augmente entre 150 et 300 mmHg

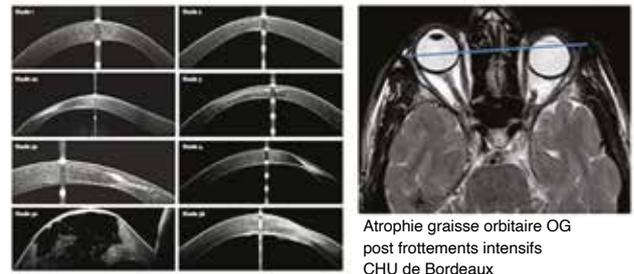


• Signes directs en histologie

- Perte kératocytaire et glissement des lamelles
- Désorganisation du réseau nerveux
- Taies cornéennes (en l'absence du port de lentilles)
- Ruptures membranes de Bowman et Descemet

• Signes indirects en histologie

- Fonte graisseuse périorbitaire
- Atrophie des glandes meibomiennes



Classification de sévérité histologique du 15/20

Fig 4 : Définition des frottements dits pathologiques souvent retrouvés pour le KC et leurs possibles retentissements histopathologiques (D. Touboul, CRNK, Bordeaux).

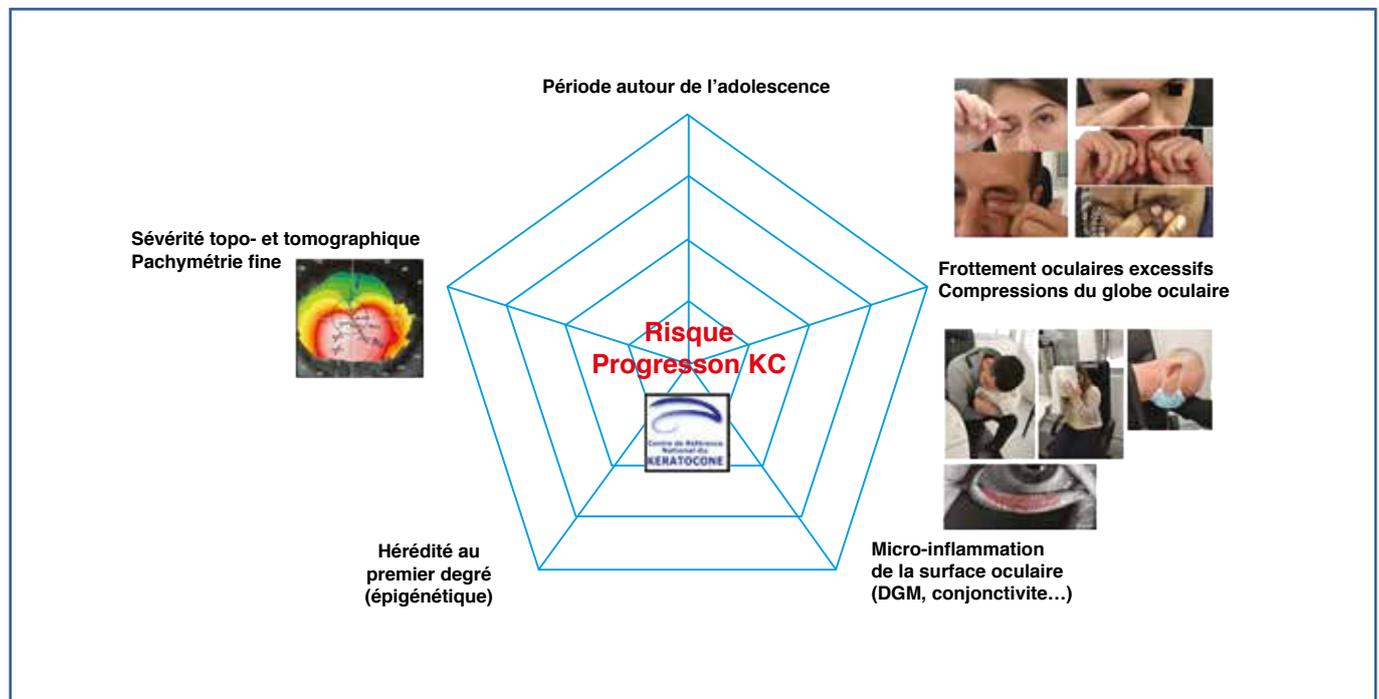


Fig 5 : Représentation simplifiée en mode “radar” des facteurs de risques reconnus, sans pondération, pouvant favoriser l'expression et l'aggravation du KC (D. Touboul, CRNK, Bordeaux).

générationnelle du risque d'irritations oculaires reliées à la vie numérique intensifiée, bien corroborée par la myopisation amplifiée dans les pays développés.

Une théorie plus récente permet de réconcilier les deux pôles étiopathogéniques et repose sur l'épigénétique ou l'empreinte transgénérationnelle de l'environnement sur l'expression de la maladie pour les générations suivantes. Le mécanisme est bien étudié pour le glaucome et la cataracte, il consiste en une méthylation transitoire de certains gènes candidats à l'expression de protéines intervenant dans le métabolisme cornéen.

Finalement, la pluralité des modes d'expression de la maladie fait fortement suspecter un mécanisme multifactoriel, soumis à de nombreux facteurs de risque que nous ne savons pas, pour l'instant, bien pondérer mais qui peuvent se résumer dans la *figure 5*.

■ Conclusion

Le KC reste une maladie des plus mystérieuses, le raffinement des méthodes de classification de la sévérité et de l'évolutivité, la validation de questionnaires de frottements pour les

patients et la recherche d'un score de risque prédictif de la progression sont autant de projets en cours dans les centres de référence et de compétence français qui permettront peut-être, à moyen terme, de mieux cerner le périmètre étiopathogénique de cette maladie.

Pour en savoir plus

- HASHEMI H, HEYDARIAN S, HOOSHMAND E *et al.* The prevalence and risk factors for keratoconus: a systematic review and meta-analysis. *Cornea*, 2020;39:263-270.
- NAJMI H, MOBARKI Y, MANIA K *et al.* The correlation between keratoconus and eye rubbing: a review. *Int J Ophthalmol*, 2019;12:1775-1781.
- Lapeyre G, Fournié P, Vernet R *et al.* Keratoconus prevalence in families: a french study. *Cornea*, 2020;39:1473-1479.
- ALKOZI HA, FRANCO R, PINTOR JJ. Epigenetics in the eye: an overview of the most relevant ocular diseases. *Front Genet*, 2017;8:144.
- MORAN S, GOMEZ L, ZUBER K *et al.* A case-control study of keratoconus risk factors. *Cornea*, 2020;39:697-701.

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



N. MESPLIÉ
Espace Hélios Ophtalmologie, SAINT-JEAN-DE-LUZ,
Centre Activa, PAU.
nicolas.mesplie@gmail.com

La photokératectomie réfractive transépithéliale (transPKR) : quels avantages ?

Depuis quelques années maintenant et notamment grâce aux progrès du dépistage des cornées à risque d'ectasie, la PKR (photokératectomie réfractive) connaît un nouvel essor avec un nombre de procédures accru en France (environ 30 % des procédures réfractives). Alors que la PKR conventionnelle comprend un débridement épithélial manuel, la particularité de la transPKR est de proposer une technique d'ablation transépithéliale sans contact (*no touch*) et 100 % laser.

Dans la transPKR, le laser va réaliser à la fois le débridement épithélial et le traitement réfractif par un profil d'ablation spécifique. La partie du profil pour le retrait de l'épithélium est neutre au niveau réfractif et le laser présente deux valeurs d'ablation différentes par tir, une pour l'épithélium, l'autre pour le stroma.

Environ 70 % de la population a une épaisseur épithéliale cornéenne centrale inférieure à 55 μm et périphérique inférieure à 65 μm [1]. Ainsi quel que soit le patient, le profil d'ablation épithéliale sera plus important en périphérie qu'au centre en se basant sur ces moyennes. Il est possible de modifier sur certaines plateformes l'ablation épithéliale en fonction de l'épaisseur épithéliale du patient et l'intérêt de la cartographie épithéliale (*mapping*) est dans ce contexte indispensable lors du bilan préopératoire.

La transPKR peut théoriquement être proposée aux patients myopes [2], astigmates, hypermétropes et même presbytes. Elle peut être guidée par la topographie (*topoguided*) ou le front d'onde (*wavefrontguided*; **fig. 1**).

>>> Avantages de la transPKR

“*One step no touch*” : il s'agit d'une technique ultra simple, rapide, économique et qui présente moins de risque de

déshydratation ou d'hyperhydratation du stroma pendant l'intervention. La reconnaissance irienne est simplifiée puisqu'elle se fait en tout début d'intervention. Le diamètre épithélial retiré est net et correspond exactement au diamètre du traitement réfractif. De ce fait, la récupération est souvent plus rapide et l'œil moins longtemps douloureux [3, 4].

>>> Inconvénients de la transPKR

Le risque de *haze* pourrait être accru par augmentation de l'énergie délivrée, ce qui est très controversé dans les différentes études. Dans notre pratique courante, ce n'est pas le cas. Cela pourrait s'expliquer par la cicatrisation épithéliale plus rapide avec cette technique (un retard de cicatrisation favorise l'activation kératocytaire et donc le phénomène de *haze*) et l'utilisation de la mitomycine, mais aussi par le fait que les

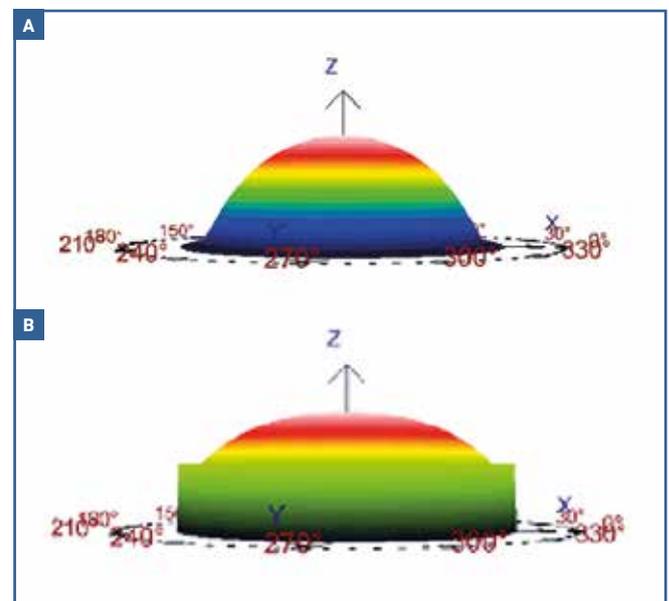


Fig. 1A : Profil myopique de la PKR classique. **B** : profil myopique de la transPKR (illustrations Schwind).

lasers sont capables de modifier leur fréquence de tir (et donc l'échauffement de la matière).

En pratique, le réel inconvénient de cette technique est le risque d'imprécision réfractive par une inadéquation entre l'ablation standardisée et l'épaisseur épithéliale réelle. Un *mapping* épithélial préopératoire est préférable pour valider le profil d'ablation épithéliale qui peut être modifié sur certaines plateformes, afin d'optimiser la précision réfractive.

Si l'ablation épithéliale standardisée correspond à l'épaisseur épithéliale, le résultat réfractif sera conforme. **En cas d'épaisseur épithéliale non standard, cependant, les conséquences possibles sont les suivantes :**

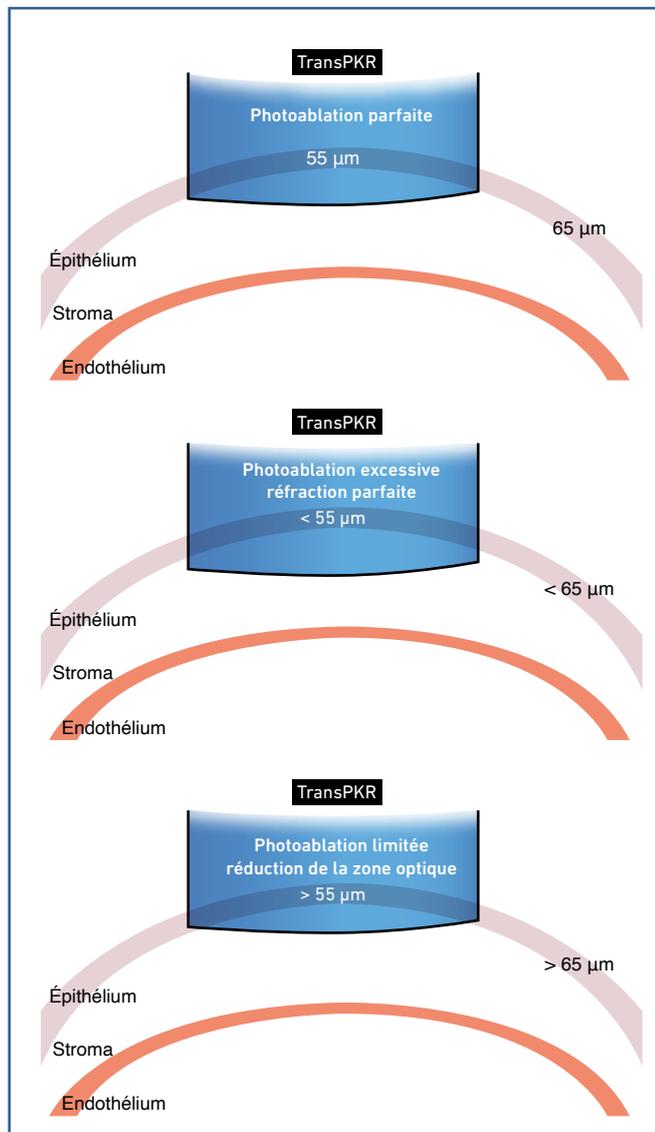


Fig. 2.

- Si l'épithélium est ablaté mais que le stroma est aussi ablaté lors de la phase épithéliale photoablative, le résultat réfractif sera conforme mais la profondeur d'ablation du stroma sera plus importante que celle estimée par le laser. Le risque de *haze* sera théoriquement augmenté.

- Si l'épithélium n'est pas ablaté totalement lors de la phase épithéliale photoablative, une légère sous-corrrection est possible bien que rare, mais la zone optique sera réduite avec un risque accru d'aberrations optiques...

- En cas d'amétropie très faible, si l'épithélium n'est pas totalement ablaté, il y a un risque de ne pas ablater le stroma et donc d'avoir un effet réfractif nul.

- Enfin, une discordance significative entre l'épithélium central et périphérique peut causer une imprécision réfractive. Si le stroma central est ablaté sans le stroma périphérique, cela induira un effet réfractif hypermétropique. Inversement, si le stroma périphérique est ablaté sans le stroma central, cela conduira à un effet réfractif myopique (fig. 2).

La cartographie OCT épithéliale cornéenne est donc fortement recommandée avant une chirurgie photoablative transépithéliale.

II Conclusion

La TransPRK est aujourd'hui une alternative séduisante à la PKR conventionnelle chez des patients bien sélectionnés. Le traitement guidé par la topographie (*topoguided*) peut présenter des avantages par rapport aux traitements conventionnels après avoir vérifié l'homogénéité épithéliale. Cette technique "épithélio-guidée" pourrait supplanter la PKR conventionnelle.

Bibliographie

1. REINSTEIN DZ, ARCHER TJ, GOBBE M *et al.* Thickness in the normal cornea: three-dimensional display with Artemis very high-frequency digital ultrasound. *J Refract Surg*, 2008;24:571-581.
2. FADLALLAH A, FAHED D, KHALIL K *et al.* Transepithelial photorefractive keratectomy: Clinical results. *J Cataract Refract Surg*, 2011;37:1852-1857.
3. KANITKAR KD, CAMP J, HUMBLE H *et al.* Pain after epithelial removal by ethanol-assisted mechanical versus trans-epithelial excimer laser debridement. *J Refract Surg*, 2000;16:519-522.
4. PEDROTTI E, SBABO A, MARCHINI G. Customized transepithelial photorefractive keratectomy for iatrogenic ametropia after penetrating or deep lamellar keratoplasty. *J Cataract Refract Surg*, 2006;32:1288-1291.

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



L. MOYAL
COSS, PARIS,
COBESS, BRÉTIGNY-SUR-ORGE.
moyal@coss.paris

PKR ou Lasik pour les myopies de -2 D?

Au-delà de -6 dioptries, le Lasik a démontré sa supériorité par rapport à la photoablation Excimer de surface (PKR) en termes d'efficacité, de prédictibilité et de stabilité de traitement des myopies. En revanche, devant une myopie modérée, les deux techniques de chirurgie réfractive sont à notre disposition. Comment choisir ?

■ L'équivalence en termes de résultats réfractifs

Ces deux techniques permettent des résultats réfractifs similaires 1 an après la chirurgie (revue de la littérature [1]). Le choix entre Lasik et PKR ne peut donc être justifié par l'efficacité réfractive d'une technique par rapport à l'autre.

La myopie de -2 D reste une myopie peu handicapante au quotidien pour les patients (même si elle est parfois ressentie de cette manière...), avec une vision nette jusqu'à 50 cm sans correction.

Cette donnée soulève la question de la balance bénéfices/risques entre les deux techniques chirurgicales que nous avons à proposer aux patients.

■ Les raisons évidentes du choix

Il y a bien sûr les raisons évidentes classiques qui nous font opter, en tant que chirurgiens, pour la PKR. Ce sont tous les cas de contre-indications à une découpe de capot au laser femtoseconde.

Devant une cornée fine (pachymétrie < 500 μm), un astigmatisme irrégulier, un kératocône fruste, nous ne laissons pas le choix au patient et lui proposons une PKR. La sécurité est le paramètre clé pour choisir dans ces cas-là.

■ À l'heure de la PKR transépithéliale (transPKR), le choix du chirurgien

Le développement de la version transépithéliale de la PKR rend cette technique encore plus simple pour le chirurgien, avec un apprentissage simplifié et la rapidité d'un geste facilité pour le patient. La transPKR est aujourd'hui une technique sûre et efficace pour le traitement des myopies modérées, avec ou sans astigmatisme [2]. Elle est d'ailleurs plus précise d'un point de vue réfractif pour les myopies modérées que pour les myopies légères ou fortes [3].

Les complications d'un tel traitement deviennent exceptionnelles et se résument à d'éventuelles cicatrisations aberrantes inattendues (rares en cas de myopies modérées), des décentrement de traitement (rares à l'heure de l'*eyetracking* avec reconnaissance irienne et du traitement topo- ou aberroguidé) ou des infections, dont on peut cependant signaler qu'elles semblent 10 fois plus fréquentes (1 cas sur 1 000 environ) qu'en Lasik.

Cependant, les limites de cette technique restent les mêmes qu'avec la PKR conventionnelle : la douleur aiguë postopératoire et le délai de récupération visuelle pour le patient.

■ Le choix du patient

Pour les patients remplissant les critères d'éligibilité au Lasik, les deux techniques doivent leur être expliquées. Le Lasik permet d'éviter la phase algique postopératoire et offre une récupération visuelle et une stabilité plus rapides. Néanmoins, elle reste une technique plus sophistiquée avec des complications spécifiques potentielles liées à la découpe d'un capot (déplacement, plis, invasion épithéliale, ectasie cornéenne...), dont la fréquence a cependant diminué significativement.

Concernant le confort du patient, il faut lui exposer les deux situations en parallèle : avec le Lasik, une intervention moins confortable pendant le geste opératoire et un peu plus longue avec la phase de découpe du capot, mais une récupération postopératoire très rapide et une reprise d'activité peu limitée *versus* une intervention très brève et confortable avec la transPKR mais une invalidité un peu plus prolongée en post-opératoire. Les taux de satisfaction sont excellents et comparables, y compris en matière de qualité de vision, chez les patients opérés par Lasik ou PKR [4].

■ Finalement, une décision collégiale

La concurrence entre les deux techniques est justifiée pour les myopies modérées [5]. Les résultats finaux sont superposables. La PKR offre l'avantage de la facilité de réalisation, là où le Lasik présente des suites plus confortables et un profil évolutif plus rapide. Or le délai de réhabilitation joue un rôle important dans le choix des patients jeunes et actifs. Le Lasik demeure pour un chirurgien entraîné une technique simple, rapide et reproductible, qui a donc la faveur des "gros" opérateurs. Si

le patient, bien informé, remplit les critères d'éligibilité à une découpe au femtoseconde avec peu de sécheresse oculaire, le choix doit se faire de manière collégiale, entre lui et son chirurgien.

Bibliographie

1. SHORTT AJ, ALLAN B, EVANS J. Laser-assisted in-situ keratomileusis (LASIK) *versus* photorefractive keratectomy (PRK) for myopia. *Cochrane Database Syst Rev*, 2021;CD005135.
2. ALASMARI M, ALFAWAZ A. Transepithelial photorefractive keratectomy to treat mild myopia. *Int Ophthalmol*, 2021;41:2575-2583.
3. XI L, ZHANG C, HE Y. Single-step Transepithelial photorefractive keratectomy in the treatment of mild, moderate, and high myopia: six month results. *BMC Ophthalmol*, 2018;18:209.
4. COCHENER B, SAVARY-LE FLOCH G, COLIN J. Photoablation excimer de surface (PRK) *versus* Lasik pour la correction des petites myopies. *J Fr Ophthalmol*, 2001;24:349-359.
5. WANG Z, CHEN J, YANG B. Comparison of laser *in situ* keratomileusis and photorefractive keratectomy to correct myopia from -1.25 to -6.00 diopters. *J Refract Surg*, 1997;13:528-534.

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



N. MESPLIÉ
Espace Hélios Ophtalmologie, SAINT-JEAN-DE-LUZ,
Centre Activa, PAU.
nicolas.mesplie@gmail.com

Lasik : femtoseconde ou microkératome ?

La messe semblait dite... Dans quelques années, aucun chirurgien réfractif ne saura se servir d'un microkératome. En effet, depuis près de 15 ans, la voix des plus grands experts a parlé et le microkératome doit faire partie des livres d'histoire.

Pour autant, 3 méta-analyses avec un haut niveau de preuve scientifique ont évalué l'efficacité du femtoseconde et du microkératome dans le Lasik [1-3]. Aucune n'a trouvé de différence significative en termes d'efficacité et de sécurité. En 2022, alors que nous revendiquons tous pratiquer une médecine

basée sur les preuves (EBM), c'est dommage. En effet, la précision de l'épaisseur des volets, la qualité de découpe et la qualité de vision sont devenus comparables entre les femtosecondes et les microkératomes de dernière génération.

Pratiquant toujours les deux techniques, je tente avec le **tableau I** d'exposer les avantages et inconvénients des deux outils pour réaliser un volet de Lasik. Les arguments économiques ne sont pas des arguments médicaux et ne sont pas pris en compte dans ce tableau, même si chacun sait que le femtoseconde est plus onéreux que le microkératome.

	Femtoseconde	Microkératome
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Bords carrés : meilleure congruence, moins d'invasion épithéliale • Modification de l'emplacement de la charnière : intéressant pour certaines photoablations • Recentrage après <i>docking</i> : 2^e chance pour un capot centré • Retraitement immédiat du capot après échec d'une première procédure (sous condition, seulement avec certaines plateformes) • Accident de découpe rarement grave (mais tout de même possible...) • Outil multifonction : SMILE, Pocket, greffes, anneaux... 	<ul style="list-style-type: none"> • Encombrement minimal : intéressant chez les énoptalmes • Taille du capot extralarge (> 12 mm) : intéressant chez les hypermétropes forts et pour les grandes zones optiques • Centrage plus aisé sur l'axe optique : intéressant en cas d'angle kappa important • Procédure rapide (<i>docking</i> + découpe < 10 s) : réduit les risques de stress et plafonnement • Reconnaissance irienne plus aisée car absence de bulle de cavitation dans l'interface stromale
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Encombrement : procédure infaisable chez certains énoptalmes • Taille du volet limitée à 9,50 mm seulement (10 mm avec certaines plateformes) • Tributaire de conditions hygrométriques • Reconnaissance irienne plus difficile si la fluence est trop importante (bulle de cavitation) 	<ul style="list-style-type: none"> • Accident de découpe exceptionnel mais potentiellement plus grave • Moindre congruence • Risque d'invasion épithéliale plus élevé (essentiellement en cas de retouche tardive)

Tableau I.

Lors de mon installation libérale, avec une formation femtoseconde exclusive, j'ai hésité à rejoindre mes associés actuels qui utilisaient exclusivement le microkératome. Aujourd'hui, je leur suis plus que reconnaissant de m'avoir incité à appréhender cet outil que je trouve réellement supérieur dans des indications bien choisies.

Au final, vous l'aurez compris, nous ne devrions pas choisir entre femtoseconde ou microkératome, mais utiliser le femtoseconde et le microkératome pour adapter notre technique à chaque patient.

Bibliographie

1. KANCLERZ P, KHORAMNIA R. Flap thickness and the risk of complications in mechanical microkeratome and femtosecond laser in situ keratomileusis: a literature review and statistical analysis. *Diagnostics*, 2021;11:1588.
2. KAHUAM-LÓPEZ N, NAVAS A, CASTILLO-SALGADO C *et al.* Laser-assisted in-situ keratomileusis (LASIK) with a mechanical microkeratome compared to LASIK with a femtosecond laser for LASIK in adults with myopia or myopic astigmatism. *Cochrane Database Syst Rev*, 2020;4:CD012946.
3. CHEN S, FENG Y, STOJANOVIC A *et al.* IntraLase femtosecond laser vs mechanical microkeratomes in LASIK for myopia: a systematic review and meta-analysis. *J Refract Surg*, 2012;28:15-24.

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



M. ASSOULINE

Clinique de la Vision – Groupe Visya/One Clinic et Centre Iéna Vision, PARIS.
Mikajaki SA, PLAN-LES-OUATES, GENÈVE.
dr.assouline@gmail.com

Les nouveaux implants multifocaux et EDOF

L'offre d'implants multifocaux (et EDOF) pour la compensation de la presbytie s'est considérablement diversifiée en quelques années et révèle autant la créativité étonnante d'une industrie fortement concurrentielle à la recherche de nouvelles opportunités de croissance sur le segment des implants à forte valeur ajoutée (premium) que l'efficacité remarquable des mathématiques appliquées au développement de solutions originales en optique.

La **figure 1** schématise les principaux concepts optiques utilisés pour compenser la presbytie au moyen des implants intraoculaires et illustre la différence entre les deux principaux écueils de la défocalisation destinée à augmenter la profondeur de champ : le flou visuel et les halos.

Les praticiens, le plus souvent peu formés aux aspects les plus théoriques de l'optique et de la physiologie de la vision, trouveront dans l'excellent article de Fannie Castignoles une revue

complète des fondements de la multifocalité. Ces lecteurs les plus motivés pourront ainsi mieux comprendre les variables d'ajustement qui permettent aux concepteurs de ces nouveaux implants d'optimiser la distribution de l'énergie lumineuse sur les différents foyers utiles à la vision "à toutes distances". Il semble en effet important de permettre aux chirurgiens qui les prescrivent d'appréhender autant que possible les choix techniques et les performances optiques des implants qui leur sont proposés, ainsi que les conséquences du transfert des contrastes et de la phase sur la perception visuelle par les patients.

Le **tableau 1** résume les caractéristiques des principaux implants multifocaux diffractifs disponibles sur le marché français.

L'optimisation de ces implants diffractifs fait appel à des notions d'optique assez sophistiquées, telles que le contrôle

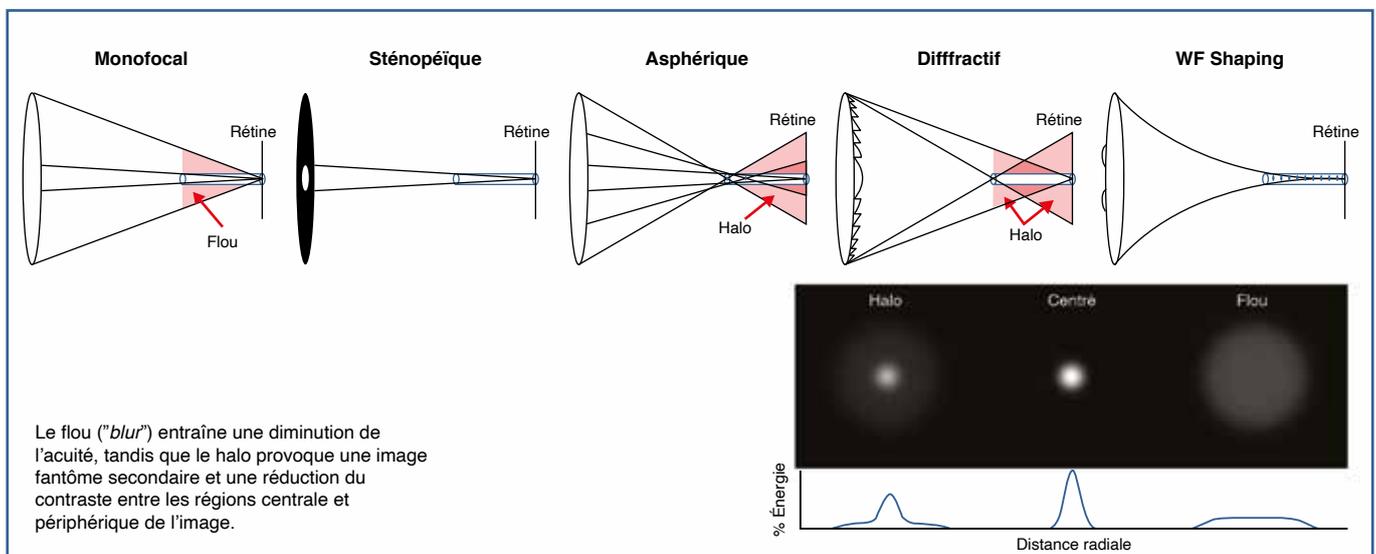


Fig. 1 : Compensation de la presbytie par les implants intraoculaires. Principes et effets visuels.

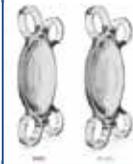
	Liberty (Medicentur)	AT Lisa Tri (Zeiss)	FineVision (Physiol)	PanOptix (Alcon)	RayOne (Rayner)	Artis Symbiose (Cristalens)	Intensity (Hanita)	Symfony (Tecnis J&J)	Synergy (Tecnis J&J)
									
Diffractive technology	Trifocal-Refractive	Trifocal	Trifocal	Quadrifocal	Trifocal	Trifocal Continuous	PentaFocal	Trifocal	Trifocal Hybrid
Diffractive steps	7	21-29	20	15	14	10/12	11	?	?
Diffractive orders	1 (1st)	2 (1st; 2nd)	2 (1st; 2nd)	4 (minus one)	2 (1st; 2nd)	2 (1st; 2nd)	5	?	?
Diffractive surface diameter (mm)	3.0	5.0	5.5	4.5	4.5	4.5	4.0	?	?
Light loss (4.5mm)	11%	14.3%	14%	12%	?	?	?	?	?
Energy distribution D / I / N @ 3.0mm	53% / 14% / 33%	50% / 20% / 30%	49% / 18% / 33%	42% / 24% / 22%	?	?	?	?	?
Addition	+1.75 & +3.50D	+1.66D & +3.33D	+1.75D & +3.5D	+2.17D & +3.25D	+1.75 & +3.50D	+1.25 / +1.75 & +3.50D	+1.25 / +1.75 & +3.50D	?	?
Toric Range (steps)	1.0 to 6.0	1.0 to 12.0	1.0 to 6.0	1.0 to 3.75	0.75 to 4.50 (0.75)	0.75 to 3.75 (0.75)	0	?	?
Reading distance	37.5 cm	40 cm	37.5 cm	40 & 80 cm	37.5 & 65 cm	30 to 80	30 to 80	?	?
Aberration	neutral	-0.20 µm SA	-0.11 µm SA	-0.20 µm SA	neutral	-0.20 µm SA	-0.13 µm SA	?	?
Material	HL Acrylic (25)	HL Acrylic (25)	HB or HL Acrylic	HB acrylic	HL Acrylic (26)	HB acrylic CBK1.8	HL Acrylic (26)	HB acrylic	HB acrylic
ABBE number	58	58	58	37	56	37	56	?	?
Angulation	0	0	5°	0	5°	5°	4°	?	?

Tableau I : Implants multifocaux diffractifs.



Fig. 2 : Implants multifocaux non diffractifs.

de la phase continue (Artis Symbiose de Cristalens) ou l'Élevation Phase Shift (Liberty de Medicentur, voir l'article d'Alexandra Kontur).

La **figure 2** illustre les différents implants non diffractifs classiques (Lentis) ou, pour la plupart, beaucoup plus récents, dont le LuxSmart de Bausch + Lomb, le Lucidis de Swiss Advanced Vision, le Vivivity "X-WAVE" d'Alcon, le RayOne EMV de Rayner et l'EyHance de J & J. Cet important effort récent de développement des implants non diffractifs obéit principalement à une logique de minimisation des effets photiques indésirables observés avec les modèles diffractifs.

Le principe très innovant du LuxSmart (B + L), basé sur la modulation de l'asphéricité avec la combinaison des 4^e et 6^e ordres d'aberration sphérique de signes opposés, est détaillé dans l'article de Cati Albou-Ganem.

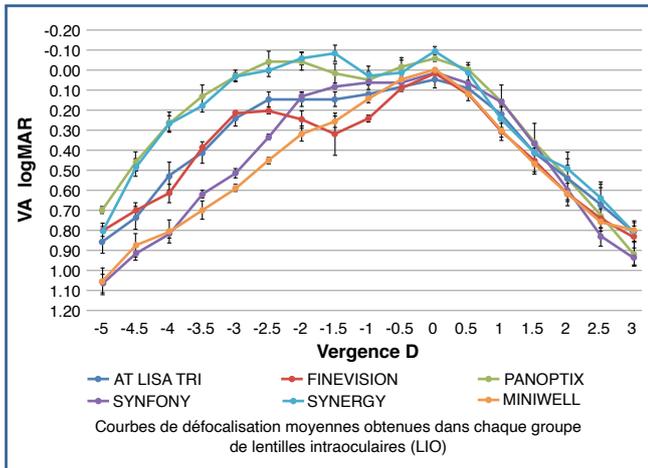


Fig. 3 : Courbes de défocalisation comparatives des implants multifocaux récents.
© Palomino-Bautista *et al. Sci Rep*, 2021;11:12081.

D'autres modèles de défocalisation par asphéricité contrôlée sont proposés.

Le concept de l'Axicon est implémenté dans le Lucidis (Rabinovich, 2022). Dans l'implant Vivity d'Alcon, l'ajout de deux éléments asphériques combinés (un anneau en plateau de 1 mm d'élévation et une surface asphérique centrale de 2 mm de diamètre) permet de moduler le front d'onde en minimisant les effets photiques.

Les courbes de défocalisation restent le meilleur moyen pour les praticiens d'évaluer les performances cliniques des

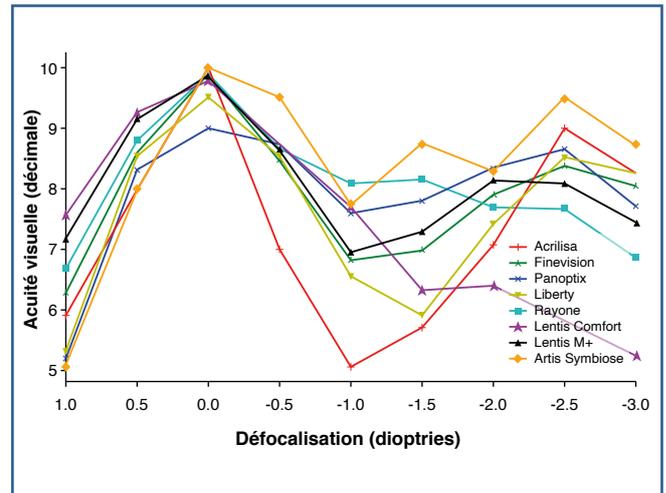


Fig. 4 : Courbes de défocalisation comparatives (étude personnelle n = 716).

implants multifocaux (*fig. 3 et 4*), en attendant le développement d'outils plus objectifs et plus pratiques d'analyse de la qualité de vision.

Pour en savoir plus :

- RABINOVICH M, CERESARA G, ARAMBURU DEL BOZ A *et al.* Visual Outcomes after Implantation of Lucidis EDOF IOL. *J Ophthalmol*, 2022;2022:5100861.
- PALOMINO-BAUTISTA C, SÁNCHEZ-JEAN R, CARMONA-GONZALEZ D *et al.* Depth of field measures in pseudophakic eyes implanted with different type of presbyopia-correcting IOLS. *Sci Rep*, 2021;11:12081.

L'auteur est consultant pour le laboratoire Cristalens et a été consultant pour le laboratoire Medicontur.



F. CASTIGNOLES
PhD & ingénieur optique, Directrice scientifique Cristalens, LANNION.
f.castignoles.ci@cristalens.fr

Principes théoriques des implants multifocaux et EDOF réfractifs et diffractifs

Ces dernières années, l’offre des technologies optiques pour la correction de la presbytie lors de la chirurgie de la cataracte s’est largement densifiée et complexifiée. La terminologie utilisée pour distinguer les différentes catégories ne fait pas encore consensus (exemple du terme “EDOF”) et tend plus à distinguer les implants par leurs distances de vision ou leur degré de multifocalité (bifocaux, trifocaux et même quadrifocaux avec un ordre supprimé…) que par leur technologie. Pourtant, connaître et comprendre les principes optiques utilisés pour le design d’un implant permet d’appréhender les avantages mais aussi les risques et limites des différents implants intraoculaires, pour un patient donné.

Nous proposons donc ici une revue des principales technologies optiques utilisées pour la compensation de la presbytie par les implants intraoculaires. Nous aborderons également les notions de contraste et de phase qui sont les outils mathématiques utiles pour comparer les performances optiques des différents implants.

II Principes et paramètres géométriques des optiques multifocales et EDOF

1. Les implants intraoculaires réfractifs (fig. 1)

Les implants multifocaux et EDOF réfractifs sont basés sur les lois de Snell-Descartes (fig. 2). La lumière est considérée

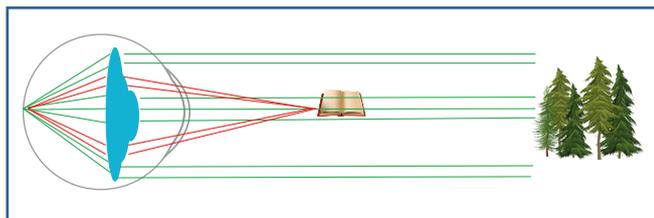


Fig. 1 : Exemple d’implant réfractif multifocal.

comme un ensemble de rayons optiques déviés par la géométrie de l’implant.

Historiquement, les premiers implants multifocaux réfractifs étaient basés sur une optique composée de plusieurs zones concentriques avec des puissances variables (fig. 3A), puis de plusieurs zones de puissance cette fois-ci découpées de façon sectorielle (fig. 3C) afin de s’affranchir de la dépendance au diamètre pupillaire.

Plus récemment, la plupart des implants à profondeur de champ reposent sur une variation de l’aberration sphérique (AS) (fig. 3B) de sorte que l’aberration sphérique totale de l’œil implanté (donc cornée + implant) soit positive (en s’additionnant à l’AS positive de +0,27 μm de la cornée du patient), ou bien au contraire négative (en surcorrigant l’AS positive du patient) (fig. 4). Le résultat obtenu sera donc très dépendant de l’AS de la cornée du patient, qui peut beaucoup varier d’un patient à l’autre [1].

Les résultats obtenus avec ce type d’implants seront fortement affectés par les cornées ayant une AS plus atypique consécutive à une chirurgie cornéenne.

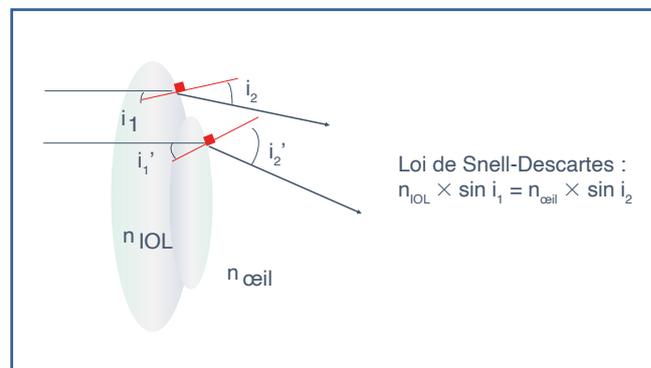


Fig. 2 : Loi de Snell-Descartes.

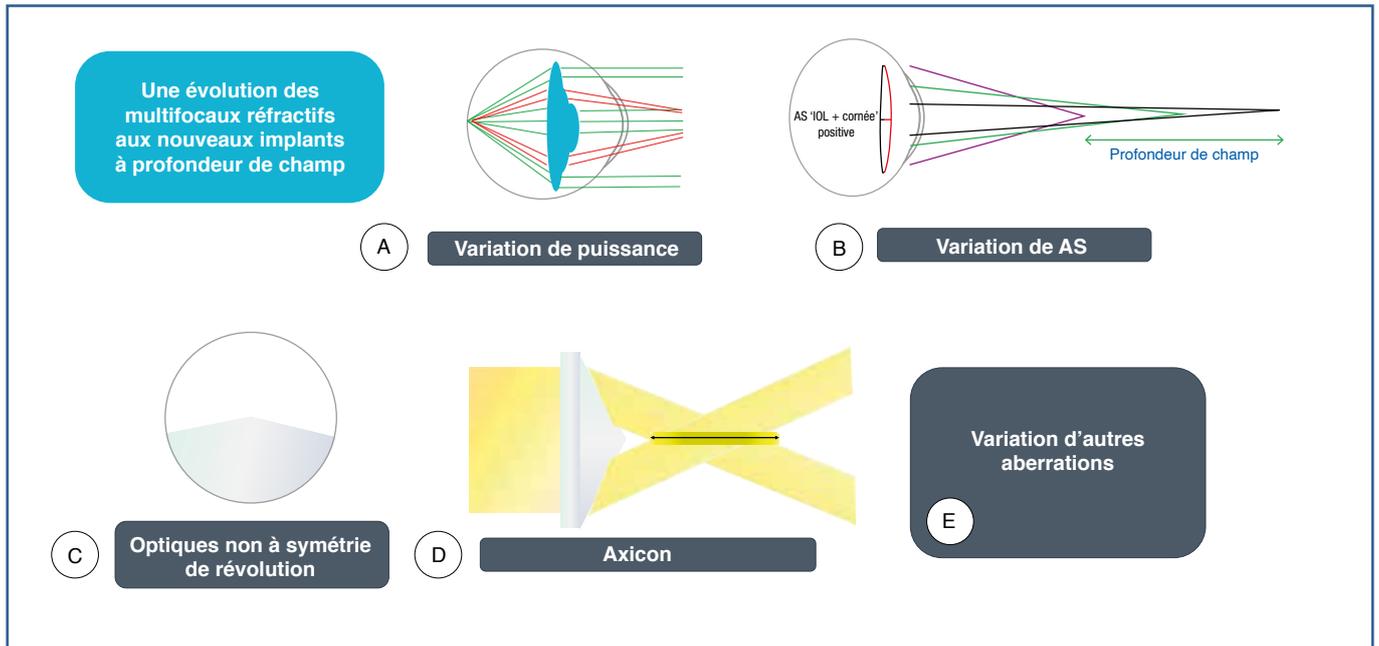


Fig. 3 : Principales catégories d'implants réfractifs multifocaux. AS : aberration sphérique.

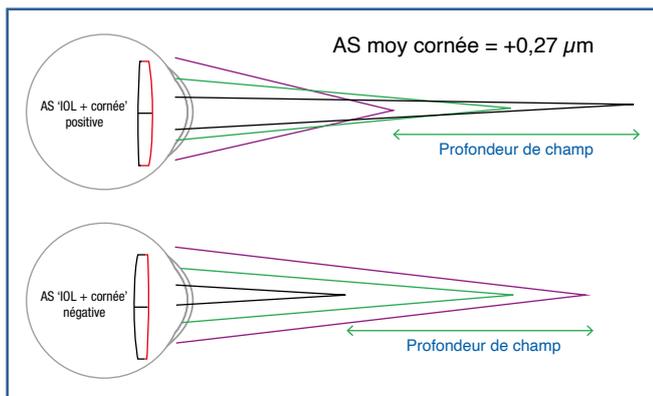


Fig. 4 : Aberration sphérique totale "implant + cornée" positive et négative.

D'autres technologies telles que les Axicon (*fig. 3D*) ou d'autres modifications du front d'onde (en jouant par exemple avec les aberrations sphériques d'ordre supérieur) permettent d'étirer la profondeur de champ en limitant la sensibilité à l'AS cornéenne.

Les implants multifocaux et EDOF réfractifs offrent donc une palette de solutions pour augmenter la profondeur de champ tout en conservant un bon contraste en vision de loin et limiter les halos et éblouissements, comparativement aux optiques diffractives. Cet avantage est obtenu au prix d'une addition plus souvent limitée en vision de près (absence de réelle multifocalité) et d'une plus grande sensibilité aux paramètres physiologiques du patient (AS de la cornée, dépendance pupillaire).

2. Les implants intraoculaires diffractifs

Les implants multifocaux et EDOF diffractifs sont basés sur les lois de la diffraction. La lumière forme un ensemble d'ondes (vagues) diffractées dans toutes les directions par les échelottes/dents/anneaux. La géométrie judicieusement choisie des échelottes permet de sélectionner des images nettes aux foyers voulus (*fig. 5*).

La largeur des anneaux est le paramètre déterminant pour l'addition pour la vision de près et/ou intermédiaire : plus ils sont serrés, plus l'addition est forte.

La hauteur des anneaux définit quant à elle l'énergie dédiée aux visions proches (vision de près et/ou intermédiaire) : plus les anneaux sont hauts, plus il y a d'énergie pour la vision proche (et à fortiori moins pour la vision de loin) (*fig. 6*). Les implants classiques bifocaux ont une hauteur de profil typiquement autour de $\lambda/2$. En doublant la hauteur typique des

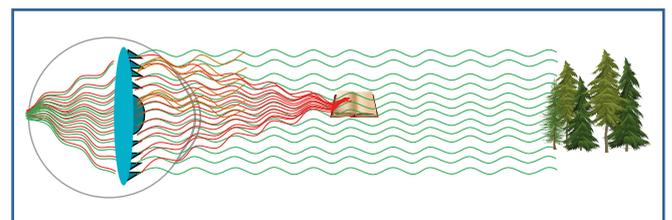


Fig. 5 : Exemple d'implant diffractif multifocal.

anneaux d'un implant bifocal (λ), il est même possible d'obtenir un implant diffractif mais... monofocal !

Et en poussant encore la hauteur des anneaux jusqu'à environ $1,5 \lambda$, on obtient un implant bifocal à échelottes, dit d'ordre supérieur de diffraction (fig. 7). Attention, cette technologie est

associée à une forte dissymétrie entre les répartitions d'énergie des visions de loin et intermédiaire en fonction de la longueur d'onde. Un résultat typique est un implant quasi monofocal pour la vision de loin dans le rouge (et quasi-absence de vision intermédiaire) et quasi monofocal pour la vision intermédiaire dans le bleu (avec absence de la vision de loin).

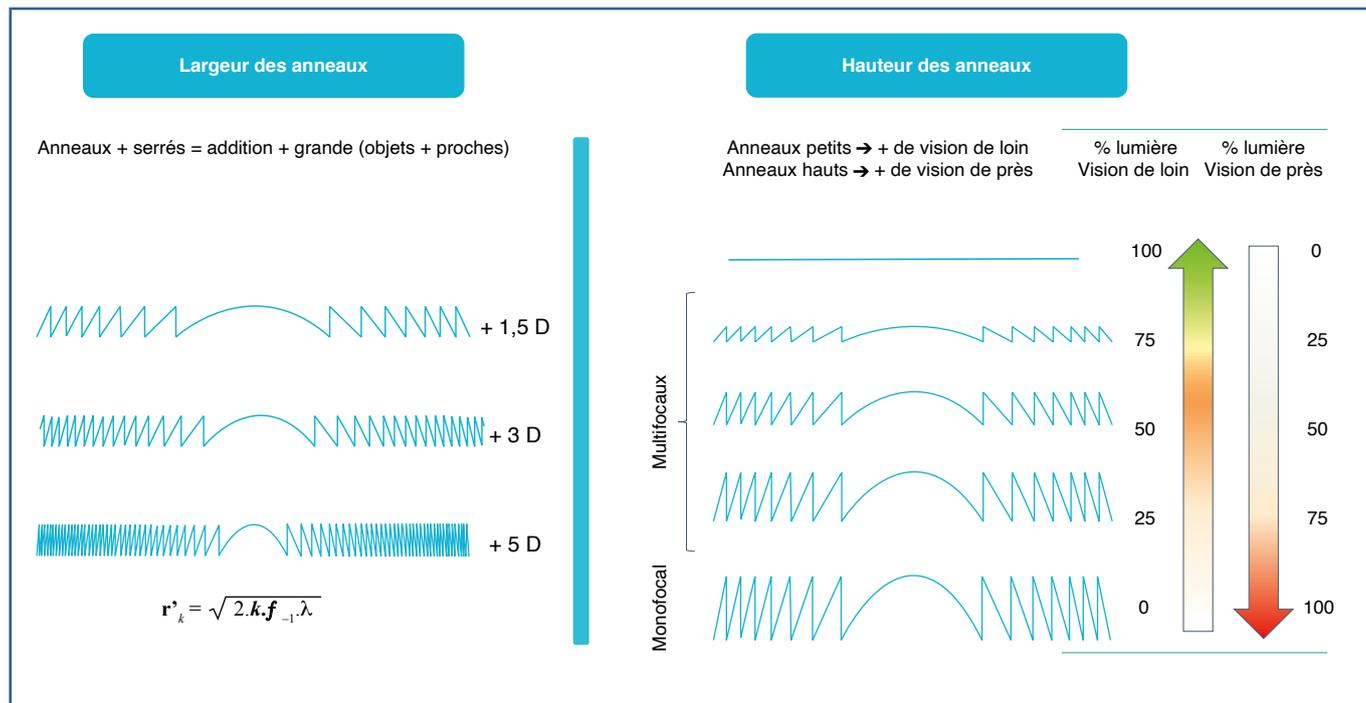


Fig. 6 : Impact de la largeur et de la hauteur des anneaux diffractifs (r'_k le rayon de l'anneau k , f_{-1} la focale de près, λ la longueur d'onde de design à 546 nm).

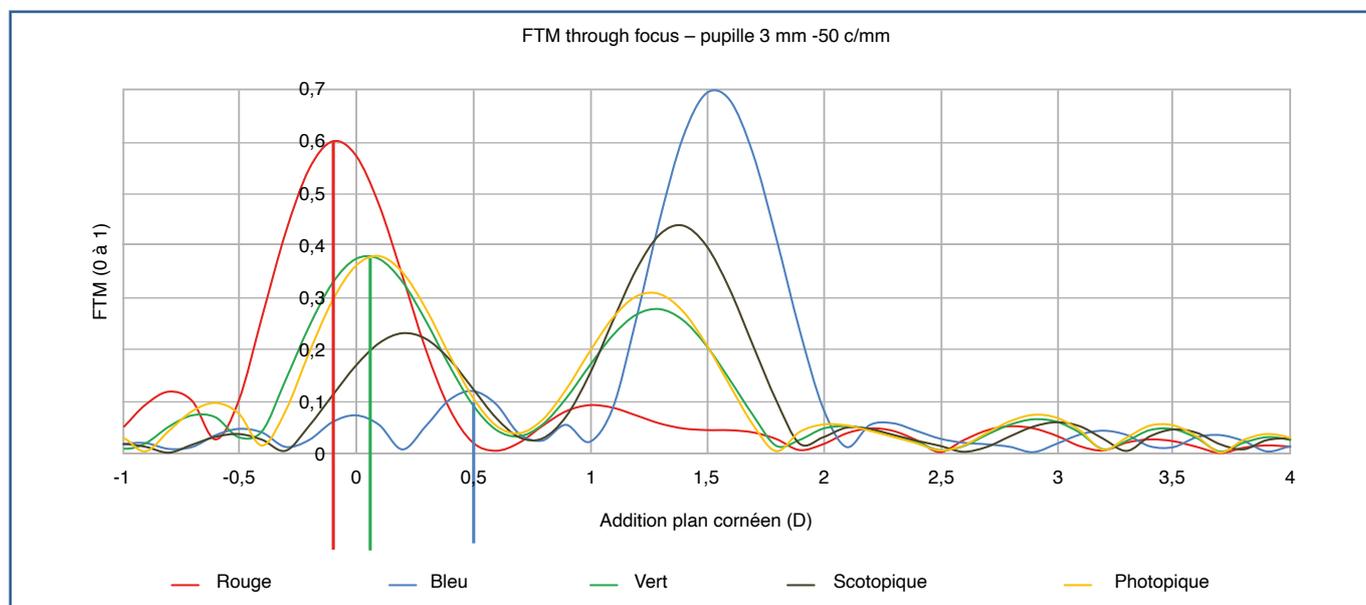


Fig. 7 : Fonction de transfert de modulation (FTM) pour les différentes longueurs d'onde d'un implant diffractif multifocal utilisant des ordres supérieurs.

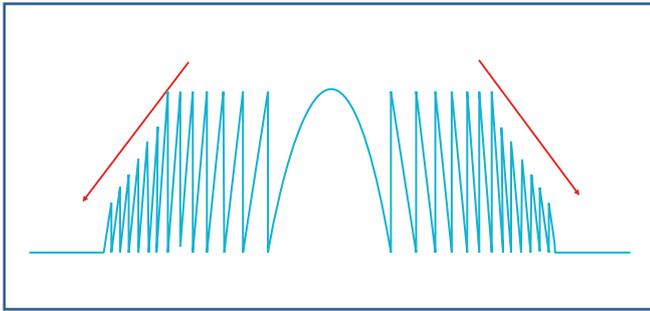


Fig. 8 : Principe de l'apodisation.

Si l'avantage des implants diffractifs par rapport aux implants réfractifs historiques était l'indépendance pupillaire, le corollaire fut des halos et éblouissements plus importants. Pour limiter cet inconvénient, de nombreux implants diffractifs sont désormais conçus avec une apodisation (*fig. 8*) qui consiste à diminuer progressivement la hauteur des anneaux diffractifs en périphérie de l'implant, de sorte qu'en vision nocturne – c'est-à-dire à grande pupille – l'énergie lumineuse soit principalement dirigée vers la vision de loin (et non en vision de près responsable des halos).

Enfin, bien que plus visible, la forme géométrique des dents du profil diffractif n'a le plus souvent en réalité qu'un impact très modéré sur les résultats des implants diffractifs multifocaux (*fig. 9*) [2].

Les implants multifocaux et EDOF diffractifs sur le marché utilisent souvent une combinaison des paramètres discutés ici, en ajoutant parfois une superposition de plusieurs profils diffractifs (par exemple pour des implants trifocaux, quadrifocaux) et/ou une modulation du profil diffractif avec différentes combinaisons de paramètres d'une dent à l'autre.

Au global, les optiques diffractives sont plus adaptées pour obtenir des foyers de vision multiples et des additions plus fortes permettant une bonne vision de près que leurs consœurs réfractives. Les nombreux paramètres sur lesquels nous pouvons jouer dans le design des implants diffractifs permettent une large palette de solutions possibles. Les implants diffractifs sont moins sensibles à l'aberration sphérique des patients et peuvent être indépendants de la pupille (si non apodisées).

En revanche, elles sont en général plus sujettes aux halos même si ceux-ci peuvent être diminués en travaillant avec des multifocaux à vision continue. Or, il est par ailleurs important de noter que les technologies réfractives peuvent dans certains cas générer également des dysphotopsies (éblouissements).

On comprend donc qu'il est important de disposer d'outils mathématiques qui vont permettre de comparer les qualités optiques obtenues avec différents implants.

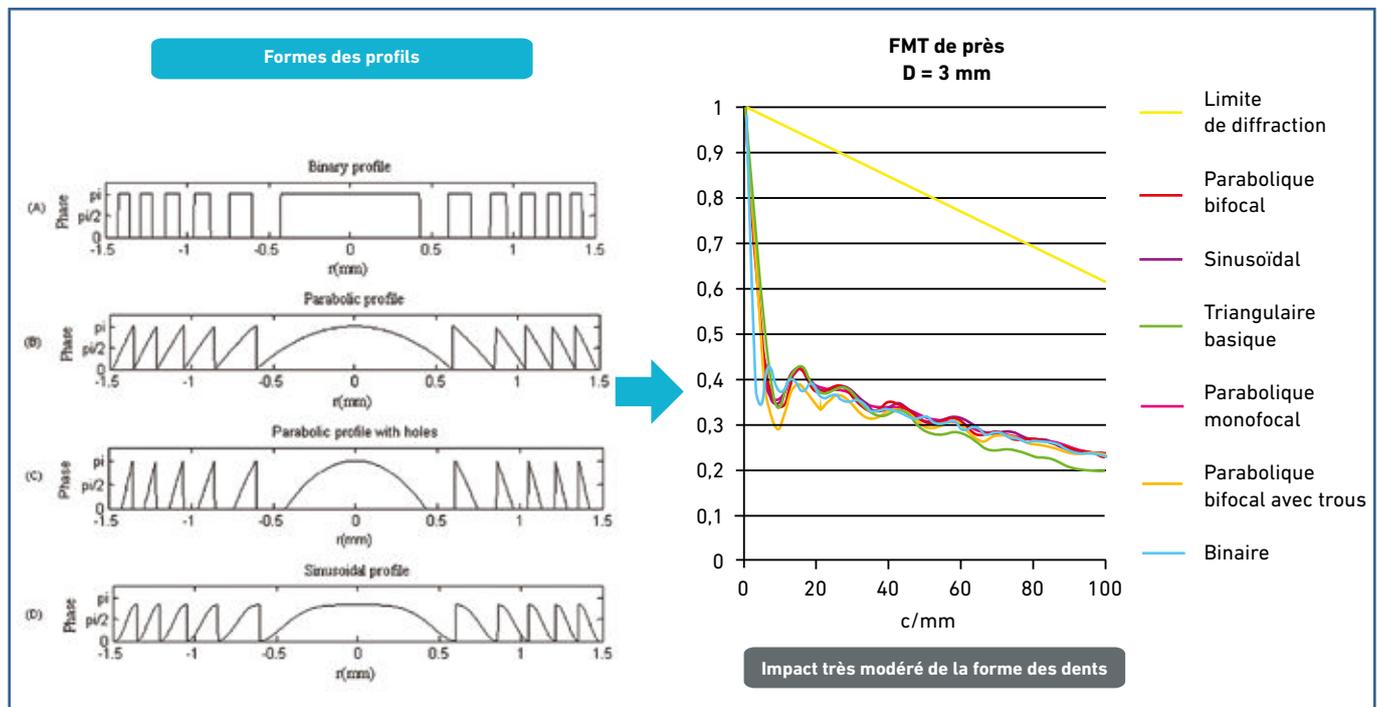


Fig. 9 : FTM fréquentielle en vision de près pour différentes géométries de profils diffractifs.

Notions de contraste et de phase pour les implants multifocaux et EDOF

Pour comparer les implants intraoculaires multifocaux et EDOF, les courbes de FTM (fonction de transfert de modulation) sont aujourd’hui couramment utilisées. Ces courbes présentent le contraste (0 % = lettre blanche sur fond blanc ; 100 % = lettre noire sur fond blanc) obtenu avec un implant

en fonction de la distance de vision ou de l’addition de l’implant et pour une fréquence spatiale (c’est-à-dire une taille de lettre) donnée (fig. 10). Plus la courbe est élevée, meilleur est le contraste (0 à 100 %).

Usuellement, les courbes de FTM 2D sont représentées pour une fréquence spatiale de 50 c/mm, mais il est intéressant de noter que ces courbes peuvent être présentées en nappes à

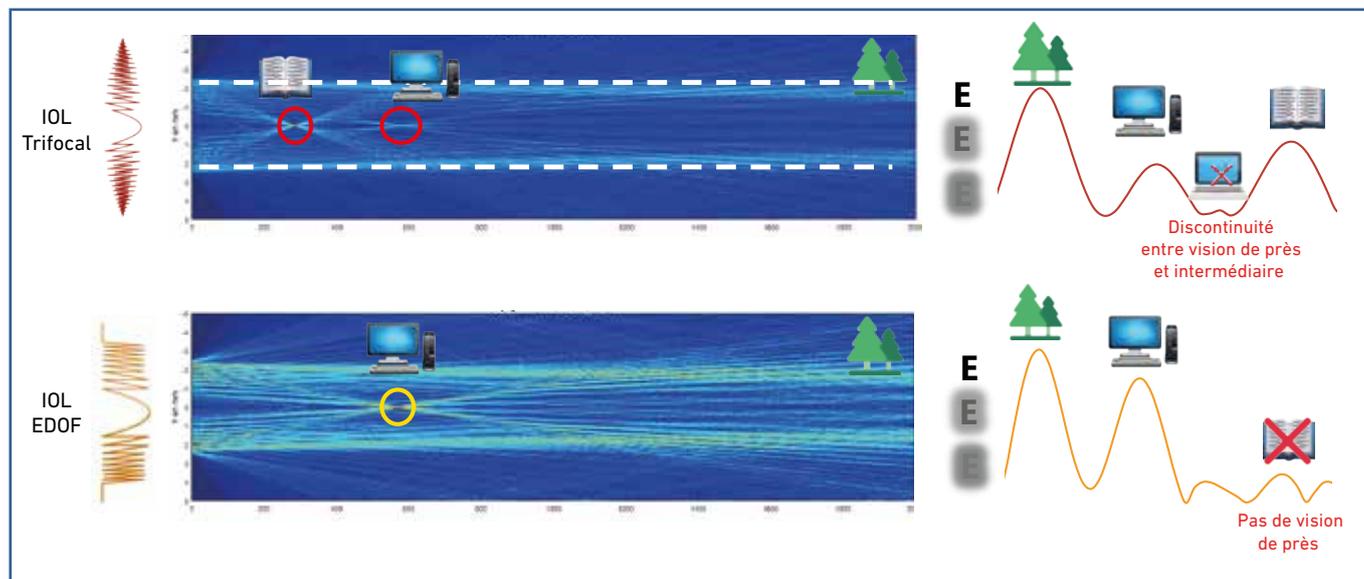


Fig. 10 : Propagation des rayons optiques (à gauche) et FTM correspondantes en fonction de l’addition (à droite) d’un implant diffractif trifocal et d’un EDOF.

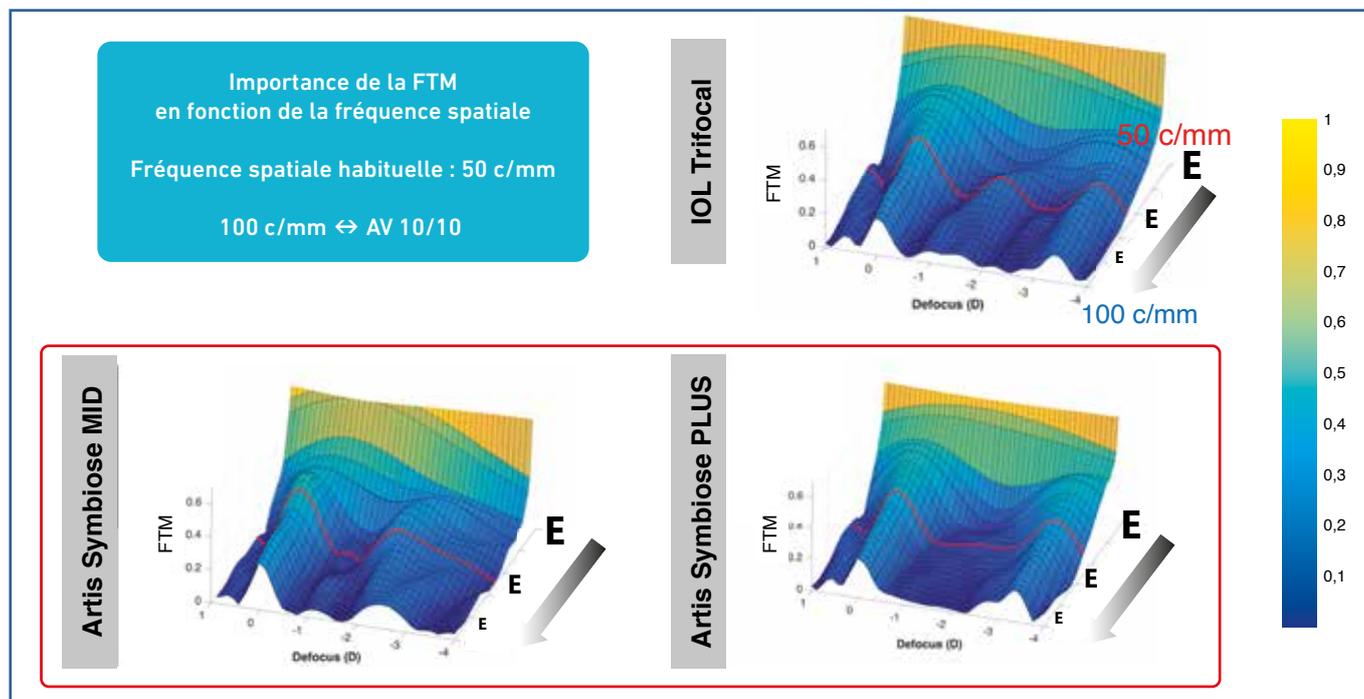


Fig. 11 : Nappes de FTM en fonction de l’addition et de la fréquence spatiale (c/mm) pour différents implants diffractifs multifocaux [3].

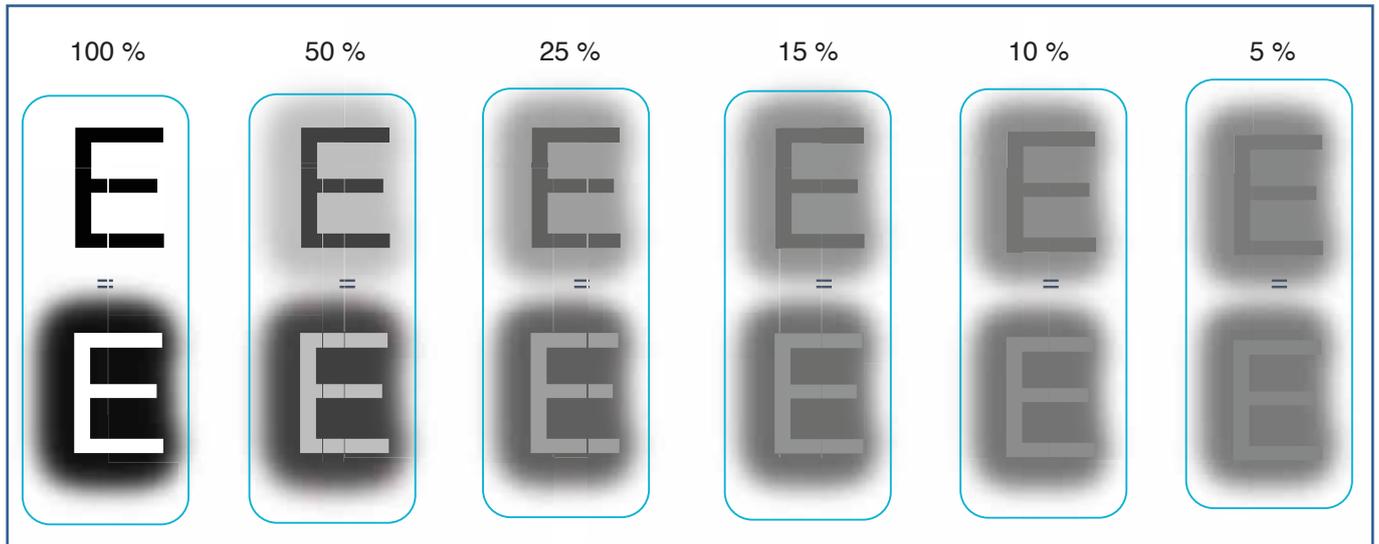


Fig. 12 : Optotypes avec contraste décroissant (ligne du haut) et couleurs inversées (ligne du bas).

3 dimensions avec la taille de l'optotype comme variable supplémentaire [3], ce qui permet de comparer les performances optiques des implants par exemple jusqu'à 100 c/mm (ce qui correspond à une acuité visuelle de 10/10) (*fig. 11*).

Cette notion de FTM est donc très importante mais pour autant elle reste insuffisante. En effet, par définition un contraste étant toujours positif (compris entre 0 et 100 %), la notion de FTM seule ne permet pas de déterminer si les couleurs noires et blanches de l'optotype "E" ont été inversées à une certaine distance pour le patient (*fig. 12*).

Or, comme le montre l'exemple de la mire radiale ci-dessous, cette "inversion de couleurs" est le phénomène physique qui se produit lorsque la vision devient floue. C'est une inversion de phase (*fig. 13*).

Ainsi, tout comme la FTM est utilisée pour comparer le contraste des implants intraoculaires, il est intéressant

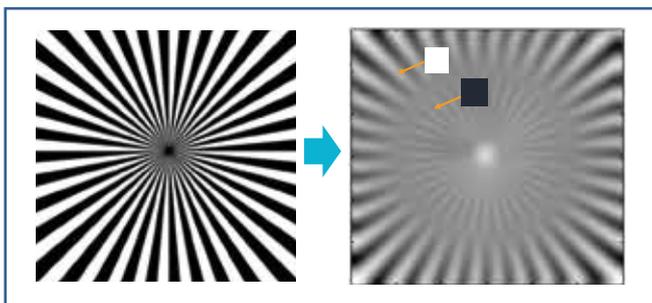


Fig. 13 : Image d'une mire radiale parfaite (à gauche) et vue à travers un implant (à droite). L'image de droite présente des inversions de phases successives.

d'analyser la fonction de transfert de la phase (FTP) en fonction de la distance de vision. Pour comprendre comment est obtenue la FTP, il faut revenir à la base du calcul de la qualité optique d'un implant, ici trifocal pour l'exemple de la *figure 14*.

Pour qualifier une optique, les ingénieurs utilisent la PSF (*Point Spread Function* ou fonction d'étalement du point) représentant l'image d'un point (par exemple, une étoile) vu à travers l'implant. La PSF est convertie avec une transformée de Fourier pour obtenir la fonction de transfert optique (FTO). La FTO contient toutes les informations sur la qualité des implants et peut prendre des valeurs positives mais également négatives (en jaune). Or, la FTM (toujours positive, comprise entre 0 et 100 %) est obtenue à partir de cette courbe en prenant la valeur absolue (en vert). Il y a donc une perte d'information, qui est de savoir à quel moment la lettre "E" subit des inversions de couleurs. Cette information manquante se retrouve dans la FTP qui correspond mathématiquement à ce que l'on appelle "l'argument" de la FTO (en rouge).

Ainsi, lorsque la FTP est constante (donc continue), l'image reste nette. En revanche, lorsqu'il y a une perte de résolution, la phase change et on parle d'inversion de phase : l'image n'est pas nette à cette distance. C'est typiquement ce qui se passe ici sur l'exemple d'un implant trifocal entre la vision de près à 40 cm et la vision intermédiaire à 80 cm. La notion de phase permet donc de compléter celle du contraste et d'apporter l'information sur la netteté de l'image. Pour obtenir une vision confortable sur une grande profondeur de champ, il est important de bénéficier à la fois d'un contraste suffisant (FTM) et d'une phase continue (FTP).

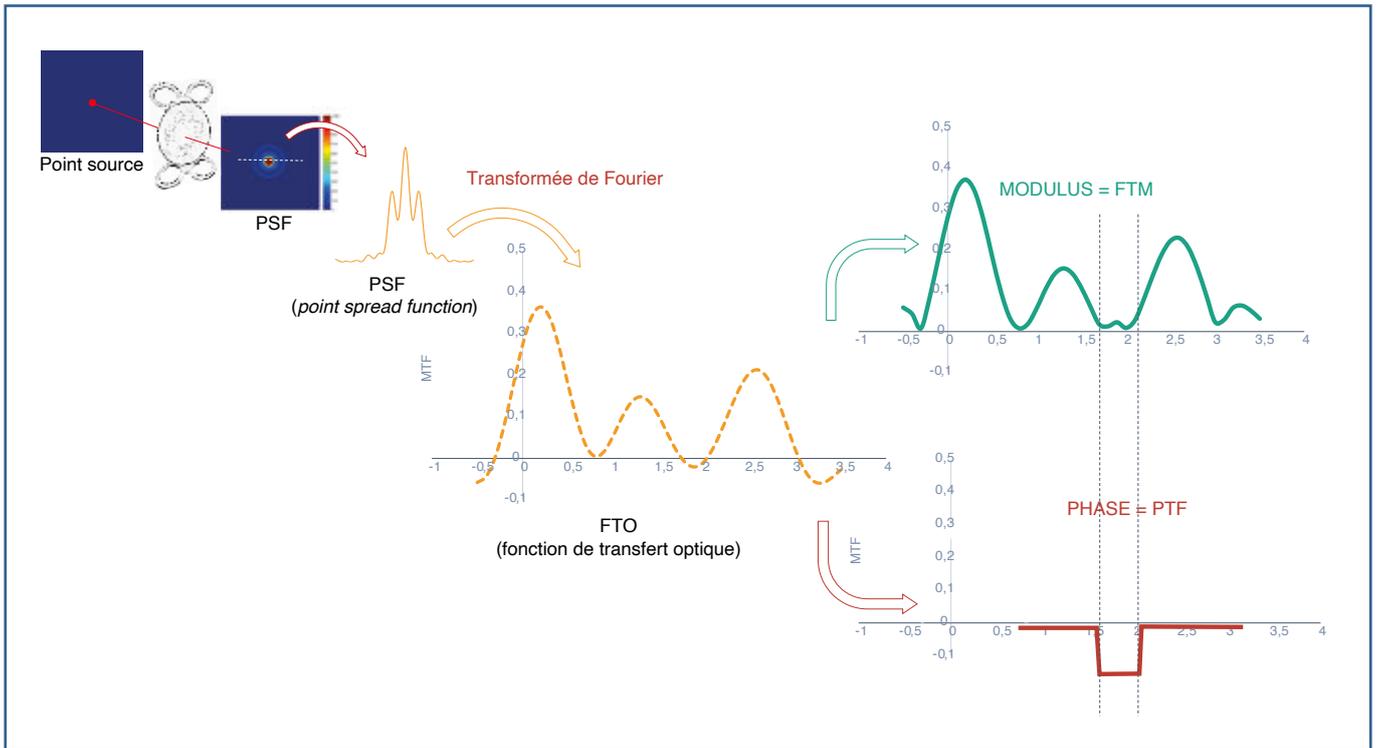


Fig. 14 : Calculs de la FTM et de la FTP en fonction de la distance de vision à partir d'un point lumineux vu à travers un implant trifocal.

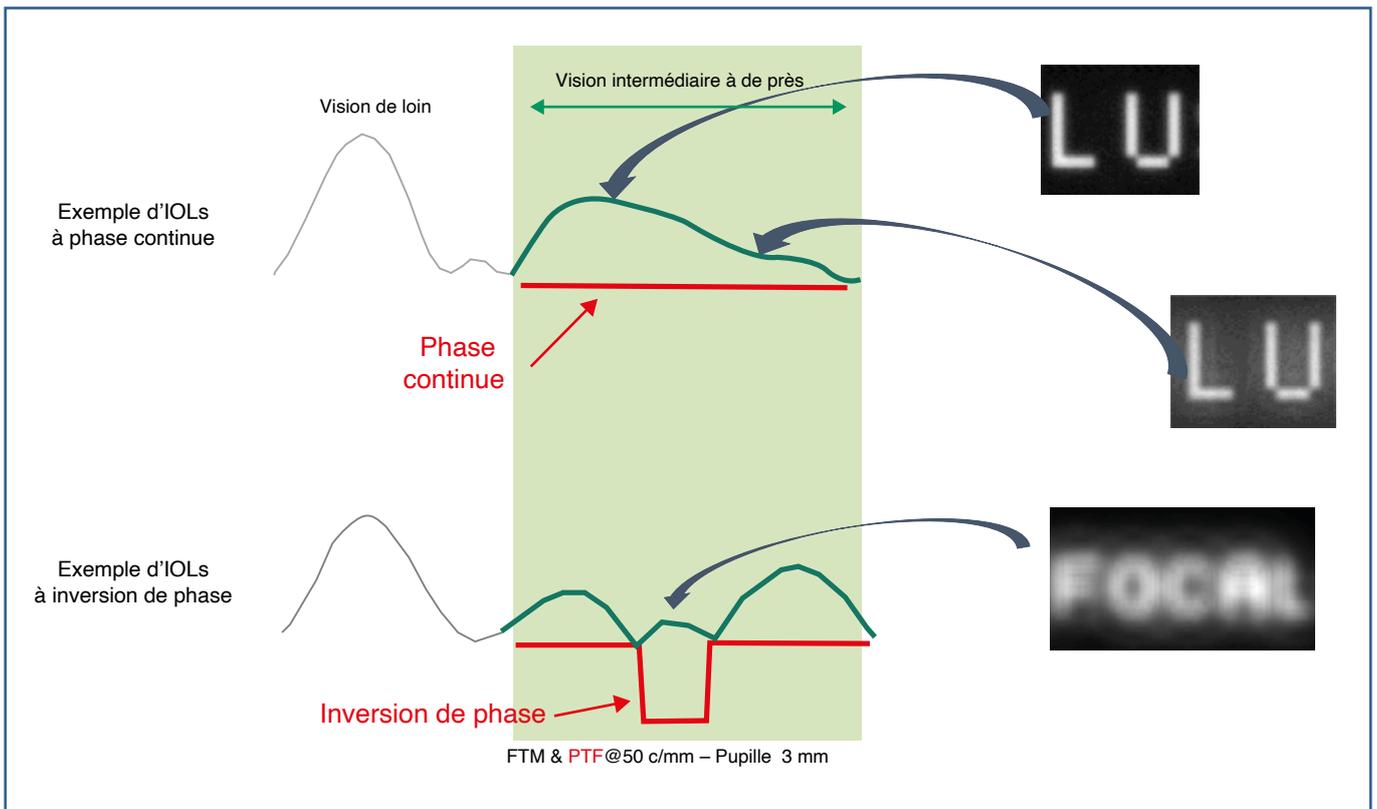


Fig. 15 : Exemples de FTM et FTP de deux implants diffractifs multifocaux. En haut, un implant diffractif à phase continue, en bas un implant trifocal.

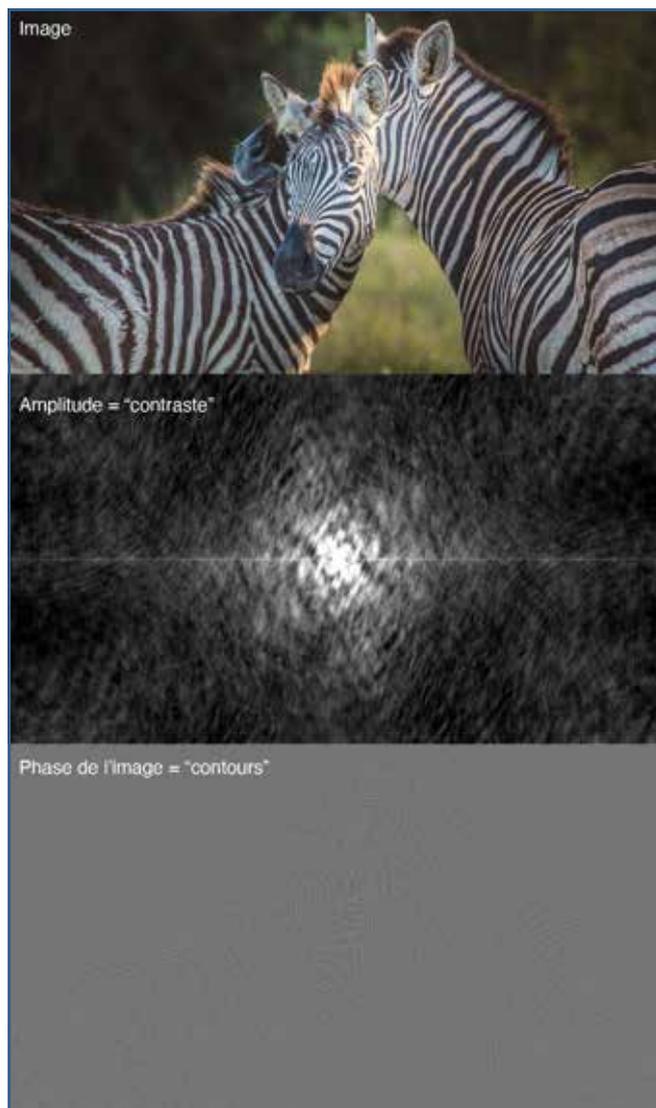


Fig. 16 : Illustrations de l'amplitude et de la phase contenues dans une image.

La *figure 15* présente un implant avec un contraste asymétrique de 90 à 40 cm qui décroît progressivement mais reste lisible car la phase est continue. À l'inverse, l'exemple d'un implant trifocal présente une discontinuité typique autour de

60 cm repérable avec son inversion de phase, et donc des textes plus difficilement lisibles.

II Conclusion

Les variables d'ajustement dans le design des implants intra-oculaires multifocaux et à profondeur de champ étendue sont nombreuses et leurs combinaisons permettent d'envisager de multiples configurations. La compréhension des avantages et limites des différents principes optiques peut aider à sélectionner l'optique adaptée à un patient donné.

Les notions de FTM et de FTP sont des outils importants pour l'analyse et la comparaison des performances optiques des différents implants multifocaux et EDOF, qu'ils soient réfractifs ou diffractifs. Si la notion de FTM (contraste) est plus connue, celle de la phase (FTP) qui représente la netteté d'une image est une notion moins habituelle. Elle s'avère importante pour la conception d'implants à phase continue visant à apporter le confort d'une vision nette et continue dans la correction de la presbytie (*fig. 16*).

Bibliographie

1. 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.
2. CASTIGNOLES F, FLURY M, LEPINE T. Comparison of the efficiency, MTF and chromatic properties of four diffractive bifocal intraocular lens designs. *Opt Express*, 2010;18:5245-5256.
3. ZAPATA-DÍAZ JF, RODRÍGUEZ-IZQUIERDO MA, OULD-AMER N *et al*. Total Depth of Focus of Five Premium Multifocal Intraocular Lenses. *J Refract Surg*, 2020;36:578-584.

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



A. KONTUR
Ophtalmologiste, directrice médicale du Laboratoire Medicontur,
Zambeck, BUDAPEST (Hongrie).

Implant trifocal basé sur l'élévation de transition de phase: le Liberty de Medicontur

■ Une plateforme classique sécurisée

L'implant Liberty (Bi-Flex 677MY, Medicontur Medical Engineering Ltd., Inc.) est un implant asphérique trifocal monobloc (approche neutre). La plateforme de base de l'implant a fait ses preuves sur plusieurs millions de cas : matériau copolymère hydrophile à 25 %, filtre ultraviolet et jaune, très faible aberration chromatique (indice d'Abbe 58). Le design Bi-Flex (*fig. 1*) avec une double anse en "C" et un très grand angle de contact équatorial ($2 \times 88^\circ$) assure la stabilité rotationnelle et réfractive et retarde l'opacification de la capsule postérieure (PCO), d'autant que le bord carré est très affûté ($< 10^\circ$) et continu sur 360° (*fig. 2*). La longueur totale de 13,0 mm le rend "compatible" avec une implantation ciliaire en cas de rupture capsulaire.

■ La technologie EPS : création d'un 3^e foyer diffractif par interférence constructive

Sur le plan optique, le Liberty, qui est disponible de 8 à 35 D (avec une version torique étendue), présente une addition intermédiaire de 1,75 D et une addition de près de 3,50 D (équivalent à 1,35 D et 2,70 D en lunettes).

Contrairement aux autres lentilles intraoculaires transparentes (LIO) trifocales, la lentille trifocale Liberty ne comporte que 7 marches diffractives concentriques situées dans la zone centrale de 3,0 mm de l'optique (*fig. 1*). La qualité des marches diffractives mais aussi leur nombre ont un impact important sur la diffusion de la lumière et la perte d'énergie lumineuse (*fig. 3*). La réduction du nombre de marches permet une meilleure préservation du contraste et leur cantonnement à la zone centrale contribue également à améliorer la qualité de vision à pupille dilatée, et notamment à réduire les phénomènes photiques adverses car 75 % de la surface de l'implant demeure purement réfractive [1-3, 6].

La lentille Liberty fait aussi appel à la technologie brevetée *Elevated Phase Shift (EPS)* de Medicontur, un concept optique innovant permettant d'optimiser les performances trifocales et l'utilisation de l'énergie lumineuse. Les 7 anneaux



Fig. 1 : LIO trifocale avec 7 anneaux diffractifs centraux. 25 % de la surface de la lentille est diffractive, 75 % de la surface de la lentille est réfractive.

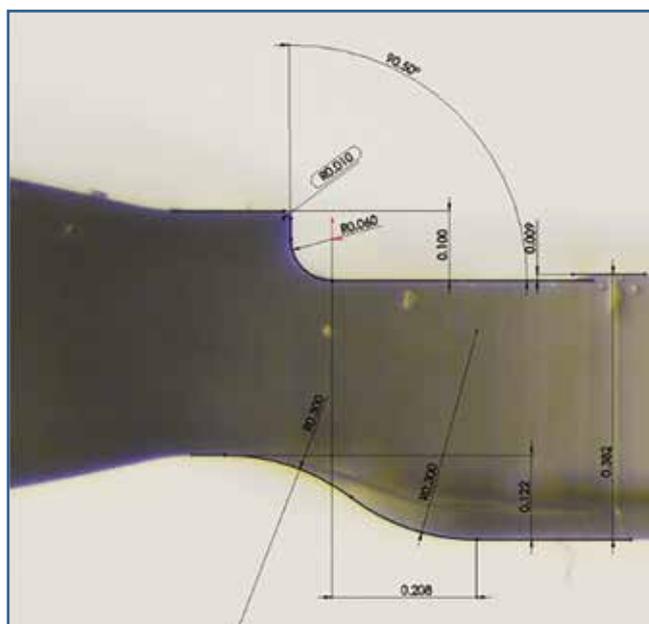


Fig. 2 : L'efficacité du bord carré très affûté est potentialisée par le grand angle de contact de l'haptique à double boucle avec l'équateur du sac de la capsule.

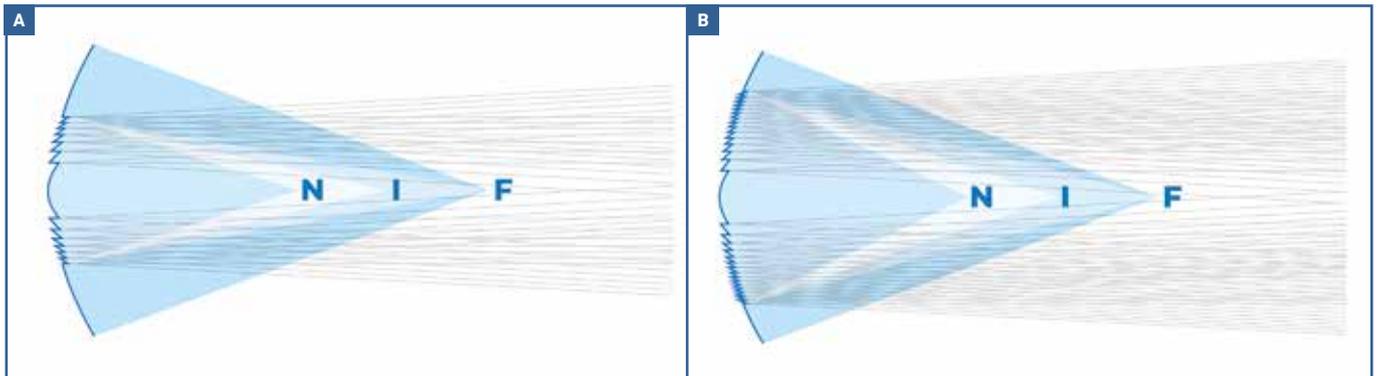


Fig. 3 : L'intensité des lignes grises montre schématiquement la quantité de lumière diffusée par 2 anneaux diffractifs.

diffractifs apodisés sont disposés dans une configuration qui provoque un déphasage élevé des motifs d'interférence, destinés aux foyers de loin et de près. L'interférence constructive des foyers de loin et de près produit un pic d'énergie intermédiaire pour la vision intermédiaire (fig. 4), ce qui permet d'utiliser un seul réseau diffractif pour créer 3 foyers. Les autres LIO trifocales génèrent en général un foyer intermédiaire en

combinant 2 profils diffractifs bifocaux sur une seule surface ou en utilisant un profil diffractif trifocal combiné à un réseau diffractif bifocal.

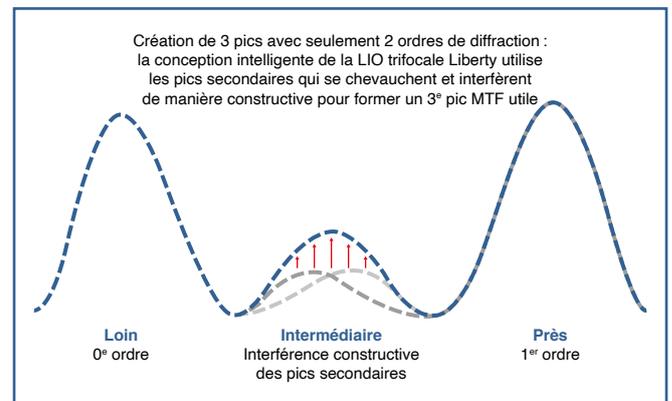


Fig. 4 : Dessin schématique montrant l'utilisation des interférences constructives pour créer un pic intermédiaire grâce à la technologie EPS.

Plusieurs concepts récents permettent d'optimiser la qualité d'image perçue dans le cas d'une distribution multifocale de l'intensité lumineuse entre 3 foyers. L'implant Liberty utilise une approche originale fondée sur l'interférence constructive des fronts d'onde destinés aux foyers de près et de loin pour défocaliser la lumière sur 3 foyers au moyen d'un seul réseau diffractif, contrairement à la majorité des lentilles trifocales qui en superposent 2 distincts. Ce procédé baptisé EPS (*Elevated Phase Shift*) permet une optimisation de la distribution de l'énergie lumineuse. Doté de seulement 7 marches diffractives sur une zone centrale de 3 mm laissant 75 % de la surface de l'implant en mode réfractif pur, le Liberty parvient à offrir une excellente performance clinique trifocale, une préservation quasi complète du contraste et une réduction très appréciable des effets photiques indésirables.

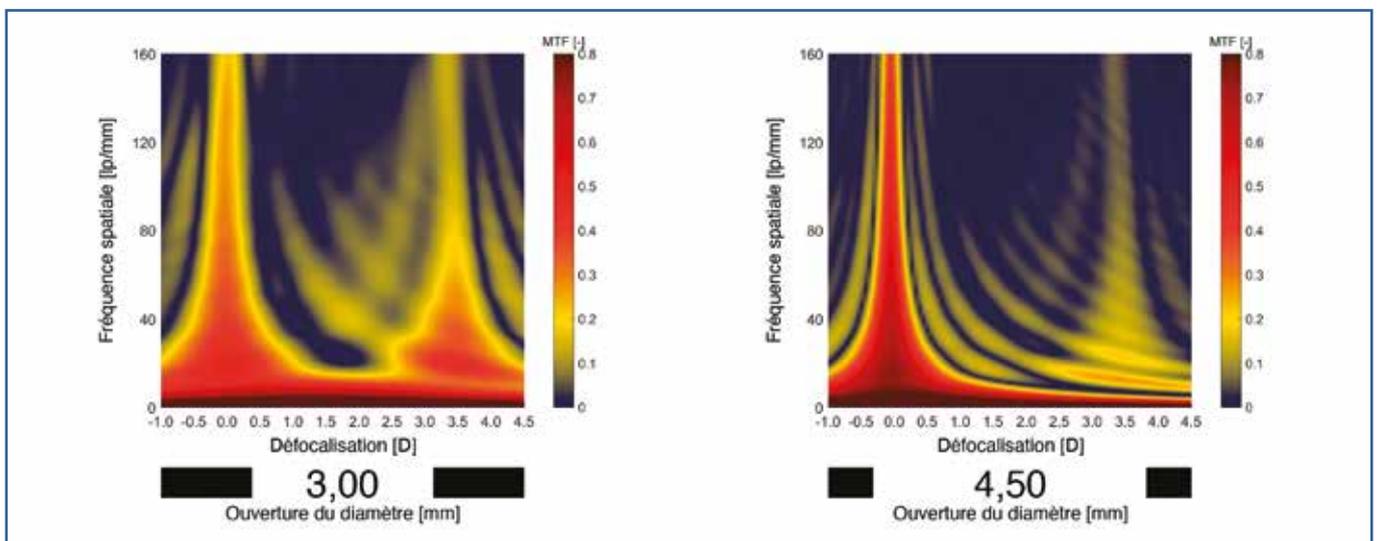


Fig. 5 : Les images d'une fonction de transfert de modulation (MTF) 3D montrent la répartition de l'intensité lumineuse à différentes tailles d'ouverture. Rouge foncé = forte intensité lumineuse. Avec une ouverture de 3 mm, nous observons d'excellentes performances pour la vision de près avec une intensité suffisante pour la plage intermédiaire ; à 4,5 mm, l'intensité lumineuse est forte pour la vision de loin.

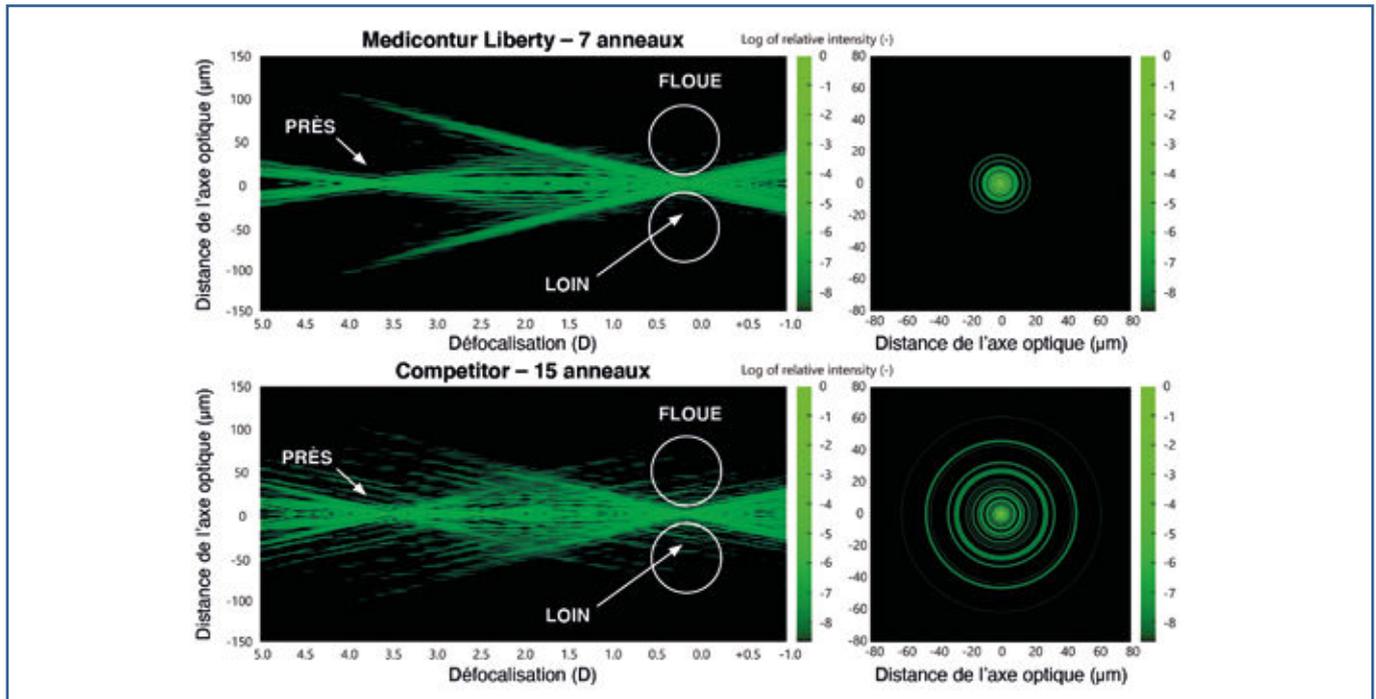


Fig. 6 : L'intensité de l'énergie lumineuse à une ouverture de 4,5 mm simulée par Zemax pour le calcul de la propagation de la lumière après la définition personnalisée des surfaces diffractives montre moins de lumière hors foyer avec le trifocal Liberty par rapport à un profil diffractif avec 15 anneaux diffractifs.

Les tests en laboratoire (simulations spéciales, mesures de la fonction de transfert de modulation [MTF] en 3D, tests dans un modèle anatomique d'œil exclusif) ont démontré que les intensités lumineuses allouées par différentes tailles d'ouverture offrent d'excellentes performances pour la vision de loin et de près et semblent fournir une intensité lumineuse suffisante pour le pic intermédiaire (**fig. 5**). Des simulations de *ray tracing* ont aussi été réalisées au moyen du logiciel Zemax pour étudier de façon comparative les phénomènes photiques indésirables pour divers modèles optiques représentant différentes conceptions d'implants multifocaux avec une ouverture de 4,5 mm (taille moyenne de la pupille mésopique pour la conduite de nuit). Les résultats ont montré que l'intensité de la lumière hors foyer, tant de près que de loin, était moindre avec les 7 marches diffractives du Liberty par rapport aux modèles optiques comprenant un plus grand nombre d'anneaux. Le Liberty était également associé au plus petit diamètre de halo (**fig. 6**) [4].

Le réflexe "accommodation, myosis, convergence" en vision de près est conservé avec l'âge et après chirurgie de la cataracte [1-3, 7]. La conception du Liberty répond étroitement à cette contrainte physiologique en affectant une énergie lumineuse relative plus importante de loin à pupille dilatée et de près à pupille étroite par rapport aux autres lentilles trifocales. Avec une ouverture de 3 mm, le Liberty donne la plus grande

priorité à la vision de près (37,7 %) tandis qu'à 4,5 mm il présente la distribution lumineuse la plus élevée (79,3 %) par rapport aux lentilles trifocales concurrentes (**fig. 5**).

Ces résultats expérimentaux ont été confirmés par plusieurs études cliniques [1, 6].

Bibliographie

1. GYÓRY JF, MADÁR E, SRINIVASAN S. Implantation of a diffractive-refractive trifocal intraocular lens with centralized diffractive rings: Two-year results. *J Cataract Refract Surg*, 2019;45:639-646.
2. FERNÁNDEZ J, RODRÍGUEZ-VALLEJO M, MARTÍNEZ J *et al*. Biometric factors associated with the visual performance of a high addition multifocal intraocular lens. *Curr Eye Res*, 2018;43:998-1005.
3. FONSECA E, FIADÉIRO P, GOMES R *et al*. Pupil function in pseudophakia: proximal miosis behavior and optical influence. *Photonics*, 2019;6:114.
4. FERNÁNDEZ J, RODRÍGUEZ-VALLEJO M *et al*. Prediction of Visual Acuity and Contrast Sensitivity From Optical Simulations With Multifocal Intraocular Lenses. *J Refract Surg*, 2019;35:789-795.
5. FERNÁNDEZ J, RODRÍGUEZ-VALLEJO M, MARTÍNEZ J *et al*. From presbyopia to cataracts: a critical review on dysfunctional lens syndrome. *J Ophthalmol*, 2018;2018:4318405.
6. GYÓRY JF, MADÁR E, SRINIVASAN S. Long term performance of a diffractive-refractive trifocal IOL with centralized diffractive rings; 5-years prospective clinical trial. *J Cataract Refract Surg*, 2021;47:1258-1264.
7. KASTHURIRANGAN S, GLASSER A. Age-related changes in the characteristics of near pupil response. *Vision Res*, 2006;46:1393-1403

Traduction réalisée par M. Assouline.



J. COULLET¹, C. ALBOU-GANEM²

¹ Clinique de la Vision – Groupe Visya et Centre Odysseum Ophtalmologie, MONTPELLIER.
couillet.j@gmail.com

² Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.
cati@albou-ganem.com

Conjonctivochalasis : un facteur de risque méconnu du Lasik?

■ 1^{re} partie : Montpellier

Un jeune patient de 20 ans, sans antécédent, non porteur de lentilles de contact, est demandeur de chirurgie réfractive dans un cadre professionnel (il veut intégrer l'Armée de terre). L'examen clinique (lampe à fente et fond d'œil) est noté comme normal.

La réfraction est stable et mesurée de différentes manières chez ce patient hypermétrope :

- lunettes : +4 (–0,75) 35°/+4,75 (–0,5) 150° ;
- réfraction objective : +4 (–1) 35°/+4,75 (–0,75) 170° ;
- cyclopentolate : +4,75 (–1) 35°/+6 (–0,5) 170° ;
- réfraction équivalente prédite (PPR ; aberrométrie ZyWave) pupille dilatée > 6 mm : +4,39 (–1,12) 40°/+4,99 (–0,47) 177°.

La réfraction subjective programmée est donc : +4,50 (–0,75) 35°/+5,5 (–0,5) 170°.

La topo-tomographie Orbscan est présentée dans la **figure 1**. Le SCORE est mesuré à –2,9/–3,1 (mais l'algorithme n'est valable que pour une population de patients myopes).

Après avoir également bénéficié d'une exploration par TMS-5 (non reportée ici) et d'une aberrométrie par ZyWave, une procédure Lasik femtoseconde est donc programmée, associant un laser femtoseconde Intralase iFS 150 (Johnson & Johnson) et un laser Excimer Teneo 317 II (Bausch + Lomb).

Lors de l'intervention, la découpe de l'œil gauche se déroule sans problème avec un capot de 9,2 mm de diamètre sans *pocket* (pour avoir un grand lit stromal pour le traitement hypermétrope) et 120 µm d'épaisseur (capot épais préféré pour les hypermétropes). En revanche, la découpe de l'œil droit s'avère impossible. En effet, le patient présente alternativement :

- soit des lâchages de succion spontanés ;
- soit des mouvements oculaires spontanés visibles sur l'écran de contrôle de l'Intralase, sans perte de succion +++, alors que le *docking* est en place !

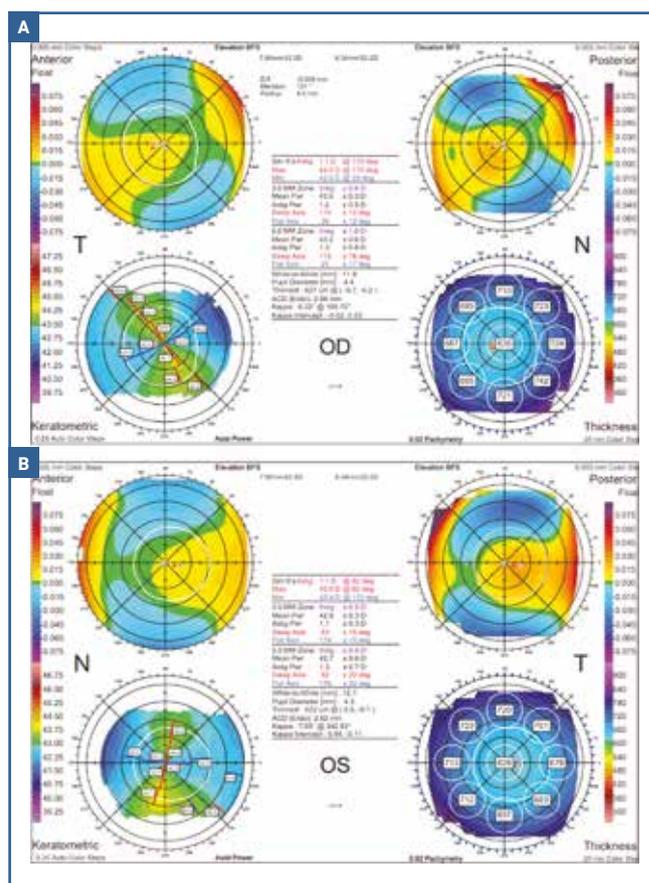


Fig. 1A : Acquisition Orbscan de l'OD en mode quad map. À noter un grand blanc à blanc et un kappa relativement faible pour un patient avec astigmatisme hypermétrope. **B :** *quad map* de l'OG. À noter une composante cylindrique directe minime, avec un aspect faiblement asymétrique en topographie axiale (forme en H), lié un ménisque lacrymal.

Au cours de cette séance, le *docking* de l'œil droit sera répété 8 fois sans succès. La procédure est alors avortée. Le volet de l'œil gauche est en revanche clivé et repositionné, en attente d'une photoablation ultérieure.

Une deuxième intervention est programmée 15 jours après pour découper le volet cornéen de l'œil droit. Malgré une position de la tête en hyperextension, l'emploi ou non d'un blépharostat, 12 tentatives sont effectuées (le patient était extrêmement motivé – car indication professionnelle – et extrêmement résilient) et une seule aboutit partiellement, du fait d'un énième lâchage de succion, avec la découpe d'un capot incomplet de 120 µm d'épaisseur et 9,30 mm de diamètre.

Après en avoir discuté avec le patient et évoqué le risque de subir à nouveau une découpe incomplète, nous avons décidé de le transférer vers une structure du groupe Visya équipée d'un laser femtoseconde avec une *personnal interface* (PI) différente, à succion cornéo-limbique. Le patient est donc dirigé vers la Clinique de la Vision de Paris, possédant un laser femtoseconde Visumax (Carl Zeiss Meditec).

II 2° partie : Paris

Le patient consulte donc à Paris à la Clinique de la Vision où nous disposons du laser femtoseconde Visumax qui permet des découpes de volet de Lasik dans des conditions difficiles,

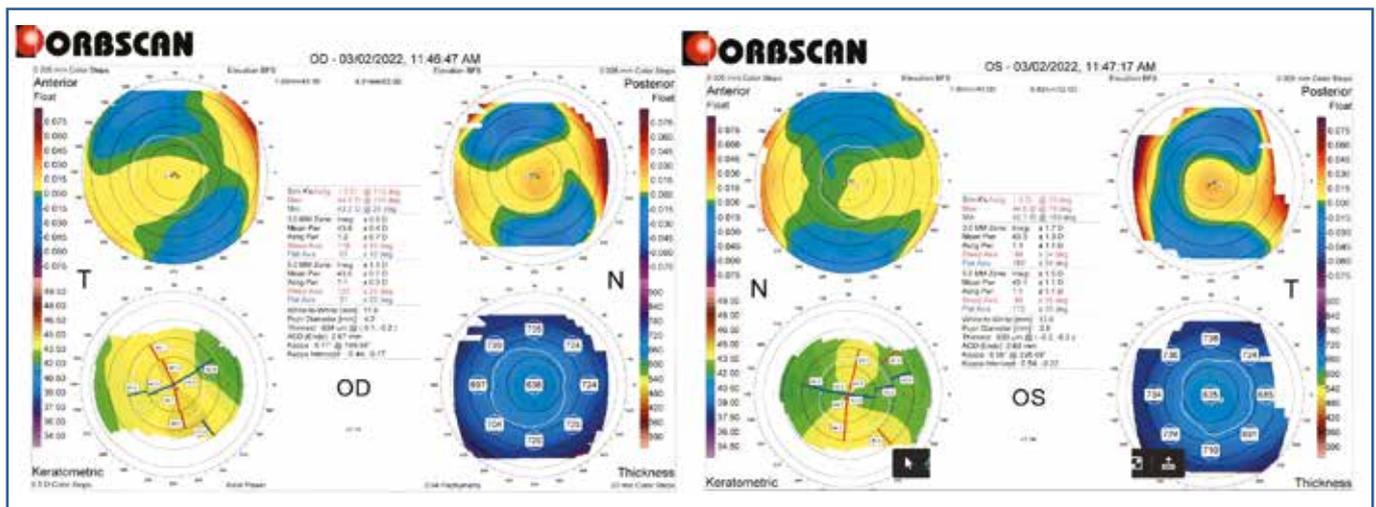


Fig. 2 : Topographie préopératoire avant Lasik avec découpe Visumax de l'œil droit et lift du volet de l'OG.

A		B	
OD		OS	
User name : LASER VISION CLINIQUE		User name : LASER VISION CLINIQUE	
Clinic :		Clinic :	
OD Measurements		OS Measurements	
Topography: 3/2/2022 11:46:47 AM		Topography: 3/2/2022 11:47:17 AM	
Wavefront: 3/2/2022 11:48:06 AM Undilated PreOp		Wavefront: 3/2/2022 11:45:37 AM Undilated PreOp	
Treatment status: 3/2/2022 1:31:10 PM Completed		Treatment status: 3/2/2022 1:33:31 PM Completed	
Treatment mode:	PROSCAN - LASIK	Treatment mode:	PROSCAN - LASIK
Subjective refraction (sph. / cyl. / axis):	+4.00 D / -1.00 D / 35°	Subjective refraction (sph. / cyl. / axis):	+5.00 D / -0.75 D / 170°
PRR (sph./cyl./axis):	+4.23 D / -1.03 D / 32°	PRR (sph./cyl./axis):	+5.09 D / -0.70 D / 183°
HO RMS / 2400 (µm):	0.27 µm / -0.19 µm	HO RMS / 2400:	0.19 µm / -0.18 µm
K/Q-values:	+41.0 D / -0.15	K/Q-values:	+43.3 D / -0.05
Pachymetry:	635 µm	Pachymetry:	633 µm
Flap thickness:	130 µm	Flap thickness:	130 µm
Correction refraction (sph. / cyl. / axis):	+3.85 D / -1.00 D / 35°	Correction refraction (sph. / cyl. / axis):	+4.79 D / -0.75 D / 170°
Target sphere:	0.00 D	Target sphere:	0.00 D
Optical zone:	6.50 mm	Optical zone:	6.50 mm
Treatment area:	8.7 mm x 8.7 mm	Treatment area:	8.6 mm x 8.7 mm
Nomogram:	95 %	Nomogram:	95 %
Duration / pulses:	12 s / 5818	Duration / pulses:	15 s / 7473
Max./central stroma ablation:	90 µm / 3 µm	Max./central stroma ablation:	110 µm / 6 µm
Calculated residual stroma:	538 µm	Calculated residual stroma:	482 µm

Fig. 3 : Comptes rendus opératoires. A : laser Excimer Tenex 317 œil droit. B : laser Excimer Tenex 317 œil gauche.

Docteur Catherine ALBOU-GANEM - Consultation du 03/03/2022	
» Motif	
J1 LASIK OD ET OG	
» Interrogatoire	
OO DOULEURS OG	
» Réfraction / LP1	
Œil droit	Œil gauche
+4.00 (-1.00) à 35° 10/10	+4.75 (-0.75) à 170° 10/10
» Auto-Réfractomètre (dilaté) (-0.75) à 100°	+0.75 (-0.50) à 70°
» Réfraction / Finale 10/10 P2	10/10 P2
» Réfraction / Avec correction AVL : 10/10 AVP : P2	AVL : 10/10 AVP : P2
» Tension (I)	
15	18
» Lampe à fente	
RAS	RAS
» Mémo	
AVSC	
OD 10 P2	
OG 10 P2	
BINO 12F	
» Conclusion médicale	
CONTROLE 3 M DR COULLET	

Fig. 4 : J1 après Lasik ODG.

d'une part grâce à l'aspiration cornéo-limbique de son cône d'aplatissement et d'autre part grâce à son encombrement limité qui permet un positionnement facile, même si la fente palpébrale est étroite. Le bilan est réalisé à nouveau, il comprend une réfraction, une topographie Orbscan (*fig. 2*) et Pentacam, et un OCT.

L'intervention se déroule sans aucun incident. La découpe se fait à une profondeur de 140 µm avec un diamètre programmé de 8,9 mm, ce qui correspond à un diamètre de 9,5 mm en aplatissement (*fig. 3*). Le lendemain de la chirurgie, le patient a une acuité visuelle de 10/10 Parinaud 2 sans correction à chaque œil (*fig. 4*).

II Discussion

Le conjunctivochalasis (CCh) se caractérise par la présence de plis conjonctivaux redondants, non œdémateux et typiquement localisés à la partie inférieure de la conjonctive bulbaire [1]. Son étiologie n'est pas encore complètement élucidée. Certaines études pointent principalement la dégradation des fibres élastiques conjonctivales comme élément majeur responsable de cette anomalie [2, 3]. Cette altération serait principalement liée au frottement mécanique répété des paupières contre la conjonctive bulbaire, entraînant la formation de plis parallèles aux paupières. D'autres facteurs de risque pourraient également contribuer à la formation du CCh, comme l'inflammation chronique, les facteurs génétiques, les maladies du tissu élastique (Marfan, Ehlers-Danlos), les UV et les frottements mécaniques répétés (frottements oculaires, lentilles de contact) [4, 5].

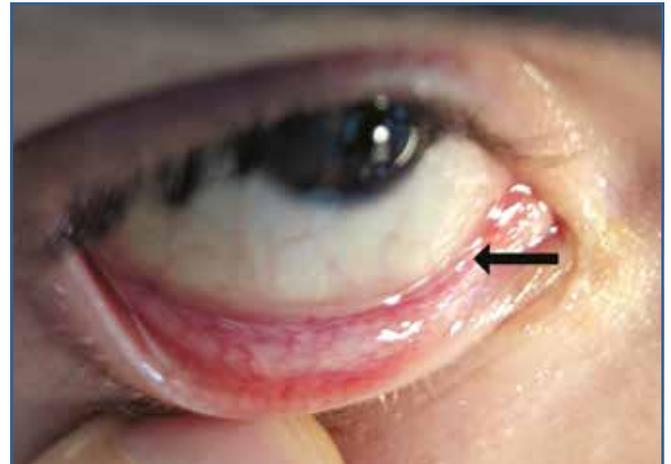


Fig. 5 : Photographie de l'OD du patient. L'éversion de la paupière inférieure révèle des plis conjonctivaux (2 ou plus) au niveau du fornix inférieur (flèche), caractéristiques du CCh.

L'épidémiologie montre une prédominance liée à l'âge mais sans préférence de genre. Par ailleurs, une étude japonaise a mis en évidence une forte corrélation entre le CCh et l'hypermétropie [6].

Il existe une classification, développée par H \ddot{o} h *et al.* [7] :

- grade 0 : pas de pli persistant ;
- grade 1 : pli unique, de petite taille ;
- grade 2 : 2 plis ou plus mais de hauteur inférieure à celle du ménisque lacrymal ;
- grade 3 : 2 plis ou plus et de hauteur supérieure à celle du ménisque lacrymal.

Notre jeune patient présentait donc un profil réfractif à risque. Il existait de plus un facteur mécanique surajouté car, même s'il n'était pas porteur de lentilles de contact, il avait un frottement oculaire répété, préférentiellement droit, avec sa main dominante. La présentation clinique correspondait à un CCh de grade 2 (*fig. 5*).

Une étude récente a essayé de caractériser le CCh grâce à une imagerie en OCT *spectral domain*, et notamment avant et après traitement par cautérisation conjonctivale [8]. Les images décrites sont tout à fait superposables à celles réalisées chez notre patient en postopératoire. La *figure 6* montre les coupes verticales, effectuées à Montpellier avec l'OCT XR Avanti (Optovue).

Les signes associés au CCh sont le plus souvent la sensation de corps étranger, le larmoiement chronique par obstruction lacrymale, la rougeur, la photophobie et le flou visuel, typiquement aggravés par le clignement (contrairement au syndrome sec) et le regard vers le bas.

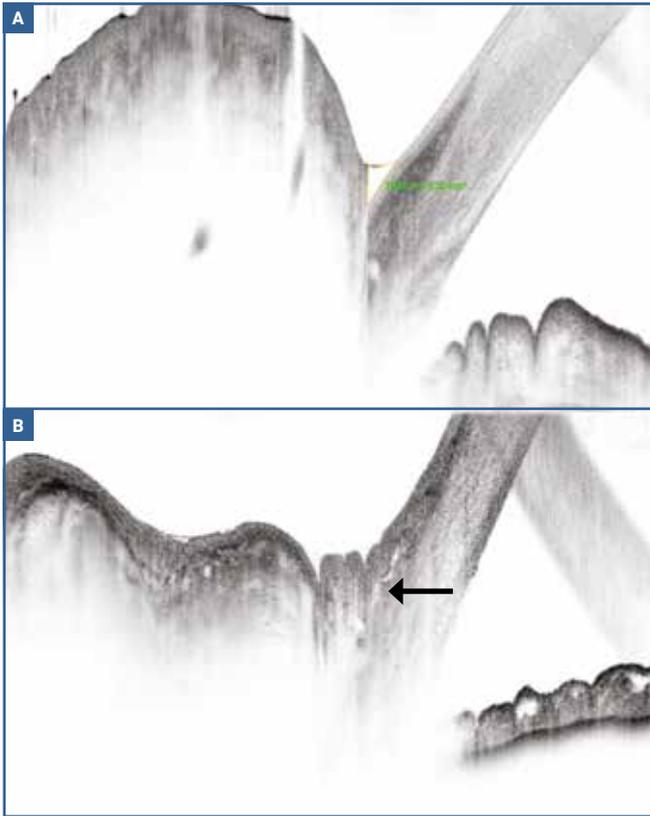


Fig. 6A : Coupe OCT verticale de la partie inférieure du segment antérieur. Anatomie normale de référence d'un œil droit. On note la présence d'un raccordement en angle aigu, net, entre la partie inférieure de la cornée et la conjonctive bulbaire inférieure. On peut déterminer la surface du ménisque lacrymal inférieur (TMA: *tear meniscus area*), ici mesurée à 0,032 mm². **B :** coupe OCT verticale de la partie inférieure du segment antérieur de l'œil droit de notre patient. On note la disparition quasi complète du ménisque lacrymal. L'angle de raccordement est comblé par des plis conjonctivaux nombreux (flèche), réalisant une image typique de CCh en OCT.

Mais il constitue aussi un facteur de risque anatomique important lors de la découpe du volet cornéen au décours d'un Lasik femtoseconde et particulièrement lorsqu'on utilise une PI avec jupe en silicone. Le tableau clinique est alors dominé par des lâchages de succion répétés (alors qu'aucune manipulation n'est effectuée) et surtout par la présence de mouvements oculaires, visibles sur l'écran de contrôle du laser femtoseconde, alors que le *docking* est effectif et qu'il n'existe pas de perte d'aspiration. Le tissu conjonctival est si lâche qu'il autorise, malgré la succion bulbaire, des déplacements du globe, rendant la découpe femtoseconde très improbable.

Le recours à une PI avec succion cornéo-limbique, comme celle du laser Visumax, permet de contourner le problème en permettant un ancrage solide à une zone non dépendante du CCh. Cependant, cette dernière configuration n'est pas totalement sans risque car un cas de découpe compliquée en Smile avec Visumax a été publié. La présence préopératoire avérée

d'un CCh a entraîné une montée de conjonctive pendant la succion, rendant impossible la réalisation de l'incision périphérique nécessaire à l'extraction du lenticule stromal [9].

Conclusion

Le CCh se caractérise par une dégénérescence élastique de la conjonctive. C'est une affection bénigne mais fréquemment sous-diagnostiquée. Il est très important, lors d'une consultation de recrutement de chirurgie réfractive cornéenne, de bien rechercher sa présence, notamment en examinant le fornix inférieur après éversion complète de la paupière, particulièrement chez les patients hypermétropes demandeurs de Lasik. Une coupe OCT verticale peut être intéressante pour documenter son existence.

La présence d'un CCh en préopératoire, associée à l'utilisation d'une PI avec jupe en silicone au cours de la découpe femtoseconde, peut augmenter la difficulté du geste opératoire à cause du risque élevé de lâchage de succion. En cas de difficulté opératoire importante, il pourra être utile de convertir si possible vers une PI avec aspiration cornéo-limbique.

Bibliographie

- MELLER D, TSENG SC. Conjunctivochalasis: literature review and possible pathophysiology. *Surv Ophthalmol*, 1998;43:225-232.
- GAN JY, LI QS, ZHANG ZY *et al.* The role of elastic fibers in pathogenesis of conjunctivochalasis. *Int J Ophthalmol*, 2017;10:1465-1473.
- WATANABE A, YOKOI N, KINOSHITA S *et al.* Clinicopathologic study of conjunctivochalasis. *Cornea*, 2004;23:294-298.
- FRANCIS IC, CHAN DG, KIM P *et al.* Case-controlled clinical and histopathological study of conjunctivochalasis. *Br J Ophthalmol*, 2005;89:302-305.
- MIMURA T, YAMAGAMI S, USUI T *et al.* Changes of conjunctivochalasis with age in a hospital-based study. *Am J Ophthalmol*, 2009;147:171-177.
- MIMURA T, USUI T, YAMAGAMI S *et al.* Relationship between conjunctivochalasis and refractive error. *Eye Contact Lens*, 2011;37:71-78.
- HÖH H, SCHIRRA F, KIENECKER C *et al.* [Lid-parallel conjunctival folds are a sure diagnostic sign of dry eye]. *Ophthalmologe*, 1995;92:802-808.
- GUMUS K, CROCKETT CH, PFLUGFELDER SC. Anterior segment optical coherence tomography: a diagnostic instrument for conjunctivochalasis. *Am J Ophthalmol*, 2010;150:798-806.
- KIM BK, MUN SJ, LEE DG *et al.* Management of incision failure during small incision lenticule extraction because of conjunctivochalasis. *Am J Ophthalmol Case Rep*, 2017;7:134-137.

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



J. MALECAZE, F. MALECAZE
Clinique de la Vision – Groupe Visya, TOULOUSE.
www.malecaze.com

PKT transépithéliale aidée par l'OCT dans le traitement des astigmatismes irréguliers induits par la chirurgie réfractive

La chirurgie réfractive cornéenne est une des opérations les plus pratiquées en ophtalmologie. Même s'il s'agit d'une technique éprouvée avec un niveau de performance optimisé, le praticien peut être amené à gérer des complications.

Une de ces complications est l'astigmatisme cornéen irrégulier secondaire à une PKR (*haze...*), un Lasik (découpe imparfaite, capot décentré, plis du capot...) ou un Smile (incident lors du retrait du lentille...). Si l'irrégularité cornéenne induite n'est pas trop importante, elle peut être corrigée par un traitement topoguidé mais, si elle est trop importante, alors ce dernier ne suffit pas. Dans ces cas, la photokératectomie (PKT) transépithéliale-OCT est pertinente.

L'épithélium cornéen, en modifiant son épaisseur, va compenser l'irrégularité stromale de façon à ce que la face antérieure cornéenne soit relativement régulière. Les changements d'épaisseur de l'épithélium vont masquer l'irrégularité stromale : c'est ce qu'on appelle le *remodeling* épithélial. Le but du traitement est d'utiliser le *remodeling* épithélial pour traiter l'irrégularité stromale afin de lisser au maximum la surface stromale irrégulière et d'améliorer l'acuité et le confort visuel. L'ablation PKT va "décapiter" les irrégularités stromales (**fig. 1**). L'OCT antérieur va nous permettre de localiser ce *remodeling* épithélial avec précision afin de cibler l'ablation PKT (**fig. 2**).

■ Procédure opératoire

Le premier temps consiste en une PKT avec une large zone optique et une épaisseur définie au préalable par l'OCT afin de régulariser la surface stromale. Le but est alors de transformer un astigmatisme très irrégulier en un astigmatisme le plus régulier possible. Dans un second temps, un traitement

complémentaire de type PKR + mitomycine peut être réalisé (conventionnel ou topoguidé si un astigmatisme irrégulier persiste) afin de tenir compte du changement réfractif induit.

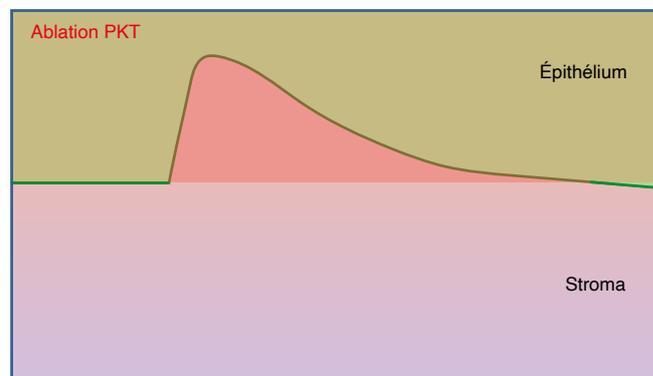


Fig. 1.

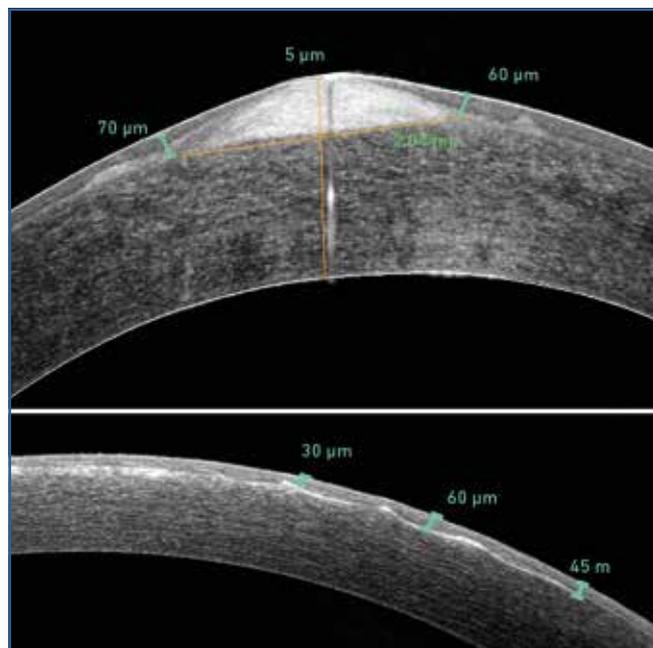


Fig. 2.

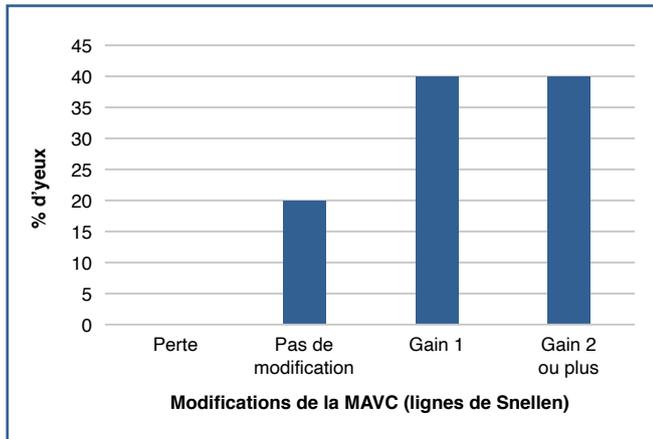


Fig. 3.

Notre étude portait sur 6 yeux : 2 *haze* post-PKR, 3 incidents de capot de Lasik (déchirure, plis) et 1 ablation incomplète de lentille de Smile.

■ Résultats

Sur la topographie, il y a eu une réduction de l'astigmatisme irrégulier dans 83 % des cas. Au niveau de l'acuité visuelle, aucun œil n'a perdu en meilleure acuité visuelle corrigée. 2 yeux ont gagné une ligne d'acuité et 2 yeux plus d'une ligne de meilleure acuité visuelle corrigée. Le 6^e œil était à 10/10^e en préopératoire, il est resté à son acuité (fig. 3).

Concernant le *shift* réfractif induit par la PKT, il s'est avéré totalement imprévisible, allant d'une forte myopie induite à une forte hypermétropie. Le *remodeling* épithélial et la fibrose

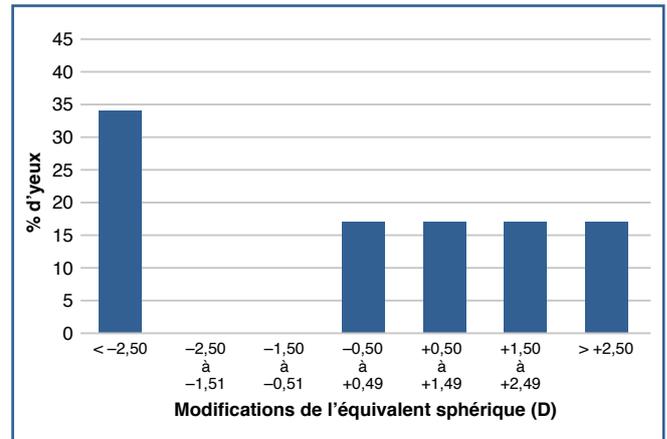


Fig. 4.

périphérique sont les causes principales de ce *shift*. Les nouveaux logiciels de PKT entraîneraient normalement moins de variation (fig. 4).

■ Conclusion

Suite aux résultats de notre étude et des données d'autres équipes, la photokératectomie transépithéliale aidée par l'OCT doit s'envisager devant un astigmatisme "irrégulièrement" irrégulier. Elle permet de réduire les irrégularités stromales et donc d'améliorer la qualité de vision et la meilleure acuité visuelle corrigée.

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



O. PRISANT
Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.
oprisant@gmail.com

SOS après Lasik : on a eu chaud !

■ Présentation du cas

Il s'agit d'un homme de 36 ans ayant consulté pour son œil droit dans un premier temps. Il présentait une cornée cicatricielle limitant la meilleure acuité visuelle corrigée (MAVC) à 3/10^e à droite avec +0,00 (–5,50) 175° et une pachymétrie minimale à 325 µm. À gauche, il avait 10/10^e avec –4,00 (–0,25) 170°. Compte tenu de ces éléments, nous avons réalisé une greffe de cornée transfixiante à droite ayant permis de faire remonter la MAVC à 6/10^e avec –12,00 (–3,00) 160°. Une adaptation en lentille rigide lui permet d'obtenir 7/10^e à ce jour, 2 ans après l'intervention.

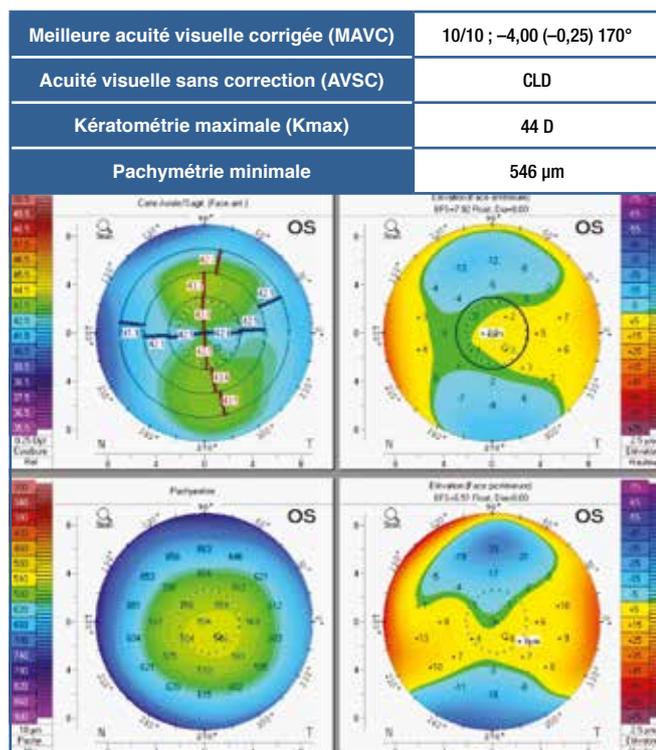


Fig. 1 : Homme de 36 ans, données préopératoires de l'œil gauche.

Le patient étant satisfait des résultats de son œil droit, il a été demandeur d'une chirurgie réfractive de l'œil gauche dont les données préopératoires sont présentées dans la **figure 1**. Compte tenu d'une topographique cornéenne parfaite, d'une kératométrie maximale de 44 D et d'une pachymétrie de 546 µm, le patient a bénéficié d'un Lasik sur son œil gauche.

■ Suites postopératoires

Le lendemain de l'opération (J1), l'acuité visuelle sans correction (AVSC) était de 9/10^e avec une importante sécheresse oculaire visible à la lampe à fente (LAF). Nous avons décidé de le revoir à J2 sans modifier le traitement (tobramycine-dexaméthasone 4 fois par jour + larmes artificielles). Lors de son contrôle à J2, nous avons noté une kératite de l'interface modérée avec une baisse de l'AVSC à 7/10^e et un *SOS syndrome* (**fig. 2**). Le traitement par tobramycine-dexaméthasone a été majoré à 1 goutte 8 fois par jour.

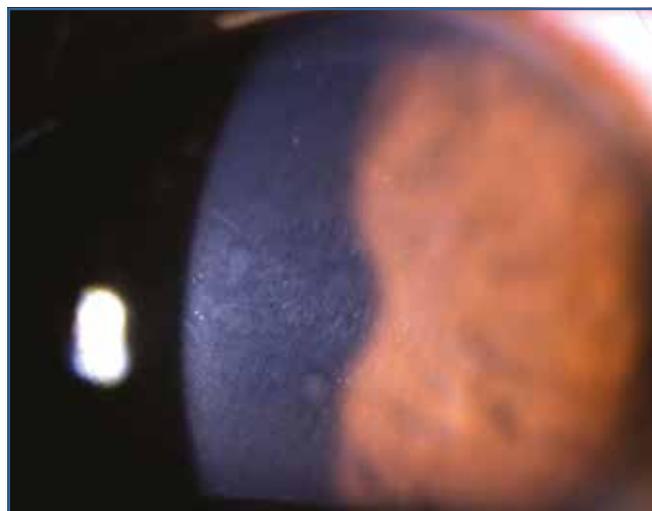


Fig. 2 : Image en lampe à fente 2 jours après Lasik montrant un *SOS syndrome*.



Fig. 3 : Image en lampe à fente 6 jours après LASIK montrant un œdème cornéen avec apparition d'un infiltrat central.

Le patient a été revu à J6, avec une baisse de la MAVC à 5/10° et l'apparition d'une hypermétropisation de +2,00 D. L'examen en LAF montrait un infiltrat central avec plis du volet cornéen (**fig. 3**), ce qui nous a poussés à réaliser un lavage de l'interface au BSS le jour même au bloc opératoire. La corticothérapie locale a été majorée par dexaméthasone 1 goutte toutes les heures.

L'évolution au cours des semaines suivantes est illustrée dans la **figure 4**. Le patient a été revu très régulièrement et nous avons observé une réduction progressive de l'infiltration du volet cornéen allant de pair avec une réduction de l'hypermétropie et une remontée de la MAVC. Lors de la dernière visite à 7 mois postopératoires, le patient avait récupéré une MAVC de 10/10° avec +1,00 (-0,25) 40° et une AVSC de 10/10°.

■ Conclusion

Il s'agit d'une forme sévère de kératite de l'interface ayant entraîné une forte hypermétropisation avec importante baisse de la MAVC. Le rinçage de l'interface associé à une forte corticothérapie locale rapidement dégressive a permis de restaurer l'emmétropie et une MAVC normale.

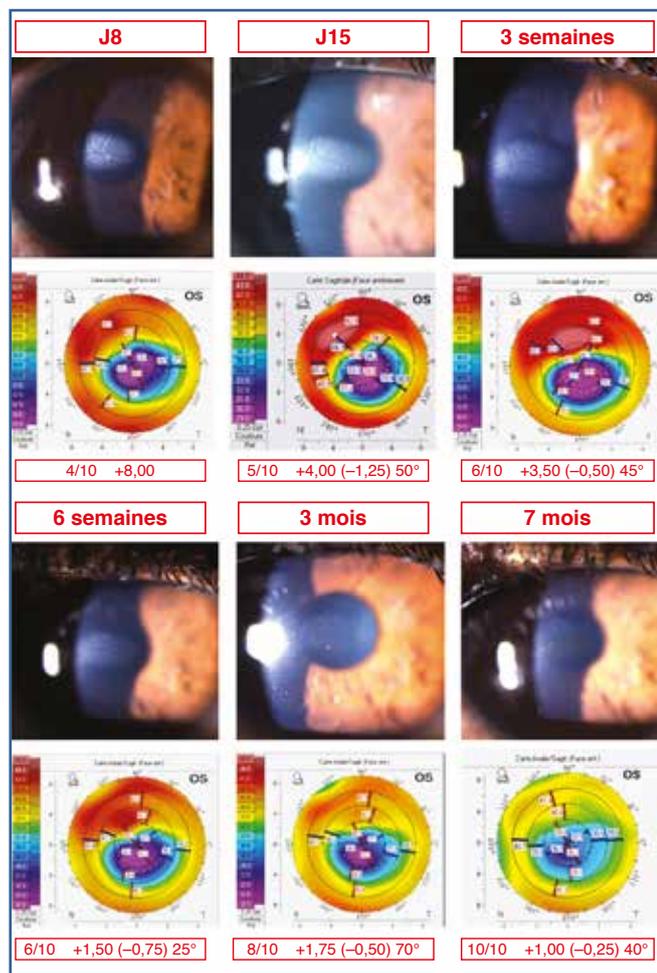


Fig. 4 : Évolution topographique et visuelle après rinçage du volet cornéen. Nous remarquons une diminution de l'infiltrat en lampe à fente ainsi qu'une normalisation de la topographie cornéenne associée à une diminution de l'hypermétropie.

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



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

Intérêts des implants phaques dans certaines situations où la chirurgie réfractive par laser est possible

Les implants phaques permettent, dans de nombreuses situations où la chirurgie réfractive au laser n'est plus possible, d'apporter une solution pertinente à des patients devenus le plus souvent intolérants au port de lentilles et dont un certain nombre, du fait d'une amétropie forte, subissent une forme de handicap visuel et social avec leur équipement lunettes. Certaines situations plus difficiles à appréhender sont celles où, bien que la chirurgie par laser soit possible, la prise en charge du défaut réfractif par implant phaqué nous semble plus pertinente et, au moins de façon théorique, apporter davantage de certitudes en matière de sécurité et de résultats qualitatifs et/ou quantitatifs. Nous illustrons certaines de ces situations par quelques exemples cliniques.

■ Cas clinique n° 1

Une patiente de 27 ans, myope de $-6,25/-5,50$ D, sans antécédent notable, moins bien tolérante aux lentilles souples depuis quelques mois, souhaite une chirurgie réfractive par laser (fig. 1). Son degré de myopie et ses examens topographiques et aberrométriques sont compatibles avec une chirurgie par laser Excimer. Le bilan de sécheresse préopératoire réalisé systématiquement montre une sécrétion aqueuse normale (Schirmer PRT) mais une atrophie sévère de grade 3 des glandes de Meibomius en meibographie (fig. 2). Plusieurs publications ont montré que la présence d'un syndrome sec préopératoire constituait le principal facteur de risque de développer un syndrome sec sévère en postopératoire d'une chirurgie par laser Excimer, notamment par Lasik.

Bien que certaines techniques comme la PKR ou le Smile réduisent l'impact de l'ablation laser sur l'innervation cornéenne et la sécheresse en postopératoire, nous pensons que, chez une patiente jeune présentant un tel degré d'atrophie,

toute chirurgie au laser risque de favoriser une aggravation de l'état de la surface oculaire. Les implants phaques sont certainement une solution plus raisonnable pour son avenir, aussi bien en termes de qualité de vie que de qualité de vision, toute altération grave de la surface oculaire va entraîner à la fois un inconfort mais aussi une dégradation de la qualité de vision.

La patiente est prévenue de ses probables problèmes de surface qui risquent de survenir avec le temps et une prise en charge de l'atrophie des glandes de Meibomius est réalisée par Lipiflow, conseils d'hygiène palpébrale, rééducation du clignement et conseils diététiques.

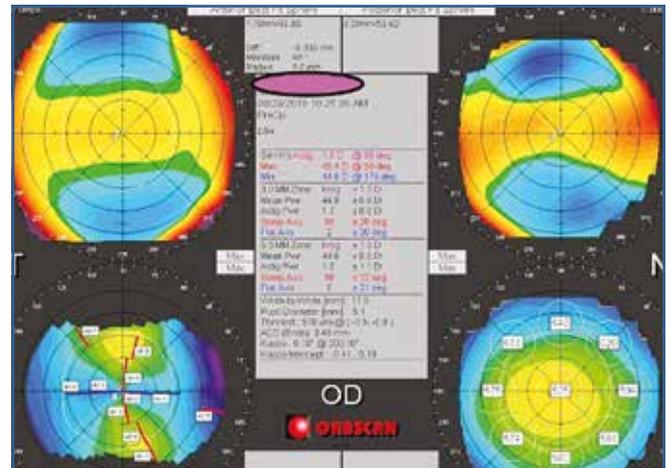


Fig. 1.

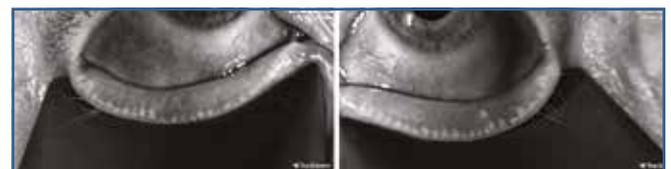


Fig. 2.

■ Cas clinique n° 2

Une patiente de 37 ans, intolérante aux lentilles, vient faire un bilan avant une chirurgie réfractive. Son équivalent sphérique (ES) préopératoire est de $-4,75/-5,25$ (OD/OG). On ne retrouve aucune notion de frottement oculaire inhabituel mais l'examen topographique de l'OG révèle un aspect très suspect de kératocône fruste (*score analyzer* de 1,3 sur l'Orbscan), évoquant une possible instabilité biomécanique pouvant se décompenser après chirurgie cornéenne ablative, malgré un aspect resté stable depuis 2 ans (*fig. 3*).

Une PKR pourrait être proposée, notamment du fait de l'absence d'élévation suspecte de la face postérieure de la cornée, de l'absence de décalage du point pachymétrique le plus fin (*thinnest point*), de l'âge de la patiente et de l'absence d'évolutivité topographique avec un recul de 2 ans. Mais nous préférons dans ce type de cas, quand cela est possible, la mise en place d'implants phaqes qui nous semblent plus sûrs, plutôt que la réalisation d'une chirurgie cornéenne ablative potentiellement source d'aggravation de l'instabilité biomécanique de la cornée.

■ Cas clinique n° 3

Une patiente de 26 ans, avec un ES de $-4,50/-5,75$, sans aucun antécédent, avec un bilan de surface normal et un examen topographique normal, est *a priori* éligible à une chirurgie réfractive au laser (*fig. 4*). Deux éléments de son bilan nous interpellent cependant :

- la taille de la pupillométrie scotopique qui est de 8,7 mm ;
- l'examen aberrométrique qui montre une aberration sphérique élevée (*fig. 5*).

La présence d'aberrations optiques d'ordre élevé (HOA) en préopératoire associées à une taille de pupille scotopique, qui sera bien plus grande que celle de la zone optique efficace



Fig. 3.

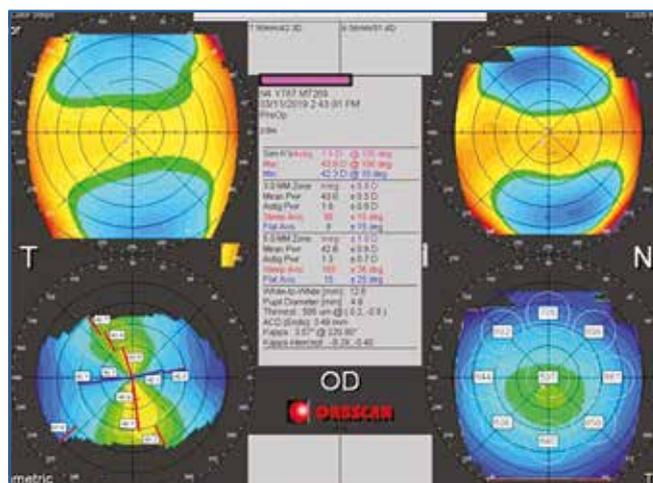


Fig. 4.



Fig. 5.

après chirurgie au laser, accroît le risque d'une mauvaise qualité de vision notamment nocturne et d'une diminution de la sensibilité aux contrastes par majoration importante des HOA, notamment les aberrations sphériques.

Plusieurs publications ont montré que le rapport entre la taille de la pupille et le diamètre de la zone optique après chirurgie ablative au laser était essentiel dans la production d'aberrations optiques postopératoires [1, 2]. Par ailleurs, il a été montré que la zone optique efficace ramenée au plan cornéen était bien plus grande, notamment dans les myopies moyennes et fortes, avec un implant phaqué ICL de dernière génération qu'avec une photoablation au laser Excimer (**tableau 1**). Nous pensons dans ce cas qu'il est plus raisonnable de proposer à cette patiente une chirurgie par implants phaques afin de mieux préserver sa qualité de vision en postopératoire.

■ Cas clinique n° 4

Ce cas présente des similitudes avec le cas précédent et illustre les limites de la chirurgie réfractive par laser Excimer dans les myopies importantes, même en cas de pachymétrie suffisante. Il s'agit d'un patient de 32 ans, intolérant aux lentilles, avec un bilan de surface normal. Son ES est de $-7,75/-8,50$. Sa pachymétrie centrale est de 595 μm permettant, pour une zone optique programmée à 6,5 mm en mode asphérique, de respecter les critères de sécurité habituels (mur postérieur d'au moins 300 μm et pourcentage de tissu altéré inférieur à 40 % ; **fig. 6**).

Les arguments en défaveur du laser Excimer sont cependant importants :

– la photoablation de grande profondeur qui va générer des HOA chez un patient qui en est déjà porteur [3-5] ;

Lens Specifications			
Spherical Lenses			
Diopter	VICMO Optic Diameter	EVO+ Optic Diameter	Effective OZ at Corneal Plane
-0.5 to -9.0	5.8	6.1	7.6
-9.5 to -10.0	5.5	5.9 to 6.1	7.4 to 7.6
-10.5 to -12.5	5.3	5.3 to 5.8	6.6 to 7.3
-13.0 to -14.0	4.9	5.0 to 5.2	6.3 to 6.5
> -14.0	4.9	N/A	6.1

Tableau 1 : Source Staar Surgical.

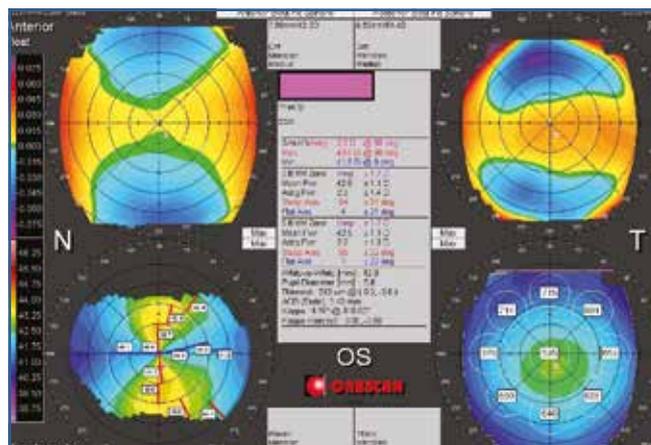


Fig. 6.

– la taille de la zone optique efficace qui est d'autant plus petite que le degré de myopie traité est important et qui va là aussi générer des HOA du fait d'une taille de pupille scotopique importante de 7,8 mm [1, 2] ;

– la kératométrie de départ déjà assez plate (42,80 D) ce qui, compte tenu de l'importance de l'amétropie, entraînera une cornée de courbure inférieure à 35 D en postopératoire, ce qui n'est pas non plus un facteur favorable en termes de qualité de vision [6].

Nous préférons dans ce cas proposer au patient un implant phaqué plutôt qu'une chirurgie ablative au laser Excimer.

■ Cas clinique n° 5

Nous terminerons en décrivant un cas clinique pour lequel il nous semble important d'attirer votre attention. C'est le cas de patients dont l'amétropie n'est pas *a priori* accessible à un traitement laser du fait de l'inadéquation entre l'importance du défaut réfractif et une pachymétrie insuffisante pour la réalisation d'un laser, avec un traitement asphérique sur une zone optique tenant compte de sa pupillométrie scotopique avec le respect des critères de sécurité habituels. Une attitude trop souvent rencontrée est alors de modifier les paramètres de traitement du laser Excimer pour tenter de satisfaire à tout prix aux critères de sécurité mécaniques, au détriment de la préservation des conditions de qualité de vision :

– passer d'un mode de traitement asphérique (consommateur de tissus) à un mode sphérique d'épargne tissulaire (profil d'ablation guidé par la loi de Munnerlyn), générateur de davantage de HOA induites ;

– diminuer la taille de la zone optique, ce qui peut être délétère pour la qualité de vision.



Fig. 7.

L'exemple illustré est celui d'un patient myope de $-7,25$ D avec une pachymétrie à $503 \mu\text{m}$ et une pupillométrie scotopique à $7,2$ mm (fig. 7). La seule façon de respecter les critères de sécurité est de le traiter en mode d'épargne tissulaire et de réduire la zone optique à $6,10$ mm, comme illustré par la simulation de traitement. Certes, les critères de sécurité seront respectés, mais les risques d'une dégradation importante de la qualité de vision sont très importants. À notre sens, ce type de patient est une excellente indication d'implantation phaque et une mauvaise indication de chirurgie au laser Excimer.

Conclusion

Lasik et implants phaques ont leurs indications et leurs contre-indications propres. De nombreuses cas peuvent se traiter avec l'une ou l'autre de ces deux techniques et le chirurgien doit arbitrer en faveur de la méthode qui permet de donner le meilleur résultat avec la plus petite prise de risque.

La sécurité et l'efficacité quantitative et qualitative des implants phaques ICL nous semblent suffisamment prouvées pour pouvoir les positionner comme une alternative plus fréquente au Lasik dans les situations cliniques où les deux techniques sont en théories réalisables, mais pour lesquelles l'implant phaque permettra une meilleure préservation de la surface oculaire en cas de syndrome sec, de l'intégrité mécanique de la cornée en cas de pachymétrie limite ou de topographie suspecte, et de la qualité de vision en cas d'aberrations optiques préopératoires élevées (aberration sphérique), de grande pupille mésopique et scotopique ou de cornée plus plate que la moyenne [7].

Bibliographie

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.

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



L. MOYAL
COSS, PARIS,
COBESS, BRÉTIGNY-SUR-ORGE.
moyal@coss.paris

Décentrement d'un petit capot de Lasik : savoir attendre et retraiter en PKR guidée par l'aberrométrie

Un patient de 28 ans myope de $-2,50$ ($-0,25$ à 165°) OD et -3 ($-0,25$ à 20°) OG, avec des topographies cornéennes initiales sans particularité (fig. 1), a bénéficié d'un Lasik ODG.

À J1 postopératoire, l'œil droit est à 10/10 SC avec une réfraction à $+0,25$ ($-0,25$ à 15°). À gauche, en revanche, l'acuité est de 8/10 SC, améliorable à 10/10 avec $+2,75$ ($-2,25$ à 100°). L'examen en lampe à fente retrouve un capot en place mais de petite taille et un peu décentré en inférieur, sans plis francs, avec une interface claire. Le patient est revu à J5 avec une réfraction toujours à $+2,50$ (-2 à 100°) sur l'OG. La topographie retrouve un aplatissement horizontal en regard de la charnière du capot (fig. 2). Il est décidé de ne pas retoucher au capot immédiatement et de surveiller régulièrement l'OG.

Au cours des différentes consultations, on note une amélioration progressive de la réfraction, qui se stabilise au bout

de 6 mois à $+1,75$ ($-1,50$ à 100°), avec une acuité visuelle à 10f SC mais une gêne visuelle ressentie. La topographie s'est améliorée au cours du temps mais on retrouve toujours cet aspect d'aplatissement excessif horizontal supérieur.

Une retouche par photokératectomie (PKR) avec mitomycine est décidée et réalisée à 6 mois. À J4 post-retouche, la réfraction est déjà bien améliorée à $-0,25$ (-1 à 140°) et, à 1 mois post-retouche, l'acuité visuelle est remontée à 10/10 SC avec une réfraction de $+0,75$ ($-0,25$ à 115°), un petit haze résiduel et une nette amélioration subjective. La topographie postopératoire est également améliorée (fig. 3).

Ce cas clinique permet de revenir sur plusieurs points importants en chirurgie réfractive :

>>> Attention à bien centrer la découpe du capot, surtout en cas de grande pupille (comme il était question chez ce patient).

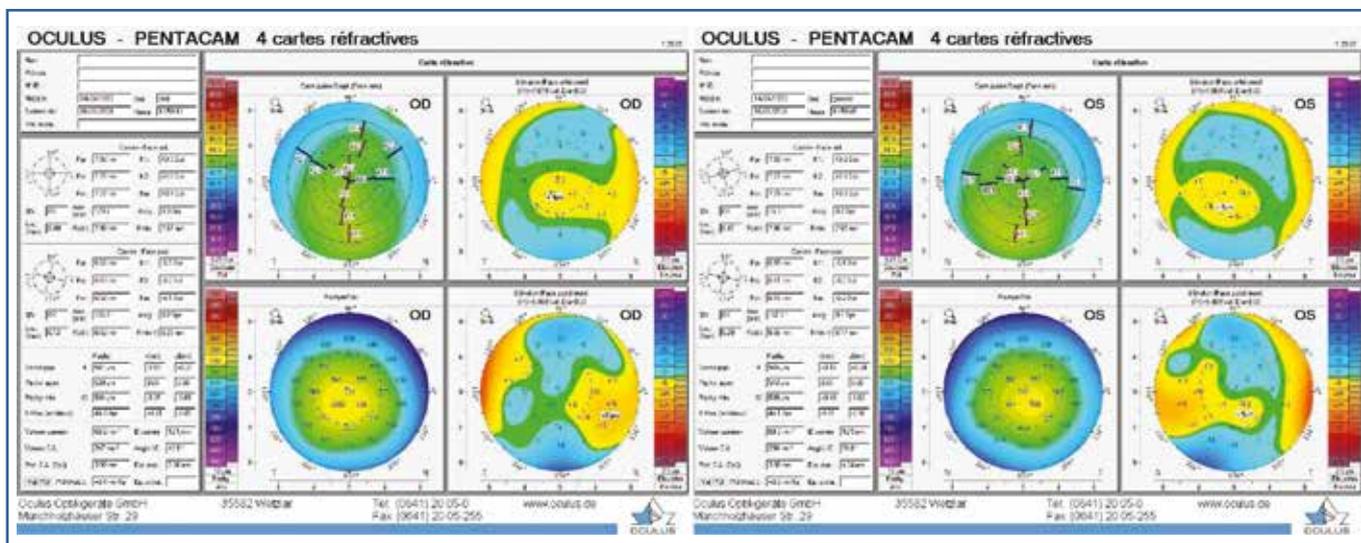


Fig. 1 : Topographies préopératoires.

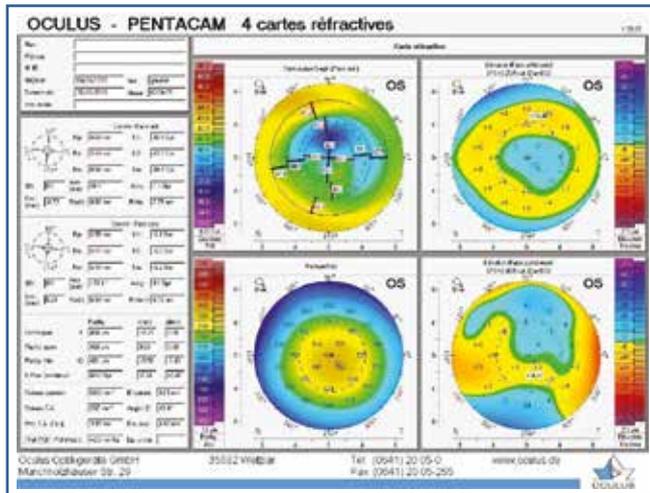


Fig. 2 : Topographie post-Lasik de l'œil gauche.

>>> Bien protéger la charnière du capot lors du traitement au laser Excimer afin d'éviter un double traitement (sur le stroma profond ainsi que sur le stroma récliné du capot) et d'éviter ce double aplatissement entraînant des aberrations optiques de haut grade.

>>> Savoir être patient avant d'envisager une retouche chez ces patients et attendre que la réfraction se stabilise après plusieurs consultations de suivi. Attendre au minimum 6 mois.

>>> Privilégier une PKR pour la retouche lorsque le souci initial est un décentrement du capot.

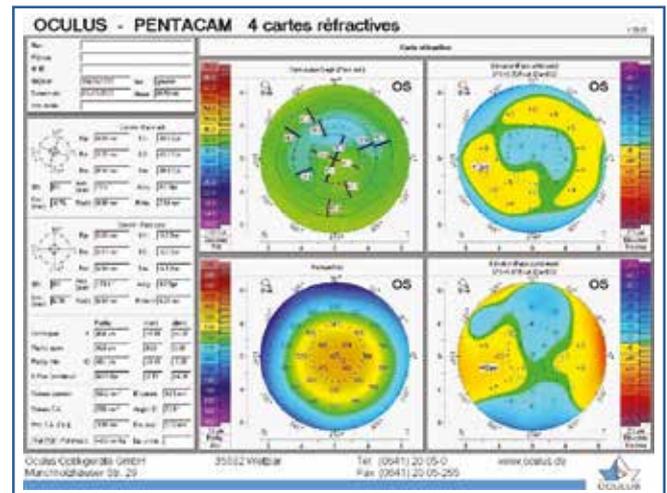


Fig. 3 : Topographie post-retouche par PKR avec mitomycine de l'œil gauche.

>>> Une PKR topoguidée est envisageable, cependant, lorsque l'aberrométrie est possible et retrouve une bonne concordance entre les aberrations et la topographie, une PKR aberroguidée peut être réalisée avec en général une meilleure prédictibilité réfractive et un excellent résultat fonctionnel, ce qui a été le cas dans cet exemple.

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



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

Cas clinique : cataracte avec implant à profondeur de champ LuxSmart

Une patiente de 70 ans consulte pour une cataracte bilatérale. Son examen ophtalmologique, en particulier surface oculaire et fond d'œil, est normal en dehors de la cataracte. L'acuité visuelle corrigée en préopératoire est à droite de 4/10 avec $-0,25(-0,25)$ 160° Parinaud 2 addition 3, et à gauche de 7/10 avec $0(-1,25)$ 170° Parinaud 2 addition 2.

Le questionnaire proposé systématiquement en préopératoire note que la patiente, magistrate de profession, porte des verres progressifs qu'elle supporte bien, s'adonne à des activités plus intellectuelles que sportives (lecture, spectacles et voyages). À la question "Quelle distance de vision souhaitez-vous privilégier sans correction en postopératoire?", la patiente répond vouloir la vision intermédiaire plutôt que la vision de loin et de près (**fig. 1**). Il est donc décidé de poser un implant à profondeur de champ LuxSmart Bausch + Lomb à chaque œil.

L'œil droit est opéré en premier le 24 janvier 2022. La phacoémulsification est réalisée sans incident avec la pose d'un LuxSmart 21 D. L'œil gauche est opéré le 7 février 2022 avec la pose d'un LuxSmart 21,5 D.

L'implant LuxSmart est un implant monobloc à 4 points d'appui en matériau hydrophobe. Son optique est de 6 mm pour un diamètre total de 11. Il est préchargé et passe par une incision supérieure ou égale à 2,2 mm. Sa gamme dioptrique s'étend de 0,00 D à +10,00 D (par pas de 1,00 D) et de +10,00 D à +34,00 D (par pas de 0,50 D). Son concept optique associe une zone centrale EDOF de 2 mm de diamètre intégrant une combinaison d'aberrations sphériques (AS) d'ordre 4 et 6 de signes opposés qui se potentialisent. Cette zone centrale donne la profondeur de champ. Elle est entourée d'une zone de transition brevetée qui contrôle les AS de la zone centrale et la trajectoire des rayons lumineux afin d'éviter leur dispersion en dehors de la zone utile à la vision. La partie périphérique est monofocale asphérique aberration-free.

Questionnaire

Date: 1/10/2022 Age: 70 ans

Profession: magistrate honoraire

Mode de correction:

- lunettes:
 - verres progressifs: oui / non
 - lentilles de contact: oui / non
 - si oui sont elles bien tolérées?: oui / non

Sports pratiqués: vélo d'appartement

Passe-temps: lecture - théâtre - cuisine - voyages

Si vous avez à choisir une distance de vision à privilégier sans correction:

- vision de loin (conduite, spectacles, ...)
- vision intermédiaire (ordinateur, bridge...)
- vision de près (lecture, couture, bricolage...)

Fig. 1 : Questionnaire préopératoire.

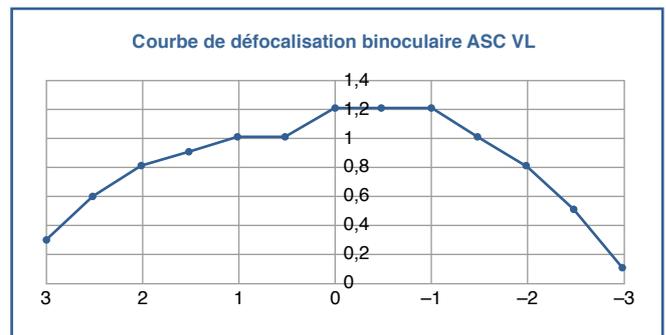


Fig. 2 : Courbe de défocalisation réalisée en binoculaire avec la correction de loin.

Au contrôle postopératoire à 3 mois, la patiente est très satisfaite du résultat. Elle vit sans porter de verres correcteurs avec une acuité visuelle à 10/10 faible Parinaud 3 sans correction en binoculaire. Sa réfraction en monoculaire est la suivante : à droite 10/10 avec $0,25(-0,5)$ 115 et à gauche 10/10 avec $0,25(-1,5)$ 180. Sa courbe de défocalisation binoculaire montre une acuité visuelle supérieure ou égale à 8/10 jusqu'à -2 D (**fig. 2**).

L'auteur a déclaré être consultante Bausch + Lomb, BVI, Hoya, Zeiss.



A. HAGEGE¹, M. EL SANHARAWI², O. CASADESSUS³

¹ Ophtalmologiste, Centre Laser Victor Hugo, PARIS, alain@dr-hagege.com

² Ophtalmologiste, Centre Laser Victor Hugo, PARIS ; Centre Hospitalier de Châteaudun, CHÂTEAUDUN.

³ Ingénieur, Centre Laser Victor Hugo, PARIS.

Reprise sur traitement laser multifocal : expérience avec le Presbyreversal après chirurgie PresbyMAX

Bien que largement accepté pour la correction de la myopie, de l'hypermétropie et de l'astigmatisme, l'usage du laser excimer reste encore une pratique clinique au sein de la communauté ophtalmologique quand il est question de compenser la presbytie. L'induction d'une monovision répartissant visions de loin et de près entre les deux yeux reste la pratique la plus conservatrice.

D'autres stratégies ont été développées et visent à réduire l'anisométrie en utilisant des profils d'ablation spécifiques, qualifiés de multifocaux [1] :

- les **traitements asphériques** qui modulent l'asphéricité cornéenne pour induire de l'aberration sphérique nécessaire à l'augmentation de la profondeur de focalisation de l'œil ;
- les **traitements multizones** qui créent des zones réfractives distinctes au sein de l'aire pupillaire, chacune correspondant à une distance de vision spécifique.

Les traitements multifocaux induisent une restauration de la vision de près au détriment de la qualité maximale atteignable en vision de loin. Par ailleurs, la prédictibilité de ces traitements est généralement plus réduite et s'assurer que le patient comprenne bien l'effet visuel attendu est parfois laborieux. Ces différents éléments peuvent être dissuasifs pour le chirurgien débutant ou réticent à l'utilisation de ces traitements.

Cependant, savoir que le traitement est réversible et qu'il est possible de convertir le traitement multifocal en un traitement monofocal plus classique en cas de résultat visuel décevant est une sécurité à même de rassurer le chirurgien et son patient.

Dans cet article, nous présentons 3 cas cliniques de patients opérés avec le laser Amaris 750S (Schwind eye-tech-solutions, Kleinostheim, Allemagne) qui, après avoir été traités par chirurgie multifocale PresbyMAX, ont été retouchés à l'aide

d'un traitement Presbyreversal pour annuler ou atténuer l'effet multifocal mal supporté.

■ Présentation des traitements PresbyMAX et Presbyreversal

Le PresbyMAX est le logiciel de programmation de traitement de la presbytie des lasers excimer Amaris du laboratoire Schwind. Il permet la programmation d'un traitement s'appuyant sur un profil multizone, concentrique, avec vision de près centrée de façon à profiter du myosis accommodatif persistant chez le presbyte.

Un traitement PresbyMAX est conçu comme la réunion de différentes composantes (*fig. 1*) :

- une **composante asphérique** pour la correction des amétropies sphéro-cylindriques (profil Aberration-Free [2], toujours inclus) ;
- une **composante aberrométrique** permettant le traitement des aberrations de haut degré sur la base d'un examen topographique ou aberrométrique (profil Corneal Wavefront ou Ocular Wavefront, inclus si sélectionné) ;
- une **composante multifocale** construite par combinaison de polynômes d'aberrations sphériques d'ordre 2 à 6 au sens de Zernike pour induire une profondeur de focalisation assurant la transition entre visions de loin et de près (toujours incluse) ;
- une **composante épithéliale** reposant sur un traitement PTK à profil parabolique pour la suppression de l'épithélium dans le cas d'une chirurgie transépithéliale (profil TransPRK, inclus si sélectionné).

L'addition de ces composantes donne le profil PresbyMAX qui est ablaté en une traite par le laser.

Le logiciel de programmation inclut par défaut un mode "asymmetric" [3] qui centre optiquement le profil d'ablation

sur le vertex tout en circonscrivant la zone optique à un disque centré sur le centre pupillaire (fig. 2). Le tomographe Sirius, connectable au laser, permet la mesure du décalage “centre pupillaire-vertex” et transmet automatiquement cette valeur (en plus des valeurs de kératométrie et d’épaisseur) au logiciel de programmation du laser.

Le logiciel PresbyMAX propose une programmation bilatérale, tenant compte de la dominance oculaire qui devra être renseignée. La valeur d’addition (qui correspond à la variation de puissance dioptrique théorique que l’on désire restituer entre les distances de vision extrêmes) doit aussi être indiquée et conditionne la profondeur d’ablation de la composante

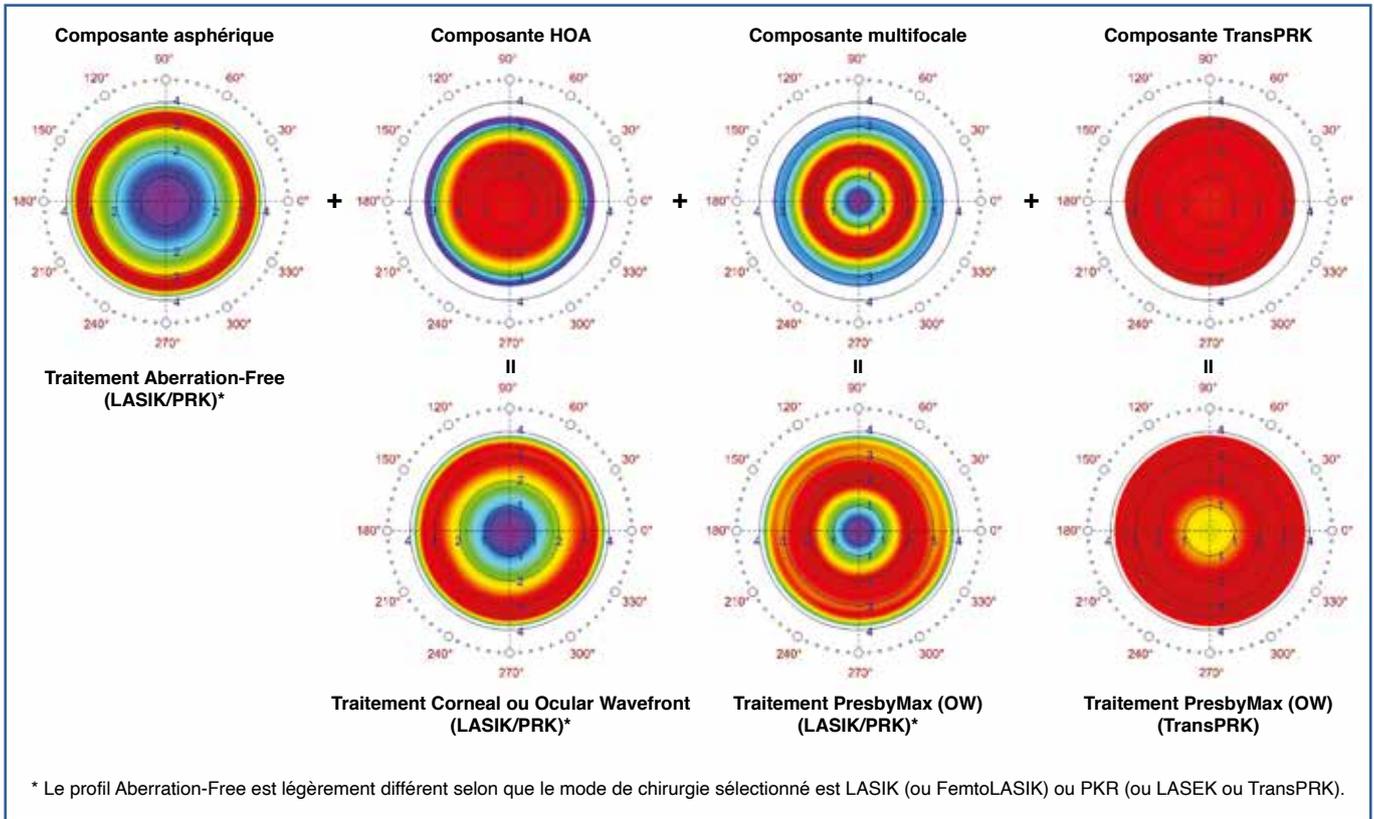


Fig. 1 : Les composantes du traitement PresbyMAX : asphérique (correspondant à un traitement Aberration-Free) pour la correction du défaut sphéro-cylindrique, multifocale pour les visions intermédiaire et de près, HOA pour le traitement des aberrations de haut degré (optionnelle) et TransPRK en cas de chirurgie transépithéliale (optionnelle).

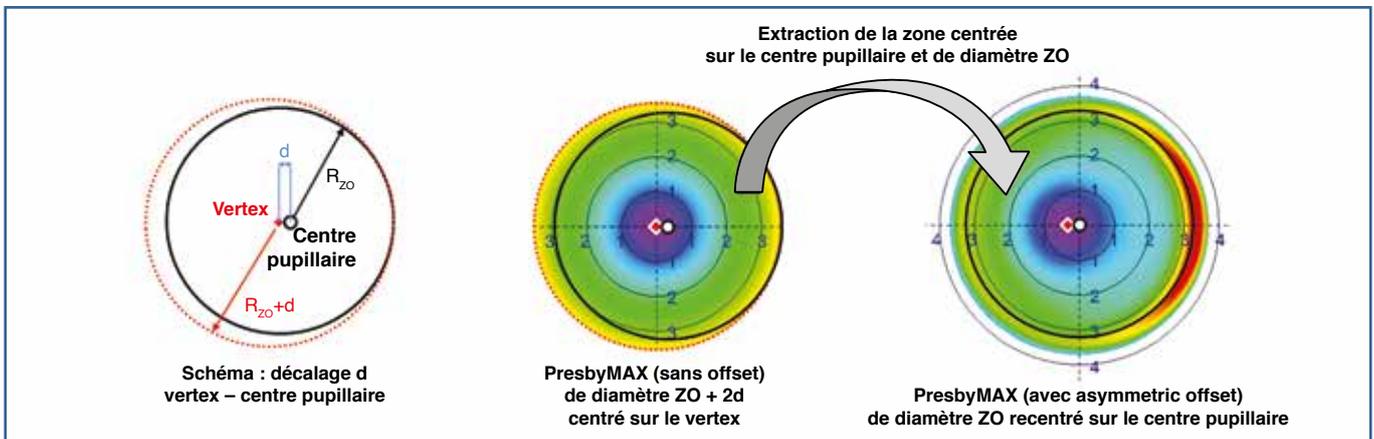


Fig. 2 : Construction d’un profil “asymmetric” de zone optique finale ZO. Un premier profil est calculé avec une zone optique centrée sur le vertex égale à ZO + 2 fois la distance séparant le vertex du centre pupillaire. La zone optique du profil définitif est obtenue par extraction de la zone du profil précédent centrée sur le centre pupillaire et de diamètre ZO.

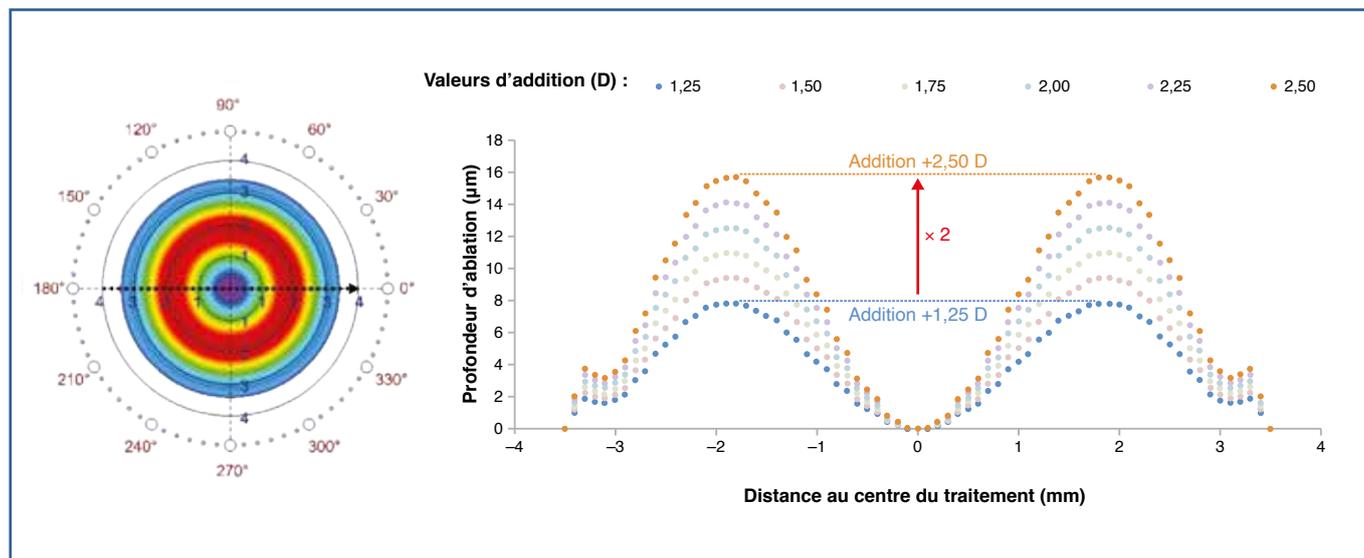


Fig. 3 : Présentation des profils de la composante multifocale (coupes selon l'axe 0-180° de la carte d'ablation) pour différentes valeurs d'addition. La profondeur d'ablation est proportionnelle à la valeur d'addition programmée.

multifocale du traitement qui lui est proportionnelle (*fig. 3*). Le logiciel permet de programmer des valeurs d'addition comprises en 0,5 et 3 D.

Trois stratégies de programmation sont proposées par la version actuelle du logiciel :

- la stratégie **Monocular** qui traite l'œil dominant avec une addition égale à 0 (*i.e.* la composante multifocale est neutralisée) ;
- la stratégie **Hybrid** qui traite l'œil dominant avec une addition réduite de moitié par rapport à celle indiquée lors de la programmation ;
- la stratégie **µ-Monovision** qui traite l'œil dominant avec la valeur d'addition indiquée lors de la programmation.

Dans les trois cas, l'œil dominé est traité de façon identique, en utilisant la valeur d'addition utilisée pour la programmation du traitement et avec une cible sphérique imposée à $-0,89$ D. La valeur cible de l'œil dominant est fixée quant à elle à 0 D. En pratique, ce paramétrage imposé peut être contourné en modifiant la réfraction de correction de façon à obtenir la cible effective désirée (*fig. 4*).

Le laboratoire Schwind, sur la base des résultats cliniques initiaux obtenus avec son logiciel, conseille l'utilisation de la stratégie µ-Monovision chez l'hypermétrope, de l'Hybrid chez le myope et du Monocular chez l'emmétrope. La valeur d'addition par défaut est de 1,75 D, la recommandation étant de la diminuer (resp. l'augmenter) proportionnellement à l'intensité de l'hypermétropie (resp. de la myopie) à traiter (*fig. 5*).

A	Sphere (D)	Cylinder (D)	Axis (°)
Manifest:	+2	0,00 X	0
Target:	-0,89	0,00 X	0
Laser:	+2,83	0 X	0

B	Sphere (D)	Cylinder (D)	Axis (°)
Manifest:	+1,66	0,00 X	0
Target:	-0,89	0,00 X	0
Laser:	+2,50	0 X	0

Fig. 4 : Exemple de programmation de cible arbitraire appliquée à un hypermétrope de +2 D. La cible imposée par défaut par le logiciel PresbyMAX donne une réfraction traitée totale de +2,83 D (A). Pour fixer la cible à $-0,5$ D (correspondant à un traitement total de +2,50 D), il faudra programmer une réfraction manifeste de +1,66 D pour tenir compte du nomogramme utilisé par le logiciel PresbyMAX pour le calcul de la réfraction de l'œil dominé ($1,66 + 0,89 \neq 2,50$) (B).

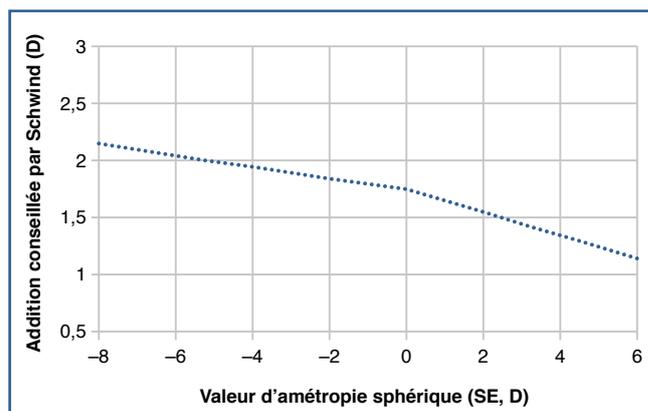


Fig. 5 : Courbe des valeurs d'addition conseillées par Schwind pour la programmation du PresbyMAX en fonction de la sphère équivalente à traiter.

La fenêtre logicielle du PresbyMAX offre aussi l'option (sous forme d'une case à cocher) de retraitement Presbyreversal. Comme son nom l'indique, elle consiste à programmer un "anti-traitement multifocal". La valeur d'addition traitée est négative et le profil multifocal Presbyreversal est l'opposé du profil multifocal PresbyMAX équivalent (fig. 6). Hormis l'absence d'une composante aberrométrique dans sa construction (désactivation des options de traitement Corneal et Ocular Wavefront), le traitement Presbyreversal est en tout point équivalent au traitement PresbyMAX dans sa conception et sa programmation (fig. 7). En cas de traitement asymétrique (i.e. le centre optique du traitement est placé sur le vertex), on prendra garde de reporter les valeurs du décalage centre

pupillaire-vertex telles que mesurées lors de l'examen ayant été utilisé lors du traitement PresbyMAX primaire.

II Présentation des cas cliniques

Malgré des fluctuations dans la satisfaction postopératoire obtenue et des taux de reprise parfois élevés allant jusqu'à 20 % dans la littérature [4], seuls deux cas de retraitements suite à une intolérance à une multifocalité induite par primo-traitement presbyte multizone ont été reportés à notre connaissance [5, 6]. Nous partageons ici notre retour d'expérience après 3 retraitements effectués avec l'algorithme Presbyreversal consécutivement à des traitements PresbyMAX mal supportés par les patients.

Toutes les chirurgies initiales ont été effectuées avec la technique LASIK sur le laser excimer Schwind Amaris 750S avec découpe préalable d'un capot de 110 µm par le laser femtoseconde iFS150 (Johnson & Johnson, Irvine, États-Unis). Les traitements ont été paramétrés en utilisant les données de kératométrie et de décalage vertex-centre pupillaire mesurées par le tomographe combiné Scheimpflug/Placido Sirius, directement connecté au laser Amaris. Les retouches ont toutes été effectuées en resoulevant le capot créé lors du primo-traitement.

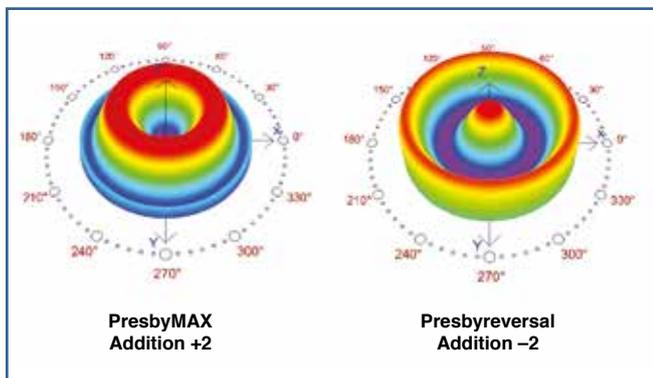


Fig. 6 : Profils d'ablation des profils PresbyMAX (resp. Presbyreversal) pour des additions égales à +2 (resp. -2).

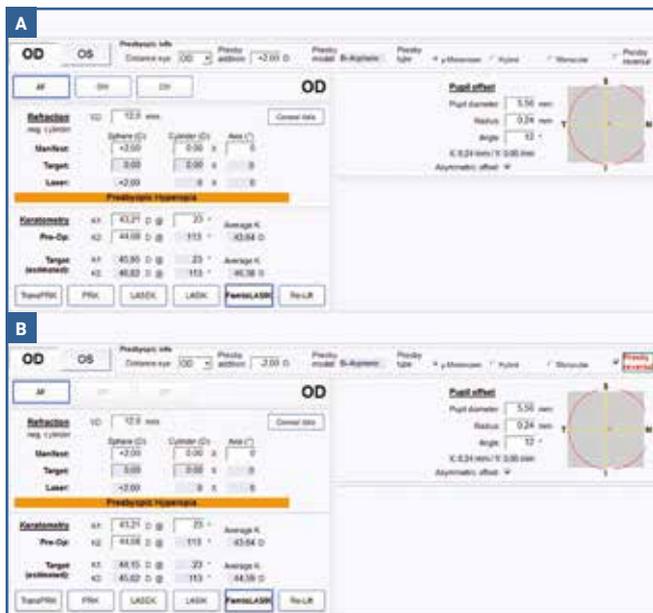


Fig. 7 : Interface de programmation du traitement PresbyMAX (A) et sélection de l'option Presbyreversal (B). Dans les deux cas, la dominance oculaire, la valeur d'addition et la stratégie binoculaire doivent être indiquées. L'activation de l'option Presbyreversal désactive les options de traitement Corneal et Ocular Wavefront, et rend la valeur d'addition négative.

1. Cas patient n° 1 : reprise sur presbyte hypermétrope

Ce patient retraité de 64 ans, pratiquant des activités sollicitant toutes les distances de vision, souhaitait idéalement retrouver une indépendance totale aux lunettes. Il n'y avait aucune contre-indication à la chirurgie LASIK et le choix d'une stratégie PresbyMAX Hybrid a été fait pour obtenir le meilleur équilibre possible entre les différentes distances de vision. Le patient a cependant été averti que sa vision de loin serait sensiblement dégradée à l'issue de l'intervention, avec un temps de récupération un peu plus long que pour les visions de près et intermédiaire.

Une fois la chirurgie effectuée, les visions de près et intermédiaire ont été très vite excellentes, tandis que la vision de loin était floue. Au bout de 2 semaines, les visions de près et intermédiaire étaient toujours très bonnes et la vision de loin s'était améliorée, mais s'avérait tout de même gênante pour les activités sollicitant la vision à très grande distance (conduite et pratique du golf).

Une reprise Presbyreversal a été décidée lors d'un bilan effectué 4 mois après la première intervention, après constatation

de la non-évolution des symptômes visuels. L'acuité visuelle en vision de loin stagnait à 7/10^e en binoculaire et ne pouvait être augmentée avec des verres d'essai. Le patient a reconnu qu'au vu de la répartition de ses activités, la gêne en vision de loin avait un plus grand impact sur sa vie quotidienne que s'il s'agissait de la vision intermédiaire ou de près.

L'œil dominant a été retouché un mois après de façon à supprimer totalement l'effet multifocal, et un nouveau bilan effectué 2 semaines plus tard montrait une remontée de l'acuité non corrigée sur cet œil à 9/10^e et à 10/10^e avec la correction adéquate. Le gain obtenu en vision de loin a totalement satisfait le patient, sans que la légère perte de qualité constatée en vision intermédiaire suite à la reprise ne le gêne (*tableau I*).

2. Cas patient n° 2 : reprise sur presbyte myope

Ce patient de 60 ans, expert technique en électronique, sollicite sa vision de près dans le cadre de sa profession et sa vision de loin pour la pratique du tir sportif et de fréquents déplacements en voiture. Il était demandeur d'une indépendance totale aux lunettes mais, après discussion avec le médecin, il a accepté une baisse de vision de loin et l'utilisation d'une paire de lunettes d'appoint. Un traitement μ -Monovision avec addition de +2 D et cibles nulles en bilatéral a été effectué.

En postopératoire, le patient s'est montré déçu de sa vision de loin, notamment en application à la conduite, n'ayant pas de son propre aveu anticipé qu'il serait gêné à ce point dans ses activités quotidiennes sans lunettes. Il décrit en revanche ses visions de près et intermédiaire comme excellentes.

Une retouche de type Presbyreversal a été envisagée au bout d'un an car la vision fluctuante du patient n'a pas permis de trouver une prescription stable pour sa correction de loin. L'œil droit directeur a été retouché en neutralisant la moitié de l'addition originellement programmée pour laisser une profondeur de focalisation résiduelle.

Un mois après l'intervention, le patient était très satisfait de ses visions de loin et intermédiaire, et constatait qu'il avait besoin de plus de lumière pour retrouver une aussi bonne vision de près qu'avant la reprise (*tableau II*).

3. Cas patient n° 3 : reprise sur presbyte emmétrope

Ce patient de 48 ans, conducteur de travaux et n'ayant jamais porté de lunettes avant sa presbytie, a fait la demande d'une indépendance totale aux lunettes. Son activité professionnelle l'incite à utiliser ses visions de près et intermédiaire pour le remplissage de tâches administratives sur papier ou ordinateur, et sa vision de loin lors de déplacements fréquents en voiture. Le patient a été informé et a consenti à ce que sa vision de loin puisse nécessiter une correction d'appoint après chirurgie.

Ne présentant pas de contre-indication au LASIK, une chirurgie PresbyMAX de type Hybrid a été envisagée avec une addition programmée de 1,50 D sur son œil dominant (œil gauche) et de 2,25 D sur l'œil droit. Ce choix d'additions, qui ne répond pas aux programmations standards du PresbyMAX, a été fait car une addition suffisante était souhaitée sur l'œil dominant sans toutefois obtenir une multifocalité trop importante sur l'œil dominé. La programmation du traitement a dès

		OD (directeur)		OG		Binoculaire
Bilan Préopératoire	SC	Non reporté		Non reporté		Non reporté
	AC	+2,25 (-0,50 65°) Add. +2	12,5/10 ^e P2	+2,25 (-0,75 90°) Add. +2	12,5/10 ^e P2	12,5/10 ^e P2
Chirurgie PresbyMAX	Prog.	+2 (-0,50 85°) Cible 0, add. +1,50		+2 (-0,75 90°) Cible 0, add. +3		-
Bilan 4 mois	SC	-	5/10 ^e P1,5	-	6/10 ^e P2	6/10 ^e P2
	AC	+0,25 (-0,75 135°) Add. +1	7/10 ^e P2	+0,25 (-0,75 30°) Add. +1	5/10 ^e P2	8/10 ^e P2
Chirurgie Presbyreversal	Prog.	0 (-0,55 150°) Cible 0, add. -1,50		Pas de retraitement		-
Bilan 2 semaines	SC	-	9/10 ^e P3	-	5/10 ^e P3	9/10 ^e P2
	AC	+1,25 (-0,75 40°) Add. +0,25	10/10 ^e P3	-0,25 (-0,25 65°) Add. +0,25	5/10 ^e P3	10/10 ^e P2

Tableau I : Report des valeurs de programmations utilisées et des acuités et valeurs de réfraction obtenues lors des bilans réfractifs pré- et postopératoires du patient n° 1. SC : sans correction ; AC : avec correction ; Prog. : programmation.

		OD (directeur)		OG		Binoculaire
Bilan Préopératoire	SC	Non reporté		Non reporté		Non reporté
	AC	-1,50 (-1 30°) Add. +2,50	10/10 ^e P2	-2,50 (-1 125°) Add. +2,50	10/10 ^e P3	12,5/10 ^e P2
Chirurgie PresbyMAX	Prog.	-1,50 (-1 25°) Cible 0, add. + 3,00		-2,50 (-1,25 125°) Cible 0, add. +3,00		-
Bilan 11 mois	SC	-	7/10 ^e P1,5	-	7/10 ^e P3	7/10 ^e P1,5
	AC	-0,25 (-0,50 120°) Add. +1,25	8/10 ^e P2	+0,25 (-0,50 90°) Add. +1,25	9/10 ^e P3	9/10 ^e P2
Chirurgie Presbyreversal	Prog.	PLANO Cible 0, add. -1,50		Pas de retraitement		-
Bilan 1 mois	SC	-	10/10 ^e P2	-	6/10 ^e P4	1/10 ^e P1,5
	AC	PLANO	10/10 ^e P2	+0,50 (-0,75 100°) Add. +2	7/10 ^e P2	10/10 ^e P2

Tableau II : Report des valeurs de programmations utilisées et des acuités et valeurs de réfraction obtenues lors des bilans réfractifs pré- et postopératoires du patient n° 2. SC : sans correction ; AC : avec correction ; Prog. : programmation.

		OD		OG (dominant)		Binoculaire
Bilan Préopératoire	SC	Non reporté		Non reporté		Non reporté
	AC	+0,75 (-0,50 100°) Add. +1,50	12,5/10 ^e P2	+0,50 (-0,25 85°) Add. +1,50	10/10 ^e P2	12,5/10 ^e P2
Chirurgie PresbyMAX	Prog.	+0,75 (-0,50 100°) Cible 0, add. +2,25		+0,25 (0 0°) Cible 0, add. +1,50		-
Bilan 3 mois	SC	-	4/10 ^e P3	-	5/10 ^e P2	6/10 ^e P2
	AC	0 (-0,25 175°) Add. +1,50	5/10 ^e P3	0 (-0,25 150°) Add. +1,50	7/10 ^e P2	7/10 ^e P2
Chirurgie Presbyreversal	Prog.	PLANO Cible -0,89, add. -1,25		Pas de retraitement		-
Bilan 1 mois	SC	-	1/10 ^e P3	-	4/10 ^e P3	4/10 ^e P3
	AC	-2,25 (-0,25 120°) Add. +1,50	10/10 ^e P2	-0,75 (0 0°) Add. +1,50	10/10 ^e P2	10/10 ^e P2
Chirurgie asphérique	Prog.	-1,25 (0 0°) Cible 0		Pas de retraitement		-
Bilan 1 mois	SC	-	9/10 ^e P3	-	4/10 ^e P3	9/10 ^e P2
	AC	Non reporté		Non reporté		Non reporté

Tableau III : Report des valeurs de programmations utilisées et des acuités et valeurs de réfraction obtenues lors des bilans réfractifs pré- et postopératoires du patient n° 3. SC : sans correction ; AC : avec correction ; Prog. : programmation.

lors été effectuée en deux temps, tout d’abord en programmant un traitement μ -Monovision de valeur d’addition +1,50 D avec ablation de l’œil dominant uniquement, puis en planifiant immédiatement après un traitement μ -Monovision d’addition +2,25 D et en ne traitant cette fois-ci que l’œil dominé.

Après chirurgie, le patient était très satisfait de ses visions de près et intermédiaire, mais était très gêné en vision de loin. Il souffrait de maux de tête et d’une sécheresse oculaire avec

éblouissements. Les maux de tête persistant après amélioration de la sécheresse, la décision a été prise à un mois d’effectuer un traitement Presbyreversal sur l’œil dominé qui était le plus gêné de loin. La correction d’addition programmée était de -1,25 D pour laisser une multifocalité ne déséquilibrant pas la vision binoculaire après reprise.

Comme évoqué plus haut, la programmation du traitement Presbyreversal est en tout point similaire à celle du

PresbyMAX, avec notamment une cible imposée de $-0,89$ D sur l'œil dominé dans l'interface de programmation. Cette cible a été laissée telle quelle par erreur lors de l'intervention, résultant en une myopie résiduelle non désirée, qui a été corrigée 2 semaines après par retouche asphérique (traitement Aberration-Free).

À noter que les céphalées ont disparu immédiatement après la première retouche (Presbyreversal) et que la meilleure acuité corrigée est immédiatement remontée à 10/10^e. Le patient a présenté une kératite ponctuée superficielle après sa seconde retouche (traitement asphérique), actuellement en cours de guérison, et présente en l'état une acuité visuelle de loin non corrigée de 9/10^e (tableau III).

4. Comportements topographiques et aberrométriques

Dans tous les cas, l'analyse topographique reflète les effets intentés des traitements (fig. 8). En particulier, la carte de puissance réfractive (*i.e.* le calcul des puissances locales par *ray-tracing* en tout point de la cornée) permet de mettre en évidence l'induction d'une modulation de puissance centrale avec myopisation (resp. hypermétropisation) après une ablation PresbyMAX (resp. Presbyreversal).

De façon similaire, les aberrations totales (mesurées par un aberromètre) et cornéennes (calculées à partir d'une mesure tomographique) évoluent conformément au comportement attendu des différents traitements. On observe notamment

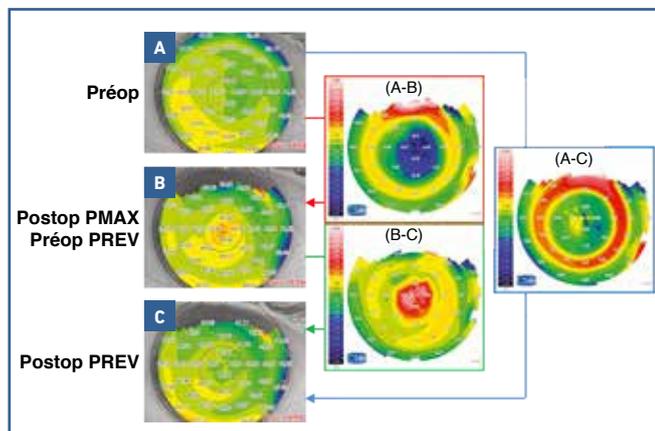


Fig. 8 : Analyse topographique de l'œil dominant du patient n° 1 (mesures effectuées avec le tomographe Sirius). Les cartes de gauche sont les cartes de puissance réfractive obtenues avant (A) et après (B) le primo-traitement PresbyMAX (PMAX), puis après reprise par Presbyreversal (PREV ; C). Les cartes de droite sont obtenues par différence des cartes A, B et C. La différence des cartes A et B montre l'effet de myopisation centrale induit par le PresbyMAX, tandis que la différence des cartes B et C traduit la compensation hypermétropique du traitement Presbyreversal. On remarquera que la différence des cartes A et C ressemble fortement à un traitement hypermétropique "standard".

l'augmentation (resp. la diminution) en valeur absolue de la quantité d'aberration sphérique lorsque l'on "ajoute" (resp. "retire") de l'addition (fig. 9). Conformément à la stratégie "vision centrée de près" du PresbyMAX, l'aberration sphérique devient d'autant plus négative que l'addition programmée est forte.

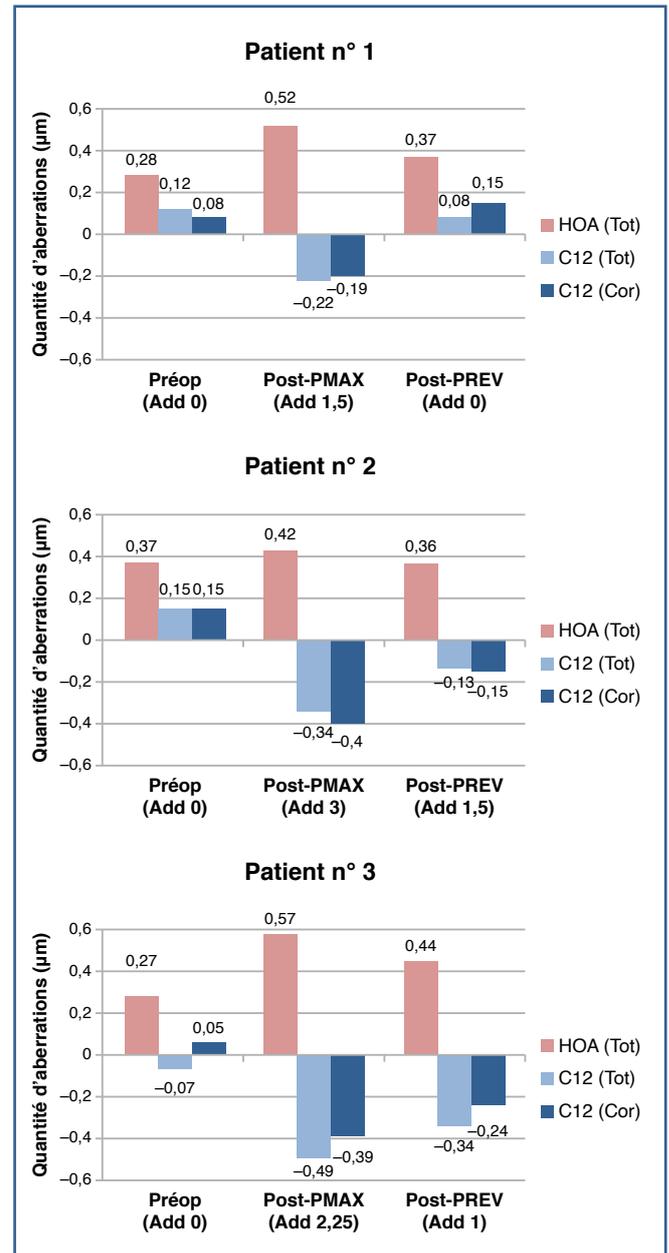


Fig. 9 : Analyse aberrométrique des yeux ayant subi un retraitement Presbyreversal pour chacun des patients (mesures effectuées avec l'aberromètre Peramis et le tomographe Sirius). Sont présentées ici les quantités d'aberrations oculaires RMS de haut degré (HOA [Tot]), d'aberration sphérique oculaire (C12 [Tot]) et d'aberration sphérique cornéenne (C12 [Cor]) avant PresbyMAX (Préop), après PresbyMAX (Post-PMAX) et après Presbyreversal (Post-PREV). Sont indiquées entre parenthèses les additions cumulées des traitements.

II Discussion

Nous avons reporté 3 cas de retraitements à but de suppression ou de réduction de la multifocalité suite à des traitements presbytes multizones mal supportés. Nous avons utilisé ici le traitement Presbyreversal, spécifiquement mis à disposition par Schwind pour le retraitement d'une chirurgie PresbyMAX préalable.

Dans tous les cas que nous reportons, l'utilisation du retraitement a permis de satisfaire le patient souhaitant retrouver une meilleure vision de loin et a abouti à la remontée des acuités corrigées à 10/10^e, confirmant ce qui avait déjà été obtenu dans le cas clinique similaire reporté dans la littérature [5].

Avant d'aborder les spécificités de chaque cas, nous commencerons par souligner que nous utilisons une stratégie de traitement presbyte délibérément agressive, avec la programmation de valeurs d'addition plus fortes que celles recommandées par défaut par le laboratoire Schwind. Cette stratégie résulte de notre expérience dans l'utilisation du logiciel et dans la constatation que la majorité des patients est en pratique plus préoccupée par la récupération de leurs visions de près et intermédiaire que par le port éventuel de lunettes en vision de loin. Nous prenons cependant grand soin de discuter avec les patients des implications d'une telle stratégie, et n'utilisons cette solution que si nous avons reçu l'accord explicite du patient et si nous estimons qu'il a bien compris les conséquences visuelles attendues.

L'analyse des cas que nous présentons nous permet d'insister sur l'importance du bilan préopératoire dans la planification du traitement proposé au patient presbyte. Chacune des insatisfactions ayant mené à ces reprises découle en effet d'un défaut d'évaluation des besoins visuels du patient.

Dans le premier cas, nous avons été confrontés à une mauvaise appréciation de l'importance de la vision de loin dans la vie quotidienne du patient. Bien qu'ayant accepté le principe de sa dégradation partielle, le patient a réalisé après chirurgie qu'il sollicitait sa vision de loin bien plus fréquemment qu'il ne le pensait et que sa qualité de vie en était impactée.

Un interrogatoire complémentaire incluant une évaluation systématique de la durée des activités en fonction de la distance de vision pourrait permettre d'éviter cette situation. Dans cet esprit, et pour arriver à un diagnostic plus poussé et objectif, la société Vivior (Zurich, Suisse) a commercialisé un capteur à fixer sur une branche des lunettes portées par le patient [7].

Le capteur enregistre un lot de données comprenant le temps de regard à une distance donnée, l'illumination ambiante... Un rapport récapitulant ces paramètres permet alors au chirurgien d'apprécier les habitudes de vie de son patient et d'affiner ses options de traitement (fig. 10). Notons cependant que cette solution requiert que le patient soit coopératif pendant la période de monitoring (48 h) en n'oubliant pas d'activer et de porter le dispositif, mais aussi que les habitudes de vision mesurées peuvent être influencées par la saisonnalité.

Dans les deux derniers cas présentés dans cet article, c'est l'impact visuel sur la vision de loin des patients qui a posé problème. Le deuxième patient avait bien pris conscience que sa vision de loin serait affectée par le traitement, mais n'avait pas réalisé l'impact visuel concret que cela représenterait. Le troisième patient à quant à lui souffert d'une forme d'intolérance à la multifocalité ayant déclenché des céphalées à répétition.

Nous sommes ici confrontés à la difficulté majeure posée par la chirurgie de la presbytie, à savoir l'absence de véritable phoroptère permettant de tester au préalable l'effet multifocal chez le patient. Un essai préalable de lentilles multifocales aurait peut-être pu aider à anticiper les inconforts reportés, mais le succès de la démonstration dépend beaucoup de la tolérance du patient au port des lentilles et de son aptitude à en gérer la manipulation correcte. On prendra aussi soin de sélectionner

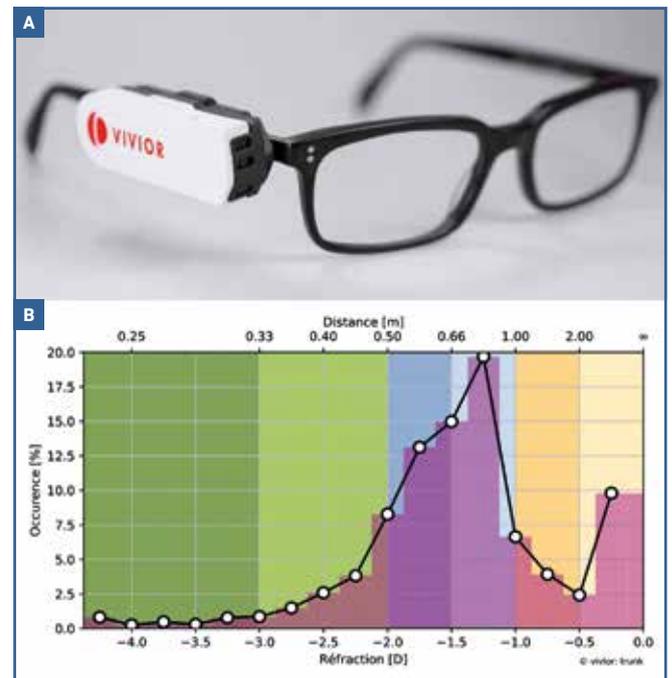


Fig. 10A : Capteur Vivior clipsé sur une branche de lunettes. B : extrait du rapport d'analyse représentant la proportion de temps de regard en fonction de la distance de vision (illustrations extraites du site www.vivior.com).

des lentilles multifocales dont l'effet se rapproche le plus possible du profil de traitement que l'on voudrait utiliser, et on notera que la contrainte logistique et de manipulation imposée par les lentilles n'est pas compatible avec tous les patients ni tous les praticiens.

L'essor des instruments de simulation multifocale laisse entrevoir la possibilité de tester rapidement en consultation l'effet multifocal chez le patient [8]. Nous pourrions prendre pour exemple le dispositif SimVis, développé par la société 2EyesVision (Tres Cantos, Espagne), qui se présente sous forme d'un casque équipé d'oculaires incluant des lentilles à focale variable (**fig. 11**). La modification rapide du pouvoir dioptrique de la lentille, au-delà du seuil de persistance rétinienne, permet de simuler un effet multifocal. La modulation de puissances permet de tester différentes solutions de traitement directement sur le patient et d'en apprécier le ressenti en "conditions réelles" durant le temps de consultation préopératoire. La version actuellement disponible est principalement orientée pour la simulation de designs d'implants multifocaux [9]. Quelques ajustements des profils simulés restent à apporter pour pouvoir en faire une utilisation rigoureuse en prévision de chirurgies cornéennes. De plus, l'ouverture réduite des lentilles à focale variable demande un positionnement très précis du casque sur la tête du patient pour qu'il puisse pleinement apprécier la simulation. Néanmoins, les nouvelles générations de ces lentilles présentent des diamètres plus importants qui permettront de rendre ce point beaucoup moins critique dans les futures versions de l'instrument.

Nous terminerons ce paragraphe en revenant sur l'erreur de programmation que nous avons commise lors de la retouche



Fig. 11 : Casque SimVis pour simulation multifocale préopératoire (illustration extraite du site www.2eyesvision.com).

Presbyreversal effectuée sur le troisième patient. Comme mentionné plus haut, l'interface de programmation étant la même que celle du PresbyMAX, une cible de $-0,89$ D, non modifiable, est automatiquement intégrée au traitement de l'œil dominé. Dans notre cas, ayant omis de prendre en compte cette cible lors de la programmation du traitement, cela a résulté en une myopisation non désirée. Nous incitons ainsi nos confrères à bien faire attention à ce point s'ils sont aussi amenés à effectuer une retouche sur l'œil non dominant et suggérons une modification de l'interface pour libérer cet œil de la cible automatique de $-0,89$ D lorsque l'option Presbyreversal est cochée.

■ Commentaires sur la reprise après traitement multifocal

Avant de terminer cet article par des considérations plus générales sur le retraitement après chirurgie cornéenne multifocale, rappelons que le design du profil de retraitement Presbyreversal étudié ici est par conception l'opposé de la composante multifocale du PresbyMAX. En l'absence de correction sphérocyindrique, il en résulte un traitement peu consommateur (le traitement ablate un maximum de 10 micromètres dans le cas d'une suppression de 3 D d'addition), ce qui est un avantage appréciable dans une chirurgie où chaque micron de tissu sauvé est précieux.

Notons aussi que la superposition correcte du primo-traitement et de sa retouche est assurée par la réutilisation de la distance séparant le vertex du centre pupillaire mesurée lors de l'examen préopératoire pris en compte lors de la programmation du traitement PresbyMAX. En effet, utiliser la valeur mesurée en postopératoire (avant retraitement) pourrait entraîner un décalage dû à la mobilité du vertex causée par la chirurgie [10]. Le centre pupillaire reconnu par le laser est un point plus stable et sert de référence beaucoup plus fiable pour effectuer le retraitement.

D'autres options de retraitement pour s'affranchir de l'effet multifocal peuvent être envisagées, comme les ablations guidées par topographie ou par aberrométrie.

Cette dernière modalité est le mode de retraitement conseillé par le laboratoire Bausch + Lomb (Bridgewater, États-Unis) avec sa plateforme excimer Teneo en cas de traitement multifocal Supracor mal supporté ou de pertes importantes de lignes d'acuités corrigées en vision de loin. Le traitement ZYOPTIX HD (profil aberroguidé proposé par le laser Teneo) a été utilisé avec succès par Ang *et al.* pour le retraitement

d'un traitement Supracor décentré effectué sur un patient pseudophaque [6].

Appliquer un traitement aberroguidé sur un patient phaqué peut toutefois poser question. En effet, les aberrations portées par le cristallin, potentiellement retiré quelques années plus tard lors d'une chirurgie de la cataracte, seront prises en compte dans le retraitement cornéen, affectant de fait le futur calcul d'implant et la qualité visuelle résultante. On prendra donc soin de bien vérifier que les aberrations délétères sont bien associées à la cornée multifocalisée et non au cristallin avant d'opter pour un tel retraitement.

L'usage d'un profil topoguidé pour "effacer" un traitement multizone doit aussi être considéré avec prudence. En effet, la plupart de ces ablations reposent sur des données issues de topographies acquises par technologie Placido. Cette technologie présente l'avantage d'un grand nombre de points de mesure, mais est aussi affectée par une zone aveugle centrale reconstruite par interpolation, minimisant ainsi la qualité du profil en ces points. La précision du retraitement obtenu peut alors être impactée si le bombement central induit par un profil multizone à vision de près centrée coïncide avec la zone aveugle de mesure.

Le retraitement à visée de suppression de l'effet multifocal reste cependant en pratique un outil de niche. La plupart des plaintes visuelles reportées par les patients pourront être corrigées par un retraitement asphérique standard, avec ou sans programmation d'une cible sphérique selon la demande visuelle. Une vision de près un peu faible pourra quant à elle être améliorée en superposant un nouveau traitement multizone sur le précédent (en prenant garde encore une fois à la problématique du centrage correct de la retouche).

Enfin, dans la plupart des cas de plaintes postopératoires, la patience du patient et l'évolution progressive de sa vision après le primo-traitement aboutiront à la levée de son insatisfaction, rendant inutile une quelconque reprise.

Bibliographie

1. HAGÈGE A, CASADESSUS O. Guide raisonné des PresbyLASIK. *Clinique de la Vision, Chirurgie Réfractive*, supplément à *Réalités Ophtalmologiques*, 2018;251:118-140.
2. ARBA-MOSQUERA S, DE ORTUETA D. Analysis of optimized profiles for 'aberration-free' refractive surgery. *Ophthalm Physiol Opt*, 2009;29:535-548.
3. ARBA-MOSQUERA S, EWERING T. New asymmetric centration strategy combining pupil and corneal vertex information for ablation procedures in refractive surgery: theoretical background. *J Refract Surg*, 2012;28:567-573.
4. PALLIKARIS IG, PANAGOPOULOU SI. PrebyLASIK approach for the correction of presbyopia. *Curr Opin Ophthalmol*, 2015;26:265-272.
5. LUGER MHA, EWERING T, ARBA-MOSQUERA S. Nonwavefront-guided presby reversal treatment targeting a monofocal cornea after bi-aspheric ablation profile in a patient intolerant to multifocality. *J Refract Surg*, 2014;30:241-216.
6. ANG RE, REYES RMM, SOLIS MLP. Reversal of a presbyopic LASIK treatment. *Clin Ophthalmol*, 2015;9:115-119.
7. PAJIC B, ZAKHAROV P, PAJIC-EGSSPUEHLER B *et al*. User friendliness of a wearable visual behavior monitor for cataract and refractive surgery. *Appl Sci*, 2020;10:2190.
8. HAGÈGE A, CASADESSUS O. Montrer la multifocalité : les nouvelles technologies au service de la simulation préopératoire. *Clinique de la Vision, Chirurgie Réfractive*, supplément à *Réalités Ophtalmologiques*, 2017;241:92-97.
9. VINAS M, AISSATI S, ROMERO M *et al*. Pre-operative simulation of post-operative multifocal vision. *Biomed Opt Express*, 2019;10:5801-5817.
10. BUEELER M, ISELI Hp, JANKOV M *et al*. Treatment-induced shifts of ocular reference axes used for measurement centration. *J Cataract Refract Surg*, 2005;31:1986-1994.

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



O. PRISANT
Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.
oprisant@gmail.com

Panorama des techniques chirurgicales de réhabilitation visuelle du kératocône à travers un cas clinique

La chirurgie du kératocône (KC) a fait de considérables progrès, permettant d'une part de stabiliser la maladie lorsque celle-ci est évolutive et d'autre part de réhabiliter la vision, comme nous le montrons chez cette patiente qui a bénéficié de l'ensemble des techniques disponibles. Ces techniques sont très différentes les unes des autres et, utilisées de manière combinée et séquentielle, se complètent souvent afin d'optimiser l'amélioration de la fonction visuelle. Celle-ci se mesure en termes de remontée de la meilleure acuité visuelle corrigée (MAVC) grâce à un remodelage de la géométrie cornéenne et une diminution des aberrations d'ordre supérieur, et en termes de réduction de l'amétropie sphéro-cylindrique et de remontée de l'acuité visuelle sans correction (AVSC). Il est fréquent de corriger presque intégralement l'amétropie, ce qui amène à évoquer le concept de "chirurgie réfractive du KC".

Nous rapportons dans cet article l'exemple d'une patiente dont la remontée visuelle a été spectaculaire grâce à la combinaison de ces différentes chirurgies.

■ Présentation du cas clinique

Il s'agit d'une patiente âgée de 45 ans, porteuse d'un KC très avancé et ne souhaitant pas être équipée de lentilles de contact. Elle s'est présentée initialement avec une vision très abaissée : MAVC de 3/10 à droite avec $-5,25$ ($-5,00$) 20° et de 2/10 à gauche avec $-7,75$ ($-3,75$) 155° . L'ensemble des données préopératoires sont résumées dans la *figure 1*.

■ Indications chirurgicales

Du côté droit, nous avons décidé de réaliser une chirurgie conservatrice du kératocône (CCK) en deux étapes, par

anneaux intracornéens (AIC) dans un premier temps puis par laser Excimer topoguidé (topolink) couplé à un *crosslinking* (CXL) dans un deuxième temps. Cette chirurgie vise à répondre aux deux objectifs suivants :

- réhabilitation visuelle par régularisation cornéenne combinant une méthode additive dans un premier temps (anneaux) puis une méthode ablatrice dans un second temps (laser topoguidé) ;
- stabilisation : bien que la patiente ne soit pas évolutive (âge 45 ans), le laser topoguidé est systématiquement associé à un CXL afin d'éviter que la cornée ne se déforme sous l'effet de la photoablation.

Cette chirurgie conservatrice était possible grâce à une pachymétrie supérieure à $400 \mu\text{m}$ autorisant la réalisation du CXL et un K_{max} (kératométrie maximale) inférieur à 60 D permettant d'anticiper une récupération visuelle satisfaisante.

Du côté gauche, la pachymétrie étant inférieure à $400 \mu\text{m}$, avec un K_{max} proche de 60 D et une MAVC effondrée à 2/10. Il était d'emblée préférable de programmer une greffe de cornée, ce qui donnerait à la patiente une meilleure chance de récupération visuelle compte tenu de ces paramètres très détériorés. La greffe est idéalement de type lamellaire antérieure profonde (DALK) afin de préserver l'endothélium sain de la patiente et d'éviter un risque de rejet endothélial.

■ Résultats pour l'œil droit

1^{re} étape : AIC. Le kératocône de cette patiente étant de phénotype *duck* (c'est-à-dire avec l'hémiméridien cambré inférieur plus cambré que l'hémiméridien supérieur et un non-alignement de ces deux hémiméridiens), nous avons choisi de poser un Keraring AS 160° . C'est un anneau asymétrique avec un gradient d'épaisseur de $100 \mu\text{m}$ entre l'extrémité distale la

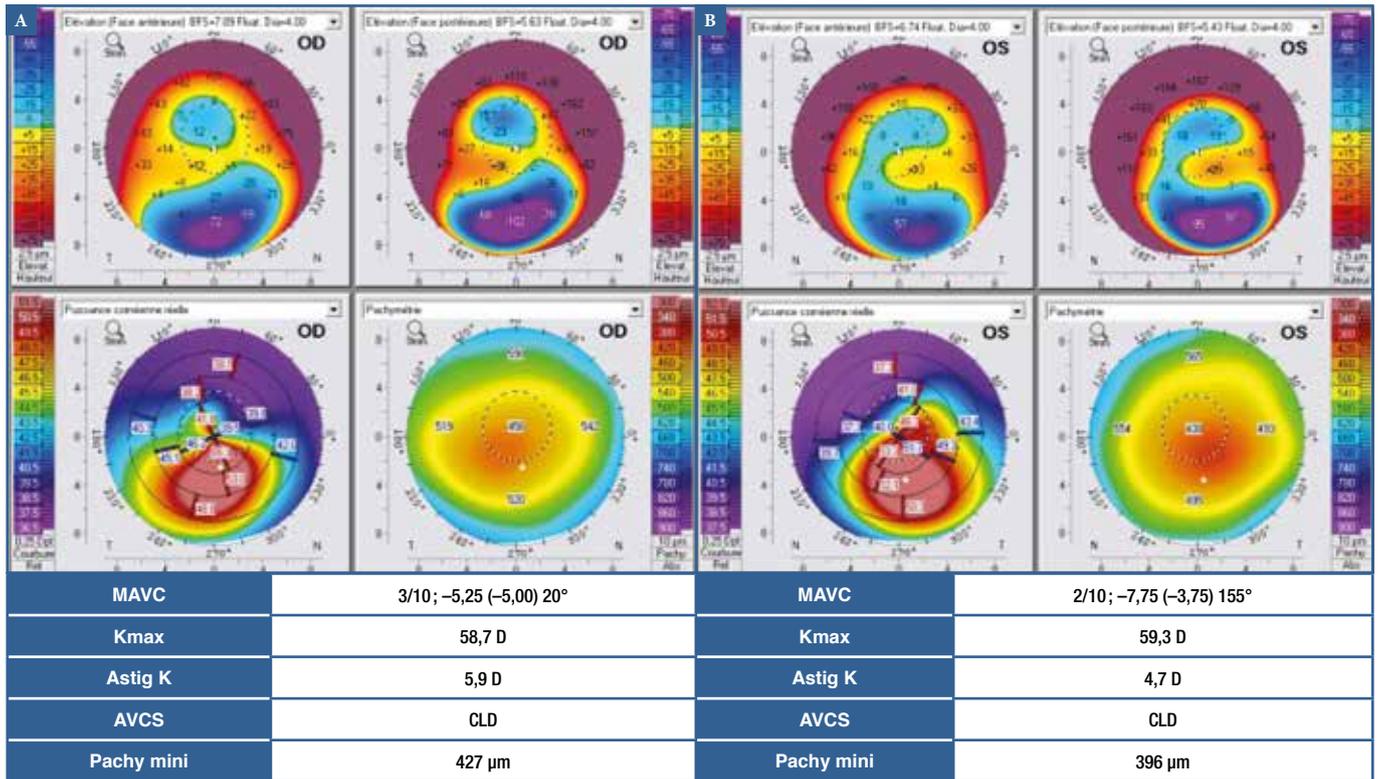


Fig. 1 : Patiente de 45 ans. Données préopératoires de l'œil droit (A) et l'œil gauche (B). Astig K : astigmatisme cornéen; AVCS : acuité visuelle sans correction; Kmax : kératométrie maximale; MAVC : meilleure acuité visuelle corrigée; Pachy mini : pachymétrie minimale.

Œil droit	Préopératoire	Post-anneau	Post-topolink-CXL
MAVC	3/10; - 5,25 (-5,00) 20°	6/10; -3,00 (-2,50) 0°	10/10; -0,75 (-0,50) 175°
Kmax	58,7 D	54 D	52 D
Astig K	5,9 D	4 D	2,8 D

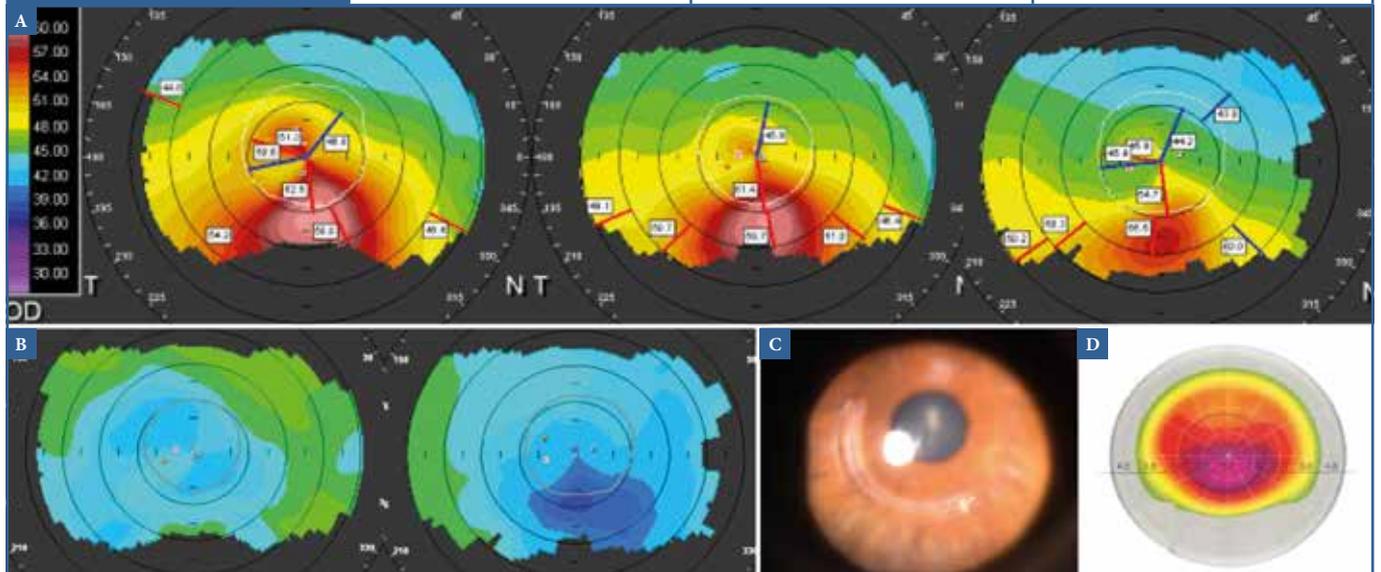


Fig. 2 : Résultats postopératoires de l'œil droit. A : cartes kératométriques en Orbscan préopératoire, post-anneaux et post-topolink-CXL. B : cartes différentielles (différences entre les cartes kératométriques) qui montrent l'effet de l'anneau puis l'effet du laser topoguidé. C : photo de l'anneau à la lampe à fente. D : profil d'ablation du laser Excimer topoguidé.

plus épaisse et l'extrémité proximale. La partie la plus épaisse de l'anneau est positionnée en regard de l'hémiméridien le plus cambré.

2^e étape : topolink + CXL. Le topolink est une photoablation au laser Excimer couplée à la topographie cornéenne en Pentacam du patient. Le but de cette intervention est d'une part de régulariser la cornée afin de réduire les aberrations d'ordre supérieur et faire remonter la MAVC, et d'autre part de corriger autant que possible l'amétropie sphérocyindrique, en veillant à ne pas dépasser 50 µm de profondeur d'ablation. On réalise simultanément un CXL même si le patient n'est pas évolutif afin d'éviter une aggravation de la déformation cornéenne post-laser.

La logique de cette prise en charge est double : une logique d'économie tissulaire en régularisant au maximum avec les AIC sans amincir la cornée et une logique de précision en affinant le résultat grâce au topolink. Ce traitement en deux étapes a permis une normalisation de la vision de la patiente, tant du point de vue de la MAVC, qui est remontée de 3 à 10/10^e, que réfractif, puisque la réfraction finale postopératoire -0,75 (-0,50) 175° s'approche de l'emmétropie (*fig. 2*).

■ Résultats pour l'œil gauche

Compte tenu du stade très avancé du kératocône et de la pachymétrie < 400 µm, nous avons donc réalisé une greffe de cornée lamellaire de type DALK, ce qui a permis de faire remonter la MAVC à 9/10^e avec -8,00 (-1,00) 0° (*fig. 3*).

Le problème de réhabilitation visuelle après greffe de cornée s'est alors posé chez cette patiente. Une lentille rigide aurait été une très bonne alternative thérapeutique mais la patiente ne souhaitait pas se faire adapter. Nous lui avons proposé une chirurgie réfractive par implant phaqué de type ICL sphérique, qui a permis de corriger sa forte myopie post-greffe. La vision postopératoire est de 9/10^e avec +1,50 (-0,75) 0° (*tableau I*).

■ Conclusion

La prise en charge de cette patiente illustre la diversité des techniques chirurgicales disponibles pour réhabiliter la vision même très détériorée des patients kératocôniques. Du côté droit, nous avons combiné les anneaux intracornéens dans un premier temps et le laser Excimer topoguidé avec *crosslinking* dans un deuxième temps, permettant de faire

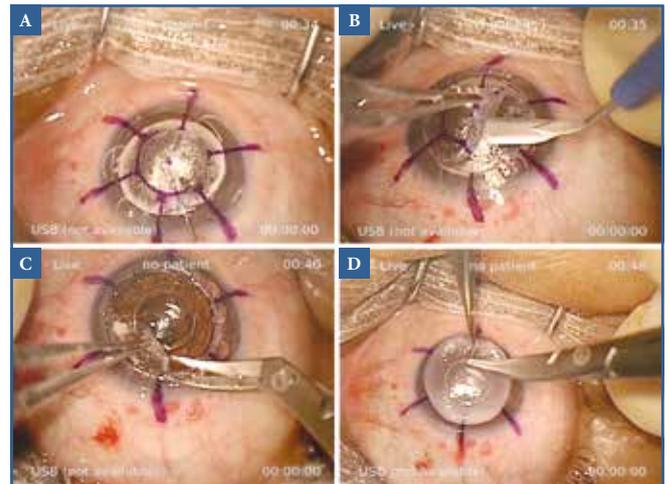


Fig. 3 : Greffe lamellaire (DALK) de l'œil gauche. **A :** réalisation de la *big bubble*, injection d'air sous forte pression pour séparer la membrane de Descemet du stroma cornéen. **B :** ablation de la partie superficielle du stroma. **C :** ablation du stroma résiduel préalablement découpé en cadrans. **D :** mise en place du greffon, réalisation de points séparés puis d'un surjet.

Œil gauche	Préopératoire	Post-greffe	Post-ICL
MAVC	2/10; -7,75 (-3,75) 155°	9/10; -8,00 (-1,00) 0°	9/10; +1,50 (-0,75) 0°
Kmax	59,3 D	58 D	59 D
Astig K	4,7 D	4,2 D	2,8 D

Tableau I : Résultats postopératoires de l'œil gauche. La greffe a permis de remonter la MAVC en passant de 2/10 à 9/10 mais avec une amétropie sphérocyindrique importante. L'implant phaqué ICL sphérique a permis de corriger cette amétropie et de rapprocher la patiente de l'emmétropie postopératoire.

remonter la MAVC de 3/10^e avec forte amétropie sphérocyindrique à 10/10^e avec une réfraction presque emmétrope. Du côté gauche, c'est la greffe de cornée suivie par la pose d'un implant phaqué ICL environ 2 ans après qui a permis de presque emmétropiser la patiente en lui redonnant 9/10^e. Les résultats obtenus dans ce cas sont proches de ceux obtenus dans le cadre d'une chirurgie réfractive, ce qui nous amène parfois à utiliser le terme de "chirurgie réfractive du kératocône".



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

PresbyLasik en mode PROSCAN/SUPRACOR avec le laser Excimer TECHNOLAS TENEO 317 de Bausch + Lomb

Le PresbyLasik est un terme générique incluant toutes les stratégies de photoablation qui visent la réhabilitation de la vision de près sans perte de la vision de loin. Le principe repose sur l'induction d'une pseudo-accommodation par des profils hyperprolates ou multifocaux qui, en générant des aberrations sphériques, induisent elles-mêmes une profondeur de champ. Le PresbyLasik est proposé par toutes les plateformes de laser Excimer avec des profils d'ablation en perpétuelle évolution.

Le logiciel de presbytie du TECHNOLAS TENEO 317 est prévu pour être programmé en SUPRACOR "varifocal" bilatéral mais légèrement asymétrique, "Mild" sur l'œil dominant et "Strong" sur l'œil dominé. Cette configuration pouvant induire une diminution de l'acuité visuelle de loin, nécessitant parfois plusieurs mois de mise en place, nous avons choisi de programmer l'œil dominant en photoablation asphérique classique (mode PROSCAN) et de ne corriger la presbytie que sur l'œil dominé en SUPRACOR Strong.

Cas clinique

Nous présentons le cas d'un patient de 61 ans, parfumeur de renom, souhaitant se débarrasser de ses lunettes. Sa réfraction préopératoire est de +2 (-0,25) 150° addition 2,75 à droite et +2,5 (-1,00) 10° addition 2,75 à gauche. L'acuité visuelle est à 10/10 Parinaud 2 corrigée ODG et l'examen ophtalmologique normal. L'œil droit est dominant et le patient tolère une addition de +1,5 à la correction de loin sur l'œil dominé. Le bilan topographique de la cornée ne retrouve aucune contre-indication au Lasik (fig. 1). L'OSI en OQAS est inférieur à 1 à chaque œil.

Un PresbyLasik est programmé: l'œil droit dominant en photoablation asphérique classique (mode PROSCAN) sur la

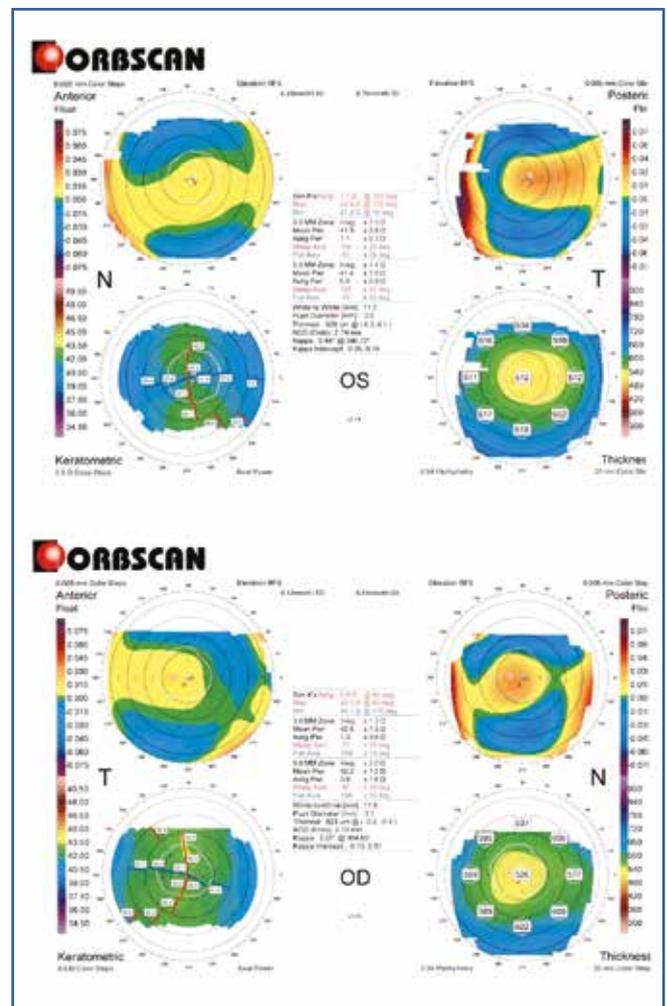


Fig. 1 : Topographie.

correction subjective et l'œil gauche en mode SUPRACOR Strong avec une cible à -0,5 (fig. 2). Le lendemain de la chirurgie, l'acuité visuelle est de 10/10 Parinaud 2 sans correction en binoculaire. L'acuité visuelle de l'œil gauche dominé est à 6/10 sans correction, 10/10 avec -1 (-0,75) 40°.



Fig. 2 : Programmation du laser. Œil dominant OD : PROSCAN +2,00 (-0,25) 150°. Œil dominé OG : SUPRACOR Strong +2,5 (-1) 10° target -0,5.

■ Conclusion

La presbytie peut être corrigée efficacement au laser Excimer par une modification de l'asphéricité cornéenne de l'œil dominé, qui augmente la profondeur de champ grâce à un traitement "varifocal" du mode SUPRACOR du laser TECHNOLAS TENEO 317. Cette modification de la

profondeur de champ associée à une micromonovision permet d'obtenir une vision satisfaisante de près tout en conservant une bonne vision de loin.

Le choix de la programmation en PROSCAN sur œil dominant et en SUPRACOR sur œil dominé pour les traitements de la presbytie en Lasik donne d'excellents résultats puisque 100 % des patients obtiennent **une acuité visuelle sans correction binoculaire \geq 8/10 ET Parinaud 3** ou mieux en un ou deux temps. Elle a pour avantage d'éviter la diminution transitoire de la vision de loin que l'on peut obtenir si la correction est programmée en "varifocal" SUPRACOR bilatéral.

L'auteure a déclaré être consultante pour Bausch + Lomb, BVI, Hoya et Zeiss.

La Revue annuelle de la Clinique de la Vision est réservée aux ophtalmologistes. Elle est routée avec le numéro d'octobre 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:** M. Perazzi, D. Plaisance
Imprimerie L'Ormont, Saint-Dié-des-Vosges • Dépôt légal: 4^e trimestre 2022 • ISSN: 1242-0018

enVista®
hydrophobic acrylic IOL

enVista® toric
One-piece Hydrophobic Acrylic Toric Intraocular Lens

BAUSCH+LOMB
SimplifEYE™

Plateforme préchargée enVista® enhanced monofocal et monofocal torique



Accédez au calculateur
torique enVista®

enVista®, enVista® torique et enVista® torique preloaded. Organisme notifié : TÜV Rheinland, CE0197. Fabricant: Bausch + Lomb Incorporated, USA. Mandataire: Bausch + Lomb GmbH, Allemagne ; sont des implants optiques destinés à remplacer le cristallin naturel de l'œil humain. Dispositifs Médicaux de classe IIb. Avant utilisation, lire attentivement les instructions figurant dans la notice et sur l'étiquetage. 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 intraoculaires.

© 2021 Bausch & Lomb Incorporated. ®/™ sont les marques déposées de Bausch&Lomb ou de ses filiales. Tous les autres noms de marque/produit sont des marques commerciales de leurs propriétaires respectifs. Bausch & Lomb France SAS à associé unique au capital de 163 650 150 € immatriculée au RCS de Montpellier sous le n°240 275 650 dont le siège social est sis 416, rue Samuel Morse CS 79005 - 34967 Montpellier. 22/06/BAUSCHLOMB/PM/002



BAUSCH+LOMB
Mieux voir. Mieux vivre

TECHNOLAS® 317
TENEOLAS™ MODEL 2

1 s / D*

360°

INTRODUCING

TransEPI

1740 Hz

BAUSCH + LOMB

Le traitement TransEPI est un algorithme, utilisé par le laser TECHNOLAS® TENEOLAS™ 317 Model 2 qui est un laser Excimer utilisé dans la chirurgie réfractive. Ce système permet de réaliser l'ablation préprogrammée précise de la cornée de l'oeil humain pour corriger les erreurs réfractives en remodelant la surface cornéenne en mode LASIK, par une ablation de surface ou transPKR. Dispositif médical de classe IIb qui porte le marquage CE0197 établi par le TÜV Rheinland LGA Products GmbH (CE0197). Fabricant légal: Technolas Perfect Vision GmbH, Allemagne. Avant utilisation, lire attentivement les instructions figurant dans la notice et sur l'étiquetage. Les procédures chirurgicales inhérentes à cette plateforme laser ne sont pas prises en charge par les organismes publics d'assurance maladie. Veuillez contacter votre représentant Bausch+Lomb pour plus d'informations sur TECHNOLAS® TENEOLAS™ 317 MODEL 2. 22/09/BAUSCHLOMB/PM/003

* Traitement myopique standard sur zone optique de 6 mm - 1740 Hz = Fréquence de l'EyeTracker - 360° = Rotation du microscope - Introducing = Présentation du

www.bausch.com | www.bausch.fr