

Chirurgie Laser Vision



VISYA

Clinique de la Vision

CHIRURGIE RÉFRACTIVE 2019

Coordinateurs : C. ALBOU-GANEM et M. ASSOULINE

Éditeur : D.-A. LEBUISSON



www.cliniquevision.com

Avec le soutien de **BAUSCH+LOMB**
Chirurgie

1 s / D*

360°

INTRODUCING

TECHNOLAS® 317

TENEO™ MODEL 2

1740 Hz

BAUSCH + LOMB

Veuillez contacter votre représentant Bausch+Lomb pour plus d'informations sur TECHNOLAS® TENEO™ 317 MODEL 2.

Le design et les spécificités sont soumis à des changements sans préavis selon les avancées techniques en cours. Le Laser Excimer TECHNOLAS® TENEO™ 317 MODEL 2 est marqué CE0197. Les indications peuvent varier selon le pays. TECHNOLAS® et TENEO™ sont des marques déposées de Bausch & Lomb Incorporated. © 2017 Bausch + Lomb Incorporated. Tous droits réservés. Fabriqué par TECHNOLAS Perfect Vision GmbH. 18/04/BAUSCH&LOMB/PM/001

* 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



D.-A. LEBUISSON

Direction médicale de la Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.
dalebuisson@gmail.com

L'édition 2019

Depuis 2007, la Clinique de la Vision édite chaque année une revue consacrée à la chirurgie réfractive et à des notions intéressantes sur la chirurgie du segment antérieur.

Pour l'édition 2019, la coordination assurée par D.-A. Lebuissou est à l'avenir dévolue à C. Albou-Ganem et M. Assouline, qui possèdent une robuste expérience et compétence en ces domaines.

Cette revue est originale car elle est indépendante, les auteurs ne sont pas rémunérés et les sujets sont libres. Aucune pression pharmaceutique ne s'exerce et la seule publicité est l'encart du laboratoire Bausch + Lomb, sponsor unique et discret depuis l'origine.

Médicalement, la revue occupe une place certaine. La plupart des ophtalmologistes conservent les numéros dont la couverture blanche est désormais bien connue. De très nombreux auteurs participent à l'écriture dont beaucoup n'appartiennent pas au corps des thérapeutes du groupe Visya, entité réunissant les Cliniques de la Vision.

Nous espérons que la revue rencontre le même succès que par le passé et nous vous souhaitons une bonne lecture.



Implants intraoculaires hydrophobes préchargés



BAUSCH + LOMB
Mieux voir. Mieux vivre.

Les gammes EyeCee® One Preloaded et EyeCee® One Crystal Preloaded sont marquées CE0123, fabriqués par NIDEK C.O.LTD. Japon, Mandataire NIDEK S.A. Ces implants de chambre postérieure sont des dispositifs médicaux implantables de classe IIb réservés à l'usage des chirurgiens ophtalmologistes et indiqués dans le traitement chirurgical de la cataracte par remplacement du cristallin. Veuillez lire attentivement les instructions figurant sur les notices respectives. Dispositifs médicaux pris en charge par les organismes d'assurance maladie au titre de leur inclusion dans le financement des groupes homogènes de malades et de séjour relatifs aux interventions intraoculaires sur le cristallin.

*Les constantes sont des estimations. Il est recommandé que chaque chirurgien ajuste ses valeurs.
© Bausch & Lomb Incorporated.



M. ASSOULINE
Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.
dr.assouline@gmail.com

Passage du témoin

L'année 2019 marque probablement un tournant important dans l'évolution de la chirurgie réfractive. Nous amorçons le passage de témoin entre les fondateurs de notre discipline et les nouvelles générations de chirurgiens qui se sont formés à des procédures déjà bien établies par l'expérience de plus de 60 millions de cas. Ce que les uns ont conquis en 30 ans à force d'audace et de rigueur à partir d'une "page blanche" pour rendre la correction chirurgicale des défauts visuels plus efficace et sûre, les autres devront le faire encore progresser pour le diffuser et le généraliser. Nos collègues entrants devraient bénéficier pour cela de la 5^e révolution industrielle, fondée sur les *data sciences*.

■ En attendant l'intelligence artificielle...

Notre incapacité relative à démontrer incontestablement les acquis de la chirurgie réfractive, malgré l'accumulation des études scientifiques, prête en effet toujours à confusion. En dépit de 3 décennies de progrès constants et de succès remarquables, de nombreux préjugés contribuent à limiter encore l'adoption de la chirurgie réfractive en France et dans le monde. Les patients, souvent peu ou mal informés par les médias (mais aussi par les médecins et les ophtalmologistes non spécialistes qui les conseillent) retiennent souvent des convictions erronées pour renoncer à la qualité de vie que leur offrirait une intervention, qualifiée pourtant de bénigne par les experts dans la majorité des cas. Il faut donc saluer l'article si utile de Barbara Ameline-Chalumeau, qui contre-argumente méthodiquement les 10 principales idées fausses auxquelles sont confrontés quotidiennement les chirurgiens. Dans ce même esprit, Jean-Luc Fraimout et Erick Laurent rapportent, contrairement à une idée reçue, des résultats très favorables chez les patients strabiques au prix d'une adaptation minime des modalités de prise en charge et de quelques conseils de prudence.

Après l'intelligence individuelle créatrice ("disruptive") et la confrontation "académique" collective des savoirs, c'est donc à présent de l'intelligence "artificielle" que nous attendons les principaux progrès. Les outils de l'intelligence artificielle (IA) devraient nous permettre de surmonter l'écueil des variations interindividuelles pour éradiquer la fluctuation résiduelle des résultats, tendre vers le risque zéro et affirmer ainsi la pleine maturité technique de notre spécialité.

Dans ce 11^e numéro spécial "Clinique de la Vision" de la revue *Réalités Ophtalmologiques*, coordonné avec Cati Albou-Ganem, plusieurs articles font directement ou indirectement référence à l'IA. Florent Costantini fait le point des principes et applications potentielles de l'intelligence artificielle en chirurgie réfractive et pour le dépistage du kératocône. L'évaluation multifactorielle du risque évolutif du kératocône, discutée par David Touboul à propos du mode d'action encore hypothétique du *cross-linking* cornéen et du frottement oculaire, présente les mêmes difficultés

et probablement les mêmes solutions numériques. Un autre exemple concret d'une problématique susceptible de bénéficier d'une approche *IA/Big Data* est présenté par Nicolas Mesplié. Sur près de 7413 cas de Lasik, 1,3 % ont eu une kératométrie postopératoire de plus de 49 dioptries, dont 1/9 ont eu une perte d'acuité visuelle d'1 ou 2 lignes, sans qu'il soit possible de conclure à un lien de causalité par des statistiques classiques, compte tenu de la rareté de cette complication et des cofacteurs impliqués dans la chirurgie des fortes hypermétropies (amblyopie associée et réduction de la taille d'image comme le suggère l'auteur ou asymétrie ablatrice autour du vertex du fait de l'angle kappa et astigmatisme irrégulier induit selon nous ?).

■ ... la chirurgie réfractive cornéenne se porte bien...

En attendant, l'évolution technique des méthodes de chirurgie réfractive cornéenne se poursuit à un rythme régulier.

La T-PKR transépithéliale proposée cette année par 2 laboratoires (SmartSurf^{ACE}-Schwind et StreamLight-Alcon) préfigure sans doute la chirurgie réfractive robotisée du futur. Alain Hagège fait le point des avantages et des inconvénients de cette approche. Il n'est pas impensable que lorsque les problèmes de dissipation d'énergie thermique et de profils ablatifs épithéliaux spécifiques seront parfaitement résolus, le rôle de l'ophtalmologiste se restreigne à l'accompagnement pré- et postopératoire du patient.

Tom Than Trong montre à propos d'un cas que l'orthokératologie, une approche réfractive utile pour les adolescents à condition d'en accepter les contraintes, le coût et le risque infectieux, ne fait pas obstacle à une chirurgie réfractive ultérieure lorsque ceux-ci arrivent à l'âge adulte.

L'élégante méthode du Smile Relax gagne très lentement du terrain sur le marché français, surtout auprès des jeunes chirurgiens, mais semble régresser à la Clinique de la Vision. Ses partisans de la première heure restent convaincus... et convaincants. Cati Albou-Ganem et Barbara Ameline-Chalumeau présentent leurs résultats satisfaisants du Smile à 3 mois sur la réfraction, la sécheresse oculaire, la sensibilité aux contrastes et la qualité de vision. Myriam Assad et Thierry Chazalon confirment, dans une série de 168 cas d'astigmatisme supérieur à 1,5 D, que, grâce à un repérage astucieux de la cyclotorsion peropératoire, le Smile permet d'obtenir des résultats presque comparables à ceux du Lasik

guidé par la reconnaissance irienne. Si 70 % des cas avaient un cylindre préopératoire inférieur ou égal à 2 D, 82 % des cas obtiennent un astigmatisme résiduel à 3 mois inférieur ou égal à 0,5 D.

Comme le rapporte Jean-Christophe Gavrillov, le risque d'ectasie post-Smile paraît exceptionnel, sans pouvoir être comparé scientifiquement à celui de la PKR (qui serait inférieur) ou du Lasik (qui serait supérieur). Les quelques cas rapportés sont en effet survenus sur une majorité d'yeux porteurs d'un kératocône fruste avéré.

La chirurgie du kératocône qui doit avant tout améliorer la qualité de vision et stabiliser l'évolutivité de la déformation cornéenne devient également réfractive. Olivier Prisant détaille les points importants pour optimiser le résultat visuel des segments intracornéens et du *topolink*.

Pierre Fournié fait la synthèse de 14 études publiées sur les résultats réfractifs des procédures Xtra (laser ablatif réfractif + *cross-linking* du collagène cornéen). La démonstration de l'efficacité de cette approche nécessiterait des études randomisées sur des cohortes importantes et un long suivi. Ces procédures ne semblent pas dénuées de complications parfois sévères (ectasie après Lasik-Xtra, nécrose cornéenne après PKR-Xtra) et ne peuvent donc être recommandées en routine.

Fabien Rouimi, Nacim Bouheraoua et Laurent Laroche rapportent les résultats sur 45 cas de la compensation de la presbytie par Lasik multifocal sur l'œil non dominant seul. En utilisant un protocole désormais classique (modulation du facteur Q visant une asphéricité de -0,8 chez l'hypermétrope), ils obtiennent une acuité non corrigée binoculaire de loin de 10/10 dans 93 % des cas et de Parinaud 2 dans 52 % des cas.

La chirurgie additive de la presbytie par lentille intracornéenne (*inlay*) se heurte depuis les travaux de Choyce (1968) au problème de la biocompatibilité des implants dans le milieu physiologiquement si exigeant du stroma cornéen. À long terme, tous les types d'implants et de matériaux finissent par se compliquer d'une nécrose stromale antérieure aseptique par défaut de perméabilité au glucose et aux acides aminés. C'est pourquoi il faut regarder avec attention les premiers résultats de l'étude européenne, rapportés par François Malecaze et Kevin Pierne, des *inlays* alloplastiques préparés semi-industriellement à partir de cornée humaine par laser (Allotex) pour la correction chirurgicale de l'hypermétropie et de la presbytie.

■ ... et la chirurgie réfractive de la cataracte aussi...

Réservée à quelques experts il y a 10 ans, la chirurgie réfractive de la cataracte tend à devenir la norme. Les patients éclairés n'acceptent à présent que très difficilement d'avoir à porter une correction optique permanente quand leurs amis ont pu s'en passer définitivement.

Si la chirurgie de la cataracte est devenue une "formalité" dans l'esprit de la majorité des patients et des chirurgiens, quelques cas présentent des difficultés techniques. Comme le rappelle Jean-Luc Febbraro, les alpha-bloquants pour hypertrophie prostatique bénigne, soit tamsulosine (Omix, Omixel, Jozir, Meciret), soit alfuzosine (Xatral, Urion), exposent au risque de syndrome de l'iris flasque et concernent 4 % des 800 000 cataractes opérées chaque année en France. Une stratégie chirurgicale adaptée, l'utilisation d'agents dilatateurs intracaméculaires et éventuellement de dispositifs dilatateurs iriens permettent d'en maîtriser les conséquences.

L'obtention de l'emmétropie n'est, par ailleurs, pas si triviale. Comme le souligne, Mickaël Sellam, les biomètres OCT *swept source* et les formules de calcul récentes, notamment optimisées par intelligence artificielle (Hill-RBF), améliorent la prédictibilité du calcul de l'implant. Laurent Gauthier détaille également l'aspect mathématique de la modélisation optique ou de l'optimisation par intelligence artificielle de cette prédiction biométrique.

La correction de l'astigmatisme préopératoire demande également quelques efforts. Plus d'un patient sur 5 présente un astigmatisme préopératoire supérieur à 1,5 D. Clémence Bonnet et Dominique Monnet passent en revue les méthodes de correction de l'astigmatisme en chirurgie de la cataracte (incision sur axe cambrée, incisions relaxantes limbiques manuelles ou au laser femtosconde, incisions intrastromales ISAK et implants toriques). Confronté à l'astigmatisme irrégulier d'un kératocône, il est parfois difficile de quantifier l'impact visuel d'une cataracte et important de comprendre les subtilités et les pièges de sa prise en charge, évoqués dans l'excellent article de Dominique Piétrini, notamment pour le calcul biométrique, le choix éventuel d'une correction torique ou multifocale et l'utilisation de méthodes complémentaires.

La compensation de la presbytie par les implants multifocaux tend progressivement, du fait de son efficacité immédiate

et à long terme, à remplacer les traitements laser de type PresbyLasik à partir de 58 à 60 ans, mais reste marginale avec moins de 8 % des parts de marché en France et moins de 1 % dans le monde. Pourtant, les experts les utilisent dans 50 à 80 % des cas. L'efficacité des implants multifocaux a en effet été améliorée par l'optimisation des structures optiques diffractives ou réfractives. Thierry Amzallag présente une application sous logiciel MATLAB permettant d'intégrer la surface sous la courbe de défocalisation subjective afin de comparer les propriétés optiques des implants multifocaux. Ces résultats cliniques sont très superposables à ceux que nous présentons nous-même, à propos d'une série de 2099 cas, et que nous avons corrélés à la modélisation optique de la transmission de l'énergie lumineuse sur les différents foyers (cartographie 3D des MTF par ZEMAX studio).

Les implants à profondeur de champ étendue se sont aussi diversifiés, ainsi que le rappelle Esther Blumen-Ohana (Tecnis Symphony, Zeiss ATLARA, AcuFocus IC-8, Morcher XtraFocus, Mini Well, Instant Focus). Ces implants permettent une approche plus douce, sinon aussi efficace, de la multifocalité et, combinés à une légère sous-correction de l'œil non dominant, apportent un confort certain chez les patients dont les capacités visuelles neurosensorielles ou neuroadaptatives pourraient se révéler insuffisantes.

Les effets photiques indésirables des implants multifocaux (halos notamment) ont également été réduits par la conception d'optiques plus sophistiquées (apodisation, réduction du nombre de marches diffractives, limitation de la structure diffractive à la zone centrale de l'optique...). Ces effets visuels sont, dans la grande majorité des cas, bénins et transitoires du fait de la neuroadaptation cérébrale: "On ne voit pas avec ses yeux mais avec son cerveau!" De ce fait, les cas d'intolérance persistante et significative nécessitant une explantation sont devenus exceptionnels (aucun cas dans notre série personnelle de plus de 2000 implants), comme le rappelle Pascal Rozot, qui détaille également les précautions techniques particulières qui permettent d'en réduire le risque.

Comme pour la chirurgie de la cataracte, les nouvelles greffes de cornées se prêtent finalement assez bien à un objectif réfractif associé. Pour Éric Gabison, il n'est plus impensable d'associer DMEK et implants toriques (voire multifocaux ?), ou de réhabiliter une ancienne greffe transfixiante par une combinaison de chirurgie réfractive de l'astigmatisme et de DMEK. Louis Hoffart et Gaëlle Ho Wang Yin soulignent la convergence des résultats visuels et réfractifs comparés des DMEK et des DSAEK ultrafines.

■ ... mais l'ophtalmologie reste confrontée à de sérieux défis démographiques et économiques !

L'inflation des technologies innovantes coûteuses de diagnostic et de traitement dans notre pratique quotidienne n'est pas nouvelle, mais pose la question de l'accessibilité pour le plus grand nombre.

Dans ce numéro, Benoît Briat, Jérôme Agussan et Charlotte Francaud dressent un beau panorama des possibilités diagnostiques du Casia2, OCT *swept source* du segment antérieur dont la résolution axiale est de moins de 10 μm de l'épithélium à la cristalloïde postérieure en passant par le trabeculum (mais seulement 30 μm en transverse, peut être insuffisant pour la topographie cornéenne ?).

Pierre Levy et Séverine Pellen ont utilisé l'interférométrie du film lacrymal (Lipiview, Tear Science) et la meibographie pour évaluer les dysfonctions meibomiennes préopératoires chez 500 patients de moins de 40 ans et montré que 9 % de ces sujets "jeunes" ont déjà une atrophie sévère des glandes de Meibomius. Cati Albou-Ganem a testé avec succès la lumière pulsée (E-Eye de E-Swin) pour améliorer la symptomatologie de sécheresse oculaire de ces patients. Ces instrumentations témoignent du dynamisme de l'industrie, mais la majorité des cabinets d'ophtalmologie individuels ne peuvent en réalité faire l'acquisition de ces moyens pourtant très utiles aux patients.

Comme le souligne Dan Lebuissou, alors que plus de 2/3 des Français sont concernés par l'ophtalmologie en dehors des actes purement préventifs, la croissance rapide des dépenses publiques liées à l'activité libérale des ophtalmologistes depuis 5 ans (+21,6 %), partiellement masquées par les dépassements d'honoraires (25,6 % des dépenses en 2016),

attire à présent l'attention de la Cour des comptes, tandis que les délais d'attente incitent les autorités de tutelle à déléguer, tout d'abord au sein des cabinets d'ophtalmologie puis bientôt à d'autres professionnels de santé, des missions de plus en plus larges.

La création de grands centres coordonnant des cabinets secondaires satellites, regroupant parfois des dizaines d'ophtalmologistes, comme l'évoque Vincent Dedes à propos de son Cabinet d'ophtalmologie des Flandres (COF), apparaît comme la réponse actuelle la plus logique à ce problème, en mutualisant les matériels et en favorisant le travail aidé. Cette solution implique cependant une forte cohésion professionnelle pour assumer les lourds investissements et les frais de fonctionnement requis.

L'évolution des pratiques professionnelles, en phase avec celle des techniques, n'est pas non plus facile à implémenter. Jean-François Montin revient sur l'expérience unique initiée au CMC Foch en 1995 (par Dan Lebuissou) avec l'essor de la phacoémulsification à globe fermé, et qui permit d'opérer plus de 10 000 cataractes sous anesthésie topique pure sans médecin ou infirmier anesthésiste présent. Transposée pour seulement 50 % des patients en France, ce mode de prise en charge permettrait, outre de simplifier considérablement le parcours patient, de réaliser une économie directe annuelle de plus de 70 millions d'euros. Renoncer à l'anesthésie conventionnelle ouvrirait cependant la voie à un transfert de l'activité de cataracte hors des établissements de soins, une hypothèse politiquement aussi incorrecte en 2019 qu'en 1995...

Bonne lecture à toutes et tous,

Michaël Assouline et Cati Albou-Ganem

La Revue annuelle de la Clinique de la Vision est réservée aux ophtalmologistes. Elle est routée avec le numéro d'avril de *Réalités Ophtalmologiques*. La reproduction totale ou partielle exige une autorisation de la société editrice.

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:** S. Hamon, M. Anglade • **Maquette:** M. Perazzi, D. Plaisance

Imprimeries Bialec, Nancy • Dépôt légal: 2^e trimestre 2019 • ISSN: 1242-0018

SOMMAIRE

L'édition 2019 D.-A. LEBUISSON	3
Passage du témoin M. ASSOULINE	5
De quoi aurons-nous besoin : intelligence disruptive, collective ou artificielle ? M. ASSOULINE	11
Intelligence artificielle et chirurgie réfractive F. COSTANTINI	19
10 idées fausses contre la chirurgie réfractive B. AMELINE-CHALUMEAU	24
Considérations économiques et fonctionnelles des installations en ophtalmologie libérale. Impact en chirurgie réfractive D.-A. LEBUISSON	28
Les facteurs clés de succès dans la création d'un cabinet d'ophtalmologie en travail aidé : le point de vue d'un ophtalmologiste V. DEDES	43
Expérience et discussion sur 10 000 opérations de cataracte sous anesthésie locale isolée par seule instillation de gouttes J.-F. MONTIN	46
PKR transépithéliale : questions et réponses autour des solutions SmartSurf^{ACE} (Schwind) et StreamLight (Alcon) A. HAGÈGE, W. GHOUALI, J.-P. ROZENBAUM, O. CASADESSUS	52
Évolution sur 3 mois de la réfraction, la sensibilité aux contrastes et la qualité de vision après Smile C. ALBOU-GANEM, B. AMELINE-CHALUMEAU, C. RIGAL-SASTOURNÉ, D. FERH	68
Comment traiter l'astigmatisme avec le Visumax : astuces et résultats M. ASSAD, T. CHAZALON	71
Chirurgie réfractive par laser après orthokératologie T. THAN TRONG	78
Strabisme et chirurgie réfractive au laser excimer en 2019 J.-L. FRAIMOUT, E. LAURENT	82
Ectasie et Smile, où en sommes-nous ? J.-C. GAVRILOV	88
Cross-linking et chirurgie réfractive P. FOURNIÉ	93
Kératométries postopératoires en Lasik : les cornées plates ou bombées altèrent-elles la qualité de vision ? N. MESPLIÉ	98
PresbyLasik par modulation du facteur Q (F-CAT) F. ROUMI, N. BOUHERAOUA, L. LAROCHE	102

SOMMAIRE

Utilisation de lentilles réfractifs allogéniques dans la chirurgie de la presbytie F. MALECAZE, K. PIERNE	107
Syndrome de l'iris flasque dans la chirurgie de la cataracte : intérêts des différents anneaux de dilatation irienne J.-L. FEBBRARO	112
Cataractes : quels biomètres et quelles formules en 2019 ? M. SELLAM	116
Optimisation des résultats du calcul d'implant et intelligence artificielle L. GAUTHIER	121
Optimiser la gestion de l'astigmatisme en chirurgie de la cataracte C. BONNET, D. MONNET	127
Modèle mathématique d'évaluation des lentilles intraoculaires corrigeant la presbytie T. AMZALLAG, J. PYNSON	132
Implants multifocaux : de la théorie à la pratique Étude rétrospective à propos de 2 099 cas M. ASSOULINE, L. BESSEDE, T. GUEDJ, C. JULLIEN, M. DE OLIVEIRA, C. SENG, A. HOFF	140
Implants à profondeur de champ, un choix de première intention ? E. BLUMEN-OHANA	149
Explantation des implants multifocaux à visée optique P. ROZOT	152
Intérêt du Casia2 pour l'analyse du segment antérieur B. BRIAT, J. AGUSSAN, C. FRANCAUD	157
La chirurgie conservatrice du kératocône peut-elle répondre à la demande de réfractive des patients ? O. PRISANT	166
Cataracte et kératocône D. PIÉTRINI, T. GUEDJ	179
Nouvelles greffes de cornée : nouvelles stratégies thérapeutiques É. GABISON	186
Indications et résultats des techniques de greffes endothéliales L. HOFFART, G. HO WANG YIN	190
Kératocône et frottements oculaires : quelle est la place du <i>corneal collagen cross-linking</i> ? D. TOUBOUL	194
Résultats de l'étude systématique de la surface oculaire avant chirurgie réfractive chez les patients de moins de 40 ans : à propos de 500 cas P. LEVY, S. PELLEN, J. COULLET, V. DIMEGLIO, J.-L. FRAIMOUT, C.-F. SCHMITT-BERNARD, B. BRAUNSTEFFER, M. BALDASSO	198
Évaluation subjective de l'amélioration de la sécheresse oculaire traitée par lumière pulsée C. ALBOU-GANEM	203



M. ASSOULINE
Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.
dr.assouline@gmail.com

De quoi aurons-nous besoin : intelligence disruptive, collective ou artificielle ?

La presse grand public déborde aujourd'hui des étonnantes opportunités liées à l'accélération de l'innovation technologique, notamment dans le domaine de l'intelligence artificielle (IA) et de sa contribution potentielle majeure aux futurs progrès médicaux.

30 années de participation à l'effort de recherche et développement (R&D) de notre discipline m'incitent à tenter de réfléchir à l'enchaînement causal des fantastiques progrès dont nous avons été régulièrement les témoins, et parfois les acteurs pour les plus motivés ou les plus chanceux.

En chirurgie ophtalmologique, notamment réfractive, comme dans l'industrie de pointe, un progrès n'arrive pas par hasard et rarement de façon isolée. À l'origine de chaque innovation déterminante, on trouve une combinaison variable d'intelligence disruptive et d'intelligence collective.

L'expansion récente de l'intelligence artificielle ouvre des perspectives inédites qu'il nous incombe d'appréhender rapidement pour accélérer l'amélioration du service médical rendu de notre spécialité et son rayonnement.

■ Intelligence disruptive

La majorité des innovations en ophtalmologie est née de la confrontation d'un praticien avec une situation clinique non résolue.

Cela a été le cas des implants intraoculaires (Ridley), du laser rétinien (Meyer-Schwickerath), de la vitrectomie (Machemer/Parel), de la phacoémulsification (Kelman), de la capsulotomie au laser YAG (Aron-Rosa), de la PKR au laser excimer (Trokel), des implants multifocaux diffractifs (Isaacson), du Lasik (Pallikaris/Burratto), du PresbyLasik (Chaubard/

Ghenassia), du laser femtoseconde (Juhász) des anti-VEGF pour la DMLA (Rosenfeld)...

Bien évidemment, les principes physiques et techniques utilisés dans ces innovations ont été l'aboutissement d'une longue chaîne de progrès scientifiques collectifs, mais c'est l'intuition puis la détermination obstinée d'un individu qui ont contribué le plus souvent à imposer une méthode nouvelle, au détriment des précédentes, rendues ainsi obsolètes.

Très souvent, l'intelligence collective doit donc être bousculée et catalysée par une contribution plus individuelle et aléatoire d'intelligence disruptive.

Le *quantum leap* et le *paradigm shift* anglo-saxons traduisent l'éclair de lucidité individuel ("eurêka", " $E = mc^2$ ") ou l'aboutissement d'une voie alternative, solitaire et étroite par laquelle les règles et les traditions normatives de la connaissance sont remises en cause, afin d'ouvrir une réflexion nouvelle, plus juste, plus efficace ou plus inclusive.

Cette capacité de certains à concevoir l'innovation en dehors des schémas établis et reproduits par le grand nombre traduit autant l'aptitude individuelle (le "génie" mathématique ou créatif, la volonté d'affronter les paradoxes dont la majorité s'accommode, la capacité d'observer et de penser par soi-même *out of the box*) que des variations de configurations sociétales particulières et souvent stéréotypées favorisant une forme utile de rébellion intellectuelle. Pour caricaturer, le phénotype de "l'innovateur disruptif" sera plus volontiers gaucher, deuxième de sa fratrie, issu d'une minorité, porteur d'un handicap et ayant bénéficié d'un système éducatif et social trop (ou parfois trop peu) normatif...

En chirurgie, la méfiance collective naturelle qui accompagne l'émergence d'une idée nouvelle contribue à un affrontement

formel salulaire et à un arbitrage par les pairs (*peer review*), gage d'une acceptation fondée sur une évaluation contradictoire plutôt que sur la séduction de la nouveauté.

Le chemin est souvent fastidieux. L'idée disruptive du PresbyLasik multifocal ou des implants asphériques multifocaux, selon laquelle une majoration des aberrations optiques d'ordre supérieur contribue à améliorer la profondeur de champ tout en préservant une qualité de vision raisonnable, a mis plus de 20 ans à s'imposer. Le partage de la lumière par les implants diffractifs génère depuis 30 ans la même suspicion. Les implants phiques de chambre postérieure, solution élégante, efficace et sûre pour la correction des fortes myopies, ne sont utilisés que par une minorité de chirurgiens après 25 ans d'expérience et près de 1 million de cas traités.

■ Intelligence collective

L'innovation technique s'accélère depuis le Néolithique, de façon récemment exponentielle du fait du partage de l'information et de l'intelligence collective construite par l'organisation sociale. La démographie, l'éducation et les moyens de diffusion plus performants permettent l'accumulation, la transmission, le partage ainsi que la confrontation plus ouverte et méthodique des concepts et des connaissances.

Dans notre spécialité très dynamique, la récurrence élevée des événements d'échanges et de formation postuniversitaires locaux ou internationaux est le moteur principal de l'évolution de nos pratiques professionnelles, qui équilibre le besoin de se démarquer par l'innovation concurrentielle (émulation) et la prudence de ne pas s'exposer au risque médico-légal sous-tendu par la position collégiale (consensus).

L'intelligence collective est particulièrement apte à mettre en œuvre des progrès incrémentaux basés sur le recueil minutieux des données et la fiabilité de leur analyse.

Le *kaizen* japonais (littéralement le "changement meilleur") est un processus d'amélioration continue largement adopté par l'industrie, fondé sur des actions concrètes, simples et peu coûteuses, et sur un état d'esprit qui nécessite l'implication de tous les acteurs.

Cette dynamique collective du progrès bénéficie avant tout d'une arborescence séquentielle des tâches. Classiquement, la science fondamentale (exemple : l'optique ondulatoire

et quantique) ouvre la voie de la recherche translationnelle (optique ultrarapide), laquelle alimente régulièrement le pipeline de l'innovation technique pour la R&D commerciale applicative (laser femtoseconde), dont s'emparent rapidement les utilisateurs (femto-Lasik, Smile...) au bénéfice des consommateurs (les patients) et des investisseurs avisés (les fonds de pension).

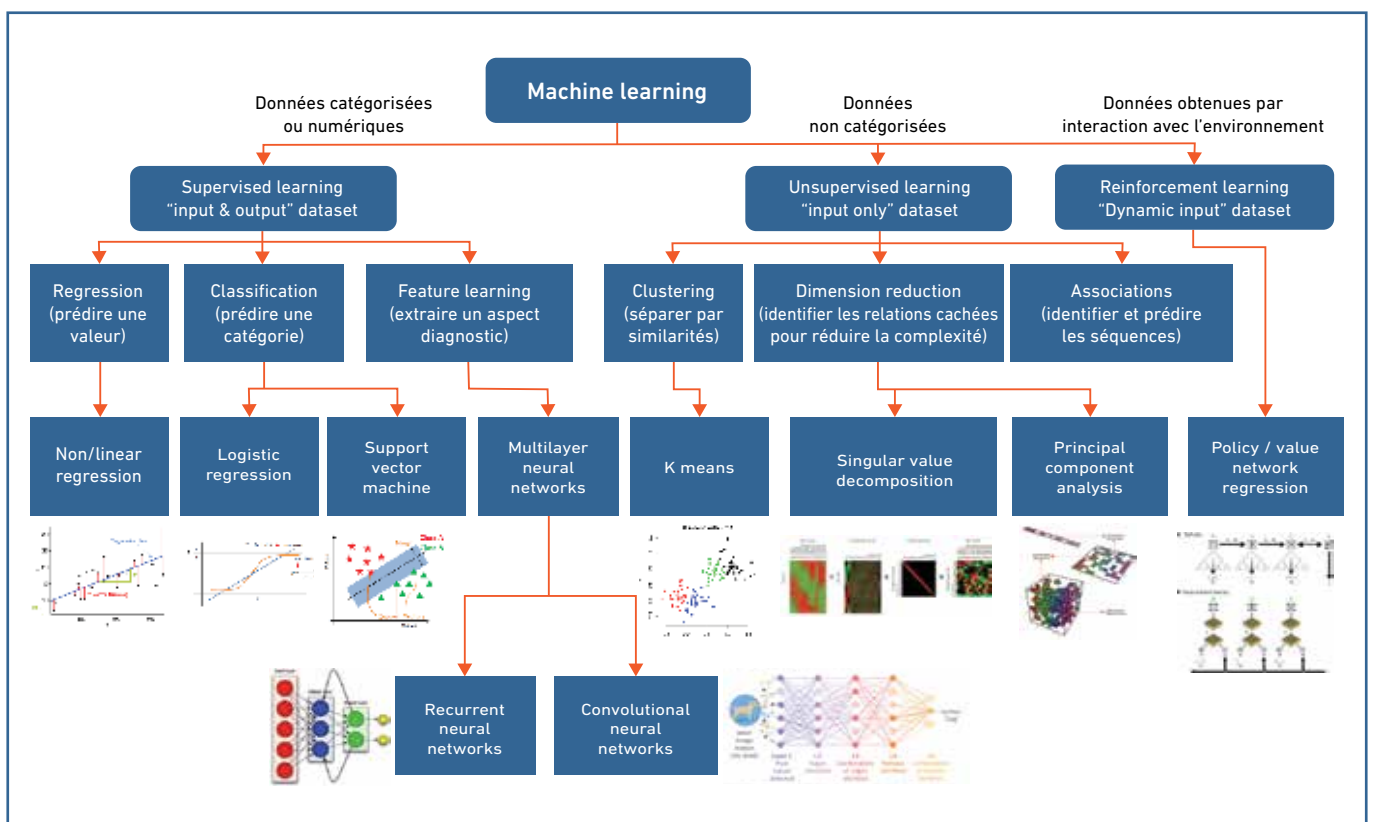
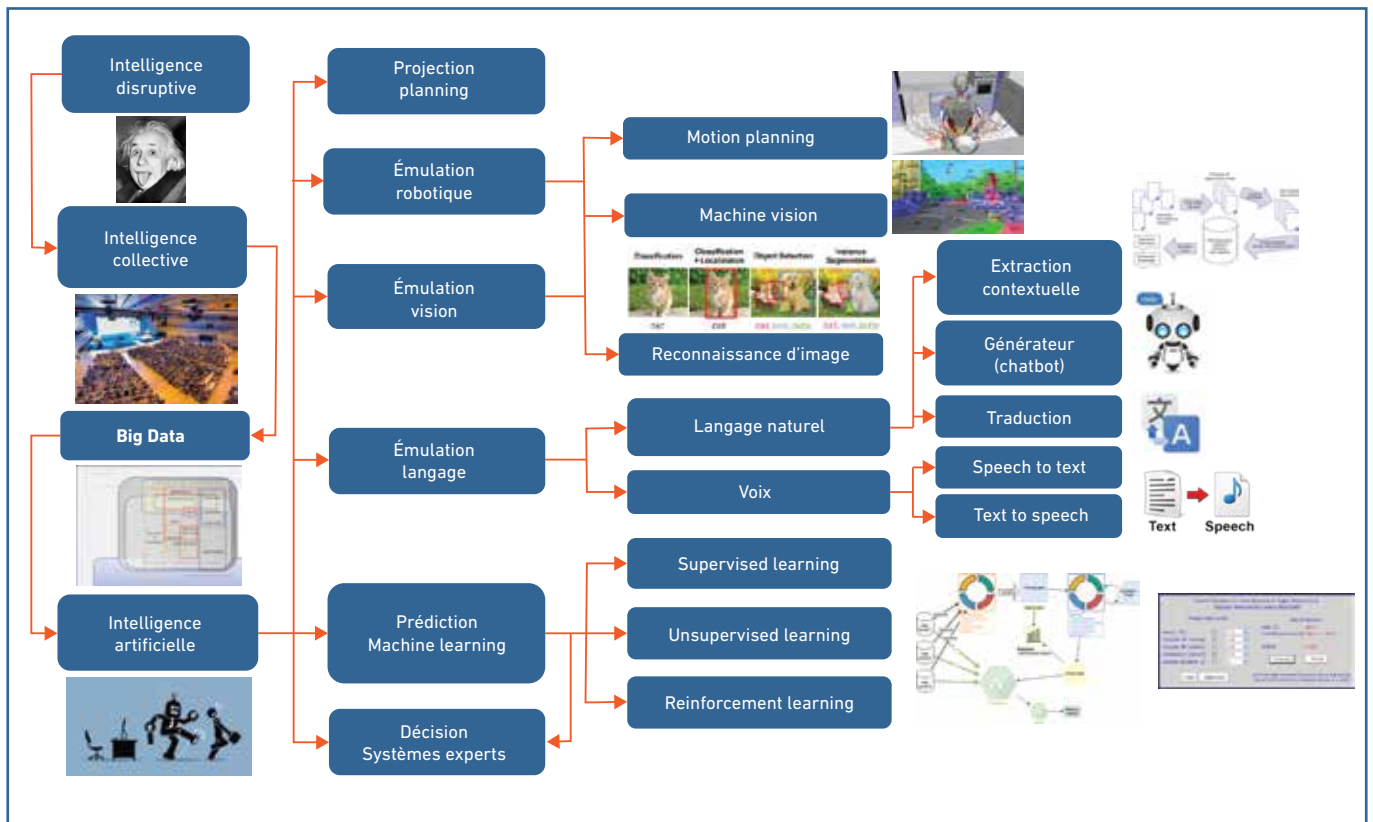
L'intelligence collective prospère également du fait d'une diversification transversale importante. De nombreuses équipes confrontées à la même problématique appliquent des méthodes d'investigation qui diffèrent selon leur culture ambiante, leur domaine d'expertise et la personnalité de leurs membres. Plusieurs solutions concurrentes (ou parfois étrangement similaires) peuvent émerger. Le champ actuel d'investigation des implants accommodatifs témoigne de cette riche diversité créatrice.

Dans le monde contemporain, les systèmes collectifs de protection de la propriété intellectuelle garantissent un stimulus puissant en faveur de l'innovation, favorisée par le fait qu'une idée préemptée par un brevet contraint immédiatement les autres chercheurs à explorer les autres voies disponibles.

Les principes rigoureux de l'édition scientifique validée par des pairs offrent un modèle incomparable de promotion d'une forme de vérité consensuelle qui sert de socle solide, mais contraignant, à l'évolution des idées. C'est l'acuité pertinente de ce système qui nous a conduit à délaisser des techniques pourtant jugées initialement efficaces (la KR, l'Intracor, les implants accommodatifs, les *inlays* intrastromaux, la femto-chirurgie de la cataracte) ou à réhabiliter des méthodes qui paraissaient "déclassées" (la PKR, les greffes lamellaires).

C'est également la rigueur méthodologique des outils modernes de santé publique qui nous permettent d'arbitrer l'adoption des techniques chirurgicales en devenir (Smile vs Lasik, PresbyLasik vs implants multifocaux, segments intracornéens vs *cross-linking*, DMEK vs DSAEK vs greffe transfixiante, par exemple) Les études longitudinales ou prospectives anglo-saxonnes et les "registres" épidémiologiques nationaux australiens ou suédois en sont les meilleurs exemples.

Dans le domaine de l'évaluation subjective (symptomatologie, souffrance, qualité de vision, qualité de vie), la montée en puissance des questionnaires validés collectivement par une méthodologie précise permet de corrélérer la pertinence du diagnostic ou la qualité du service médical rendu aux données



médicales objectives. Le questionnaire collaboratif sur le kératocône mis en œuvre par notre ami le Pr David Touboul est un bon exemple de cette démarche.

La connectivité accrue des acteurs, la mise en ligne de logiciens experts, les réseaux interdisciplinaires et transnationaux, les centres d'excellence, les partenariats public-privé, le *crowdsourcing*, les plateformes de collaboration en ligne sont autant de formes nouvelles de l'intelligence collective favorisée par la digitalisation de l'information. Dans notre spécialité, chaque praticien peut par exemple bénéficier de la somme considérable de travail collectif matérialisée par les sites de calcul biométrique postréfractif de l'ASCRS (www.iolcalc.com) ou de calcul des corrections toriques résiduelles (www.astigmatismfix.com).

La rigueur de l'information scientifique contraste avec la "souplesse" de l'information plus subjective diffusée par les médias grand public ou les réseaux sociaux, et l'inquiétante dissémination des opinions infondées ou des *fake news* manipulatoires. Le décalage de ces deux systèmes d'information est flagrant dans notre spécialité en ce qui concerne l'adoption de la chirurgie réfractive. Par exemple, le taux de chirurgiens réfractifs s'étant fait eux-mêmes opérer (27 % dans une étude récente) est, selon les pays, 10 à 20 fois plus élevé que celui de la population générale (3,7 % aux États-Unis, 1,18 % en Europe). Cependant, la grande majorité des patients, des journalistes et des ophtalmologistes eux-mêmes demeurent convaincus du contraire !

Les limites actuelles de l'intelligence collective, dont le potentiel paraît infini, sont précisément celles qui fondent la nécessité d'une intelligence disruptive : le manque de vision anticipatrice et la faible implication des acteurs concernés.

L'individualisme médical et l'absence de motivation administrative sont toujours aujourd'hui des freins puissants à la dynamique si efficace des *data sciences*, notamment dans les pays latins à moins forte pression sociétale et à faible exigence procédurale.

Par manque de moyens techniques, et surtout de volonté, nous laissons très largement inexploitée l'information utile recelée dans nos bases de données cliniques. Nous avons par exemple tiré assez peu d'enseignements des 100 000 yeux opérés en 20 ans (26 000 sur les 4 dernières années) à la Clinique de la Vision — Paris. Nous ne savons pas réellement préconiser un Lasik ou une PKR autrement que sur la base de notre intuition éclairée de cliniciens expérimentés,

alors que nous pourrions sans doute disposer d'un arbitrage scientifique plus objectif.

De même, nous disposons en théorie aujourd'hui de toutes les données cliniques quantitatives nécessaires pour déterminer si la chirurgie cristallinienne contemporaine présente un risque rhégmato-gène majoré avant 55 ans, mais d'aucune étude pertinente pour recommander un Lasik ou un Prelex autrement que sur la base de notre préférence personnelle.

L'exemple spécifique du kératocône, pour lequel les stratégies thérapeutiques sont encore largement subjectives, est tout aussi révélateur. En 12 ans, la Clinique de la Vision — Paris est devenue le premier centre français du traitement chirurgical du kératocône. Cependant, l'impressionnante cohorte de près de 1 800 cas traités au cours des seules 4 dernières années, qui correspond sur le plan épidémiologique à une population de plusieurs millions d'habitants, n'a pour l'instant fait l'objet d'aucune analyse statistique rétrospective ou prospective globale. De ce fait, le choix entre segments intracornéens, *cross-linking* et *topolink* relève plus d'une conviction individuelle que d'une démonstration scientifique. De façon caricaturale, l'intervention pourtant assez univoque de "mise en place de segments intracornéens" est libellée dans notre base de données médicales (*Electronic medical record*, EMR) sous 46 dénominations et orthographes différentes, un sérieux handicap pour toute tentative de recherche clinique en temps réel ou différée.

L'interprétation des données cliniques recueillies est affectée par de nombreux biais dont il est difficile de s'affranchir malgré les méthodes fastidieuses de randomisation prospective. Planifier une comparaison révèle un préjugé d'interprétation qui conduit à privilégier le recueil de certaines données jugées utiles au détriment d'autres variables.

La mise en commun de très grands nombres d'observations n'est pas toujours suffisante. L'analyse mathématique conventionnelle (analyse de variance, modèles de régression) n'est pas assez efficace pour déceler ou démontrer des corrélations utiles ou pour prédire les résultats d'un processus complexe. Par exemple, la prédictibilité de la réfraction postopératoire après chirurgie cristallinienne (environ 45 à 75 % de cas à $\pm 0,50$ D de l'objectif), fondée sur le calcul biométrique théorique ou empirique, est très inférieure à celle de la chirurgie réfractive au laser (environ 98 % à $\pm 0,50$ D). La position effective de l'implant (ELP pour *Effective Lens Position*) dépend de facteurs trop nombreux (variables indépendantes telles que la longueur axiale, la profondeur de la

chambre antérieure, le diamètre cornéen, la géométrie dynamique de l'implant après contraction du sac capsulaire) pour pouvoir affiner valablement le modèle de régression ou les formules de vergence prédictifs.

■ Intelligence artificielle

La loi de Gordon Moore (1965) prédisait que la puissance de calcul des processeurs doublerait tous les deux ans. De fait, l'iPhone en 2018 est plus puissant que l'ordinateur de la conquête de la Lune utilisé par la Nasa. Le supercalculateur le plus rapide atteint actuellement 100 à 200 pétaflops ($2 \cdot 10^{17}$ opérations logiques par seconde). Les serveurs commerciaux actuels (ex : Nvidia Tesla K80 GPU 9 téraflopps, soit 10^{13}) sont aussi performants que les supercalculateurs de 2008. La puissance de calcul brute du cerveau humain est quant à elle restée stable depuis 30 000 ans (10^{11} neurones commutant 100 fois par seconde, soit 10^{13} opérations logiques par seconde).

Nos capacités cérébrales originelles sont immenses, mais pourtant assez limitées dans certains domaines. Si les études supérieures nous ont appris à absorber facilement l'information d'un graphique à 2 dimensions, il reste assez difficile pour un médecin d'intégrer rapidement la signification d'un graphique à 3 ou 4 dimensions (prenant en compte, par exemple, 2 facteurs de risque et le temps).

L'approche mathématique classique de l'étude de l'impact d'un ou plusieurs facteurs de risque (ou variables indépendantes) sur le résultat d'une intervention (variable dépendante) est également très rapidement limitée au-delà de 4 variables. L'IA devrait permettre de nous affranchir de ces barrières pour offrir une compréhension plus approfondie des réalités complexes, détachée de nos *a priori* culturels humains et sans limitation du nombre de variables prises en compte pour le "raisonnement".

Les réseaux neuronaux, apparus vers 1960, sont des ensembles d'unités mathématiques organisées en couches successives. Chaque unité traite les données numériques entrantes pour les redonner sous forme d'une transformation logique à la couche suivante. Les filtres logiques successifs permettent d'identifier des corrélations qui échappent au jugement humain lorsque celui est porté sur les données de départ.

L'apprentissage profond (*deep learning*, *deep structured learning*, *hierarchical learning*) est l'une des ces approches

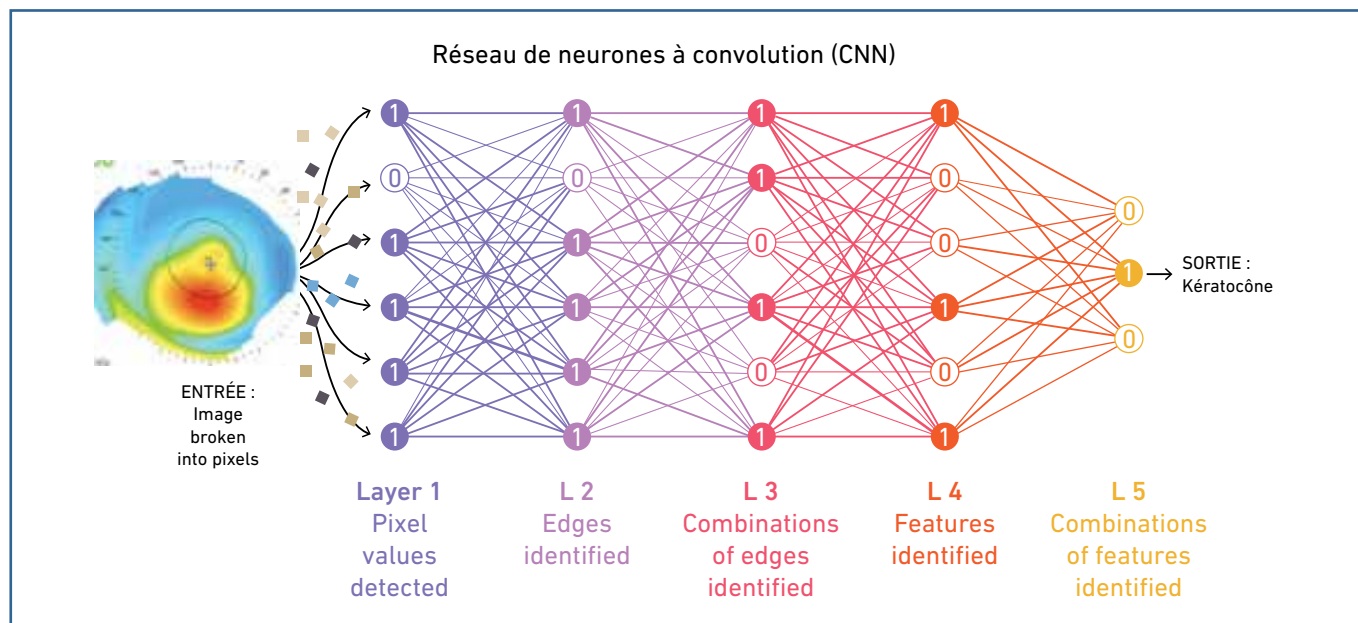
d'apprentissage automatique basée sur la modélisation et la transformation non linéaire des données abstraites constituant une information (par exemple, les vecteurs des pixels formant une image, ou des voxels sur un OCT). La recherche en *deep learning*, soutenue par des investissements massifs des Gafa (Google, Apple, Facebook, Amazon) et d'IBM (projets DeepMind, Google, Watson-IBM...), a révolutionné des domaines comme la reconnaissance faciale ou vocale, la vision par ordinateur, ou le traitement du langage.

Le développement de la puissance de calcul informatique, de stockage, de l'algorithmique et de la connectivité a permis à des logiciels de *deep learning* de dépasser des capacités cognitives typiques de l'intelligence humaine (jeu d'échecs 1997, jeu de go 2016, poker 2017, reconnaissance faciale et vocale, composition de poèmes ou de musique, peinture à la manière de Van Gogh, traduction, lecture sur les lèvres, reconnaissance des émotions, identification faciale du genre...).

La capacité de l'IA à traiter un grand volume d'informations pour prédire un événement en apparence aléatoire semble stupéfiante (prédiction des émeutes à 5 jours, des tempêtes à 15 jours, des épidémies de choléra à 1 mois, des décisions de la Cour de justice de l'Union européenne avec 79 % de précision...).

Les réseaux neuronaux convolutionnels (CNN, pour *convolutional neural networks*) sont les mieux adaptés pour l'analyse d'image automatisée à visée diagnostique. Les CNN apprennent par répétition et autocorrection en analysant une collection d'images qualifiées par des experts humains (*training set*). L'algorithme ajuste ses paramètres pour réduire son taux d'erreur à chaque nouvel essai jusqu'à être en accord avec la classification humaine puis il est testé sur une collection non qualifiée (*validation set*). L'IA ne comporte aucun jugement sur les lésions élémentaires et l'algorithme détermine seul les régions d'intérêt spécifique, qu'il peut éventuellement révéler (fonction *Show me where*). La performance est mesurée par la relation entre sensibilité et spécificité (surface sous la courbe ROC ou ROC-AUC) afin d'éviter de tenir compte des seuils choisis arbitrairement. Une AUC de 0,5 correspond à un diagnostic automatisé porté au hasard, tandis qu'une valeur de 1 indique une sensibilité et une spécificité maximales.

L'application des méthodes de l'IA au diagnostic de l'imagerie médicale permet d'extraire de très grandes quantités d'informations utiles, en un temps limité et avec très peu d'interférence humaine.



Un programme d'IA a dépisté 52 % des cas de cancer du sein à partir de mammographies jusqu'à un an avant le diagnostic humain classique.

Les programmes actuels de détection automatisée de la rétinopathie diabétique modérée montrent une sensibilité de 0,97 et une spécificité de 0,92 avec une AUC de 0,986 – comparée au diagnostic par un collègue d'ophtalmologistes qualifiés de sensibilité 0,83 et spécificité 0,98 (Krause, 2018). Ces programmes paraissent plus aptes à se “concentrer” sur les détails subtils qui échappent aux observateurs humains (micro-anévrysmes et micro-hémorragies) et à ignorer les artefacts (reflets, corps flottants).

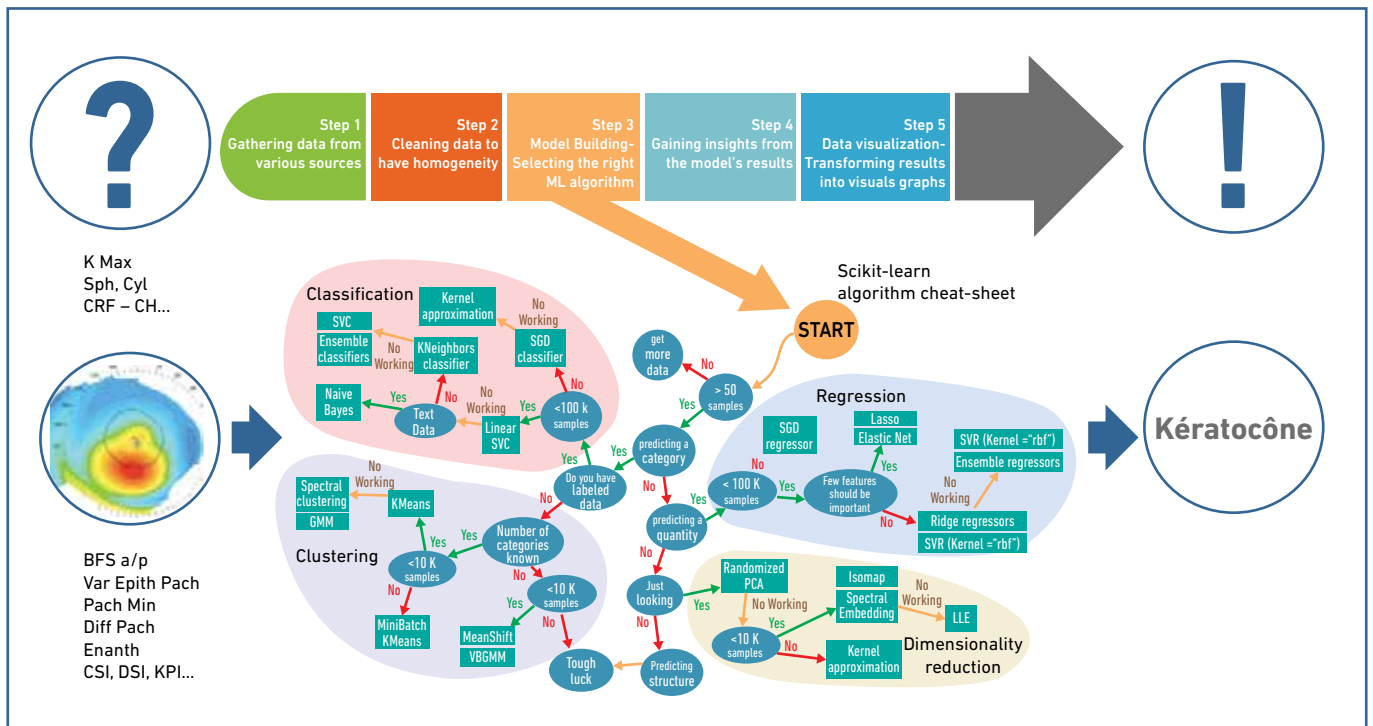
L'analyse des rétino-graphies par IA, éventuellement combinée à celle de l'OCT, permet de dépister également le risque cardiovasculaire, la DMLA, l'occlusion veineuse, la rétinopathie des prématurés et le glaucome, avec des sensibilités variant de 63 à 91 %.

L'utilisation de l'IA pour la chirurgie du segment antérieur est moins avancée, mais non moins prometteuse. Notamment pour l'identito-vigilance (reconnaissance faciale, irienne et vocale), pour la détermination de la réfraction subjective optimale basée sur la convergence de la réfractométrie, de la topographie et de l'aberrométrie, pour le diagnostic automatisé du kératocône, des images d'OCT du segment antérieur, de l'échographie oculaire, de la cataracte par polarimétrie, et pour améliorer la prédictibilité du calcul biométrique des implants intraoculaires.

Le calcul de l'implant intraoculaire est un bon exemple de ce que peut apporter une approche par intelligence artificielle. Intuitivement, un chirurgien expérimenté recommandera d'utiliser plutôt la formule de Holladay II pour les globes très courts et la SRK-T pour les globes longs. Mais il conseillera de l'éviter si la kératométrie est irrégulière. Dans ce cas, il choisira plutôt la kératométrie la plus basse dans la zone centrale et préférera la formule de Haigis pour les chambres antérieures de profondeur inhabituelle, etc.

Trois approches mathématiques classiques font encore concurrence à l'IA, mais se révèlent insuffisantes pour prédire la position effective de l'implant (ELP) qui affecte la précision de la réfraction postopératoire. Les formules de régression suivies des formules théoriques de 3^e génération (SRK-T, Holladay I, Hoffer Q) sont moins performantes pour les longueurs axiales extrêmes. Les formules de vergence comme la formule de Barrett Universal II semblent plus adaptées aux yeux très longs (> 25,5 mm) et très courts (< 22 mm), mais elles sont prises en défaut par les yeux irréguliers. L'approche par *Ray Tracing* (modélisation optique des 4 interfaces cornéennes et pseudo-cristalliniennes, de l'asphéricité cornéenne et de l'astigmatisme irrégulier) est mieux adaptée aux yeux préalablement opérés ou atteints d'une pathologie cornéenne, en revanche elle peine à prédire l'ELP.

En définitive, l'approche par intelligence artificielle semble plus prometteuse car elle prend en compte des paramètres préopératoires plus variés (diamètre de la cornée, profondeur de chambre antérieure, épaisseur du cristallin, âge,



sexe et ethnie, par exemple). La méthode RBF (*Radial Basis Function*), développée par un collectif de 40 experts conduit par Warren Hill, augmente la proportion d'yeux à $\pm 0,50$ D de l'emmétropie à près de 82 %. D'autres approches d'IA (méthode FullMonte, fondée sur l'algorithme de Monte-Carlo Markov, méthode Ladas Super 2.0 prédisant le déplacement minime de l'implant par rapport à la position théorique qui caractérise sa constante A) sont en cours d'évaluation.

>>> D'autres applications de l'IA sont envisagées :

- Chatbots (robots conversationnels), pour identifier des associations symptomatiques et anamnestiques caractéristiques chez les patients ;
- investigation des associations pathologiques par corrélations ouvertes (*clustering*). Par exemple, pour l'identification précoce des liens épidémiologiques latents (pachymétrie/glaucome, petite papille/NOIAA, vaccin anti-hépatite B et NORB, Lasik et ectasie, implant phaqué et cataracte, hypermétropie et œdème maculaire...).

>>> Les limites de l'IA à visée diagnostique commencent cependant à être identifiées :

- la qualité de la validation médicale des images qualifiées de référence est essentielle. Il est très difficile de s'en assurer sur les larges quantités d'images requises par le processus ;
- la qualité des images acquises dans la vie réelle est également critique. Les méthodes d'IA ont besoin de gagner en

robustesse pour s'adapter aux images de qualité moyenne obtenues en routine ;

– l'interprétation de l'image par l'algorithme relève d'un processus "opaque" qualifié de *black box* par les experts. Il ne peut donc être ni breveté ni contrôlé facilement en pratique par l'expertise humaine. En matière d'IA, comme pour les ressources humaines, "*la confiance n'exclut pas le contrôle*".

■ Conclusion

L'intelligence collective au service du progrès médical suppose donc une vision directrice (anticipation) et une démarche cohérente, coordonnée et disciplinée (exécution) de l'ensemble des acteurs pour produire des résultats tangibles. La puissance de l'intelligence collective ne devrait pas exclure un certain niveau de tolérance attentive pour laisser s'exprimer les rares et précieuses percées de l'intelligence disruptive. Les méthodes de l'intelligence artificielle, détachée de toute inférence humaine et des contingences de l'échantillonnage statistique traditionnel, capables de brasser des volumes de données très importants (Big Data), devraient permettre de rendre les *data sciences* plus accessibles, transparentes et efficaces pour les acteurs et les bénéficiaires de la chirurgie oculaire et réfractive. L'automatisation actuelle de certains processus spécifiques (imagerie diagnostique, identito-vigilance, robotique, calcul et simulation numérique) n'est

donc que l'un des aspects de l'IA pour l'avenir de notre métier.

La création d'intelligence médicale par le rapprochement analytique intensif des informations individuelles et collectives (cliniques, paracliniques et génétiques) devrait impacter en profondeur nos conceptions médicales en identifiant de nouveaux biomarqueurs et associations syndromiques qui ont jusqu'ici échappé à la sagacité des chercheurs et en renforçant notre capacité prédictive. Dans la pratique quotidienne, à mesure qu'augmente le volume de données utiles, le praticien aura de plus en plus de mal à rivaliser avec l'IA pour prendre des décisions pertinentes en temps réel.

C'est donc vers cet objectif d'aide à la décision et vers cet idéal de praticien "cérébral augmenté" que doivent tendre nos efforts, en espérant que la sensibilité, l'empathie, le don de soi, l'intégrité et le respect de l'autre, qui sont l'essence de notre fonction, resteront l'apanage de notre humanité.

Pour en savoir plus

- LLAURENS V, RAYMOND M, FAURIE C. Why are some people left-handed? An evolutionary perspective. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 2009;364:881-894.
- SNIDERMAN B. The five personalities of innovators. Forbes Insights, Custom research division of Forbes Media 2012.

- DU XL, LI WB, HU BJ. Application of artificial intelligence in ophthalmology. *Int J Ophthalmol*, 2018;11:1555-1561.
- KRAUSE J, GULSHAN V, RAHIMY G *et al.* Grader variability and the importance of reference standards for evaluating machine learning models for diabetic retinopathy. *Ophthalmol*, 2018;125:1264-1272.
- RAMAN R, SRINIVASAN S, VIRMANI S. Fundus photograph-based deep learning algorithms in detecting diabetic retinopathy. *Eye*, 2019;33:97-109.
- POPLIN R, VARADARAJAN AV, BLUMER K *et al.* Prediction of cardiovascular risk factors from retinal fundus photographs via deep learning. *Nat Biomed Eng*, 2018;2:158-164.
- MUHAMMAD H, FUCHS TJ, DE CUIR N *et al.* Hybrid deep learning on single wide-field optical coherence tomography scans accurately classifies glaucoma suspects. *J Glaucoma*, 2017;26:1086-1094.
- SIDDIQUI AA, DEVGAN U. Intraocular lens calculations in atypical eyes. *Indian J Ophthalmol*, 2017;65:1289-1293.
- AMBRÓSIO R JR, 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.
- MALABOU C. *Métamorphoses de l'intelligence : que faire de leur cerveau bleu ?* PUF, 2017.
- ALEXANDRE L. *La Guerre des Intelligences*. JC Lattes, 2018.
- HARARI YN. *21 leçons pour le XXI^e siècle*. Éd. Albin Michel, 2018.

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



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

Intelligence artificielle et chirurgie réfractive

La nature si aisément mathématisable de notre domaine a permis, au cours des dernières décennies, une poussée importante de l'informatique dans quasiment tous les champs d'activités de l'ophtalmologie. Son utilisation génère des quantités astronomiques de données, dont malheureusement seule une infime partie est pleinement exploitable par l'esprit humain.

L'intelligence artificielle (IA), nouvel eldorado prophétisé du XXI^e siècle, se propose de relever ce défi et d'aller même au-delà en suggérant des réponses aux grandes questions quotidiennes du médecin : qui est réellement mon patient et surtout que va-t-il devenir ?

Nous nous attacherons dans une première partie à comprendre les mécanismes utilisés en IA, puis nous présenterons certains des premiers travaux publiés en chirurgie réfractive.

■ Définition : qu'est-ce que la vraie IA ?

Depuis notre poignet jusqu'à l'étude des mécanismes de formation des galaxies, on nous vend de l'intelligence artificielle partout. Mais au-delà de l'utilisation marketing du terme, qu'en est-il vraiment de sa définition ?

L'IA, pour faire simple, réside dans la capacité d'un système informatique à répondre à une question donnée après une phase d'apprentissage. Ce concept est celui de *machine learning* et nous allons proposer ici une description simplifiée.

Le concept de *machine learning* peut être divisé en 3 branches principales (**fig. 1**) :

- l'apprentissage supervisé ;
- l'apprentissage non supervisé ;
- l'apprentissage par renforcement.

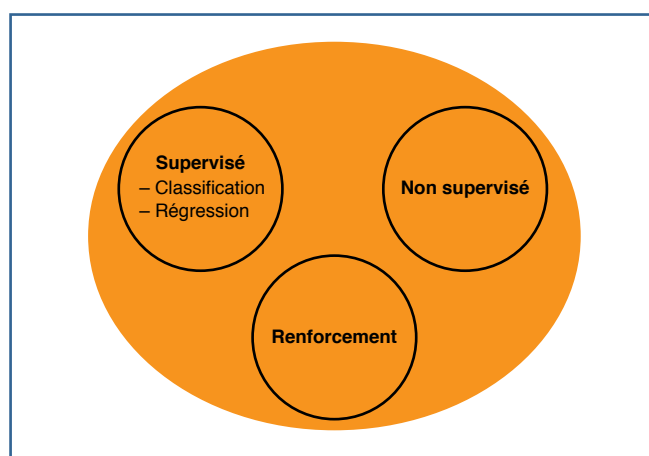


Fig. 1 : 3 principales techniques d'apprentissage en *machine learning* [1].

>>> L'apprentissage supervisé consiste à réaliser des classements à partir de données préalablement annotées. Exemple : déterminer la présence d'un glaucome dans une population d'individus aux caractéristiques étiquetées (âge, sexe, origine ethnique, pression intraoculaire...). Si la variable est numérique, on parle de régression. Exemple : pression intraoculaire. Si la variable est catégorielle, on parle de classification. Exemple : sain/malade.

>>> L'apprentissage non supervisé travaille quant à lui à partir de données brutes non étiquetées. Il vise à découvrir des corrélations encore inconnues. Exemple : dans cette population donnée de sujets glaucomateux, y a-t-il un ou plusieurs paramètres partagés ?

>>> L'apprentissage par renforcement se base sur le principe de récompense dérivé des théories d'étude du comportement humain et animal. Le système cherche à maximiser sa récompense selon son interaction dans l'environnement afin de trouver le comportement le plus adapté.

Nous décrivons ici uniquement l'apprentissage supervisé qui est le plus utilisé aujourd'hui en recherche médicale.

■ Processus d'apprentissage supervisé

Le processus d'apprentissage supervisé se construit schématiquement en plusieurs étapes (fig. 2). Afin d'arriver à établir un système permettant de répondre à une question, il faut s'attacher à sélectionner les données pertinentes, choisir le bon classificateur et enfin évaluer la qualité de la réponse.

1. Le prétraitement des données

Les données ont besoin la plupart du temps d'un prétraitement avant d'être utilisables par l'algorithme ou le classificateur. Ces traitements peuvent concerner la taille, la nature, ou encore la complexité des données. Comme en recherche statistique classique, il convient par ces manœuvres de veiller à maintenir un sens clinique pertinent à la question posée.

On s'efforcera donc de dégager les données aberrantes, d'adopter une politique "juste" sur les données manquantes, et enfin de sélectionner la taille et les caractéristiques de l'échantillon.

Prenons une analogie : si vous demandez à un enfant de vous répondre sur la nature de tel fruit ou tel légume rencontré au

gré d'une balade champêtre, celui-ci aura nécessairement besoin d'une période d'entraînement donnée avant de pouvoir répondre correctement. En revanche, répétez le même exercice en ayant pris soin au préalable de l'emmener visiter l'étal de fruits et légumes du supermarché avoisinant, sa période d'entraînement sera beaucoup plus courte. Il aura pu se construire beaucoup plus facilement des représentations stéréotypées fortes. C'est là tout l'intérêt du prétraitement des données.

2. La sélection du classificateur

À la manière du statisticien qui va sélectionner le bon test pour son étude, il convient ici de choisir le bon algorithme sur des critères propres à la question posée. Voici quelques exemples qui sont parmi les plus utilisés dans les études actuelles.

>>> Les arbres décisionnels

Couramment utilisés en pratique clinique, les arbres décisionnels le sont également en IA. Présentés comme une série de questions successives, la réponse amène à prendre une direction donnée pour aller vers un niveau de ramification de plus en plus précis.

Facile de compréhension et d'utilisation, ils présentent un désavantage important. En effet, de par le caractère

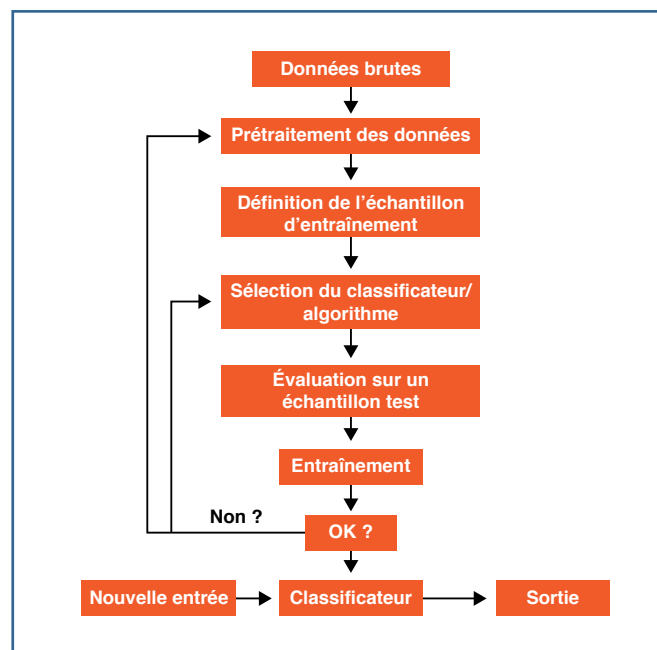


Fig. 2 : Représentation schématique des différentes étapes du processus d'apprentissage supervisé.

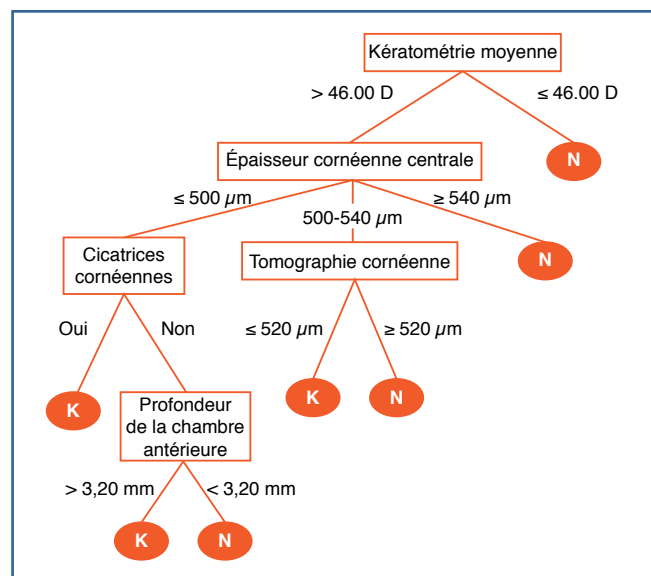


Fig. 3 : Arbre décisionnel de dépistage du kératocône utilisé ici à simple titre d'illustration du process. On remarque qu'une erreur de direction à l'issue de la première question nous amène tout de suite à classer la cornée étudiée comme normale, indépendamment des variables indiquées dans la figure. K : kératocône suspect ; N : individu supposé normal.

extrêmement discriminant de questions unidirectionnelles, on comprend aisément qu'une mauvaise réponse d'entrée de jeu (due par exemple à une valeur extrême) nous conduira immédiatement vers la mauvaise direction, et donc vers une prédiction erronée (fig. 3).

>>> Les ensembles d'arbres

Il s'agit simplement de la combinaison d'arbres uniques afin de construire des méta-algorithmes améliorant la valeur prédictive du test en diminuant variance et biais.

Reprenons l'analogie antérieure, et demandons maintenant non plus à un enfant seul mais à une classe entière d'effectuer le classement des fruits et légumes en étant libre de collaborer.

>>> Les réseaux neuronaux artificiels (fig. 4)

Comme leur nom l'indique, ces algorithmes sont organisés à l'image des réseaux neuronaux. De l'entrée à la sortie, la circulation se fait dans un sens unidirectionnel après que chaque neurone (ou opération) a donné la direction correspondant à son niveau.

>>> La classification naïve bayésienne (fig. 5)

Elle est basée sur le théorème de Bayes, qui part de l'axiome selon lequel chaque variable contribue indépendamment à la probabilité d'appartenance à une classe.

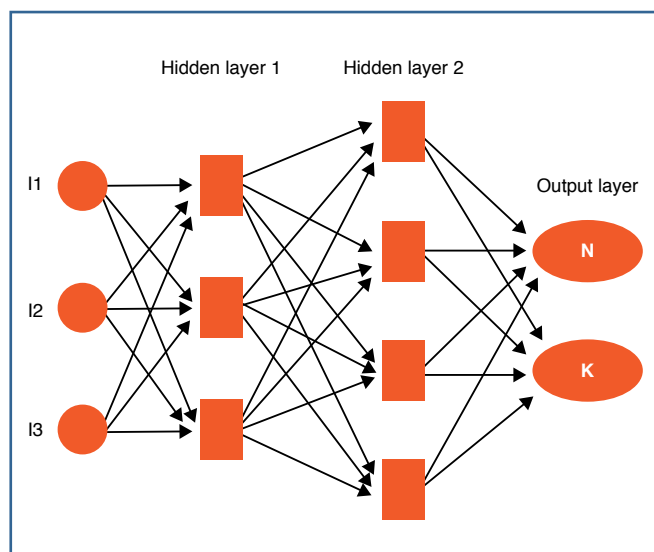


Fig. 4 : Représentation schématique d'un réseau neuronal artificiel à 4 niveaux. Les rectangles représentent les cellules neuronales et les lignes les données émanant des niveaux antérieurs ou postérieurs. N : normal ; K : kératocône.

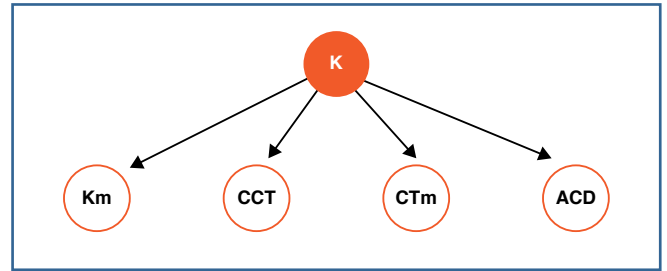


Fig. 5 : Représentation schématique d'un classificateur bayésien. K représente le nœud de résultat. Les autres nœuds représentent les variables. On notera qu'il n'existe ici aucune liaison entre les différentes variables. Km : kératométrie moyenne ; CCT : corneal central thickness, épaisseur cornéenne centrale ; CTm : corneal tomography, tomographie cornéenne ; ACD : anterior chamber deep, profondeur de la chambre antérieure.

>>> La méthode des k plus proches voisins KNN (*k nearest neighbors*) (fig. 6)

Cette méthode consiste en l'observation des caractéristiques de chaque sortie (cas) déjà identifiées dans l'échantillon des k d'apprentissage. À partir de là, le classificateur délimite des zones dites de proximité où tous les k semblables en termes de distribution de variable appartiendront à la même classe.

Pour reprendre notre analogie, imaginons un élève devant classer des pommes et des poires. À partir d'un échantillon d'apprentissage et sur la variable "forme", il va se construire une frontière mentale rapprochant les fruits ronds ensemble en les identifiant "pommes", et les piriformes en "poires".

>>> Les machines à vecteurs de support (fig. 7)

Ces classificateurs, dit linéaires pour la plupart, ont pour objectif de retrouver un hyperplan qui sépare le plus précisément possible 2 classes. Cet hyperplan peut être représenté

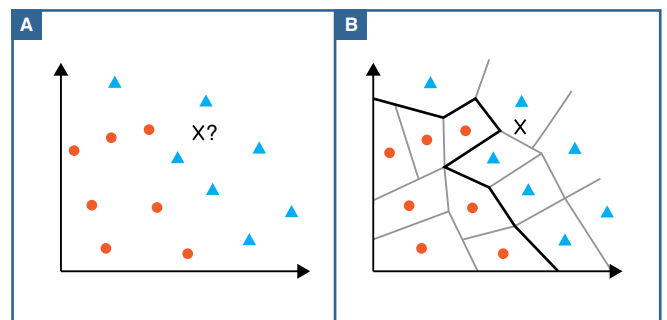


Fig. 6A : Les cornées kératocôniques sont représentées par des triangles et les cornées saines par des ronds. L'individu à classer est représenté par une croix. **B :** application du classificateur KNN. L'espace est maintenant délimité en régions autour des différents cas et une frontière est retrouvée (schématisée en gras) délimitant les deux populations, saine et pathologique. L'individu est donc en zone pathologique.

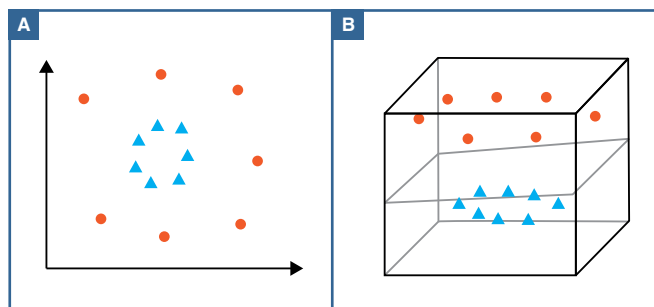


Fig. 7A : Les cornées kératocôniques sont représentées par des triangles et les cornées saines par des ronds. On remarque qu'il n'existe pas un plan linéaire simple de séparation. **B :** après transformation mathématique pour obtenir une représentation tridimensionnelle, le classificateur retrouve un plan incliné séparant les deux populations avec une meilleure marge.

par une ligne pour une base de données à 2 variables, ou bien un plan dans le cadre de données à 3 variables en passant par une transformation mathématique des données.

■ Application en chirurgie réfractive

1. Bilan préopératoire et détection de la présence de kératocône

Un des challenges de la consultation préopératoire réside en la détection de cornée kératocônique débutante ou bien de forme très légèrement évolutive contre-indiquant une technique Lasik, qui pourrait entraîner une ectasie cornéenne.

Plusieurs équipes ont d'ores et déjà évalué les performances de l'IA pour la détection du kératocône. Effectivement, vu la quantité de données à analyser au cours de la consultation, leur nature qualitative et quantitative ainsi que la difficulté que leur analyse peut représenter selon les préférences d'affichage (pas d'échelles de couleurs...), posséder un oracle pour cette question pourrait être de première utilité.

Builmore *et al.* [2] ont utilisé les polynômes de Zernike comme variable et ont appliqué un classificateur à type d'arbre décisionnel sur 244 yeux, afin de différencier les cas de kératocônes et les yeux sains, obtenant une précision de 93 % (*fig. 8*).

L'équipe de Damien Gatinel [3] a travaillé sur les caractéristiques topographiques et tomographiques de 166 yeux d'individus sains et atteints de kératocône en utilisant un réseau neuronal, dans le but de définir un seuil d'énantiomorphisme dit normal. Les résultats amènent à une sensibilité de 94 % et une spécificité de 100 %.

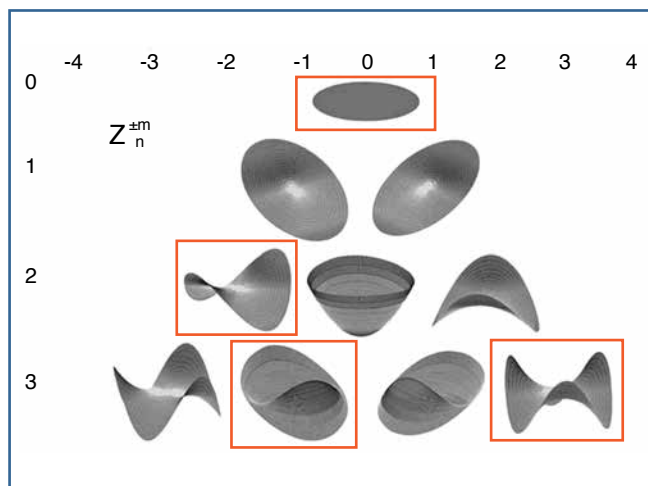


Fig. 8 : Représentation géométrique des 4 polynômes de Zernike retrouvés comme les plus discriminants par le classificateur pour séparer les cornées saines des cornées pathologiques.

Kovács *et al.* [4] ont montré l'intérêt de l'utilisation d'un algorithme entraîné sur des données bilatérales afin de mieux caractériser les cornées adelphe de sujets atteints de kératocône unilatéral.

Récemment, Hidalgo *et al.* [5] ont utilisé un algorithme de type machine à vecteur de support pour analyser la combinaison de 22 paramètres de mesure obtenus au Pentacam, afin d'identifier les cornées normales, kératocôniques et les formes frustes. Ils retrouvent 98,8 % de précision pour la détection "normale" contre "kératocônique", avec une sensibilité de 99,1 % et une spécificité 98,5 %. La discrimination de "normale" contre "forme fruste" est quant à elle de 93,1 %, avec une sensibilité et spécificité respectivement de 79,1 % et 97,9 %.

Il est à noter dans notre volonté de comparer les résultats de ces différents travaux qu'il existe bien entendu un problème de définition des formes frustes, dont l'absence de consensus reste gênante. S'ajoute également une subtilité propre au *machine learning*: l'utilisation d'un même échantillon pour la phase d'entraînement de l'algorithme et la phase de test gonfle artificiellement les résultats.

Si l'on revient à notre analogie végétale, il paraît évident que dans l'hypothèse où on entraîne un jeune élève à reconnaître différents légumes, puis que l'on teste ses connaissances sur le même lot de légumes que celui utilisé pour l'apprentissage, ses scores seront artificiellement meilleurs que si on lui demandait de répéter l'exercice sur des légumes qu'il n'aurait jamais vus au préalable.

2. Après le bilan préopératoire : que nous est-il permis d'espérer ?

Il est courant d'obtenir de la part des fabricants des mises à jour des différents nomogrammes de traitement laser. Les plus aguerris d'entre nous réalisent également des ajustements personnels à la lumière de leur expérience.

Mais justement, ne serait-il pas pertinent de posséder un outil évolutif en temps réel permettant pour un patient donné de proposer le bon traitement ablatif en considérant toutes les variables préopératoires (origine ethnique, âge, réfraction...), mais aussi, et surtout, les performances postopératoires de cette même plateforme laser sur un individu semblable ? Après demande auprès de plusieurs compagnies, il semble que ce genre de projet soit à l'étude sans qu'aucun résultat ne soit présentable pour le moment.

■ En conclusion

De la même manière que nous avons dû acquérir les bases des études statistiques afin de pouvoir critiquer convenablement une étude clinique, nous devons aujourd'hui commencer à nous familiariser avec les termes de *machine learning* qui font maintenant leur apparition dans les résumés. La tendance économique étant à l'apparition d'entreprise géantes regroupant en leur sein plusieurs divisions, depuis la consultation (et peut-être même avant) jusqu'à la solution thérapeutique, il sera primordial pour le médecin de garder un regard

critique sur une solution "tout-en-un" qui lui donnera le diagnostic, le risque évolutif et vendra au patient le traitement.

Au sujet du danger que pourrait représenter l'intelligence artificielle pour notre profession en empiétant sur nos plates-bandes, je suis convaincu du contraire. Plus l'IA prendra de la place dans nos consultations, plus le patient valorisera le temps passé en notre présence physique. Les réfractomètres automatiques n'ont pas vidé nos salles d'attente, bien au contraire. Notre métier se transformera assurément, mais nous resterons le seul élément capable d'empathie. Avez-vous simplement déjà vu un patient se disputer avec votre secrétaire pour voir immédiatement le topographe ?

Bibliographie

1. CONSEJO A, MELCER T, ROZEMA JJ. Introduction to machine learning for ophthalmologists. *Semin Ophthalmol*, 2018;1-23.
2. TWA MD, PARTHASARATHY S, ROBERTS C *et al*. Automated decision tree classification of corneal shape. *Optom Vis Sci*, 2005;82:1038-1046.
3. SAAD A, GUILBERT E, GATINEL D. Corneal enantiomorphism in normal and keratoconic eyes. *J Refract Surg*, 2014;30:542-547.
4. KOVÁCS I, MIHÁLTZ K, KRÁNTZ K *et al*. Accuracy of machine learning classifiers using bilateral data from a Scheimpflug camera for identifying eyes with preclinical signs of keratoconus. *J Cataract Refract Surg*, 2016;42:275-283.
5. RUIZ HIDALGO I, RODRIGUEZ P, ROZEMA JJ *et al*. Evaluation of a machine-learning classifier for keratoconus detection based on scheimpflug tomography. *Cornea*, 2016;35:827-832.

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



B. AMELINE-CHALUMEAU
CHNO des Quinze-Vingts, Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.
amelinoph@gmail.com

10 idées fausses contre la chirurgie réfractive

Cela fera bientôt 30 ans que le laser excimer a révolutionné la chirurgie réfractive. À l'aube des années 1990, les défiances à son encontre étaient fortes, y compris au sein de notre profession. Le concept de modification d'un organe sain heurtait certains, la nouveauté inquiétait les autres. L'une des moindres critiques était un **"on manque de recul"** qui a lentement décliné avec le temps. Pourtant, des idées reçues ont encore la vie dure, entretenues de façon diffuse, que ce soit par les patients, les médias ou de nombreux professionnels médicaux et paramédicaux.

Il peut être intéressant de désamorcer dès le bilan préopératoire quelques-unes de ces idées, sachant que nos patients entendront de nombreux avis extérieurs dès qu'ils parleront de leur projet ou, pire, après leur intervention, ce qui rajoutera du stress inutilement.

■ "Les ophtalmologistes ne se font pas opérer"

C'est tout le contraire ! Une étude de 2015 du Dr Guy M. Kezirian [1] a mesuré la forte propension des chirurgiens réfractifs à se faire opérer et à faire opérer leur entourage proche. Dans le groupe de chirurgiens réfractifs qui présentaient une amétropie opérable, 67 % étaient amétropes opérables dont 62 % ont effectivement été opérés. Cela fait un pourcentage d'opérés de 41 % parmi les cas opérables, un chiffre indéniablement supérieur à celui de la population générale. Les témoignages des chirurgiens réfractifs opérés sur notre site confirment la confiance des opérateurs dans leurs propres techniques (www.cliniquedelavision.com/ophtalmologistes-opérés). Enfin, dans la même étude, les chirurgiens réfractifs étaient 90 % à encourager leurs proches à se faire opérer. Et l'on sait combien il peut être bien plus difficile de prendre une décision pour ses enfants ou ses proches que pour soi-même.

■ "C'est une forme de chirurgie esthétique"

C'est sans doute l'idée qui perdure le plus, y compris chez les professionnels. Pourtant, l'interrogatoire préopératoire fait ressortir que plus de la moitié des patients portent quasi exclusivement des lentilles. Ils ne cherchent donc ni à se débarrasser des lunettes ni à régler un problème de tolérance aux lentilles, mais bien à voir sans "prothèse". Parmi leurs motivations souvent multiples, les patients évoquent la pratique d'activités auxquelles ils ont renoncé à cause de la correction qu'ils portent, par exemple les activités aquatiques. Par ailleurs, la demande d'amélioration de l'acuité visuelle est fréquente : pour une meilleure image d'eux-mêmes chez les myopes, ou pour la qualité de la correction chez les astigmates ou les forts amétropes lorsque leur défaut est accessible.

Toutes ces raisons contribuent à l'amélioration de la qualité de vie qui est mesurée dans différentes études [2], tous défauts confondus. Et cette amélioration est objectivement supérieure à celle qui est obtenue avec les autres modes de correction.

La question n'est pas anodine en matière fiscale, puisque le problème s'est posé d'appliquer la TVA. Elle a donc fait l'objet d'un débat médico-juridique et a abouti, en 2012, à la conclusion qu'il s'agit bien de soins thérapeutiques à la personne, de fait exonérés en droit européen.

La chirurgie réfractive est une chirurgie fonctionnelle qui a la particularité non seulement de restaurer la fonction, mais bien aussi d'en améliorer les performances, ce qui mérite d'être souligné.

■ "Cela ne dure pas"

Cette idée fausse repose sur la méconnaissance de la réfraction : ce n'est pas l'effet de l'intervention (modification de la

kératométrie) qui régresse dans le temps, mais bien l'amétropie qui évolue ou qui a été évaluée de façon incomplète.

Le Pr David O'Brart a rapporté en 2011 [3] que si l'on mesure en effet en 20 ans une modification de l'équivalent sphérique ($-0,54$ D en moyenne, moins chez les plus de 40 ans), cette évolution réfractive ne s'accompagne pas de modification de la kératométrie, ce qui signerait la régression. C'est un allongement de la longueur axiale qui est observé et qui explique l'évolution myopique. Il est donc utile de préciser à nos candidats que même après avoir validé 2 ans sans évolution de leur myopie, ce qui est la règle admise, il n'est jamais possible d'affirmer la stabilité de la réfraction, surtout avant 40 ans.

Autres cas fréquents, les hypermétropes et les astigmates, facilement sous-évalués du fait de l'accommodation et qui vont logiquement relâcher leur accommodation dans les mois ou les années. L'hypermétropie peut être particulièrement rebelle à toute mesure, y compris sous cycloplégie. Ensuite, la correction saturée n'est pas toujours bien tolérée, ce qui conduit à des compromis au moment de la programmation (entre la réfraction subjective et celle sous cycloplégie). Bien sûr, en théorie, il est possible de faire porter une correction en saturant le patient, mais en pratique, peu sont prêts à supporter le coût financier et le délai nécessaires. Tout cela mérite une courte explication auprès du patient pour éviter ensuite tout malentendu.

Enfin, parfois des amétropies minimales et inévitables sont mesurables après une intervention. Comme elles ne nécessitent alors pas de correction, elles ne font pas l'objet d'une retouche. Mais le temps et la modification du film lacrymal peuvent modifier leur tolérance. Un astigmatisme minime peut devenir gênant avec les années et une myopie aussi réduite que $-0,25$ peut s'accroître le soir, justifiant à terme le port d'une correction. Le mieux est de prévenir les candidats que le port éventuel d'une correction "de repos" fait partie du contrat de départ, même si tout sera fait pour l'éviter.

■ "Les grossesses vont aggraver la myopie"

Cette notion semble dater d'une époque où l'âge moyen de la première grossesse était bien moindre. Actuellement, une myopisation est bien objectivée dans de nombreuses études [4]. Elle survient plutôt en fin de grossesse du fait d'un œdème discret de la cornée, sans retentissement sur la transparence. C'est donc l'une des raisons pour lesquelles il n'est

pas indiqué d'intervenir chez une femme enceinte. Mais cette myopisation est toujours transitoire, avec retour à la réfraction antérieure quelques semaines après l'accouchement. Il est donc important de préciser qu'une amétropie est susceptible d'évoluer toute la vie, mais pas davantage en cas de grossesse à venir.

■ "Il devient impossible de remettre des lentilles"

Inutile de dire que ce n'est pas dans le projet puisque, le plus souvent, les candidats ne peuvent ou ne veulent plus porter de lentilles. Certains patients posent tout de même la question car la possibilité d'y avoir recours est rassurante. Pour d'autres, cela concernera d'éventuelles lentilles cosmétiques.

Une amétropie résiduelle, une évolution myopique, l'apparition de la presbytie en l'absence de monovision prévue, voire une complication per- ou postopératoire vont poser le problème de leur correction. Les lentilles souples ou rigides sont possibles [5] lorsque l'amétropie était modérée. La puissance des lentilles rigides sur une myopie résiduelle sera plus importante que celle des lunettes (et se rapproche de la myopie d'origine) en raison du ménisque postérieur. Ce n'est pas le cas pour les lentilles souples. L'orthokératologie est rarement envisagée car complexe dans ce contexte. Ensuite, des lentilles à dégagements inverses vont le plus souvent permettre de ne pas en arriver aux lentilles sclérales, indiquées surtout dans les suites de complications.

En pratique, la principale difficulté sera de faire accepter au patient un mode de correction dont, précisément, il ne voulait plus. Mais le port de lentilles est possible après une chirurgie réfractive cornéenne.

■ "La chirurgie est contre-indiquée en cas de pratique sportive"

La question des activités sportives (plongée, alpinisme, sports de combat...) revient souvent au moment de se décider. C'est alors plus un choix technique qu'une décision pour ou contre la chirurgie. En cas de risques de chocs directs (sports de combat), on peut choisir de privilégier la PKR et le Smile. D'autant que les indications de la PKR ont été repoussées par l'utilisation de la mitomycine 0,02 % (0,2 mg/mL) appliquée 10 à 20 secondes puis abondamment rincée. Ses indications sont devenues très

superposables au Lasik et au Smile. L'armée américaine a choisi, depuis de nombreuses années, d'incorporer les sujets opérés, y compris pour des postes de pilotage, ce qui constitue en soi un gage de fiabilité et de confiance dans ces techniques. La PKR y est même gratuite pour les engagés [6, 7].

Les réglementations sportives en matière de chirurgie réfractive sont susceptibles d'être modifiées régulièrement. Le mieux est donc de demander au patient de vérifier lui-même auprès de sa fédération.

- **Karaté :** seuls les anneaux et la KR sont contre-indiqués s'il s'agit d'un sport de compétition. S'il est pratiqué comme un loisir, il n'y a pas de réglementation (idem pour le judo).

- **Plongée :** exige un délai d'un mois après PKR, Lasik ou Smile.

- **Parachutisme :** un examen ophtalmologique doit évaluer le résultat.

- **Sports nautiques, mécaniques... :** pas de réglementation écrite.

- **La fédération de boxe anglaise** (amateur et pro) est la plus restrictive actuellement. Elle contre-indique en combat la chirurgie réfractive et toute chirurgie intraoculaire, de même que toute myopie à partir de 3,5 D. La fédération des sports de contact (la boxe thaï, par exemple) s'est alignée sur ce règlement.

- **Conditions extrêmes :** la pression en plongée n'a pas d'incidence, et en altitude il a fallu dépasser les 6700 mètres pour constater une myopisation, celle-ci étant réversible à la descente. Dès lors que cela durait moins de 30 minutes, des pilotes d'essai ont pu dépasser les 10000 mètres sans conséquences visuelles. Gageons que rares seront nos patients à s'aventurer jusque-là.

■ “Ça ne marche que sur la myopie”

Les myopes sont les candidats les plus nombreux et leur amétropie a un retentissement visuel plus précoce et plus important que les autres. La correction de la myopie a ensuite pour elle la simplicité du profil à induire, avec un simple “aplatissement” central. Toutefois, dès les années 1990, la correction de l'astigmatisme (visuellement significatif chez 1/3 des myopes) et de l'hypermétropie s'est développée. Ces profils

ont particulièrement profité des avancées technologiques (système de délivrance, diamètre de correction, zone de transition, assistance au centrage, compensation de la cyclo-torsion...). Il est désormais établi que l'hypermétropie est corrigeable, si la cornée le permet, jusqu'à 5 à 6 dioptries. De même pour l'astigmatisme, avec le même degré de précision que la myopie. On note que le bénéfice ressenti est au moins aussi important que chez les myopes [2].

Pour la presbytie, le problème est plus complexe. Car devant une amétropie dynamique, on ne sait proposer qu'un compromis. Néanmoins, la monovision, la multifocalité et l'asphéricité, qui peuvent être associés entre elles, offrent un large éventail de solutions.

■ “Les calculs d'implants deviennent compliqués”

La modification par la chirurgie de la puissance cornéenne centrale diminue la précision de sa mesure et donc celle des formules habituelles. Bien souvent, les patients viennent avec des dossiers réfractifs très incomplets, voire absents, et de toute façon les méthodes qui se fondent sur l'histoire réfractive (méthode historique, *corneal bypass*, Feis-Manis) ont montré leurs limites (imprécision des données kératométriques, myopisation d'indice...).

Ce sont les progrès des biomètres, des formules de 4^e et 5^e générations (Holladay 2, Haigis, Haigis-L...), ainsi que l'attention portée aux mesures kératométriques, la décorrélation de la position prédite de l'implant de la kératométrie, et les plateformes proposant une aide au calcul (le site de l'ASCRS, par exemple) qui ont permis d'atteindre un degré de précision proche des sujets non opérés et qui nécessitent seulement une attention un peu particulière en préopératoire [8].

Comme ces patients sont généralement bien informés et exigeants sur le plan réfractif, il est bienvenu de leur faire préciser les besoins aux différentes distances (qui ont pu changer avec les années), de leur en faire prendre conscience, et enfin d'insister sur les enjeux du calcul d'implant et les risques d'amétropie résiduelle – même s'ils sont peu différents des non-opérés de réfractive –, tout en sachant envisager, par devers soi, les options de retouche réfractive. Il est faux de laisser croire au patient que la chirurgie réfractive peut avoir des conséquences en termes de résultats de chirurgie de la cataracte. Au chirurgien de porter une attention plus soutenue au choix de la puissance de l'implant.

■ Autres idées fausses

“Cela n’a plus d’intérêt après 40 ans” ou tout l’inverse (!) “Attendez que la presbytie soit là pour décider de l’intervention” ou encore “À quoi bon sur les petites myopies ?” retardent bien souvent les demandes des candidats. Si l’intérêt d’une petite myopie < 3 D mérite sans doute d’être expliqué au patient, il lui revient, même à l’approche de la quarantaine, de décider une fois correctement informé de ce qu’il considère le mieux pour lui. Il est donc intéressant de poser la question des activités à nos patients : tel fait de la voile et ne souhaite pas de lentilles, tel autre raffole de la conduite automobile et assumerait très bien de porter une correction de près. L’important est là aussi de consacrer le temps nécessaire à l’information du patient (ce qui, pour la presbytie, n’est pas un vain mot) afin qu’il puisse choisir en toute connaissance de cause. Sans oublier que l’on peut facilement faire tester au patient avec des lentilles pendant 48 heures les différentes options comme la monovision ou la multifocalité.

■ Conclusion

La chirurgie réfractive est une chirurgie fonctionnelle qui a la particularité non seulement de restaurer la fonction visuelle sans correction mais bien d’en améliorer les performances, chose assez unique en médecine. Les idées fausses, quel que

soit le domaine, ont la vie dure et cet article ne suffira certainement pas à convaincre les inquiets. Il peut toutefois être rassurant de donner aux patients des informations pour réfuter les arguments qu’ils ne manqueront pas d’entendre.

Bibliographie

1. KEZIRIAN GM, PARKHURST GD, BRINTON JP *et al.* Prevalence of laser vision correction in ophthalmologists who perform refractive surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2015;41:1826-1832.
2. SARAGOUSSI JJ, DJADI-PRAT J, LEBUISSON DA *et al.* Qualité de vie après Lasik : 2^e partie. Qualité de vie et satisfaction des patients opérés de Lasik. *J Fr Ophthalmol*, 2011;34:294-302.
3. O’BRART DP, SHALCHI Z, MCDONALD RJ *et al.* Twenty-year follow-up of a randomized prospective clinical trial of excimer laser photorefractive keratectomy. *Am J Ophthalmol*, 2014;158:651-663.
4. MILAZZO S, MIKOU R, BERTHOUT A *et al.* Comprendre les troubles de la réfraction et les problèmes oculomoteurs pendant la grossesse. *J Fr Ophthalmol*, 2010;33:368-371.
5. COLLIOT JP. Adapter une lentille de contact après une chirurgie cornéenne. *Revue CLV 2018*, suppl *Réalités Ophtalmologiques*, 251.
6. VAN DE POL C, GREIG JL, ESTRADA A *et al.* Visual and flight performance recovery after PRK or LASIK in helicopter pilots. *Aviat Space Environ Med*, 2007;78:547-553.
7. RICHMOND CJ, BARKER PD, LEVINE EM *et al.* Laser *in situ* keratomileusis flap stability in an aviator following aircraft ejection. *J Cataract Refract Surg*, 2016;42:1681-1683.
8. PUECH M, STREHO M. Méthodes de calcul d’implant après chirurgie réfractive. *Rapport SFO*, 2012.

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



D.-A. LEBUISSON

Direction médicale de la Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.

dalebuisson@gmail.com

Considérations économiques et fonctionnelles des installations en ophtalmologie libérale.

Impact en chirurgie réfractive

En 2014, dans l'Hexagone, 78,5 % des femmes et 68 % des hommes déclaraient être concernés par un trouble de la vision, et 32 % des élèves de CM2 portaient un dispositif de correction de la vue. Autant dire que les **2/3 des Français constituent le plus important panier de soins identifié**, hormis les actes préventifs. La majorité des ophtalmologistes qui s'installent en libéral sont en secteur 2 et ils ne prennent pas leurs décisions professionnelles à l'aune de perspectives administratives ou de santé publique. La situation de l'ophtalmologie, d'accès direct, est particulière et privilégiée. Elle connaît, outre de rapides évolutions médicales, une profonde modification des méthodologies d'activité. Les ophtalmologistes ont **les cartes en mains**, il ne faut pas perdre la partie.

■ Les enjeux

Les enjeux sont simples, simultanés et différenciés. En libéral, la clef de voûte, c'est la maîtrise du recrutement accompagnée d'une vision claire de l'objectif poursuivi (*fig. 1*). Le salarié a une durée professionnelle plus courte et une autonomie réduite et dépendante de contraintes administratives. On

Restez maître de la chaîne de production (choix individuels)

- Recrutement
- Diagnostic
- Prescriptions
- Explorations
- Soins

Restez en *pole position* de la filière (demeurez groupés et influents: SNOF, SFO, ACO...)

- Subordination
 - Orthoptistes
 - IDE
 - Opticiens
 - Assistant médical ?
- Opposition
 - Optométristes
 - MG ?

Fig. 1 : Les enjeux : la bataille est en cours.

lui attribue une meilleure qualité de vie, ce qui n'est vrai que s'il renonce à des éléments de revenu ou de pouvoir.

■ État des lieux

Le constat varie. Pour les uns, tout va encore bien pour l'ophtalmologie et ira mieux, pour d'autres les choses s'aggravent, pour certains les remèdes sont en place, pour les derniers ils sont peu efficaces et il faut aller plus vite et plus loin. Pour tout dire, la place est enviable et chacun se défend ou assaille. Les défauts sont en voie de résolution, moyennant des mesures qui vont présider, en partie, aux futures options. Pour ce rapide tour d'horizon, il est intéressant de regarder **ce qui est dit** de l'ophtalmologie. Nous utilisons volontiers les graphiques de professions non ophtalmologiques, car ce sont eux qui font l'opinion.

En 2018, la Cour des comptes a apporté un éclairage avec des données qui portent à réflexion. Très contesté par le SNOF, ce rapport est, *nolens volens*, un outil pour les décisionnaires. Certes, quelques déductions sont hâtives ou inappropriées, mais...

● Entre 2010 et 2016, **les dépenses liées à l'ophtalmologie et à l'orthoptie en ville ont augmenté de 27 %** en euros courants, et de 22,2 % en euros constants (+ 3,4 % en moyenne annuelle), pour atteindre 1,8 milliard d'euros. La quasi-totalité de ces dépenses (1,7 milliard) a relevé des ophtalmologues, le solde correspondant aux orthoptistes. **La croissance rapide des dépenses liées à l'activité libérale des ophtalmologues (+ 21,6 % en euros constants, soit 3,3 % de plus en moyenne par an)** est soutenue autant par la part des dépenses laissée à la charge des assurés (dépassements d'honoraires et ticket modérateur) que par le volume des actes. **Les dépassements représentaient 25,6 % des dépenses en 2016 (tableaux I et II).**

● **La hausse du nombre moyen d'actes effectués par ophtalmologiste (6932 en 2010, 8787 en 2016, soit + 24 %)** résulte de l'augmentation du nombre moyen de patients par ophtalmologue, mais aussi du nombre d'actes par séance ou par patient. Cette hausse est particulièrement importante pour

Année	Montant des honoraires CCAM	Montant des dépassements
2007	513 M€	Oct. 2007 123 M€
2010	805 M€	123 M€ 170 M€
2012	948 M€	205 M€
2014	1 091 M€	Oct. 2017 243 M€
2017	1 419 M€	322 M€ 331 M€
176 % d'augmentation des honoraires CCAM		x 26,1 d'augmentation des honoraires OCT en 10 ans

Tableau I : Progression des honoraires d'ophtalmologie en CCAM en 10 ans.

Libellé de l'acte	Code B2 prestation	Nombre d'actes	Honoraires en M€	Taux dépassement
Actes OPH en 2014				
Actes techniques médicaux CCAM	ATM (hors imagerie)	23 649 235	747,0	22,19 %
Consultations cotées CS	CS	11 540 649	420,2	58,29 %
Actes de chirurgie CCAM	ADC	1 075 236	307,3	47,32 %
Actes d'échographie CCAM	ADE	526 407	25,3	45,01 %
Consultations des spécialistes cotées C2	C2	452 036	23,5	11,06 %
Actes d'imagerie CCAM	ADI	813 300	12,1	27,0 %

Tableau III : Répartition des actes d'ophtalmologie en 2014.

Année	Nombre d'OPH libéraux	Nombre de CS (en millions)	Total des actes (en millions)	Nombre d'actes par OPH	Activité par OPH
2007	4 679	16	29	6 203	
2008	4 689	15,2	30,1	6 433	+3,7 %
2009	4 714	14,7	31,2	6 627	+6,8 %
2010	4 810	14,6	33,3	7 075	+14,1 %
2011	4 886	14,4	35,5	7 266	+17,1 %
2012	4 903	13,8	36,4	7 424	+19,7 %
2013	4 888	13,1	37,6	7 694	+24 %
2014	4 954	12	38	7 672	+23,7 %
2015	5 039	10,9	39,4	7 816	+26 %
2016	4 872	10,2	41	8 402	+35,4 %
2017	4 857	9,4	43,4	8 935	+44 % en 10 ans

Tableau II : La population est en hausse, mais le nombre d'ophtalmologistes a peu varié. Ils ont développé l'activité de 3,5 % par an en 10 ans. Les ophtalmologistes se sont donc globalement adaptés à la forte demande.

les actes techniques (*tableaux III*). Ceux-ci ont représenté en 2016 près des trois quarts de l'activité des ophtalmologistes et des dépenses associées, alors qu'ils étaient encore minoritaires avant 2010. La croissance du nombre moyen d'actes par séance montre d'importants gains de productivité, les tarifs restent stables (*Note de l'auteur : ce n'est pas un satisfecit !*). L'offre crée de la demande. La disparité entre l'effectif et la création de valeurs montre un net savoir-faire de la profession, mais au prix de zones de tension dont la prise de RV n'est que la partie visible de l'iceberg (*fig. 2*).

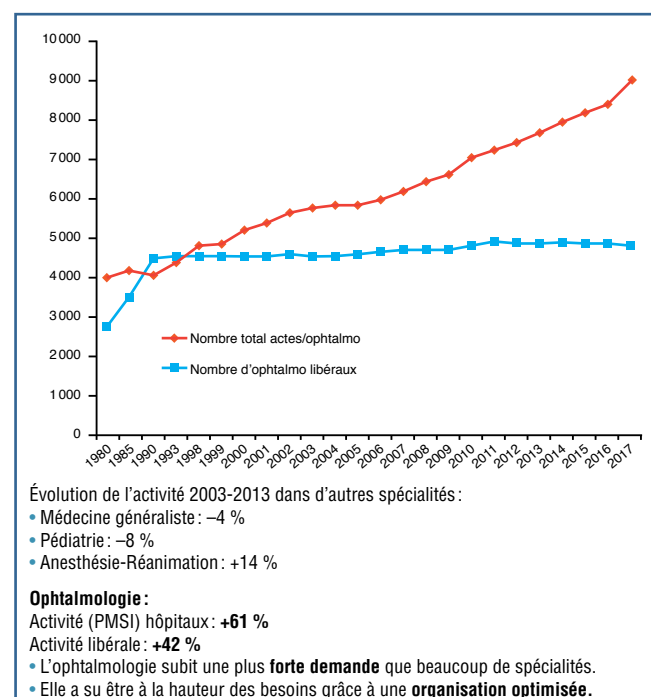
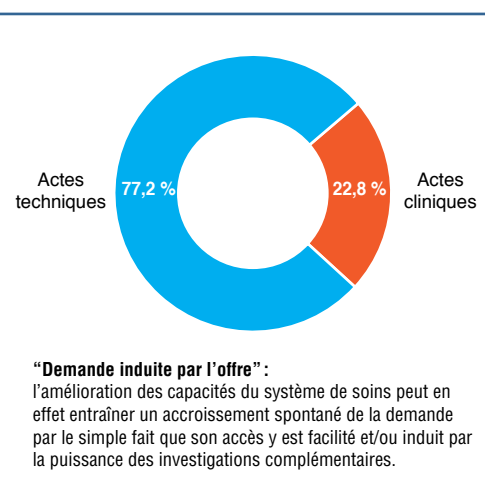


Fig. 2.



• Entre 2010 et 2016, les dépenses d'Assurance maladie liées à l'activité d'ophtalmologie en établissement ont augmenté dans une mesure limitée (+ 5,3 % en euros courants, + 1 % en euros constants). Car les prises en charge ambulatoires en chirurgie remplacent de plus en plus les hospitalisations classiques avec nuitée : la part des séjours sans nuitée, soit 86 % en 2016, a ainsi augmenté de 13 points depuis 2010. La DMLA est presque intégralement traitée en ambulatoire, la cataracte à 93 %, et le glaucome à 70 %. 80 % de la dépense est médicale.

On assiste à une inflation des soins qualitative et quantitative dans un périmètre relativement monopolistique et à une pénurie de médecins, elle aussi relative. En effet, si les délais restent encore longs dans plusieurs territoires, le patient, lui, est particulièrement mobile et la file est très ouverte (fig. 3).

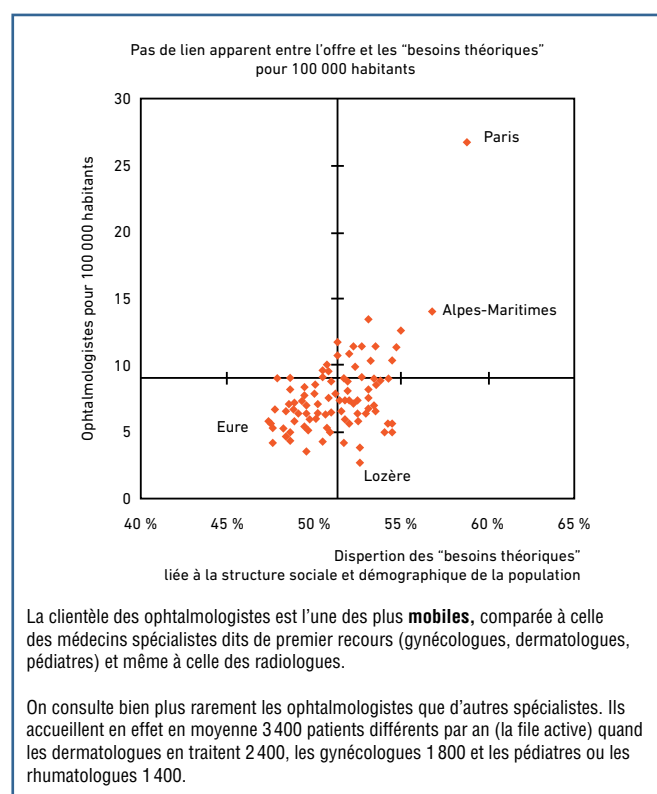


Fig. 3 : L'ophtalmologie n'a pas un maillage territorial serré.

■ L'accès aux soins oculaires

La Cour des comptes pointe les difficultés non résolues d'accès aux soins dans de nombreux départements et préconise de développer l'offre de soins visuels de premier recours en élargissant le champ de compétences des orthoptistes et des opticiens. 30 % des départements sont insuffisamment lotis. Il en est de même pour les orthoptistes. Face à ce constat,

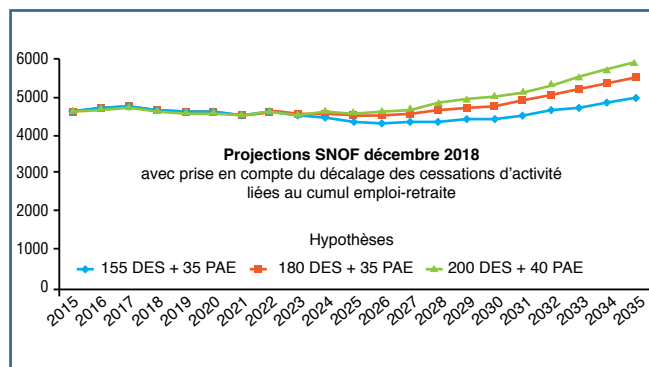


Fig. 4 : La projection de l'effectif des ophtalmologistes.

le SNOF affiche un objectif depuis 2017 de "zéro délai à l'horizon 2022"... Mais pour arriver à cet objectif, le syndicat demande une augmentation d'environ 70 internes par an (fig. 4) et une accélération de la création de cabinets secondaires. Cela grâce essentiellement au travail aidé, au cumul retraite-activité et à l'arrivée d'ophtalmologistes non nationaux, mais aussi et surtout parce que la moyenne d'âge des ophtalmologistes ne cesse d'augmenter (fig. 5). 2 500 praticiens devraient arrêter leur activité dans les 10 ans et un sur deux n'est pas remplacé lors de son départ à la retraite.

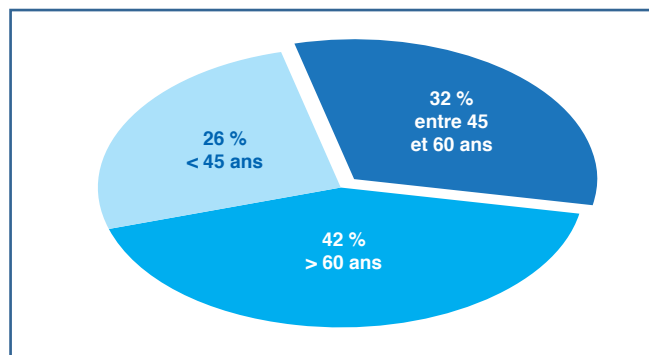


Fig. 5 : Les ophtalmologistes sont bien vieillissants.

1. L'accessibilité des ophtalmologistes

Ce programme est optimiste mais il sera surtout jugé sur la disponibilité des praticiens aux urgences et aux nouveaux patients. De surcroît, selon une étude réalisée à l'automne dernier pour l'AOF, près de **60 % des ophtalmologistes ne prennent pas de nouveaux patients** (fig. 6 et 7). Le travail aidé étant dans le périmètre du cabinet principal, cette innovation n'améliore pas la couverture géographique. 60 % des ophtalmologistes demeurent inaccessibles en raison de la difficulté technique d'obtenir un premier rendez-vous de prescription de verres. C'est ce dernier point qui est le point faible et qui a facilité la création de centres prescriptifs

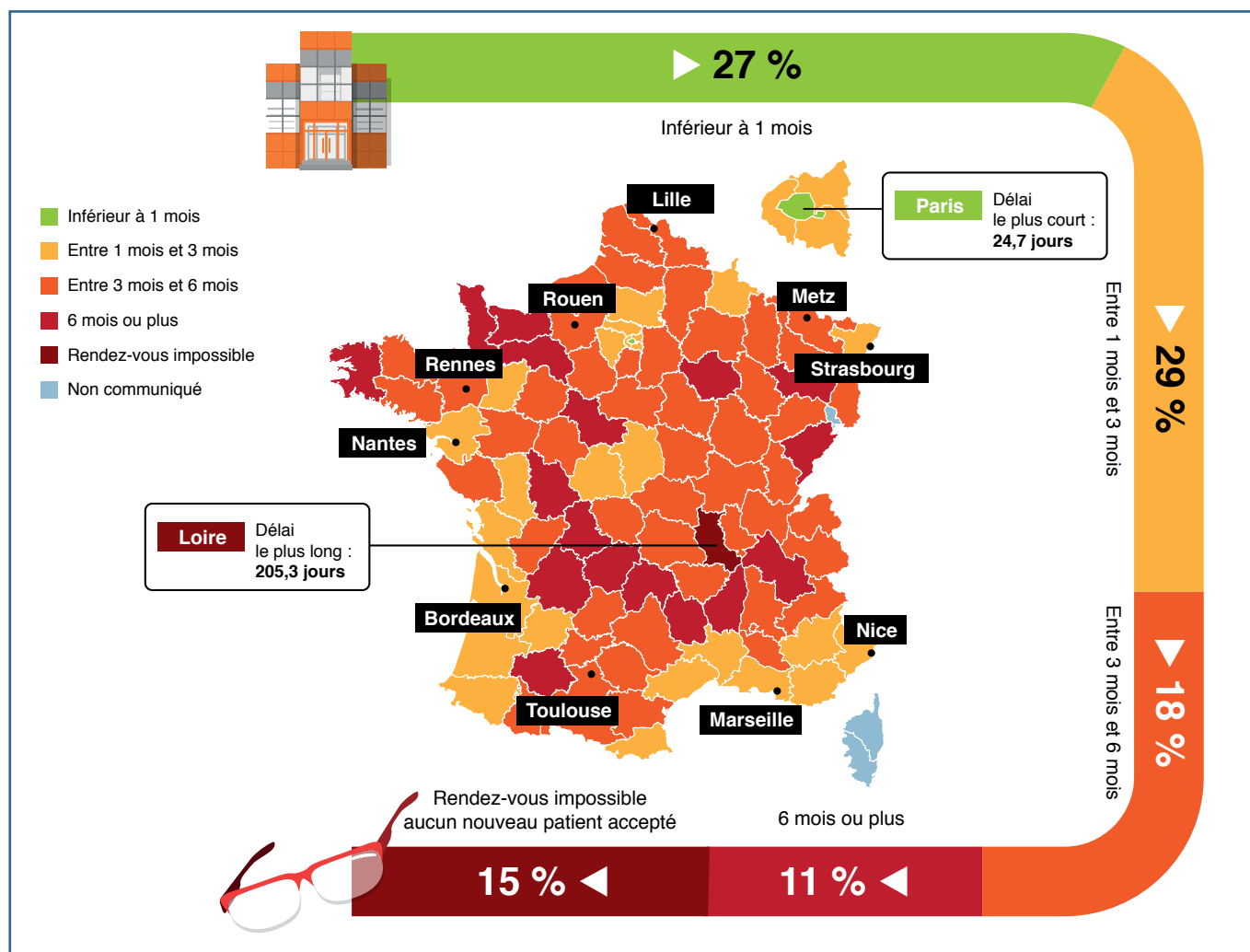


Fig. 6 : Délais moyens avant un rendez-vous, par départements (source : Enquête nationale réalisée par Yssup Research auprès de 2643 ophtalmologistes).

médicaux un peu partout en France. C'est aussi une préoccupation sociale car, à l'évidence, ce sont les zones où le secteur 1 domine, avec une population en tension économique, qui ont le plus de mal à gérer les flux.

C'est incontestable, dans 30 % des zones, il est difficile d'avoir un rendez-vous à moins de deux mois de délai. Cette difficulté, poussée à l'absurde dans certaines villes, oblige les pouvoirs publics à chercher des solutions et provoque des demandes d'accès à la prescription de la part de professions non médicales des filières liées à la vue. L'accessibilité, beaucoup plus que le délai, est la clef de voûte du débat d'opinion.

2. Les honoraires non opposables

Une difficulté supplémentaire provient de l'augmentation du nombre de dépassements d'honoraires, certes moins élevé

depuis le coup de semonce de 2012 (fig. 8). Ces amplifications d'honoraires ne sont plus dans le collimateur et les battues sont rarissimes, pour le moment. On comprend donc que la profession réclame des **mesures propriétaires**, essentiellement marquées par une hausse majeure du nombre de diplômés et par un agrandissement du périmètre et du volume de leurs activités. Ces mesures de bon sens arithmétique sont évidemment très inflationnistes. Si l'on ajoute des propositions de protocoles et d'organisation des soins, on peut rester prudent sur l'efficacité de ce combat pour le premier recours. Pour autant, les ophtalmologistes gardent encore la main et l'issue reste incertaine.

Un peu plus de la moitié des ophtalmologistes ajoutent une somme variable au tarif opposable. Soit de façon libre, soit dans une formule encadrée. Le secteur 3 demeure marginal. Le montant moyen n'est pas très élevé, mais il reste insupportable pour les couches défavorisées de la population. Il

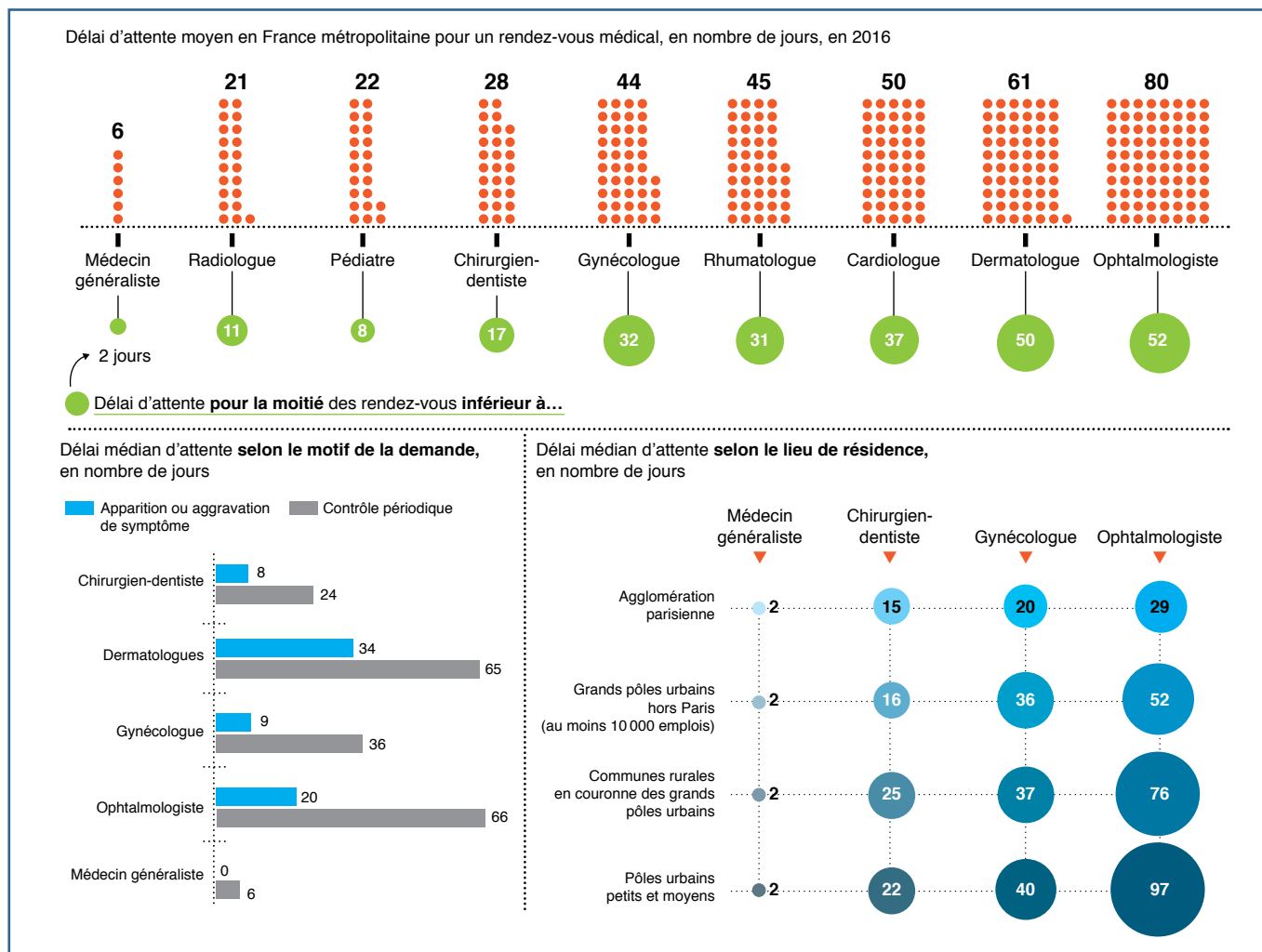


Fig. 7 : La moitié des patients attend en moyenne 7 semaines pour pouvoir consulter un ophtalmologiste.

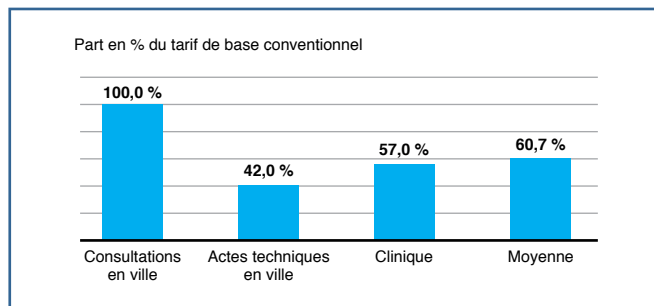


Fig. 8 : Taux moyen de dépassements d'honoraires en secteur 2 (2015).

n'est pas certain qu'il soit à la source des refus de soins par le patient, car ces dépassements sont surtout le fait des départements assez bien lotis en médecins. Au demeurant, si un établissement public est accessible, il peut apporter une réponse fiable. L'ophtalmologie est le domaine médical où les médecins sont les mieux rémunérés pour une contrainte

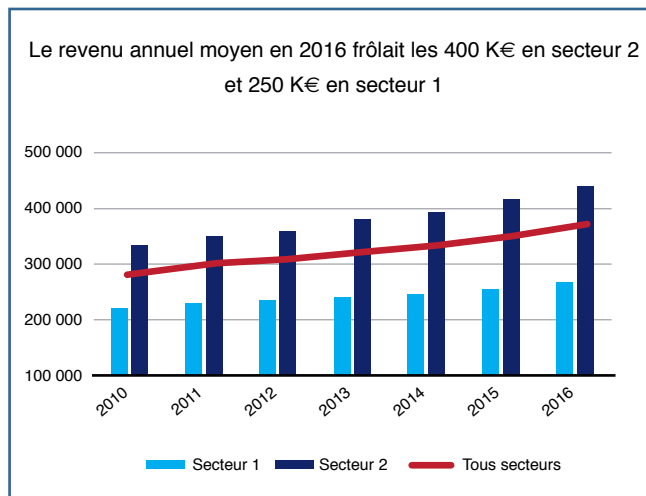


Fig. 9 : Entre 2005 et 2014, le revenu moyen d'activité des ophtalmologistes a augmenté de 1,9 % par an en euros constants (taux de 0,9 % pour l'ensemble des médecins spécialistes).

a minima (fig. 9) – faible investissement, peu ou pas de gardes, pas de subordination... La chirurgie n'est qu'une fraction faible de l'activité, entre 18 et 20 % de l'enveloppe.

Les ophtalmologistes, à très peu d'exceptions près, ne sont pas véritablement des chirurgiens et ils ne sont pas classés comme tels par la tutelle. Ce sont les investigations et la thérapeutique qui dominent. La transformation en cours – 3D, robots, inserts, apports génétiques – accentuera ce caractère médicotechnique.

■ La problématique d'un cabinet, c'est la maîtrise

Le cabinet est un projet médical. Le choix des modalités s'inscrit dans cette perspective. Les montages administratifs et financiers ne seront que les outils de ces choix. L'expérience montre que la validité des structures modernes dépasse rarement 12-15 ans avant qu'un sérieux *retrofitting* s'impose. Après la rédaction d'un cahier des charges, un tour de *benchmarking* est précieux – bien souvent, il y a de la lumière chez les autres.

Avec la disparition des correspondants, tous les ophtalmologistes sont en première ligne, le cabinet médical doit se

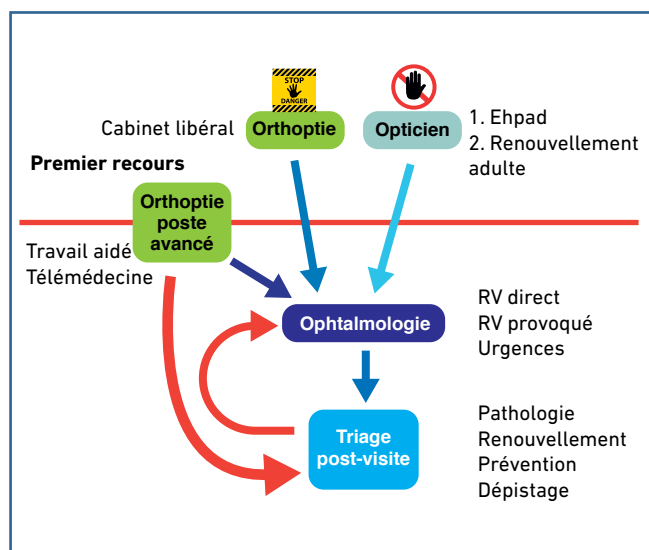


Fig. 10: Positionnement du cabinet ophtalmologique.

positionner comme un **dispositif incontournable** (imagerie, chirurgie...). Celui qui possède le premier contact tient le flux de la demande (fig. 10). À cet égard, **il est crucial de savoir si le premier poste sera uniquement médical ou non**. Dans le second cas de figure, des liens contractuels forts doivent être mis en place. Mais l'expérience montre que, vite, les métiers non médicaux indispensables réclament autonomie

Fig. 11: La recherche d'un recrutement chirurgical est un aspect nouveau de certains centres qui étaient au départ purement médicaux.



Fig. 11 bis.

et avantages financiers. Le recrutement n'est qu'une conséquence du choix. La vision monopolistique liée au territoire est moins vraie, même si elle joue un rôle. La facilité d'accès et la facilité des communications sont les facteurs prépondérants. C'est dire que les protocoles, les postes délégués, les réseaux, etc. demandent un ficelage administratif efficace. Le conseil d'avocats spécialisés est indispensable.

L'apparition en France de **centres de bilan de la vue** médicalisé connaît une réussite en termes de facilitation de l'accès aux soins, mais n'a pas changé grand-chose aux délais. Surtout, le modèle économique est exposé à la nécessité de trouver des zones nouvelles de recettes là où les coûts sont élevés. La rémunération de l'orientation vers des centres effecteurs d'actes est devenue essentielle pour l'équilibre lorsque le centre est coûteux (*fig. 11*). Proportion et circuit peuvent varier selon les lieux et les sujets. On peut voir arriver des centres experts qui ne sont plus dans la philosophie affichée au départ (notons la nouvelle mention "centre médico-chirurgical"). Le réseau de la *figure 11 bis* est un axe important pour ces dispositifs, qui vont aussi chercher à développer la télé médecine.

La profusion de dispositifs prescriptifs, surtout en régions, constitue une concurrence notable en premier recours du secteur 1. La principale chaîne a su participer aux pressions aboutissant à une possible prescription par les orthoptistes, ouvrant ainsi la porte à une baisse des coûts pour les centres, à une amplification du recrutement et à terme à une réduction du nombre d'ophtalmologistes employés. L'entrisme est une méthode commerciale.

■ Les modes d'installation

Les jeunes diplômés ne passent que rarement par une reprise de clientèle, encore que ce soit une façon simple et aisément amortissable de lancer une activité, surtout en chirurgie. Le choix d'une modalité d'ouverture est crucial et, fréquemment, la micro-entreprise d'ophtalmologie est repoussée de quelques années après un passage par un simple cabinet classique. Si le salariat attire au début, bien vite il ne retient les éléments que sur une fraction de parcours. On note une tendance à la diminution du nombre de PH au profit des assistants. La prochaine réforme permettra probablement une réapparition plus marquée d'un mix hôpital-libéral. En effet, les salaires des médecins hospitaliers sont au plus haut de l'échelle de la fonction publique et on ne peut leur offrir que du temps libre, du libéral ou des missions.

Les jeunes ophtalmologistes libéraux sont bien formés (sauf en réfractive), ils connaissent les interventions et l'imagerie, sont brillants – ou du moins travailleurs et rapides –, moins attirés qu'auparavant par la filière hospitalière, tentés les premiers temps par le salariat, ils découvrent la réalité de la micro-entreprise dès les remplacements et sont moins féminins qu'il n'a été dit – la proportion est proche de la parité (environ 40 %), alors que durant les études le chiffre est d'environ 60 %. Ce sont pour la plupart de parfaits communicants et le digital ne pose aucun problème. Enfin, l'**ingénierie** ne leur est pas étrangère, tant en organisation qu'en financement ou en juridique.

1. Le cabinet individuel

Le cabinet individuel *de novo* n'offre pas de complexité, mais il est *de facto* un cabinet en solitaire. D'une part, il recrute en direct avec des moyens et des ambitions limités, d'autre part il est très dépendant des structures d'aval en imagerie et soins. Pour dégager une marge réelle et développer un volant suffisant d'actes, il nécessite 2 ou 3 embauches de PNM et des matériels très sophistiqués (*fig. 12*). C'est ici que l'IA intervient pour valoriser ce type de cabinet, en permettant d'amplifier et le flux et le rythme. Les lectures hasardeuses pouvant être télétransmises. Le poste de dépense majeur étant les salaires, un bon **système de management** bureautique fondé sur l'IA apporte rapidité et efficacité ainsi qu'une réduction du temps de présence et de travail humain.

On peut concevoir des cabinets *soft* à débit moyen et faible technicité. La réduction des coûts préside aux choix. Il en

Ce mode peut continuer d'exister. Mais il sera vite confronté, surtout en ville, à la vérité des coûts et des marges. S'il surpasse la difficulté, il sera vite saturé.

C'est un **cabinet pour Millennials** qui, au nom de la qualité de vie et du travail, a renoncé au rôle économique et médico-social d'un centre privé.

C'est aussi le cabinet du **"grand consultant"**, ne voyant que les patients explorés par d'autres.

C'est enfin le modèle des centres multidisciplinaires : **"maisons médicales"** qui sont en réalité des réponses à petit périmètre pour zones en souffrance.

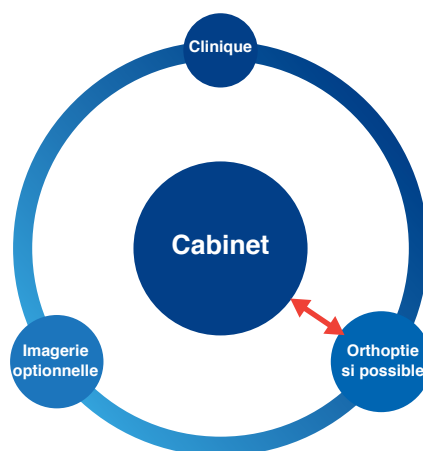


Fig. 12: Le cabinet individuel.

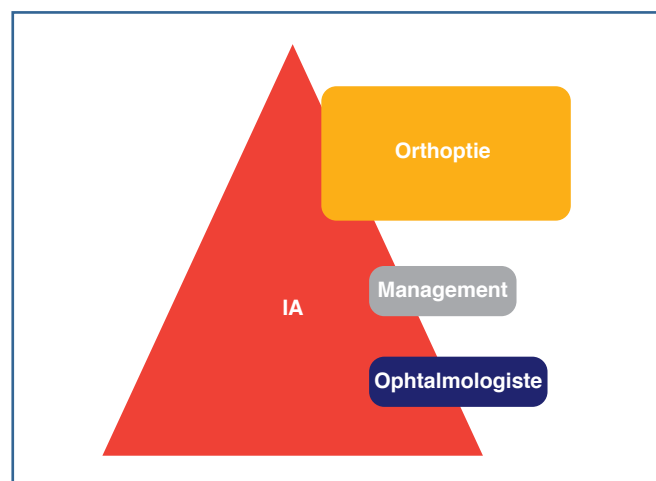


Fig. 13: Le travail aidé, c'est le travail délégué, le médecin doit se préserver pour les tâches non reproductibles et polyfactorielles.

existe encore dans les villes, avec des ouvertures plus étendues et une prise de rendez-vous uniquement digitale. Notons qu'une partie des médecins qui pratiquent en cabinet individuel arrive souvent à consulter aussi en centre de soins ou d'investigations. Ce type de cabinet convient à des consultants très spécialisés dépendant de la chaîne technologique. **Le travail aidé, introduit en 2000**, est un puissant amplificateur de l'activité du cabinet. Un même médecin peut augmenter son flux, son revenu et sa qualité professionnelle sans travailler plus longtemps.

Le médecin aidé est en fait un travail délégué, c'est l'orthoptiste qui fait tout ou presque. Le médecin assure le diagnostic et la conséquence. Il est l'intelligence du process. Son aide est privée de la décision médicale, alors qu'il possède parfois, par son savoir, des éléments utiles de réflexion. C'est

ce type de métier qui est menacé par le développement des instruments dotés d'intelligence dite artificielle – ordinateur + internet + base de données (fig. 13).

La reprise de patientèle, sous la forme d'une simple présentation à cette patientèle, ou par rachat de l'ensemble des moyens (cabinet, matériel, accès imagerie et clinique...), est surtout le fait de jeunes qui ont des ambitions de chirurgiens ou à fortes activités. Peu de cabinets sont attrayants car ils doivent posséder une notoriété importante, une implantation très forte et favorable, ainsi qu'une file active et renouvelée de patients. Lorsque cette opportunité existe, le rachat constitue un marche-pied efficace. La dépense peut être adoucie fiscalement et le retour sur investissement est assuré. Toutefois, les cabinets peu actifs, sans véritable "marque", datés, etc., n'ont pas cette possibilité et peu de médecins partants en profitent. Pour autant, il ne faut pas négliger la tendance de rachats *a minima* pour installer un poste avancé où le centre principal placera surtout des orthoptistes et/ou des médecins collaborateurs (quelle que soit la forme juridique). C'est un moindre mal pour des cabinets à l'ancienne mais bien situés. C'est aussi la stratégie tentaculaire d'établissements hospitaliers qui recherchent des établissements privés ou non qu'ils investissent (la Fondation Rothschild en est un exemple, avec même des bastions avancés en haut de gamme lucratifs, d'autres en périphérie hospitalière, etc.).

2. Le cabinet de groupe

C'est le cabinet en vogue avec 80 % des installations. Il permet des activités conjuguées entre ophtalmologistes de spécialités différentes, voire identiques, sur un même plateau. Le partage est la philosophie financière qui permet de limiter les

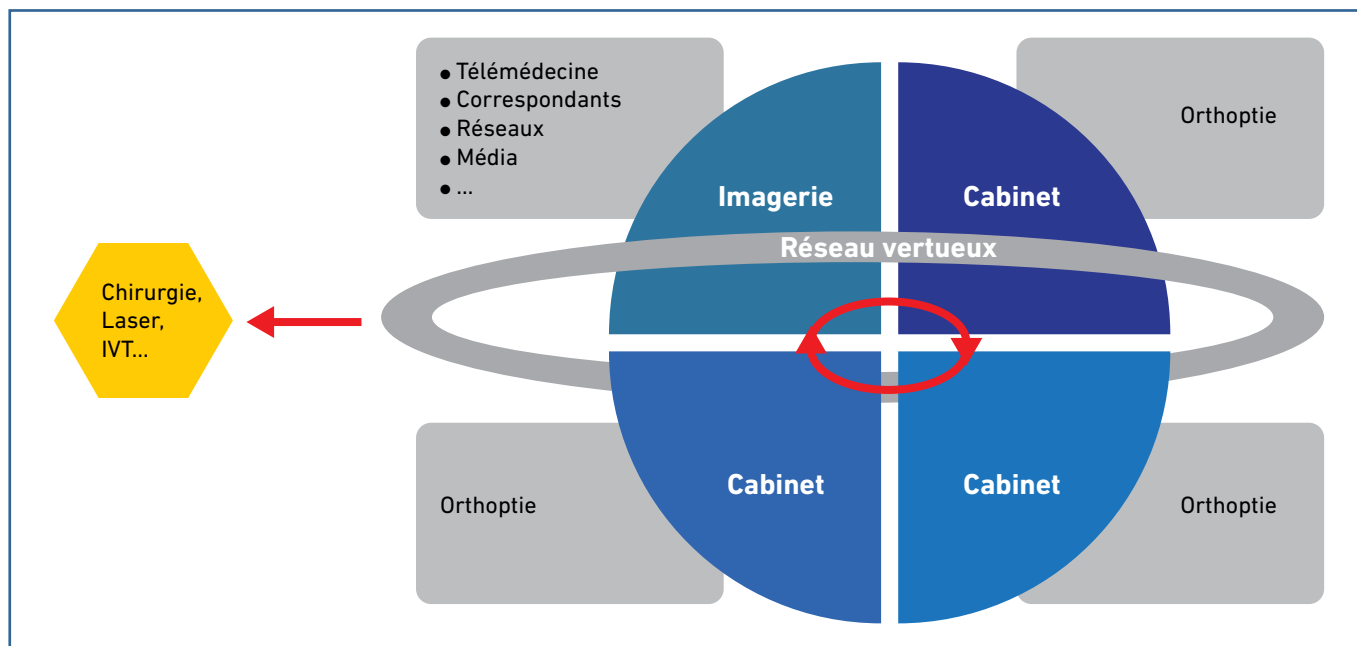


Fig. 14 : Cabinet de groupe, mono ou multi-sous-spécialités.

dépenses tout en potentialisant et en complémentarisant les recrutements spécifiques entre praticiens (fig. 14). Le dispositif offre toutes les options entre matériels et personnels communs à des individualisations nettes. L'avantage intellectuel et fonctionnel est évident. Aujourd'hui, ces cabinets sont à l'aube du passage à des structures décrites ci-après.

Une tendance apparaît, qui groupe des spécialités compatibles comme l'esthétique médicale, l'odontologie sous un même toit et une organisation commune. C'est possible avec un montage approprié et une stratégie immobilière de location pertinente.

3. Le cabinet multiposte

Ce type de structure est nouveau et se développe. À partir d'un noyau classique, des antennes avancées sont installées, en général dans le bassin de chalandise (fig. 15). Il peut s'agir de collaborateurs médicaux, d'orthoptistes, de futurs assistants, etc., toutes les formules sont en évaluation. Des protocoles encadrent ou non une partie de ces *pods*. Ils sont conçus pour alimenter des centres de production d'actes, soit en chirurgie (mais il faut des socles solides et très actifs), soit en imagerie, avec une panoplie très large et des délais courts. Ces systèmes sont coûteux, le modèle économique est plus fragile qu'il n'y paraît, les frais de personnel augmentent et il peut y avoir une dégradation des performances d'exploitations ou des performances financières.

Mais il s'agit d'une réponse appropriée aux besoins. Des investisseurs parient sur cette formule pour soutenir la création de postes avancés. On le voit, les formules sont diverses et tout débute par la définition duale : la cible et les conditions pour l'atteindre (fig. 16).

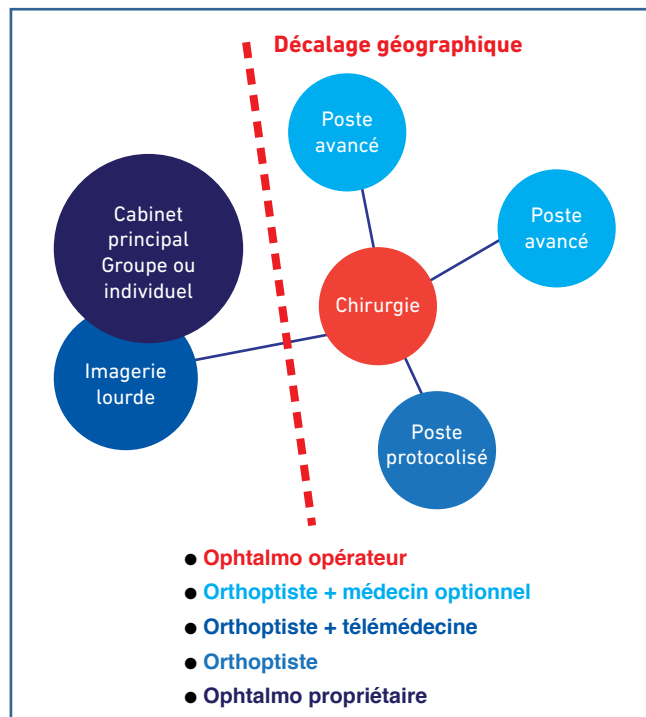


Fig. 15 : Le cabinet multiposte.

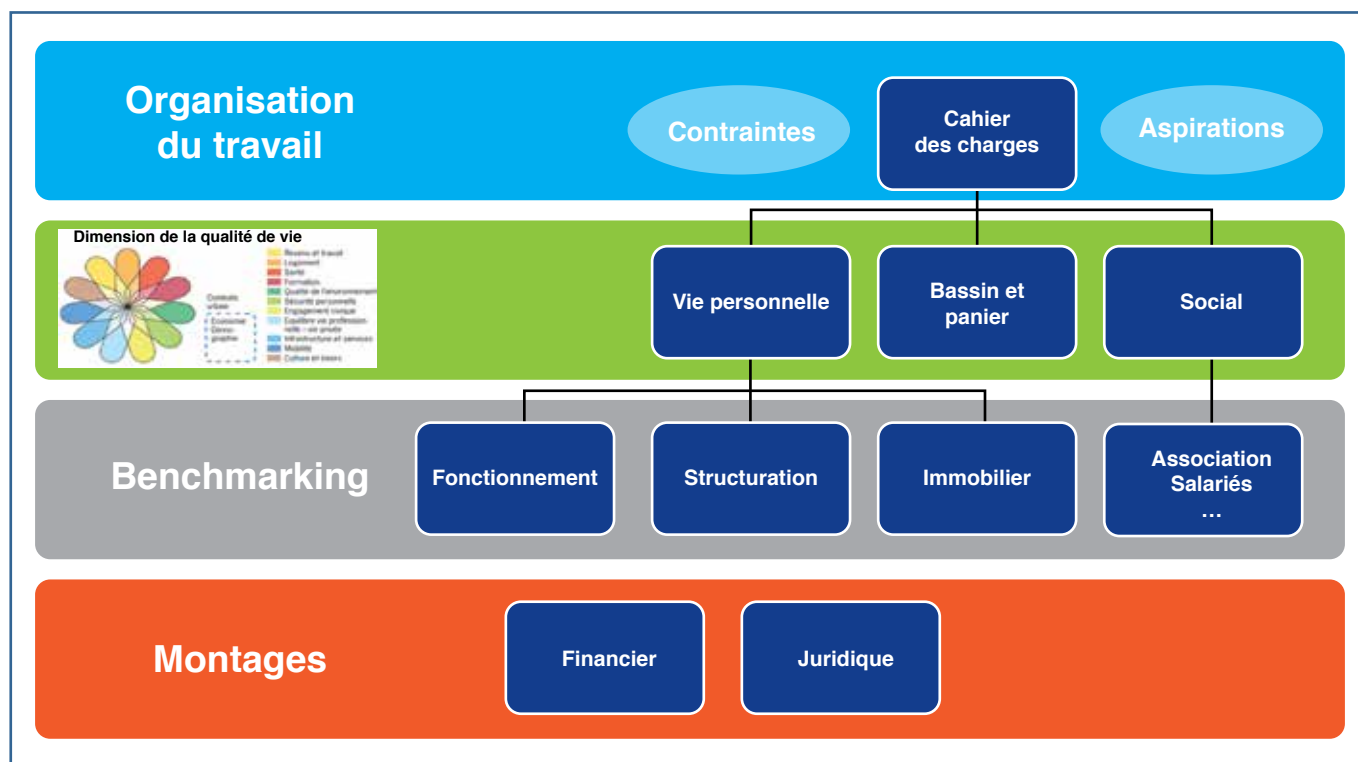


Fig. 16 : Démarche décisionnelle.

4. Télémédecine, intelligence artificielle

La création d'annexes de cabinets labellisées et mutualisées en **télémédecine** (fig. 16 bis) ne demande ni déménagement, ni investissements, ni gestion de personnel comme dans le cas du travail aidé et du RNO. Il suffit d'adhérer et on reçoit les bilans visuels sur son logiciel métier sans rien changer à l'environnement de travail – à chacun de réinventer sa pratique juridique, administrative, financière. Notons



Fig. 16 bis : Cabine de télémédecine.

l'existence d'une plateforme nationale multi-spécialité (Acetiam), essentiellement dirigée vers les établissements hospitaliers. Dès maintenant, la télémédecine d'expertise, avec des médecins requis ou des experts, permet une rémunération par la Cnam dans un cadre de contraintes. Les choix pertinents peuvent faire la différence dans le succès de l'entreprise. Pas très loin, l'usage des *chatbots* augmente dans les pays anglo-saxons. À dire vrai, pour le moment, la télémédecine demeure très précieuse dans les environnements dénués d'ophtalmologistes (médecine préventive sociale, patients éloignés...). Elle s'épanouira avec les postes avancés fonctionnels.

L'intelligence artificielle n'est pas qu'un essor technologique, la confiance passe aussi par la compréhension, l'explicabilité et un processus de certification. Le système doit pouvoir expliquer son propre comportement ou sa proposition, en temps réel, dans un langage naturel et adapté au contexte. Ce type d'IA ne supprime pas l'homme, mais accélère et amplifie la performance qui, dans un premier temps en ophtalmologie, sera un outil décisionnel. "À Stanford, une équipe a montré que l'intelligence artificielle faisait mieux en matière de dépistage de la rétinopathie diabétique que des ophtalmologistes", rappelle le Pr José-Alain Sahel.

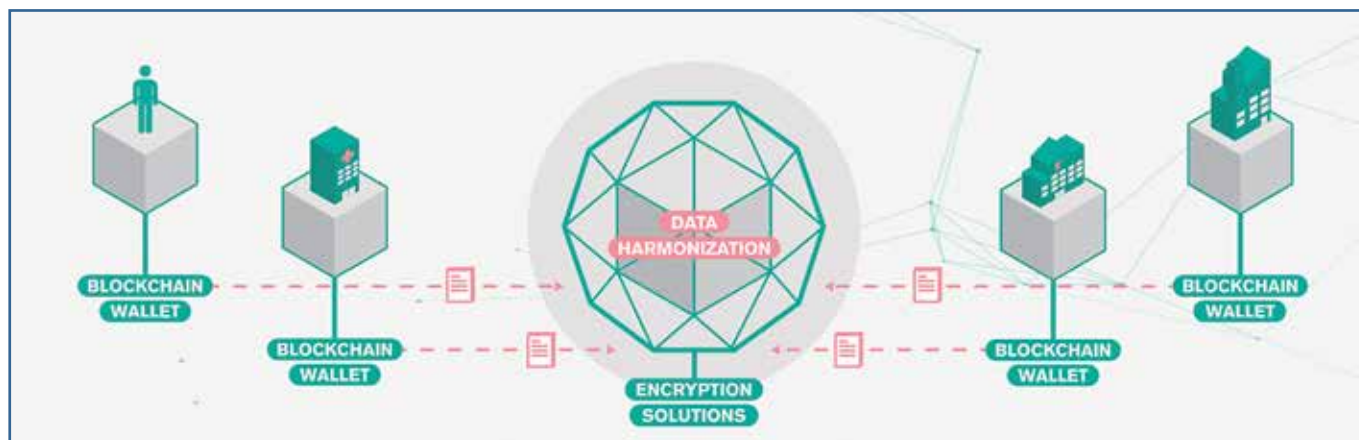


Fig. 17 : Illustration simplifiée de la blockchain.

Il est donc pertinent que l'intelligence artificielle soit prévue dans le plan de développement du cabinet. Citons des dispositifs qui reposent sur un abonnement pour des consultations à distance, tel Babylon Health, ou le logiciel Watson d'IBM (il intégrait déjà, en 2012, 600 000 données médicales et les dossiers de 1,5 million de patients atteints de cancer), la start-up Forward qui donne pour 149 dollars par mois un accès illimité au médecin (aux États-Unis, ce n'est pas cher), ou encore les *walk-in clinics* (à Bâle, par exemple). Google est présent avec le projet DeepMind. Néanmoins, tout système informatique a longtemps été soumis à la loi de Moore (encore valable, alors qu'elle devait s'auto-annihiler en 1975) et son corollaire : tout ordinateur devient obsolète... au plus tard le jour de son déballage. Et plus on ajoute de fonctionnalités à un ordinateur, plus on augmente la probabilité des *bugs*. L'IA est un **processus dynamique et permanent** qui exige entretien et enrichissement. De plus, rien encore ne remplace la sérendipité de l'homme.

La place de la **blockchain** est encore balbutiante, cependant la réflexion est en cours car ce système libère les bénéficiaires de nombreux intermédiaires et consolide la sécurité, mais au prix d'une surconsommation électrique majeure – par exemple, le projet MyHealthMyData (fig. 17).

Les cabinets multisites sont légaux et fréquents dans le cadre de la SEL qui autorise jusqu'à 5 installations. C'est une variation du cabinet multiposte qui convient parfaitement aux actes techniques. Certains sont en zone à fiscalité amoindrie. Ils abondent, comme les centres d'investigations ou de soins chirurgicaux. Mais attention, le multisite ne doit pas être confondu avec les postes avancés. Ceux-ci n'offrent un retour sur investissement que s'ils induisent des activités. Leur objectif premier, contrairement aux

diagnostics, n'est pas de répondre aux besoins, mais de les capter et de les canaliser.

■ Que nous apprend la composition des revenus ?

Les données relevées par la Cnam l'année dernière éclairent les pratiques. Nous montrons les chiffres maxima pour illustrer les marges de progression du système actuel.

Le plus important opérateur national assure un revenu d'environ 2 millions d'euros pour 3 365 interventions de segment antérieur. Le dépassement d'honoraires est faible et l'imagerie quasiment absente.

Le plus fort revenu national (nous ne parlons que d'actes CCAM) gagne environ 4,4 millions d'euros avec environ un peu moins de 100 000 actes non chirurgicaux.

Le premier revenu parisien avec chirurgie (avec 3 fois moins de chirurgie que le premier national) arrive à un chiffre beaucoup plus important de 3,4 millions d'euros grâce à une proportion élevée d'actes techniques (**tableau IV**).

Enfin, **le troisième national** n'opère pratiquement pas et consolide un revenu de 3 millions d'euros.

Ce que n'indique pas la Cnam, c'est le volume des actes non cotés. Leur revenu est loin d'être négligeable en chirurgie réfractive et considérable si on le rapporte au temps passé. On pourrait multiplier les démonstrations à partir de ces chiffres élevés, mais ils illustrent que la chirurgie n'est plus l'alpha et l'oméga de l'installation. Les actes techniques ou l'imagerie occupent la *pole position* (fig. 18). Certes, il s'agit de

	Nombre	Honoraires (en euros)	Dépassement (en euros)	Taux en % dépassement
Actes techniques médicaux	60 878	2 413 182	689 911	40
Consultations spécialisées	17 135	1 174 582	768 012	195
Actes orthoptie	15 984	294 124	45	0
Imagerie	4 359	60 482	15 723	35
Majoration hors CPAM	2 959			
Chirurgie	1 245	437 269	205 423	88
Échographie	721	31 359	11 622	58
Divers		9 500		

Tableau IV : Exemple de profil mixte à Paris d'un "premier de cordée" (2017).

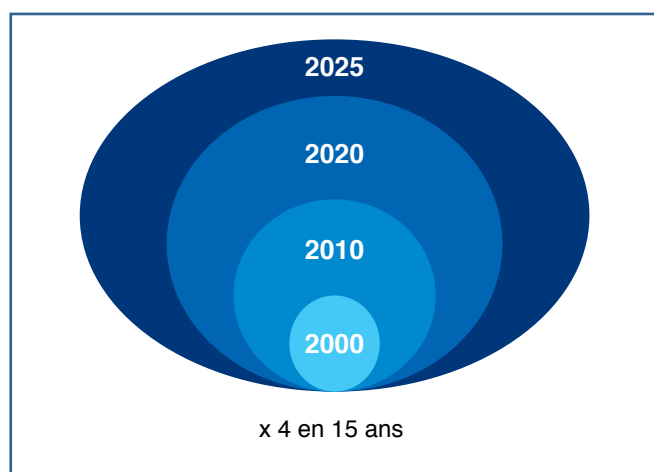


Fig. 18 : Les investigations se développent toujours davantage.

données analysées deux ans après (2016) et qui ne garantissent pas la pérennité du constat. Déjà, la suppression de la tarification du second œil en OCT contraint la recette. Les projets de paiement au forfait, à l'épisode de soins ou au parcours, de remboursements différenciés, etc. augurent d'autres mécanismes financiers. Évidemment, le revenu n'est pas le seul élément des modalités d'exercice et du mode de vie professionnelle retenu. D'autres contraintes seront à considérer, elles concernent peu l'ophtalmologiste mais celui-ci sera impacté indirectement. Il s'agit du nouveau modèle inspiré par l'État : les Communautés professionnelles territoriales de santé (CPTS). Le raisonnement pastiché est le suivant : l'hôpital ne fonctionne pas, élargissons le champ de ses incompétences au monde libéral pour en finir définitivement avec le reste d'indépendance organisationnelle, idéologique et/ou sociologique de

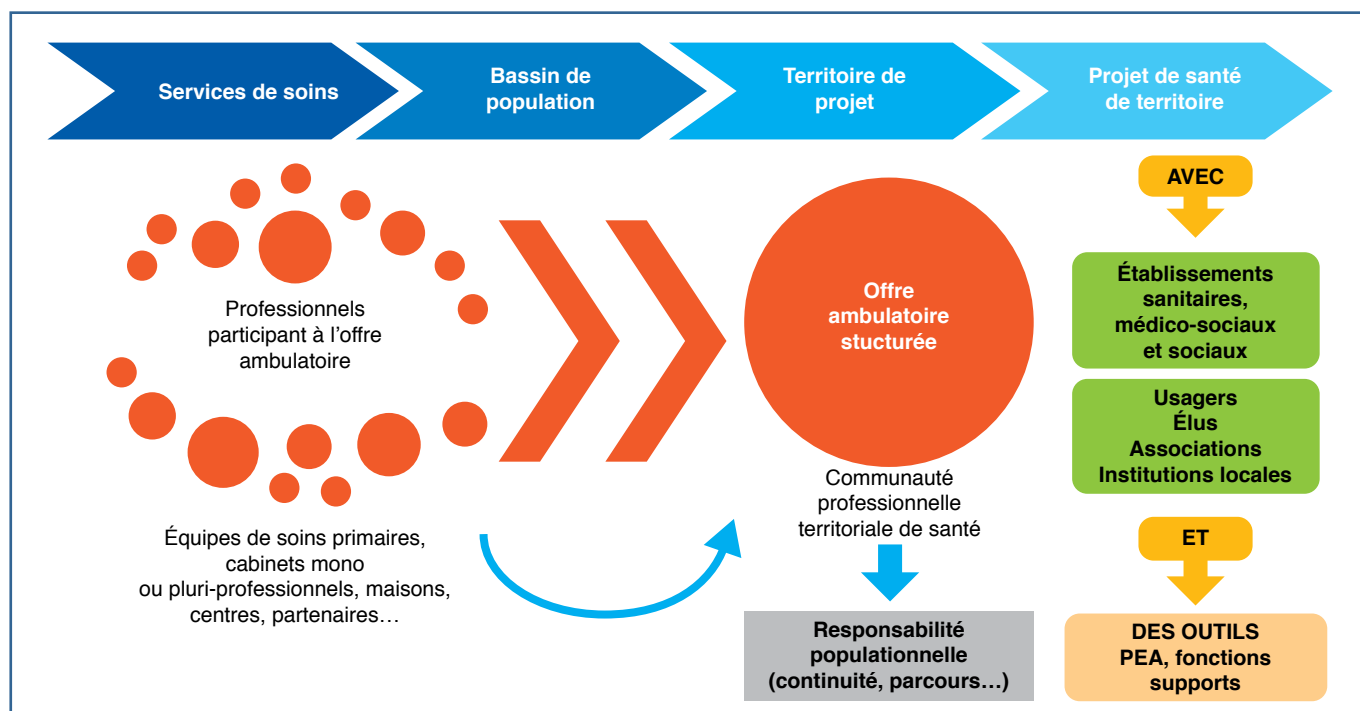


Fig. 19 : Communautés professionnelles territoriales de santé (CPTS).

cette médecine libérale (*fig. 19*), ainsi nous garderons le pouvoir. Ce pouvoir est le bas de laine de l'hospitalo-centrisme. **Les CPTS sont un formidable moyen de coercition** pour les libéraux, qui seront obligés de se plier aux injonctions de la puissance publique, tant en termes d'honoraires que de financement des infrastructures ou de priorités de santé. Qui va organiser? Contrairement au modèle britannique, où ce sont les médecins eux-mêmes qui coordonnent, en France, comme toujours, le rapport de l'HCAAM occulte la question du pouvoir, de l'autorité. **L'administration n'a pas vraiment le pouvoir d'imposer les réformes en libéral et doit se contenter de produire des discours performatifs ou normatifs.** Souhaitons tout de même que, par une sorte d'alchimie providentielle, les CPTS tiennent leurs promesses. Les structures médicales semblent jouer le jeu, espérant un effet bénéfique et une capacité à tirer les marrons du feu. Faute de quoi, ce sont les complémentaires santé, assurances ou mutuelles, qui prendront en main l'organisation des soins ambulatoires.

Compte tenu de tous ces facteurs, le cabinet intégrera progressivement des modernités ou des nouveautés, voire des inepties de diverses origines et d'emploi encore flou (*fig. 20*).

Les professions dépendantes méritent un mot. L'orthoptie est sortie gagnante de sa refonte et elle constitue le véritable adjuvat ophtalmologique. Le nombre de diplômés augmente et atteindra dans 5 ans un niveau permettant d'offrir un emploi à tous, mais sans pression excessive sur la masse salariale. Une question demeure, celle de la future percée ou

non des optométristes. *A priori*, la volonté ministérielle est d'amener orthoptistes et opticiens à un niveau Master permettant des échanges et des spécialisations en conformité avec les accords de Bologne.

Une interrogation porte sur l'impact de la prescription permise (avec encadrement) aux opticiens. Cette profession présente une baisse modérée de l'activité, mais les nouvelles mesures n'ont pas encore pris un envol important.

Réglementairement et en l'état, les IDE ne peuvent pas assurer le rôle d'assistant. Le métier d'assistant sera lui aussi encadré.

Quant aux menaces de groupes non médicaux installant des médecins, elle existe et a fait des ravages en biologie. La **financiarisation** est en cours, mais la prévention est entre les mains des ophtalmologistes qui n'ont qu'à investir eux-mêmes, en temps et pleinement.

■ L'impact pour la chirurgie réfractive

Le recrutement en chirurgie réfractive ne va qu'à celui qui propose largement et presque systématiquement ce traitement. La formation individuelle est un prérequis qui s'acquiert difficilement durant l'internat. Il faut s'intéresser à cette spécialité pour apprendre, par un compagnonnage actif, les rudiments techniques et intellectuels. Contrairement aux chirurgies endo-oculaires, elle ne demande aucune habileté particulière et exige peu de connaissances. En revanche, elle suppose de ne plus craindre de modifier un organe non pathologique. Tous les moyens d'information doivent être employés car il s'agit soit de convaincre, soit, surtout, de bien expliquer. La chirurgie réfractive est hors-champ de la Cnam et s'avère extrêmement rentable. L'activité réfractive est stable depuis des années et ne connaît pas encore un élan déterminant. Le cabinet qui s'y intéresse trouve dans la chirurgie réfractive une valeur ajoutée nette, aisée et rapide. L'avenir est à cette chirurgie, car son socle est **l'amélioration de la qualité de vie** : c'est la première raison qui pousse à consulter, et largement, alors qu'il y a 20 ans, on avait en tête un cache-misère comme l'aptitude ou l'échec des lentilles de contact.

Si on considère la Clinique de la Vision – Paris, nous constatons que les valeurs sûres demeurent la PKR et le Lasik (*fig. 21*). Dans notre établissement, qui dispose d'un important plateau technique, et après l'échec des machineries

Cinq technologies "impactantes"

- **Les capteurs et dispositifs connectés**, qui connaissent une concurrence acharnée, notamment avec la présence des géants du numérique, les fameux GAFA (Google, Amazon, Facebook et Apple).
- **L'intelligence artificielle**, dont on rappelle qu'"elle ne se limite pas à des robots!" et fera partie intégrante de notre vie quotidienne, de la prise de rendez-vous à l'établissement du diagnostic, tel que Babylon Health, la start-up anglaise qui collabore de près avec les hôpitaux du NHS pour désengorger les urgences.
- **La réalité virtuelle**, déjà utilisée notamment pour soigner diverses phobies, soulager les douleurs chroniques et faciliter la formation des étudiants en médecine, à l'image de SimforHealth.
- **L'impression 3D**, outil de la médecine personnalisée, promet de se généraliser, notamment dans la réalisation de plâtres en nylon et sur mesure, l'impression de comprimés approuvés par la FDA tel que le médicament contre l'épilepsie Spritam, la bioimpression de cellules humaines.
- **La génétique clinique**, ou *direct-to-consumer genetics*, autre domaine de la science qui progresse très rapidement et dont l'exemple de réussite le plus connu est celui de la start-up suisse à succès Sophia Genetics ou de la jeune pousse américaine 23andMe.
- L'idée finale est le **Tricorder** de la série télévisée *Star Trek*, ce boîtier capable de téléporter des humains (cela existe : *Final Frontier Medical Devices*).

Fig. 20 : Les nouveaux moyens.

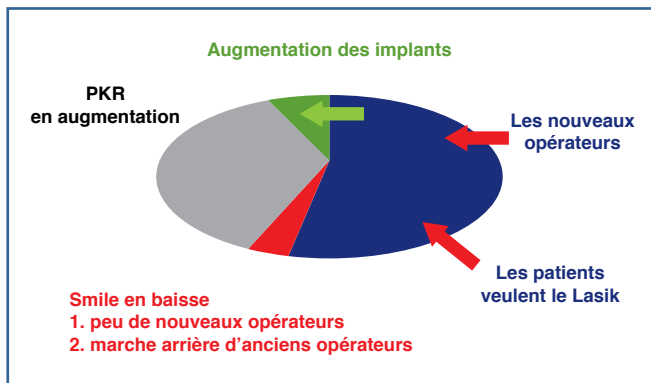


Fig. 21 : Proportion et mouvements des méthodes à la Clinique de la Vision, en 2018.

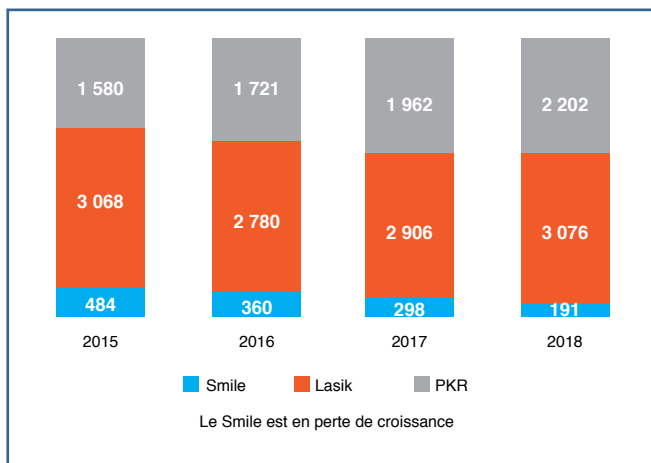


Fig. 22 : Répartition des techniques opératoires à la Clinique de la Vision – Paris (2015-2018).

IntraCor, puis des *inlays* Kamra, nous observons une stagnation du Smile. Le tout dans un contexte d'activité stable ou en faible croissance. **La chirurgie réfractive s'avère paradoxalement, en matière de cornéoplastie laser, très conservatrice.** Les valeurs sûres sont les mêmes qu'il y a 15 ans (fig. 22). Seuls des *upgradings* techniques modernisent les opérations ou, rarement, des petits sauts de puces comme la PKR transépithéliale.

Le marketing va prendre une place prépondérante avec la financiarisation des centres d'examen. Même si la patientèle est quasi-automatique, l'importance des frais et la mobilité des patients poussera à mettre en place des campagnes de recrutement. Déjà, la publicité existe par les centres et pour eux. Mais la réglementation européenne va aussi faire desserrer une partie des obstacles à la publicité directe. En France, en juin 2018, le Conseil d'État proposait de supprimer l'interdiction générale de la publicité

directe ou indirecte et de poser un principe de libre communication des informations par les praticiens au public. Ce type d'**incitation publicitaire** à l'opération sera le principal moteur de l'expansion. En effet, le bouche-à-oreille ne fonctionne bien que sur le nom des opérateurs, mais aussi (certes un peu moins) sur le nom même de l'établissement. Il est donc favorable à ceux qui ont déjà pignon sur rue. La relance pour tout le monde suppose de s'attacher aux raisons de la non-demande : crainte de l'opération, ignorance de l'intervention..., l'argument financier n'est pas un déterminant majeur comme le montre le non-développement des centres à levier *low cost*. En revanche, le réseau de soins constitue un tamis favorable, non pas à la détermination mais à la décision. En effet, il peut emporter le choix par la valeur ajoutée attribuée par le candidat à une structure conseillée officiellement par un dispositif de santé aux apparences impartiales. C'est cette quadruple casquette (tarif moins élevé, conseil sur la qualité, critère de sécurité et tiers-payant) qui assure le socle du réseau.

Remarquons qu'en dépit d'une tarification hors remboursement SS, la différence entre Paris et les régions est peu marquée et l'on ne retrouve pas de variations importantes, parfois notées en chirurgie de la cataracte.

Dans ce cadre, la communication vers la patientèle dite **Millennials** est fondamentale, car c'est le cœur de cible jeune. L'utilisation d'internet est une obligation. Celle des réseaux sociaux demande du temps et de la prudence. Entre un site internet narcissique et des blogs illisibles en passant par des vitrines commerciales ou trop techniques, on ne saurait trop conseiller de se faire aider par un **spécialiste de la communication**. C'est le formatage et la précision qui vont faire de la communication une voie ouverte aux patients. La popularisation de Google AdWords entraîne des frais non négligeables. Ainsi, aux États-Unis, le simple clic *laser eye* coûtait en 2017 entre 16 et 23 dollars.

Le **recrutement réfractif direct** repose sur l'appel et la méconnaissance des circuits médicaux par le patient. C'est très différent du classique bouche-à-oreille, qui a l'avantage de la proximité, de la véracité et de la discrétion. Ici, c'est un peu l'inverse : le candidat recherche soit un prix, soit une localisation, soit une information. Le choix repose sur le hasard et les mots clés, le tout enrobé dans le salmigondis des avis des réseaux sociaux. Ce dernier type de recrutement réussit bien à certains opérateurs qui reposent sur des sites forums ou des tarifs attrayants. Il reste plus aléatoire dans les autres cas et dégage un rendement faible. Toutefois, des

adjuvants existent : consultation gratuite, certains avantages octroyés dans le secret de l'entretien... On ne peut négliger cette porte d'entrée, mais force est de constater qu'à Paris les trois plus importants chirurgiens réfractifs ont des sites personnels bien pauvres.

C'est la raison qui doit faire privilégier les **attractions indigènes** par le biais de consultations multiples et avancées. Un entraînement et une formation des personnels doivent précéder et encadrer la mise en place. Plusieurs centres de bilan de la vue ajoutent du *lubrifiant social* pour les collaborateurs de premier recours afin de les encourager à rendre éligible à la chirurgie tout patient potentiel. On disait autrefois que 10 correspondants assuraient un vrai débit chirurgical au bénéficiaire. Aujourd'hui, remplaçons le mot par "postes avancés" et le constat est similaire.

Un nouveau recrutement se profile, surtout pour les centres actifs : **les retraitements**. De nombreux anciens opérés sont à l'âge de la presbytie voire de la cataracte. Ce groupe est acquis à la chirurgie réfractive et demande juste des solutions médicales.

■ Conclusion

L'avenir facilité des jeunes ophtalmologistes est plus sûr que celui des diplômés de bien des grandes écoles et des facultés. Patientèle en expansion, besoins croissants, technologie

en perpétuelle amélioration, service rendu exceptionnel, imperméabilité de la spécialité, faible concurrence, pénurie de spécialistes, fort service médical rendu, rentabilité assurée... Il suffit de se lever tôt, de réfléchir, d'avoir une détermination, une réflexion, et d'être médicalement à jour. L'avenir des patients en sera médicalement meilleur si cette croissance est bien entourée par une démarche humaine respectant le **pacte social**.

Les réflexions des penseurs économiques éclairent mais, d'une part ils sont peu écoutés et coupés du réel, d'autre part les décisions des autorités tutélaires sont généralement partielles, retardées, incomplètes et volontiers non consensuelles. **Le jeune installé a plus intérêt à écouter son ambition que Cassandre**. Ne disait-on pas, il y a 40 ans, "*la médecine sera nationalisée*"... Reconnaissons que cette "nationalisation" a été douce et bienfaitrice !

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



V. DEDES
Cabinet d'ophtalmologie des Flandres, LILLE.
vdedes@gmail.com

Les facteurs clés de succès dans la création d'un cabinet d'ophtalmologie en travail aidé : le point de vue d'un ophtalmologiste

Face à la pénurie des ophtalmologistes en France, de nouveaux circuits de prise en charge ont vu le jour avec la création de cabinets d'ophtalmologie. Les pratiques des ophtalmologistes se sont ainsi modifiées pour tendre vers le "travail aidé". L'avantage de ce modèle est de voir un plus grand nombre de patients et de favoriser les temps d'échanges. Améliorer les conditions d'exercice, la prise en charge des patients, la rentabilité, sans oublier l'épanouissement professionnel et personnel, sont tout autant de critères qui relèvent de l'organisation mise en place au sein d'un futur cabinet.

Aujourd'hui, différents outils existent pour optimiser l'organisation et permettre, notamment, de réguler les flux de patients. De plus, le Syndicat national des ophtalmologistes de France (Snof) peut donner des conseils pour permettre d'éviter des erreurs stratégiques lors de la création, au profit d'une meilleure pérennité.

■ Les locaux : où s'implanter ?

Une des grandes difficultés au démarrage du projet de création est de trouver des locaux aux normes (ERP, PMR). La première question qu'il faudra se poser sera le lieu d'implantation du cabinet et le projet devra être adapté aux besoins en ophtalmologie de la ville retenue.

La deuxième question importante sera de décider si les locaux seront loués ou achetés, les deux ayant des avantages et des inconvénients. Enfin, la troisième étape sera la recherche de locaux, dont les travaux devront être entamés au plus vite afin qu'ils soient opérationnels rapidement.

Facteurs clés de succès : emplacement (surtout en cas d'achat pour la revente future), présence d'un parking ("No parking, no business"), accès, visibilité, mise aux normes des locaux.

■ La surface : quel modèle d'organisation choisir ?

Ce qui va déterminer la surface d'un futur cabinet d'ophtalmologie est en premier lieu le modèle d'organisation choisi. À côté du modèle traditionnel, où l'ophtalmologiste consulte seul, le modèle le plus répandu est le travail aidé qui, en plus de l'ophtalmologiste, implique des orthoptistes, des infirmières, des opticiens et des secrétaires. Le travail aidé peut s'organiser selon deux types de fonctionnement :

- le patient se déplace d'un poste à un autre : le patient entre dans la salle d'attente, l'orthoptiste vient le chercher, réalise un pré-examen puis le patient revient dans la salle d'attente ; l'ophtalmologiste vient ensuite le chercher pour la consultation ;
- l'ophtalmologiste se déplace d'un box à un autre : l'ensemble des appareils sont situés dans un box. Le patient fait son bilan dans ce box et c'est l'ophtalmologiste qui se déplace d'un box à un autre.

Pour le modèle traditionnel, 80 m² à 100 m² par équivalent temps plein ophtalmologiste seront nécessaires. Le travail aidé nécessite une surface plus importante : 120 m² par équivalent temps plein ophtalmologiste dans le cas où le patient se déplace d'un poste à un autre, 150 m² par équivalent temps plein ophtalmologiste (minimum en fonction des appareils de mesure) dans le cas où c'est le médecin qui se déplace.

De plus, il sera intéressant, dans la mesure du possible, de penser une surface évolutive afin d'anticiper certaines étapes de la vie du futur cabinet d'ophtalmologie. Par exemple, l'achat de nouveaux matériels, l'intégration de nouveaux associés ou encore l'arrivée de nouveaux modes de consultation.

Facteurs clés de succès : modèle d'organisation choisi (seul ou en travail aidé). Quelques ordres de grandeur de surfaces : pour un bureau médical, 10-20 m² ; une salle d'attente,

10-20 m² ; une salle de pré-examen par l'aide, 8-12 m² ; une salle technique, 6-8 m², sans oublier l'accueil et la circulation, 10 m². Ne pas oublier de compter dans la surface les toilettes aux normes, le stockage, la salle de soins, les zones privatives...

■ Les plans : sur quel agencement partir ?

Pour décider des plans d'un futur cabinet d'ophtalmologie (fig. 1), il est conseillé d'aller visiter des centres existants. De plus, des architectes peuvent apporter leur expérience dans l'optimisation de ces plans. Il existe également des sociétés de conseil spécialisées dans l'organisation et dans l'installation. Certaines d'entre elles se rémunèrent au pourcentage du chiffre d'affaires, d'autres à la prestation.

Facteurs clés de succès : faire appel si besoin à un architecte spécialisé, préférer un agencement modulable avec une bonne acoustique et ne pas sous-estimer l'espace dédié à l'accueil des patients.

■ Les ressources humaines : quelle gestion salariale ?

La gestion des ressources humaines est la grande difficulté du travail aidé. Avec cette organisation, d'autres professions entrent en ligne de compte. Il s'agit des orthoptistes, des opticiens, des infirmières et des secrétaires. Il faut que les ophtalmologistes s'entourent pour cette gestion afin d'éviter des conflits pénibles à gérer. La convention collective est une base de référence et il faut bien sûr respecter les décrets de compétences de chaque profession. À titre indicatif, pour une secrétaire formée et efficace, il faudra compter un salaire net mensuel de 1 200 à 1 300 € sur 35 heures. Concernant les emplois d'aides (orthoptistes, infirmières, opticiens), il faudra plutôt envisager un salaire net mensuel de l'ordre de 1 800 à 2 000 € sur 35 heures. Ces salaires peuvent être complétés par des primes afin de favoriser l'implication du personnel. Au-delà de 8 à 10 salariés, il est préférable de s'entourer de professionnels des ressources humaines (chef de centre administratif, cabinet extérieur partagé...). Il ne faudra pas oublier de provisionner certains frais liés à l'évolution de cette entreprise médicale (les indemnités de fin de carrière, par exemple).

Facteurs clés de succès : penser à l'avenir en anticipant les augmentations de salaires des années à venir pour, notamment, ne pas laisser des salaires ingérables aux successeurs.

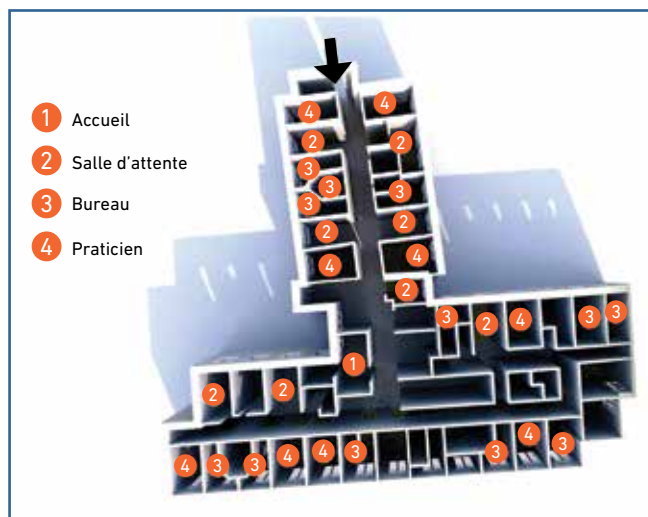


Fig. 1 : Exemple d'agencement d'un cabinet d'ophtalmologie en travail aidé.

■ Les coûts : quels retours sur investissements ?

Au-delà du chiffre d'affaires réalisé, il sera intéressant d'optimiser les frais liés à la structure tels que les salaires ou le matériel en mutualisant ces frais (pas de bureau médical personnel, matériels onéreux communs, regroupement des activités techniques...).

La première année de l'ouverture d'un cabinet d'ophtalmologie, il faudra compter 40 à 50 % de charges liées au fonctionnement. Un cabinet efficace devrait tendre au-delà de 2 ans vers 30-40 %. De plus, les amortissements permettront de déduire chaque année fiscalement une valeur correspondant à l'usure d'un bien professionnel : l'immobilier peut être amorti sur 15 ans, l'aménagement sur 10 ans et le matériel sur 5 ans. Enfin, il ne faudra pas oublier les charges liées aux emprunts ou aux crédits de groupe.

Facteurs clés de succès : mutualiser les moyens pour réduire les coûts de fonctionnement.

Le Cabinet d'ophtalmologie des Flandres (COF) :

Le COF est une société d'exercice libéral créée en 2005 par le regroupement de 5 ophtalmologistes hospitaliers, en cogérance, chacun étant spécialisé dans un domaine. Ce projet, mis en œuvre en 6 à 12 mois, a permis 15 ans plus tard de regrouper 24 ophtalmologistes sur une surface de 2 500 m². Doté d'un standard dédié avec une plateforme téléphonique, le COF possède 20 unités de consultation de base (box médecin, salle orthoptiste, salle technique, salle d'attente). Les facteurs clés de succès de cette création ont été sans aucun doute des valeurs communes entre les associés, une grande transparence, la réalisation d'une comptabilité analytique, des réunions régulières, le respect des différences et le partage des tâches pénibles entre tous.

■ Les flux-patients : une vraie réflexion à entreprendre en amont ?

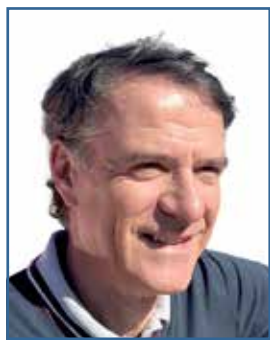
Une fois les étapes précédentes réalisées, il faudra intégrer dans le projet de création la réflexion sur l'accueil et la sortie des patients. En effet, cette optimisation du flux des patients est souvent négligée et génère de plus en plus de files d'attente au niveau de l'accueil pour gérer les aspects administratifs. Il existe aujourd'hui des outils pour réguler ces flux, par exemple les bornes d'accueil, la prise de rendez-vous en ligne, la gestion des agendas des ophtalmologistes... De plus, pour soulager les ophtalmologistes des tâches administratives qui les éloignent de leur métier, il est conseillé d'intégrer dans le cabinet un responsable de centre dont le rôle est de gérer l'ensemble des tâches de gestion et d'organisation.

Facteurs clés de succès : *un bureau administratif dès que le cabinet devient trop important, avec des responsables de centres (il existe une association de chefs de centres en ophtalmologie).*

■ Vers une transformation importante des métiers de l'ophtalmologie

Durant la dernière décennie, les ophtalmologistes ont vu leurs pratiques évoluer dans un objectif de gain de temps sur les mesures techniques au profit du temps passé avec leurs patients. Le travail aidé a permis de répondre à ce besoin, en particulier le travail aidé où c'est l'ophtalmologiste qui se déplace. À l'heure de la télémédecine et de l'intelligence artificielle, les machines et la technologie sont un moyen pour mieux travailler, mais cela ne remplacera pas l'humain. En effet, certaines tâches ne peuvent être déléguées et le contact direct entre le patient et l'ophtalmologiste reste irremplaçable.

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



J.-F. MONTIN

Centre Ophtalmologie-Étoile et Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.

montin@ophtalmologie.paris

Expérience et discussion sur 10 000 opérations de cataracte sous anesthésie locale isolée par seule instillation de gouttes

■ Historique

L'anesthésie locorégionale est l'anesthésie de référence depuis les années 1970. Bien sûr, l'anesthésie générale est parfois utilisée pour plus de confort chirurgical.

Le mode local, ou plutôt locorégional, associe une anesthésie cornéenne par instillation de gouttes et injection périoculaire de type rétrobulbaire et tronculaire. Plus tard, l'injection tronculaire du nerf facial au niveau de la tempe a été supprimée pour ne laisser que l'injection rétrobulbaire dans le cône musculaire en arrière du globe avec une anesthésie cornéenne par gouttes. Cette anesthésie a ensuite été remplacée par l'injection péribulbaire en dehors du cône musculaire, moins pourvoyeuse d'hémorragies intraorbitaires et d'hypertonie oculaire par augmentation de la pression du globe.

L'anesthésie par injection péribulbaire est la référence, associée à une compression externe du globe prolongée avec de nombreuses modalités techniques. Ces anesthésies par injections péribulbaires, initialement réalisées par les chirurgiens eux-mêmes, ont été ensuite reprises et souvent faites par les médecins anesthésistes. Dans toutes ces situations, la présence d'un médecin anesthésiste assure au chirurgien et au patient un confort supplémentaire par l'injection parentérale de substances sédatives ou anti-hypertonisantes oculaires et générales, accompagnant l'anesthésie locale pour donner le concept d'anesthésie potentialisée, concept encore validé.

■ État actuel

Depuis plus de 20 ans, l'anesthésie par instillation de gouttes est le point fort de l'anesthésie par contact, assurant une excellente analgésie cornéenne. Cette instillation de gouttes à effet sur la surface épithéliale de la cornée a une action relative et

modérée sur la conjonctive et la sclère. Elle n'a aucune action ni sur la musculature oculaire ni sur les structures internes de l'œil. Ainsi, les mouvements oculaires du patient sont présents. Avantage pour certains car elle permet au chirurgien de faire participer l'opéré au maintien de la direction de son regard pendant la chirurgie, elle est un inconvénient pour d'autres car l'opéré peut faire des mouvements oculaires gênants au cours de la chirurgie.

Cette anesthésie dite "de contact" n'a pas d'effet sur l'iris, qui ne devra pas être touché au cours de l'opération. L'accompagnement à l'anesthésie de contact est multiple :

- ajout d'un gel anesthésiant de surface ou gel Xylocaïne urétral stérile en application sur la cornée et l'ensemble de la surface oculaire ;
- injection sous-conjonctivale de Xylocaïne 1 ou 2 % sans adrénaline ;
- injection sous-ténonienne plus profonde du même produit ;
- injection dans la chambre antérieure du même produit au début ou en cours d'intervention ;
- injection d'un mélange de produit visqueux ou dilateur associé à une solution anesthésique.

Il faut savoir que tous ces compléments anesthésiants sont réalisés par les chirurgiens eux-mêmes. L'accompagnement à l'anesthésie de contact est quasiment constante dans les blocs opératoires. Le médecin anesthésiste place une voie d'abord et injecte un tranquillisant ou un sédatif plus ou moins puissant, souvent à l'origine d'une amnésie rétrograde. L'anesthésiste, guidé par le chirurgien et ses paramètres généraux, peut aussi injecter des substances de type anti-hypertonisant général ou local en fonction des paramètres peropératoires. Les paramètres généraux de type cardiologique, avec contrôle de l'oxymétrie et de la tension et avec monitoring, accompagnent l'injection de sédatifs.

En 2019, dans la plupart des blocs opératoires, le consensus est : anesthésie topique par instillation de gouttes, associée ou non à un complément local de gel ou d'injection sous-conjonctivale et d'une semi-sédation par injection générale par le médecin anesthésiste. Si l'anesthésie locorégionale est la référence dans près de 99 % des cas, l'anesthésie générale peut être souhaitée par le chirurgien lui-même ou par le patient.

■ Prérequis

La présence d'un médecin anesthésiste ou de l'infirmier anesthésiste, sous contrôle du médecin dans la salle d'opération pour l'acte anesthésique, est obligatoire pour une opération sous anesthésie générale ou locale, dite potentialisée. Obligatoire aussi : la consultation pré-anesthésique entre 15 jours et 2 jours avant l'acte chirurgical non urgent. Une analyse préopératoire de la décision chirurgicale est évidemment nécessaire par le chirurgien ophtalmologiste. Celui-ci apprécie également les éléments d'ordre général pour guider ou prendre la décision validée par le médecin anesthésiste d'une anesthésie locale ou générale.

La décision du mode anesthésique revient au chirurgien, mais la consultation anesthésique qui précède l'opération donne la décision ultime au médecin anesthésiste. La consultation préopératoire est donc obligatoire pour toute opération sous anesthésie locorégionale avec potentialisation par injection de substances intraveineuses. L'injection de substances intraveineuse au cours de l'opération rend l'aptitude de "retour à la rue" retardée. La responsabilité en revient au médecin anesthésiste.

■ Notre expérience

Au milieu des années 1990, il y a donc plus de 20 ans, nous avons accompagné, participé et suivi un projet novateur initié par le Dr D.-A. Lebuissou, chef du service d'Ophtalmologie de l'hôpital Foch, à Suresnes, avec chirurgie de la cataracte sous seule anesthésie par instillation de gouttes sans adjonction de produit complémentaire et sans la présence d'un médecin ou d'un infirmier anesthésiste. Avec l'accord du service d'anesthésie de l'hôpital, dans ce bloc opératoire intégré dans le service d'ophtalmologie, à l'écart du bloc général, les patients ont été opérés avec ce seul mode d'analgesie.

Dans ce bloc opératoire ambulatoire, comportant une salle opératoire, une salle de préparation et une salle de repos

postopératoire, les patients ont été pris en charge sans consultation anesthésique préalable par une infirmière de bloc et sans accompagnement anesthésique. En plus de 20 ans, nous avons ainsi opéré de cataracte environ 1000 patients par an (200 par an pour notre part).

Ensuite, en 2004, nous avons créé un centre indépendant dit "dédié à la chirurgie oculaire", à Paris. Ce projet novateur dans la capitale, qui était déjà opérationnel en France dans quelques centres, notamment à Cannes et à Caen, respectivement par les Drs Tellandro et Vielpeau, a intégré un vrai bloc opératoire dans une unité privée de consultations. Doté d'un traitement de l'air avec flux directionnel et surpression afin d'obtenir une classe de contamination ISO 7, ce centre a permis d'opérer environ 2000 cataractes entre 2004 et 2013. La procédure chirurgicale allégée faisait entrer le patient à pied dans la salle opératoire, comme pour une procédure de chirurgie réfractive, avec des vêtements légers recouverts de casques jetables.

Fort de cette expérience, nous avons décidé de poursuivre nos habitudes de chirurgie sans présence ou accompagnement anesthésique dans 2 établissements privés de la région parisienne, dans les départements du Val-d'Oise et des Hauts-de-Seine.

Le déclenchement de ce processus a été accéléré par la suractivité du pôle de médecins anesthésistes. L'activité intense des anesthésistes pour d'autres spécialités dans l'un de ces établissements ne leur a pas permis d'assurer cette prise en charge à cause d'une consultation préopératoire surchargée. Nous avons décidé de poursuivre notre mode opératoire sans l'aide de cette communauté pour un 3^e établissement à Neuilly, avec l'accord de la responsable du bloc opératoire et de sa hiérarchie. Depuis 2014, nous poursuivons notre activité chirurgicale non accompagnée, sans consultation anesthésique préopératoire, donc sans la présence d'un médecin ou d'un infirmier anesthésique au bloc dans ces 2 centres.

Enfin, à la Clinique de la Vision, établissement connu pour son activité importante de chirurgie réfractive, nous avons également une activité de chirurgie endoculaire, qu'il s'agisse des implants phaqes ou des chirurgies d'extraction de cristallin clair pour compensation de fortes amétropies et/ou de la presbytie, et, pour certains patients, de chirurgie de cataracte.

Ainsi, depuis plus de 20 ans, en secteur hospitalier public et en secteur privé dans différents établissements, nous avons

opéré environ 10000 cataractes sous seule anesthésie par gouttes sans accompagnement anesthésique.

■ Notre recrutement

Contrairement aux idées reçues, nous ne trions pas nos futurs opérés. Nous recrutons nos patients soit au cours d'une consultation traditionnelle, soit par un prescripteur ou un médecin correspondant qui a déjà effectué le diagnostic et posé l'indication chirurgicale.

Tout patient présentant une cataracte est *a priori* un candidat potentiel à l'anesthésie allégée par instillation de gouttes. Nous ne demandons pas l'avis ou l'aide du médecin généraliste ou du médecin traitant. Les traitements généraux sont pris en compte, mais n'interviennent pas dans la décision du mode d'anesthésie, par un seul chirurgien.

■ Les indications optimales de l'anesthésie allégée

- L'âge est pris en compte, l'individu âgé est une excellente indication.
- Le type de cataracte importe peu.
- L'intensité de la cataracte est notée mais n'est jamais une contre-indication.
- Les traitements généraux, s'ils sont abondants, sont toujours une bonne indication à un mode anesthésique allégé, tout comme les traitements anticoagulants.

Au cours de notre expérience sur cette longue période, seuls 2 patients à l'entrée au bloc ont préféré récuser ce mode anesthésique et n'ont pas été opérés par ce protocole. 1 patient par an, soit environ 1,25 %, a été opéré sous anesthésie générale.

■ Les contre-indications à l'anesthésie seule par gouttes

Le rôle majeur de la consultation préopératoire entre le futur opéré et son chirurgien a toute son importance pour juger si un individu peut accepter et supporter une opération à globe ouvert, même pour une durée limitée à moins de 15 minutes, avec un mode anesthésique en pleine conscience.

Les contre-indications

- Jeune âge
- Sujet réactif
- Alzheimer

Il apparaît que nous devons dépister et récuser tout individu que nous jugeons dans l'incapacité de collaborer au futur acte technique. Nous estimons qu'il y a 2 contre-indications majeures à cette anesthésie :

- Le jeune âge ou, surtout, le très jeune âge, à cause de la réactivité extrême et/ou du manque de participation.
- Le sujet atteint d'une maladie d'Alzheimer, avec qui il est difficile de dialoguer ou dont on ne connaît pas les réactions.

En dehors de ces 2 aspects, nous considérons que tout patient est apte, après explications du chirurgien sur le mode opératoire – explications qui dédramatisent le geste technique –, à accepter et supporter un tel mode anesthésique.

■ Notre procédure d'anesthésie locale par gouttes

Il va sans dire que l'instillation des gouttes anesthésiques peut être faite soit par le chirurgien lui-même, soit par l'infirmière de bloc opératoire, soit par l'aide ou l'assistant opératoire. Deux processus sont possibles selon les schémas des blocs opératoires :



un dans la salle de préparation, avant l'entrée au bloc opératoire, un directement dans la salle opératoire.

1. Les instillations

1^{re} instillation : l'instillation des premières gouttes précède le badigeon cutané et conjonctival de povidone iodée.

2^e instillation : avant le 2nd badigeon et la mise en place du champ opératoire.

3^e instillation : après mise en place du blépharostat, juste avant l'incision cornéenne.

Type de gouttes anesthésiantes utilisées

- Oxybuprocaine (Novesine) (fig. 1).
- Pas de tétracaïne, toxique pour l'épithélium.
- Pas d'excès de gouttes, toxique pour l'épithélium.



Fig. 1 : Les gouttes anesthésiantes d'oxybuprocaine sont instillées par le chirurgien lui-même ou par l'infirmière de bloc opératoire.

Aucune goutte complémentaire n'est instillée après ouverture du globe.

Au cours de cette procédure d'anesthésie seule par gouttes, une surveillance oxymétrique est parfois mise en place avec ou non une arrivée d'oxygène sous le champ opératoire. Aucun monitoring supplémentaire n'est installé.

2. Les adjuvants locaux

Parfois, il est utile de compléter l'anesthésie par gouttes pour des raisons particulières :

- cataracte dense ;
- augmentation prévisible de la durée de l'opération ;
- allongement de la durée opératoire ;
- hyperlaxité irido-zonulaire ;
- mauvaise dilatation pupillaire ;
- patient sensible ou anxieux ;
- chirurgie complexe combinée ;
- complication peropératoire.

Les adjuvants sont nombreux et efficaces :

- gel anesthésique précornéen : appliqué après désinfection des culs-de-sac conjonctivaux, en couche épaisse sur la cornée et la conjonctive, avant l'incision cornéenne ;
- injection dans la chambre antérieure de lidocaïne 1 % ou 2 % avec ou, le plus souvent, sans adrénaline, dès le début de l'opération, avant le produit visqueux ;
- injection d'un mélange de produit visqueux et d'anesthésiant proposé par certains fabricants dans une ampoule unique ;

Adjuvants

- Gel
- Injection intracamérulaire
- Injection sous-conjonctivale ou ténionienne

- injection de lidocaïne sous-conjonctivale ou sous-ténionienne ;
- plus rarement, injection péribulbaire ou, plus rare encore, rétrobulbaire.

■ La place de l'anesthésie générale

Il y a 2 indications à l'anesthésie générale en chirurgie de cataracte. La première est la plus classique, elle émane du patient lui-même qui réclame cette anesthésie car il pense qu'il manquerait de contrôle ou parce qu'il a une phobie de la locale, malgré les explications du chirurgien. Le candidat impose ses règles ! La seconde est bien sûr dictée par le chirurgien qui, lors de la consultation préopératoire, juge de l'impossibilité du candidat à se contrôler ou à participer à l'acte conduit sous-local, qu'il s'agisse d'un problème neuro-dégénératif ou bien d'un sujet agité ou agressif.

■ La place de l'anesthésie locale potentialisée

Voici la grande énigme de l'anesthésie locale du quotidien. Les modes décrits pour la locale sont-ils suffisants ou sont-ils accompagnés *de facto* par des drogues sédatives au contrôle aléatoire (entraînant en outre une amnésie) données par le médecin anesthésiste ? La mise en place d'une voie d'abord au cours de la chirurgie rend aisée l'injection de sédatifs à la demande ou de manière systématique. La justification de la présence d'un anesthésiste rend obligatoire la mise d'une voie d'abord pour injection éventuelle de produit intraveineux.

■ La procédure habituelle des chirurgiens ophtalmologistes

La plupart des chirurgiens ophtalmologistes ont adopté l'anesthésie locale comme référence. Environ 1 % seulement des cataractes sont opérées sous anesthésie générale, en raison surtout des contre-indications évoquées plus haut, ou dans le cas de sujets jeunes et de patients souffrant d'Alzheimer. Grâce à une étude de la Safir (Société de l'association française des implants et de la chirurgie réfractive), publiée chaque année depuis plus de 20 ans, nous connaissons les habitudes et les pratiques de l'ophtalmologie française. La dernière publication et les résultats de ces habitudes ont été publiés par le Dr Gold en février 2019 pour les habitudes fin 2017, notamment en chirurgie de cataracte et pour le mode anesthésique.

L'anesthésie locale par instillation de gouttes plus ou moins associées à un adjuvant local sans injection représente 80 % des habitudes des chirurgiens ophtalmologistes ayant répondu à ce questionnaire. Si l'on ajoute à l'instillation de gouttes les injections péri- et rétrobulbaires, sous-téniennes, le taux passe à 99 %.

Que conclure de cette étude ? Que le questionnaire est maladroit et oublie de demander s'il y a présence ou non d'un anesthésiste et, si oui, s'il assure une analgésie et une sédation complémentaire. Dans cette étude, la pratique de l'anesthésie par instillation de gouttes est le fait du médecin anesthésiste lui-même dans 55 % des cas ; même s'il ne réalise pas l'anesthésie locale, il est dans la salle dans 87 % des cas. On notera aussi que les 380 chirurgiens ophtalmologistes sont tous des membres de la Safir ou équivalent de la Société française de chirurgie de cataracte et sont donc représentatifs de la communauté ophtalmologique chirurgicale. L'anesthésie est locale par seule instillation de gouttes, le plus souvent instillées par le médecin anesthésiste, l'anesthésie par adjuvant est du ressort du chirurgien lui-même, l'anesthésiste est présent physiquement ou non dans la salle pour potentialiser la locale et pour surveiller les paramètres de l'opéré : oxymétrie, pression artérielle.

■ Avantages de l'anesthésie locale pure

L'absence d'injection de drogues dans l'organisme est un atout essentiel.

Notre population d'opérés de cataracte a une moyenne d'âge élevée, autour de 74 ans, avec souvent des patients très âgés à l'historique médical chargé. L'absence d'interaction médicamenteuse et l'absence d'injection de drogues sédatives sont des atouts majeurs pour cette population.

Le "retour à la rue" d'un patient qui n'a reçu aucune drogue par voie générale est rapide et sûr, alors qu'une injection de drogues nécessite une surveillance postopératoire et une validation de la sortie par le médecin anesthésiste.

Avantages de l'anesthésie locale pure

- Pas de consultation anesthésique
- Pas de drogue injectée
- Pas d'interaction médicamenteuse
- "Retour à la rue" rapide

La suppression de la consultation préopératoire par le médecin anesthésiste, souvent vécue comme inutile par le patient puisqu'il comprend que son anesthésie est locale, est aussi un atout dans l'allègement du schéma préopératoire pour cette population âgée qui, parfois, ne peut pas se déplacer de façon autonome.

■ Analyse médico-économique

Plus de 700 000 cataractes sont opérées chaque année en France. Les médecins anesthésistes ont des consultations chargées. L'âge moyen d'opération de la cataracte est 74 ans.

Le recrutement des opérés de cataracte nécessite 1 voire 2 ou 3 consultations spécialisées : si le patient consulte un ophtalmologiste chirurgien équipé du matériel d'évaluation préopératoire complet (échographe avec calcul d'implant et OCT), l'opéré ne se déplace qu'une fois. Dans les autres cas, ophtalmologiste médical correspondant ou bilan préopératoire effectué dans un centre d'explorations, 2 ou 3 consultations sont utiles.

L'anesthésie locale pure sans présence d'un anesthésiste évite :

- une consultation anesthésique ;
- un éventuel bilan biologique sanguin ;
- un trajet aller-retour pour cette consultation ;
- le déplacement d'un médecin pour l'acte chirurgical ;
- le passage en salle de réveil avec surveillance par le personnel anesthésiste.

Bilan économique : frais en moins

→ CS anesthésique	23 €
→ Trajet A/R	50 €
→ Acte d'anesthésie	125 €

Elle permet en outre une sortie rapide, accompagnée ou non, puisque l'opéré est totalement conscient. Si on juge que seulement 50 % des opérés peuvent bénéficier d'une anesthésie locale pure, l'économie pour la seule chirurgie de la cataracte est déjà d'au minimum 70 millions d'euros par an !

■ Débat

1. Quelle est la position des anesthésistes ?

Il convient de rappeler en préambule que la réalisation d'une anesthésie comprend 3 étapes : la consultation préopératoire,

l'étape peropératoire avec l'administration des drogues anesthésiques, et la surveillance de l'opéré.

Le mode de réflexion de la communauté d'anesthésistes est différent selon qu'ils sont dans le secteur hospitalier public ou dans le secteur privé, pour des raisons évidentes d'intérêt économique. Il est donc difficile d'obtenir un avis objectif. Les uns, hospitaliers publics, considèrent l'anesthésie pour la cataracte comme secondaire dans l'activité de bloc opératoire général et pouvant être effectuée par les chirurgiens eux-mêmes. Les autres revendiquent leur acte, qu'ils soient présents ou non aux côtés du patient, au nom de la responsabilité pour laquelle ils sont engagés dès lors qu'une consultation pré-anesthésique a été effectuée, et d'autant plus si une drogue a été injectée par voie générale.

2. Quelle est la position des chirurgiens?

Tous les chirurgiens souhaitent pour leur patient un confort optimal, pour le patient lui-même et pour le déroulement de l'acte chirurgical avec une analgésie totale et un patient détendu. Les uns souhaitent un opéré calme voire semi-endormi, les autres se contentent d'une analgésie forte sur un patient parfaitement conscient. Dans la plupart des unités, le consensus est de règle, même si l'évidence fait prendre conscience, du fait de la qualité de l'analgésie par gouttes, que l'accompagnement par injection de drogues sédatives n'est pas obligatoire voire nécessaire. L'administration de drogues peut être considérée comme inutile ou parfois dangereuse lorsque le patient quitte l'établissement dans un délai très court.

3. Quelle est la position du patient?

Le patient écoute son chirurgien. Il veut la sécurité et la parfaite analgésie. Il n'est pas apte à juger de l'efficacité de tel ou tel mode anesthésique. Il souhaite le mieux, le plus efficace, le moins douloureux et le moins contraignant. L'argument de l'allègement de la prise en charge, avec l'absence de déplacement pour une consultation préopératoire d'anesthésie, est un argument important chez cette catégorie de patients où tout déplacement est une contrainte.

4. Quelle est la position des établissements?

La notion de rentabilité, de taux horaire, de nombre d'opérations par vacations, d'allègements de personnel sont les maîtres mots. Assurer un *turnover* plus rapide du patient puisqu'il n'y pas d'installation de voie d'abord ni de passage en salle de réveil, et une présence raccourcie dans l'établissement, ne laisse pas indifférents les directeurs de cliniques.

5. Quelle est la position des instances administratives?

Le débat est délicat car l'anesthésie isolée ouvre le champ de l'allègement des structures, voire de l'ouverture de centres indépendants en dehors des établissements de santé. Ainsi, le débat dérive de la question de l'anesthésie allégée vers celle de la chirurgie de cataracte en dehors des établissements de santé. Les directeurs d'établissements privés connaissent cette faille et craignent pour le développement de leur future activité. Nos instances connaissent la pratique de ce mode d'anesthésie et sont attentistes. L'encombrement des blocs opératoires et la raréfaction des anesthésistes – même si la présence des infirmiers anesthésistes déplace le problème – seront des arguments pour convaincre, d'une part, de l'innocuité de la procédure, d'autre part de l'impact socio-médico-économique évident. Le débat a été cadré, mais non tranché, dans une note du mois de mai 2010 de l'HAS.

■ Conclusion

L'anesthésie locale par seule instillation de gouttes plus ou moins accompagnée d'adjuvants est suffisante pour la chirurgie de la cataracte. Cette anesthésie est efficace et sûre. Elle permet d'alléger la prise en charge de nos patients pour une chirurgie réglée. L'impact économique n'est que la finalité à côté de la simplification de la procédure et de l'allègement pour les patients.

Pour en savoir plus

- LEBUISSON DA, LIM P, MARY JC *et al.* Anesthésie topique pour la chirurgie de la cataracte de l'adulte. *J Fr Ophtalmol*, 1996;19:181-189.
- GAYADINE-HARRICHAM Y, AMZALLAG T. Prevalence and causes of pain after cataract surgery: comparison of 1st and 2nd eyes. *J Fr Ophtalmol*, 2017;40:505-511.
- LEBUISSON DA, JOLIVET MC. L'anesthésie topique en chirurgie de la cataracte ambulatoire de l'adulte sans anesthésiste présent. *J Fr Ophtalmol*, 2005;28:59-67.
- KUMAR CM, SEET E, KOH SL *et al.* Outcomes of nurse vs anesthesiologist monitoring during cataract surgery under topical anesthesia. *J Fr Ophtalmol*, 2018;41:e491-e492.
- NEBBIOSO M, LIVANI ML, SANTAMARIA V *et al.* Intracameral lidocaine as supplement to classic topical anesthesia for relieving ocular pain in cataract surgery. *Int J Ophthalmol*, 2018;11:1932-1935.
- PEPIN M, RINEAU E, CAIGNARD A *et al.* Topical anesthesia without the use of an anesthesiologist in adult outpatient cataract surgery: Assessment of selection criteria on consultation, report of 248 cases. *J Fr Ophtalmol*, 2018;41:441-446.

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



A. HAGÈGE¹, W. GHOUALI², J-P. ROZENBAUM³, O. CASADESSUS⁴

¹ Ophtalmologiste, Centre Laser Victor Hugo, PARIS. alain@dr-hagege.com

² Ophtalmologiste, Cabinet ophtalmologique Avaricum, BOURGES.

³ Ophtalmologiste, SARTROUVILLE.

⁴ Ingénieur, Centre Laser Victor Hugo, PARIS.

PKR transépithéliale : questions et réponses autour des solutions SmartSurf^{FACE} (Schwind) et StreamLight (Alcon)

À la suite de l'acquisition du laser Schwind Amaris 750S et de la mise à jour récente du laser Alcon Wavelight EX500, le Centre Laser Victor Hugo est doté de deux solutions de traitement par photokératectomie réfractive transépithéliale (T-PKR) : le SmartSurf^{FACE} (Schwind) et le StreamLight (Alcon). Il est encore trop tôt pour les comparer cliniquement, nous proposons donc de répondre ici aux différentes questions pouvant se poser à leur propos ou plus généralement au sujet de la T-PKR.

■ Qu'est-ce que la PKR transépithéliale et quels en sont les avantages attendus ?

La T-PKR est une chirurgie PKR dans laquelle l'intégralité du traitement (débridement épithélial et correction réfractive) est réalisée par le laser excimer. Le profil d'ablation associé se construit classiquement en réunissant deux composantes : une ablation du volume de tissu permettant de supprimer l'épithélium, et une ablation qui supprime le volume de tissu correspondant au remodelage stromal nécessaire à la correction du défaut réfractif voulu (similaire à un traitement PKR classique). Nous les nommerons respectivement "composante PKT" et "composante réfractive". Attention, ces dénominations reposent sur de légers abus de langage et l'ordre de réalisation de ces ablations peut être interverti (pour en savoir plus, le lecteur pourra se référer à la question "*Quel avantage est attendu avec le SmartSurf^{FACE} en commençant le traitement par la composante réfractive plutôt que par la composante PKT ?*").

La T-PKR possède plusieurs atouts permettant de l'envisager comme une méthode alternative, si ce n'est de substitution, aux techniques plus classiques de chirurgie PKR.

- Elle offre le confort d'une solution où le contact se limite à la seule insertion de traitements topiques et du blépharostat, ce qui réduit le risque de contamination par des corps étrangers. Cette solution écarte aussi le risque de toxicité éventuelle des agents de débridement utilisés plus traditionnellement (l'alcool, par exemple).

- Elle permet de limiter le temps de cicatrisation épithéliale en restreignant la zone de débridement à la seule zone de traitement utile, et ce avec la précision et la régularité de découpe propres à la technologie laser (*fig. 1*).

- La T-PKR utilise l'épithélium comme agent de masquage et potentialise le lissage du lit stromal résiduel. En effet, avec le comblement des irrégularités de la surface de la membrane de Bowman par l'épithélium, on obtient une rugosité de la surface cornéenne moindre qu'elle ne le serait en l'absence de la couche épithéliale. Le traitement réfractif, consistant

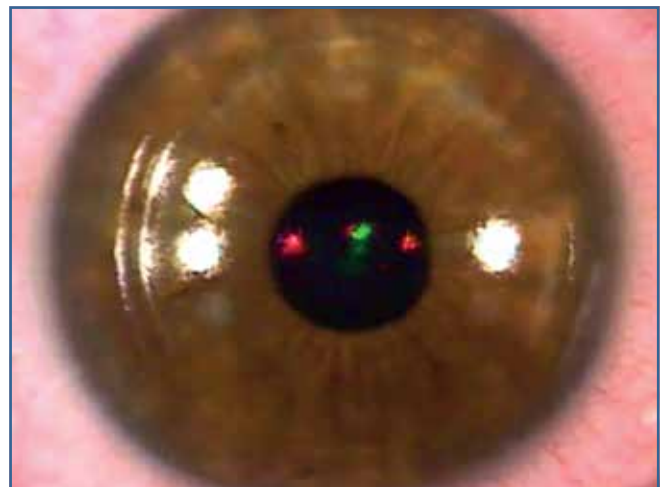


Fig. 1 : Cornée après traitement par PKR transépithéliale.

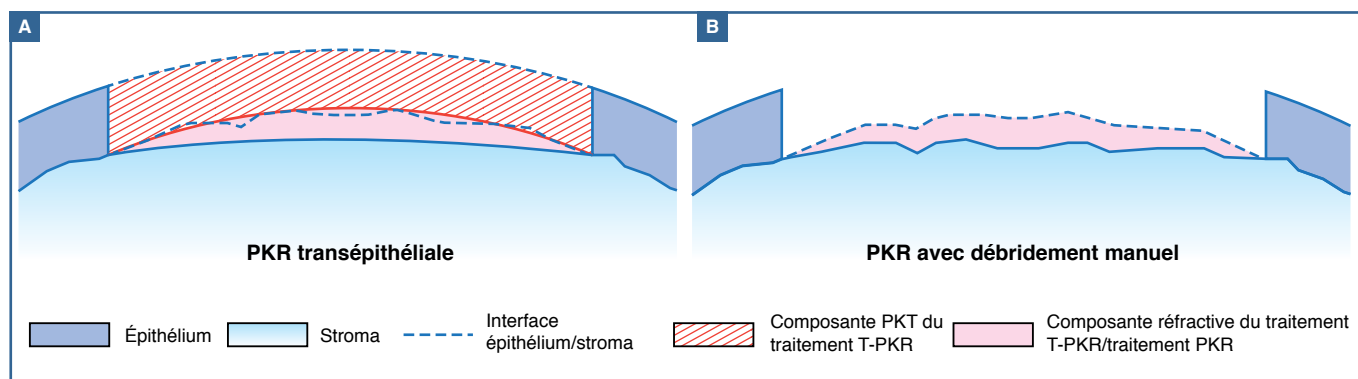


Fig. 2 : Différence de régularité du lit stromal à la suite d'une ablation utilisant (PKR transépithéliale) ou non (PKR avec débridement manuel) l'épithélium comme agent de masquage sur une cornée avec une surface stromale irrégulière. **A :** Après ablation d'une épaisseur fixe de tissu par la composante PKT du traitement T-PKR, les irrégularités de surface sont lissées après application de la composante réfractive asphérique (identique à celle de la composante réfractive de la figure A) directement sur le profil irrégulier de la membrane de Bowman résulte en un lit stromal qui conserve les irrégularités.

généralement en une différence de volume entre deux portions d'ellipsoïdes parfaits (principe des traitements asphériques aberro-optimisés), sera alors préservé¹ des perturbations de surface qui n'auraient été que translatées si l'ablation était appliquée directement sur la surface de la membrane de Bowman (**fig. 2**).

Si l'on s'appuie sur les études ayant montré une corrélation entre irrégularités du lit stromal, génération de myofibroblastes et occurrence de haze postopératoire [1], l'obtention d'une surface résiduelle plus lisse devrait conduire à moins de complications postopératoires. Cet effet lissant de l'épithélium est aussi mis à profit par la T-PKR pour s'affranchir de la différence d'astigmatisme topographique potentielle entre les surfaces de l'épithélium et de la membrane de Bowman [2].

- La T-PKR faciliterait la cicatrisation grâce à une diminution du phénomène d'apoptose des kératocytes dans le lit stromal antérieur [3], en raison de la photodisruption complète des cellules épithéliales et des cytokines (contrairement aux autres techniques, où des résidus peuvent subsister).
- L'automatisation de la procédure résulte en une diminution de l'opérateur-dépendance, promettant donc une prédictibilité accrue des résultats réfractifs.
- Le tout-laser permet enfin de rendre les reprises sur Lasik plus faciles en éliminant tout risque de déplacement du capot préexistant lors de l'étape de débridement.

¹ Cet effet serait total si le laser interagissait de la même façon dans le stroma et l'épithélium. En pratique, le lissage ne sera donc pas complet à cause de la différence d'efficacité ablatrice dans ces tissus (20% plus efficace dans l'épithélium), mais résultera en une forte atténuation des irrégularités par rapport à une ablation appliquée directement sur la surface stromale.

■ La PKR transépithéliale présente-t-elle des risques ?

Deux risques principaux sont associés à l'utilisation d'un profil d'ablation T-PKR.

Le premier est d'ordre réfractif si la programmation de l'ablation de l'épithélium n'est pas conforme au profil pachymétrique réel de la couche épithéliale. En effet, cela aboutirait à une répartition faussée des tirs dans le stroma (qui sont les seuls à avoir un effet réfractif) par rapport au plan d'ablation programmé : soit par surconsommation de tissu si l'épaisseur locale d'épithélium a été sous-évaluée, ou au contraire à un défaut d'ablation dans le stroma si l'épithélium est trop épais localement (**fig. 3**).

Nous invitons le lecteur à lire la réponse à la question "*Comment personnaliser l'épaisseur d'épithélium des traitements SmartSurf^{ACE} et StreamLight si je dispose d'un instrument permettant de la mesurer ?*" pour en savoir plus sur ce sujet.

Le second risque est lié aux propriétés thermiques de l'ablation par le laser excimer. Bien que réputé "froid" (c'est-à-dire que les dommages thermiques de l'ablation sont très limités en amplitude et dans l'espace à proximité immédiate du point d'impact), le laser excimer crée une élévation locale de température causée par une expulsion de gaz pouvant excéder 1 000 °C. En fonction de la fluence et de la fréquence de tir appliquées, des pics d'élévation de température proches d'une centaine de degrés ont été enregistrés à la surface de la cornée [4]. Une température trop élevée de la surface oculaire peut conduire à une dénaturation collagénique et, dans une moindre mesure, favoriser l'apparition de haze

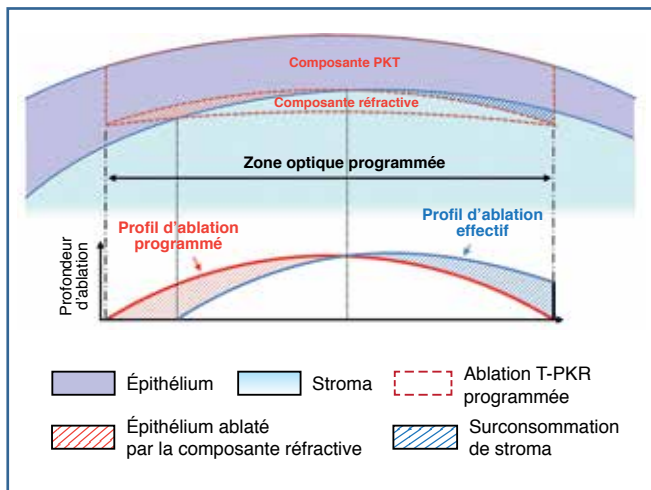


Fig. 3 : Illustration de la déformation du profil d'ablation effectif (en bleu) par rapport à celui qui est programmé (en rouge) lorsque le traitement T-PKR appliqué (en pointillés rouges) ne correspond pas à la morphologie réelle de l'épithélium. En cas de sous-évaluation ou de sur-évaluation locale de l'épaisseur d'épithélium, il en résulte respectivement un défaut (hachures rouges) ou un surplus d'ablation dans le stroma (hachures bleues).

postopératoire. Les propriétés de tir du laser doivent donc être ajustées pour ne pas dépasser une valeur seuil de température délétère pour la cornée. Cette contrainte est connue et prise en compte dans les lasers modernes, mais a généralement été étudiée en application à des ablations classiques (dans le stroma).

Toutefois, la PKR transépithéliale implique la réalisation d'une importante ablation volumique supplémentaire, d'une cinquantaine de microns d'épaisseur sur une surface de traitement pouvant mesurer jusqu'à 8 ou 9 mm de diamètre en fonction des zones de transition employées. Ajoutant à cela une efficacité énergétique (et donc thermique) de l'ablation dans l'épithélium supérieure d'environ 20 % à celle dans le stroma [5], le besoin de contrôle d'élévation de la température locale devient d'autant plus important.

Nous invitons le lecteur à lire la réponse à la question *“Pourquoi est-il recommandé d'interrompre le traitement entre les composantes PKT et PKR du traitement StreamLight et pas pour le traitement SmartSurf^{ACE} ?”* pour en savoir plus sur ces moyens de contrôle.

■ La PKR transépithéliale est-elle une nouveauté?

Bien que fortement popularisé ces dernières années à la suite du regain d'intérêt pour la technique PKR face au Lasik, le concept de PKR transépithéliale n'est pas nouveau et

l'ablation de l'épithélium par le laser excimer a été envisagée très peu de temps après l'apparition de la PKR.

En effet, dès le début des années 1990, Jorge Alió et ses co-auteurs [6] évoquaient l'agressivité du débridement épithélial au scarificateur (*fig. 4*) qui, dans leur expérience, provoquait inconfort et inflammation postopératoires accompagnés d'un retard de la cicatrisation. Le laser excimer leur est donc apparu comme une alternative intéressante pour rendre le débridement moins traumatisant.

L'ablation de l'épithélium au laser, parfois complétée manuellement à l'aide d'une spatule, pouvait aussi être réalisée intégralement au laser en s'appuyant sur la fluorescence de l'épithélium exposé à une radiation de 193 nm (correspondant à la longueur d'onde du faisceau émis par le laser excimer) [7]. Contrairement au tissu stromal qui présente un pic majeur de fluorescence dans l'ultra-violet (310 nm), l'épithélium se caractérise par une réémission dans le spectre visible (bleu 460 nm) (*fig. 5*). Cela permet

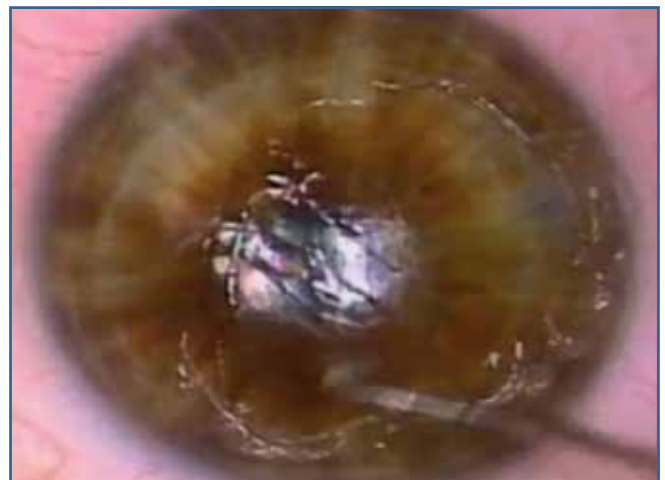


Fig. 4 : Lit stromal après débridement au scarificateur.

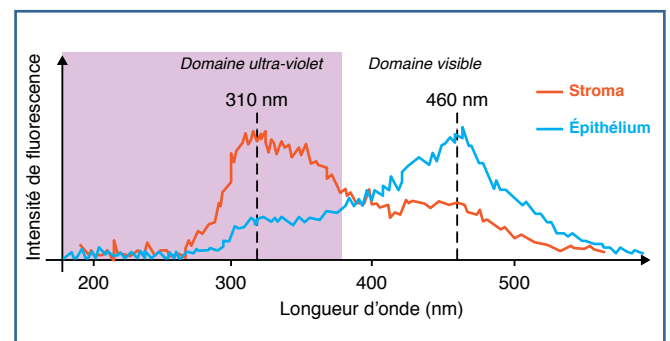


Fig. 5 : Spectres de fluorescence de l'épithélium et du stroma exposés à une radiation de 193 nm (adapté de [7]).

de discriminer à l'œil nu, plus facilement en conditions de basse luminosité ambiante, le passage du laser au travers de la couche épithéliale, qui se traduit par la disparition de la fluorescence dans le bleu.

C'est ainsi que la T-PKR est devenue une procédure en deux étapes, commençant par une PKT pour supprimer l'épithélium avant d'appliquer un traitement PKR classique [8]. Plusieurs facteurs ont cependant empêché sa popularisation, comme le manque apparent de prédictibilité de la technique (notamment lié aux dérives réfractives constatées après application d'un traitement PKT), l'absence d'uniformisation des protocoles et les craintes quant à une variation d'hydratation du stroma en raison du temps de traitement rallongé (étant donné que deux traitements doivent être programmés et réalisés à la suite).

À notre connaissance, la première T-PKR sous forme d'un traitement unique a été reportée en 2006 par importation sur le laser excimer LaserSight LSX d'un profil d'ablation programmé avec le logiciel CIPTA® [9]. Ce logiciel, intégré depuis 2007 sur les plateformes iRes™ de la société italienne iVis Technologies, permet de combiner en un seul traitement une ablation topo-guidée avec une ablation PKT (procédure cTen™).

Peu après, dans un effort de standardisation de ses procédures en deux étapes de PKR transépithéliale [10], le laboratoire Schwind eye-tech-solutions a fini par aboutir à la solution TransPKR en 2009. Elle fut renommée SmartSurf^{ACE} en 2016 à la suite de l'intégration de la technologie SmartPulse. Moins confidentiel que la société iVis Technologies sur les résultats obtenus grâce à son traitement, Schwind a su populariser la T-PKR.

Désormais reconnue comme une alternative intéressante aux techniques traditionnelles de PKR, voire au Lasik, les autres fabricants de lasers excimer déploient progressivement leurs propres solutions tout-en-un. En 2018, Alcon a sorti le

StreamLight sur la plateforme Wavelight EX500, et un traitement T-PKR délivré par le laser Teneo devrait être prochainement annoncé par Bausch + Lomb (peut-être à Paris en 2019, lors de la SFO ou de l'ESCRS ?).

■ En quoi consiste la solution SmartSurf^{ACE} du laser Schwind Amaris ?

Le SmartSurf^{ACE} est disponible sur les lasers Amaris 500E, 750S et 1050RS de la marque Schwind eye-tech-solutions. Il s'agit d'une évolution du traitement TransPKR, agrémenté de la technologie SmartPulse. Celle-ci consiste en une modification de la répartition des tirs dans l'espace reposant sur un maillage hexagonal tridimensionnel de la surface cornéenne. Le dimensionnement de ce maillage, associé aux propriétés du spot et au concept de double-fluence [11] du laser Amaris, permet d'obtenir un lissage optimisé de la surface cornéenne postopératoire [12].

Le profil TransPKR est construit par association d'une ablation réfractive (au choix : un profil asphérique, un profil aberro-guidé ou un profil topo-guidé) et d'une ablation PKT à profil d'épaisseur parabolique (fig. 6). Ce dernier profil est défini par les valeurs centrale et périphérique d'épaisseur de l'épithélium, par défaut respectivement fixées à 55 et 65 μm (à 4 mm du centre), mais pouvant être modifiées par l'utilisateur.

Réalisation du traitement SmartSurf^{ACE}

La programmation du traitement s'effectue au moyen du logiciel SCHWIND CAM intégré au laser.

Il faut d'abord renseigner les informations du patient et le type de traitement – PresbyMax ou amétropie classique par traitement asphérique Aberration-Free (AF), traitement aberro-guidé Ocular Wavefront (OW) ou topo-guidé

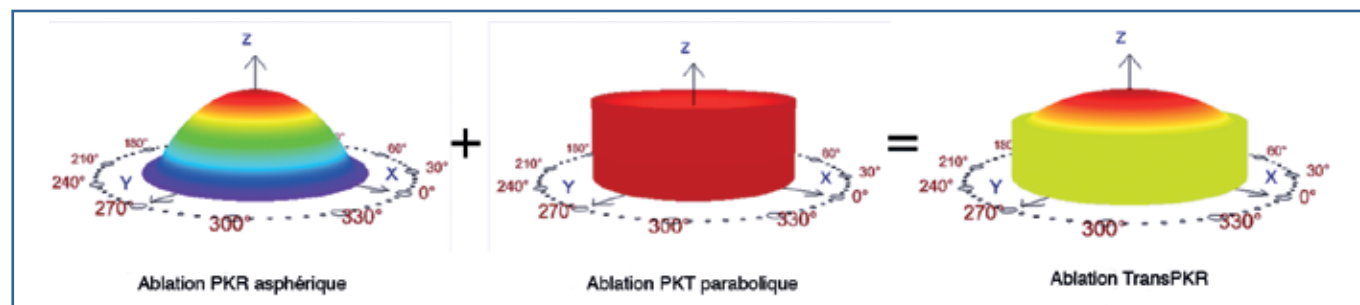


Fig. 6 : Constitution du profil TransPKR par réunion d'une ablation asphérique avec un profil PKT parabolique.

Corneal Wavefront (CW) –, puis sélectionner la modalité d'application du traitement (Re-Lift, FemtoLasik, Lasik, Lasek, PKR ou TransPKR). Choisir *TransPKR* additionnera automatiquement le profil PKR² correspondant à un profil épithélial parabolique dont les paramètres d'épaisseur sont modifiables (*fig. 7*).

Comme tous les traitements proposés par le laser Amaris, le centrage est effectué par défaut sur le vertex, sous réserve d'avoir mesuré sa position par rapport au centre pupillaire au moyen d'un examen sur les instruments de diagnostic reliés au laser (tomographe Sirius ou aberro-topographe Peramis).

Le patient avec blépharostat (attention à ne pas abîmer l'épithélium lors de son insertion) doit fixer le repère lumineux durant le traitement, son œil étant suivi par l'eye-tracker du laser. L'ablation commence par la partie réfractive du traitement appliquée directement à la surface de l'épithélium avant de se poursuivre par la composante PKT (*fig. 8*). Il n'y a pas d'interruption du traitement, les deux composantes étant réalisées en une seule passe sans distinction visible par l'utilisateur. La lentille pansement pourra être déposée après irrigation avec du BSS froid et nettoyage de la cornée.

² Le laser Amaris intègre un nomogramme différenciant les profils d'ablation selon que la modalité de traitement choisie se rapproche d'une PKR (PKR, TransPKR, Lasek) ou d'un Lasik (Lasik, FemtoLasik).

Il n'y a pas de recommandation spécifique quant à l'utilisation de mitomycine C, son application pouvant être conservée si le chirurgien en a l'habitude.

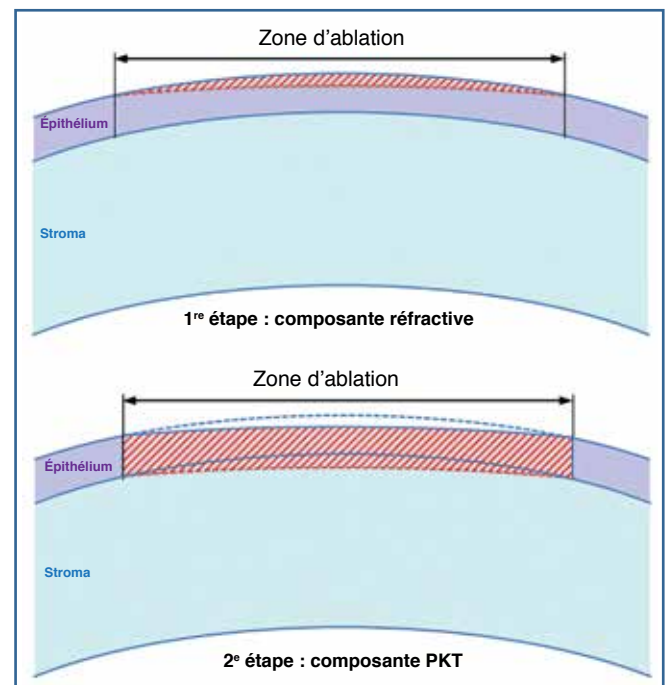


Fig. 8 : Étapes du traitement SmartSurf^{ACE}. La composante réfractive est effectuée en premier. Le profil cornéen ainsi obtenu est ensuite translaté dans le stroma par réalisation de la composante PKT.

Fig. 7 : Interface de programmation d'un traitement TransPKR avec le logiciel SCHWIND CAM. Les paramètres d'épaisseur du profil épithélial sont modifiables par l'utilisateur.

■ En quoi consiste la solution StreamLight du laser Wavelight EX500?

Le traitement StreamLight est le nom donné par Alcon à sa solution de PKR transépithéliale, pouvant être délivrée par la plateforme Wavelight EX500 en version 1.400 (mise à jour obligatoire avec le patch PERS 1 déployé en France depuis décembre 2018).

Ce traitement a été conçu en s'appuyant sur les retours cliniques des utilisateurs de la plateforme qui effectuaient des PKR transépithéliales en deux étapes par association d'un traitement PKT et d'un traitement ablatif asphérique (Wavefront Optimized, WFO). Le traitement PKT délivré par le laser Wavelight EX500 (ou sa version précédente Allegretto) se caractérise par une dérive myopique [13], qui était neutralisée en pratique par l'ajout d'une correction réfractive supplémentaire de l'ordre de 0,5 à 0,75 dioptries lors de la programmation du traitement WFO. Cette dérive résulte probablement d'une surcompensation par le laser de la perte d'efficacité ablative à la périphérie de la cornée [14].

Le traitement StreamLight associe un traitement WFO "classique" à un profil PKT optimisé pour éviter cette dérive myopique. La zone d'ablation couverte par le profil PKT (hors zone de transition) est de surcroît plus large

que la zone optique de la composante WFO du traitement programmé : le diamètre sera plus grand de 0,5 mm pour le traitement des myopies pures, et fixé à 8 mm pour les autres amétropies (*fig. 9*).

Réalisation du traitement StreamLight

La programmation s'effectue en choisissant la procédure *StreamLight* dans le menu de sélection des traitements. L'interface de programmation est identique à celle d'un traitement WFO, à l'exception du champ *Epi Depth* qui permet de renseigner la profondeur d'épithélium (par pas de 5 μm , pour une valeur comprise entre 45 et 65 μm) à ablater par la composante PKT du traitement (*fig. 10*). À noter que le profil affiché correspond uniquement à celui de la composante WFO, et ni la profondeur supplémentaire de tissu ablaté par la composante PKT ni la surface de traitement élargie ne sont indiquées. Alcon préconise de conserver le nomogramme utilisé habituellement pour les traitements WFO.

Une fois programmé, le traitement ne peut être effectué qu'après insertion d'une carte GoldCard dans le laser en lieu et place de la BronzeCard habituelle. En effet, le StreamLight est une procédure du type "paiement à l'utilisation" avec un coût de 50 euros HT par œil. Ces GoldCard peuvent être commandées avec un crédit de 20 ou 50 traitements. On prendra garde à bien remettre en place la carte BronzeCard dans le laser si l'on effectue un traitement autre que StreamLight. Si une GoldCard est détectée, le message d'avertissement "Use of WaveCard with lower value applicable!" s'affichera avant la prise de cyclotorsion (*fig. 11*),

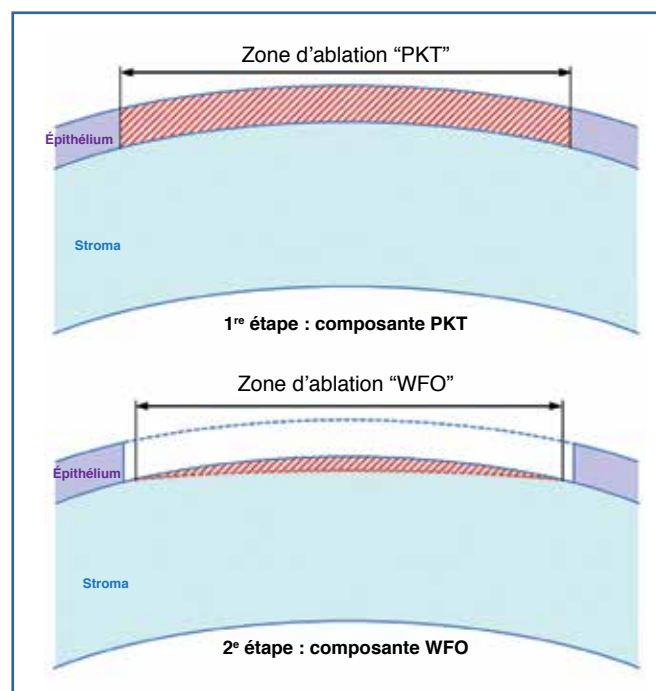


Fig. 9 : Étapes du traitement StreamLight, avec l'ablation de la composante PKT suivie de la composante réfractive (ablation Wavefront Optimized).



Fig. 10 : Interface de programmation du traitement StreamLight avec indication de l'épaisseur épithéliale.

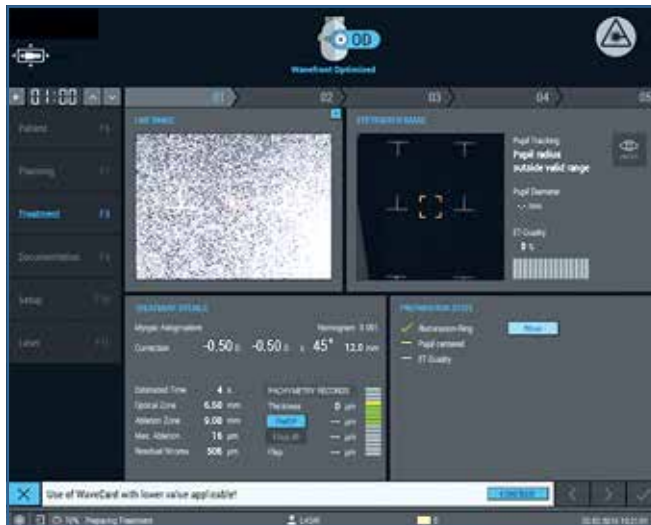


Fig. 11 : Message d'avertissement si une GoldCard est détectée dans le laser au démarrage d'un traitement autre que StreamLight (ici, Wavefront Optimized).

mais une procédure sera effectivement débitée si elle n'est pas remplacée par la BronzeCard.

Une fois le patient installé, le centrage s'effectuera à l'appréciation du chirurgien, comme pour un traitement WFO standard, entre le centre pupillaire ou le vertex cornéen (la position de ce dernier pouvant être importé à partir d'une mesure effectuée avec le topographe Topolyzer, connecté au laser).

Après pose du blépharostat, la cornée est aspergée de BSS froid (conservé préalablement au réfrigérateur). La surface et les culs-de-sac sont ensuite asséchés à la Microsponge. Le traitement peut désormais être lancé, commençant par la composante PKT de l'ablation. L'avancement du traitement est indiqué, à la fois sur l'écran du laser et dans les oculaires, par une barre de progression. Celle-ci est partagée en deux segments délimités par une barre verticale qui indique la fin du traitement PKT et le début du traitement WFO. Trois signaux sonores sont émis par le laser 2 secondes avant que la barre de progression atteigne cette limite. Si le chirurgien laisse son pied sur la pédale, le traitement continuera sans interruption jusqu'à la fin. Alcon préconise toutefois de procéder à un arrêt de 10 secondes avant d'entamer le traitement WFO (pour aider à la temporisation, un compteur s'affiche une fois la pédale relâchée).

Une fois le traitement complet achevé, la cornée doit de nouveau être aspergée de BSS frais, puis asséchée, avant de déposer la lentille pansement. Il n'y a pas de recommandation spécifique quant à l'utilisation de mitomycine C, son usage pouvant être conservé si le chirurgien en a l'habitude.

■ Pourquoi est-il recommandé d'interrompre le traitement entre les composantes PKT et PKR du traitement StreamLight et pas pour le traitement SmartSurf^{FACE} ?

Cette préconisation d'Alcon vise à limiter l'élévation de température induite par le traitement StreamLight. En effet, comme pour toute ablation excimer, l'interaction du laser avec la cornée augmente sensiblement sa température. Chaque tir est porteur d'une "charge thermique" qui, bien que faible prise individuellement, peut conduire à des variations de plusieurs dizaines de degrés lorsque les tirs s'accumulent [4]. Non maîtrisée, cette élévation de température est susceptible d'entraîner des dommages irréversibles liés à la dénaturation du collagène cornéen [15]. La température limite de 40 °C est la plus souvent utilisée comme valeur maximale admissible [16], se basant sur la mise en évidence d'une température de fusion de l'ordre de 39 °C du collagène obtenu par extraction de cornées bovines [17]. Ce seuil est cependant débattu, et certains supposent que la dénaturation n'interviendrait *in vivo* qu'à des températures plus proches de 60 °C [18]. Quelle que soit la valeur retenue, un contrôle de l'élévation de température lors de la chirurgie est donc requis, ce qui a aussi pour effet de limiter l'apparition de haze postopératoire [19].

La physique d'une ablation de la cornée au laser excimer est un processus complexe qui inclut de multiples paramètres comme la fluence du laser, sa fréquence de travail, le type et l'étendue du traitement appliqué ainsi que la répartition des tirs dans le temps et l'espace. La définition de ces paramètres doit permettre à l'ablation, *primo* d'être suffisamment rapide pour éviter la déshydratation du stroma, *deuxio* d'assurer la précision du remodelage cornéen, *tertio* d'empêcher une élévation trop importante de la température. L'optimisation des deux premiers critères permet de maximiser l'efficacité du traitement, mais elle ne doit pas se faire au détriment du troisième.

Diminuer la taille des spots laser permet d'affiner la précision dans le plan horizontal de l'ablation, mais requiert une augmentation de la cadence de tir pour ne pas allonger le temps de traitement – que l'on cherche au contraire à raccourcir. Par ailleurs, limiter la fluence du laser permet aussi de diminuer la quantité de tissu ablaté à chaque tir (donc d'augmenter la précision verticale du traitement), mais nécessite d'augmenter le nombre de tirs, d'autant plus si l'on tient compte des effets de perte liés à la courbure de la cornée, compensables par des tirs additionnels en périphérie [14]. Cela suppose donc d'augmenter la fréquence de tirs pour ne pas allonger le temps de traitement. Cependant, plus la cadence de tir sera

importante, plus la fluence devra être élevée pour ablater une même épaisseur de tissu [20]. Ajouter à cela la constatation que l'effet thermique d'un pulse laser est associé à sa fluence et que l'augmentation de température en un point de la cornée est principalement pilotée par la fréquence de tir locale illustre à quel point l'équilibre à atteindre est subtil.

Ce travail d'optimisation a été effectué par Schwind et Alcon lors du développement de leurs plateformes excimer. Il repose en particulier sur la définition d'une zone d'ablation interdite temporaire autour du dernier point d'impact laser : un nouveau tir ne pourra avoir lieu au même endroit qu'après avoir laissé le temps nécessaire à la chaleur de s'y dissiper, et ainsi éviter des dommages thermiques causés par une élévation trop importante de la température. La société Schwind eye-tech-solutions a développé l'algorithme de tirs ITEC (*Intelligent Thermal Effect Control*) qui, tenant compte d'une valeur critique de 40 °C et d'une température nominale de la surface oculaire de l'ordre de 34 °C [21], limite la fréquence maximale de tir des lasers Amaris sur une même zone de cornée à 39 Hz (soit un tir toutes les 25 ms) quelle que soit la fréquence de travail du laser (500 Hz pour l'Amaris 500E, 750 Hz pour l'Amaris 750S et 1 050 Hz pour l'Amaris 1050RS) [22]. Les traitements du laser Wavelight EX500, cadencé à 500 Hz, sont quant à eux plafonnés à une fréquence locale maximale de 100 Hz (soit au maximum un tir toutes les 10 ms en un même point) [23].

Aussi, compte tenu du fait que la température de la surface oculaire est influencée par la température ambiante [24], réaliser un traitement laser dans un environnement contrôlé permet d'ablater le stroma sans augmentation excessive de la température tout en restant en deçà du seuil de température critique [25].

Ce qui suffit pour une ablation réalisée directement dans le stroma n'est toutefois pas automatiquement valide pour une PKR transépithéliale. En effet, il s'y rajoute, en plus de l'ablation réfractive dans le stroma, l'ablation d'une couche de près de 50 µm d'épaisseur d'épithélium, et ce sur l'ensemble de la zone de traitement désirée. L'efficacité ablative du laser excimer dans l'épithélium étant supérieure de 20 % environ par rapport au stroma [5], il est attendu une contrainte thermique supérieure à celles des ablations classiques pour lesquelles les plateformes laser ont été initialement optimisées.

En conséquence, Alcon préconise deux mesures de sécurité supplémentaires lors de la réalisation d'un traitement StreamLight :

- Premièrement, le refroidissement de la cornée avec du BSS froid immédiatement avant l'ablation. En effet, faire chuter la température initiale de la surface cornéenne permet mécaniquement d'augmenter l'amplitude thermique tolérable lors de l'ablation. Une baisse de 7 à 8 °C de la surface oculaire est attendue avec un temps de relaxation de près de 30 secondes avant que la cornée retrouve sa température initiale [26].

- Deuxièmement, il est recommandé d'observer une pause de 10 secondes entre la réalisation des composantes PKT et réfractive du traitement. Cela permet de bénéficier d'une relaxation thermique de la cornée qui se traduit par une baisse de température de plus de 3 °C [27], laissant une marge de sécurité supplémentaire.

Le laboratoire Schwind fait quant à lui suffisamment confiance en la capacité d'absorption de la dérive thermique du traitement SmartSurf^{ACE} de l'algorithme ITEC pour s'affranchir de ces recommandations supplémentaires. Une étude récente [28] montre que l'élévation de température maximale reportée avec un laser Amaris 750S est de 8 °C (pour des corrections de sphère équivalente entre -1,75 et +1,50 dioptries), ce qui tend à confirmer qu'une T-PKR peut être envisagée sans précaution particulière, tout du moins dans le cadre de la correction de faibles amétropies.

Les deux laboratoires s'accordent toutefois, une fois l'ablation terminée, à asperger la cornée de BSS froid pour diminuer le risque de haze postopératoire.

■ Quel avantage est attendu avec le SmartSurf^{ACE} en commençant le traitement par la composante réfractive plutôt que par la composante PKT ?

Pour commencer, il est nécessaire de rappeler comment se construit un traitement de PKR transépithéliale : il s'agit de la réunion d'un premier volume d'ablation correspondant à la couche d'épithélium à ablater (composante PKT) et d'un second volume correspondant quant à lui à la quantité de stroma nécessaire pour corriger un défaut réfractif donné (composante réfractive). Chacun de ces volumes doit ensuite être traduit en quantités de tirs de laser nécessaires pour arriver à l'ablation du volume de tissu désiré.

Cette décomposition est effectuée par un algorithme propriétaire, spécifique à chaque laser. Dans tous les cas, elle tient compte des propriétés du faisceau laser (taille de spot, fluence appliquée...) et de celles du type de tissu à ablater (stroma ou

épithélium, une ablation dans ce dernier étant 20 % plus efficace que dans le stroma). Le nombre total de tirs nécessaires à la réalisation de l'ablation T-PKR se calcule en additionnant les nombres de tirs de chacune des composantes.

En théorie, l'ordre de réalisation des composantes du traitement (PKT puis réfractive, ou inversement) n'a pas d'importance quant à la forme finale du lit stromal après ablation. On pourra s'en convaincre en considérant le cas simplifié de l'ablation d'une carotte de cornée, de largeur égale à celle d'un pulse laser et d'épaisseur de 120 μm dont la moitié est de l'épithélium et l'autre moitié du stroma. En supposant que chaque tir ablate 0,5 μm de stroma et 0,6 μm d'épithélium, on calcule qu'il faudra 100 tirs ($60/0,6$) pour la partie PKT du traitement et 120 pour la composante réfractive ($60/0,5$). Au total, 220 tirs sont donc nécessaires pour effectuer l'ablation.

Commencer par la composante PKT du traitement conduit à utiliser les 100 premiers tirs pour ablater l'épithélium dans sa totalité (100 tirs fois 0,6 μm = 60 μm), et les 120 tirs suivants permettront d'enlever les 60 μm de stroma visés (120 tirs fois 0,5 μm = 60 μm).

Procéder de façon inverse consistera à tirer d'abord les 120 tirs de la composante réfractive. Or seuls 100 d'entre eux suffisent pour ablater les 60 μm de la couche épithéliale. Il restera 20 tirs, qui ablateront alors 10 μm de stroma (20 tirs fois 0,5 μm = 10 μm). Les 100 tirs restants de la composante PKT, appliqués dans le stroma, permettront d'ablater 50 μm de tissu supplémentaire (100 tirs fois 0,5 μm = 50 μm).

Dans les deux cas, l'ablation a bien permis de supprimer les 120 μm de tissu cornéen visés (**fig. 12**). Il s'agit ici, bien entendu, d'une simplification mettant en jeu des valeurs qui facilitent le calcul et supposent un empilement parfait des tirs. Mais l'application à une configuration plus réaliste conduit à des résultats du même ordre (de légères variations inférieures au μm peuvent provenir du fait que les tirs ne sont en réalité pas empilés, mais légèrement décalés les uns par rapport aux autres, et que certains tirs sont effectués à la frontière entre épithélium et stroma).

Ainsi, quel que soit l'ordre d'application des composantes du traitement, la même épaisseur de tissu sera ablatée et la cornée bénéficiera de l'effet de masquage de l'épithélium pour régulariser le lit stromal après ablation.

La différence d'ordre d'application des composantes de la T-PKR peut cependant affecter la gestion de la perte

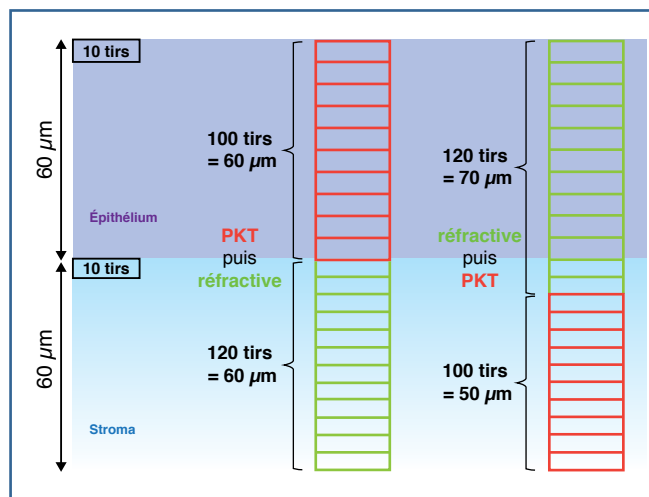


Fig. 12 : Illustration de l'équivalence théorique de la permutation de l'ordre des composantes PKT et réfractive d'un traitement de PKR transépithéliale sur le cas simplifié d'une carotte de cornée de 120 μm d'épaisseur (60 μm d'épithélium et 60 μm de stroma).

d'efficacité ablatrice en périphérie du traitement [14]. Rappelons-le, à cause de la courbure de la cornée, un faisceau laser n'impactera pas la surface cornéenne avec le même angle d'incidence selon que le tir est effectué au centre ou en périphérie de la zone de traitement : en supposant l'alignement de l'axe neutre du laser et de l'axe de rotation de la cornée supposée symétrique par rotation, le faisceau laser sera perpendiculaire à la surface cornéenne en son centre, tandis qu'il sera oblique en périphérie. Cela aura pour conséquences, d'une part d'élargir la surface de cornée couverte par le spot, diluant ainsi l'énergie du faisceau laser sur une

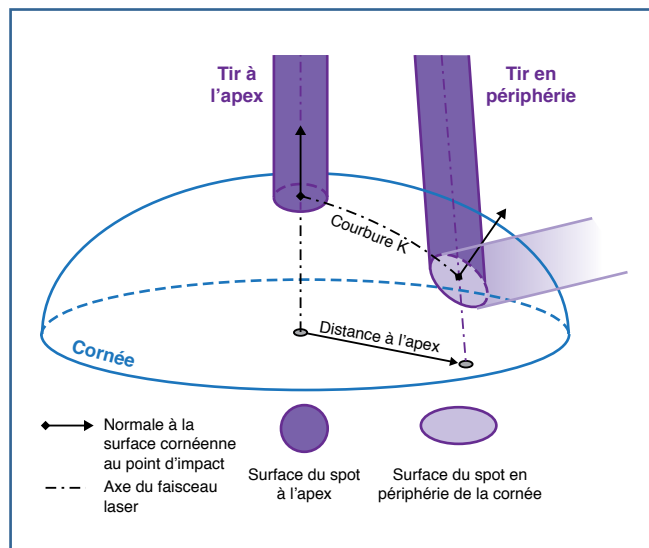


Fig. 13 : Illustration de la perte d'efficacité ablatrice d'un spot laser selon qu'il impacte la cornée en son centre ou en périphérie.

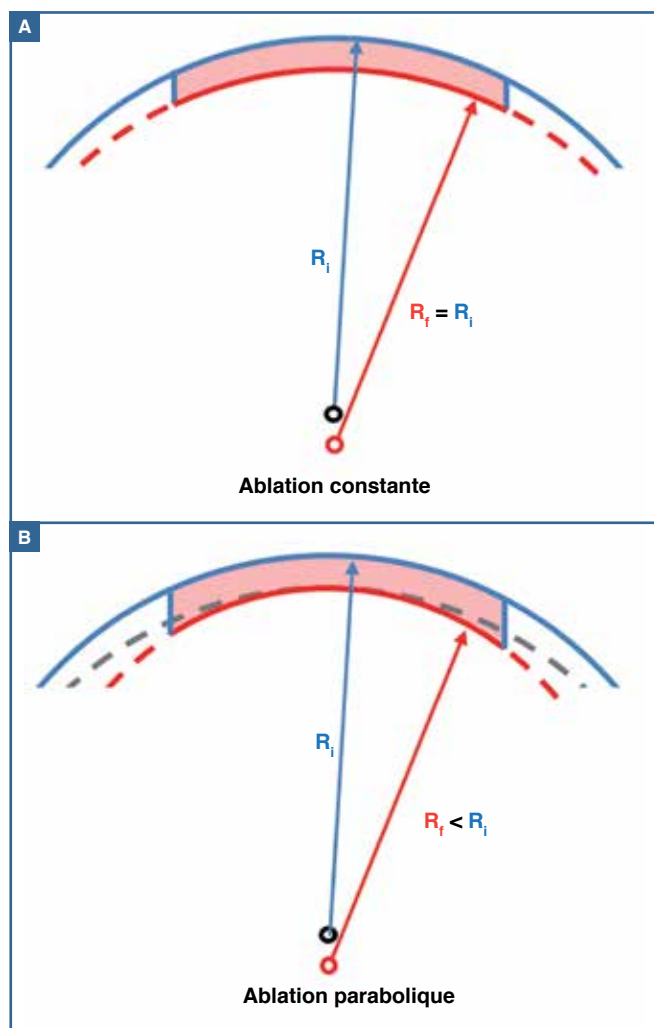


Fig. 14 : Évolution du rayon de courbure en fonction de l'ablation effectuée sur une cornée de rayon de courbure initial R_i . **A :** Ablation d'une même épaisseur de tissu sur l'ensemble de la zone de traitement résultant en une surface identique à l'état initial (même rayon de courbure). **B :** Ablation d'une quantité variable de tissu entre le centre et la périphérie du traitement selon un profil parabolique résultant en une diminution du rayon de courbure.

plus grande surface, d'autre part de conduire à une réflexion partielle du faisceau, réduisant ainsi la part d'énergie consacrée à l'effet ablatif (*fig. 13*). Par suite, un spot ablatera moins de tissu en périphérie qu'au centre, cette diminution pouvant se calculer à partir de la valeur de courbure de la cornée.

La quantité nécessaire de tirs supplémentaires dépendra ainsi de la valeur de courbure de la cornée, qui est estimée à partir d'une mesure topographique réalisée avec l'épithélium intact. Or, la valeur du rayon de courbure évolue avec l'avancement du traitement et peut être affectée par l'ablation de la composante PKR (*fig. 14*) : une ablation parabolique modifiera la valeur du rayon de courbure,

au contraire d'une ablation de profondeur constante qui ne fera que translater le profil cornéen initial.

En conséquence, la stratégie adoptée par Schwind consiste en l'application de la composante réfractive en premier de façon à maximiser la précision du traitement dont le paramétrage est basé sur l'état de la surface de l'épithélium. Cet argument est d'autant plus valable si l'on considère le cas de l'application d'une ablation de PKR transépithéliale à un traitement topo-guidé, la topographie utilisée pour guider le traitement étant celle de l'épithélium (au film lacrymal près).

De son côté, Alcon a pris le parti de commencer par la composante PKT, arguant d'un surcroît de sécurité en cas de changement d'avis ou d'une quelconque complication peropératoire en réservant la partie active du traitement (*i.e.* celle impactant le stroma) seulement à la fin du traitement.

■ Pourquoi un profil d'épaisseur parabolique pour l'épithélium avec le SmartSurf^{ACE} et un profil plat avec le StreamLight?

Les deux traitements se distinguent par l'utilisation d'ablations différentes en complément du traitement réfractif : une PKT à épaisseur constante pour le StreamLight, et une ablation d'épaisseur variable du centre à la périphérie, selon un profil parabolique, pour le SmartSurf^{ACE}. L'utilisation de l'un et l'autre de ces modèles relève de considérations à la fois d'ordres théorique et clinique.

Le profil d'épaisseur épithélial utilisé par le traitement SmartSurf^{ACE} est construit selon la formule [29] :

$$\text{épaisseur}(r) = EP_c + (EP_p - EP_c) \cdot \left(\frac{r}{R}\right)^2$$

où r est la distance au centre du traitement, EP_c est l'épaisseur d'épithélium au centre du traitement, et EP_p est l'épaisseur d'épithélium à une distance R du centre du traitement.

Ce modèle repose sur les résultats de l'étude de Reinstein *et al.* [30] s'intéressant aux cartes pachymétriques de l'épithélium obtenues grâce au dispositif Artemis dans une population de 110 yeux "normaux". Les valeurs utilisées par défaut sont une épaisseur centrale EP_c de $55 \mu\text{m}$ au centre, et EP_p de $65 \mu\text{m}$ en périphérie (pour $R = 4 \text{ mm}$). Elles ont été choisies pour être légèrement supérieures aux valeurs moyennes reportées dans l'étude ($53,4 \mu\text{m}$ au centre et $59 \mu\text{m}$ à 3 mm du centre en inférieur).

Par ailleurs, il permet de compenser un shift hypermétrope de l'ordre de + 0,75 D environ, reporté dans l'utilisation d'un profil réfractif avec le profil PKT classique du laser Amaris lors des tentatives de TransPKR en deux étapes [10].

Le profil d'épaisseur épithéliale du traitement StreamLight est quant à lui dérivé du profil PKT du laser EX500. En plus d'une optimisation du nombre de pulses pour ablater l'épaisseur d'épithélium désirée (les propriétés d'ablation du laser excimer étant légèrement différentes en fonction du tissu ablaté [5]), le profil a été ajusté pour éviter les dérives myopiques observées avec le traitement PKT traditionnel.

■ Comment personnaliser l'épaisseur d'épithélium des traitements SmartSurf^{ACE} et StreamLight si je dispose d'un instrument permettant de la mesurer ?

Les laboratoires Schwind et Alcon invitent les utilisateurs dotés d'instruments mesurant l'épaisseur de l'épithélium à personnaliser les valeurs utilisées par les composantes PKT des traitements SmartSurf^{ACE} et StreamLight. Avant d'évoquer leurs recommandations, rappelons d'abord quelles peuvent être les conséquences d'une mauvaise évaluation de l'épaisseur de la couche épithéliale.

1. Erreurs possibles

La PKR transépithéliale consiste à appliquer directement sur l'épithélium une ablation dont la finalité est le remodelage du stroma cornéen pour corriger un défaut réfractif précis. Tandis que la valeur d'amétropie et la forme de la cornée préopératoire sont facilement quantifiables (*via* une mesure de réfraction pour le défaut réfractif, et par une topographie pour la définition des courbures préopératoires), il n'en est pas de même pour la couche épithéliale, dont le profil d'épaisseur a été pendant longtemps inaccessible. En l'absence de cette donnée, le traitement T-PKR fait un pari en appliquant un profil pachymétrique arbitraire pour définir la couche d'épithélium à retirer.

Si le profil PKT épouse la forme réelle de l'épithélium, la partie réfractive du traitement T-PKR aura un effet maximal puisque tous les tirs seront bien effectués dans le tissu stromal. Par contre, s'il y a un décalage entre les profils réels et programmés de l'épithélium, tout ou partie des tirs de la composante réfractive du traitement risque de ne pas atteindre le stroma, donc de ne pas conduire à la correction réfractive désirée [29]. Plusieurs situations peuvent alors se présenter :

● Sur-estimation de l'épaisseur de l'épithélium

Dans ce cas-ci, l'erreur consiste à avoir programmé une épaisseur d'épithélium supérieure à sa valeur réelle. Le nombre de tirs calculé pour la réalisation de la composante PKT est plus important que nécessaire pour ablater l'épithélium, et l'excès de tirs ablatera du stroma. La composante réfractive du traitement couvrira quant à elle le volume de stroma correct. La correction réfractive finale sera celle prévue, mais plus de tissu stromal que nécessaire aura été ablaté (*fig. 15*).

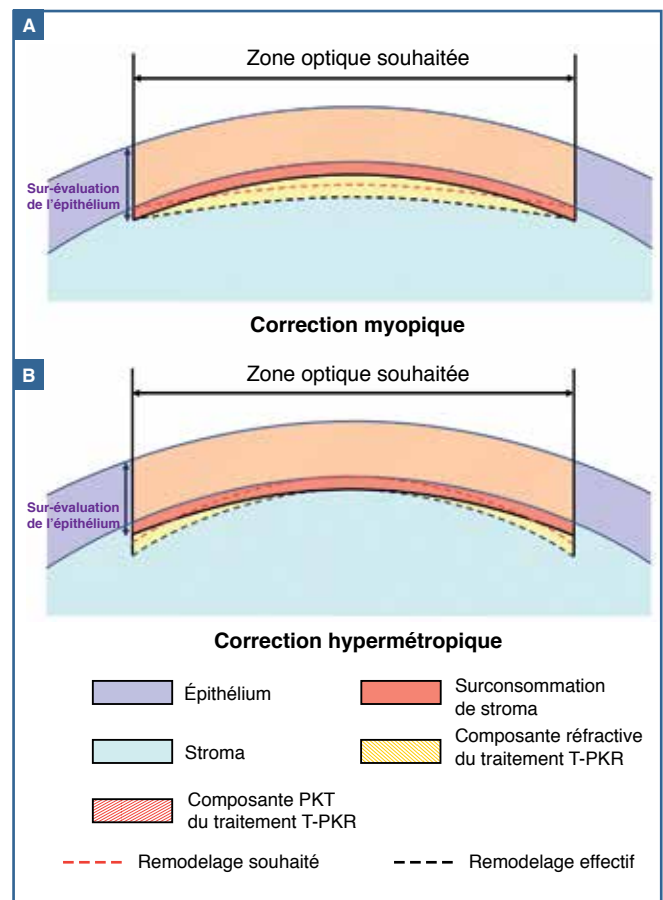


Fig. 15 : Ablation de PKR transépithéliale avec surestimation de l'épaisseur d'épithélium à ablater. Pour simplifier la visualisation, on suppose que la composante PKT du traitement est réalisée avant la composante réfractive. **A :** Cas de la correction d'une myopie avec surconsommation de tissu stromal. **B :** Cas de la correction d'une hypermétropie avec surconsommation de tissu stromal.

● Sous-estimation de l'épaisseur de l'épithélium

Contrairement au cas précédent, le nombre de tirs calculé pour la réalisation de la composante PKT est ici insuffisant pour couvrir la totalité de l'épaisseur d'épithélium. En conséquence, la partie réfractive du traitement couvrira tout ou partie de l'épithélium restant. Il en résultera une diminution de la taille

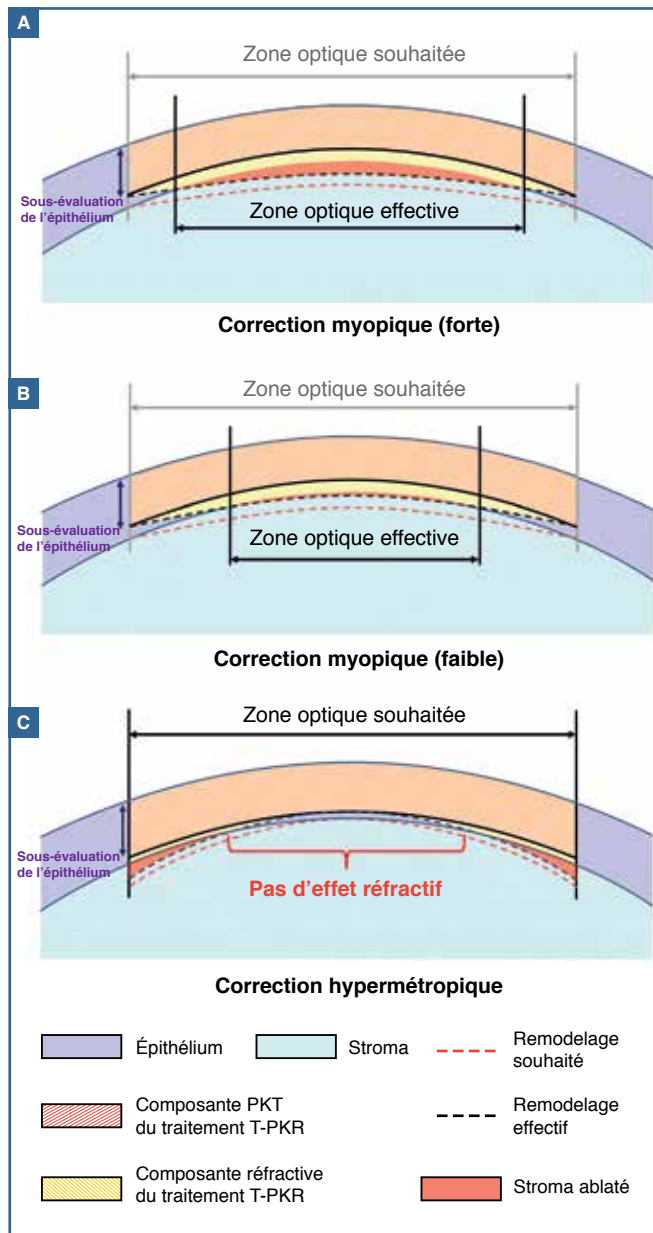


Fig. 16 : Ablation de PKR transépithéliale avec sous-estimation de l'épaisseur d'épithélium à ablater. Pour simplifier la visualisation, on suppose que la composante PKT du traitement est réalisée avant la composante réfractive. **A :** Cas de la correction d'une myopie forte avec réduction de zone optique. **B :** Cas de la correction d'une myopie faible avec réduction forte de zone optique. **C :** Cas de la correction d'une hypermétropie avec défaut d'ablation au centre de la zone de traitement.

de zone optique effective dans le cas d'une correction myopique, l'épaisseur d'ablation couverte par la composante réfractive étant insuffisante pour atteindre le stroma en périphérie du traitement. Cette réduction de zone optique sera d'autant plus forte que le défaut myopique à corriger est faible. Inversement, dans le cas d'un traitement hypermétropique, le stroma ne sera pas ablaté dans la partie centrale de la zone optique, conduisant

ainsi à une correction réfractive faussée avec un changement de courbure en périphérie uniquement (*fig. 16*).

● Estimation erronée de l'écart centre-périphérie de l'épaisseur de l'épithélium

Les deux premières erreurs d'estimation de l'épaisseur de l'épithélium envisagées précédemment supposaient une erreur constante sur l'ensemble de la zone de traitement. Nous supposons maintenant que l'erreur consiste à avoir mal évalué le différentiel d'épaisseur d'épithélium pouvant exister entre le centre et la périphérie du traitement.

Deux cas se présentent alors : soit cette différence d'épaisseur est inférieure à la réalité, soit elle est supérieure. Pour faciliter l'interprétation, nous supposons que l'épaisseur centrale est conforme à la réalité et que seule l'épaisseur périphérique est sous- ou surévaluée lors de la programmation. De plus, nous supposons la composante PKT ablatée avant la composante réfractive du traitement de PKR transépithéliale.

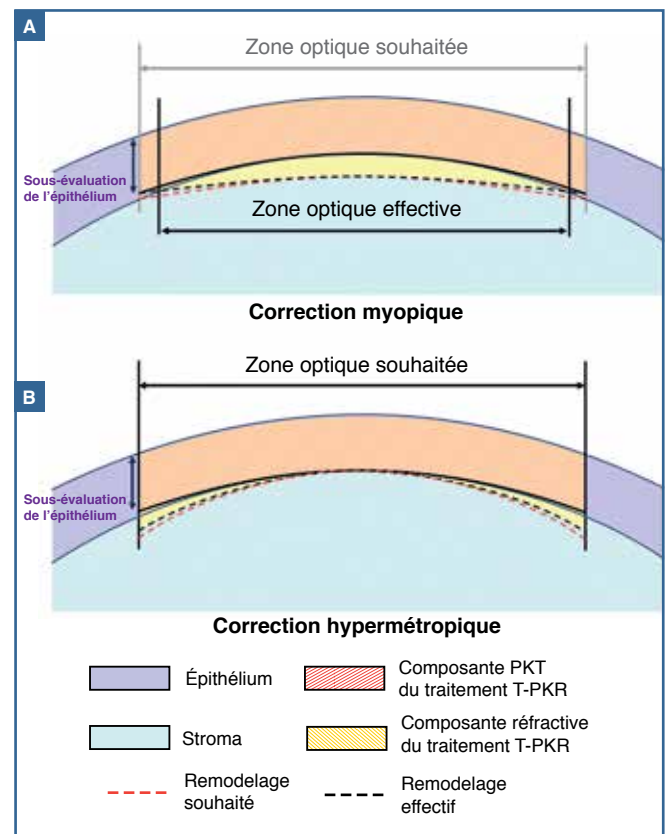


Fig. 17 : Illustration de l'effet d'une sous-estimation de l'épaisseur de l'épithélium en périphérie du traitement. **A :** Cas d'une correction myopique avec courbure cornéenne finale inférieure à celle prévue (aboutissant à un effet sur-correcteur). **B :** Cas d'une correction hypermétropique avec courbure cornéenne finale inférieure à celle prévue (aboutissant à un effet sous-correcteur).

Puisque l'épaisseur centrale a été correctement évaluée, la sous-évaluation de l'épaisseur de l'épithélium aura pour conséquence la présence d'épithélium résiduel après ablation PKT en périphérie de la zone de traitement. Une partie des tirs de la composante réfractive sera utilisée pour ablater cet excédent d'épithélium en lieu et place de tissu stromal. Ce détournement de tirs ayant uniquement lieu en périphérie du traitement, cela équivaut à ôter une correction hypermétropique de la correction réfractive initialement programmée. Une correction myopique sera donc plus forte que prévu (s'accompagnant par ailleurs d'une réduction de zone optique), tandis qu'une correction hypermétropique sera plus faible qu'escompté (*fig. 17*).

Au contraire, dans le cas d'une surestimation de l'épaisseur de l'épithélium en périphérie du traitement, la programmation implique que la composante PKT intègre plus de tirs que nécessaire pour supprimer l'épithélium. Une partie des tirs en périphérie ablateront donc du stroma, ce qui revient à effectuer un traitement hypermétropique, auquel viendra s'ajouter

ensuite le traitement réfractif. Une correction hypermétropique supplémentaire est donc ajoutée à la correction initialement programmée, diminuant l'effet d'une correction myopique et entraînant une sur-correction d'un traitement hypermétropique (*fig. 18*).

Dans le cas probable où la pachymétrie de l'épithélium n'est pas invariante par rotation, ces différentes erreurs peuvent être projetées sur des méridiens cornéens différents, conduisant à l'introduction d'un astigmatisme plus ou moins régulier.

Pour résumer, une mauvaise estimation de l'épaisseur de l'épithélium n'est pas, tout du moins en théorie, sans conséquence réfractive et peut conduire à surconsommer de précieux micromètres de tissu stromal en cas de chirurgie sur une cornée fine, à avoir une réduction de la zone effective du traitement ou bien un effet réfractif différent de celui escompté.

2. Recommandations

C'est pour éviter tout ou partie de ces effets délétères que Schwind et Alcon recommandent de personnaliser les profils PKT de leurs traitements SmartSurf^{ACE} et StreamLight.

Pour le SmartSurf^{ACE}, les valeurs centrales et périphériques moyennes sont modifiables lors de la programmation du traitement, et l'utilisateur doté d'un instrument capable d'afficher une carte pachymétrique de l'épithélium (à titre d'exemple, le RTVue Avanti d'Optovue ou le MS-39 de CSO) pourra directement relever et utiliser ces valeurs.

Rappelons que le traitement SmartSurf^{ACE} superpose l'apex de ses deux composantes (PKT et réfractive), supposant donc que l'épaisseur centrale de l'épithélium coïncide avec le vertex cornéen (dont la position est approchée par celle du 1^{er} reflet de Purkinje obtenu avec un topographe), sur lequel est centré par défaut le traitement délivré par le laser. On conseillera donc de réaliser la mesure de l'épaisseur épithéliale en centrant l'instrument sur ce point et non sur le centre pupillaire.

Quant à la valeur périphérique nécessaire au paramétrage du profil parabolique épithélial, il faudrait utiliser la moyenne des pachymétries reportées³ en périphérie de la cartographie

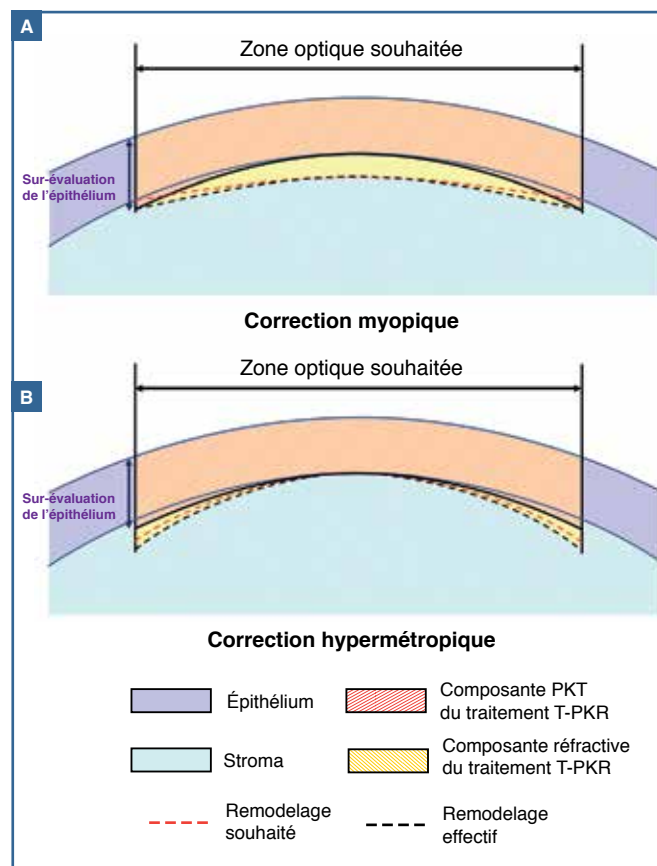


Fig. 18 : Illustration de l'effet d'une surestimation de l'épaisseur de l'épithélium en périphérie du traitement. **A :** Cas d'une correction myopique avec courbure finale plus importante que prévu (aboutissant à un effet sous-correcteur). **B :** Cas d'une correction hypermétropique avec courbure finale plus importante que prévu (aboutissant à un effet sur-correcteur).

³ Attention aux valeurs reportées sur la carte de pachymétrie : selon les instruments ou les modes d'affichage, elles peuvent correspondre à l'épaisseur calculée selon la direction normale à la surface cornéenne au point d'intérêt, ou bien par projection sur l'axe de mesure. Ces deux méthodes donnent des valeurs identiques au centre, mais différentes en périphérie à cause de la courbure de la cornée. En toute rigueur, seules les valeurs obtenues par projection peuvent être utilisées pour paramétrer une ablation.

pour lisser un potentiel effet astigmatique en cas de profil d'épaisseur différent d'un méridien cornéen à l'autre. Cependant, Schwind préconise de conserver la valeur calculée automatiquement par le logiciel SCHWIND CAM après renseignement de la valeur centrale (valeur périphérique = valeur centrale + $10\text{ }\mu\text{m}$) pour ne pas altérer l'effet correcteur de +0,75 D apporté par le profil parabolique par défaut.

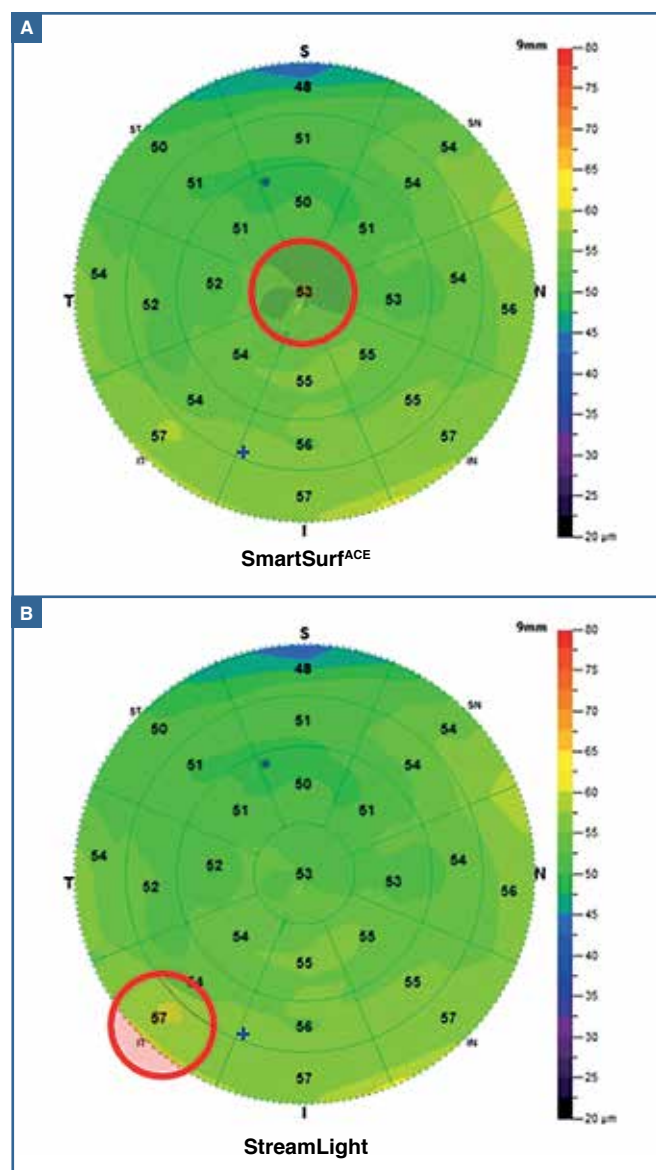


Fig. 19 : Valeurs de pachymétrie à utiliser lors de la programmation d'un traitement SmartSurf^{ACE} ou StreamLight à partir d'une cartographie épithéliale de l'OCT RTVue Avanti. **A :** Avec le SmartSurf^{ACE}, on utilisera pour valeur centrale la moyenne pachymétrique sur les 2 mm centraux de la carte (cercle central, ici $53\text{ }\mu\text{m}$) à laquelle on rajoutera $10\text{ }\mu\text{m}$ pour obtenir la valeur périphérique à 8 mm (ici $63\text{ }\mu\text{m}$, proposée par défaut par le logiciel SCHWIND CAM une fois la valeur de pachymétrie centrale renseignée). **B :** Avec le StreamLight, on utilisera la valeur la plus épaisse reportée sur la cartographie (ici, $57\text{ }\mu\text{m}$) pour paramétrer l'ablation de la composante PKT à $60\text{ }\mu\text{m}$ (programmation par pas de $5\text{ }\mu\text{m}$).

Alcon recommande quant à lui d'ajuster l'épaisseur de l'épithélium programmée en utilisant la valeur maximale relevée sur la carte de pachymétrie épithéliale, préférant aboutir à une légère surconsommation de tissu stromal plutôt qu'à une erreur de correction réfractive (*fig. 19*).

Enfin, notons que Schwind préconise de prendre plusieurs précautions supplémentaires pour éviter certains des écueils réfractifs présentés : tout d'abord, il n'est pas recommandé de traiter des amétropies trop faibles (typiquement inférieures à 1 D de myopie ou 1,5 D d'hypermétropie) ; en effet, la zone optique d'une faible correction myopique sera fortement réduite en cas de sous-estimation de l'épaisseur de l'épithélium (à titre d'exemple, en cas de sous-évaluation de $10\text{ }\mu\text{m}$ de l'épaisseur épithéliale, une réduction de zone optique de plus de 1,5 mm est attendue pour une myopie de -1 D, et une zone centrale de diamètre supérieur à 4 mm ne sera pas ablatée pour un traitement hypermétropique de +1 D). Par ailleurs, un ajustement de la zone optique est aussi conseillé pour les amétropies légères de façon à compenser sa réduction éventuelle par le traitement (1 mm de zone supplémentaire pour les myopies de 1 à 2 D, et 0,5 mm pour les myopies de 2 à 3 D). À notre connaissance, Alcon ne fait pour l'heure aucune recommandation quant au degré d'amétropie pouvant être traité avec le StreamLight.

II Quelles évolutions sont à attendre pour la PKR transépithéliale ?

Les études publiées jusqu'à présent montrent que la PKR transépithéliale conduit à des résultats réfractifs similaires à ceux obtenus avec les techniques plus classiques de PKR, mais rapportent une tendance nette vers une facilitation de la récupération postopératoire [31]. Comme toute chirurgie PKR, la technique reste toutefois soumise aux phénomènes de régression et suppose l'utilisation de nomogrammes dans l'attente d'une compréhension plus complète des mécanismes de repousse épithéliale et d'hyperplasie. La T-PKR a cependant le potentiel de conduire à une chirurgie pleinement personnalisée, sous réserve d'améliorer les approximations de la structure cornéenne utilisées par les traitements actuels.

La première et la plus évidente de ces approximations est la modélisation de la composante épithéliale du traitement, qui repose actuellement sur des approches "simplistes" : une lame de tissu à épaisseur constante pour le StreamLight, et une couche d'épaisseur à profil parabolique pour le SmartSurf^{ACE}. Dans les deux cas, cela sous-

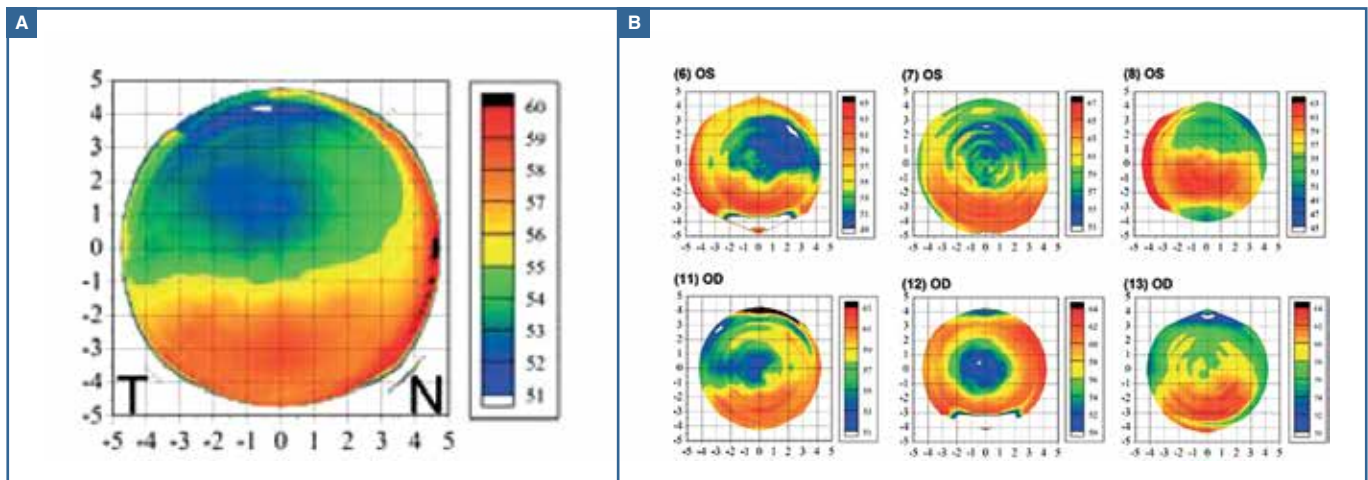


Fig. 20 : Figures extraites de l'étude de Reinstein *et al.* explorant la pachymétrie épithéliale avec l'instrument Artemis [30]. **A :** Carte pachymétrique moyenne. **B :** Exemples de distributions pachymétriques chez différents individus.

entend une répartition identique de l'épaisseur épithéliale quel que soit le méridien cornéen considéré, alors que l'observation clinique chez l'humain révèle des distributions beaucoup plus hétérogènes. En particulier, l'épithélium est en moyenne plus épais en inféro-nasal qu'en supéro-temporal [30], avec de larges variations selon les individus (*fig. 20*). L'amplitude des variations d'épaisseur épithéliale n'est par ailleurs pas la même selon la modalité d'imagerie choisie, les mesures OCT [32] donnant des dispersions moindres des valeurs d'épaisseur d'une carte pachymétrique en comparaison avec celle donnée par l'imageur haute résolution à ultrasons Artemis. Enfin, n'oublions pas que le film lacrymal peut aussi interférer avec les mesures relevées par ces instruments et conduire à une surestimation de la valeur mesurée (égale à l'épaisseur du film) ainsi qu'à une distribution légèrement différente des valeurs pachymétriques par effet de gravité sur les larmes. Ces perturbations sont cependant limitées en amplitude (de l'ordre de la dizaine de microns) et l'impact réfractif associé restera probablement modéré [33]. On peut cependant supposer un impact sur l'induction d'aberrations par le traitement, ainsi qu'une prédictibilité réduite avec une dérive réfractive d'autant plus sensible que l'amétropie à corriger est faible et que l'épithélium est irrégulier.

Une autre source d'erreur est l'omission, tout du moins à notre connaissance, de la prise en compte de la membrane de Bowman dans le calcul des traitements. En effet, tout comme un tir de laser excimer n'a pas le même effet lorsqu'il impacte l'épithélium ou le stroma, l'efficacité ablative du laser est réduite de 30 % dans la membrane de Bowman en comparaison avec le stroma (plus de tirs seront nécessaires pour traverser une même épaisseur dans la Bowman que dans le stroma).

L'épaisseur de la membrane de Bowman étant relativement faible au regard des profondeurs d'ablation généralement mises en jeu, l'influence de cette approximation sera d'autant plus marquée que l'amétropie corrigée est faible.

Une meilleure prise en compte de ces divers paramètres, par (1) le biais de modèles plus précis, (2) la systématisation des traitements topo-guidés – qui prennent tout leur sens lorsqu'ils sont appliqués directement sur l'épithélium (lequel est pris en compte lors des mesures topographiques) –, et (3) les performances croissantes des technologies de tomographie, permettant une augmentation des résolutions et donc plus de précision dans la mesure d'épaisseur des différentes structures cornéennes, pourrait faire de la chirurgie PKR transépithéliale LA référence des traitements personnalisés.

Les efforts actuels des laboratoires pour coupler les plateformes lasers à des OCT à la précision suffisante pour envisager des ablations des différentes couches cornéennes guidées par pachymétrie, ainsi que l'émergence des traitements du type ray-tracing (optimisant les profils d'ablation sur la base de mesures à la fois topographiques et aberrométriques [34]) nous paraissent aller dans ce sens.

Bibliographie

1. NETTO MV, MOHAN RR, SINHA S *et al.* Stromal haze, myofibroblasts, and surface irregularity after PRK. *Exp Eye Res*, 2006;82:788-797.
2. SALAH-MABED I, SAAD A, GATINEL D. Topography of the corneal epithelium and Bowman layer in low to moderately myopic eyes. *J Cataract Refract Surg*, 2016;42:1190-1197.
3. KIM W-J, SHAH S, WILSON SE. Differences in keratocyte apoptosis following transepithelial and laser-scrape photorefractive keratectomy in rabbits. *J Refract Surg*, 1998;14:526-533.

4. ISHIHARA M, ARAI T, SATO S *et al.* Measurement of the surface temperature of the cornea during ArF Excimer laser ablation by thermal radiometry with a 15-nanosecond time response. *Laser Surg Med*, 2002;30:54-59.
5. SEILER T, KRIEGEROWSKI M, SCHNOY N *et al.* Ablation rate of human corneal epithelium and Bowman's layer with the Excimer laser (193 nm). *Refract Corneal Surg*, 1990;6:99-102.
6. ALIO JL, ISMAEL MM, ARTOLA A. Laser epithelium removal before photorefractive keratectomy. *Refract Corneal Surg*, 1993; 9:395.
7. TUFT S, AL-DHAHIR R, DYER P *et al.* Characterization of the fluorescence spectra produced by Excimer laser irradiation of the cornea. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 1990;31:1512-1518.
8. JOHNSON DG, KERIZIAN GM, GEORGE SP *et al.* Removal of corneal epithelium with phototherapeutic technique during multizone, multipass photorefractive keratectomy. *J Refract Surg*, 1998;14:38-48.
9. 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.
10. CAMMELIN M, ARBA-MOSQUERA S. Simultaneous aspheric wavefront-guided transepithelial photorefractive keratectomy and phototherapeutic keratectomy to correct aberrations and refractive errors after corneal surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2010;36:1173-1180.
11. ARBA-MOSQUERA S, HOLLERBACH T. Ablation resolution in laser corneal refractive surgery: the dual fluence concept of the Amaris platform. *Advances in Optical Technologies*, 2010;538541:13pp.
12. VERMA S, HESSER J, ARBA-MOSQUERA S. Optimum laser beam characteristics for achieving smoother ablations in laser vision correction. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016;58:2021-2037.
13. SHAPIRA Y, MIMOUNI M, LEVARTOVSKY S *et al.* Comparison of three epithelial removal techniques in PRK: mechanical, alcohol-assisted, and transepithelial laser. *J Refract Surg*, 2015;31:760-766.
14. MROCHEN M, SEILER T. Influence of corneal curvature on calculation of ablation patterns used in photorefractive laser surgery. *J Refract Surg*, 2001;17:S584-S587.
15. SEILER T, WINCKLER K, WOLLENSAK J. Side effects in Excimer corneal surgery, Corneal thermal gradients. *Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol*, 1988;226:273-276.
16. BETNEY S, MORGAN PB, DOYLE SJ *et al.* Corneal temperature changes during photorefractive keratectomy. *Cornea*, 1997;1:158-161.
17. LEWIS MS, DEBIN MW, ANDAHL VA. The physical properties of bovine corneal collagen. *Exp Eye Res*, 1967;6:57-59.
18. KLYCE SD, JACOB JT. PRK and collagen denaturation. *Cornea*, 1997;16:598-599.
19. NIZUMA T, ITO S, HAYASHI M *et al.* Cooling the cornea to prevent side effects of photorefractive keratectomy. *J Refract Corneal Surg*;10:S262-S266.
20. MROCHEN M, WUELLNER C, ROSE K *et al.* Experimental setup to determine the pulse energies and radiant exposures for Excimer lasers with repetition rates ranging from 100 to 1050 Hz. *J Cataract Refract Surg*, 2009;35:1806-1814.
21. PURSLOW C, WOLFFSOHN JS. Ocular surface temperature, a review. *Eye Contact Lens*, 2005;31:117-123.
22. BRUNSMANN U, SAUER U, DRESSLER K *et al.* Minimisation of the thermal load of the ablation in high-speed laser corneal refractive surgery: the "intelligent thermal effect control" of the Amaris platform. *J Modern Optics*, 2010;57:466-479.
23. MROCHEN M, SCHELLING U, WUELLNER C *et al.* Effect of time sequences in scanning algorithms on the surface temperature during corneal laser surgery with high-repetition-rate Excimer laser. *J Cataract Refract Surg*, 2009;35:738-746.
24. KESSEL L, JOHNSON L, ARVIDSSON H *et al.* The relationship between body and ambient temperature and corneal temperature. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2010;51: 6593-6597.
25. DE ORTUETA D, MAGNAGO T, TRIEFENBACH N *et al.* In vivo measurements of thermal load during ablation in high-speed laser corneal refractive surgery. *J Refract Surg*, 2012;28:53-58.
26. DE ORTUETA D, MAGNAGO T, ARBA-MOSQUERA S. Thermodynamic measurement after cooling the cornea with intact epithelium and lid manipulation. *J Optom*, 2015;8:170-173.
27. BRUNSMANN U, SAUER U, ARBA-MOSQUERA S *et al.* Evaluation of thermal load during laser corneal refractive surgery using infrared thermography. *Infrared Physics & Technology*, 2010;53: 342-347.
28. DE ORTUETA D, ARBA-MOSQUERA S, MAGNAGO T. High-speed recording of thermal load during laser trans-epithelial corneal refractive surgery using a 750 Hz ablation system. *J Optom*, 2018;j.optom.2018.05.002.
29. ARBA-MOSQUERA S, AWWAD ST. Theoretical analyses of the refractive implications of transepithelial PRK ablations. *Br J Ophthalmol*, 2013; 97:905-911.
30. REINSTEIN DZ, ARCHER TJ, GOBBE M *et al.* Epithelial thickness in the normal cornea: three-dimensional display with Artemis very high-frequency digital ultrasound. *J Refract Surg*, 2008;24:571-581.
31. ABID-MOGHADDAM S, SOLEYMAN-JAHI S, MOGHADDAM AS *et al.* Efficacy and safety of transepithelial keratectomy. *J Cataract Refract Surg*, 2018;44:1267-1279.
32. KANELLOPOULOS AJ, ASIMELLIS G. In vivo three-dimensional corneal epithelium imaging in normal eyes by anterior-segment optical coherence tomography: a clinical reference study. *Cornea*, 2013;32:1493-1498.
33. JUN I, YONG KANG DS, ARBA-MOSQUERA S *et al.* Clinical outcomes of transepithelial photorefractive keratectomy according to epithelial thickness. *J Refract Surg*, 2018;34:533-540.
34. MROCHEN M, BUEELER M, DONITZKY C *et al.* Optical ray tracing for the calculation of optimized corneal ablation profiles in refractive treatment planning. *J Cataract Refract Surg*, 2008;24: S446-S451.

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



C. ALBOU-GANEM¹, B. AMELINE-CHALUMEAU¹, C. RIGAL-SASTOURNÉ², D. FERH²

¹ Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS,

² Orthoptiste, PARIS.

cati.ganem@wanadoo.fr

Évolution sur 3 mois de la réfraction, la sensibilité aux contrastes et la qualité de vision après Smile

Le Smile, pour *Small Incision Lenticule Extraction*, a été mis au point par Carl Zeiss Meditec avec Walter Sekundo. Il consiste à découper, au laser femtoseconde Visumax, un lenticule réfractif d'épaisseur et de design variable selon l'amétropie à corriger. Ce lenticule est ensuite clivé et détaché du plan stromal antérieur et postérieur puis retiré par une petite incision.

Cette technique a plus de 10 ans de recul, et plus d'1 million de procédures ont été réalisées par 1 300 chirurgiens, à ce jour, dans 700 centres de 65 pays. L'approbation FDA a été obtenue en 2016. On dénombre plus de 500 publications sur cette technique pour la correction des amétropies myopiques.

■ Matériel

Nous présentons une étude prospective réalisée à la Clinique de la Vision à Paris. 14 yeux de 7 patients ont été opérés d'une myopie associée à un astigmatisme. Les critères d'indication sont similaires à ceux du Lasik, en particulier sur le plan topographique et pachymétrique.

Les myopies s'échelonnent entre $-1,5$ et -8 D avec une moyenne à $-4,44 \pm 1,84$ D (**fig. 1**), l'astigmatisme entre $-0,75$ et $3,5$ D avec une moyenne à $-1,01 \pm 0,42$ D (**fig. 2**). L'équivalent sphérique moyen est de $-4,95 \pm 1,77$ D (**fig. 3**).

■ Méthode

Le Smile est réalisé le même jour pour les 2 yeux. Le lenticule est programmé avec un cap entre 120 et $140 \mu\text{m}$ selon la pachymétrie centrale et l'amétropie pour laisser un mur postérieur de $300 \mu\text{m}$ minimum avec une incision de 3 mm . Le

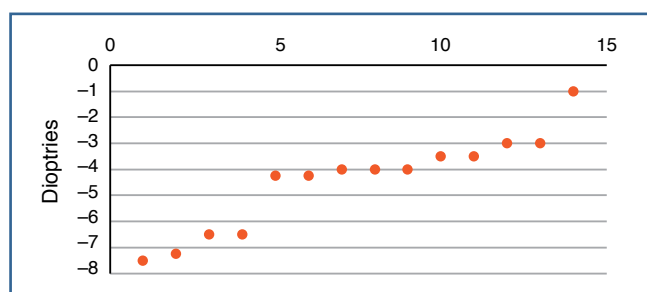


Fig. 1 : Sphère préopératoire.

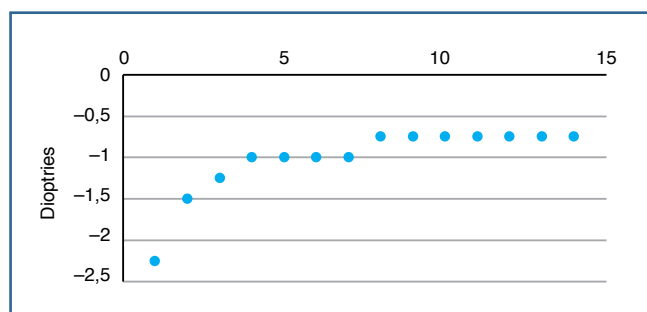


Fig. 2 : Cylindre préopératoire.

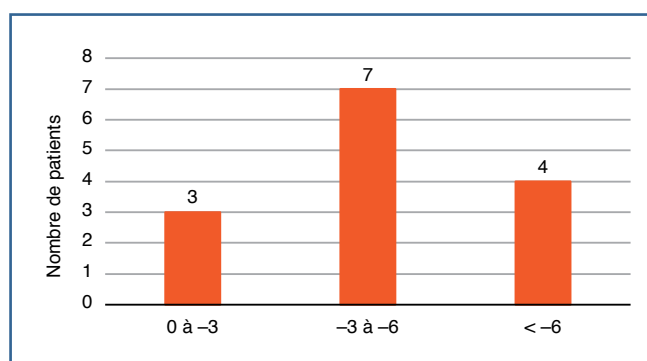


Fig. 3 : Équivalent sphérique préopératoire.

temps de traitement laser est identique quelle que soit l'amétropie à corriger, soit 1 min pour -1 à -10 D.

Les paramètres analysés sont les suivants :

- l'évolution de l'acuité visuelle à J+1, J+7, J+30, J+3 mois ;
- la sensibilité aux contrastes en conditions mésopiques sur le *Vector Vision Chart*, avec et sans éblouissement ;
- la qualité de vision avec le questionnaire RSVP (*Refractive Status and Vision Profile*) ;
- la sécheresse oculaire avec le questionnaire SQDES (*Short Questionnaire for Dry Eye Syndrome*).

■ Résultats

>>> Acuité visuelle

L'acuité visuelle sans correction (AVSC) en score LogMAR est mesurée à l'ETDRS (*Early Treatment Diabetic Retinopathy Study*) situé à 3 m en luminosité constante, contrôlée avec un photomètre positionné au niveau des yeux (luminance autour de 85 cd/m^2 et illuminance en lux en dessous de celle de la luminance). L'AVSC est mesurée avec une addition d'une sphère de $+0,25$ pour chaque œil, puis l'AVC (acuité visuelle corrigée) est mesurée.

Le calcul du score LogMAR est égal à l'addition :

- de la dernière ligne de lecture (même si 1 seule lettre est lue) ;
- et de la multiplication par $0,02$ du nombre de lettres non ou mal lues.

En préopératoire, si la lecture ETDRS est impossible à 4 m, l'échelle est avancée à 3 m et une sphère de $0,75$ D est ajoutée.

La réfraction est ensuite réalisée de la même manière sous cycloplégie.

L'acuité visuelle sans correction préopératoire est en moyenne à $0,857 \pm 0,181$ ($0,46-1,06$) score LogMAR. En postopératoire, elle est en moyenne de $-0,001 \pm 0,111$ ($-0,14, 0,2$) à J+1, de $-0,081 \pm 0,114$ ($-0,24, 0,26$) à J+7, $-0,157 \pm 0,063$ ($-0,28, -0,08$) à J+30 et de $-0,165 \pm 0,082$ ($-0,3, -0,02$) à 3 mois. L'AVSC est donc supérieure ou égale à 10/10 dès J+1 (*fig. 4*).

>>> Évolution de la réfraction (*fig. 5*)

La myopie moyenne est en préopératoire de $-4,44 \pm 1,84$ D et passe à 3 mois à $-0,02 \pm 0,22$ D.

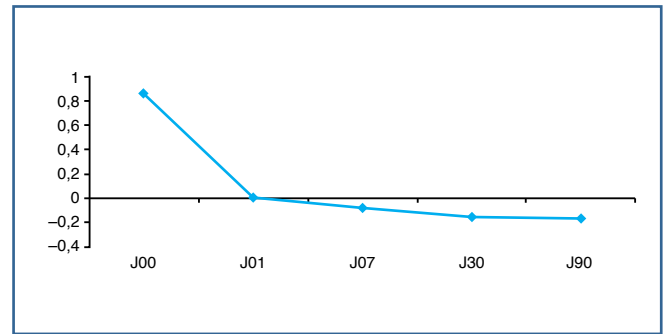


Fig. 4 : Acuité visuelle moyenne binoculaire sans correction en score LogMAR.

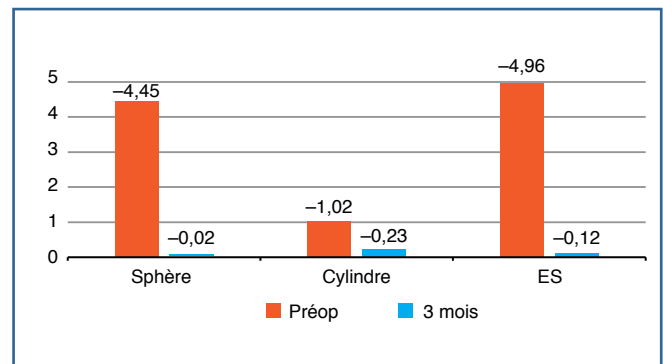


Fig. 5 : Évolution de la réfraction à 3 mois.

L'astigmatisme moyen est en préopératoire de $-1,01 \pm 0,42$ D et passe à 3 mois à $-0,23 \pm 0,16$ D.

L'équivalent sphérique moyen est en préopératoire de $-4,95 \pm 1,77$ D et passe à 3 mois à $-0,12 \pm 0,24$ D.

>>> Sensibilité aux contrastes sans correction

La sensibilité aux contrastes sans correction est mesurée au CSV-1000E & CSV1000-1.5 CPD *charts*. L'échelle est placée à 2,5 m du patient, qui est adapté à l'obscurité pendant minimum 10 min. Le test est réalisé avec des lunettes de contraste. La luminosité est contrôlée avec un photomètre positionné au niveau des yeux. La luminance doit être inférieure à 3 cd/m^2 , et l'illumination réfléchie sur une feuille blanche positionnée au niveau des yeux avec éblouissement doit être inférieure à $2,5 \text{ cd/m}^2$ (*fig. 6*).

Le patient indique s'il voit les stries sur les cibles du haut ou du bas, à droite ou à gauche en fonction des *charts*, sur les 2 *charts*, sans éblouissement puis avec éblouissement.

La sensibilité aux contrastes sans correction est nettement améliorée en postopératoire (*fig. 7*).

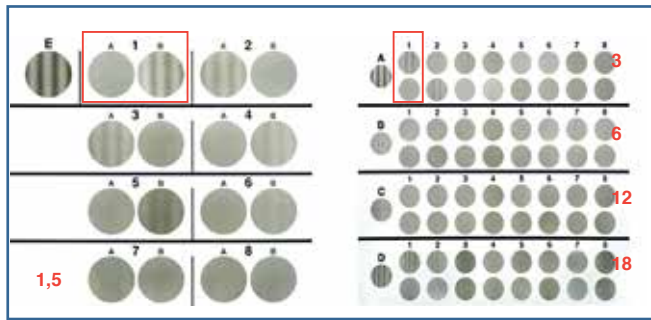


Fig. 6 : Sensibilité aux contrastes avec les CSV-1000E & CSV1000-1,5 CPD charts.

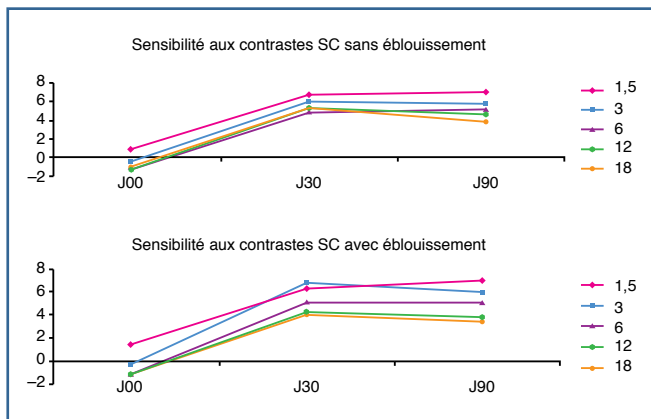


Fig. 7 : Évolution de la sensibilité aux contrastes à 3 mois.

>>> Qualité de vie

Elle est appréciée grâce au questionnaire RSVP (*Refractive Status and Vision Profile*) et notée sur 5 (0 : mauvaise qualité de vie et 5 : très bonne qualité de vie).

La note moyenne est de 1,14 en préopératoire. Elle passe à 4,85 à 1 mois et à 4,83 à 3 mois (fig. 8).

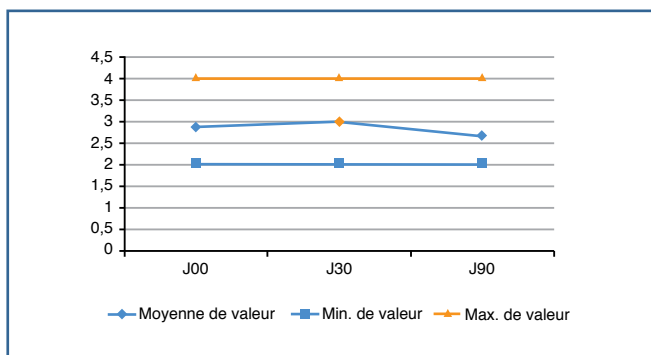


Fig. 8 : Évolution de la qualité de vie sur 3 mois, notée de 0 à 5 avec le questionnaire RSVP.

>>> Sécheresse oculaire

La sécheresse oculaire est recherchée à l'aide du questionnaire SQDES (*Short Questionnaire for Dry Eye Syndrom*). Elle est notée sur 8 (0 : pas de sécheresse et 8 : sécheresse élevée).

La sécheresse oculaire est en moyenne de 2,85 en préopératoire. Elle passe à 3 à 1 mois et à 2,66 à 3 mois, elle est donc moindre qu'en préopératoire.

■ Discussion

Nos résultats confirment la précision réfractive permettant une récupération fonctionnelle supérieure à 10/10 pour tous les yeux dès le 7^e jour, avec une amélioration de la sensibilité aux contrastes sans correction.

Aucun patient ne souffre d'une accentuation d'une sécheresse oculaire. Tous les patients notent une qualité de vie proche de 5/5.

■ Conclusion

Le Smile confirme la qualité et la rapidité de la récupération fonctionnelle sans sécheresse oculaire induite. Les patients rapportent une excellente qualité de vie postopératoire.

Pour en savoir plus

- ALBOU-GANEM C, LAVAUD A, AMAR R. SMILE Résultats pour la correction des amétropies myopiques. *J Fr Ophtalmol*, 2015;38:229-237.
- DENOYER A, LANDMAN E, TRINH L *et al.* Dry eye disease after refractive surgery: comparative outcomes of small incision lenticule extraction versus LASIK. *Ophthalmology*, 2015;122:669-676.
- KAMIYA K, SHIMIZU K, IGARASHI A *et al.* Visual and refractive outcomes of femtosecond lenticule extraction and small-incision lenticule extraction for myopia. *Am J Ophthalmol*, 2014;157:128-134.
- SHAH R, SHAH S, SENGUPTA S. Results of small incision lenticule extraction: All-in-one femtosecond laser refractive surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2011;37:127-137.

Cati Albou-Ganem a déclaré exercer des fonctions de consultante pour les laboratoires Zeiss et PhysiOL.

M. ASSAD¹, T. CHAZALON²¹ Service d'ophtalmologie, Centre hospitalier, LENS.² Institut Sourdille-Atlantique, NANTES.

myriamassad.ophta@gmail.com

tchazalon@gmail.com

Comment traiter l'astigmatisme avec le Visumax : astuces et résultats

La plateforme Visumax permet de réaliser la technique Smile (*Small Incision Lenticule Extraction*) qui consiste à découper un lenticule stromal réfractif sans créer de capot avec un seul laser, le laser femtoseconde. Plusieurs études ont montré que le Smile est efficace pour la correction des myopies associées à un faible astigmatisme [1, 2]. Cependant, très peu d'études concernent la correction des astigmatismes forts par cette technique et la plus grande série publiée est de 40 cas. Or les indications techniquement possibles du Smile sont une myopie jusqu'à 10 D et un astigmatisme jusqu'à 5 D.

Notre étude, effectuée en 2018, porte sur 164 cas réalisés par le même opérateur. Elle décrit une méthode simple et pratique de compensation manuelle de la cyclotorsion pendant la procédure Smile et rapporte des résultats réfractifs à 3 mois après un traitement par Smile sur des astigmatismes de 1,5 D et plus.

Corriger un astigmatisme est plus complexe que corriger une myopie car le chirurgien doit prendre en compte non seulement le centrage et la puissance, mais aussi l'axe de l'astigmatisme. Il est capital d'effectuer la correction laser avec précision dans le bon axe. Pour un cylindre de 3 D, une erreur d'axe de 4° entraîne une sous-correction de 14 %, 10° de 35 % [3]. Une erreur plus importante peut se traduire par une majoration de l'astigmatisme postopératoire résiduel.

Ainsi, toute malposition du patient ou cyclotorsion oculaire durant la procédure peut induire un changement dans le traitement de l'axe, donc une sous-correction de l'astigmatisme ou des aberrations optiques. Or la variation de la cyclotorsion entre position assise (pendant l'examen réfractif) et décubitus (sous le laser) est en moyenne de 3,7° (plus de 5° dans 38 % cas) [4]. De plus, le passage de la vision binoculaire à la vision monoculaire génère de la cyclotorsion.

La majorité des chirurgiens préfère la plateforme excimer pour corriger un astigmatisme de plus de 1,5 D. Celle-ci présente en effet une reconnaissance irienne qui permet d'objectiver et de compenser une cyclotorsion, ce que ne possède pas le Visumax.

■ Procédure Smile : astuce pour détecter et compenser la cyclotorsion

1. Alignement du réticule de l'oculaire du laser

>>> Principe

L'idée est d'utiliser les mires matérialisées sur l'écran vidéo comme axe horizontal de référence. Sur le lit, on aligne un repère rectiligne horizontal sur ces mires puis, dans l'oculaire qui contient le réticule, on aligne son axe horizontal sur le repère.

>>> Procédure (fig. 1)

2. Marquage de l'axe horizontal de l'œil (3 h-9 h, 0-180°)

À partir de 0,75 D pour certains, la procédure commence par le marquage de l'axe 3 h-9 h à la lampe à fente (fig. 2).

- Mettre la fente horizontale.
- Réaliser un marquage 3 h-9 h à environ 2 mm de chaque côté du reflet pupillaire avec un marqueur à pointe fine (fig. 3) permettant la transmission des rayons infrarouges afin de minimiser les blackspots (Viscot Surgical skin marker ou Arc Royal fine tip).

Si la première marque est plus haute ou plus basse que le reflet, cela n'a aucune importance : ce qui compte, c'est que



Fig. 1.

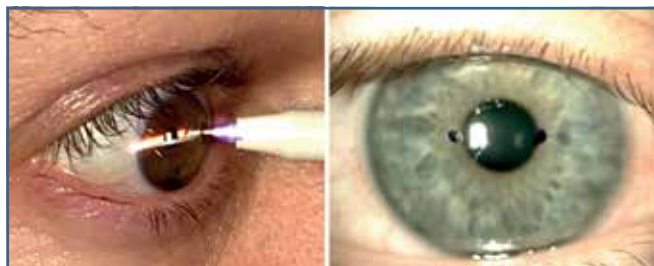


Fig. 2 : Photographie de marquage à la lampe à fente. La fente lumineuse positionnée horizontalement permet les marquages.



Fig. 3 : Marqueur à pointe fine permettant la transmission des rayons infrarouges afin de minimiser les blackspots (ArcRoyal fine tip).

la seconde marque soit sur l'horizontale qui est toujours sur la première marque.

Il est utile de se caler la main sur la lampe à fente ou la têtère, surtout pour la main non dominante.

Ces marques, faites patient assis les deux yeux ouverts, sont indispensables pour garder le contrôle de l'axe de référence jusqu'au moment de commencer le laser. Leur fiabilité a été démontrée en 2009 par Laurent Leininger et Thierry Chazalon en croisant le marquage à la lampe à fente avec un contrôle passif de la cyclotorsion sur une cinquantaine d'yeux. L'écart entre les deux types de repérage était inférieur à 3° dans 95 % des cas [5].

3. Contrôle et rotation peropératoire

Le patient est ensuite allongé sous le laser femtoseconde. Une malposition de la tête est corrigée de préférence en mobilisant les épaules.

Le patient qui s'installe par la gauche du lit a souvent, sous les oculaires, une légère rotation des globes dans le sens antihoraire. Le fait de lui tourner la tête vers la gauche pour effacer



Fig. 4 : Vérification de l'alignement du patient et pose du cône d'aplanation sur la cornée.

le nez avant de traiter l'œil droit déclenche une excyclorotation qui aggrave cette rotation antihoraire. Pour l'œil gauche, l'excyclorotation diminue la rotation antihoraire.

Sous le laser, lors du repérage initial du mode de fixation, on peut être amené à confirmer les marques avec un nouveau point de crayon. Un blépharostat est posé, éventuellement à vis selon les patients. Le cône d'aplanation est centré sur l'axe visuel pendant que le patient fixe un point vert clignotant (**fig. 4**). La tête laser est fixe, le patient est mobilisé avec un joystick pour positionner son œil au contact du cône. La succion est verrouillée une fois l'aplanation obtenue sur toute la surface du cône et le centrage assuré. Il s'agit du docking. Celui-ci persiste pendant toute la durée de la procédure.

Une cyclotorsion (incyclotorsion ou excyclotorsion) est détectée si les marquages ne sont pas parallèles à l'axe horizontal de la réticule. Une fois ce docking verrouillé, et seulement quand la succion est bien complétée, on peut compenser la cyclotorsion en tournant doucement entre deux doigts le cône (**fig. 5**). Cela entraîne une rotation de l'œil pour en aligner les points de repère avec l'axe horizontal du réticule, calé lui-même sur l'axe de référence du laser. C'est cette procédure

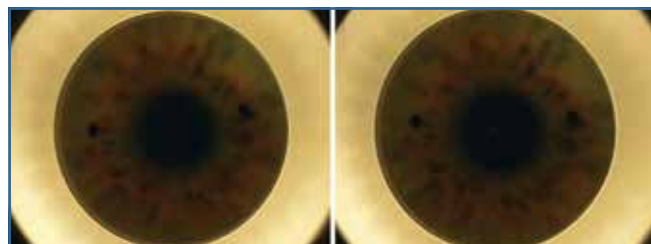


Fig. 5 : Compensation de la cyclotorsion par rotation du cône d'aplanation.



Fig. 6 : Cylindre de 3,5 D, face postérieure réfractive elliptique et antérieure neutre sphérique postérieure (pendant la progression centripète, antérieure pendant la progression centrifuge).

qui optimise le traitement sur le bon axe du cylindre, améliore les résultats et est particulièrement recommandée pour le traitement des astigmatismes élevés (**fig. 6**).

Une fois aligné, le laser procède à la création du lenticule réfractif.

4. Procédure laser

Elle se fait en quatre étapes.

- La première étape consiste à créer la partie postérieure du lenticule (*lenticule cut*) découpée de façon centripète, de 6,5 mm. C'est la face réfractive qui est donc ici elliptique du fait du cylindre.
- La deuxième étape vise à réaliser les bords du lenticule (*side cut*).
- La troisième étape consiste à découper la partie antérieure du lenticule (*cap cut*) de façon centrifuge, de 7,5 mm. Cette face est sphérique malgré l'astigmatisme, puisque non réfractive.
- La quatrième étape permet la découpe de l'incision.

Les paramètres du laser peuvent être modifiés par le chirurgien avant l'intervention. Un facteur correctif de 8 à 10 % est programmé dans les fortes amétropies sur la composante

sphérique et cylindrique de la réfraction afin d'éviter une sous-correction.

5. Extraction du lenticule

La dissection de la face antérieure, encore une fois, est facile. Les deux mini-blackspots créés par les marques sont peu gênants pour la dissection postérieure.

Cependant, sur un lenticule fin dont la face postérieure serait difficile à décoller, il ne faut pas essayer de faire lâcher l'adhérence sous la marque par un mouvement centripète quand la partie centrale n'a pas encore été délaminiée. On peut risquer une déchirure du lenticule sur le blackspot.

Le traitement local postopératoire comporte des corticoïdes en décroissance progressive, des antibiotiques pendant une semaine et des larmes artificielles.

■ Résultats

Notre étude concernait 164 yeux de patients myopes et astigmatiques. L'astigmatisme minimum des patients inclus était de 1,5 D et concernait 32 % des yeux, 21 % avaient un astigmatisme supérieur à 2,5 D et 2,4 % supérieur à 4 D (*tableau I et fig. 7*).

Paramètre	Moyenne $\pm$ DS	Écart
Âge (années)	31 $\pm$ 7	(20; 55)
Équivalent sphérique (D)	-5,36 $\pm$ 2,01	(-1,75; -9,88)
Sphère (D)	-4,36 $\pm$ 2,01	(-1; -9)
Cylindre (D)	-2,01 $\pm$ 0,67	(-1,5; -5)

Tableau I : Caractéristiques préopératoires des patients.

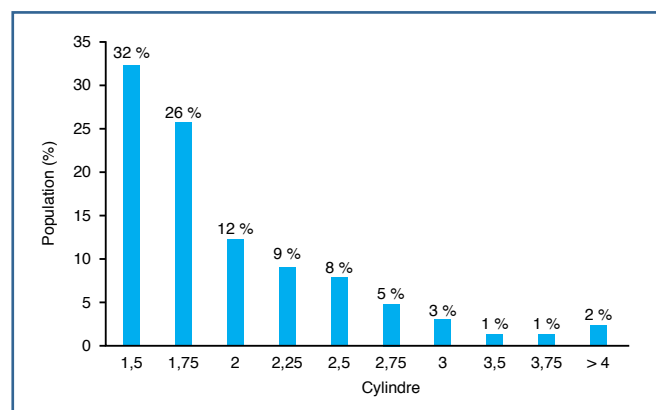


Fig. 7 : Répartition des cylindres préopératoires.

1. L'efficacité

Elle correspond au pourcentage d'yeux ayant atteint la réfraction cible.

À 3 mois, 77 % des yeux ont atteint la réfraction cible avec une AVNC supérieure ou égale à 10/10°. 91 % des yeux avaient une AVNC supérieure ou égale à 8/10° et 15 % une AVNC supérieure ou égale à 12/10° (*fig. 8*).

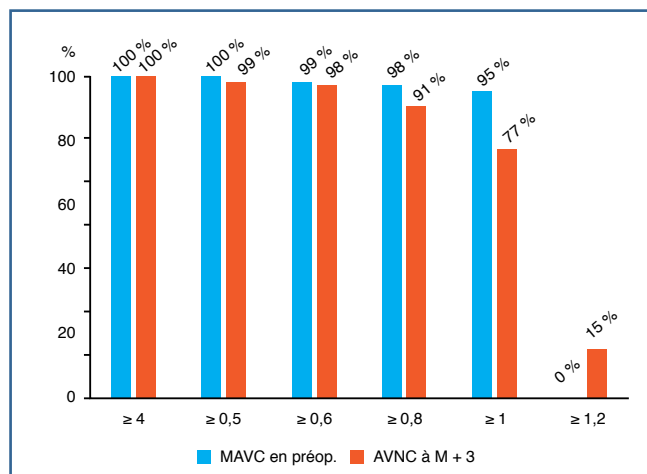


Fig. 8 : Comparaison de l'AV cumulée corrigée préopératoire et l'AV cumulée non corrigée à 3 mois.

2. La prédictibilité

Elle est définie par le pourcentage d'yeux ayant atteint la réfraction cible à $\pm 0,5$ D.

L'ES a réduit de $-5,36 \pm 2,01$ en préopératoire à $0,04 \pm 0,39$ à 3 mois.

87 % des yeux ont un ES à $\pm 0,5$ D de l'emmétropie à 3 mois, 98 % des yeux à ± 1 D (*fig. 9*).

Sur la courbe de régression linéaire entre la correction apportée réelle (en D) par rapport à celle attendue à 3 mois, nous avons noté 3 cas avec une surcorrection supérieure ou égale à 1 D, et un cas une sous-correction à 1 D (*fig. 10*).

Concernant l'astigmatisme, le cylindre moyen a réduit de $-2,01 \pm 0,67$ en préopératoire à $-0,3 \pm 0,39$ D à 3 mois. 82 % des yeux avaient un cylindre inférieur ou égal à 0,5 D à 3 mois (*fig. 11*).

D'après la régression linéaire concernant la correction de l'astigmatisme à 3 mois, 96,3 % des yeux sont à ± 1 D de

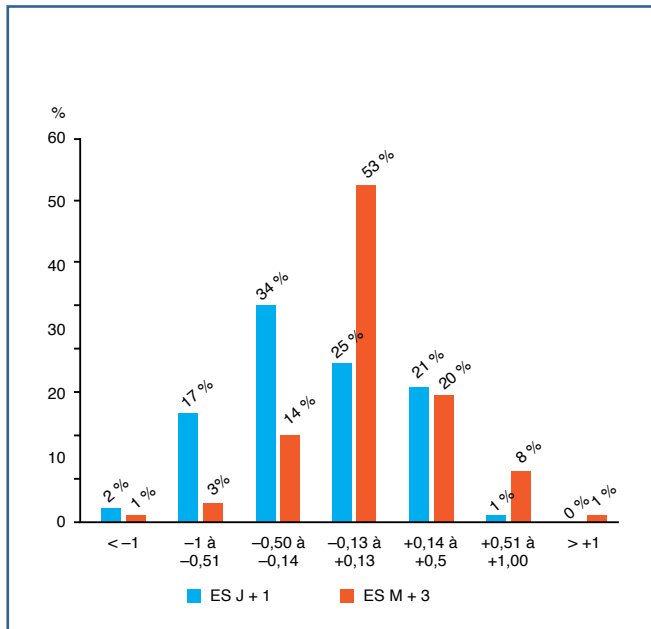


Fig. 9 : Prédicibilité en équivalent sphérique au lendemain de l'intervention et à 3 mois.

la correction de l'astigmatisme cible avec une tendance à une sous-correction (**fig. 12**). 3 % des yeux présentent une sous-correction supérieure ou égale à 1 D et concernent des astigmatismes supérieurs à 2,5 D. Seul un cas de sur-correction de plus de 1 D est noté.

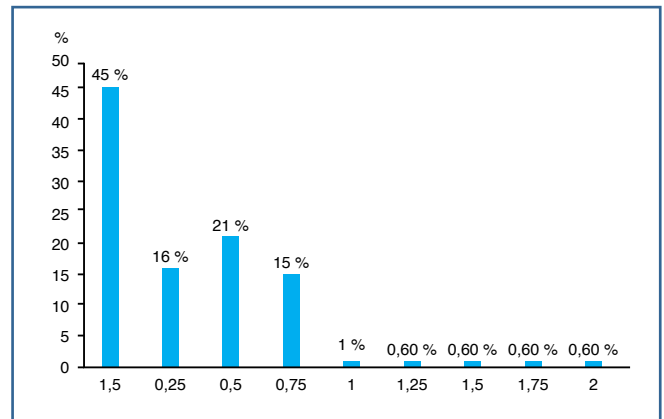


Fig. 11 : Répartition de l'astigmatisme à 3 mois.

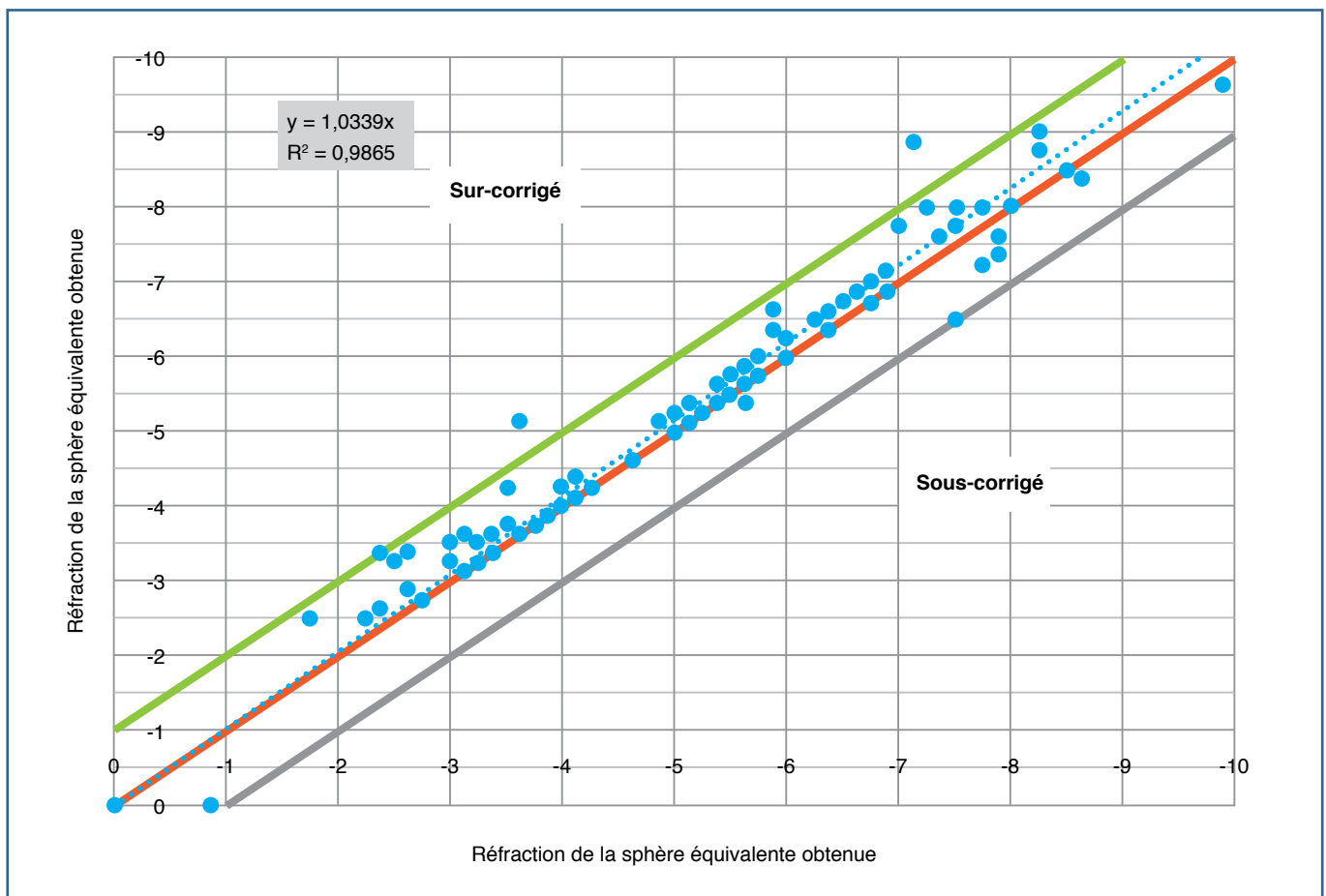


Fig. 10 : Régression linéaire en calculant la correction en termes d'équivalent sphérique cible à 3 mois en fonction de l'ES initial à corriger.

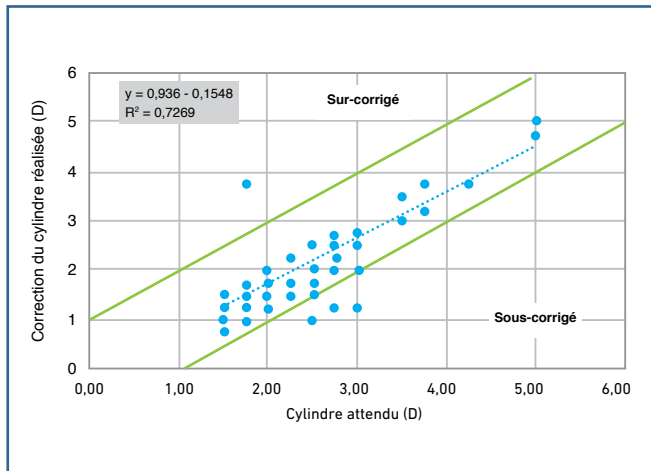


Fig. 12: Régression linéaire en calculant la correction en termes d'astigmatisme cible à 3 mois en fonction de l'astigmatisme initial à corriger.

3. La stabilité

Elle est définie par la variation de l'ES postopératoire moyen en fonction du temps. L'ES tend à s'emmétropiser entre J1 et M3, passant de -0,19 D à 0,04 D à 3 mois (fig. 13).

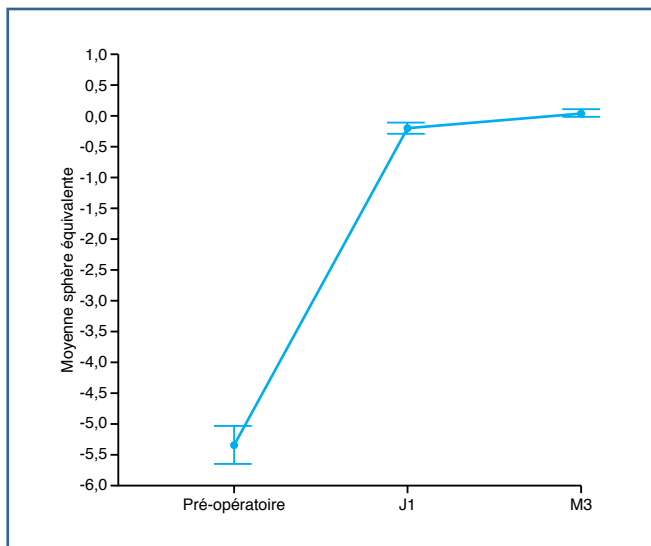


Fig. 13: Évolution de l'équivalent sphérique moyen du stade préopératoire au lendemain de l'opération puis à 3 mois.

4. La sécurité

L'indice de sécurité (IS) correspond au rapport entre la MAVC en postopératoire sur la MAVC en préopératoire. Il se traduit par un gain de lignes s'il est supérieur à 1, un recouvrement de l'intégrité visuelle s'il est égal à 1, ou une perte de lignes s'il est inférieur à 1.

À 3 mois, l'index de sécurité moyen est de 1 et 22 % des yeux ont gagné une ligne de plus, 4 % ont perdu 1 ligne et 73 % ont gardé la même acuité visuelle.

■ Conclusion

Nos résultats montrent une technique efficace et fiable avec un taux très faible de sous-correction de 3 %. Nos résultats sont comparables aux travaux de Ganesh *et al.*, seule étude qui propose une compensation manuelle de l'astigmatisme [6]. Ils obtiennent de très bons résultats avec un taux de sous-correction de 7 %. D'autres études ont suggéré qu'un

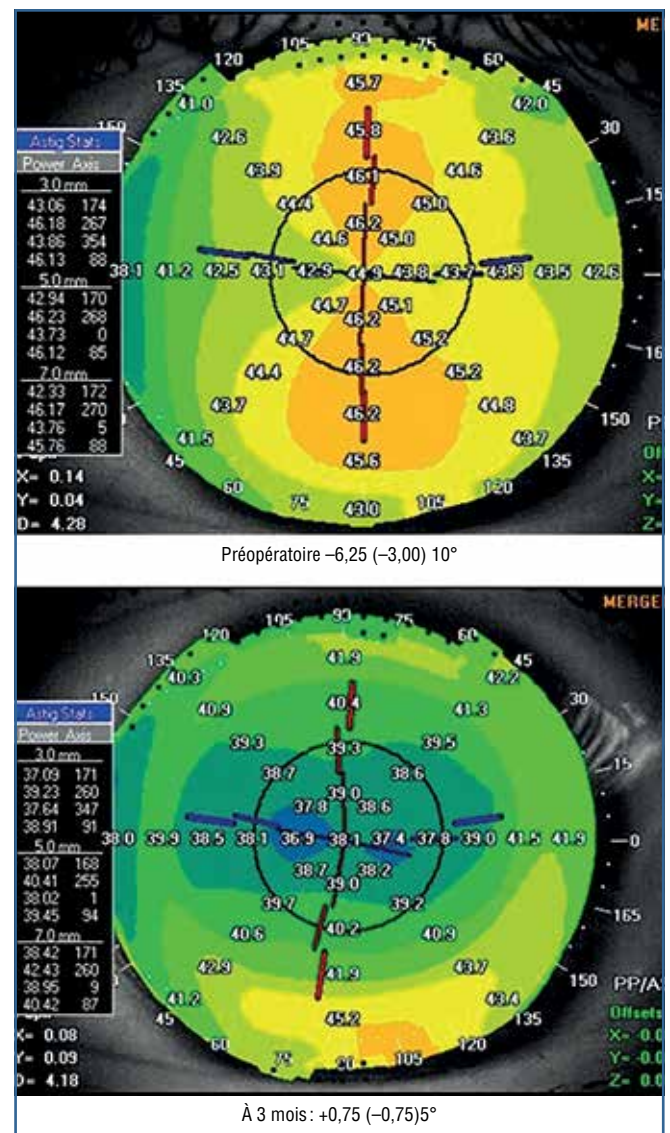


Fig. 14: Topographies préopératoires et à 3 mois postopératoires d'un astigmatisme de 3 D.

ajustement de 10 % est nécessaire afin de limiter la sous-correction [7, 8]. Enfin, les études qui ont comparé le Smile et le Lasik dans la correction des astigmatismes de plus de 2,5 D ont montré une sous-correction pour les 2 techniques et pas de différence significative en termes d'efficacité, de prédictibilité et de sécurité [9-11].

La technique de marquage est fiable et la compensation manuelle de la cyclotorsion est une méthode pratique, simple, efficace et reproductible. La rotation manuelle du globe, par l'intermédiaire du cône de succion, pour corriger une cyclotorsion, n'entraîne pas de perte de succion et les marquages préopératoires n'induisent pas de complications particulières. Si l'on préfère encore traiter les forts cylindres avec sphère faible ou nulle en excimer, cette méthode permet d'éviter les erreurs d'axe et d'élargir les indications du Smile pour les astigmatismes moyens associés aux myopies faibles, moyennes ou fortes et pour les astigmatismes forts associés à des myopies moyennes ou fortes (**fig. 14**).

Bibliographie

1. SHAH R, SHAH S, SENGUPTA S. Results of small incision lenticule extraction: All-in-one femtosecond laser refractive surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2011;37:127-137.
2. BURAZOVITCH J. La prédictibilité de la technique chirurgicale par Smile dans la correction de la myopie : étude rétrospective, sur 5 ans, à propos de 616 yeux. Université de Caen-Normandie, 2017.
3. HORI-KOMAI Y, SAKAI C, TODA I *et al*. Detection of cyclotorsional rotation during excimer laser ablation in LASIK. *J Refract Surg* (Thorofare NJ 1995), 2007;23:911-915.
4. ALPINS N. Astigmatism analysis by the Alpíns method. *J Cataract Refract Surg*, 2001;27:31-49.
5. LEININGER L, CHAZALON TH. Cyclotorsion et chirurgie réfractive. Communication orale, Ophtatlant, La Baule, juin 2009.
6. GANESH S, BRAR S, PAWAR A. Results of Intraoperative Manual Cyclotorsion Compensation for Myopic Astigmatism in Patients Undergoing Small Incision Lenticule Extraction (SMILE). *J Refract Surg* (Thorofare NJ 1995), 2017;33:506-512.
7. IVARSEN A, NÆSER K, HJORTDAL J. Laser in situ keratomileusis for high astigmatism in myopic and hyperopic eyes. *J Cataract Refract Surg*, 2013;39:74-80.
8. PEDERSEN IB, IVARSEN A, HJORTDAL J. Changes in Astigmatism, Densitometry, and Aberrations After SMILE for Low to High Myopic Astigmatism: A 12-Month Prospective Study. *J Refract Surg* (Thorofare NJ 1995), 2017;33:11-17.
9. IVARSEN A, ASP S, HJORTDAL J. Safety and complications of more than 1500 small-incision lenticule extraction procedures. *Ophthalmology*, 2014;121:822-828.
10. ZHANG J, WANG Y, CHEN X. Comparison of Moderate- to High-Astigmatism Corrections Using WaveFront-Guided Laser In Situ Keratomileusis and Small-Incision Lenticule Extraction. *Cornea*, 2016;35:523-530.
11. ALÍO JL, PLAZA-PUCHE AB, MARTINEZ LM *et al*. Laser in situ keratomileusis using optimized aspheric profiles and cyclotorsion control to treat compound myopic astigmatism with high cylinder. *J Cataract Refract Surg*, 2013;39:28-35.

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



T. THAN TRONG

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

Chirurgie réfractive par laser après orthokératologie

La myopie est érigée comme un problème de santé publique dans de nombreux pays asiatiques. Des campagnes nationales de prévention encouragent les activités à l'extérieur, à la lumière du jour. L'épidémie mondiale de myopie est plus marquée dans les pays asiatiques : 90 % des jeunes adultes chinois et jusqu'à 96,5 % à Séoul [1] en sont atteints. Les pays occidentaux ne sont pas épargnés : la prévalence de la myopie, qui est d'environ 30 % actuellement, a doublé en 50 ans. Il est estimé que la moitié de la population mondiale sera myope en 2050, avec une augmentation mécanique de son cortège de complications.

Les traitements optiques de la myopie sont les corrections par lunettes, lentilles et chirurgie, principalement cornéenne, par laser.

Les traitements proposés pour tenter de freiner la progression de la myopie sont les collyres antimuscariniques faiblement dosés, le port de lentilles bifocales et une exposition des yeux à la lumière du jour extérieure plus d'une heure par jour [2, 3]. Ce troisième élément est la découverte majeure des dix dernières années dans la prise en charge de la myopie, cela va à l'encontre de l'omniprésence des écrans dans nos sociétés contemporaines et de l'addiction à ces écrans des jeunes.

L'orthokératologie a une place particulière dans l'arsenal thérapeutique, car c'est à la fois un traitement optique de la myopie et un traitement qui freine sa progression. L'essor de l'orthokératologie, en tant que traitement de différentes amétropies et en tant que freinateur de la myopie, rend de plus en plus probable la rencontre de patients qui ont été traités par ce biais lorsque nous les voyons en consultation de chirurgie réfractive.

Le principe même de traitement des amétropies par l'orthokératologie rejoint celui de la chirurgie réfractive par laser, à savoir **un remodelage cornéen** pour refocaliser l'image sur

la rétine. En revanche, le remodelage est mécanique compressif et non ablatif, et, surtout, réversible. L'effet freinateur serait dû au bombement périphérique cornéen de la zone centrale d'aplatissement qui entraîne **un défocus myopique périphérique rétinien**, l'image étant en avant de la rétine. Cela semble être un signal dont l'effet est de ralentir la croissance de la longueur axiale [4].

L'intérêt de cet article est de déterminer si un patient qui a eu un traitement par orthokératologie doit être traité différemment d'un autre patient porteur ou non de lentilles traditionnelles, si le remodelage lié à l'orthokératologie induit des modifications réfractives, architectoniques et biologiques susceptibles de différer nos protocoles habituels lors d'une prise en charge d'un patient en vue d'une chirurgie réfractive.

■ Le traitement par orthokératologie

Ce traitement a été proposé dès les années 1960, un peu après le kératomileusis, puis a pris un essor au début des années 2000. Comme habituellement en ophtalmologie, l'amélioration technique et géométrique des matériaux, concernant notamment la physiologie de la cornée, l'amélioration de l'outil de diagnostic et de suivi de la cornée par les vidéotopographes modernes, l'engouement de quelques laboratoires fabriquant des lentilles, un nombre croissant d'articles réalisés dans le monde entier et l'existence de quelques contactologues zélés ont contribué à son acceptation progressive par la communauté de l'ophtalmologie.

>>> La problématique de **la géométrie** des lentilles d'orthokératologie pour traiter la myopie est de pouvoir aplatir le centre, d'éviter les excentrations en formant une zone annulaire plus serrée concentrique, d'avoir une zone optique de

taille raisonnable pour éviter les aberrations, et en périphérie de respecter la proclivité de la cornée.

La forme des lentilles est alors quadricourbe sans transitions à double inversion, avec une zone d'appui périphérique, utilisant des matériaux à haut DK qui permettent le port nocturne, donc avec un procédé industriel plus complexe que pour les lentilles plus traditionnelles. Le rayon central est très plat, suivi d'une zone de rayons très serrés à laquelle s'ajoute la zone d'appui périphérique, le tout se terminant par une zone de dégagement. Avec cette géométrie, le film lacrymal est distribué selon différentes épaisseurs entre la cornée et la lentille (**fig. 1**). Il est très mince au centre et augmente vers la périphérie moyenne. Cela crée des forces hydrostatiques qui agissent sur la cornée en réalisant une

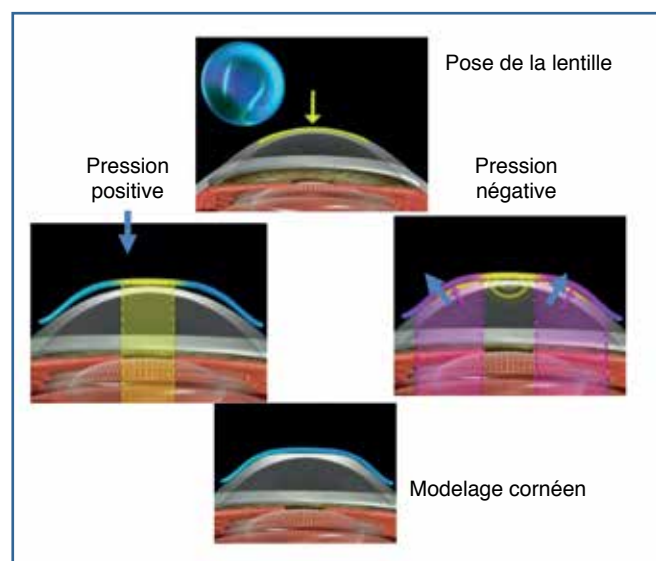


Fig. 1 : Forces hydrostatiques modelant la cornée.

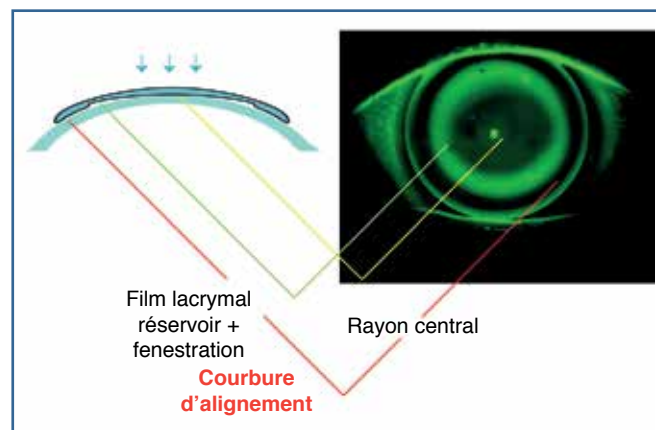


Fig. 2 : Forme géométrique de la lentille, appui cornéen et distribution du film lacrymal.

pression au centre et une traction en périphérie (**fig. 2**). Ce sont ces forces de pression et de traction qui remodelent la cornée. La cornée s'amincit au centre pour s'épaissir en zone périphérique.

>>> Les indications classiques actuelles se sont étendues avec le progrès des lentilles à géométries complexes. Les meilleurs candidats sont les petites et moyennes myopies de $-0,75$ à 4 dioptries, avec éventuellement associé un astigmatisme direct jusqu'à $1,50$ dioptrie pour les lentilles sans design torique, et jusqu'à 2 dioptries en direct et $1,50$ dioptrie en inverse pour les lentilles avec design torique. Toutefois, l'astigmatisme ne devra pas être supérieur à la sphère et être purement cornéen. L'excentricité cornéenne doit être égale ou supérieure à $0,50$ pour pouvoir permettre un aplatissement cornéen central. Des lentilles récentes permettent d'aller jusqu'à $-7,50$ dioptries et $+3,50$ dioptries, et $3,50$ dioptries de cylindre.

>>> Les mauvaises indications sont les fortes amétropies, les astigmatismes internes supérieurs à $0,75$ dioptries, les grands diamètres pupillaires, les rayons cornéens très plats avec faible excentricité. Les modes de vie avec conduite nocturne ou lecture assidue jusqu'à l'endormissement ne permettent pas un port nocturne de lentilles adéquat.

Du fait de la similitude entre le remodelage cornéen orthokératologique et par laser réfractif, certaines mauvaises indications se recoupent, sauf les astigmatismes internes qui sont accessibles par le laser réfractif. En revanche, toute myopie instable, tout jeune non majeur peut bénéficier de l'orthokératologie. L'orthokératologie peut être pratiquée à partir de 12 ans, voire plus tôt, d'autant plus que l'effet freinateur est souvent souhaité chez ces jeunes adolescents.

>>> L'adaptation se fait selon un protocole rigoureux avec de nombreux contrôles cliniques et topographiques qui fournissent des résultats progressifs sur une semaine ou plus. Le port nocturne doit être de 7 à 8 h. La commande de lentilles auprès des laboratoires s'effectue grâce aux examens cliniques et topographiques envoyés aux laboratoires. Ceux-ci choisissent la lentille et peuvent la modifier au cours des contrôles suivants.

■ Les modifications morphologiques cornéennes

L'épithélium présente un amincissement central moyen de 11 à $20 \mu\text{m}$ avec une légère augmentation de l'épaisseur en

moyenne périphérie. Pour les traitements hypermétropiques, on retrouve une augmentation de l'épaisseur de l'épithélium central et une augmentation progressive en moyenne périphérie.

Il existe au niveau du **stroma** un épaissement en moyenne périphérie en bordure de la zone centrale d'aplatissement, sous la zone réservoir. L'effet de pression centrale de l'orthokératologie entraîne une inhibition de l'œdème central nocturne.

Il ne semble pas y avoir de modification au niveau de la membrane de Bowman, ni au niveau de l'endothélium.

L'évolution à l'arrêt est rapide avec une régression de la myopie en 72 h, une récupération de l'épaisseur épithéliale et des rayons de courbure en une dizaine de jours.

On retrouve une surexpression de marqueurs biologiques dans les larmes, comme le facteur de croissance épidermique et la métalloprotéase matricielle 9 en proportion directe avec le degré de la myopie corrigée, suggérant que la compression et la déformation mécanique de la cornée sont les principales causes de la régulation inflammatoire [5]. Ces facteurs pourraient jouer un rôle dans la régression myopique et l'ectasie post-Lasik.

Cas clinique

Nous avons suivi depuis 1999 une patiente née en 1976. Lorsque nous l'avons rencontrée, elle avait -2,25 dioptries aux deux yeux et était équipée de lunettes et de lentilles souples mensuelles.

En 2008, une adaptation en orthokératologie a été effectuée alors que la myopie était montée à -2,75 dioptries aux deux yeux. Le modèle prescrit pour les deux yeux a été initialement :

– Techno-Lens : Ortho-K/Ro : 8,60/diamètre 14 : -2,75.

Au bout d'un an, en 2009, la prescription a changé :

– Techno-Lens Ortho-K 0,35/Ro 8,52/7,80/diamètre 10,80/-2,90 pour l'œil droit ;
– Techno-Lens Ortho-K 0,51/Ro 8,52/7,75/diamètre 10,80/-3,20 pour l'œil gauche.

En 2012, après un arrêt d'un mois du port des lentilles d'orthokératologie, les examens topographiques n'ont pas montré de signes de contre-indications au Lasik (**fig. 3**).

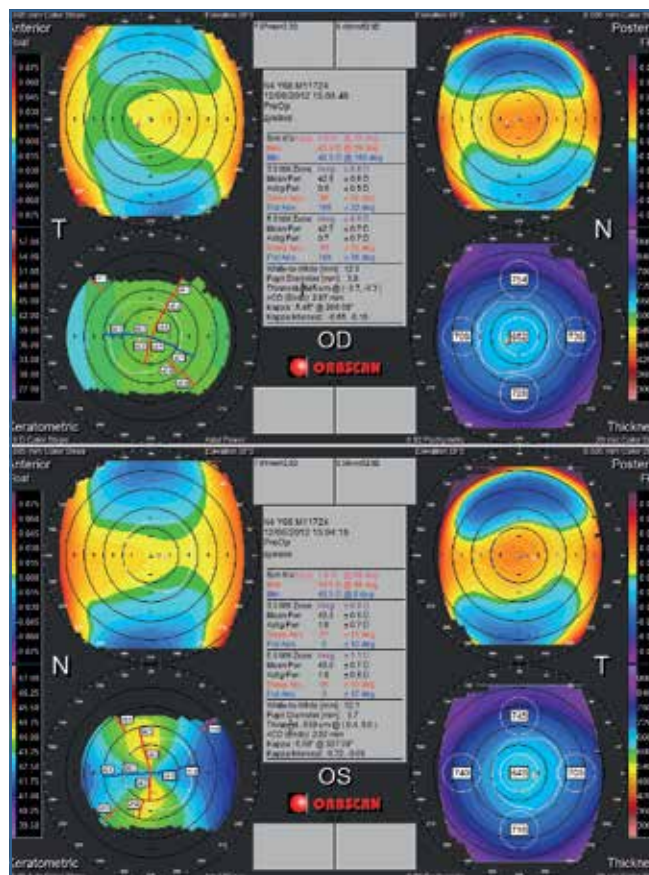


Fig. 3 : Topographies cornéennes après arrêt d'un mois de port de lentilles d'orthokératologie.

Le Lasik par laser femtoseconde Intralase et ablation par programme de traitement personnalisé avancé avec reconnaissance irienne sur un appareil Technolas a été effectué le 13 juin 2012 sans incident, avec un contrôle à 10/10 sans correction à chaque œil à un mois. La dernière consultation de suivi, le 4 juillet 2017, retrouve OD 10/10 aux deux yeux avec +0,25 (-0,75 à 175°) et OG (-0,75 à 180°). La patiente vit toujours sans correction 5 ans après la chirurgie. Elle réside au Mexique actuellement.

Discussion

L'histoire de la patiente est typique d'une jeune personne avec une myopie moyenne qui a d'abord été équipée en lentilles souples mensuelles, puis pendant 4 ans en lentilles d'orthokératologie, puis qui a eu un Lasik avec un suivi à 5 ans sans particularité. Avant les examens préopératoires, l'abstention du port des lentilles d'orthokératologie a été d'un mois, comme pour des lentilles rigides perméables à l'oxygène classique. Le nomogramme du laser n'a pas été modifié. Le suivi à 5 ans n'est en rien remarquable.

Peu d'études ont été publiées pour comparer le suivi d'opérés par Lasik après orthokératologie. Queiros a fait une étude rétrospective qui compare 8 patients ayant été opérés après avoir été équipés par orthokératologie (OK) pendant 3,6 années environ, et 8 patients ayant été opérés après avoir été équipés de lentilles souples mensuelles (LSH) depuis environ 3 ans [6]. Le suivi a été d'un an. Le groupe OK avait une myopie de $-2,61 \pm 1,16$ D. Le groupe LSH avait une myopie de $-3,33 \pm 1,35$ D. Les différences de pachymétrie, d'élévation antérieure et postérieure cornéenne, d'asphéricité entre les 2 groupes en pré- et post-Lasik n'ont pas été statistiquement significatives. Les auteurs de cette étude ont conclu que le port puis l'arrêt du port de lentilles d'orthokératologie jusqu'à stabilisation n'altéraient pas les résultats d'un Lasik à court et moyen terme par rapport à un porteur de lentilles souples. La réversibilité de l'orthokératologie s'étend donc aux résultats post-Lasik sur cette petite série.

■ Conclusion

Les résultats préliminaires de Lasik après orthokératologie à court et moyen terme montrent des résultats similaires pour les patients porteurs de lentilles souples. Des études

complémentaires avec un plus grand nombre de patients et sur plus long terme sont nécessaires pour confirmer l'absence de différence de résultats après Lasik entre un patient après orthokératologie et un patient après port de lentilles souples.

BIBLIOGRAPHIE

1. DOLGIN E. The Myopia boom. *Nature*, 2015;519:276-278.
2. SANCHEZ-TOCINO H, VILLANUEVA GOMEZ A, GORDON BOLANOS C *et al.* L'effet de la lumière et le temps passé dehors, à la lumière naturelle, dans la progression de la myopie chez les enfants. *J Fr Ophthalmol*, 2019;42:2-10.
3. LEO SW. Scientific Bureau of World Society of Paediatric Ophthalmology and Strabismus (WSPOS). Current approaches to myopia control. *Current Opinion Ophthalmol*, 2017;28:267-275.
4. SWARBRICK HA, ALHARBI A, WATT K *et al.* Myopia control during orthokeratology lens wear children using a novel study design. *Ophthalmology*, 2015;122:620-630.
5. GONZALEZ-PEREZ J, VILLA-COLLAR C, GONZALEZ-MEIJOME JM *et al.* Long-term changes in corneal structure and tear inflammatory mediators after orthokeratology and Lasik. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2012;53:5301-5311.
6. QUEIROS A, VILLA-COLLAR C, AMORIM-DE-SOUSA A *et al.* Corneal morphology and visual outcomes in Lasik patients after orthokeratology: A pilot study. *Cont Lens Anterior Eye*, 2018;41:507-512.

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

J.-L. FRAIMOUT¹, E. LAURENT²¹ Clinique de la Vision – Groupe Visya, MONTPELLIER.² Strabologue, Centre d'ophtalmologie du Lez, MONTFERRIER.

Strabisme et chirurgie réfractive au laser excimer en 2019

Le premier traitement du strabisme, et parfois le seul, est la mise en place de la correction optique. L'amélioration considérable des résultats réfractifs en Lasik hypermétropique, amétropie de loin la plus fréquente en cas de strabisme, permet de proposer un traitement par laser excimer de type femto Lasik, avec une très grande prédictibilité et un risque anatomique et réfractif (perte de ligne) extrêmement réduit.

De ce fait, la correction chirurgicale des anomalies réfractives s'est imposée aujourd'hui comme un traitement de premier plan. Il y a donc interaction et synergie évidente entre strabologie et chirurgie réfractive, synergie rendue encore plus facile grâce à la présence d'un strabologue et d'un chirurgien réfractif dans le même centre.

Mais une correction optique inadaptée peut être source d'une décompensation parfois irréversible du strabisme. L'irréversibilité est d'autant plus flagrante que la correction est obtenue chirurgicalement plutôt que par lunettes ou lentilles. Cela doit inciter à une grande vigilance au moment d'établir des indications et de choisir les protocoles.

C'est une erreur de contre-indiquer toute chirurgie réfractive lorsqu'il existe un strabisme (et de priver ainsi le patient d'une importante amélioration potentielle de son confort), dans la mesure où la plupart des auteurs s'accordent sur l'absence d'aggravation du strabisme avec cette chirurgie [1]. Cependant, c'est une erreur tout aussi grave que de ne pas prendre en compte l'existence d'un strabisme lors de la détermination de la "cible réfractive". Certaines précautions doivent être prises en cas de strabisme. Par exemple, prévenir le patient d'un risque de décompensation (même s'il est faible, lié aux complications de chirurgie réfractive),

commencer la chirurgie par l'œil directeur en cas de chirurgie en deux temps, rechercher l'emmétropie sur les deux yeux et surtout sur l'œil directeur. Un examen récent sous cycloplégique est indispensable afin d'évaluer la correction laser la plus complète possible.

La chirurgie réfractive englobe la chirurgie cornéenne (Lasik, PKR) et la chirurgie *ab interno* (extraction du cristallin clair, implant réfractif précristallinien...). Elle s'adresse essentiellement aux adultes même si quelques séries sur un petit nombre d'enfants sont publiées. La chirurgie réfractive chez l'enfant en général [2] et par laser en particulier [3] restent controversées. Les publications concernant le strabisme chez l'enfant sont confidentielles [4].

Notre communication repose sur l'étude de la littérature, illustrée par l'analyse des données de notre expérience de collaboration croisée de chirurgie réfractive et strabologique. Nous nous limitons ici à la chirurgie réfractive cornéenne par laser chez l'adulte ou le grand adolescent, associée à un strabisme traité chirurgicalement ou non.

■ Notre série

41 patients : 15 hommes et 26 femmes.

Tous les patients sont strabiques et ont bénéficié d'une chirurgie réfractive.

15 patients ont subi une chirurgie du strabisme en un ou plusieurs temps, avant ou après la chirurgie réfractive.

100 % ont eu un avis et une prise en charge strabologique et réfractive préalables au laser.

L'effectif de notre série est modeste (comme la plupart des séries de la littérature), mais le recul sur la prise en charge est important avec une durée de 1 à 180 mois et une moyenne de 90 mois.

Globalement, notre série donne des résultats très satisfaisants dans 83 % des cas. Il faut noter que certains patients "à problème" ont été pris en charge au stade des complications et, à ce titre, ont été inclus parmi les patients non satisfaits, ce qui induit un biais de recrutement. Les causes d'insatisfactions sont d'ordre réfractives (sur- ou sous-correction) et/ou strabologiques (diplopie induite, angle résiduel).

1. Caractéristiques strabologiques

Il s'agit principalement d'ésotropies (34 patients) avec une part accommodative variable: du strabisme accommodatif pur à vision binoculaire normale au strabisme partiellement accommodatif. La composante accommodative est parfois très importante (ésotropie accommodative sur microstrabisme) ou plus discrète.

Les strabismes divergents sont plus rares (5 cas): exophorie-tropie décompensée, exotropie primitive ou consécutive. Les strabismes horizontaux ont fréquemment une composante verticale associée, cependant il n'y a pas dans notre série de cycloverticalité primitive type parésie congénitale du IV.

La consultation est motivée par le désir de se débarrasser soit de la correction optique, soit du strabisme, et souvent des deux ! La demande d'un avis strabologique ou, au contraire, l'aiguillage vers une chirurgie réfractive alors que la demande était primitivement strabologique ont été appréciés par les patients, voire considérés comme positifs et rassurants.

L'âge moyen au moment de la première chirurgie du strabisme est difficile à estimer (les patients ont souvent été opérés dans l'enfance).

2. Caractéristiques réfractives

- Hypermétropie pure dans 8,09 % des cas.
- Hypermétropie associée à un astigmatisme dans 77 % des cas.
- Myopie pure dans 1 cas.
- Myopie associée à un astigmatisme dans 13,5 % des cas.

- Aucun traitement pour astigmatisme pur dans cette série.
- L'âge moyen au moment de la chirurgie réfractive est de 28,68 ans (de 16,5 à 51 ans).
- Retouches: 4 yeux retouchés, dont 2 pour sur-correction après traitement d'une hypermétropie forte.
- Type de découpe cornéenne: femtoseconde dans 91,90 % des cas (grande majorité des cas de la série traités depuis 2010).
- PKR: 2,69 % (2 yeux, petite myopie + astigmatisme).
- 4 yeux (2 patients) ont eu une découpe mécanique (micro-kératome Moria type Carriazo-Barraquer, avant 2005).
- Laser femtoseconde: Intralase IFS60 (2007) puis IFS 150 (2012): 87,9 %, Visumax (2012) 12,1 % des découpes.
- Type d'excimer utilisé:
 - Technolas PV Z217: 35,1 %;
 - Technolas 317 P Teneo 2: 10 patients 24,39 % depuis avril 2018 seulement, tous en mode Proscan asphérique (depuis avril 2017, 100 % des cas ont été traités sur cette plateforme IFS150-Teneo 2);
 - Zeiss MEL-80: 30,24 %;
 - Nidek EC-5000: 2 yeux avant 2005.
- Critères d'exclusion à la photokératectomie ablative: ceux de la chirurgie femto Lasik en général (pachymétrie, topographique...) et, concernant l'hypermétropie, une kératométrie antérieure postopératoire estimée de plus de 49 ou 50 dioptries. Nous nous limitons à une correction maximale de +5 D à +6 D en fonction de la kératométrie préopératoire, du fait d'un risque plus important d'effets indésirables.

Pour nous, chez les patients par ailleurs presbytes, la présence d'un strabisme ou d'un microstrabisme contre-indique absolument les protocoles PresbyLasik.

■ Le laser comme traitement du strabisme accommodatif

Depuis le début des années 2000, PKR et Lasik ont été proposés comme traitement de l'ésotropie accommodative [5, 6]. La grande majorité des séries réalisées entre 2003 [7] et 2014 [8] rapportent d'excellents résultats dans cette indication, hormis

la note discordante introduite par Stidham [9] qui ne retrouve pas d'amélioration de l'angle d'ésotropie chez 42 % des patients traités par Lasik avec succès.

1. Ésotropie accommodative pure

On entend par strabisme accommodatif pur un strabisme à vision binoculaire normale totalement corrigé par la correction optique totale, et sans excès de convergence accommodative associé.

C'est la meilleure indication dans le sens où l'on peut espérer une disparition du strabisme grâce à la seule chirurgie réfractive [10, 11]. Ce résultat n'est possible qu'à condition que l'emmétropie bilatérale soit obtenue, il nécessite une hypermétropie modérée à moyenne [12].

Nous avons traité 3 cas, dont 2 avec succès réfractif (patients 27 et 31) sans nécessité de chirurgie du strabisme ultérieure. L'un d'entre eux devra avoir une retouche réfractive et/ou strabologique (patient 17).

Pour les cas avec forte hypermétropie (supérieure à 5 D) les résultats semblent plus aléatoires. Dans notre série, un cas a obtenu un excellent résultat (patient 27).

2. Ésotropie partiellement accommodative

La chirurgie réfractive permet de traiter la part accommodative du strabisme avec la même efficacité que les lunettes ou les lentilles [13, 14]. Une chirurgie du strabisme portant sur la part non accommodative du strabisme et l'incomitance lointaine complète le traitement. Il nous semble plus logique de réaliser la séquence thérapeutique dans cet ordre.

Il s'agit d'une catégorie un peu "fourre-tout" car rares sont les ésotropies sans composante accommodative. On y trouve des strabismes normo-sensoriels avec hypermétropie, chez qui l'association chirurgie réfractive et strabologique doit tendre vers une guérison totale, comme pour les accommodatifs purs. Cependant, ce ne sont pas forcément des strabismes "faciles". Un cas dans notre série a nécessité trois interventions sur le strabisme (patient 26): deux auparavant, une après la chirurgie réfractive !

Il faut se méfier des ésophorie-tropies chez les myopes, qui peuvent décompenser après une chirurgie réfractive, nécessitant une chirurgie du strabisme secondairement (patient 8). C'est encore plus vrai quand il y a hypermétropisation,

même légère (patient 8), nécessitant une reprise réfractive voire une chirurgie du strabisme (cas d'une patiente opérée par Lasik hors de notre centre 2 ans auparavant), porteuse d'une sur-correction avec +0,75 ODG post-Lasik myopique. La décompensation est progressive et souvent tardive (de 1 à 3 ans).

Le strabisme accommodatif sur micro-ésotropie primitive, associée à des hypermétropies, est une bonne indication de chirurgie réfractive à condition de respecter certaines règles : chirurgie simultanée sur les 2 yeux ou bien commencer par l'œil directeur, pas de PresbyLasik (patients 11, 14, 19, 20, 21, 24). Ils représentent 6 patients dans notre série. Deux ont bénéficié d'une chirurgie du strabisme pour incomitance lointaine plusieurs années avant la chirurgie réfractive.

Pour les ésotropies à grand angle, souvent associées à des hypermétropies, la chirurgie réfractive et la chirurgie du strabisme doivent être combinées. Dans ces cas, la chirurgie strabique est souvent réalisée dans l'enfance et porte sur l'angle avec correction optique totale, la chirurgie réfractive est faite à l'âge adulte. L'angle corrigé par la réfractive est de même valeur que celui qui est corrigé par les lunettes (5 cas, patients 5, 12, 13, 18, 28).

Plusieurs équipes [4, 6, 9] insistent sur le fait que, malgré l'absence de correction totale de l'hypermétropie (patient 19) ou de la presbytie (patient 2, 3), l'angle strabique est souvent nettement diminué par la chirurgie réfractive, rendant le patient moins dépendant de sa correction optique (ce qui est parfois le seul but recherché). Une légère sous-correction de l'hypermétropie peut même être bénéfique en cas d'exotropie consécutive à petit angle (patient 21).

3. Strabisme non accommodatif

Le strabisme est associé à une anomalie réfractive, mais la correction optique a peu ou pas d'impact sur elle.

Lorsqu'il s'agit d'une microtropie primitive, seule la chirurgie réfractive est utile. Dans nos 2 cas, la réfractive n'a pas décompensé le microstrabisme (patients 6, 23).

Dans les autres cas, chirurgie du strabisme et chirurgie réfractive doivent être combinées pour obtenir une microtropie secondaire. Le strabisme peut être initialement convergent (patient 5, 15, 16) ou divergent. Si les patients n'ont pas été opérés du strabisme dans l'enfance, il est logique d'effectuer la chirurgie réfractive avant (patients 1, 9, 25).

4. Exotropie hypo-accommodative et laser

Les exotropies ou les exophories-tropies plus marquées de près, associées à une insuffisance de convergence chez le myope, sont souvent bien améliorées par la chirurgie réfractive. Deux cas dans la série ont de bons résultats (patients 29, 30).

■ La chirurgie réfractive au laser comme cause de décompensation du strabisme

La prévalence du strabisme après chirurgie réfractive est faible: 0,12 % pour Mme Gomez de Liano-Sánchez [15]. Pour elle, l'existence d'une dysbinocularité sous-jacente est quasi-obligatoire.

La chirurgie réfractive altère souvent, au moins temporairement, la qualité de la vision binoculaire par le biais d'une d'aniséiconie induite, d'une baisse de la meilleure acuité (MAVC), d'une modification de la dominance.

La décompensation peut se manifester par une déviation (horizontale, verticale, oblique), par une diplopie, par une asthénopie de fixation. Elle peut apparaître immédiatement après la chirurgie réfractive ou après quelques mois, voire plusieurs années.

Nous n'avons aucun cas de strabisme révélé par la chirurgie réfractive dans notre série.

1. Les facteurs réfractifs de la décompensation

Ce sont :

- une hypermétropie résiduelle ou une myopie sur-correctée ;
- une aniséiconie induite ;
- une inversion de dominance ;
- des opacités cornéennes.

De manière plus générale, chez un patient présentant un strabisme latent ou un microstrabisme primaire ou secondaire, le choix d'une mauvaise cible réfractive ou une erreur de correction peut conduire à la décompensation du strabisme.

2. Les terrains à risque

Il faut se méfier du microstrabisme, des phories, des anisométries fortes et des amblyopies profondes des presbytes, surtout si les capacités fusionnelles sont faibles, et des myopes forts.

Tout candidat à la chirurgie réfractive doit bénéficier d'une étude suffisante de sa vision binoculaire dans le bilan préopératoire (test de Lang ou TNO, CTA...). Toute anomalie ou suspicion d'anomalie doit entraîner un bilan strabologique préopératoire plus approfondi afin d'éviter des déconvenues en post-laser.

La psychologie et les attentes du patient sont des facteurs décisionnels fondamentaux. Certains amétropes strabiques pensent que la correction au laser de leur problème réfractif va régler définitivement tous leurs problèmes visuels, y compris strabiques. Ce ne sont pas de bons candidats à la chirurgie réfractive.

La coopération entre chirurgien réfractif et strabologue peut être ici décisive.

3. Ésotropie accommodative résiduelle ou induite

L'ésotropie accommodative résiduelle (ou régression de la correction hypermétropique) n'est une complication que si le patient n'est pas informé de la nécessité d'une correction optique post-laser en cas d'hypermétropie importante. Ce peut être un choix assumé pour un patient pour qui un port de correction optique de presbytie post-laser (patients 2, 3) n'est pas un problème, ou pour un patient qui souhaite pouvoir se passer de correction lors de certaines activités (sportives, par exemple).

Inversement, une hypermétropie résiduelle peu importante peut être source de problèmes. Nous avons pris en charge une patiente (patiente 17) qui présente une hypermétropie résiduelle de +0,75 D (initialement +2,75) et un strabisme accommodatif. Devant son refus de porter une correction de l'hypermétropie résiduelle, une reprise réfractive et/ou strabologique est nécessaire. Le problème est encore plus difficile si le patient ésotrope ne peut subir une retouche (patient 15).

Problème également chez le myope surcorrecté et ésophorique qui décompense un strabisme convergent (patient 10). Nous avons le cas d'une patiente (patiente 5) de 23 ans, myope de -3,5 et ésotrope, qui ne portait pas sa correction en vision de près. Légèrement sous-correctée (-1,25), elle considère son acuité comme suffisante pour ne pas porter de correction, mais elle est gênée car l'angle de son strabisme a augmenté en vision de près. La décision thérapeutique est ici difficile : faut-il effectuer une retouche sur la myopie puis opérer le strabisme, ou bien opérer l'incomitance loin-près basée sur l'angle sans correction, au risque de créer une exotropie de près lors de la mise en place de la correction de la presbytie ?

4. Changement de dominance

Certains patients neutralisent lorsqu'ils fixent avec l'œil dominant, mais voient double lorsqu'ils fixent avec l'œil dominé. Si la chirurgie réfractive induit un changement d'œil directeur, la diplopie est inévitable. Elle disparaît lorsque la situation antérieure est rétablie par lunettes, lentilles ou retouche réfractive [16]. Un cas dans notre série (patiente 4).

5. PresbyLasik et monovision

Les techniques de PresbyLasik, comme toutes les techniques de monovision, amènent à faire regarder avec un œil de loin et l'autre de près.

>>> Chez le sujet normal

L'anisométrie induite par la monovision conduit à une altération des fonctions binoculaires [17], surtout la fusion fovéolaire. Elle peut même aboutir à un syndrome de monofixation (scotome fovéolaire absolu de l'œil non fixateur) avec perte de la fusion centrale et de la stéré-acuité fine.

La qualité de la vision binoculaire n'est pas immuable, elle se dégrade avec l'âge mais aussi avec une anisométrie induite, surtout à partir de 1,5 dioptrie.

Un bilan orthoptique de vision binoculaire nous semble donc indispensable en cas de PresbyLasik.

>>> Décompensation de phorie

L'altération de la fusion par une chirurgie réfractive dissociante peut mener à la décompensation d'une phorie horizontale ou verticale maintenue latente jusqu'à la décompensation d'un (micro) strabisme. On peut évoquer un mécanisme similaire lors d'une PKR bilatérale en 2 temps.

La décompensation peut être rapide ou se produire lentement, sur plusieurs années. Elle peut être réversible, avec le rétablissement de la binocularité, ou définitive.

>>> Diplopie induite

Chez certains strabiques avec forte dominance, il y a diplopie lorsque l'œil dominé prend la fixation. Dans ce cas, la monovision induit forcément une diplopie – diplopie de loin ou de près lorsque l'œil dominé prend la fixation. Le rétablissement de la binocularité antérieure corrige

immédiatement le problème. On peut évoquer ce mécanisme lors d'une PKR bilatérale en 2 temps si l'œil dominé est opéré en premier [16].

En cas de diplopie sans bascule de fixation, donc présente quel que soit l'œil fixateur, la situation est plus délicate. Il peut s'agir d'un patient avec un strabisme intermittent ou une phorie avec une fusion faible dégradée par la monovision. Il peut s'agir aussi d'un strabisme paralytique ou avec une incomitance suivant l'œil fixateur, la déviation secondaire entraîne une diplopie car au-delà des capacités de fusion – parésie congénitale du IV, par exemple [18]. La suppression de la monovision est souvent insuffisante pour corriger le problème, un traitement strabologique long et parfois difficile doit être entrepris (correction optique, prismes, rééducation orthoptique, chirurgie...) [19].

La décompensation du strabisme peut survenir au bout de quelques mois mais aussi de quelques années ! Un test préopératoire avec des lentilles peut être réalisé, mais ce n'est pas une garantie absolue.

■ Conclusion

La correction optique est le premier et principal moyen de traitement de beaucoup de strabismes. À ce titre, la chirurgie réfractive a toute sa place dans la prise en charge du strabisme. L'efficacité du laser bien conduit est la même que celle des lunettes ou des lentilles.

Le cahier des charges est simple : correction optique totale de loin et de près, mais elle requiert une très grande précision. Le strabisme ne supporte pas l'"à peu près réfractif", au risque de décompenser.

Certaines erreurs de base peuvent facilement être évitées par un bilan orthoptique standard. Pas de PresbyLasik chez le strabique, chirurgie binoculaire ou latence courte entre les deux yeux en commençant toujours par l'œil directeur.

Dans des cas plus complexes (chirurgies du strabisme antérieures multiples, impossibilité de correction totale de la réfraction au laser) ou lorsque les 2 types de procédures (réfractive et oculomusculaire) doivent être combinées, une coopération entre strabologue et chirurgien réfractif est une sécurité, pour les opérateurs comme pour le patient. Le traitement réfractif est logiquement le plus souvent réalisé en premier, mais ce n'est pas une obligation.

Dans notre expérience, la collaboration strabologue-réfractologue est à l'évidence un apport considérable pour nos patients – patients dont le pourcentage de “ça m’a changé la vie” (souvent des jeunes), exprimés par eux-mêmes ou la famille, est certainement le plus important.

Bibliographie

1. GODTS D, TRAU R, TASSIGNON MJ. Effect of refractive surgery on binocular vision and ocular alignment in patients. *Br J Ophthalmol*, 2006;90:1410-1413.
2. DAUD YJ, HUTCHINSON A, WALLACE DK *et al*. Refractive surgery in children: treatment options, outcomes, and controversies. *Am J Ophthalmol*, 2009;147:573-582.
3. TYCHSEN L, PACKWOOD E, BERDY G. Correction of large amblyopiogenic refractive errors in children using the excimer laser. *J AAPOS*, 2005;9:224-233.
4. PHILLIPS CB, PRAGER TC, MCCLELLAN G *et al*. Laser *in situ* keratomileusis for high hyperopia in awake, autofixating pediatric and adolescent patients with fully or partially accommodative esotropia. *J Cataract Refract Surg*, 2004;30:2124-2129.
5. BILGIHAN K, AKATA F, OR M, HASANREISOĞLU B. Photorefractive keratectomy in refractive accommodative esotropia. *Eye (Lond)*, 1997;11:409-410.
6. HOYOS JE, CIGALES M, HOYOS-CHACON *et al*. Hyperopic laser *in situ* keratomileusis for refractive accommodative esotropia. *J Cataract Refract Surg*, 2003;29:889-894.
7. NUCCI P, SERAFINO M, HUTCHINSON AK. Photorefractive keratectomy for the treatment of purely refractive accommodative. *J Cataract Refract Surg*, 2003;29:889-894.
8. MAGLI A, FORTE R, GALLO F *et al*. Refractive surgery for accommodative esotropia: 5-year follow-up. *J Refract Surg*, 2014;30:116-120.
9. STIDHAM DB, BORISSOVA O, BORISSOV V *et al*. Effect of hyperopic laser *in situ* keratomileusis on ocular alignment and stereopsis in patients with accommodative esotropia. *Ophthalmology*, 2002;109:1148-1153.
10. PACELLA E, ABDOLRAHIMZADEH S, MOLLO R *et al*. Photorefractive keratectomy in the management of refractive accommodative. *J Cataract Refract Surg*, 2009;35:1873-1877.
11. SABETTI L, SPADEA L, D'ALESSANDRI L *et al*. Photorefractive keratectomy and laser *in situ* keratomileusis in refractive. *J Cataract Refract Surg*, 2005;31:1899-1903.
12. HUTCHINSON AK, SERAFINO M, NUCCI P. Photorefractive keratectomy for the treatment of purely refractive accommodative. *Br J Ophthalmol*, 2010;94:236-240.
13. NUCCI P, SERAFINO M, HUTCHINSON AK. Photorefractive keratectomy followed by strabismus surgery for the treatment of the treatment of partly accommodative esotropia. *J AAPOS*, 2004;8:555-559.
14. BRUGNOLI DE PAGANO OM, PAGANO GL. Laser *in situ* keratomileusis for the treatment of refractive accommodative. *Ophthalmology*, 2012;119:159-163.
15. GÓMEZ DE LIAÑO-SÁNCHEZ R, BORREGO-HERNANDO R, FRANCO-IGLESIAS G *et al*. Strabismus and diplopia after refractive surgery. *Arch Soc Esp Oftalmol*, 2012; 87:363-367.
16. HEINMILLER LJ, WASSERMAN BN. Diplopia after laser *in situ* keratomileusis (Lasik) in a patient with a history. *J AAPOS*, 2013;17:108-109.
17. FAWCETT SL, HERMAN WK, ALFIERI CD *et al*. Stereoacuity and foveal fusion in adults with long-standing surgical monovision. *J AAPOS*, 2001;5:342-347.
18. SCHULER E, SILVERBERG M, BEADE P *et al*. Decompensated strabismus after laser *in situ* keratomileusis. *J Cataract Refract Surg*, 1999;25:1552-1553.
19. POLLARD ZF, GREENBERG MF, BORDENCA M *et al*. Strabismus precipitated by monovision. *Am J Ophthalmol*, 2011;152:479-482.

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



J.-C. GAVRILOV
Cabinet d'ophtalmologie, CHNO des Quinze-Vingts, PARIS.
jc.gavrilov@orange.fr

Ectasie et Smile, où en sommes-nous ?

Dans la littérature, 7 publications d'ectasie après Smile [1-7] ont été rapportées (4 bilatérales et 3 unilatérales) pour plus de 1 million de procédures réalisées depuis 2011 (chiffres Zeiss).

Le Smile est une technique qui permet une correction réfractive cornéenne ablative sans découpe d'un volet cornéen. À ce jour, seules les amétropies myopiques et cylindriques peuvent être corrigées. La procédure chirurgicale s'effectue en deux temps et n'utilise que le laser femtoseconde. Dans un premier temps, le laser femtoseconde prédécoupe un lenticule dans l'épaisseur du stroma cornéen, à une profondeur variant entre 120 μm et 140 μm , puis réalise une incision verticale de 3 à 4 mm de longueur afin que le chirurgien puisse accéder au bord du lenticule. Dans un second temps, la dissection du lenticule est complétée avec une spatule puis le lenticule est extrait.

■ Biomécanique cornéenne

Alors que la prévalence de l'ectasie après Lasik a été estimée entre 0,04 % et 0,6 %, il a été proposé que la procédure Smile, en respectant l'architecture du stroma antérieur, soit moins à risque que le Lasik. Le stroma antérieur serait responsable de 60 % de la résistance cornéenne [8] et lors d'une procédure Lasik, la seule découpe du volet cornéen, en sectionnant les fibres de collagène stromales sur 315°, affaiblirait la cornée de 20 %. C'est parce qu'il n'y a pas de volet cornéen dans la procédure Smile que ce dernier serait moins à risque d'ectasie.

La compréhension, l'appréciation et la caractérisation des propriétés biomécaniques cornéennes restent un enjeu majeur des développements futurs de la chirurgie cornéenne, et tout particulièrement dans la prévention de l'ectasie. Deux approches, théoriques et pratiques, sont régulièrement le sujet de publications. Néanmoins, l'analyse théorique, en se basant

sur la méthode des éléments finis, reste encore à valider par la confrontation aux données expérimentales et cliniques. Et bien que les données pratiques fournies par l'ORA ou le Corvis représentent une aide précieuse et sont à prendre en considération, elles peuvent parfois être perçues comme non suffisamment discriminantes pour apprécier les plus fines particularités biomécaniques du tissu cornéen.

Une analyse théorique comparative de la répartition des contraintes résiduelles au sein du stroma, basée sur le modèle des éléments finis, entre les procédures Lasik et Smile, a été proposée [9]. Dans ce modèle, les auteurs concluent qu'après Lasik, et à l'inverse du Smile, les contraintes résiduelles se concentrent de préférence dans le stroma postérieur au détriment du stroma antérieur, ce qui favoriserait le risque d'ectasie ; alors qu'après Smile, la répartition des contraintes ne différerait que peu de l'état préopératoire.

L'ORA propose 2 paramètres pour apprécier les propriétés biomécaniques de la cornée : le *Corneal Hysteresis* (CH) et le *Corneal Resistance Factor* (CRF). Les résultats des études comparant le CH et le CRF après traitement par Lasik ou Smile sont contrastés. Des auteurs rapportent une diminution plus importante du CH et du CRF après Lasik qu'après Smile en fonction du suivi (à partir de 6 mois postopératoire) [10] ou du degré d'amétropie (à partir de -6 dioptries) [11], mais ces résultats ne font pas l'objet d'un consensus [12, 13].

Les résultats des analyses faites avec le Corvis sont comparables à ceux de l'ORA. Même si des travaux ont montré une altération moindre de la structure biomécanique de la cornée après Smile qu'après Lasik [14], ces résultats restent sujets à discussion [15]. Il est intéressant de considérer les travaux de Pedersen *et al.* [13] qui rapportent à la fois un temps plus court du *HT Time* après Lasik par rapport au Smile, suggérant que la cornée aurait été plus affaiblie par le Lasik que le Smile, sans

retrouver cette différence après Flex (dans la technique Flex, un volet cornéen est réalisé en plus de la découpe du lenticule).

■ Cornées à risque d'ectasie et kératocône fruste

Le bilan préopératoire d'un patient candidat à une chirurgie Smile ne diffère pas de celui qui est réalisé pour toute chirurgie réfractive cornéenne. Le dépistage de cornées à risque d'ectasie, de kératocônes et kératocônes frustes (ou infracliniques) sont des éléments déterminants du bilan. Au sein de la liste non exhaustive des critères permettant d'évaluer le risque d'ectasie, on retiendra entre autres l'âge du patient, le degré d'amétropie, la pachymétrie, la symétrie et la régularité de l'astigmatisme cornéen, l'analyse des cartes d'élévations antérieures et postérieures, l'épaisseur du lit stromal résiduel ainsi que le pourcentage de tissu altéré (PTA) [16]. Plusieurs valeurs ont été proposées pour qualifier ou pour quantifier le risque d'ectasie. Rabinowitz s'est concentré sur l'asymétrie de l'astigmatisme en retenant comme facteur de risque une différence $I - S > 1,5$ D. Un PTA supérieur à 40 % serait à risque d'ectasie. Ce facteur ayant été développé pour le Lasik, le mPTA [17] propre au Smile a été proposé. Il s'agit du PTA pondéré du ratio entre les longueurs de l'incision du Smile et du capot du Lasik.

Randleman a proposé un score permettant de quantifier le risque d'ectasie. Le risque peut être faible (score = 0 à 2), modéré (score = 3) ou fort (score ≥ 4).

La définition du kératocône fruste est sujette à discussion et peut varier en fonction des auteurs. La conférence de

consensus de 2015 [18] a permis de préciser que le kératocône unilatéral vrai n'existe pas, et qu'un kératocône fruste est obligatoirement associé à des anomalies des cartes d'élévations postérieures, la normalité des valeurs étant propre à chaque appareil de mesure. Il a ainsi été proposé qu'avec le Pentacam, une élévation postérieure supérieure à $29 \mu\text{m}$ serait suspecte de kératocône fruste.

■ Cas clinique d'ectasie post-Smile

Le **tableau I** résume les principales caractéristiques des différents ectasies publiées à ce jour. Sept publications de 11 ectasies post-Smile ont été rapportées : 4 bilatérales et 3 unilatérales. Le bilan préopératoire a mis en évidence des signes de kératocône fruste dans 5 publications. Le bilan préopératoire était normal dans 2 publications. D'après le score de Randleman, 4 yeux étaient à risque faible d'ectasie, et 7 yeux à risque élevé. Un traitement par *cross-linking* a été systématiquement délivré, en association à des anneaux intracornéens dans un cas, et à un traitement par PTK dans une autre publication.

Le premier cas clinique d'ectasie post-Smile a été publié en 2015 par El-Naggar *et al.* [1]. Il s'agit d'un patient qui a été récusé par une première équipe médicale pour kératocône fruste et qui a bénéficié d'un traitement par *cross-linking*. Ce patient a finalement été opéré par Smile par une deuxième équipe médicale, 6 mois après le traitement par *cross-linking*. Les PTA et mPTA étaient respectivement de 36 % et 19 % pour l'œil droit, de 37 % et 20 % pour l'œil gauche.

Cas cliniques	Âge (an)	Œil	Diag (mois)	Réfraction préopératoire	Pac préop (μm)	I - S	EFP (μm)	Score de Randleman
El-Naggar	33	OD	6	-2,00 (-1,00) 65°	481	4,0	+20	4
		OG		-2,25 (-1,25) 105°	482	3,0	+27	4
Wang	19	OD	6,5	-6,75 (-1,00) 45°	546	0,5	+16	8
		OG		-6,75 (-0,75) 140°	542	1,0	+16	8
Sachdev	26	OG	12	-3,50 (-1,50) 180°	513	0,5	+10	1
Mattila	24	OD	16	-2,00 (-0,50) 170°	527	2,0	> 40	6
		OG		-1,50 (-1,50) 175°	559	0	> 30	2
Pazo	23	OD	12	-3,00	582	1,0	+2	2
Gavrilov	43	OD	48	-3,75 (-1,25) 5°	524	2,0	+4	1
Shetty	25	OD	24	-8,00 (-1,50) 100°	540	-2,5	NA	4
		OG		-8,00 (-1,00) 90°	540	-2,4	NA	4

Tableau I : Caractéristiques des cas cliniques. OD : œil droit. OG : œil gauche. Diag : délai de diagnostic. Pac préop : pachymétrie minimale préopératoire. EFP : élévation de la face postérieure.

Dans la publication de Wang *et al.*, [2] le diagnostic rétrospectif de kératocône fruste a été établi sur le décentrement entre la pachymétrie minimale et l'élévation postérieure. Le PTA était de 47 % aux 2 yeux, le mPTA de 32 % à l'œil droit et 31 % à l'œil gauche. Ce patient a bénéficié d'un traitement combiné par PTK et *cross-linking* [19]. Avec un recul de 3 ans, le patient est resté stable avec une régression de sa myopie à -1,50 D à l'œil droit et -1,75 D à l'œil gauche.

Sachdev *et al.* [3] rapportent un cas d'ectasie unilatérale avec un bilan préopératoire normal. Les PTA et mPTA étaient respectivement de 37 % et de 32 %. Néanmoins, à la relecture des examens préopératoires Scheimpflug, on observera qu'au cours de l'acquisition il y a eu un clignement de l'œil, et qu'il existe sur l'œil ayant développé l'ectasie un discret bombement paracentral inférieur. Le diagnostic a été évoqué 1 an après la chirurgie et le patient a bénéficié d'un traitement associant anneaux intracornéens et *cross-linking*.

Dans la publication de Mattila *et al.* [4] où une ectasie bilatérale est rapportée, le bilan préopératoire a mis en évidence un kératocône fruste à l'œil droit. Le diagnostic d'ectasie est visible sur le contrôle Scheimpflug effectué 16 mois après la chirurgie. Une reprise par PKR pour régression myopique a néanmoins été réalisée 18 mois après le Smile. Devant l'absence de récupération visuelle, un second avis est demandé. 21 mois après le Smile initial, le diagnostic d'ectasie est établi et un traitement par *cross-linking* est effectué.

Pazo *et al.* [5] rapportent également le cas d'une ectasie unilatérale avec un bilan préopératoire normal. Les PTA et mPTA étaient respectivement de 34 % et de 10 %. L'ectasie a été diagnostiquée 1 an après la chirurgie, et traitée par *cross-linking*. Les auteurs soulignent que le patient s'est beaucoup frotté les yeux après l'opération et que cette action aurait favorisé le développement de l'ectasie.

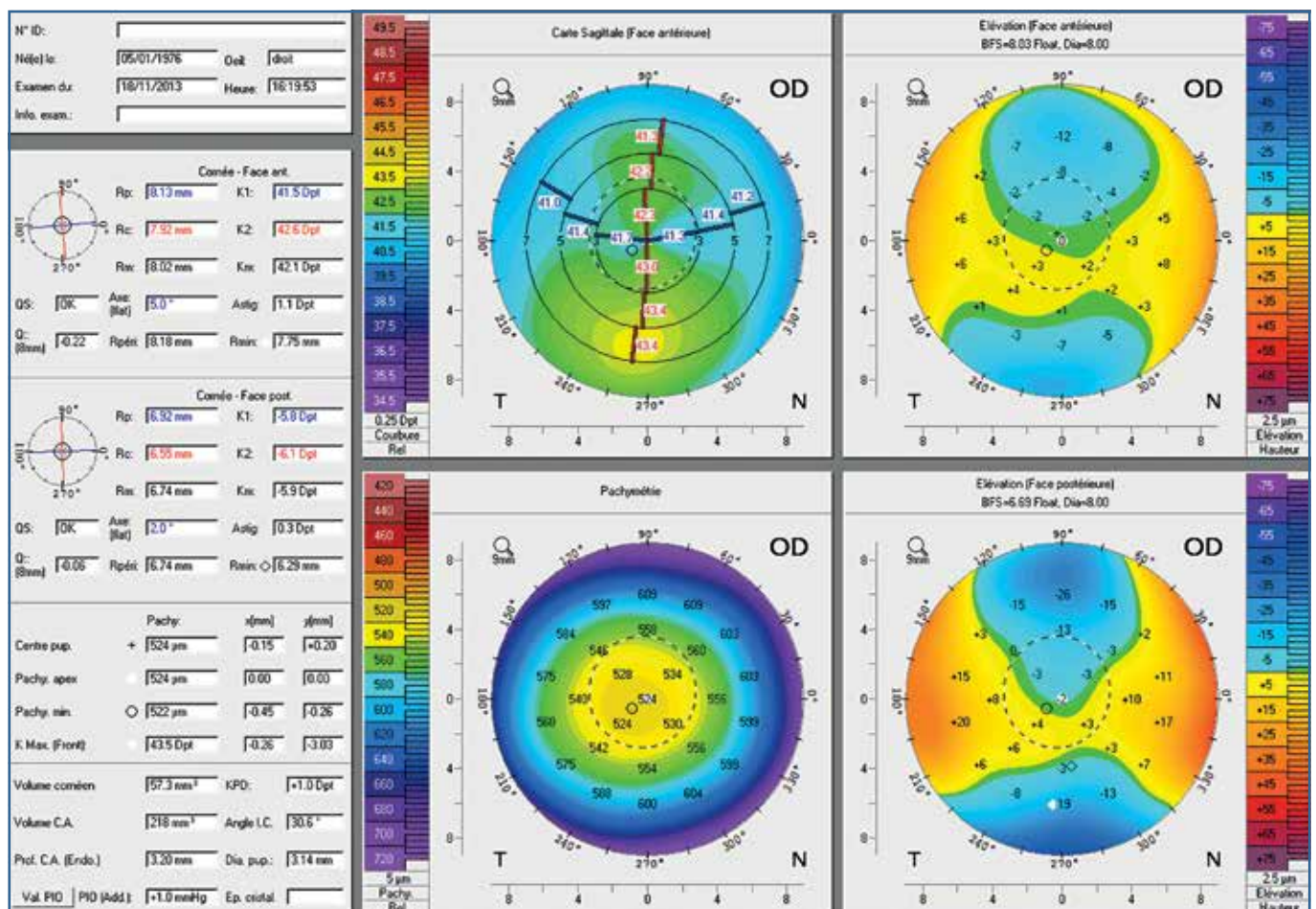


Fig. 1 : Scheimpflug préopératoire : astigmatisme asymétrique avec $I - S > 1,5$.

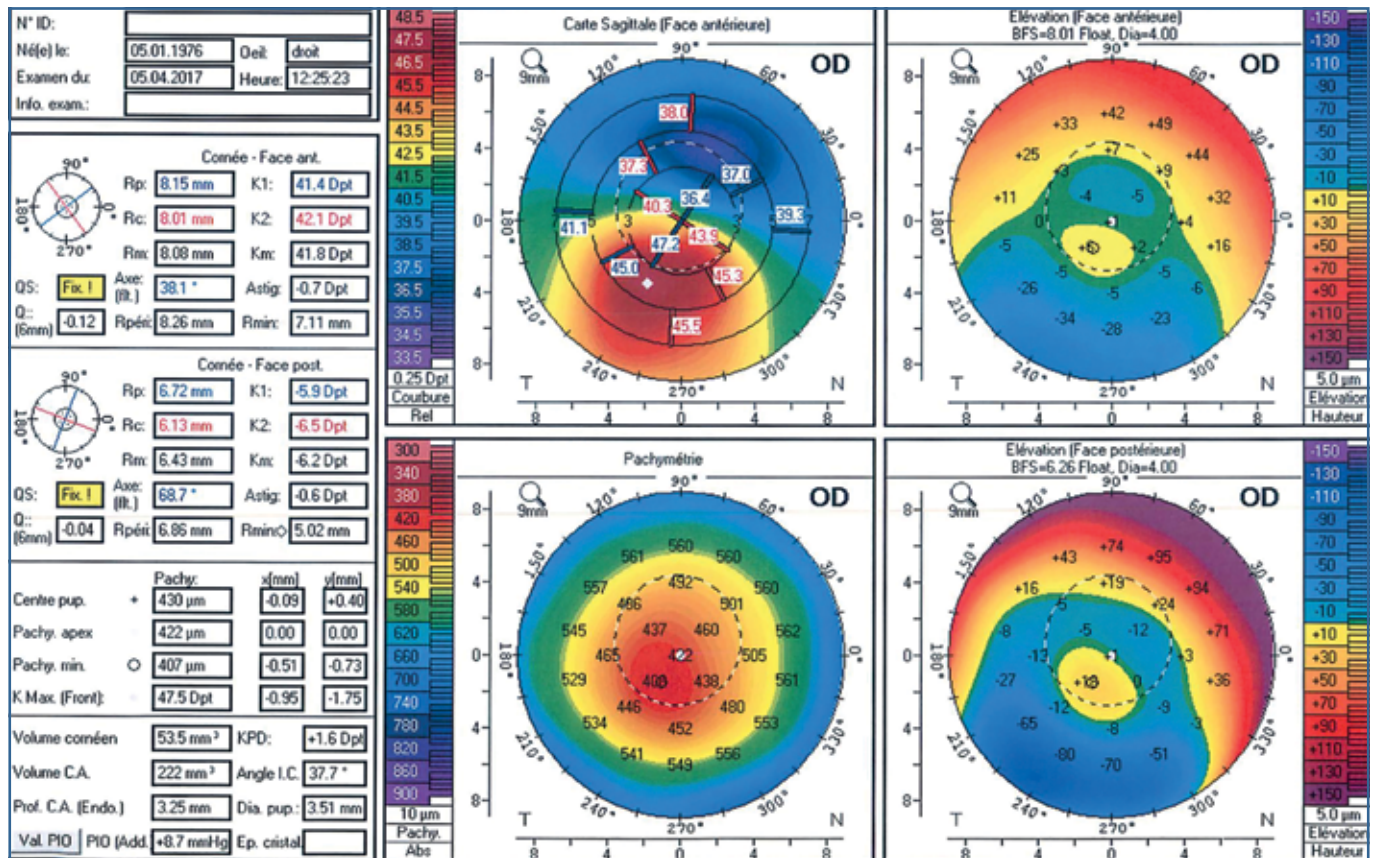


Fig. 2 : Ectasie post-Smile.

Dans la publication de Gavrilov *et al.* [6], une ectasie unilatérale est rapportée chez un homme de 43 ans, 4 ans après la chirurgie. Il s'agit du patient le plus âgé et du délai de diagnostic le plus long. Les cartes Scheimpflug préopératoires (fig. 1) montraient la présence d'un astigmatisme asymétrique régulier, sans amincissement cornéen ni élévation de la surface cornéenne postérieure. Les PTA et mPTA étaient respectivement de 41 % et de 24 %. Une fois le diagnostic établi (fig. 2), un traitement par *cross-linking* a été délivré et l'évolution a été stabilisée.

Shetty *et al.* [7] rapportent le cas d'une ectasie bilatérale chez un patient qui présentait un astigmatisme asymétrique inverse. Sur l'œil droit, la kératométrie supérieure était de 46,6 D et la kératométrie inférieure était de 45,3 D. Sur l'œil gauche, la kératométrie supérieure était de 46 D et la kératométrie inférieure était de 44,4 D. Par PCR, les auteurs ont également recherché dans les lentilles l'expression de régulateurs de la matrice extracellulaire ainsi que des facteurs inflammatoires. Comparé à un groupe témoin, ils ont observé une diminution significative de l'expression de la lysine oxydase (LOX). La LOX est une enzyme de la matrice extracellulaire qui participe au *cross-linking* naturel des fibres de collagène cornéen.

Conclusion

La technique Smile représente une alternative séduisante au Lasik pour le traitement des amétropies myopiques et cylindriques. Le risque d'ectasie existe mais semble faible. Les avantages et les bénéfices de la technique Smile par rapport au Lasik restent débattus.

Bibliographie

1. EL-NAGGAR MT. Bilateral ectasia after femtosecond laser-assisted small-incision lenticule extraction. *J Cataract Refract Surg*, 2015;41:884-888.
2. WANG Y, Cui C, Li Z *et al.* Corneal ectasia 6.5 months after small-incision lenticule extraction. *J Cataract Refract Surg*, 2015;41:1100-1106.
3. SACHDEV G, SACHDEV MS, SACHDEV R *et al.* Unilateral corneal ectasia following small-incision lenticule extraction. *J Cataract Refract Surg*, 2015;41:2014-2018.
4. MATTILA JS, HOLOPAINEN JM. Bilateral ectasia after femtosecond laser assisted small incision lenticule extraction (Smile). *J Refract Surg*, 2016;32:497-500.
5. PAZO EE, MCNEELY RN, ARBA-MOSQUERA S. Unilateral ectasia after Small-incision lenticule extraction. *J Cataract Refract Surg*, 2019;45:236-241.
6. GAVRILOV JC, ATIA R, BORDERIE V *et al.* Unilateral corneal ectasia after small-incision lenticule extraction in a 43-year-old patient. *J Cataract Refract Surg*, 2018;44:403-406.

7. SHETTY R, KUMAR NR, KHAMAR P *et al.* Bilaterally asymmetric corneal ectasia following smile with asymmetrically reduced stromal molecular markers. *J Refract Surg*, 2019;35:6-14.
8. RANDLEMAN JB, DAWSON DG, GROSSNIKLAUS HE. Depth-dependent cohesive tensile strength in human donor corneas: implications for refractive surgery. *J Refract Surg*, 2008;24:S85-S89.
9. SINHA ROY A, DUPPS WJ, ROBERTS CJ. Comparison of biomechanical effects of small-incision lenticule extraction and laser *in situ* keratomileusis: finite-element analysis. *J Cataract Refract Surg*, 2014;40:971-980.
10. WU Z, WANG Y, ZHANG J *et al.* Comparison of corneal biomechanics after microincision lenticule extraction and small incision lenticule extraction. *Br J Ophthalmol*, 2017;101:650-654.
11. WU D, WANG Y, ZHANG L. Corneal biomechanical effects: small-incision lenticule extraction *versus* femtosecond laser-assisted laser *in situ* keratomileusis. *J Cataract Refract Surg*, 2014;40:954-962.
12. KAMIYA K, SHIMIZU K, IGARASHI A *et al.* Intraindividual comparison of changes in corneal biomechanical parameters after femtosecond lenticule extraction and small-incision lenticule extraction. *J Cataract Refract Surg*, 2014;40:963-970.
13. PEDERSEN IB, BAK-NIELSEN S, VESTERGAARD AH *et al.* Corneal biomechanical properties after LASIK, ReLex flex, and ReLex smile by Scheimpflug-based dynamic tonometry. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2014;252:1329-1335.
14. OSMAN IM, HELALY HA, ABDALLA M *et al.* Corneal biomechanical changes in eyes with small incision lenticule extraction and laser assisted *in situ* keratomileusis. *BMC Ophthalmol*, 2016;16:123.
15. SEFAT SM, WILTFANG R, BECHMANN M *et al.* Evaluation of changes in human corneas after femtosecond laser-assisted Lasik and Small-Incision Lenticule Extraction (Smile) using non-contact tonometry and ultra-high-speed camera (Corvis ST). *Curr Eye Res*, 2015;36:83-1-6.
16. SANTIAGO MR, SMADJA D, GOMES BF *et al.* Association between the percent tissue altered and post-laser *In situ* keratomileusis ectasia in eyes with normal preoperative topography. *Am J Ophthalmol*, 2014;158:87-95.
17. MOSHIRFAR M, ALBARRACIN JC, DESAUTELS JD *et al.* Ectasia following small-incision lenticule extraction (Smile): a review of the literature. *Clin Ophthalmol*, 2017;11:1683-1688.
18. GOMES JA, TAN D, RAPUANO CJ *et al.* Group of panelists for the global delphi panel of keratoconus and ectatic diseases. Global consensus on keratoconus and ectatic diseases. *Cornea*, 2015;34:359-369.
19. GE Q, CUI C, WANG J, MU G. Combined transepithelial phototherapeutic keratectomy and corneal collagen cross-linking for corneal ectasia after small-incision lenticule extraction-preoperative and 3-year postoperative results: a case report. *BMC Ophthalmol*, 2018;18:175.

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



P. FOURNIÉ
Service d'Ophtalmologie, Hôpital Pierre-Paul Riquet, CHU TOULOUSE.
fournie.p@chu-toulouse.fr

Cross-linking et chirurgie réfractive

Le *cross-linking* cornéen (CXL) a été conçu pour ralentir ou, idéalement, arrêter la progression d'un kératocône ou d'une ectasie post-réfractive. Son mécanisme d'action principal repose sur une augmentation de la résistance biomécanique cornéenne.

■ Quelle est la logique qui sous-tend l'utilisation du *cross-linking* dans les procédures réfractives ?

L'objectif de combiner le *cross-linking* à des procédures réfractives est double : éviter la survenue d'une ectasie cornéenne et améliorer la stabilité réfractive à long terme. Ces procédures combinées portent le nom de "Xtra" : Lasik Xtra, PRK Xtra et Smile Xtra. L'objectif sous-jacent serait de traiter avec plus de sécurité ou d'étendre les indications à des patients "à risque" : jeunes, anisométriques, amétropes forts, avec topographies "limites" ou des cornées fines.

■ Quelle est la procédure chirurgicale ?

Dans tous les cas, la procédure réfractive est réalisée en premier lieu. Le *cross-linking* intervient après. Dans le Lasik Xtra, de la riboflavine 0,25 % est instillée dans le lit stromal pendant 60 à 90 s puis elle est rincée abondamment (*fig. 1*).

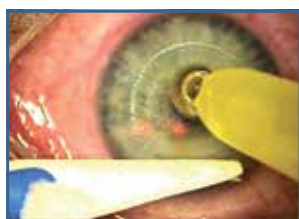


Fig. 1 : Instillation de riboflavine dans le lit stromal (d'après Kanellopoulos et Kahn, 2012 [9]).



Fig. 2 : Ultraviolets-A après repositionnement du volet (d'après Kanellopoulos et Kahn, 2012 [9]).

Le volet du Lasik est repositionné. Les ultraviolets-A sont délivrés en mode accéléré, 30 mW pendant 2 à 3 min (*fig. 2*). Dans la PRK Xtra, le *cross-linking* est identique, mais en surface sur le lit stromal après photoablation. Dans le Smile Xtra, la riboflavine est injectée dans la poche stromale après retrait du lenticule cornéen.

■ Que nous enseigne la littérature ?

Quatorze études publiées rapportent des résultats réfractifs de patients ayant bénéficié d'une procédure Xtra.

1. Lasik Xtra myopique (*tableau I*)

C'est dans ce sous-groupe que les études sont les plus nombreuses. Sur les 8 études, une seule [7] fait état d'une

Études	Design/Indications	Nombre d'yeux : Lasik / Lasik Xtra	Suivi (mois)
Celik <i>et al.</i> , 2012 [1]	Série de cas/Myopie	4/4	12
Kanellopoulos, 2012 [2]	Série de cas/Myopie	0/43	12-54
Kanellopoulos <i>et al.</i> , 2014 [3]	Étude comparative non randomisée/Myopie	82/73	12
Tomita <i>et al.</i> , 2014 [4]	Série de cas/Myopie	24/24	12
Tan <i>et al.</i> , 2014 [5]	Série de cas prospective (Lasik Xtra) et rétrospective (Lasik)/Myopies fortes (-8 à -19 D)	64/70	3
Kanellopoulos <i>et al.</i> , 2015 [6]	Étude comparative randomisée/Myopie	75/65	24
Seiler <i>et al.</i> , 2015 [7]	Étude comparative non randomisée / Myopie avec score d'ectasie 3-6	76/76	12
Xu <i>et al.</i> , 2017 [8]	Série de cas/Myopie, cornées fines	0/22	24

Tableau I : Études publiées de Lasik Xtra myopique.

réhabilitation visuelle retardée dans le groupe Xtra (*fig. 3*) avec des effets secondaires initiaux transitoires: haze discret de l'interface dans le groupe Xtra, kératite lamellaire diffuse de stade 1 dans 29 yeux (38,2 %) dans le groupe Xtra *versus* 3 yeux (4 %) sans CXL, et 5,3 % (4 yeux) de kératite lamellaire diffuse de stade 2 dans le groupe Xtra *versus* 0 dans le groupe sans CXL. Parmi les études comparatives, une rapporte une meilleure prédictibilité réfractive dans le groupe Xtra [5], deux rapportent moins de régression réfractive à 1 an [3] et 2 ans [6] dans le groupe Xtra (*fig. 4*). Deux autres études ne retrouvent pas de différence entre les 2 groupes [4, 7]. Parmi les 3 études sur des cornées à risque, il n'est pas rapporté de complications, pas d'ectasie notamment, sur la durée du suivi [5, 7, 8].

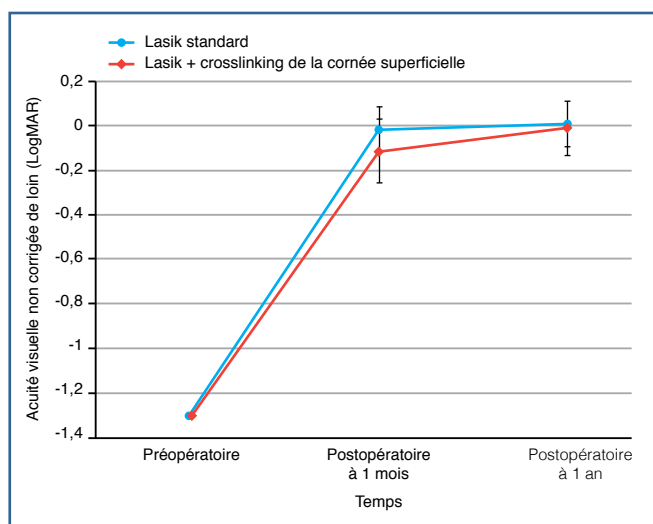


Fig. 3 : Réhabilitation visuelle retardée à 1 mois dans le groupe Lasik Xtra (rouge) par comparaison au groupe Lasik simple (bleu). Par contre, il n'y a pas de différence à 1 an (d'après Seiler *et al.*, 2015 [7]).

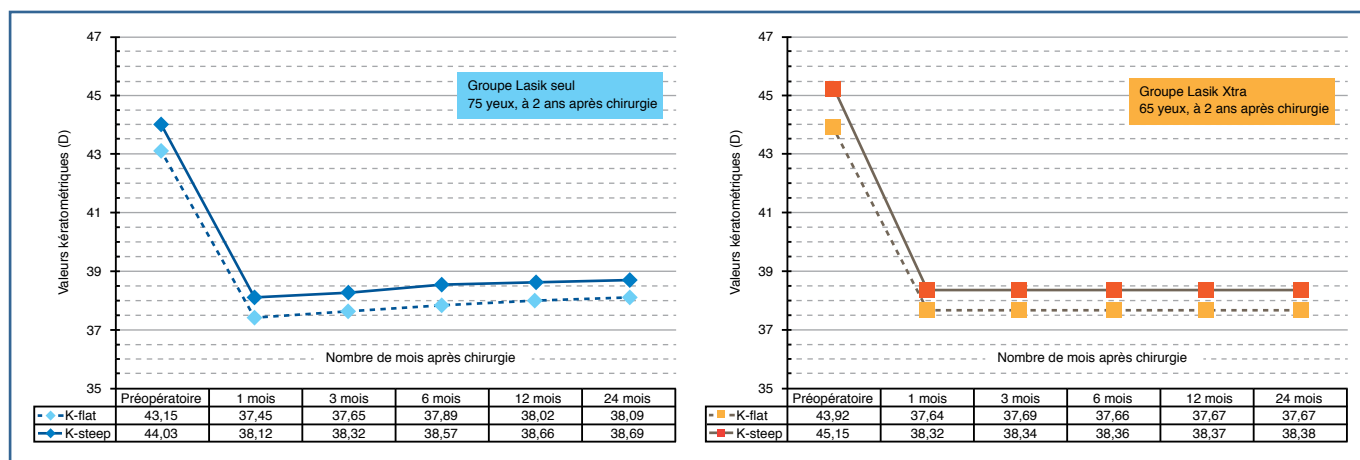


Fig. 4 : Différence de stabilité kératométrique rapportée à 2 ans, dans la seule étude randomisée publiée [6]. L'équivalent sphérique préopératoire était de $-6,67 \pm 2,14$ D dans le groupe Lasik Xtra, et de $-5,44 \pm 1,99$ D dans le groupe Lasik seul. L'étude rapporte une régression kératométrique dans le groupe Lasik seul (en bleu) comparé au groupe Lasik Xtra (en jaune). La régression à 2 ans de la kératométrie plate était de $+0,57$ D et de la kératométrie bombée de $+0,54$ D dans le groupe Lasik seul *versus* $0,03$ D et $0,05$ D dans le groupe Lasik Xtra ($p < 0,032$) (d'après Kanellopoulos et Asimellis, 2015 [6]).

2. Lasik Xtra hypermétropique (tableau II)

Kanellopoulos rapporte une régression plus importante à 2 ans dans le groupe Lasik simple en comparaison au groupe Lasik Xtra [9] (*fig. 5*).

3. PRK Xtra myopique (tableau III)

Lee rapporte [11] de meilleurs résultats réfractifs après PRK Xtra. Sachdev [12] ne retrouve aucune différence entre les

Études	Design/Indications	Nombre d'yeux : Lasik/ Lasik Xtra	Suivi (mois)
Kanellopoulos <i>et al.</i> , 2012 [9]	Étude comparative randomisée/ Hypermétropie	34/34	24
Aslanides <i>et al.</i> , 2013 [10]	Série de cas prospective (Lasik Xtra) et rétrospective (Lasik)/Hypermétropie, cornées fines ou limites	5/5	48

Tableau II : Études publiées de Lasik Xtra hypermétropique.

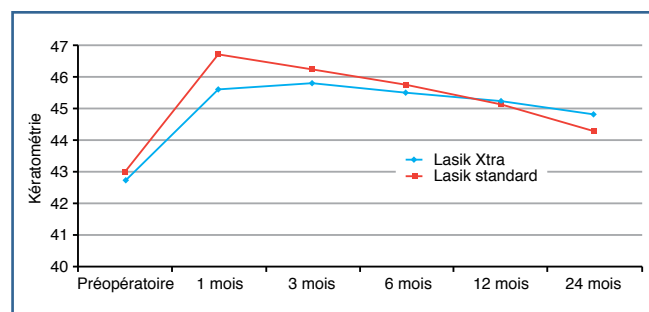


Fig. 5 : Régression plus importante à 2 ans dans le groupe Lasik hypermétropique simple (rouge ; $+0,72 \pm 0,19$ D) comparé au groupe Lasik hypermétropique Xtra (bleu ; $+0,22 \pm 0,31$ D) ($p = 0,001$) (d'après Kanellopoulos et Kahn, 2012 [9]).

Études	Design/Indications	Nombre d'yeux : Lasik/Lasik Xtra	Suivi (mois)
Lee <i>et al.</i> , 2017 [11]	Série de cas rétrospective/Myopie	42/47	12
Sachdev <i>et al.</i> , 2018 [12]	Étude comparative non randomisée/Myopie	118/109	12

Tableau III : Études publiées de PRK Xtra myopique.

Études	Design/Indications	Nombre d'yeux : Lasik/Lasik Xtra	Suivi (mois)
Ganesh <i>et al.</i> , 2015 [13]	Série de cas/Myopie avec score d'ectasie ≥ 3	0/40	12
Ng <i>et al.</i> , 2016 [14]	Étude de cas comparative non randomisée/Myopie	21/32	6

Tableau IV : Études publiées de Smile Xtra myopique.

2 groupes. Les 2 études ne rapportent aucune incidence supérieure de haze après PRK Xtra.

4. Smile Xtra myopique (tableau IV)

Ganesh ne rapporte [13] pas de complications après Smile Xtra sur des cornées à risque. Ng rapporte [14] des résultats réfractifs inférieurs après Smile Xtra.

■ Quelles sont les limites et les controverses ?

1. Mécanismes d'action du cross-linking dans les procédures Xtra

Le mécanisme d'action principal avancé du CXL est une augmentation de la résistance cornéenne. Les mesures directes de la biomécanique cornéenne par diffusion Brillouin permettent une approche *ex vivo* du module d'élasticité retrouvé augmenté après CXL, avec un effet qui semble décroître lorsque l'intensité du CXL est augmentée et sa durée diminuée [15] (*fig. 6*). Cela questionne l'efficacité d'un CXL Xtra dont les paramètres ont été très modifiés par rapport à une procédure standard. Kanellopoulos rapporte, sur des expérimentations *ex vivo*, une augmentation de la résistance mécanique jusqu'à 130 % après Lasik Xtra sans modification de la biomécanique du volet, avec donc un effet essentiellement sur le stroma sous-jacent [16]. Il rapporte également une moindre sensibilité du stroma à la digestion enzymatique [16]. Kanellopoulos rapporte enfin un moindre épaissement épithélial cornéen après Lasik Xtra myopique, qui pourrait expliquer la moindre régression [17].

Parallèlement à cette augmentation de la rigidité cornéenne, Seiler met en avant une plus grande adhérence du volet

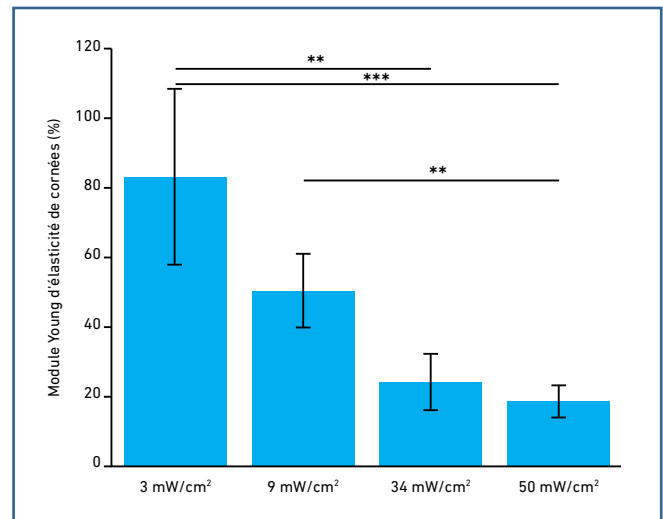


Fig. 6 : Mesures *ex vivo* par diffusion Brillouin du module Young d'élasticité de cornées après CXL avec un effet maximal après CXL epi-off standard à 3 mW/cm² pendant 30 min par rapport à des CXL accélérés à 9 mW/cm² pendant 10 min, 34 mW/cm² pendant 3 min et 50 mW/cm² pendant 1,5 min (d'après Webb J *et al.*, 2017 [15]). Mais cela ne présage pas de l'efficacité de la technique car on ne connaît pas le seuil de résistance cornéenne à atteindre pour stabiliser individuellement chaque cornée. À noter : la procédure employée dans les techniques Xtra sont différentes des techniques "standards" employées dans le kératocône, et reposent sur peu de preuves scientifiques concernant leur effet sur une cornée saine.

cornéen expérimentalement *ex vivo* [18], mais également cliniquement avec une plus grande difficulté pour soulever le volet du Lasik en cas de retraitement [7]. La question de cette adhérence dans une éventuelle augmentation de la résistance mécanique cornéenne reste pour l'instant sans réponse.

Une autre question repose sur la stabilité réfractive. Le CXL, dans le kératocône, peut modifier les paramètres kératométriques et réfractifs avec des réponses parfois excessives, heureusement rares, comme ces cas rapportés de poursuite évolutive de l'effet progressif d'aplatissement cornéen. La prévalence de survenue est de 6,7 % dans la série à 10 ans rapportée par l'instigateur de la procédure Théo Seiler [19]. Cette observation en cas d'aplatissement excessif avec hypermétropisation est considérée comme une complication possible à long terme du CXL. Même si cet effet n'a pas été rapporté jusqu'à présent, sur cornées saines ou tout au plus suspectes, cela soulève la question de la prédictibilité d'une procédure réfractive Xtra dans un domaine où la précision est indispensable.

2. Une littérature à faible niveau de preuves

La littérature est peu abondante dans le domaine (*tableaux I à IV*) : il y a un faible nombre de patients, peu de recul, des méthodologies différentes, avec seulement 2 études

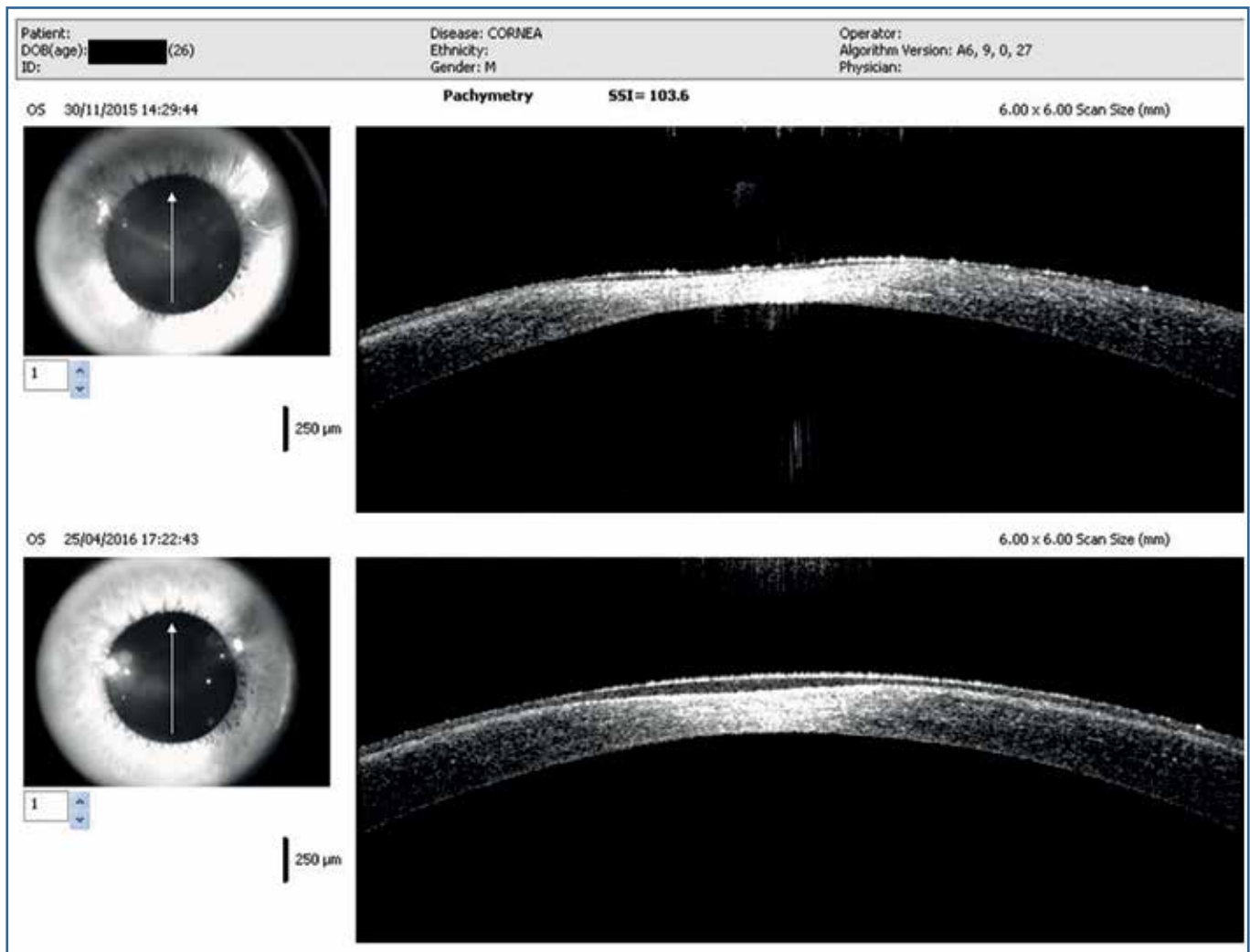


Fig. 7 : OCT cornéen : nécrose cornéenne centrale avec amincissement stromal, hyperplasie épithéliale et opacité cornéenne (d'après Davey *et al.*, 2017 [20]).

randomisées de la même équipe [6, 9] et des résultats réfractifs parfois discordants entre les études. Les séries publiées font état de peu de complications avec seulement une série de Lasik myopiques présentant un retard de récupération visuelle, un certain degré de haze cicatriciel et de réactions inflammatoires [7]. Peu d'études concernaient des cornées à risque [5, 7, 8, 10, 13]. Un cas de nécrose cornéenne centrale a été rapporté après PRK Xtra, avec plusieurs hypothèses physiopathogéniques incriminant le port de lentille de contact, une blépharite postérieure associée, le CXL [20] (*fig. 7*). Un cas d'ectasie après Lasik Xtra a été rapporté [21]. La réfraction préopératoire était à droite +1,25 – 2,75 × 10 et, à gauche, +0,50 – 2,00 × 16. Les topographies préopératoires étaient normales sans kératocône fruste. L'ectasie s'est déclarée à 2 ans, à gauche. Cette observation ne semble pas garantir l'absence de survenue par la procédure Xtra de cette complication pourtant rare.

3. Surcoût

La question de la facturation en surcoût d'un CXL Xtra dans une procédure réfractive questionne également sur le rapport bénéfices-risques d'une telle procédure dans l'état actuel des connaissances.

■ Conclusion

Les procédures réfractives combinées au *cross-linking* sont proposées pour limiter la survenue d'ectasie et améliorer la stabilité réfractive. Leur efficacité est très difficile à prouver et nécessiterait des études randomisées sur des cohortes importantes et un long suivi. Ces procédures ne semblent pas dénuées de complications. Les données actuelles de la

littérature ne permettent pas leur utilisation en routine, ni un élargissement de leur utilisation aux patients à risque sans informer les patients d'un rapport bénéfices-risques aujourd'hui hypothétique. En d'autres termes, leurs bénéfices par rapport aux possibles risques restent aujourd'hui très empiriques et manquent de preuves scientifiques tangibles.

Bibliographie

1. CELIK HU, ALAGÖZ N, YILDIRIM Y *et al.* Accelerated corneal cross-linking concurrent with laser *in situ* keratomileusis. *J Cataract Refract Surg*, 2012;38:1424-1431.
2. KANELLOPOULOS AJ. Long-term safety and efficacy follow-up of prophylactic higher fluence collagen cross-linking in high myopic laser-assisted *in situ* keratomileusis. *Clin Ophthalmol*, 2012;6:1125-1130.
3. KANELLOPOULOS AJ, ASIMELLIS G, KARABATSAS C. Comparison of prophylactic higher fluence corneal cross-linking to control, in myopic LASIK, one year results. *Clin Ophthalmol*, 2014;8:2373-2381.
4. TOMITA M, YOSHIDA Y, YAMAMOTO Y *et al.* *In vivo* confocal laser microscopy of morphologic changes after simultaneous LASIK and accelerated collagen cross-linking for myopia: one-year results. *J Cataract Refract Surg*, 2014;40:981-990.
5. TAN J, LYTLE GE, MARSHALL J. Consecutive laser *in situ* keratomileusis and accelerated corneal cross-linking in highly myopic patients: preliminary results. *Eur J Ophthalmol*, 2014; [Epub ahead of print].
6. KANELLOPOULOS AJ, ASIMELLIS G. Combined laser *in situ* keratomileusis and prophylactic high-fluence corneal collagen cross-linking for high myopia: two-year safety and efficacy. *J Cataract Refract Surg*, 2015;41:1426-1433.
7. SEILER TG, FISCHINGER I, KOLLER T *et al.* Superficial corneal cross-linking during laser *in situ* keratomileusis. *J Cataract Refract Surg*, 2015;41:2165-2170.
8. XU W, TAO Y, WANG L *et al.* Evaluation of biomechanical changes in myopia patients with unsatisfactory corneas after femto second-laser *in situ* keratomileusis (FS-LASIK) concurrent with accelerated corneal collagen cross-linking using corvis-ST: two-year follow-up results. *Med Sci Monit*, 2017;23:3649-3656.
9. KANELLOPOULOS AJ, KAHN J. Topography-guided hyperopic LASIK with and without high irradiance collagen cross-linking: initial comparative clinical findings in a contralateral eye study of 34 consecutive patients. *J Refract Surg*, 2012;28:S837-40.
10. ASLANIDES IM, MUKHERJEE AN. Adjuvant corneal cross-linking to prevent hyperopic Lasik regression. *Clin Ophthalmol*, 2013;7:637-641.
11. LEE H, YONG KANG DS, HA BJ *et al.* Comparison of Outcomes Between Combined Transepithelial Photorefractive Keratectomy With and Without Accelerated Corneal Collagen Cross-Linking: A 1-Year Study. *Cornea*, 2017;36:1213-1220.
12. SACHDEV GS, RAMAMURTHY S, DANDAPANI R. Comparative analysis of safety and efficacy of photorefractive keratectomy *versus* photorefractive keratectomy combined with cross-linking. *Clin Ophthalmol*, 2018;12:783-790.
13. GANESH S, BRAR S. Clinical outcomes of small incision lenticule extraction with accelerated cross-linking (ReLEx Smile Xtra) in patients with thin corneas and borderline topography. *J Ophthalmol*, 2015;2015:263412.
14. NG AL, CHAN TC, CHENG GP. Comparison of the early clinical outcomes between combined small-incision lenticule extraction and collagen cross-linking *versus* SMILE for myopia. *J Ophthalmol*, 2016;2016:2672980.
15. WEBB JN, SU JP, SCARCELLI G. Mechanical outcome of accelerated corneal cross-linking evaluated by Brillouin microscopy. *J Cataract Refract Surg*, 2017;43:1458-1463.
16. KANELLOPOULOS AJ, ASIMELLIS G, SALVADOR-CULLA B *et al.* High-irradiance CXL combined with myopic LASIK: flap and residual stroma biomechanical properties studied ex-vivo. *Br J Ophthalmol*, 2015;99:870-874.
17. KANELLOPOULOS AJ, ASIMELLIS G. Epithelial remodeling after femtosecond laser-assisted high myopic LASIK: comparison of stand-alone with LASIK combined with prophylactic high-fluence cross-linking. *Cornea*, 2014;33:463-469.
18. SEILER TG, ENGLER M, BECK E *et al.* Interface bonding with corneal cross-linking (CXL) after LASIK *ex vivo*. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2017;58:6292-6298.
19. NOOR IH, SEILER TG, NOOR K *et al.* Continued long-term flattening after corneal cross-linking for keratoconus. *J Refract Surg*, 2018;34:567-570.
20. DAVEY N, ASLANIDES IM, SELIMIS V. A case report of central toxic keratopathy in a patient post TransPRK (followed by corneal collagen cross-linking). *Int Med Case Rep J*, 2017;10:131-138.
21. TANERI S, KIESSLER S, ROST A. Corneal ectasia after LASIK combined with prophylactic corneal cross-linking. *J Refract Surg*, 2017;33:50-52.

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

Kératométries postopératoires en Lasik : les cornées plates ou bombées altèrent-elles la qualité de vision ?

Le Lasik donne aujourd'hui des résultats satisfaisants pour les amétropies fortes, qu'elles soient myopiques ou hypermétropiques, et se présente sur ces cas délicats comme une alternative aux chirurgies endoculaires. Nous avons mené une étude rétrospective de patients opérés par Lasik au cours des 5 dernières années et ayant une kératométrie postopératoire plate < 36 dioptries ou bombée > 49 dioptries (*fig. 1*), afin de savoir si leur correction chirurgicale avait dégradé leur meilleure acuité visuelle (AV) corrigée.

Nous avons relevé les données de l'ensemble des patients ayant subi une perte de meilleure acuité visuelle corrigée afin de savoir pourquoi l'AV de ces patients s'était dégradée. Les acuités sans correction et avec correction pré et postopératoire ont été évaluées, ainsi qu'un relevé des aberrations de 3^e et 4^e ordres cornéens sur 3,5 et 7 mm de diamètre. Le diamètre pupillaire mésopique ainsi que l'angle kappa ont aussi été relevés.

■ Résultats du Lasik pour les fortes amétropies

Pour les fortes myopies, Reinstein [1] retrouvait de très bons résultats en Lasik avec seulement 3 % de perte d'une ligne de meilleure acuité visuelle corrigée. Alio [2] retrouvait lui aussi de très bons résultats, avec une meilleure acuité corrigée statistiquement supérieure en postopératoire qu'en préopératoire.

Pour les fortes hypermétropies, malgré les résultats qui n'atteignent pas le même niveau d'excellence que pour la myopie du fait de l'induction d'aberrations optiques, le Lasik offre tout de même de belles garanties en termes de sécurité. Si Alio [2] retrouvait 9,52 % de patients ayant perdu plus de deux lignes LogMAR, notre étude personnelle en 2014 portant sur 109 yeux hypermétropes forts de plus de 4 dioptries retrouvait une perte d'une ligne LogMAR dans seulement 2,6 % des cas, et aucun œil opéré n'avait perdu plus d'une ligne LogMAR. Nous avons attribué cette différence de résultats à une grosse

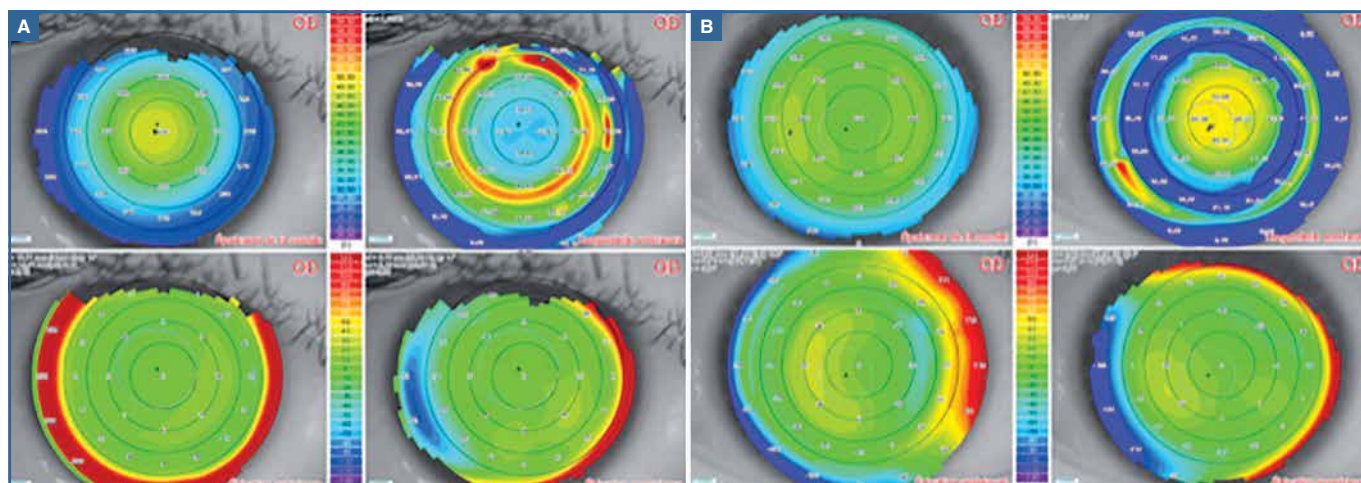


Fig. 1 : Exemples de topographies postopératoires d'une cornée plate (A) et d'une cornée bombée (B).

différence de zone optique de traitement (de 6,2 à 6,9 mm pour Alio, de 6,7 à 7,2 mm dans notre étude). Ortueta [3] confirme nos résultats en 2017 avec la même plateforme, tout comme Gauthier-Fournet [4] dans son étude récente avec aucune perte de meilleure acuité visuelle corrigée d'une ligne LogMAR et 9 % des yeux ayant subi une perte de ligne Snellen.

■ Effectif (tableau I)

7417 Lasiks ont été recensés. Sur l'ensemble de cet effectif nous avons relevé que :

- 49 yeux (0,6 % de nos Lasiks) ont présenté une kératométrie égale ou inférieure à 36 dioptries en postopératoire entre 3 mois et 12 mois ;
- 98 yeux (1,3 % de nos Lasiks) ont présenté une kératométrie égale ou supérieure à 49 dioptries en postopératoire entre 3 mois et 12 mois.

■ Perte et gain de meilleure acuité visuelle corrigée (tableau II)

Il est important de noter que les réfractions postopératoires n'ont pas recherché à améliorer les patients au-delà de 10/10 d'acuité visuelle.

■ Lasik myopique (échelle Snellen) (tableau III)

Sur les 49 yeux avec kératométrie plate, aucun œil n'a perdu une ligne de meilleure acuité visuelle, alors que 8 yeux ont

gagné au moins une ligne de meilleure acuité visuelle corrigée (dont 4 yeux au moins 2 lignes).

À noter que 4 yeux ont présenté une perte d'une ligne Snellen transitoire en rapport avec un syndrome sec. Tous ces yeux ont récupéré leur meilleure acuité visuelle initiale avec un traitement adapté (2 yeux ont bénéficié de la pose de plug).

■ Lasik hypermétropique (échelle Snellen) (tableau IV)

Sur les 98 yeux avec kératométrie bombée, 11 yeux ont perdu une ligne de meilleure acuité visuelle corrigée, dont 3 yeux qui ont perdu deux lignes, alors que 2 yeux ont gagné plus de deux lignes LogMAR. Sur les 3 yeux ayant perdus deux lignes de meilleure acuité visuelle corrigée, 1 œil a été atteint d'une kératite herpétique en postopératoire. Une patiente a présenté une perte de deux lignes de meilleure acuité visuelle corrigée aux 2 yeux. Elle présentait en préopératoire un strabisme convergent avec amblyopie relative aux 2 yeux. Un syndrome sec a été objectivé en postopératoire.

À noter que 4 yeux ont perdu plus de deux lignes Snellen transitoirement en rapport avec un syndrome sec. La pose de plug et l'instillation de larmes artificielles ont permis une restauration de la meilleure acuité visuelle.

Il semblerait exister un lien entre la perte d'une ligne de meilleure acuité visuelle corrigée et le bombement de la cornée. Néanmoins, au vu des faibles échantillons de cornées ayant une kératométrie supérieure à 51 dioptries, on ne peut pas dégager de valeur statistique.

	Effectifs	Kératométrie	Traitement sphérique	Traitement cylindrique	Traitement équivalent sphérique
K < 36 D	N = 49	31,64 D/36 D	-3,5 D/-10,5 D	0 D/-2,8 D	-3,85 D/-10,5 D
K > 49 D	N = 98	49 D/53,25 D	+2,85 D/+9 D	0 D/-5,75 D	+2,85 D/+7,25 D
	Diamètre pupillaire mésopique (moyenne)	Angle Kappa (moyenne)	Coma 5 mm (moyenne)	Trefoil 5 mm (moyenne)	Aberrations sphériques 5 mm (moyenne)
Effectifs	3,4 mm (1,99/4,58)	0,32 mm (0/0,91)	0,224 µm (0/0,94)	0,287 µm (0/0,93)	0,111 µm (-0,26/0,42)

Tableau I : Les patients avec kératométrie plate < 36 dioptries et avec kératométrie bombée > 49 dioptries en chiffres.

	Perte de 1 ligne Snellen	Perte de 2 lignes Snellen	Gain de 1 ligne	Gain > 1 ligne
K < 36 D (N = 49)	N = 0 (0 %)	N = 0 (0 %)	N = 9 (18 %)	N = 2 (4 %)
K > 49 D (N = 98)	N = 12 (12 %)	N = 3 (3 %)	N = 2 (2 %)	N = 2 (2 %)

Tableau II : Perte et gain de meilleure acuité visuelle corrigée sur les kératométries extrêmes (N = effectif).

	35 < K < 36 N = 23	34 < K < 35 N = 18	33 < K < 34 N = 4	K < 33 N = 3
Perte de 1 ligne Snellen	N = 0	N = 0	N = 0	N = 0

Tableau III : Perte de meilleure acuité visuelle corrigée en fonction de la kératométrie postopératoire chez les patients ayant une kératométrie plate < 36 dioptries (N = effectif).

	49 > K > 50 N = 54	50 > K > 51 N = 32	51 > K > 52 N = 6	K > 52 N = 6
Perte de 1 ligne Snellen	N = 6 (11 %)	N = 4 (12,5 %)	N = 1 (16,6 %)	N = 1 (16,6 %)
Perte de 2 lignes Snellen	N = 1 (1,8 %)	N = 0	N = 1 (16,6 %)	N = 1 (16,6 %)

Tableau IV : Perte de meilleure acuité visuelle corrigée en fonction de la kératométrie postopératoire chez les patients ayant une kératométrie bombée > 49 dioptries (N = effectif).

■ Notion d'amblyopie relative préopératoire

(tableaux V à VII)

La notion d'amblyopie relative préopératoire s'est avéré être un facteur important à relever. Si le Lasik myopique améliore dans de nombreux cas la meilleure acuité visuelle corrigée, le Lasik hypermétropique semble risquer, quant à lui, de dégrader la vision de ces patients dans des proportions plus importantes que pour des yeux non amblyopes.

Le lien entre kératométrie bombée postopératoire et perte de meilleure acuité visuelle corrigée semble disparaître si l'on exclut les patients amblyopes de l'étude.

	Amblyopie préopératoire connue
Perte de 1 ligne Snellen N = 12	N = 10 (83 %)
Perte de 2 lignes Snellen N = 3	N = 2 (66 %)

Tableau V : Pourcentage d'amblyopes chez les patients avec kératométrie bombée ayant subi une perte d'au moins 1 ligne Snellen (N = effectif).

	Perte de 2 lignes Snellen	Perte de 1 ligne Snellen	Gain de 1 ligne Snellen
K < 36 D N = 11	N = 0 (0 %)	N = 0 (0 %)	N = 9 (82 %)
K > 49 D N = 26	N = 2 (15 %)	N = 10 (35 %)	N = 2 (7,5 %)

Tableau VI : Perte et gain de ligne de meilleure acuité visuelle corrigée chez les patients ayant une amblyopie relative préopératoire (N = effectif).

■ Discussion

Dans cette étude, les valeurs kératométriques plates postopératoires ne semblent jouer aucun rôle négatif chez les patients. Les profils d'ablation myopique et les grandes zones optiques ont permis d'obtenir d'excellents résultats en termes de sécurité chez les patients myopes forts. À la vue de ces résultats, la kératométrie plate postopératoire ne doit pas être un motif pour récuser un patient.

Concernant les cornées bombées, malgré des valeurs kératométriques extrêmement élevées, les résultats sont satisfaisants et globalement concordants avec les dernières études du centre concernant les Lasiks d'hypermétropie forte (perte d'une ligne de meilleure acuité visuelle corrigée dans 12 % des cas contre 9 % dans nos études précédentes).

Néanmoins, il semble se dégager le fait que plus la cornée est bombée, plus le risque de perdre une ligne de meilleure acuité visuelle est important.

Cette notion doit cependant être pondérée par différents facteurs confondants :

>>> Tout d'abord, il est en clairement admis que plus une hypermétropie à corriger est forte, plus le risque de perte de meilleure acuité visuelle corrigée est important (Reinstein [5] retrouve 22 % de perte d'une ligne Snellen et 3,8 % de perte de deux lignes Snellen de meilleure acuité visuelle corrigée pour des hypermétropies > 6 D avec le MEL 90). Or, plus la cornée est bombée en postopératoire, plus la probabilité d'avoir corrigé une forte amétropie est importante.

>>> Ensuite, il est important de noter que la proportion d'amblyopie n'est pas négligeable sur ces amétropies extrêmes avec "petit" œil. Ici, lorsque l'on exclut les amblyopes des échantillons de patients, on ne retrouve aucun lien entre kératométrie postopératoire et perte de meilleure acuité visuelle corrigée (**tableau VII**). Ainsi, l'amblyopie semble être un des principaux facteurs de risque de perte de meilleure acuité visuelle, mais cela devra être confirmé par de plus grands échantillons afin de pouvoir établir des liens statistiques.

>>> Enfin, on peut noter que les amblyopes myopes forts sont très souvent améliorés par un Lasik, alors que les amblyopes hypermétropes forts sont, eux, souvent dégradés par un Lasik. Il est envisageable que cela puisse s'expliquer, en partie, par la modification de la magnificence de l'image liée à la distance verre/œil. Ce constat est d'ailleurs souvent observé chez les porteurs de lentilles, les myopes forts

	49 > K > 50 N = 38	50 > K > 51 N = 27	51 > K > 52 N = 5	K > 52 N = 2
Perte de 1 ligne Snellen	N = 1 (2,6 %)	N = 0	N = 0	N = 1 (50 %)
Perte de 2 lignes Snellen	N = 0	N = 0	N = 0	N = 1 (50 %)

Tableau VII : Perte de la meilleure acuité visuelle corrigée en fonction de la kératométrie après exclusion des patients amblyopes (N = effectif).

améliorant fréquemment leur acuité visuelle sous lentilles, les hypermétropes forts la dégradant davantage sous lentilles qu'avec lunettes.

■ Conclusion

À la vue de ces résultats, les kératométries plates postopératoires ne doivent pas être un motif de récusation d'un patient à une chirurgie cornéenne laser.

Les kératométries bombées postopératoires, si elles ne peuvent pas à mon avis être une contre-indication absolue à une chirurgie cornéenne laser, doivent néanmoins nous inciter à une grande prudence, notamment chez les patients amblyopes. Une information loyale et claire du patient, une technique chirurgicale irréprochable avec un profil d'ablation adapté et une grande zone optique, ainsi qu'un bilan de la surface oculaire traquant le syndrome sec sont autant d'atouts indispensables pour optimiser les résultats et satisfaire le patient.

Des études complémentaires avec des échantillons de patients plus importants seront indispensables pour confirmer ces premiers résultats.

Bibliographie

1. REINSTEIN DZ, CARP GI, ARCHER TJ *et al.* Long-term visual and refractive outcomes after LASIK for high myopia and astigmatism from -8.00 to -14.25 D. *J Refract Surg*, 2016;32:290-297.
2. ALIO JL, SORIA F, ABOUDA A *et al.* Laser *in situ* keratomileusis for -6.00 to -18.00 diopters of myopia and up to -5.00 diopters of astigmatism: 15-year follow-up. *J Cataract Refract Surg*, 2015;41:33-40.
3. DE ORTUETA D, ARBA-MOSQUERA S. Laser *in situ* keratomileusis for high hyperopia with corneal vertex centration and asymmetric offset. *Eur J Ophthalmol*, 2017 10;27:141-152.
4. GAUTHIER-FOURNET L, PENIN F, ARBA MOSQUERA S. Six months outcomes after high hyperopia correction using Lasik with large ablation zone. In press.
5. REINSTEIN DZ, ARCHER TJ, DAY AC *et al.* Outcomes for hyperopic Lasik with the MeL 90 Excimer Laser. *J Refract Surg*, 2018;34:799-808.

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



F. ROUIMI¹, N. BOUHERAOUA^{1,2}, L. LAROCHE^{2,3}

¹ CHNO des Quinze-Vingts,

² Sorbonne-Université,

³ Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.

fabien_rouimi@hotmail.fr

nacim.bouheraoua@gmail.com

laurent@larocheoph.fr

PresbyLasik par modulation du facteur Q (F-CAT)

La presbytie est la baisse de la vision de près qui concerne la population à un âge relativement constant de 45 ans, à quelques variations près. Elle sera ressentie plus ou moins tardivement selon l'amétropie et éventuellement associée à une baisse de la vision de loin en cas d'hypermétropie. On estime aujourd'hui qu'un quart de la population mondiale est presbyte. Avec le vieillissement de la population, il y a une augmentation constante du nombre de patients presbytes en consultation d'ophtalmologie souhaitant bénéficier d'une solution de compensation efficace et adaptée à leurs besoins.

Ce phénomène, apparaissant en pleine vie active, est ressenti comme un véritable handicap avec un retentissement important sur la vie socio-professionnelle. L'avènement de l'ère numérique, avec l'usage quotidien des écrans d'ordinateur, de smartphones et autres tablettes tactiles, exige notamment une vision de près et intermédiaire de plus en plus performante. La presbytie est donc un important sujet de préoccupation thérapeutique en ophtalmologie.

À ce jour, son traitement chirurgical fait appel pour l'essentiel à une chirurgie de compensation et non de correction, et aucune technique ne permet de garantir à tous les patients une indépendance totale vis-à-vis des corrections optiques. C'est notamment l'acceptation par le patient d'un compromis entre vision de loin et de près qui est déterminante pour poser l'indication opératoire. L'âge du patient, le statut cristallinien et l'amétropie vont être les paramètres déterminants pour le choix de la technique opératoire. En effet, en cas de cataracte, on proposera une phacoémulsification avec mise en place d'un implant monofocal pour une monovision, voire d'un implant multifocal, chez un patient pleinement informé et par un chirurgien convaincu et expérimenté.

En cas de cristallin clair chez un jeune presbyte, c'est la chirurgie photoablatrice cornéenne qui est indiquée,

comportant plusieurs techniques regroupées sous le terme de PresbyLasik. L'induction de la multifocalité cornéenne, nécessaire à la compensation de la presbytie, passe principalement par la modulation de l'aberration sphérique *via* le paramétrage de l'asphéricité cornéenne. Les dernières avancées technologiques des lasers à excimères permettent d'induire un taux plus élevé d'aberrations sphériques négatives, qui se traduit cliniquement par une augmentation de la profondeur de champ réalisant une pseudo-accommodation et permettant de compenser la perte d'accommodation du cristallin. Le PresbyLasik est particulièrement pertinent et efficace chez les jeunes presbytes hypermétropes disposant d'un cristallin clair et d'une accommodation résiduelle.

Différentes plateformes de PresbyLasik sont actuellement disponibles sur le marché. Nous nous intéresserons ici essentiellement à la modulation de l'asphéricité cornéenne *via* le paramétrage du facteur Q cornéen par le programme Custom Q (F-CAT) du laser WaveLight EX500 (Alcon). Ce traitement photoablatif cornéen asphérique est réalisé sur l'œil non dominant, et peut être associé à une monovision supplémentaire selon le choix du chirurgien, alors que l'œil dominant bénéficiera d'un Lasik classique emmétropisant en vision de loin.

■ Asphéricité, aberration sphérique et multifocalité

L'aberration sphérique induite par une surface asphérique est liée au fait que les rayons incidents périphériques (marginaux) et centraux (para-axiaux) vont se croiser sur l'axe de révolution en deux foyers images différents (*fig. 1*) [1]. Par convention, si les rayons marginaux convergent sur l'axe optique en avant du foyer image para-axial, l'aberration sphérique est dite positive ; dans le cas contraire, elle est négative. Dans une optique idéale sans aberration sphérique, on a une

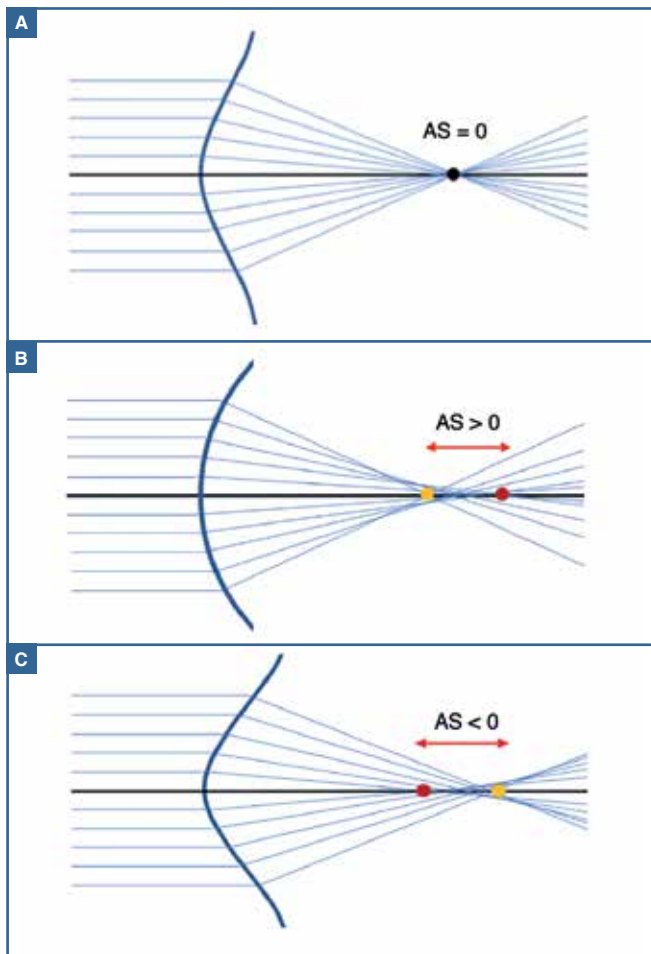


Fig. 1 : Aberration sphérique (foyer image marginal en jaune et para-axial en rouge). **A :** cornée prolate avec facteur Q $-0,53$ induisant une aberration sphérique nulle. **B :** cornée sphérique avec facteur Q nul induisant une aberration sphérique positive. **C :** cornée prolate avec facteur Q $< -0,53$ induisant une aberration sphérique négative.

qualité d'image parfaite dans la position de focus optimum mais, en dehors de cette zone de mise au point, on perd rapidement de la netteté. À l'opposé, en présence d'une aberration sphérique (positive ou négative), la qualité d'image dans la zone de focus est moins bonne, mais la perte de netteté en dehors de cette zone est moindre, ce qui augmente la profondeur de champ (**fig. 2**).

La présence d'aberration sphérique (positive ou négative) permet de réaliser une multifocalité qui augmente la profondeur de champ, par la possibilité de focalisation sur le plan de la rétine des rayons lumineux provenant d'objets sources situés à différentes distances, grâce aux zones de vergences cornéennes différentes au sein de l'aire pupillaire. Cependant, la valeur de l'aberration sphérique doit être suffisante pour induire une profondeur de champ efficace, sans être excessive pour ne pas dégrader la qualité de vision.

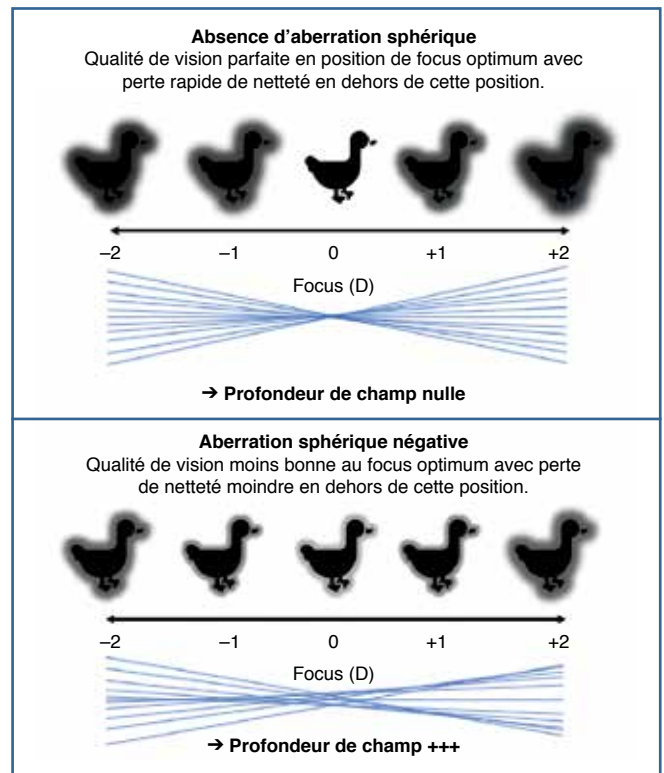


Fig. 2 : Aberration sphérique et profondeur de champ.

La modification de l'asphéricité cornéenne en chirurgie réfractive a été initialement proposée pour réduire l'aberration sphérique induite par les traitements standards. Le profil de photoablation permet de personnaliser le traitement en tenant compte de l'asphéricité cornéenne (facteur Q) préopératoire du patient, afin de mieux contrôler l'aberration sphérique postopératoire et d'améliorer la qualité de vision. En effet, avant l'âge de la presbytie, le pouvoir d'accommodation permet à l'œil de focaliser les rayons lumineux au niveau de la rétine, rendant inutile l'augmentation de la profondeur de champ. En revanche, lors de la presbytie, une augmentation de la profondeur de champ permet d'obtenir, sans nécessité de faire varier la focalisation des rayons lumineux, une image de qualité acceptable et utilisable provenant d'objets sources situés à des distances différentes. Cette notion explique le compromis nécessaire entre qualité de vision et profondeur de champ, l'augmentation de l'un étant responsable de la diminution de l'autre.

Dans le contexte d'une chirurgie de la presbytie, la modification de l'asphéricité est programmée vers une augmentation de la prolativité (facteur Q plus négatif). L'induction d'une asphéricité hyperprolate ne vise pas à modifier la courbure centrale de la cornée. En effet, la réfraction

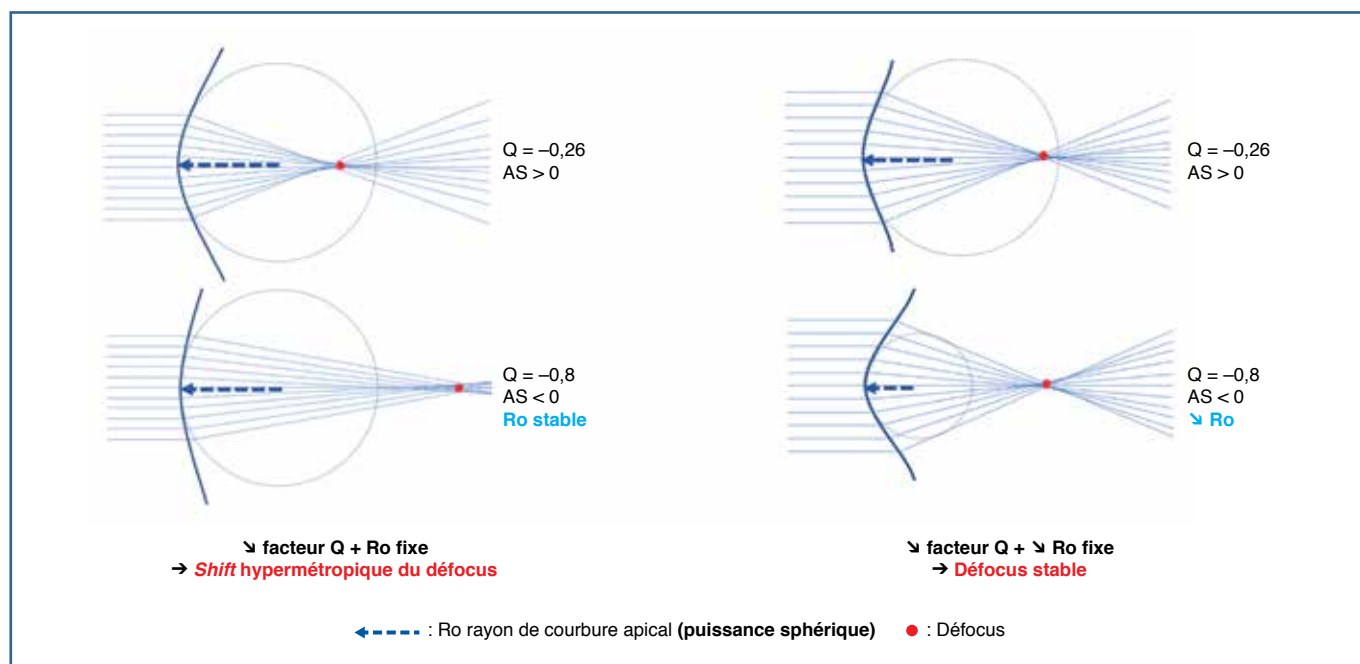


Fig. 3 : Compensation du *shift* hypermétropique induit par la modulation du facteur Q. **À gauche :** diminution du facteur Q avec sphère identique (rayon de courbure apical stable) induisant un recul du défocal (*shift* hypermétropique du défocal). **À droite :** diminution du facteur Q avec majoration de la sphère associée (diminution du rayon de courbure apical) afin d'obtenir une stabilité du défocal.

centrale au sein de la pupille, déterminée par la vergence centrale de la cornée, n'est pas modifiée. En revanche, l'asphérisation négative, par le biais d'un aplatissement cornéen périphérique, a pour effet de réduire la vergence des rayons incidents para-axiaux qui rencontrent la cornée à distance du sommet cornéen : ces rayons sont donc focalisés plus en arrière.

Si l'on considère un œil emmétrope pour tous les rayons incidents issus d'une source lointaine, l'asphérisation négative isolée de la cornée (sans modification de la courbure centrale) ne produirait aucun changement de la réfraction des rayons centraux, mais conduirait les rayons plus périphériques à converger en arrière du plan rétinien (**fig. 3**, *shift* hypermétropique). Or, cette réduction de la puissance cornéenne périphérique isolée n'aurait pas d'intérêt pour la correction de la presbytie : au contraire, elle tendrait à rendre l'œil "plus hypermétrope" en périphérie. Il est donc impératif de compenser ce *shift* hypermétropique en majorant la sphère pour obtenir un défocal stable.

Par ailleurs, le fait d'avoir induit une aberration sphérique négative avec un défocal emmétrope stable (foyer de meilleure focalisation sur la rétine) entraîne une focalisation des rayons lumineux incidents para-axiaux en avant de la rétine et donc une légère myopisation centrale nécessaire à

l'amélioration de la vision de près. Si l'on souhaite encore améliorer la vision de près, il suffit de majorer encore la sphère pour associer une bascule supplémentaire.

L'aberration sphérique négative provoque un gradient de puissance optique concentrique dont la puissance réfractive diminue du centre vers la périphérie au sein de l'aire pupillaire, traduisant une multifocalité cornéenne *via* la présence d'une aberration sphérique (notée Z_4^0 selon le comptage en fonction de l'ordre et de la fréquence du polynôme de Zernike), négative, dont le coefficient C_4^0 exprimé en μm en est négatif. L'effet bénéfique de cette aberration dans le contexte d'une correction multifocale n'est obtenu que si la réfraction centrale est myopique.

Ainsi, les rayons lumineux émis par une source éloignée traversent la zone pupillaire centrale et sont réfractés en avant du plan rétinien, fournissant une image non exploitable pour la rétine, alors que ceux qui traversent la zone périphérique sont réfractés dans le plan rétinien, permettant une bonne vision de loin. En revanche, les rayons lumineux émis d'une source proche passant par la zone pupillaire centrale sont réfractés au niveau du plan rétinien, permettant une bonne vision de près (**fig. 4**). Les rayons passants en périphérie convergent alors en arrière du plan de la rétine et ne sont d'aucune utilité pour cette distance. Le système de neuroadaptation et le tri

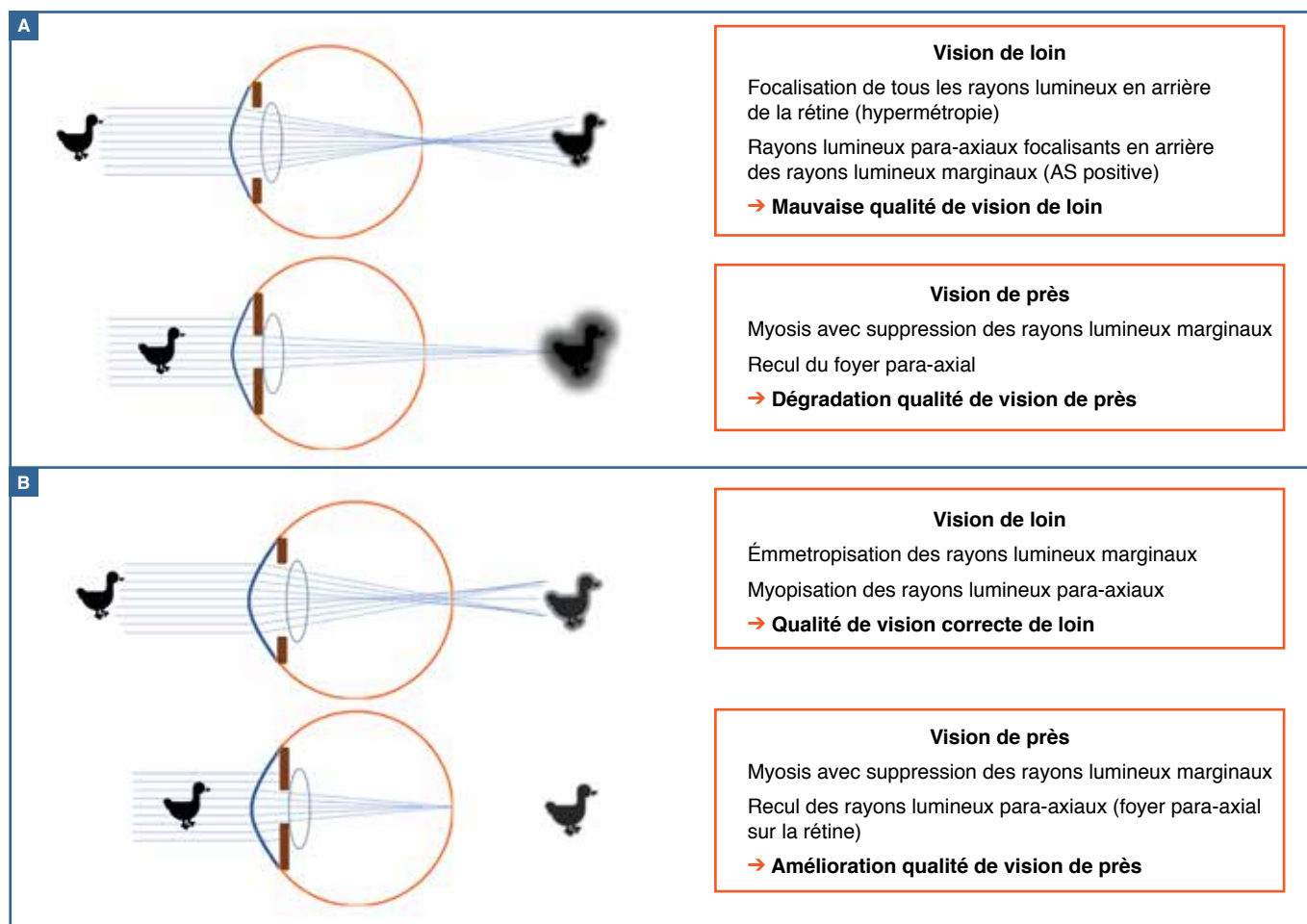


Fig. 4 : Modélisation des rayons lumineux incidents en vision de loin et de près chez un patient hypermétrope presbyte non opéré (A), et le même patient opéré avec un facteur Q $-0,8$ induisant une légère myopisation centrale et une aberration sphérique négative (B).

cortical se chargent de sélectionner l'image la plus nette fournie par le système oculaire.

Par ailleurs, le choix de la correction sphérique programmée permet de régler la réfraction en fonction du degré de bascule souhaitée.

L'hypermétropie associée à la presbytie constitue certainement la meilleure indication des traitements asphériques. En effet, les hypermétropes devenus presbytes ont une vision floue à toutes les distances, contrairement aux emmétropes qui conservent une bonne acuité visuelle non corrigée en vision de loin, et aux myopes qui possèdent une bonne acuité visuelle de près lors du retrait de leur correction optique. L'hypermétrope presbyte apprécie donc pleinement l'effet d'une correction multifocale, améliorant sa vision de loin et de près, lorsqu'un emmétrope pourrait constater une moindre performance de sa vision de loin au profit de sa vision de près, et inversement pour le myope.

■ Programmation du laser

Pour la programmation du profil cornéen asphérique de l'œil non dominant avec le module Custom-Q (F-CAT), il n'y a pas à l'heure actuelle d'objectif clairement établi d'aberration sphérique à induire. Empiriquement, en se basant sur les observations cliniques de la plupart des ophtalmologistes pratiquant la chirurgie réfractive, ainsi que sur un travail de modélisation mathématique réalisé par Gatinel *et al.* [2], la valeur cible négative du coefficient d'aberration sphérique (C_4^0) permettant d'obtenir la multifocalité efficace souhaitée, sans trop altérer la qualité de vision, est de $C_4^0 = -0,3 \mu\text{m}$ sur une zone de 6 mm, soit une variation $\Delta C_4^0 = -0,4 \mu\text{m}$. Pour obtenir une telle variation d'aberration sphérique, la variation de l'asphéricité cornéenne (ΔQ) à programmer s'étend de $-0,60$ à $-0,70$ à ajouter à l'asphéricité cornéenne préopératoire (en moyenne $-0,2$), soit une valeur de Q cible à programmer comprise entre $-0,8$ et $-0,9$ [2]. De plus, cette variation est peu sensible à la

valeur initiale de la kératométrie, de l'asphéricité et de l'hypermétropie, simplifiant ainsi grandement la programmation.

La dernière phase de la programmation consiste à compenser le défocus hypermétropique induit par la modification du facteur Q (fig. 4), en majorant la sphère selon les valeurs des polynômes de Zernike obtenues dans le logiciel de la plateforme laser pour ré-émétropiser le patient et obtenir une légère myopisation centrale, nécessaire à l'efficacité du traitement. En fonction du choix du chirurgien, on peut associer une monovision au traitement asphérique en majorant la sphère pour accentuer la myopisation de l'œil dominé.

■ PresbyLasik par modulation du facteur Q (F-CAT) sans monovision associée

Quelques études ont étudié le PresbyLasik par modulation du facteur Q associé à une monovision sur l'œil non dominant [3-7] chez les patients hypermétropes presbytes avec de bons résultats, mais aucune étude n'a évalué un traitement asphérique seul sans monovision associée.

Dans une étude réalisée par nous-mêmes, une série de 45 patients hypermétropes presbytes (âge moyen 53,8 ans) a bénéficié d'un PresbyLasik par modulation du facteur Q (F-CAT) sans monovision associée, effectuée par le même opérateur [8]. Pour l'œil dominant, un traitement standard *Wavefront Optimized* a été réalisé visant l'émétropie pour la vision de loin, alors que pour l'œil dominé un traitement asphérique a été réalisé avec le module de planification du traitement F-CAT. Le paramètre de facteur Q cible était de $-0,8$ pour tous les patients, indépendamment du facteur Q préopératoire associé à une compensation du défocus hypermétropique induit par la modification du facteur Q mais sans myopisation supplémentaire (pas de monovision additive).

À 1 an de la chirurgie, 93 % des patients avaient au moins 10/10° d'acuité visuelle en binoculaire de loin, 82 % au moins Parinaud 3 en vision binoculaire de près et 51 % au moins Parinaud 2 en vision binoculaire de près.

Sur le plan réfractif, une myopisation centrale plus importante a été retrouvée sur l'œil non dominant avec un équivalent sphérique de $-0,83$ D contre $-0,22$ D sur l'œil dominant, réalisant ainsi une micro-monovision.

Une bonne acuité visuelle a été obtenue pour la vision de loin, ainsi qu'une vision de près suffisante pour les activités

quotidiennes, telles que la lecture du journal (Parinaud 3). Cependant, pour les activités nécessitant une certaine précision, une correction optique supplémentaire pouvait être nécessaire pour certains patients, liée probablement à l'absence de monovision surajoutée chez nos patients. Le taux de satisfaction était de 87 %, et 89 % des patients déclaraient une indépendance complète vis-à-vis des lunettes à 1 an de la chirurgie. Aucune complication chirurgicale n'a été rapportée dans notre série. Cependant, deux patients ont nécessité un nouveau traitement (5 %).

■ Conclusion

Quelle que soit la procédure PresbyLasik utilisée, la satisfaction du patient reste le critère essentiel de réussite. L'évaluation préopératoire évaluant les attentes personnelles et professionnelles, ainsi que le mode de vie, est un élément clé. Une explication préopératoire loyale et complète, précisant les possibilités et les limites de la chirurgie, doit pouvoir éviter toute déception postopératoire, liée à une attente irréaliste du patient.

Par notre étude, nous avons pu montrer que les résultats visuels du PresbyLasik par modulation du facteur Q sans monovision associée sont très satisfaisants. Un an après la chirurgie, l'indépendance totale vis-à-vis des lunettes est acquise dans la vie sociale, et reste très élevée en toutes circonstances.

Bibliographie

1. O PIÑERA AG. *Optica Visual*. Diego Marin, 2004.
2. GATINEL D, AZAR DT, DUMAS L *et al*. Effect of anterior corneal surface asphericity modification on fourth-order zernike spherical aberrations. *J Refract Surg*, 2014;30:708-715.
3. LERAY B, CASSAGNE M, SOLER V *et al*. Relationship between induced spherical aberration and depth of focus after hyperopic LASIK in presbyopic patients. *Ophthalmology*, 2015;122:233-243.
4. COURTIN R, SAAD A, GRISE-DULAC A *et al*. Changes to corneal aberrations and vision after monovision in patients with hyperopia after using a customized aspheric ablation profile to increase corneal asphericity (Q-factor). *J Refract Surg*, 2016;32:734-741.
5. WANG YIN GH, MCALINDEN C, PIERI E *et al*. Surgical treatment of presbyopia with central presbyopic keratomileusis: One-year results. *J Cataract Refract Surg*, 2016;42:1415-1423.
6. ALARCÓN A, ANERA RG, VILLA C *et al*. Visual quality after monovision correction by laser *in situ* keratomileusis in presbyopic patients. *J Cataract Refract Surg*, 2011;37:1629-1635.
7. GORDON M. Presbyopia corrections with the WaveLight ALLEGRETTO: 3-month results. *J Refract Surg*, 2010;26:S824-826.
8. ROUMI F, OUANEZAR S, GOEMAERE I *et al*. Presbyopia management with Q-factor modulation (F-CAT) without additive monovision: one-year visual and refractive results. *J Cataract Refract Surg* (soumis).

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



F. MALECAZE, K. PIERNE
Service d'Ophtalmologie, CHU Purpan, TOULOUSE.
malecaze.fr@chu-toulouse.fr
pierne.kevin@orange.fr

Utilisation de lentilles réfractifs allogéniques dans la chirurgie de la presbytie

Récemment admis sur le marché, les *inlays* cornéens intrastromaux synthétiques (implants Kamra d'Acufocus, Raindrop Near Vision de Revision Medical Optics) posent certains problèmes encore non résolus, tels que la survenue d'opacification cornéenne liée à des phénomènes d'inflammation locale chez le patient implanté. Une récente alerte de l'autorité compétente américaine (FDA) concernant la lentille intracornéenne Raindrop Near Vision en témoigne [1]. Cette alerte fait suite aux résultats d'une étude clinique objectivant un taux de 75 % de patients (113/150) présentant à 5 ans une opacification cornéenne avec retentissement fonctionnel (flou visuel, éblouissement, modification du pouvoir de focalisation de l'œil) (**fig. 1**).

Dans ce contexte, il apparaît judicieux de s'intéresser à la kératophaquie, dont les principes fondamentaux ont été développés par José Barraquer dans les années 1940 [2]. La technique consiste à utiliser un lenticule cornéen humain allogénique sculpté selon les paramètres souhaités, et à le placer "en sandwich" (donc en *inlay*) dans l'épaisseur cornéenne stromale réceptrice (**fig. 2**). Le concept repose donc sur une addition tissulaire afin de modifier le profil cornéen et d'obtenir le même résultat qu'une ablation standard au laser excimer. Les *inlays* utilisés étant en tissu cornéen naturel allogénique, on s'affranchit des soucis de biocompatibilité rencontrés avec les matériaux synthétiques [3].



Fig. 1 : Haze et fonte cornéenne 5 ans après implantation d'un implant cornéen Raindrop Near Vision.

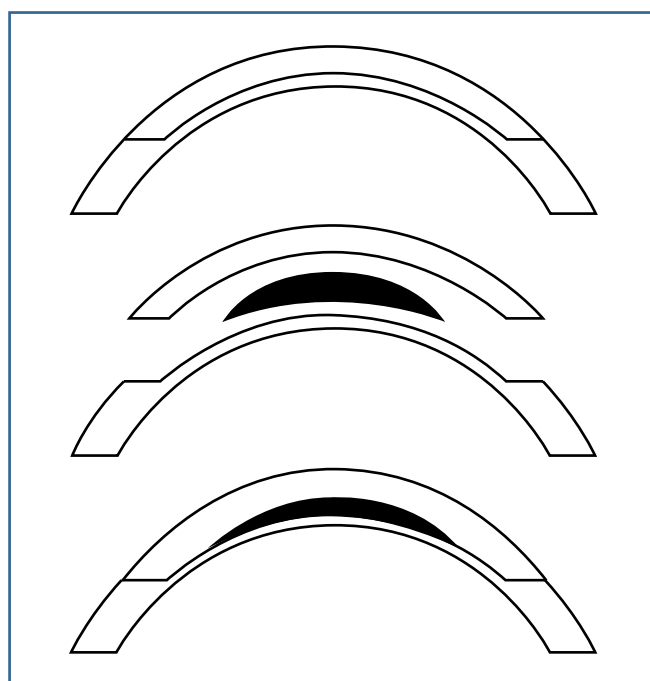


Fig. 2 : Lenticule allogénique placé en *inlay* dans le stroma cornéen réceptrice.

Dans la procédure historique de Barraquer, le lenticule était conçu à partir de stroma cornéen d'un donneur. Le greffon était "cryoprotégé" grâce à un trempage dans une solution de glycérine et vert sulfo (afin de mieux le voir et le manipuler). Une mesure pachymétrique était réalisée avant et après cryoprotection, permettant d'en déduire les valeurs de réglage du cryotur utilisé pour le sculpter. La lamelle était alors centrée sur la base de ce dernier, congelée durant 45 à 60 s avant d'être surfacée. La découpe se faisait du centre vers la périphérie (**fig. 3**). Le réchauffement puis lavage du lenticule était assuré au BSS avant de le positionner dans l'interface stromale réceptrice préalablement découpée au microkératome. La forme et l'épaisseur du lenticule étaient choisies en fonction de l'amétropie à traiter.



Fig. 3 : Sculpture du lenticule cornéen au cryotour.

Dans les années suivantes, Krumeich avait proposé une technique similaire permettant d'éviter la congélation. Elle se faisait à l'aide d'un microkératome, sans utilisation du froid, ni de solution chimique, ni de calcul sur micro-ordinateur. Le greffon cornéen était placé contre un moule à rayon de courbure variable correspondant au nombre de dioptries à corriger. Il subissait ensuite une résection centrale de sa face postérieure au microkératome, libérant ainsi un lenticule, avec un rayon de coupe constant, plan et infini. Le lenticule était alors greffé selon le même procédé initialement décrit par Barraquer. Cette technique encourageante avait été abandonnée essentiellement en raison d'une mauvaise prédictibilité.

■ Le protocole Allotex

Après plusieurs décennies, David Muller et Michael Mrochen ont "repris le chemin" de la kératophaquie en optimisant cette stratégie grâce aux progrès technologiques récents. L'innovation qu'ils apportent intervient aux différentes étapes de ce traitement. Tout d'abord dans la conception du lenticule : sa découpe ne nécessite plus de cryogénéisation et n'est plus réalisée au kératome mais à l'aide d'un laser femtoseconde dans une atmosphère stérile. Ensuite, le contrôle de la forme des greffons n'a plus recours au kératomètre au disque de Placido mais à des examens de topographie et OCT en pré et post-photoablation. Enfin, concernant la technique de conservation, la congélation a laissé place à un stockage en milieu liquide enrichi en sérum albumine humaine recombinée à température ambiante.

Le processus de préparation du lenticule est le suivant : les cornées préalablement rejetées pour greffe sont découpées au laser femtoseconde en une quinzaine de lamelles. Celles-ci sont analysées en OCT, sculptées selon les paramètres choisis au laser excimer puis ré-analysées en OCT. Les lenticules conformes sont alors stérilisés par un E-beam, à nouveau contrôlés en OCT, puis emballés dans un milieu liquide permettant une conservation à température ambiante pendant deux ans (fig. 4).

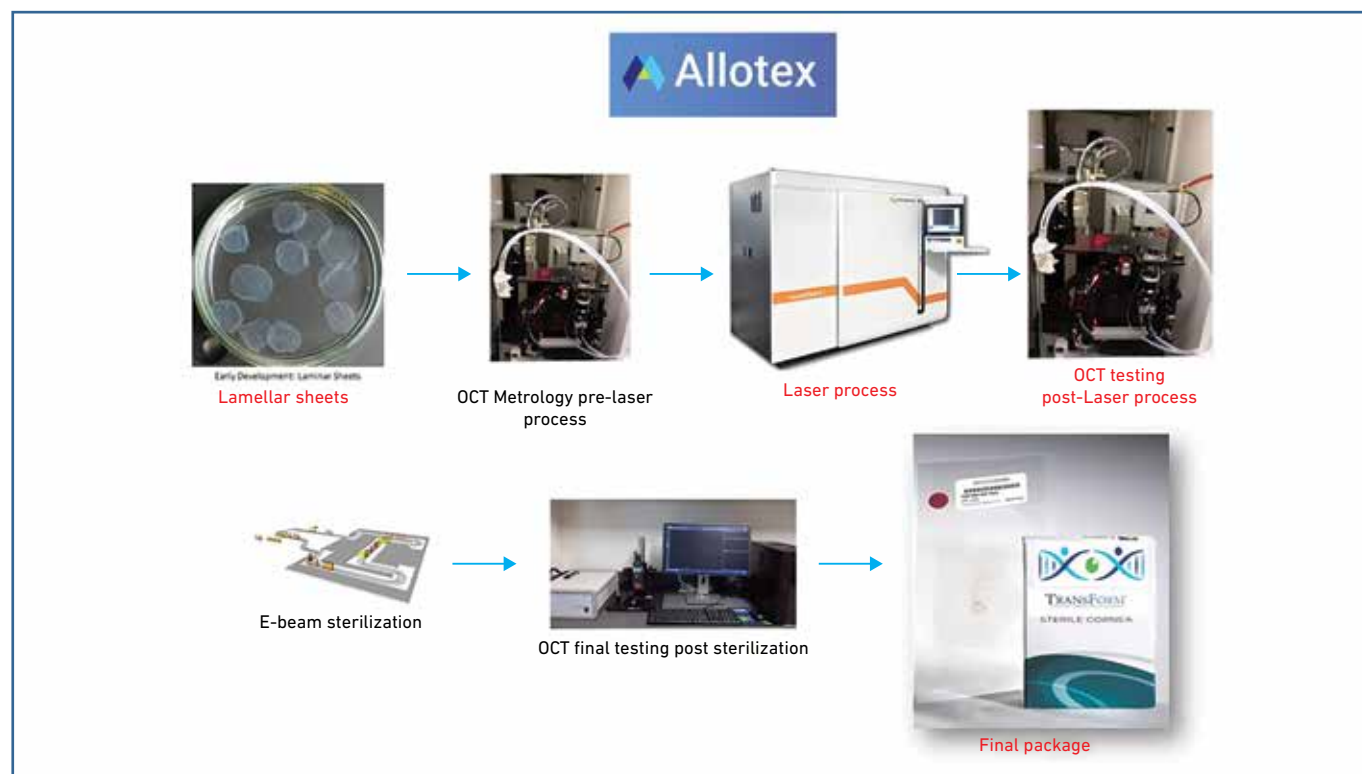


Fig. 4 : Circuit de production d'un lenticule.

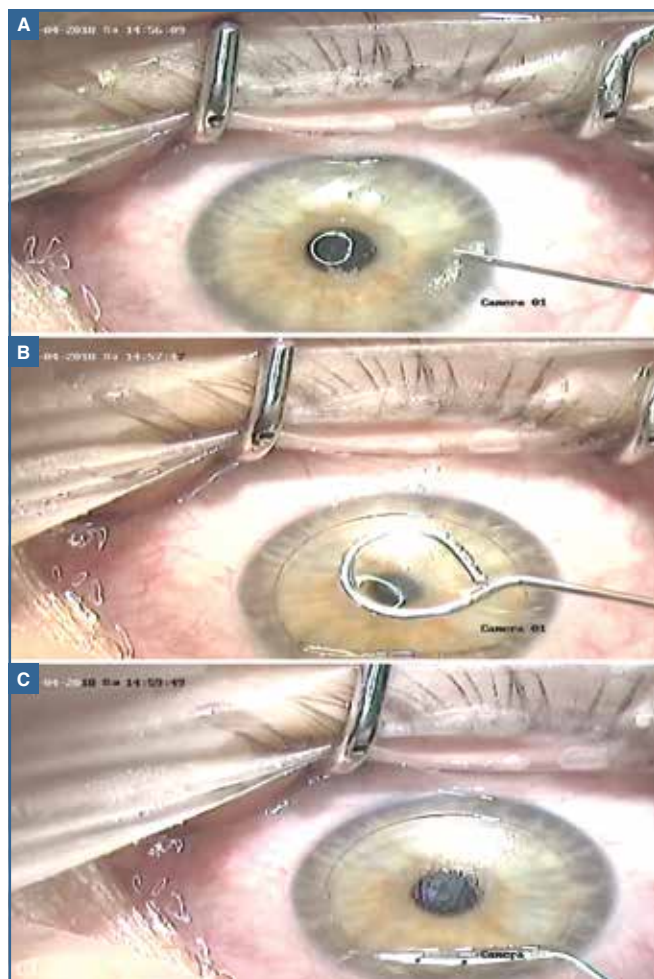


Fig. 5 A : Création d'un flap Lasik à 110 μ m. B : mise en place du lenticule en *inlay*. C : remise en place du capot Lasik.

La technique chirurgicale du positionnement du lenticule en *inlay* comporte trois étapes : la première consiste en la réalisation d'un flap Lasik sur la cornée réceptrice au laser femtoseconde avec une épaisseur de capot d'environ 110 μ m. Lors de la seconde, le lenticule est positionné, centré sur la pupille. Dans un troisième et dernier temps, le capot du Lasik est remis en place (**fig. 5**).

Deux types de lenticules sont actuellement disponibles : un pour la presbytie (diamètre de 2,75 mm, épaisseur de 15 μ m) et un pour l'hypermétropie (diamètre plus élevé de 5,50 mm).

■ Étude en cours

Afin de tester cette technique prometteuse, une étude multicentrique européenne a été mise en place à la fin de l'année

2018. Elle inclut 8 centres répartis dans toute l'Europe dont 2 sont situés en France : le service du Dr Gatinel à la Fondation Ophtalmologique Adolphe de Rothschild (Paris) et celui du Pr Malecaze au CHU Pierre-Paul Riquet (Toulouse).

Deux cohortes d'études ont été mises en place. La première concerne des patients hypermétropes de +1 à +8 dioptries (équivalent sphérique), traités de façon bilatérale. La seconde enrôle des patients presbytes emmétropes (+0,5 à -0,75 d'équivalent sphérique) bénéficiant d'un traitement unilatéral sur l'œil dominé (+2,5 D) afin de s'affranchir d'une correction optique de près.

Le premier patient a été opéré en septembre 2018 [4]. À ce jour, 10 yeux ont été traités avec un recul à un mois. Les résultats sont les suivants [5] :

>>> Quelle que soit l'amétropie à traiter, l'examen biomicroscopique retrouve un lenticule parfaitement intégré avec des cornées claires (**fig. 6**). L'OCT met en évidence l'interface de la découpe Lasik sans que le lenticule ne soit visualisé (**fig. 7**).



Fig. 6 : Interface cornéenne claire à 1 mois.

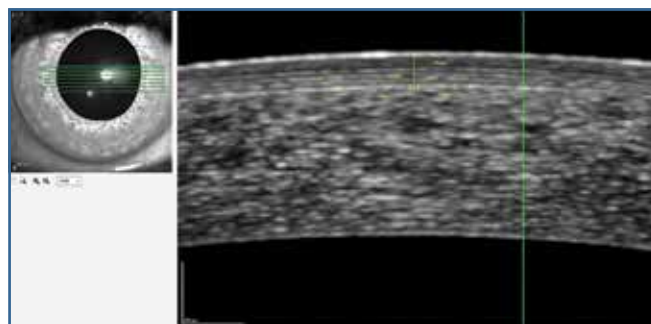


Fig. 7 : Seule la découpe Lasik est visualisée en OCT, le lenticule n'est pas observable.

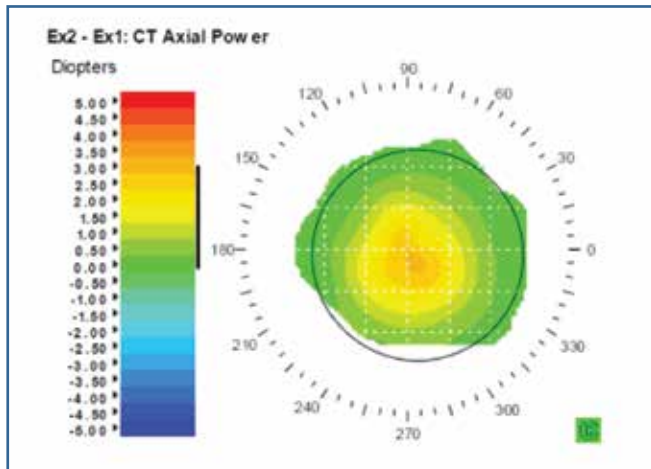


Fig. 8 : Bombement moyen de 2,7 dioptries dans les 3 mm centraux.

>>> Concernant les patients opérés de presbytie, uniquement 3 yeux à ce jour ont bénéficié du traitement avec un gain moyen de l'acuité visuelle sans correction à 40 cm de $4,5 \pm 0,2$ lignes LogMAR. Une baisse de la vision de loin d'une ligne a été observée sur un œil.

>>> Les topographies retrouvent des cornées hyperprolates avec un bombement régulier moyen de 2,7 dioptries dans les 3 mm centraux (fig. 8), tandis que les analyses aberrométriques mettent en évidence une majoration des aberrations sphériques de haut degré (4^e et 6^e ordre).

>>> Dans le groupe des patients traités d'hypermétropie, la meilleure acuité visuelle non corrigée a été améliorée chez tous les patients. Sur le plan réfractif, on note une sous-correction de 25 % chez la majorité des patients, sans perte de leur meilleure acuité visuelle corrigée. Un nomogramme d'ajustement a été rapidement élaboré (fig. 9).

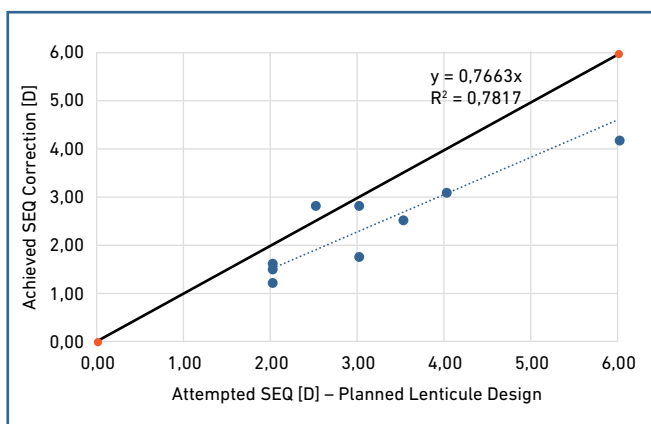


Fig. 9 : Nomogramme d'ajustement.

Discussion

L'espoir théorique suscité par l'allogreffe de lentille cornéenne, permettant un traitement efficace des amétropies grâce à une chirurgie additive et réversible, demande à être confirmé par la réalité clinique. La faisabilité et la sécurité de la technique à 1 mois semblent aujourd'hui admises suite aux premiers essais réalisés. On note d'ores et déjà des pistes d'amélioration, notamment du fait de la sous-correction observée. Le protocole d'étude entrepris devrait être modifié prochainement en utilisant un diamètre de lentille supérieur, mesurant 6,5 mm.

Cette nouvelle stratégie a peut-être une place à prendre dans l'arsenal de la chirurgie de la presbytie et de l'hypermétropie, notamment dans le cadre de l'hypermétropie forte. Dans ce cas particulier, le traitement laser peut induire une mauvaise qualité de vision, et la solution de l'implant phaque est souvent peu envisageable en raison d'une mauvaise tolérance prédictible chez ces patients ayant souvent des chambres antérieures étroites. Enfin, la chirurgie cristallinienne sera rapidement réfutée chez un sujet jeune. L'implantation en *inlay* apparaît dès lors comme une solution envisageable jouissant d'une possibilité de retrait aisée.

D'autres avantages théoriques majeurs sont à prendre en considération. Tout d'abord en termes d'économie tissulaire réalisée, tant au niveau du donneur (15 lentilles sont obtenues à partir d'une cornée unique de donneur), que du receveur. Même si cette chirurgie n'est pas réversible au sens strict du fait de la réalisation d'un capot Lasik, l'absence de soustraction tissulaire et le fait de pouvoir changer la lentille sont indiscutablement en sa faveur.

Ensuite, contrairement aux *inlays* synthétiques, il n'y aura pas de pachymétrie minimale requise et une mise en place sous la membrane de Bowman (dite en *overlay*) serait théoriquement possible. Cette caractéristique offrirait la possibilité d'élargir le panel des traitements de surface aux patients présentant une pachymétrie fine.

D'autre part en terme de tolérance locale, les matériaux non allogéniques synthétiques doivent être placés en profondeur afin d'éviter la part de réaction immunologique active à la partie antérieure de la cornée [6]. Cette limite n'existe pas avec les allogreffes : étant donné qu'aucune réponse immunologique n'est attendue, les lentilles peuvent être greffées de façon plus antérieure et une plus grande liberté est offerte concernant leur épaisseur, forme et diamètre. Les travaux

de Lang *et al.* [7] objectivent la plus grande efficacité d'un positionnement antérieur: lors de la dépose de l'*inlay*, le flap cornéen épouse sa forme. On assiste alors à un remodelage épithélial sur une zone équivalente à 2 fois le diamètre de l'*inlay* avec une modification du profil cornéen antérieur (ascension du point le plus haut améliorant la vision de près et intermédiaire). Les changements épithéliaux sont majeurs dans les zones de plus grand changement de courbure. Ainsi, plus le greffon sera placé de façon antérieure, plus l'effet attendu sera marqué.

De surcroît, on s'attendrait à ce qu'un *inlay* placé sous un capot de Lasik génère potentiellement moins de symptômes de sécheresse étant donné qu'il n'y aurait pas d'ablation excimer des nerfs cornéens ni de retrait du tissu cornéen stromal. Cet effet théorique reste à être confronté à la réalité clinique.

Enfin, si les applications immédiates qui en découlent sont le traitement de la presbytie, de l'hypermétropie et potentiellement de la myopie, on pourrait imaginer un intérêt potentiel dans la correction optique de cornées irrégulières, offrant un traitement additif au CXL.

■ Conclusion

La faisabilité clinique de la technique est aujourd'hui démontrée avec une sécurité constatée à 1 mois. De futurs ajustements seront nécessaires, en particulier l'amélioration des

nomogrammes de correction (avec des lentilles plus larges : 6,5 mm). L'avenir nous dira si cette procédure aura une place pérenne dans le paysage de la chirurgie réfractive, en particulier pour le traitement des hypermétropies fortes et de la presbytie, son caractère réversible constituant actuellement son principal atout.

Bibliographie

1. Health C for D and R. Safety Communications - Increased risk of corneal haze associated with the raindrop near vision inlay: FDA safety communication. <https://www.fda.gov/MedicalDevices/Safety/AlertsandNotices/ucm623973.htm>. Consulté le 27 janvier 2019.
2. BARRAQUER JJ. Bases de la queratoplastia refractiva. *Arch Soc Amer Optal Optom*, 1965;179.
3. SEYEDDAIN O, HOHENSINN M, RIHA W *et al.* Small-aperture corneal inlay for the correction of presbyopia: 3-year follow-up. *J Cataract Refract Surg*, 2012;38:35-45.
4. First patient treated in multicenter trial examining allotex transform allogenic refractive lenticules for treatment of presbyopia – Eyewire News. <https://eyewire.news/articles/first-patient-treated-in-multicenter-trial-examining-allotex-transform-allogenic-refractive-lenticules-for-treatment-of-presbyopia/>. Consulté le 27 janvier 2019.
5. Initial results with allograft corneal inlays. CRSToday. <https://crstoday.com/articles/novdec-2018/initial-results-with-allograft-corneal-inlays/>. Consulté le 25 janvier 2019.
6. LIMNOPOULOU AN, BOUZOUKIS DI, KYMIONIS GD *et al.* Visual outcomes and safety of a refractive corneal inlay for presbyopia using femtosecond laser. *J Refract Surg*, 2013;29:12-18.
7. LANG AJ, HOLLIDAY K, CHAYET A *et al.* Structural changes induced by a corneal shape-changing inlay, deduced from optical coherence tomography and wave-front measurements. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016;57:OCT154-OCT161.

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



J.-L. FEBBRARO
Fondation Adolphe de Rothschild, PARIS.
jl_febbraro@hotmail.com

Syndrome de l'iris flasque dans la chirurgie de la cataracte : intérêts des différents anneaux de dilatation irienne

Le syndrome IFIS (*Intraoperative Floppy Iris Syndrome*), ou syndrome de l'iris flasque, est caractérisé par la présence plus ou moins marquée d'ondulation irienne, de myosis progressif et d'un prolapsus de l'iris peropératoires. Ce syndrome, décrit pour la première par Chang et Campbell en 2005, survient fréquemment chez les patients opérés de la cataracte et traités par alpha-bloquants pour hypertrophie prostatique bénigne [1]. Il concerne environ 4 % des 800 000 cataractes opérées chaque année en France, ce qui représente potentiellement plusieurs milliers de patients. La chirurgie de la cataracte chez ces patients peut être marquée par des difficultés peropératoires en cas de flaccidité importante de l'iris [2].

Syndrome IFIS		
Stade 1		Iris flasque
Stade 2		Iris flasque Myosis
Stade 3		Iris flasque Myosis Prolapsus irien

Tableau I : Grades de sévérité du syndrome IFIS.

Le comportement de l'iris lors de la phacoémulsification permet distinguer 3 grades de sévérité (**tableau I**) :

- grade 1 : iris légèrement flasque ;
- grade 2 : iris flasque et myosis progressif ;
- grade 3 : iris flasque, myosis et prolapsus de l'iris.

■ Quels alpha-bloquants induisent le plus de syndrome IFIS sévère ?

Parmi les alpha-bloquants, la tamsulosine et l'alfuzosine sont les plus couramment prescrits en raison de leur urosélectivité. La tamsulosine se différencie tout particulièrement des autres alpha-bloquants par son hyper-sélectivité pour les récepteurs alpha-1A. Cette hyper-sélectivité diminue les risques d'effets systémiques indésirables, tels que l'hypotension orthostatique [3]. Cependant, ces récepteurs alpha-1A sont particulièrement nombreux au niveau de la prostate mais aussi dans le muscle dilatateur de l'iris, ce qui explique le syndrome oculaire. D'autres alpha-bloquants, comme la doxazosine, la térazosine et la prazosine, sont moins sélectifs et auraient de ce fait moins d'impact sur l'iris (**tableau II**).

La plupart des études publiées montrent que la tamsulosine est l'alpha-bloquant le plus fréquemment associé avec le

Tamsulosine (sélectif récepteurs α -1A)	Omix, Omixel, Jozir, Mecir
Silodosine (sélectif récepteur α -1A)	Silodyx, Urorec
Alfuzosine	Xatral, Urion
Doxazosine	Zoxan
Prazosine	Alpress, Minipress
Térazosine	Hytrine, Dysalfa

Tableau II : Liste des différents alpha-bloquants prescrits pour l'hypertrophie bénigne de la prostate.

syndrome IFIS, avec des grades de sévérité plus marqués. En effet, le syndrome survient dans 57-90 % des patients traités par tamsulosine, dont plus de la moitié atteint un grade 2 ou 3, contre seulement 2-15 % des patients traités par d'autres alpha-bloquants non sélectifs [1, 2, 4, 5]. Plus récemment, des effets similaires à la tamsulosine ont également été décrits avec la silodosine.

■ Que faire en préopératoire ?

1. Interrogatoire

Plusieurs études ont retrouvé que les stades sévères de ce syndrome sont associés à un taux élevé de complications opératoires. Ces complications, survenant dans 7 à 22 % selon les auteurs, sont significativement plus fréquentes chez les patients traités par tamsulosine. Cependant, le risque de complications diminue lorsque le chirurgien a été informé du traitement et a pu prendre des mesures appropriées avant ou pendant l'intervention [1, 2].

Pour cette raison, il apparaît utile d'orienter précisément l'interrogatoire de façon systématique avant une intervention de cataracte, et d'informer le patient, le chirurgien et le médecin prescripteur de l'existence de ce syndrome.

2. Faut-il arrêter les alpha-bloquants avant la chirurgie ?

Des traces de tamsulosine ont été retrouvées dans l'humeur aqueuse des patients traités 4 ans après l'arrêt du traitement [6]. De plus, un amincissement et une atrophie irienne ont été retrouvés chez les patients traités par tamsulosine [7]. Chez certains patients, le syndrome IFIS a été décrit plusieurs années après l'arrêt du traitement. L'arrêt du traitement ne semble donc pas recommandé.

3. Dilatation préopératoire

L'instillation d'atropine 1 %, à raison d'une goutte 2 fois par jour 2 jours avant la chirurgie, peut améliorer la dilatation peropératoire selon certains auteurs [8, 9]. Cependant, la dilatation peut s'avérer être inconstante voire insuffisante pour la durée de la chirurgie.

L'évaluation de la dilatation préopératoire est un indicateur du grade de sévérité potentiel du syndrome IFIS en peropératoire : une dilatation inférieure à 7 mm n'est pas de bon pronostic.

■ Quand avoir recours aux crochets ou anneaux de dilatation ?

Une dilatation moyenne (5 mm environ) n'est pas forcément incompatible avec une intervention bien conduite par un chirurgien expérimenté, à condition que l'iris présente une certaine stabilité en termes de tonicité. Dans ces cas, une technique opératoire appropriée, comprenant une limitation des niveaux de flux et d'aspiration et des manœuvres de phacoexérèse limitées au centre, peut suffire. Les dispositifs mécaniques de dilatation irienne deviennent indiqués en cas de flaccidité irienne avérée en peropératoire, dès le début de l'intervention, ou de dilatation insuffisante préopératoire, notamment chez les patients traités par alpha-bloquants sélectifs.

1. Crochets à iris

Les crochets sont particulièrement utiles, surtout en cas de myosis associé à des irrégularités du sphincter irien, de chambre antérieure étroite ou dans un œil de petite taille. De plus, les crochets sont peut-être plus faciles à placer que les anneaux lorsque le capsulorhexis est déjà complété ou plus généralement lors d'un myosis progressif en cours d'intervention. La dilatation est optimisée par le placement de 6 crochets, bien répartis sur 360° pour obtenir une forme régulière en diamant, et ajustés avec une tension modérée pour limiter le risque de lésion du sphincter irien en postopératoire (*fig. 1*).

2. Anneau de Malyugin

L'anneau d'expansion irienne, développé par Malyugin, est constitué d'un anneau de prolène 5/0 qui peut être injecté et



Fig. 1 : Dilatation irienne obtenue par 6 crochets.

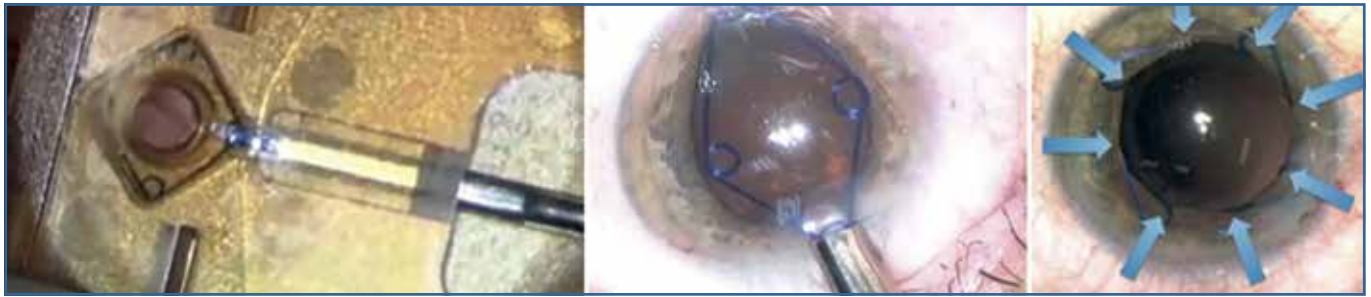


Fig. 2 : Anneau de dilatation de Malyugin, en prolène 5/0, assurant une dilatation circulaire grâce aux 8 points d'appui iriens.

retiré avec son propre injecteur à usage unique à travers une incision de phaco de 2,2 mm (version 2.0). L'insertion de l'anneau peut être facilitée par l'injection de visqueux à haute viscosité sous l'iris au niveau des boucles du dispositif. La dilatation est quasi circulaire malgré la forme carrée du dispositif, grâce aux 8 points d'appui de l'anneau. Les deux diamètres disponibles (6,25 et 7 mm) permettent d'obtenir des dilatations proches des dimensions de l'anneau (*fig. 2*). Ce dispositif assure une dilatation régulière sur 360° et stable, quel que soit le degré de sévérité du syndrome lors de la phacoémulsification.

Le retrait de l'anneau est assuré d'abord par le désengagement en douceur des boucles latérales ou distales, puis par la mobilisation de la boucle en regard de l'incision avant l'extraction par l'incision principale avec l'injecteur. La présence de visqueux en chambre antérieure est indispensable pour le retrait de l'anneau, mais en cas d'implantation torique, l'aspiration sélective du visqueux sous l'implant permet de stabiliser le placement souhaité de l'implant, tout en gardant une quantité suffisante en chambre antérieure pour extraire l'anneau.

3. Anneau de dilatation B-HEX

Cet anneau de dilatation irienne développé en Inde par le Dr Bhattacharjee est de conception plus récente. Il est composé de Nylon 5-0, de forme hexagonale, et est disponible en deux tailles (6,5 et 7 mm) (*fig. 3*). Ce dispositif est de conception quasi plane donc particulièrement fin. Il est de ce fait injectable à travers une incision de 1 mm. Il nécessite un positionnement précis des encoches sur l'iris, mais assure néanmoins une bonne stabilité du plan irien en peropératoire.

La dilatation obtenue avec le dispositif est comme pour les autres anneaux, légèrement inférieure à celle du diamètre choisi. Son faible encombrement, inférieur à celui des autres dispositifs, est un atout précieux en cas de chambre étroite, ou d'yeux de petite taille.

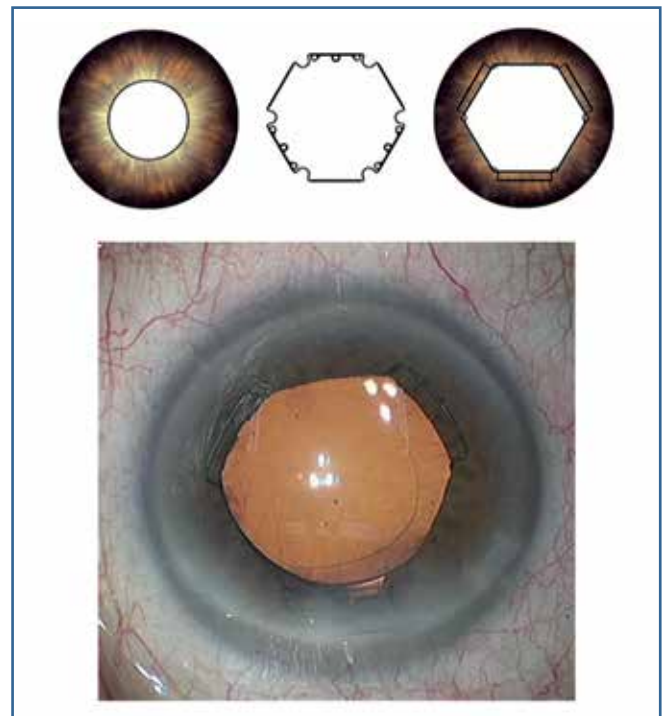


Fig. 3 : Anneau de dilatation B-HEX, en Nylon 5-0, plan, assurant une dilatation hexagonale.

4. Dispositif de dilatation irienne APX

Ce dispositif, composé de 2 pinces dilatatrices jetables en plastique rigide, a été développé par le Dr Assia en Israël. Chaque pince est insérée en chambre antérieure à travers une mini-incision proche de 1,5 mm, à 90° de l'incision principale. Elle est ensuite ouverte et engagée sur le bord de l'iris au niveau de ses deux extrémités. Les deux pinces ainsi placées permettent une dilatation rectangulaire d'environ 6 mm (*fig. 4*).

Ce dispositif se distingue des autres par sa structure solide, qui peut nécessiter une certaine dextérité pour sa mise en place.



Fig. 4 : Pincettes de dilatation APX, en plastique rigide, assurant une dilatation rectangulaire.

5. Anneau de dilatation I-Ring

Ce dispositif est un anneau souple de forme circulaire en polyuréthane. Il présente 4 portions triangulaires qui assurent le maintien de la dilatation irienne et la stabilité du dispositif (*fig. 5*). Le positionnement de l'anneau s'effectue grâce aux trous placés au centre de chaque triangle à l'aide d'un crochet de Sinskey. Il permet d'obtenir une dilatation de 6 mm environ.



Fig. 5 : Anneau de dilatation I-Ring, en polyuréthane souple, assurant une dilatation circulaire.

■ Conclusion

Une mydriase préopératoire de qualité est indispensable pour garantir la sécurité et le succès de la chirurgie de la cataracte. Une dilatation insuffisante signe le syndrome IFIS, fréquemment retrouvé chez les patients traités pour hypertrophie

bénigne de la prostate par alpha-bloquants urosélectifs. Les formes sévères de ce syndrome rendent la chirurgie plus délicate et augmentent le risque de complications, surtout si le chirurgien n'est pas informé.

L'information du chirurgien et du patient est de ce fait essentielle. Elle implique un interrogatoire préopératoire systématique pour adapter la stratégie chirurgicale. L'utilisation de produits dilateurs en intracamerulaire peut suffire dans certains cas, mais le recours à des dispositifs mécaniques peut s'avérer indispensable dans d'autres cas.

Plusieurs types de dispositifs sont désormais disponibles sur le marché. Ils sont tous efficaces en termes de dilatation, mais diffèrent par leur encombrement, souplesse et facilité de manipulation. Ils constituent ainsi un arsenal thérapeutique de plus en plus complet et sécurisant pour optimiser les chances de succès chirurgical chez ces patients.

Bibliographie

1. CHANG DF, CAMPBELL JR. Intraoperative floppy iris syndrome associated with tamsulosin. *J Cataract Refract Surg*, 2005;31:664-673.
2. CHANG DF, OSHER RH, WANG L *et al*. Prospective multicenter evaluation of cataract surgery in patients taking tamsulosin (Flomax). *Ophthalmology*, 2007;114:957-964.
3. ROEHRBORN CG, SCHWINN DA. Alpha1-adrenergic receptors and their inhibitors in lower urinary tract symptoms and benign prostatic hyperplasia. *J Urol*, 2004;171:1029-1035.
4. BLOUIN MC, BLOUIN J, PERREAULT S *et al*. Intraoperative floppy-iris syndrome associated with alpha 1-adrenoreceptors; comparison of tamsulosin and alfuzosin. *J Cataract Refract Surg*, 2007;33:1227-1234.
5. SRINIVASAN S, RADOMSKI S, CHUNG J *et al*. Intraoperative floppy-iris syndrome during cataract surgery in men using alpha-blockers for benign prostatic hypertrophy (letter). *J Cataract Refract Surg*, 2007;33:1826-1827.
6. PARSSINEN O, LEPPANEN E, KESKI-RAHKONEN P *et al*. Influence of tamsulosin on the iris and its implications for cataract surgery. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2006;47:3766-3771.
7. PRATA TS, PALMIERO PM, ANGELILLI A *et al*. Iris morphological changes related to alpha1-adrenergic receptors antagonists. *Ophthalmology*, 2009;116: 877-881.
8. BENDELL RE, PHILIPS MB. Preoperative use of atropine to prevent intraoperative floppy-iris syndrome in patients taking tamsulosine. *J Cataract Refract Surg*, 2006;32:1603-1605.
9. MASKET S, BELANI S. Combined preoperative topical atropine sulphate 1 % and intracameral nonpreserved epinephrine hydrochloride 1 : 4000 (corrected) for management of intraoperative floppy-iris syndrome. *J Cataract Refract Surg*, 2007;33:580-582.

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



M. SELLAM
Centre Explore Vision, RUEIL-MALMAISON.
drsellam@hotmail.fr

Cataractes : quels biomètres et quelles formules en 2019 ?

■ Biomètres optiques en 2019

La biométrie optique est de loin la technique de référence en 2019 pour tous les calculs biométriques avant chirurgie de la cataracte. La biométrie ultrasonore en mode B garde sa place en cas de trouble des milieux intense, bien que la pénétration du signal se soit nettement améliorée en mode optique ces dernières années.

Il existe aujourd'hui 10 biomètres optiques commercialisés utilisant 3 technologies différentes (**tableau I**, bien que toutes basées sur l'analyse d'interférences de franges optiques) que nous allons passer en revue. Ce qui est intéressant d'emblée par rapport aux années antérieures, c'est la place grandissante des biomètres optiques utilisant la technologie OCT *Swept Source* (technologie la plus utilisée), permettant souvent un très bon passage, même en cas de cataractes denses, mais aussi une analyse de la région maculaire.

Même si la connaissance des caractéristiques de son biomètre et l'habitude de son utilisation dans la chaîne de données recueillies en préopératoire sont importantes (car il faut bien l'avouer, les différents biomètres disponibles aujourd'hui sont pour la plupart comparables entre eux en termes de précision des mesures, avec les avantages et caractéristiques propres à chacun et cités plus haut), le choix optimal de la

formule biométrique est bien davantage prépondérant dans le résultat réfractif escompté. D'autres paramètres, non développés ici, comptent également, comme le geste chirurgical, la précision des implants et de la "constante" A.

D'une façon générale, un bon appareil ne suffit pas : une bonne prise de mesure intelligente est toujours indispensable. Il faudra par exemple prendre garde à la position de la tête pour ne pas fausser les mesures kératométriques ou au risque d'erreurs de mesures de la chambre antérieure chez un patient dilaté (risque de surestimation de la profondeur de chambre antérieure) [1].

Sans vouloir faire un catalogue technique des différents appareils, ce qui ne présenterait que peu d'intérêts, nous présenterons ici les principales caractéristiques des biomètres existants actuellement.

1. IOLMaster 500 et 700 (Carl Zeiss)

Le modèle 500 a succédé au premier biomètre optique fondé sur la PCI et reste tout à fait indiqué dans la plupart des cataractes standards, mais son grand frère, le 700, basé sur la technologie OCT *Swept Source*, présente de nombreux avantages supplémentaires et devra être préféré pour les implants premiums pour plusieurs raisons :

- un bien meilleur taux de passage sur cataractes denses ;
- la visualisation d'une fenêtre maculaire de 2 mm ;
- la mesure de l'épaisseur cristallinienne (LT) permettant l'accès aux formules de 3^e ou 4^e génération, plus précises ;
- la possibilité de mesurer le pouvoir cornéen total (faces antérieures et postérieures de la cornée) avec le *true corneal power*.

Les formules disponibles sur le IOLMaster 700 sont : SRK/T, Holladay II, Hoffer Q, Haigis suite (Haigis, Haigis L (post-réfractif) et Haigis T (implants toriques)), et Barrett TK (Universal II et Toric).

PCI (<i>Partial Coherence Interferometry</i>)	IOLMaster 500 (Zeiss), AL-Scan (Nidek), Aladdin (Topcon)
OLCR (<i>Optical Low Coherence Reflectometry</i>)	Lenstar LS900 (Haag-Streit), Galilei G6 (Ziemer)
OCT (<i>Swept Source</i>)	IOLMaster 700 (Zeiss), Master OCT (Moptim), OA-2000 (Tomey), REVO NX (Optopol), Movu (Argos)

Tableau I : 10 biomètres optiques commercialisés utilisant 3 technologies différentes.



Fig. 2 : OA-2000 (Tomey).

pouvoir cornéen total et de bénéficier des formules biométriques présentes sur le Casia.

Les formules utilisées avec l'OA-2000 sont : SRK/II/T, Holladay, Haigis, Hoffer Q (+ Olsen et Barrett II si couplé au Casia), et Shammas et double K d'Arramberri pour les calculs après chirurgie réfractive cornéenne.

8. REVO NX (Optopol)

Le REVO NX a d'abord été conçu comme un OCT-angio *Spectral Domain* pour l'analyse du segment postérieur. Un logiciel optionnel permet l'analyse des données à visée biométrique et d'obtenir ainsi la LA, ACD, LT et la pachymétrie cornéenne. La qualité des images obtenues, tant celles du segment antérieur que du segment postérieur, est probablement la meilleure des OCT biomètres actuellement disponibles (fig. 3). Les mesures kératométriques nécessitent également l'installation optionnelle d'un logiciel supplémentaire de topographie cornéenne (avec mesure du pouvoir cornéen total), afin de compléter la polyvalence de l'appareil.

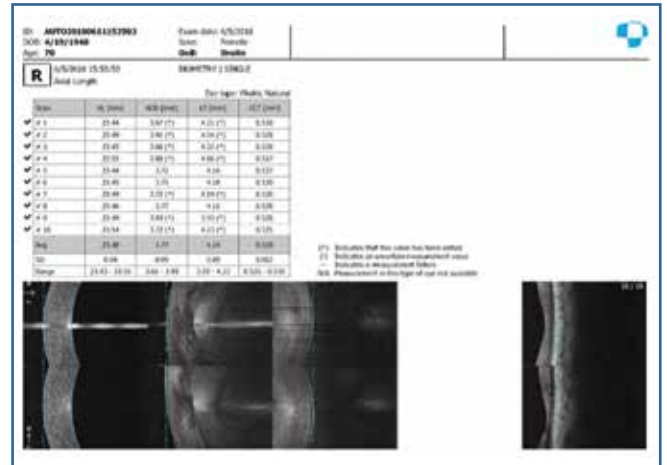


Fig. 3 : La qualité des images obtenues avec le REVO NX est probablement la meilleure des OCT biomètres actuellement disponibles.

9. Movu (Argos)

Le Movu est un des plus récents et des plus aboutis biomètres optiques : il permet l'acquisition des mesures extrêmement rapidement (moins de 1 s) et permet d'obtenir une vue d'ensemble 2D de tout l'œil grâce à la technologie OCT-SS (fig. 4).

Un des points clés de ce biomètre optique, comparé aux autres, semble être sa précision à mesurer la LA d'une part en effectuant la somme des différents milieux traversés avec leur propre indice de réfraction chacun (contrairement aux autres appareils qui utilisent un indice unique moyenné), et d'autre part grâce à la technologie utilisée avec un balayage ultra-rapide jusqu'à 3000 lignes/s. Or, on sait l'importance des variations de LA (0,1 mm d'erreur entraîne 0,3 D d'erreurs chez l'hypermétrope et 0,2 D chez le myope).

La kératométrie est mesurée par 16 diodes infrarouges.



Fig. 4 : Le Movu permet d'obtenir une vue d'ensemble 2D de tout l'œil grâce à la technologie OCT-SS.

Les formules intégrées à l'appareil sont les suivantes : Haigis, Hoffer Q, Holladay I, SRK/T, Shammas (après chirurgies réfractives), Barrett Universal, Barrett True-K et Toric Calculator.

■ Formules biométriques (encore) utilisées en 2019

Plusieurs formules de calcul existent à notre disposition (**tableau II**), et il peut être parfois difficile de s'y retrouver avec l'arrivée régulière de nouvelles formules. Or, le résultat réfractif postopératoire dépend, entre autres, du choix de la bonne formule. Cet article essaie de vous donner les outils pour choisir la bonne.

1. Les formules de 2^e génération

Elles reposent sur la longueur axiale (LA) et la kératométrie (K) ainsi que la constante A. Toutes les trois gardent encore leur place lorsque la LA est comprise entre 22,5 et 24,5 mm (soit 72 % de la population) [2, 3]. La formule SRK II doit être abandonnée.

Au-delà de 24,5 mm, il ne faut pas utiliser les formules Hoffer Q ou Holladay I mais il est encore possible d'utiliser la formule SRK-T : en effet, même si d'autres formules semblent donner de meilleurs résultats réfractifs (**tableau III**) [4], la

Formules de 2 ^e génération	SRK-T, Hoffer Q, Holladay I
Formules de 3 ^e génération	Haigis, Olsen, Holladay II
Formules de 4 ^e génération	Hill-RBF, Barrett Universal II

Tableau II : Formules biométriques utilisées.

SRK-T permet d'obtenir un résultat réfractif à $\pm 0,25$ D dans 38,3 % des cas et à $\pm 0,50$ D dans 69,6 % des cas. En cas de globe court, avec une LA < 22,5 mm, les formules Hoffer Q et Holladay I peuvent être utilisées s'il n'est pas possible de faire mieux (c'est-à-dire avec les formules de 3^e ou 4^e génération).

2. Les formules de 3^e génération

Ces formules intègrent les mêmes données que celles de 2^e génération mais prennent en compte l'importance de la position effective de l'implant (ELP), et intègrent donc de nouvelles variables dans leur calcul. Ainsi, la formule de Haigis inclut en plus la profondeur de chambre antérieure (ACD), celle d'Olsen ajoute à celle de Haigis l'épaisseur du cristallin (LT) et la réfraction, et celle de Holladay II ajoute encore le diamètre blanc à blanc (WTW) et l'âge du patient à la précédente...

>>> La formule de Haigis est une excellente formule pour les LA > 22,5 mm à condition toutefois que les 3 constantes A (a0, a1 et a2) de l'implant utilisé soit à jour, et que les mesures soient effectuées sur le IOLMaster (la formule reposant sur les différentes variables techniques de l'appareil).

>>> La formule d'Olsen est novatrice puisqu'elle utilise le *ray tracing* comme outil de calcul de la kératométrie, ce qui est une approche bien plus réaliste que le modèle jusqu'alors utilisé de *thin lens* qui assimilait la cornée à une simple interface optique. Cette technique permet de mieux évaluer le pouvoir cornéen total et diminue également les erreurs liées aux cornées irrégulières ou opérées (photoablatées). Cette formule est également la première à inclure la LT, par la prise en compte du 2^e facteur biométrique le plus en cause d'erreurs réfractives postopératoires (avec le pouvoir cornéen total), l'ELP. Cette formule est une excellente formule

	Haigis	Hoffer Q	Holladay I	SRK/T	Barrett Universal II	T2	Holladay II
G 0,25 D	38,8	37,9	39,4	38,3	43,5	39,9	37,9
G 0,50 D	68,3	67,2	69,4	69,6	72,3	70,0	67,4
G 1,00 D	92,9	92,7	93,7	93,8	94,5	93,9	93,7
G 2,00 D	99,6	99,6	99,6	99,7	99,9	99,7	99,7

Tableau III : Comparaison des résultats réfractifs selon différentes formules biométriques.

qu'il est préférable d'utiliser toutefois sur le Lenstar LS900, pour les mêmes raisons que celle d'Haigis (citées ci-dessus). Kane [4] a en effet démontré qu'Olsen donnait de moins bons résultats sur un biomètre optique utilisant la PCI, et que par ailleurs la formule d'Olsen donnait de meilleurs résultats dans sa version achetée en ligne sur le site d'Olsen que sur la version intégrée au Lenstar LS900...

3. Les formules de 4^e génération

Il s'agit principalement des formules de Barrett Universal II et de Hill-RBF. Il existe d'autres formules, dont l'utilisation reste plus confidentielle et qui ne semble pas donner de meilleurs résultats que celles dont nous allons parler ici (FullMonte IOL, Super Formula de Ladas...).

>>> La formule de Barrett Universal II reste, comme les formules de 2^e génération, une formule théorique de vergence reposant sur les variables suivantes : LA, K, ACD, LT et WTW. Il a cependant été démontré sa supériorité en 2016 avec 43,5 % de résultats postopératoires à 0,25 D et 72,3 % à 0,5 D [4]. L'avantage principal de cette formule est lié au fait que la position réfractive de l'implant est une variable majeure du modèle mathématique : elle introduit ainsi, en plus de la constante A, une variable appelée *lens factor* propre à chaque implant (et à chaque biomètre !) qu'il convient de connaître. Des mises à jour régulières sont effectuées. À titre d'exemple, dans la dernière actualisation pour l'implant Tecnis 1 ZCB00 de chez AMO, la constante A est 119,3 et le *lens factor* 2,0. La formule est en ligne sur le site suivant : www.apacrs.org/barrett_universal2/.

>>> La formule de Hill-RBF [5] est la formule la plus originale et, je trouve, la plus intéressante car elle ne repose pas sur un modèle classique de calcul de vergences mais sur l'intelligence artificielle (*radial basis function*). Ainsi, la formule se base sur l'analyse de données et sur l'amélioration progressive des résultats avec l'augmentation du nombre de

données par auto-apprentissage de l'intelligence artificielle. Elle a été initialement développée sur 12000 yeux implantés avec un IOL SN60WF mesuré au Lenstar avec la formule SRK-T et pour des puissances allant de +6 à +30 dioptries, et fonctionne sur tout type de LA et d'anatomie du segment antérieur. La formule est accessible en ligne sur le site suivant : rbfcalculator.com/online/index.html.

■ Conclusion

La plupart des biomètres optiques en 2019 utilisent plusieurs technologies combinées, avec une augmentation de la technologie OCT *Swept Source* ces dernières années, permettant un meilleur passage en cas de cataractes denses et une amélioration des mesures kératométriques. Chaque appareil présente ses propres formules intégrées avec un choix s'étendant aux formules de dernière génération, et à chaque fois au moins une formule de calcul après chirurgie réfractive (le plus souvent non historique).

Bibliographie

1. RODRIGUEZ-RATON A, JIMENEZ-ALVAREZ M, ARTECHE-LIMOUSIN L *et al.* Effect of pupil dilation on biometry measurements with partial coherence interferometry and its effect on IOL power formula calculation. *Eur J Ophthalmol*, 2015;25:309-314.
2. ARISTODEMOU P, KNOX CARTWRIGHT NE, SPARROW JM *et al.* Formula choice: Hoffer Q, Holladay 1, or SRK/T and refractive outcomes in 8108 eyes after cataract surgery with biometry by partial coherence interferometry. *J Cataract Refract Surg*, 2011;37:63-71.
3. COOKE DL, COOKE TL. Comparison of 9 intraocular lens power calculation formulas. *J Cataract Refract Surg*, 2016;42:1157-1164.
4. KANE JX, VAN HEERDEN A, ATKIN A *et al.* Intraocular lens power formula accuracy: comparison of 7 formula. *J Cataract Refract Surg*, 2016;42:1490-1500.
5. HILL WE. IOL power selection by pattern recognition. *ASCRS EyeWorld Corporate Education*, ASCRS 2016.

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



L. GAUTHIER
Espace Hélios, Layatz II, SAINT-JEAN-DE-LUZ.
docteurgauthier@ophtaluz.com

Optimisation des résultats du calcul d'implant et intelligence artificielle

L'intelligence artificielle (IA) et le Big Data sont deux technologies en plein essor dont la combinaison révolutionne aujourd'hui toutes les prises de décision dans tous les domaines.

Tout d'abord, il faut définir l'intelligence artificielle. Il s'agit, en résumé, d'une science dont le but est de faire faire par une machine des tâches que l'homme accomplit en utilisant son intelligence.

Cette notion a vu le jour dans les années 1950 grâce au mathématicien Alan Turing, devenu célèbre par le test qui porte son nom, dans lequel un sujet interagit à l'aveugle soit avec un humain soit avec une machine. Lorsque ce sujet n'est pas capable de déterminer si c'est l'être humain ou la machine qui lui a répondu, cette machine devra être considérée comme intelligente.

Le Big Data, traduit par "données massives", recouvre des volumes de données tellement importants qu'ils échappent à l'analyse humaine. Certains ont essayé de le définir par la puissance informatique nécessaire pour les traiter, mais cette notion est devenue trop fluctuante en raison de l'explosion des capacités de calcul.

De nouveaux concepts voient le jour, faisant appel aux notions d'apprentissage automatique (*machine learning*) et d'apprentissage profond (*deep learning*), la seconde faisant potentiellement partie de la première.

Le champ de l'ophtalmologie, et en particulier du calcul d'implant, commence à être affecté par ces évolutions technologiques même si nous restons pour l'instant dans le cadre d'une intelligence artificielle faible, c'est-à-dire d'une IA non sensible qui se concentre sur la résolution d'une tâche précise sans aucune notion de "conscience" et d'intelligence générale.

■ Le calcul d'implant lors de la chirurgie de la cataracte

Depuis longtemps, ce calcul est basé sur des formules théoriques qui modélisent un œil humain et calculent le trajet des rayons lumineux au sein de cet œil.

1. Les formules de régression ont été établies de manière rétrospective et statistique à partir des éléments biométriques

La formule SRK, développée par Sanders, Retzlaff et Kraft pour le calcul de la puissance de l'implant, ne prenait en compte que la longueur axiale et la kératométrie. Cette formule était $P = A - 2,5 L - 0,9 K$.

La constante A, le plus souvent située entre 117,5 et 120, était censée représenter l'impact de la position de l'implant dans l'œil. Plus cet implant était postérieur, plus la constante de l'implant devait être importante. Cette formule simple, qui pouvait être calculée "à la main", a été utilisée pendant les dix premières années de l'implantation intraoculaire, mais s'est révélée imprécise dès que l'on s'éloignait d'une certaine norme d'œil.

2. Les formules théoriques

Elles utilisent un modèle d'œil simplifié. Elles diffèrent essentiellement par les moyens utilisés pour extrapoler l'ELP. Les formules théoriques de première génération reposant sur les formules de vergence n'utilisaient que la valeur de la longueur axiale pour prédire la profondeur de chambre antérieure. C'était par exemple les formules de Hoffer et Binkhorst.

Les formules théoriques de troisième génération : leur chef de file est la formule SRKT, laquelle utilise, dans le cadre

d'une formule très sophistiquée, le couple kératométrie et longueur axiale pour prédire la position de l'implant. Il existe au sein de cette formule deux sous-groupes pour des longueurs axiales supérieures ou inférieures à 24,4 mm. Cette formule est publiée intégralement, mais ne peut se résumer à une équation simple et nécessite un logiciel pour la mettre en œuvre (*fig. 1*). Il s'agit toujours aujourd'hui de l'une des formules leader en raison de la transparence des calculs effectués et de la bonne reproductibilité de ses résultats.

La formule de Hoffer Q intègre un mode de prédiction différent de l'ELP et serait adaptée, selon la plupart des auteurs, pour des globes oculaires courts.

La formule de Haigis introduit un paramètre supplémentaire pour estimer l'ELP : c'est la profondeur de chambre antérieure mesurée. La kératométrie n'est plus utilisée ici pour extrapoler la profondeur de chambre antérieure, car celle-ci est mesurée directement par l'IOLMaster. Cette formule incomplètement publiée est intimement liée à ce dispositif. Elle serait plus adaptée à des kératométries qui s'éloignent des valeurs moyennes. Cependant, elle ne donne pas, sur l'ensemble du spectre biométrique, des résultats significativement supérieurs à la SRKT, qui utilise pourtant une donnée biométrique de moins.

La formule d'Olsen intègre un quatrième paramètre, à savoir l'épaisseur du cristallin, en présupposant que l'implant vienne se positionner au niveau de l'équateur du cristallin. Seuls les biomètres optiques de dernière génération sont capables de mesurer cette épaisseur, cette formule n'a pour l'instant été utilisée que sur le Lenstar.

3. L'intelligence artificielle

L'IA et les raffinements statistiques liés au Big Data vont très vite bousculer ces classifications et ces formules établies depuis de nombreuses années. En effet, les retours d'expérience, en utilisant ces formules, vont permettre d'améliorer leurs résultats par des biais purement statistiques.

On pourrait envisager aujourd'hui des formules sans formules, uniquement statistiques, qui prédiraient le résultat, non pas en fonction de paramètres dont on comprendra le rôle théorique, mais qui anticiperaient ce résultat à partir d'algorithmes purement probabilistes permettant de le comparer à de très nombreux cas dont on connaît les données biométriques et autres préopératoires, et dont on connaît le résultat réfractif.

Emmetropia IOL power, D (IOL_{emme}) :

$$IOL_{emme} = \frac{1000 \times n_a \times (n_a \times r - n_c \text{ml} \times LOPT)}{(LOPT - ACD) \times (n_a \times r - n_c \text{ml} \times ACD)}$$

Fig. 1 : Formule SRKT.

On peut aussi envisager des formules hybrides qui peuvent optimiser le résultat de formules théoriques en fonction de résultats statistiques : ce sont des formules dopées à l'intelligence artificielle. D'ores et déjà, des industriels permettent de calculer sur leur site les implants qu'ils commercialisent, et cela sans donner accès aux bases théoriques des formules qu'ils utilisent.

Les résultats réfractifs souvent excellents qui sont obtenus après la pose de ces implants sont-ils dus à la performance intrinsèque de ces lentilles ou plutôt à la pertinence du calcul théorique ? Cette question reste entière, mais peut très rapidement venir créer le doute sur la nature du produit réellement distribué. Est-ce le dispositif implantable ou le calcul théorique ?

Dans la vente forcée du package "calcul IOL + IOL", on pourrait voir une perte de liberté du choix médical. La boîte noire représentée par de tels algorithmes viendrait entraver une décision dont le médecin reste responsable sans pouvoir juger la pertinence d'algorithmes qui fluctuent au gré des analyses statistiques, sans retour d'information au médecin prescripteur. On peut d'ailleurs penser que nous allons vers des algorithmes en permanence évolutifs et de manière quasi-autonome, à l'image d'algorithmes de Google qui changent presque tous les jours de l'année.

On comprend que, en ophtalmologie comme ailleurs, la maîtrise des données constitue "l'or noir" de demain. Cet accès aux Data peut devenir une richesse paradoxale, un médecin sollicitant un système commercial de service statistique dont il assure lui-même la richesse par l'apport de ses propres données cliniques. Ce modèle est connu par ailleurs. Dans le domaine des avertisseurs routiers, par exemple, un membre va payer pour l'accès à des données qu'il va lui-même contribuer à constituer en les apportant à une communauté qu'il contribue à créer.

En pratique, on recommande aujourd'hui d'utiliser systématiquement des quadri-formules où, pour une biométrie donnée, le résultat des quatre formules principales – par exemple, SRKT, Haigis, Hoffer Q et Holladay voire SRK II – est affiché (*fig. 2*). Sur des yeux standards, la différence de résultats

Nom: Numéro ID: Né(e) le: 15/01/1961 Date d'examen: 15/03/2017 Chirurgien: DR GAUTHIER Lentille: TECNIS ZKB APRES OPTI		Réfraction cible: 0 D n: 1.3375			
OD droite		AL: 24.14 mm (SNR = 99.5) K1: 40.18 D / 8.40 mm @ 9° K2: 42.19 D / 8.00 mm @ 99° R / ES: 8.20 mm (SD = 41.19 mm) Cyl.: -2.01 D @ 9° Prof. chambre ant.: 3.08 mm		OS gauche	
Statut de l'oeil: phaque				Statut de l'oeil: phaque	
SRK®/T		SRK® II		SRK®/T	
Const. A: 119.8		Const. A: 120.4		Const. A: 119.8	
IOL (D)	REF (D)	IOL (D)	REF (D)	IOL (D)	REF (D)
24.5	-1.15	24.5	-1.2	24.5	-1.1
24.0	-0.80	24.0	-0.8	24.0	-0.7
23.5	-0.45	23.5	-0.4	23.5	-0.3
23.0	-0.11	23.0	0.0	23.0	0.1
22.5	0.23	22.5	0.4	22.5	0.5
22.0	0.57	22.0	0.8	22.0	0.9
21.5	0.90	21.5	1.2	21.5	1.3
IOL émmé.: 22.84		IOL émmé.: 23.01		IOL émmé.: 22.98	
Haigis		HofferQ		Haigis	
A0 Const: -1.117		pACD Const: 5.99		A0 Const: -1.117	
A1 Const: 0.21				A1 Const: 0.21	
A2 Const: 0.251				A2 Const: 0.251	
IOL (D)	REF (D)	IOL (D)	REF (D)	IOL (D)	REF (D)
25.0	-1.15	24.5	-0.9	25.0	-1.1
24.5	-0.80	24.0	-0.6	24.5	-0.8
24.0	-0.44	23.5	-0.2	24.0	-0.4
23.5	-0.10	23.0	0.1	23.5	-0.1
23.0	0.25	22.5	0.4	23.0	0.2
22.5	0.59	22.0	0.8	22.5	0.6
22.0	0.93	21.5	1.1	22.0	0.9
IOL émmé.: 23.36		IOL émmé.: 23.17		IOL émmé.: 23.58	
				IOL émmé.: 23.34	

(* = Changez manuellement, !=Valeur limite!)

Fig. 2 : Calculs de biométrie à partir des formules SRKT, SRK II, Haigis et Hoffer Q.

est en général très faible, mais en dehors de ces valeurs habituelles, une comparaison du résultat des différentes formules peut être intéressante car le praticien peut pondérer l'une par rapport à l'autre.

Dans tous les cas, la constante de l'implant devra être secondairement optimisée. Cette procédure consiste à introduire

dans le logiciel du biomètre les résultats réfractifs quelques semaines après la pose. Ce dernier va alors recalculer la constante afin que la moyenne des résultats obtenus soit emmétropisante. Cette procédure, parfois présentée comme l'introduction d'une constante personnalisée, pourrait au contraire représenter une manière d'étalonner son biomètre *a posteriori*.

Cette possibilité ancienne, comprise depuis longtemps déjà dans nos biomètres, est insuffisamment utilisée en routine car elle nécessite d'apporter rétroactivement l'information du résultat réfractif au biomètre, ce qui est rarement fait. Une intégration des logiciels de consultation aux systèmes de calculs améliorera considérablement cette optimisation, au prix de la dépendance toujours plus grande à un système non maîtrisé par le praticien.

En attendant d'utiliser une constante personnelle optimisée et en l'absence de confiance dans la constante fournie par le laboratoire, on pourra utiliser une constante issue de la consultation du site ULIB, où divers utilisateurs publient leur propre constante.

4. Les formules après chirurgie réfractive cornéenne

Tout le monde le sait, les résultats post-chirurgie réfractive cornéenne sont très mauvais si on n'utilise pas des formules particulières. Diverses raisons contribuent à ces erreurs réfractives :

- La mauvaise appréciation de la puissance cornéenne centrale. Elle est en général mesurée sur un cercle entre 2,2 et 3,2 mm du centre, sous-estimant ainsi, la plupart du temps, la variation kératométrique induite par la chirurgie cornéenne.
- L'extrapolation, à partir de la kératométrie et de la profondeur de chambre antérieure, est prise en défaut. Cette dernière est en effet basée sur le principe de la flèche cornéenne, laquelle présuppose qu'une cornée plus plate est associée à une profondeur de chambre antérieure plus faible. Après chirurgie réfractive myopique, la kératométrie est abaissée sans que cette flèche cornéenne soit modifiée.
- La longueur de l'œil est modifiée, en particulier la distance cornée-implant, en raison de l'amincissement de la cornée en cas de chirurgie myopique. Cet élément intervient également dans les calculs.

En pratique, si on veut utiliser la SRKT, il faudra appliquer la formule double K d'Aramberri qui utilise la kératométrie antérieure à l'intervention cornéenne pour prédire la position de l'implant, et la kératométrie postopératoire pour le calcul de vergence. Il convient à tout prix, dans ces cas-là, de proscrire l'utilisation de la SRKT conventionnelle.

La formule Haigis L est dérivée de la formule de Haigis conventionnelle où la puissance cornéenne centrale est extrapolée à partir d'une base de données de 40 yeux ayant

bénéficié d'une chirurgie myopique et/ou l'affinement cornéen est "forfaitisé" sur une base de 120 μm . La profondeur de chambre antérieure n'étant plus extrapolée mais mesurée, elle n'est pas impactée par le changement kératométrique.

De nombreuses autres formules moins diffusées existent et sont disponibles en général sur le site des sociétés savantes. Là aussi, l'irruption du Big Data va à très court terme bouleverser nos habitudes.

■ Les formules de calcul du cylindre de l'implant

Initialement, le calcul du tore de l'implant se résumait à la projection de l'astigmatisme antérieur cornéen à la surface de l'implant intraoculaire, rectifié d'un éventuel astigmatisme chirurgicalement induit (calculateurs en ligne des laboratoires). Les résultats des implants toriques ont certes montré une amélioration considérable des résultats réfractifs cylindriques par rapport aux implants sphériques, associés ou non à des incisions cornéennes relaxantes. Mais ils ont révélé une certaine irrégularité des résultats qui nous ont conduit à nous interroger sur leur origine.

Les résultats statistiques ont révélé une sur-correction de la compensation des astigmatismes conformes et une sous-correction des astigmatismes inverses. Cela a remis en évidence l'existence d'un astigmatisme cornéen antérieur conforme physiologique venant compenser un astigmatisme interne inverse.

Le nomogramme de Baylor intègre cet astigmatisme interne pour des astigmatismes inverses et conformes. Mais seuls les calculateurs qui intègrent un calcul vectoriel permettent théoriquement de calculer ces astigmatismes sur des axes obliques (fig. 3). Il s'agit déjà d'une rectification statistique, certes très

Baylor Toric IOL Nomogram* (postoperative target : up to 0,40 D WTR astigmatism)		
Effective IOL cylinder power at corneal plane (D)	WTR (D)	ATR (D)
0	≤ 1,69 (PCRI if > 1,00)	< 0,39
1,00	1,70-2,19	0,40*-0,79
1,50	2,20-2,69	0,80-1,29
2,00	2,70-3,19	1,30-1,79
2,50	3,20-3,69	1,80-2,29
3,00	3,70-3,69	1,80-2,29
3,50	4,20-4,69	2,80-3,29
4,00	4,70-5,19	3,30-3,79

WTR = with-the-rule astigmatism ; ATR = against-the-rule astigmatism ; D = diopter, PCRI = peripheral corneal relaxing incision.

Fig. 3 : Calculateur IOL intégrant le nomogramme de Baylor.

simple, mais basée non pas sur des paramètres mesurés intégrés dans une formule théorique mais sur une approche probabiliste. Le plus populaire de ces calculateurs est le calculateur de Barrett.

C'est ainsi que les calculateurs en ligne offrent dorénavant aux médecins la possibilité de calculer le cylindre de leur implant intraoculaire en prenant en compte ou non un astigmatisme interne extrapolé. Ces formules peuvent même proposer la

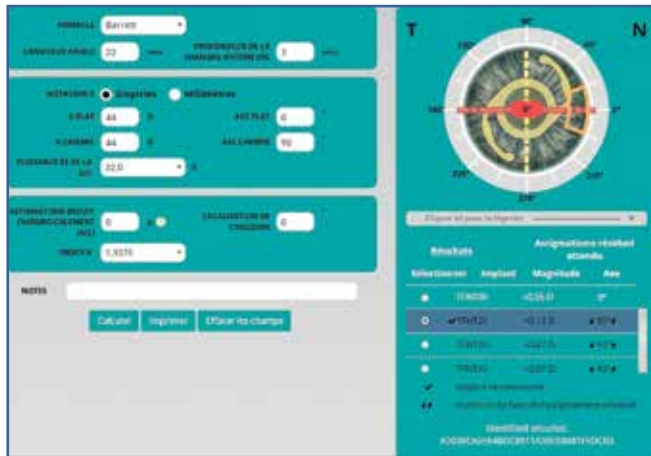


Fig. 4 : Calculateur de Barrett.

pose d'un implant torique sur un œil qui ne présente aucun astigmatisme cornéen antérieur (fig. 4). Le problème de ces calculateurs est qu'ils appliquent une règle de calcul vectoriel encore une fois non transparente, dont on ne peut valider le bien-fondé. Nous sommes typiquement en face du principe de la boîte noire qui a tendance à se répandre dans le domaine des calculs biométriques.



Fig. 5 : L'IOLMaster 700 (Zeiss) permet de mesurer la valeur réfractive totale de la cornée.

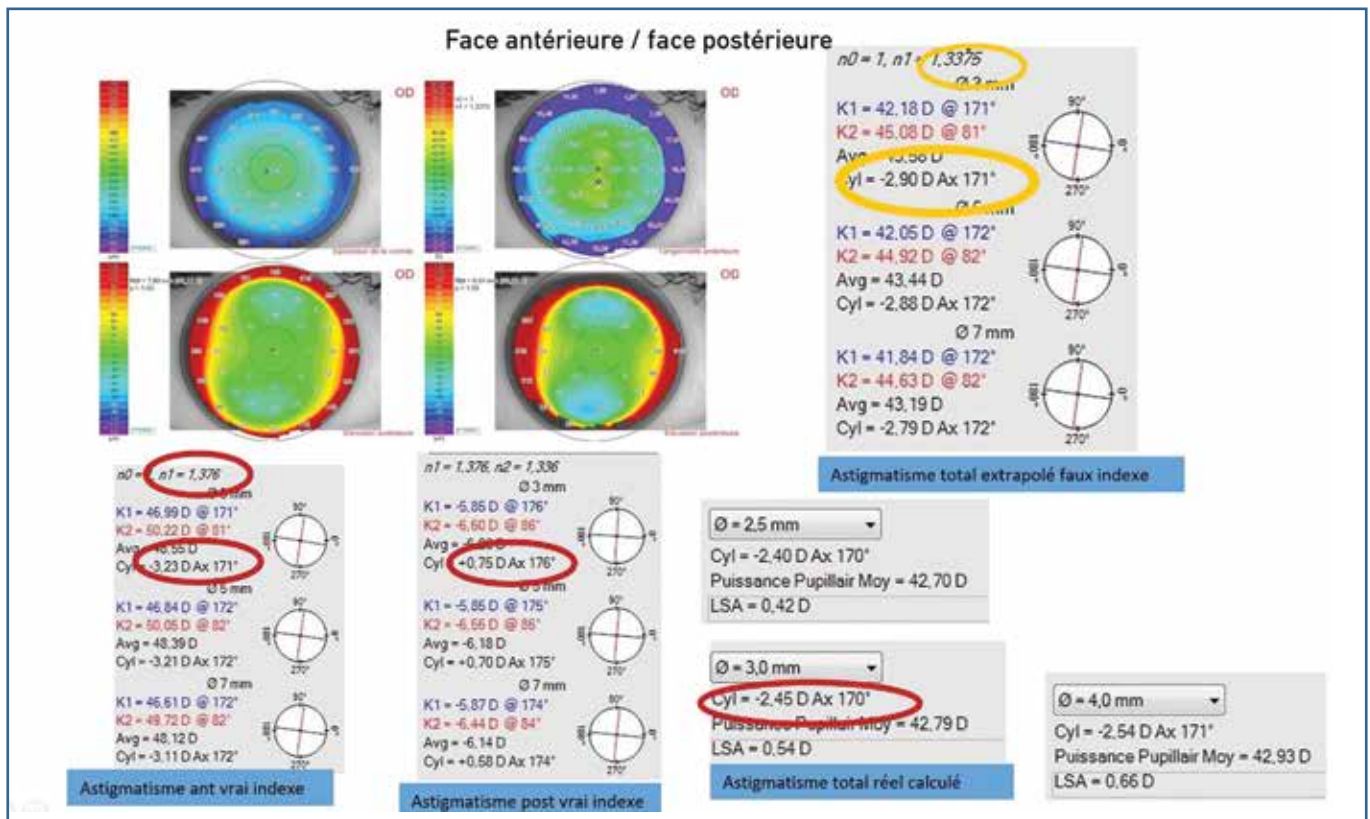


Fig. 6.

La mesure directe de la face postérieure de la cornée, que ce soit par des moyens tomographiques ou basés sur l'OCT, pourrait logiquement être intégrée à ces calculs et remplacer avantageusement les extrapolations. L'IOLMaster 700 de la société Zeiss permet de mesurer par le biais de la *true keratometry* cette face postérieure, donc la valeur réfractive totale de la cornée, en calculant sa puissance postérieure en corrigeant la puissance antérieure de l'impact de la carte pachymétrique mesurées à l'OCT *Swept Source* (**fig. 5**). Les études rétrospectives validaient jusque-là la supériorité de l'extrapolation par rapport à la mesure directe, objectivant probablement l'imprécision de la mesure de la face postérieure (**fig. 6**). Là aussi, l'irruption du Big Data viendra perturber des habitudes en augmentant notre dépendance à des systèmes plus ou moins opaques.

■ Conclusion

Le calcul d'implant est aujourd'hui un challenge plus difficile à relever que le simple recueil de données biométriques, lequel est de mieux en mieux assuré par des appareillages toujours plus divers et plus reproductibles. La dimension statistique fait irruption dans un champ précédemment occupé par des raisonnements purement optiques. En cela, il s'intègre dans une évolution tout juste débutante qui associe richesse des bases de données, Big Data et intelligence artificielle.

Pour bénéficier de ces nouvelles potentialités, le praticien sera incité à rejoindre un système d'information dont il contribuera lui-même à constituer la richesse, une dépendance à ces systèmes et à leurs algorithmes devenant alors probable avec un déplacement de la valeur ajoutée que pouvait constituer son expertise dans le sujet traité.

Bibliographie

1. ARAMBERRI J. Intraocular lens power calculation after corneal refractive surgery: double K method. *J Cataract Refract Surg*, 2003;29:2063-2068.
2. HAIGIS W. The Haigis formula. In: Shammas HJ, ed, *Intraocular Lens Power Calculations*. Thorefare, NJ, Slack, 2004;41-57.
3. HAIGIS W. Intraocular lens calculation after refractive surgery for myopia. *J Cataract Refract Surg*, 2008;34:1658-1663.
4. SHAMMAS HJ, SHAMMAS MC. No-history method of intraocular lens power calculation for cataract surgery after myopic laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg*, 2007;33:31-36.

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



C. BONNET, D. MONNET
Université Paris-Descartes,
OphtalmoPôle – Hôpital Cochin, PARIS.
clemence.p.bonnet@gmail.com

Optimiser la gestion de l'astigmatisme en chirurgie de la cataracte

De nos jours, les patients qui souhaitent se faire opérer de la cataracte attendent non seulement une amélioration de leur acuité visuelle et de leur qualité de vision, mais également une moindre dépendance aux lunettes. Ces attentes, de plus en plus élevées, obligent les chirurgiens à toujours plus de vigilance pour minimiser les erreurs réfractives postopératoires et obtenir une emmétropie parfaite. La correction précise des anomalies sphériques repose sur le choix de la puissance de la lentille intraoculaire (IOL), dépendant de la mesure précise de la longueur axiale et du rayon de courbure de la cornée en préopératoire.

Parmi les patients programmés pour une chirurgie de la cataracte, 22 % ont un astigmatisme $\geq 1,5$ D et 8 % un astigmatisme ≥ 2 D [1]. Un astigmatisme postopératoire résiduel $> 0,5$ D est suffisant pour dégrader la vision de loin sans correction. Ainsi, la correction de l'astigmatisme améliore considérablement l'acuité visuelle sans correction de loin et de près [2]. Plusieurs options existent pour réduire l'astigmatisme résiduel en dessous de 0,5 D. L'utilisation d'implants toriques reste la procédure de choix en présence d'un astigmatisme cornéen $\geq 1,25$ D en cas de chirurgie de la cataracte.

Les résultats réfractifs des implants toriques sont influencés par de nombreux facteurs. La plupart sont liés à des mesures préopératoires qui permettent le choix de la puissance de l'implant ainsi que son alignement en peropératoire dans l'axe de l'astigmatisme. L'estimation kératométrique précise est paradoxalement plus difficile en cas d'astigmatisme modéré ($\leq 1,75$ D). Il est recommandé de réaliser des mesures multiples avec au moins deux appareils basés sur des principes de fonctionnement différents. L'importance de l'astigmatisme postérieur est maintenant largement admis et doit être pris en compte dans le calcul de l'astigmatisme cornéen total. La formule de calcul biométrique idéale doit prendre en compte l'astigmatisme chirurgicalement induit, l'astigmatisme

postérieur et la position effective de l'implant. Le marquage manuel des axes a laissé place progressivement aux systèmes guidés par l'image qui permettent l'alignement des implants sans marquage physique. Un mauvais alignement de l'implant est la principale cause de sous-correction de l'astigmatisme postopératoire. Le repositionnement de l'implant est nécessaire lorsque plus de 10° de rotation par rapport à l'axe souhaité sont constatés, avec une fréquence qui varie de 0,65 à 3,3 % des cas selon les séries et les implants utilisés.

■ Évaluation réfractive préopératoire

La première étape pour gérer un astigmatisme repose sur un examen préopératoire complet, qui évalue son type (régulier ou non), sa puissance, son axe. La correction de l'astigmatisme peut être considérée à partir de 0,75 D, avec un objectif d'astigmatisme postopératoire $< 0,5$ D.

L'évaluation préopératoire commence par la réfraction subjective, qui identifie l'astigmatisme total (cristallinien et cornéen antérieur et postérieur). Comme l'astigmatisme cristallinien est éliminé par le retrait du cristallin, seule la correction de l'astigmatisme cornéen est à compenser. Il est donc fondamental d'évaluer précisément l'astigmatisme cornéen en préopératoire. La kératométrie manuelle, la cohérence par interférométrie partielle (IOLMaster), l'*optical low-coherence reflectometry* (Lenstar), la topographie cornéenne et la carte d'élévation sont les méthodes les plus couramment utilisées, avec des résultats sensiblement équivalents [3]. Cependant, la topographie cornéenne reste indispensable en permettant d'identifier les astigmatismes irréguliers grâce à l'évaluation de la courbure cornéenne dans son intégralité. Les cartes d'élévation, comme celles de l'Oculus Pentacam (Oculus Optikgeräte GmbH, Munchholzhauser Str. 29, D-35582 Wetzlar, Germany) et du Ziemer Galilei (Ziemer

Group, Port, Switzerland), donnent une vision de la face antérieure et de la face postérieure de la cornée qui ne doit plus être négligée [4]. Toutefois, jusqu'à présent, l'utilisation d'un nomogramme qui intègre l'astigmatisme postérieur donnait des résultats équivalents voire supérieurs à sa mesure directe par une caméra de Scheimpflug. En pratique, l'astigmatisme cornéen postérieur est relativement stable, avec un méridien "bombé" verticalement de 0,26 à 0,78 D (**tableau I**). Sans sa prise en compte, cela conduisait à sur-corriger les astigmatismes directs et à sous-corriger les astigmatismes inverses [3].

En cas de discordance entre les mesures d'astigmatisme données par les différents appareils, il ne faut pas hésiter à les répéter dans le temps, à vérifier un éventuel port de lentilles de contact récent et à éliminer l'effet du film lacrymal. Une discordance persistante de ces mesures est parfois le signe d'un astigmatisme irrégulier qui peut conduire à renoncer à son traitement.

■ Astigmatismes réguliers

1. Choix de la méthode de traitement de l'astigmatisme

La plupart des chirurgiens choisissent la méthode de traitement de l'astigmatisme en fonction de sa puissance [5] (**tableau II**). Moins de 1 D d'astigmatisme peut être corrigé en positionnant l'incision principale sur le méridien le plus cambré. Les incisions de 2,4 mm et moins peuvent aplatir la cornée jusqu'à 0,5 D dans l'axe où elles sont placées. De 1 à 1,75 D, l'astigmatisme peut être corrigé par des incisions limbique relaxantes (LRI). Ces deux techniques permettent d'aplatir le rayon de courbure le plus cambré de la cornée. Les implants toriques peuvent corriger de 1 à 8 D d'astigmatisme. Certaines équipes, notamment aux États-Unis et en Asie où les implants toriques ne sont disponibles que jusqu'à 4 D, associent implant torique et LRI; la correction de l'astigmatisme peut alors s'élever jusqu'à 7 D, avec de bons résultats réfractifs [6].

2. Techniques chirurgicales

Elles peuvent être utilisées de manière indépendante ou additionnées, en fonction de la puissance de l'astigmatisme préopératoire.

>>> Incision principale sur le méridien le plus cambré

Cette technique permet de réduire un astigmatisme préopératoire < 0,75 D. La longueur de l'incision peut varier en

Prise en compte de l'astigmatisme postérieur (en dioptries)		
Puissance au plan cornéen	Astigmatisme direct	Astigmatisme inverse
0	≤ 1,69	< 0,39
1	1 – 2,19	0,40 – 0,79
1,50	2,20 – 2,69	0,80 – 1,29
2	2,70 – 3,19	1,30 – 1,79
2,50	3,20 – 3,79	1,80 – 2,29
3	3,80 – 4,39	2,30 – 2,79
3,50	4,40 – 4,99	2,80 – 3,29
4	5	3,30 – 3,79

Tableau I : Nomogramme de Baylor.

Puissance de l'astigmatisme à corriger (en dioptries)	Techniques possibles de correction
< 0,75	Position de l'incision principale sur l'axe le plus cambré
1 – 1,75	Incision(s) limbique(s) relaxante(s) possible(s) jusqu'à 3 D Implant torique (T2-T4)
> 2	Implant torique +++ (T4-T12)

Tableau II : Choix de la méthode de traitement de l'astigmatisme en fonction de sa puissance.

fonction de la magnitude de l'astigmatisme. Cela permet de corriger les petits astigmatismes dont l'axe est *contre la règle* avec une incision temporale. Les petits astigmatismes dont l'axe est *conforme à la règle* peuvent, en fonction des desiderata du patient, être négligés, car ils permettent souvent d'obtenir une conservation de la profondeur de champ en vision de près sans correction.

>>> Incisions limbiques relaxantes manuelles

Les LRI permettent de corriger de 1 à 3 D d'astigmatisme. Elles sont créées en périphérie de la cornée. Leur nombre, leur longueur et leur profondeur sont définies par des nomogrammes qui dépendent de la puissance de l'astigmatisme, de l'âge du patient et de l'axe du méridien le plus cambré [7]. L'effet est d'autant plus important que l'incision est profonde et centrale, et le patient âgé. Les LRI sont généralement effectuées au début de la chirurgie de la cataracte, quand l'épithélium cornéen est intact, avec une pression intraoculaire stable. Leur profondeur est de 90 % de l'épaisseur cornéenne, réalisée au couteau diamant. Deux pièges sont à repérer : lorsque la LRI est coïncidente avec l'incision

cornéenne principale en temporal, elle doit être limitée initialement à la taille de l'incision principale, et étendue à la fin de la chirurgie, quand l'implant est en place. Si la LRI est à la même position que la contre-incision, cette dernière doit être réalisée de manière plus périphérique afin d'éviter que les incisions (LRI et paracentèse) se croisent. Les LRI permettent d'obtenir une réduction de l'astigmatisme cornéen. La stabilité réfractive semble être obtenue 10 semaines après la chirurgie. À trois mois, l'astigmatisme résiduel moyen est évalué à 1,32 D et la vision de loin sans correction à 6,3/10^e. Cependant, la reproductibilité de la technique est controversée et son indication remise en question, notamment depuis le développement des incisions arciformes réalisées au laser femtoseconde et des implants toriques, qui semblent avoir une efficacité et une reproductibilité supérieures [8].

>>> Incisions limbiques relaxantes par laser femtoseconde

Depuis l'avènement de la chirurgie de la cataracte assistée par femtolaser (FLACS), les LRI peuvent être programmées et réalisées stratégiquement par le laser, elles sont alors nommées *femtosecond arcuate keratotomy* (FSAK). Elles permettent de réduire l'astigmatisme de 63 % en moyenne, avec un astigmatisme résiduel moyen à 0,91 D [9]. Leur localisation, leur profondeur et leur longueur sont reproductibles et permettent une correction prédictible de l'astigmatisme supérieure aux LRI manuelles [10]. Le centrage de l'anneau de succion par rapport au limbe est un élément fondamental. En cas d'astigmatisme < 1,5 D, elles peuvent être intrastromales (ISAK) et ne pas être ouvertes pendant la chirurgie de la cataracte, contrairement aux FSAK [10]. Quelques cas de sous- et sur-correction ont été initialement décrits. Cependant, il s'agit d'une technique récente en évolution constante. Les nomogrammes de programmation, toujours plus précis, et la possibilité de visualiser en temps réel la création des incisions (*optical coherence tomography* de segment antérieur des plateformes de FLACS) devraient continuer d'améliorer l'efficacité et la reproductibilité des FSAK [11].

>>> Implants toriques

Les implants toriques peuvent être considérés dès 0,75 D en cas d'astigmatisme régulier, mais sont inappropriés pour les astigmatismes irréguliers ou en cas d'instabilité du sac capsulaire. Ils génèrent un astigmatisme de direction opposé à celui de la cornée afin de le neutraliser (*fig. 1*). Pour des raisons de stabilité, ces implants doivent être placés selon l'axe de l'astigmatisme à traiter dans le sac capsulaire et non dans le sulcus. L'astigmatisme résiduel 6 mois après la pose d'un



Fig. 1 : Exemple d'un implant torique (Alcon SN6AT), axe repéré par les trois marques en périphérie de l'optique.

implant torique est en moyenne à 0,75 D. Dans cette perspective, les implants toriques multifocaux ont leur place en cas de pose d'implant multifocal chez un patient présentant un astigmatisme régulier. En cas d'astigmatisme entre 1 et 3 D, l'acuité visuelle de loin sans correction est meilleure de 1,5/10^e avec un implant torique qu'avec les LRI. De la même manière, la dépendance aux lunettes à vision de loin est significativement plus basse avec un implant torique qu'après LRI (29,7 % *versus* 53,2 % pour les LRI). Autrement dit, deux tiers des patients implantés en torique ne requièrent pas de lunettes pour la vision de loin, *versus* 46,8 % en cas de LRI [12].

● Alignement des implants toriques

Le calcul de l'implant en préopératoire est une étape fondamentale qui repose sur une mesure kératométrique précise et un repérage de l'axe le plus cambré de l'astigmatisme. La plupart des fabricants de ces implants proposent un calculateur en ligne. L'axe de positionnement de l'implant doit être connu et repéré en préopératoire afin d'assurer son bon alignement, par marquage manuel ou par capture digitale des références oculaires du patient.

● Marquage pré- et peropératoire

Une fois le méridien le plus cambré identifié, il doit être marqué sur l'œil du patient en préopératoire afin de placer correctement les incisions cornéennes limbiques relaxantes (LRI) ou l'axe d'alignement de l'implant torique. Le marquage manuel avant la chirurgie permet de repérer l'axe 0-180° (méridiens de 3 h et 9 h). Le patient doit être assis et regarder droit devant avec les deux yeux ouverts afin d'éviter toute cyclotorsion. Cette méthode peut parfois être imprécise en raison des difficultés de coopération du patient.

De nouvelles méthodes impliquant la reconnaissance irienne et celle des vaisseaux conjonctivaux limbiques permettent désormais un repérage précis de l'axe le plus cambré, sans nécessité d'un marquage manuel préopératoire du patient. Le système CallistoEye (Zeiss, Carl Zeiss Meditec, Germany) ou le SMI Surgery Guidance Technology (SensoMotoric Instruments, Germany) permettent d'intégrer les mesures du IOLMaster prises en préopératoire à la procédure opératoire au bloc. Les références utilisées sont les vaisseaux conjonctivaux, la position de la pupille et les reliefs iriens. Une image des repères 0-180° et de l'axe des LRI ou de l'implant torique est "injectée" dans l'oculaire du microscope en temps réel (*fig. 2*). Cette technologie aide le chirurgien à positionner correctement les LRI ou l'implant torique, sans repérage manuel préopératoire [13].

● Complications

La rotation de l'implant torique en postopératoire entraîne une chute de son effet sur le traitement de l'astigmatisme. Ainsi, une rotation de 1° diminue la correction de 3,3 %. Au-delà de 30° de rotation par rapport à l'axe idéal de correction, l'effet devient nul [12]. Les principaux facteurs de risque de rotation de l'implant en postopératoire sont les grandes longueurs axiales avec chambre antérieure profonde. En moyenne, les implants toriques tournent de moins de 5°. En cas de malposition, d'une rotation de plus de 10° ou de *tilt*, l'implant doit être repositionné au bloc opératoire dans les 15 jours qui suivent la chirurgie. Le taux moyen de repositionnement au bloc opératoire après pose d'un implant torique est de 1,1 % [3]. Les sous- ou sur-corrrections peuvent également être gérées en postopératoire par laser excimer ou LRI additionnelles.

>>> Mesure peropératoire de l'aberrométrie

La mesure peropératoire de l'aberrométrie, avec la technique Orange (ORA) (WaveTec Vision, Aliso Viejo, California, USA), mesure le front d'onde réfractif en peropératoire de la chirurgie de la cataracte. Les données obtenues permettent d'ajuster la sphère et le cylindre de l'implant à injecter et de vérifier l'axe d'alignement d'un implant torique. Cet outil est particulièrement utile pour les patients déjà opérés de chirurgie réfractive, pour qui le calcul d'implant est plus variable. Le module de l'ORA s'attache à l'oculaire du microscope et mesure le front d'onde aphaque et pseudophaque. La pression intraoculaire doit être ajustée, autour de 16 mmHg (la pression intraoculaire doit être physiologique afin d'éviter toute hydratation de la cornée qui pourrait artificiellement induire

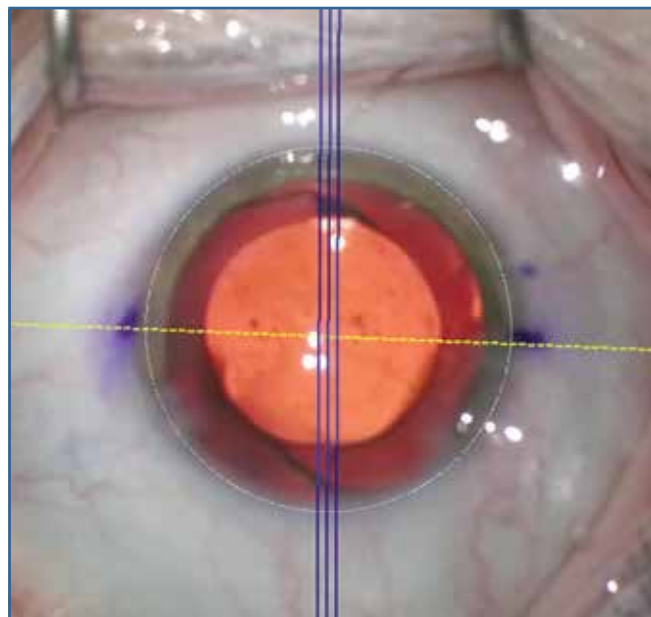


Fig. 2 : Repérage peropératoire de l'axe de l'implant torique à l'aide du système CallistoEye. La ligne jaune représente l'axe 0-180°. Les lignes bleues représentent l'axe d'implantation calculé en préopératoire de l'implant torique.

un astigmatisme). De la même manière, l'écarteur à paupières ne doit pas être trop ouvert pour ne pas induire d'astigmatisme et diminuer la précision de la mesure. Le patient doit regarder droit devant lui la lumière rouge pendant la mesure. En quelques secondes, les données sur la puissance de l'implant monofocal ou torique, ainsi que la toricité et l'axe de l'implant torique sont disponibles. Globalement, l'ORA peropératoire permet d'améliorer les résultats réfractifs postopératoires [3].

■ Astigmatismes irréguliers

Ils peuvent être traités au moment de la chirurgie de la cataracte avec des techniques dédiées. La difficulté repose notamment sur la mesure de l'axe de l'astigmatisme à traiter, la courbure de la cornée étant souvent importante et par définition irrégulière. Après une greffe de cornée, les LRI ou les FSAK sont couramment réalisées, avec des nomogrammes spécifiques et de bons résultats réfractifs [14]. En cas de kératocône, la chirurgie cornéenne est à proscrire à cause d'un risque d'aggravation de l'ectasie. La pose d'un implant torique, dans ces cas, initialement contre-indiquée, est maintenant plus nuancée. Cette tendance est soutenue par de nombreuses publications, qui retrouvent des résultats réfractifs satisfaisants après greffe et en cas de kératocône [15-17]. Cependant, le calcul de la puissance et

de l'axe de l'implant reste subtil et empirique. L'induction potentielle d'aberrations de haut degré par l'association d'une cornée irrégulière et de la toricité de la lentille reste une question en suspens. Le principal risque est la nécessité d'explanter l'implant torique pour un implant monofocal, à la suite d'une erreur réfractive postopératoire ou en raison d'une qualité de vision insuffisante (halos, éblouissements) ou par l'impossibilité d'adapter une lentille de contact rigide en postopératoire [18]. Ce type d'indication reste hors norme et limitée à certains patients bien sélectionnés et informés, la référence dans ces cas restant la pose d'un implant monofocal [19].

■ Conclusion

Une évaluation précise de l'astigmatisme préopératoire est devenue indispensable. Le choix de la technique de correction de l'astigmatisme dépend de sa régularité, de sa puissance et de son axe. L'implant torique reste la procédure de choix pour corriger un astigmatisme cornéen > 1,5 D. Les nouveaux calculateurs toriques et formules de régression permettent une meilleure sélection des implants pour nos patients en intégrant l'astigmatisme postérieur. Associé aux nouveaux systèmes de positionnement d'implants, les résultats postopératoires se sont sensiblement améliorés et permettent d'envisager l'utilisation des implants toriques dans certains cas de kératocône.

Ainsi, les techniques actuelles, en évolution permanente, permettent de corriger de manière fiable, prédictible et reproductible la majorité des astigmatismes et de satisfaire les exigences toujours plus élevées des patients pour être plus indépendants vis-à-vis des lunettes.

Bibliographie

- OSTRI C, FALCK L, BOBERG-ANS G *et al.* The need for toric intra-ocular lens implantation in public ophthalmology departments. *Acta Ophthalmol*, 2015;93:396-397.
- ZVORNICANIN J, ZVORNICANIN E. Premium intraocular lenses: The past, present and future. *J Curr Ophthalmol*, 2018;30:287-296.
- RUBENSTEIN JB, RACITI M. Approaches to corneal astigmatism in cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol*, 2013;24:30-34.
- KOCH DD, JENKINS RB, WEIKERT MP *et al.* Correcting astigmatism with toric intraocular lenses: effect of posterior corneal astigmatism. *J Cataract Refract Surg*, 2013;39:1803-1809.
- AMESBURY EC, MILLER KM. Correction of astigmatism at the time of cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol*, 2009;20:19-24.
- RUBENSTEIN JB, RACITI M. Management of astigmatism: LRIs. *Int Ophthalmol Clin*, 2012;52:31-40.
- FOUDA S, KAMIYA K, AIZAWA D *et al.* Limbal relaxing incision during cataract extraction *versus* photoastigmatic keratectomy after cataract extraction in controlling pre-existing corneal astigmatism. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2010;248:1029-1035.
- MINGO-BOTIN D, MUNOZ-NEGRET FJ, WON KIM HR *et al.* Comparison of toric intraocular lenses and peripheral corneal relaxing incisions to treat astigmatism during cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2010;36:1700-1708.
- DAY AC, LAU NM, STEVENS JD. Nonpenetrating femtosecond laser intrastromal astigmatic keratotomy in eyes having cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2016;42:102-109.
- VICKERS LA, GUPTA PK. Femtosecond laser-assisted keratotomy. *Curr Opin Ophthalmol*, 2016;27:277-284.
- MARINO GK, SANTIAGO MR, WILSON SE. Femtosecond Lasers and Corneal Surgical Procedures. *Asia Pac J Ophthalmol*, 2017;6:456-464.
- KESSEL L, ANDRESEN J, TENDAL B *et al.* Toric Intraocular Lenses in the Correction of Astigmatism During Cataract Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis. *Ophthalmology*, 2016;123:275-286.
- RIGI M, AL-MOHTASEB Z, WEIKERT MP. Astigmatism Correction in Cataract Surgery: Toric Intraocular Lens Placement *Versus* Peripheral Corneal Relaxing Incisions. *Int Ophthalmol Clin*, 2016;56:39-47.
- CHANG JSM. Femtosecond laser-assisted astigmatic keratotomy: a review. *Eye Vis*, 2018;5:6.
- ALIO JL, PENA-GARCIA P, ABDULLA GULIYEVA F *et al.* MICS with toric intraocular lenses in keratoconus: outcomes and predictability analysis of postoperative refraction. *Br J Ophthalmol*, 2014;98:365-370.
- ALLARD K, ZETTERBERG M. Implantation of toric intraocular lenses in patients with cataract and keratoconus: a case series. *Int Med Case Rep J*, 2018;11:185-191.
- ALLARD K, ZETTERBERG M. Toric IOL implantation in a patient with keratoconus and previous penetrating keratoplasty: a case report and review of literature. *BMC Ophthalmol*, 2018;18:215.
- DOHLMAN C, CRUZAT A, WHITE M. The Boston keratoprosthesis 2014: a step in the evolution of artificial corneas. *Spektrum Augenheilk*, 2014;28:226-233.
- MOL IE, VAN DOOREN BT. Toric intraocular lenses for correction of astigmatism in keratoconus and after corneal surgery. *Clin Ophthalmol*, 2016;10:1153-1159.

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



T. AMZALLAG, J. PYNSON
Institut Ophtalmique Nord de France, SOMAIN.
thierry.amzallag@institut-ophtalmique.fr

Modèle mathématique d'évaluation des lentilles intraoculaires corrigeant la presbytie

S'il est un domaine qui nous rappelle avec force la subjectivité de la vision, c'est bien celui des dispositifs optiques de correction de la presbytie. Les cas de patients mécontents, malgré une excellente acuité visuelle mesurée, font par exemple l'objet de nombreux débats dans les congrès. Ce n'est d'ailleurs pas surprenant lorsqu'on se rappelle d'une part que les solutions actuelles de la correction de la presbytie sont des compromis optiques, faute de pouvoir restaurer l'accommodation, et d'autre part que les patients ont des amétropies différentes, une histoire différente, et, osons-le, leur propre vision des choses !

L'arrivée des lentilles intraoculaires (LIOs), dites à profondeur de champ étendue, a rendu d'autant plus floues les limites entre les principes optiques et les résultats des LIOs compensant la presbytie, accroissant la nécessité d'objectiver la performance. Faute d'un test objectif global, la vision des patients ayant bénéficié d'une correction optique de la presbytie est analysée sous des angles multiples [1] : acuités visuelles, courbe de défocus, sensibilité aux contrastes, test d'éblouissement, vitesse de lecture, questionnaire de qualité de vie, etc. L'interprétation des résultats se fera au final selon les résultats fonctionnels, la performance, et le ressenti du patient, la tolérance. Performance et tolérance sont ainsi mises en balance pour chaque solution optique, et négliger l'une par rapport à l'autre est un travers dont le clinicien doit se garder.

Pour autant, l'évaluation de la performance et de la tolérance n'ont de sens que si les tests réalisés sont normés et acceptés par l'ensemble de la communauté des ophtalmologistes, de telle sorte que les résultats des études cliniques soient répétables et comparables. L'objet de cet article est de s'intéresser en premier lieu aux tests de performance, et de proposer un modèle mathématique d'évaluation des lentilles intraoculaires corrigeant la presbytie permettant

de comparer de manière simple les différents systèmes optiques entre eux.

■ Tests évaluant la performance

Trois tests de performance sont couramment utilisés pour l'évaluation des lentilles intraoculaires corrigeant la presbytie : la fonction de transfert de modulation (FTM ou en anglais MTF), la sensibilité aux contrastes, et l'acuité visuelle à différentes distances avec sa variante, la courbe de défocus.

1. La fonction de transfert de modulation [2] (fig. 1)

C'est une mesure objective des performances d'une lentille intraoculaire, *in vitro*, sur banc optique. Schématiquement, la FTM est le rapport entre la modulation de l'image sur la modulation de l'objet, elle donne donc une idée de la fidélité du système optique à transmettre l'information de l'objet. Plus la FTM est élevée, plus l'image est nette et le contraste préservé. Le test est normalisé (ISO 11979-2) et se fait à

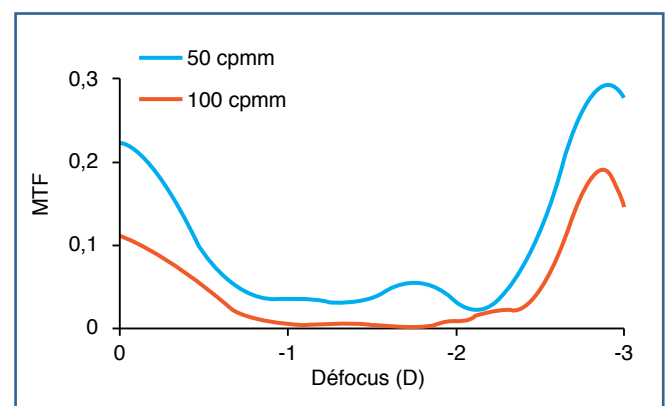


Fig. 1 : Exemple de fonction de transfert de modulation (MTF) pour une lentille multifocale sur un modèle de cornée, en lumière blanche (d'après [2]).

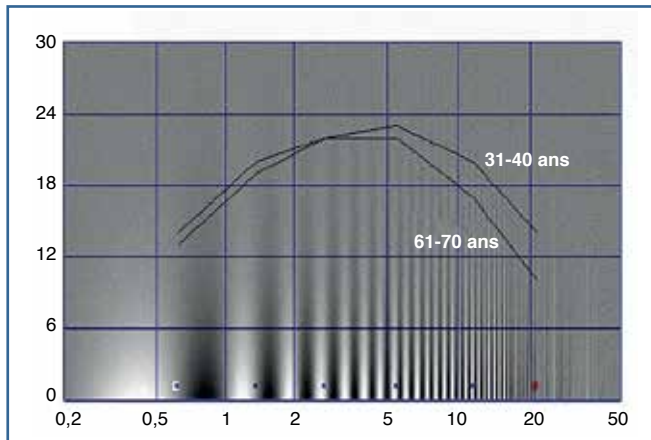


Fig. 2 : Test de sensibilité aux contrastes et résultats pour deux tranches d'âge.

3 fréquences spatiales (25, 50 et 100 cpmm) en lumière monochromatique (546 nm).

C'est donc un test de laboratoire, utile aux évaluations techniques, mais assez éloigné des conditions réelles vécues par les patients implantés. De plus, cette mesure est techniquement difficile sur les systèmes optiques complexes comme les systèmes diffractifs, et sa corrélation avec la clinique fait débat [3].

2. Sensibilité aux contrastes (fig. 2)

C'est l'évaluation de la perception d'objets de différentes tailles (exprimée en cycles par degré) à des contrastes variables, sous une luminance standardisée. Très étudiée dans les années 1990-2000, l'évaluation de la sensibilité aux contrastes s'est révélée peu reproductible du fait des différences importantes des conditions de test et des paramètres étudiés [4]. De ce fait, elle n'est plus réalisée qu'à titre indicatif.

3. Les tests d'acuité visuelle et la courbe de défocus

Malgré son âge et les critiques qu'on puisse en faire, l'acuité visuelle reste l'étalon de référence en ophtalmologie. Dans le cadre de l'évaluation des LIOs multifocales, on évalue classiquement l'acuité visuelle de loin et de près, avec et sans correction. L'arrivée de nouvelles technologies optiques, telles que les optiques trifocales et les optiques à profondeur de champ étendue, a imposé des tests d'acuité visuelle à des distances intermédiaires, et a popularisé l'évaluation de la courbe de défocus.

La réalisation d'une courbe de défocus consiste à mesurer l'acuité visuelle de loin (en LogMAR sur des échelles ETDRS, pour *Early Treatment Diabetic Retinopathy Study*

Test ETDRS en pratique :

- La lumière est éteinte lors de l'utilisation des échelles ETDRS.
- Le test démarre avec le patient situé à 4 m de l'échelle. L'acuité visuelle est lue en LogMAR à droite de la dernière ligne dont le patient a correctement identifié au moins 3 des 5 lettres. On effectue une réfraction complète de la vision binoculaire avec l'échelle ETDRS R.
- Chaque œil est testé séparément.
- Le patient lit lentement, une lettre par seconde, en commençant par la première ligne en haut à gauche. Il est activement encouragé à lire le plus de lettres possible, à ne pas hésiter à bouger la tête et à essayer de deviner lorsqu'il hésite. Lorsqu'une lettre est lue correctement, le praticien entoure cette lettre sur une feuille d'évaluation ayant une présentation identique à celle de l'échelle utilisée. L'examineur ne corrige jamais les erreurs. Si le patient se reprend sur une lettre mal lue et donne une réponse correcte avant d'avoir lu la lettre suivante, la correction est acceptée.
- Pour le score en unités LogMAR, chaque lettre correctement lue vaut 0,02 et chaque ligne 0,1 unités LogMAR, avec un score LogMAR nul lorsque l'acuité visuelle est égale à 10/10.

Concernant les courbes de défocus, un test prolongé chez un patient âgé peut engendrer des phénomènes de fatigue, d'autant que le nombre de mesure est significatif si l'on souhaite tester de +4 D à -4 D par pas de 0,5 D.

Encadré I.

pour laquelle elles avaient été conçues) en ajoutant progressivement des verres correcteurs de puissance négative, en général par pas de 0,50 D, ce qui crée les conditions optiques d'une vision à différentes distances si le sujet dispose d'un système de correction de la presbytie (**encadré I**).

C'est d'une certaine façon une évaluation de l'amplitude subjective d'accommodation ou de la profondeur de champ obtenue. On peut reprocher à cette technique de ne pas tenir compte de la convergence et des modifications du diamètre pupillaire en vision de près, voire de sous-estimer l'acuité visuelle du fait de l'effet minifiant des verres négatifs [5]. Mais on peut aussi faire remarquer qu'elle a l'avantage de ne pas surestimer l'acuité visuelle, qu'elle évalue toutes les distances de lecture et non seulement deux ou trois, et qu'elle met l'évaluation de tous les systèmes sur le même pied d'égalité.

Les courbes de défocus sont aujourd'hui largement utilisées dans l'évaluation des LIOs multifocales. La technique est bien standardisée et simple. On sait par exemple que la non-randomisation de la séquence des lettres ou de l'ordre de leur présentation n'affecte pas le résultat [6]. La courbe est obtenue en monoculaire ou en binoculaire, le patient portant la meilleure acuité visuelle de loin possible. Les acuités sont notées pour chaque valeur de défocus (puissance du verre sphérique additionnel), entre 0 et -3 D par pas de 0,50 D, voire davantage, par exemple +2 à -5 D, si on veut explorer une plage encore plus large de défocus.

La courbe obtenue donne une idée immédiate des pics d'acuité à certaines distances. Par exemple un implant bifocal aura deux pics, VL et VP, et un implant trifocal trois pics avec la vision intermédiaire (*fig. 3*). La hauteur des pics permet d'estimer la performance à la distance considérée, et la profondeur des vallées donne une idée de la perte de performance entre les pics (*fig. 4*).

Dans les cas des implants à profondeur de champ étendue, on constate un étalement un pic de meilleure acuité visuelle de loin vers la vision intermédiaire, puis une chute généralement rapide en vision de près (*fig. 5*). Il en va de même pour les LIOs à trou sténopéique (*fig. 6*).

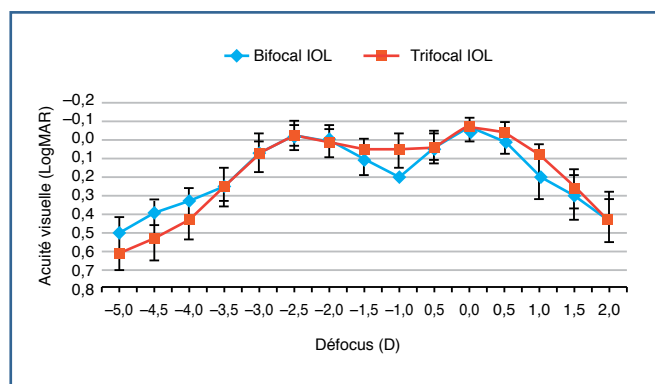


Fig. 3 : Courbes de défocus comparées d'une LIO bifocale (2 pics) et trifocale (3 pics). Complément partiel de la vallée à -1 D.

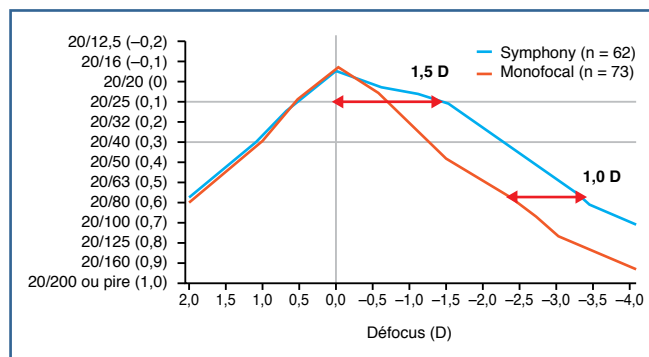


Fig. 5 : Courbes de défocus comparées : implant à profondeur de champ étendue J & J Symphony *versus* monofocal. Stabilisation > 0,1 LogMAR de 0 D à -1,5 D puis décroissance rapide.

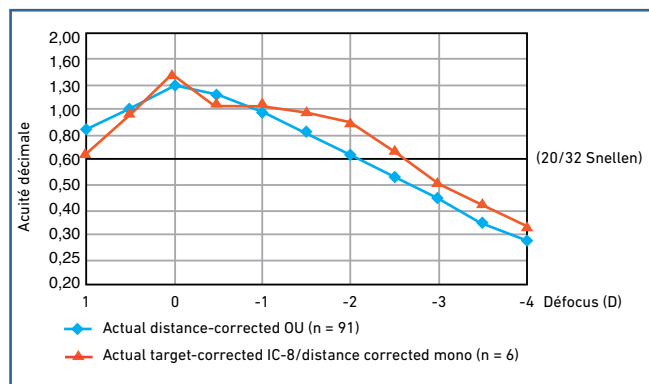


Fig. 6 : Courbes de défocus pour l'implant sténopéique AcuFocus IC-8. Stabilisation > 8/10 de 0 à -1,5 D.

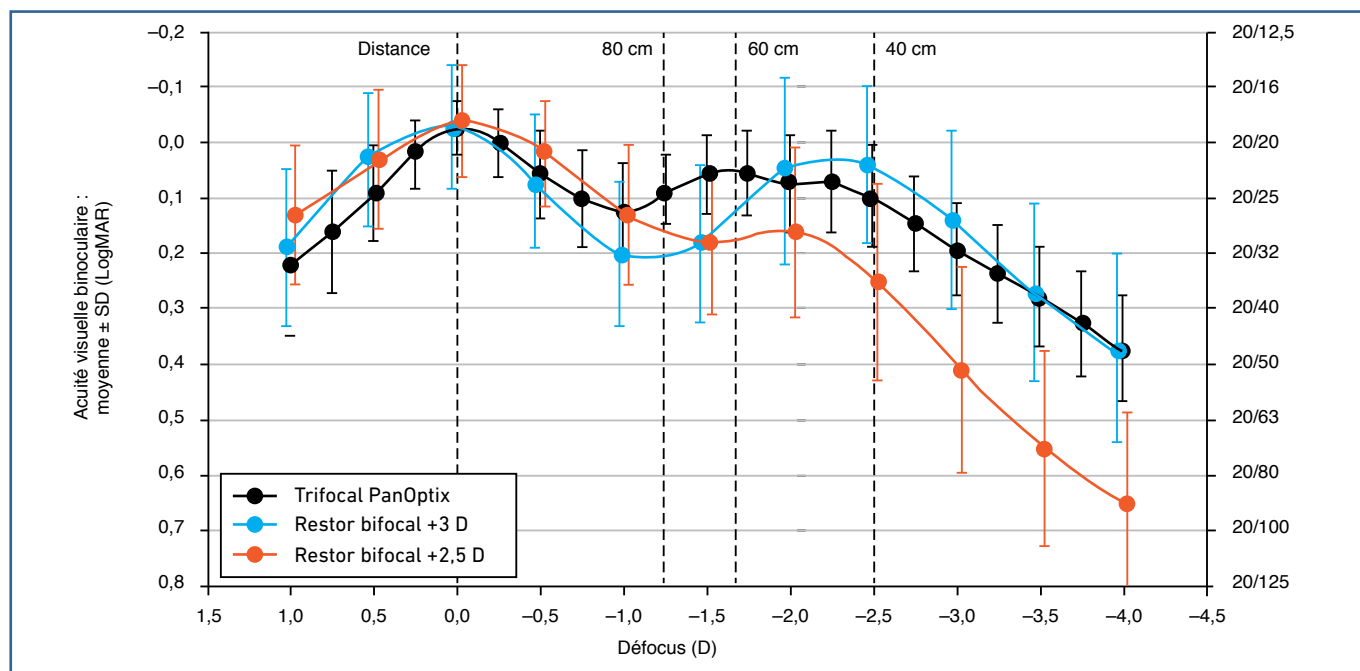


Fig. 4 : Courbes de défocus comparées de LIOs de principes différents : trifocal PanOptix (courbe noire), Restor bifocal +3 et +2,5 D (courbes bleue et rouge). Complément partiel de la vallée en vision intermédiaire par la LIO trifocale.

■ Modèle mathématique d'évaluation des lentilles intraoculaires corrigeant la presbytie

Il est possible d'aller plus loin avec les courbes de défocus. On peut en effet comparer la courbe obtenue à une courbe théorique correspondant à un seuil idéal d'acuité visuelle à toutes distances. Par exemple, un seuil à 0,3 LogMAR, qui correspond à la limite du permis de conduire dans de nombreux pays, ou 0 LogMAR qui correspond au célèbre 10/10 de l'échelle de Monoyer. Par calcul mathématique, on peut aussi déterminer la surface qui se trouve entre la courbe de défocus et la courbe idéale théorique [7]. Cette surface est ainsi une caractéristique propre à l'implant étudié, qu'il est ensuite possible de comparer à d'autres implants ou d'autres solutions de correction de la presbytie (*fig. 7*).

Afin de quantifier la performance des lentilles intraoculaires corrigeant la presbytie à partir des courbes de défocus obtenues en clinique, une application informatique a été spécialement développée (MATLAB, MathWorks) pour analyser les courbes de défocus. Un algorithme est utilisé pour calculer les surfaces générées par la courbe. Le programme comporte des seuils prédéfinis mais permet également de choisir librement les seuils. En entrant les valeurs d'acuité en LogMAR pour chaque valeur de défocus en haut à droite dans le cadre DATA, la courbe de défocus apparaît automatiquement et la surface entre courbe et le seuil prédéfini (ici 0 LogMAR) est automatiquement calculée (*Surface curve/threshold*). Dans ce cas la valeur encadrée à ce stade est de 11,77. Il est possible de faire varier différents paramètres :

- le seuil: LogMAR *threshold*, en bas à droite dans PROFILES ;
- la valeur minimale de défocus: min en bas à droite dans PROFILES ;
- la valeur maximale de défocus: max en bas à droite dans PROFILES.

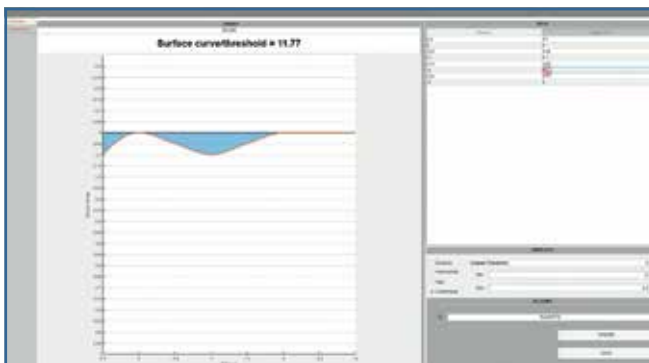


Fig. 7 : Exemple de calcul de surface entre la courbe de défocus et la courbe théorique à LogMAR 0 pour l'implant PanOptix (Alcon) sur le calculateur.

Il est ensuite possible de calculer automatiquement :

- une surface pour la vision de loin: en bas à droite dans PROFILES ;
- une surface pour la vision intermédiaire: en bas à droite dans PROFILES ;
- une surface pour la vision près: en bas à droite dans PROFILES.

Pour chacun de ces intervalles de vision, il est possible de faire varier les valeurs et le programme recalcule automatiquement la surface entre la courbe et le seuil. Chaque courbe peut être enregistrée (SAVE en bas à droite) et rappelée avec ses valeurs (UPDATE en bas à droite). Toutes les courbes peuvent être comparées à l'aide du mode COMPARISON en haut à gauche (*fig. 8*).

>>> À titre d'exemple, nous avons comparé 5 implants en utilisant des données de la littérature :

- implant trifocal (PanOptix – Alcon) (*fig. 9A*) ;
- implant multifocal à secteur (LENTIS Mplus – Oculentis) (*fig. 9B*) ;
- implant monofocal asphérique ;
- implant sténopéique (IC-8 – AcuFocus) (*fig. 9C*) ;

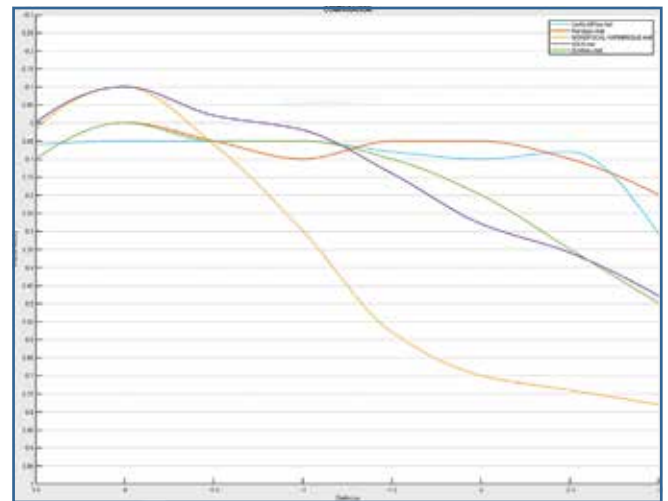


Fig. 8 : Les courbes peuvent être comparées à l'aide du mode COMPARISON.

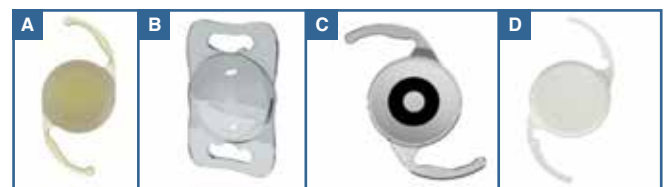


Fig. 9 : Implant trifocal PanOptix – Alcon (A) ; implant multifocal à secteur LENTIS Mplus – Oculentis (B) ; implant sténopéique IC-8 – AcuFocus (C) et implant EDOF IOLS Symphony – Johnson & Johnson Vision (D).

– implant EDOF IOLS (Symfony – Johnson & Johnson Vision) (*fig. 9D*).

• Si l'on considère la performance globale, on obtient les valeurs suivantes. À noter que plus le chiffre est bas, plus l'implant est performant. 0 est l'implant "idéal" corrigeant à 10/10 (0 LogMAR) à toutes les distances évaluées (0,5 à -3 D) (*fig. 10*):

– implant trifocal (PanOptix – Alcon): 23,75;
 – implant multifocal à secteur (LENTIS Mplus – Oculentis): 28,21;
 – implant monofocal asphérique: 138,18. En toute logique les implants multifocaux sont bien plus performants que l'implant monofocal asphérique;

– implant sténopéique (IC-8 – AcuFocus): 51,41;
 – implant EDOF IOLS (Symfony – Johnson & Johnson Vision): 48,19.

L'implant sténopéique est proche de l'implant EDOF, mais ils sont assez éloignés des multifocaux du fait de leurs moins bons résultats en vision de près.

• Si l'on considère maintenant uniquement la vision de loin (0 à -0,5 D) (*fig. 11*):

– implant trifocal (PanOptix – Alcon): 1,04;
 – implant multifocal à secteur (Lentis Mplus – Oculentis): 2,50;
 – implant monofocal asphérique: 0,44;
 – implant sténopéique (IC-8 – AcuFocus): 0;

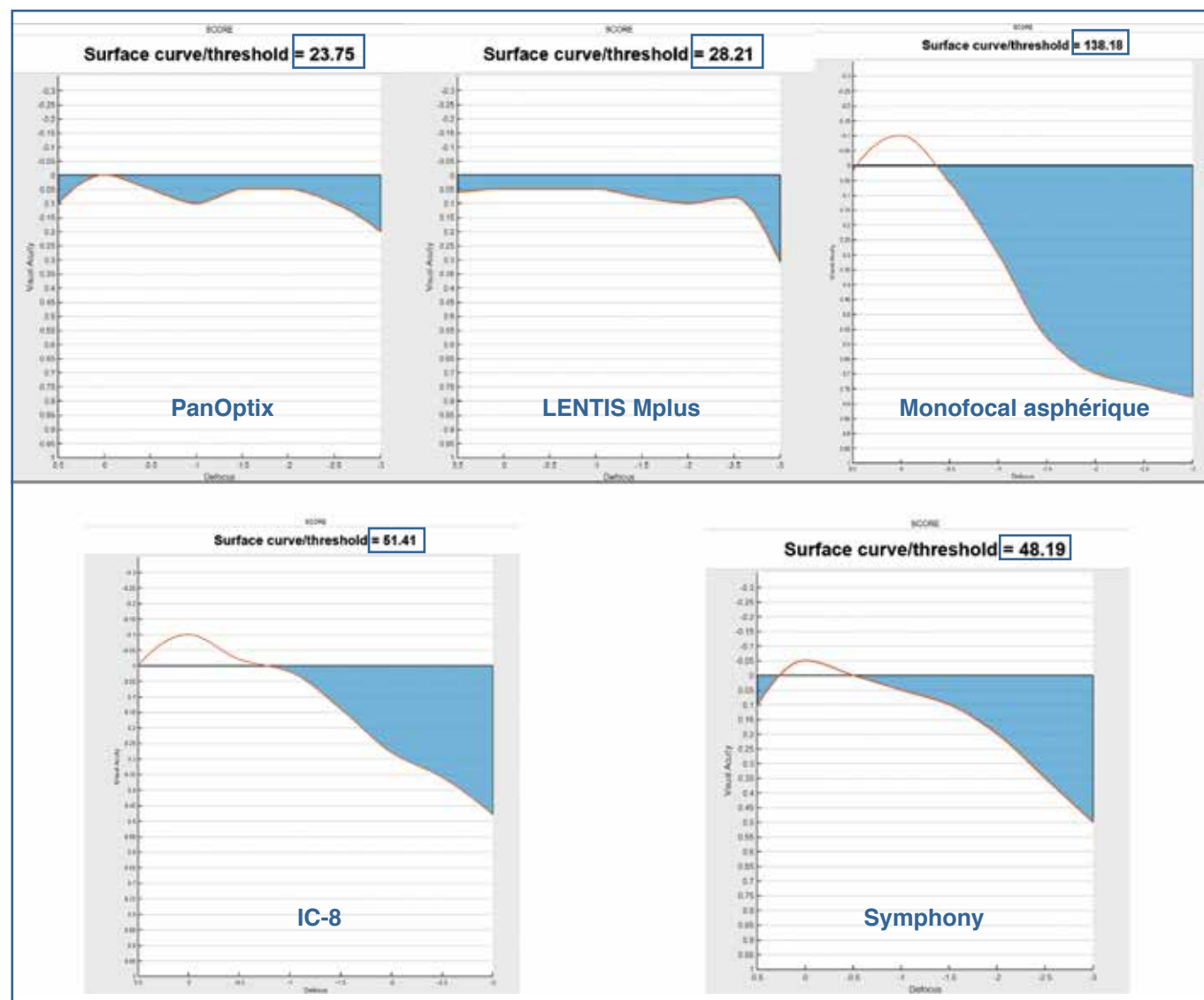


Fig. 10: Scores globaux pour les cinq implants (0,5 à -3 D).

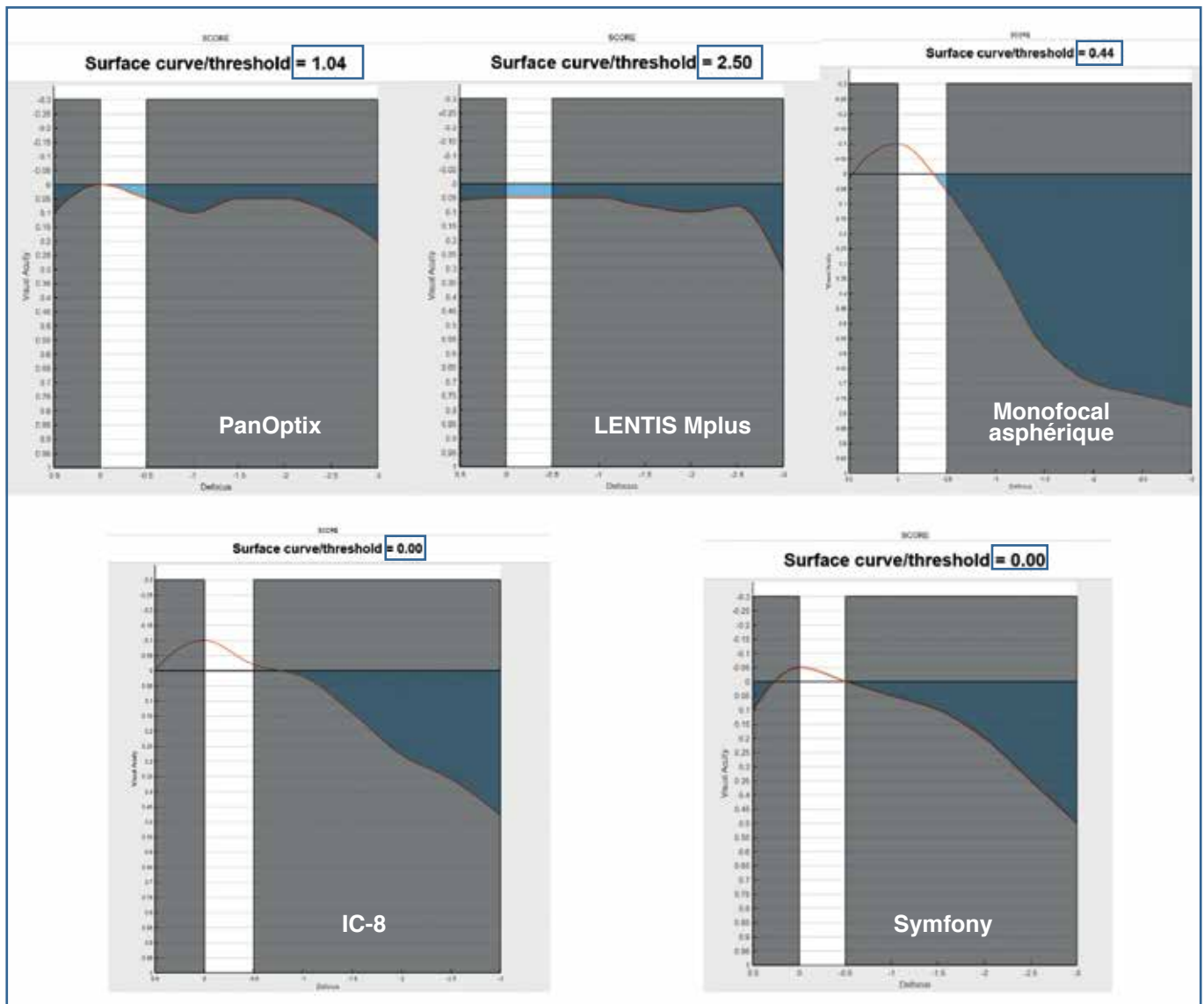


Fig. 11 : Scores en vision de loin (0 à -0,5 D).

– implant EDOF IOLS (Symphony – Johnson & Johnson Vision): 0.

Les résultats sont globalement très bons.

● Concernant la vision intermédiaire (ici -1,25 à -2 D arbitrairement, mais les valeurs sont modifiables) (*fig. 12*):

- implant trifocal (PanOptix – Alcon): 3,98;
- implant multifocal à secteur (Lentis Mplus – Oculentis): 6,39;
- implant monofocal asphérique: 45,49;
- implant sténopéique (IC-8 – AcuFocus): 13,26;
- implant EDOF IOLS (Symphony – Johnson & Johnson Vision): 9,42.

On note une très bonne performance de l'implant trifocal, un groupe incluant l'implant multifocal à secteur, l'implant EDOF puis l'implant sténopéique. Très logiquement, l'implant monofocal décroche.

● Enfin concernant la vision de près (ici arbitrairement -2,5 à -3 D, mais les valeurs sont modifiables), les valeurs sont (*fig. 13*):

- implant trifocal (PanOptix – Alcon): 7,26;
- implant multifocal à secteur (Lentis Mplus – Oculentis): 8,27;
- implant monofocal asphérique: 38;
- implant sténopéique (IC-8 – AcuFocus): 20,82;

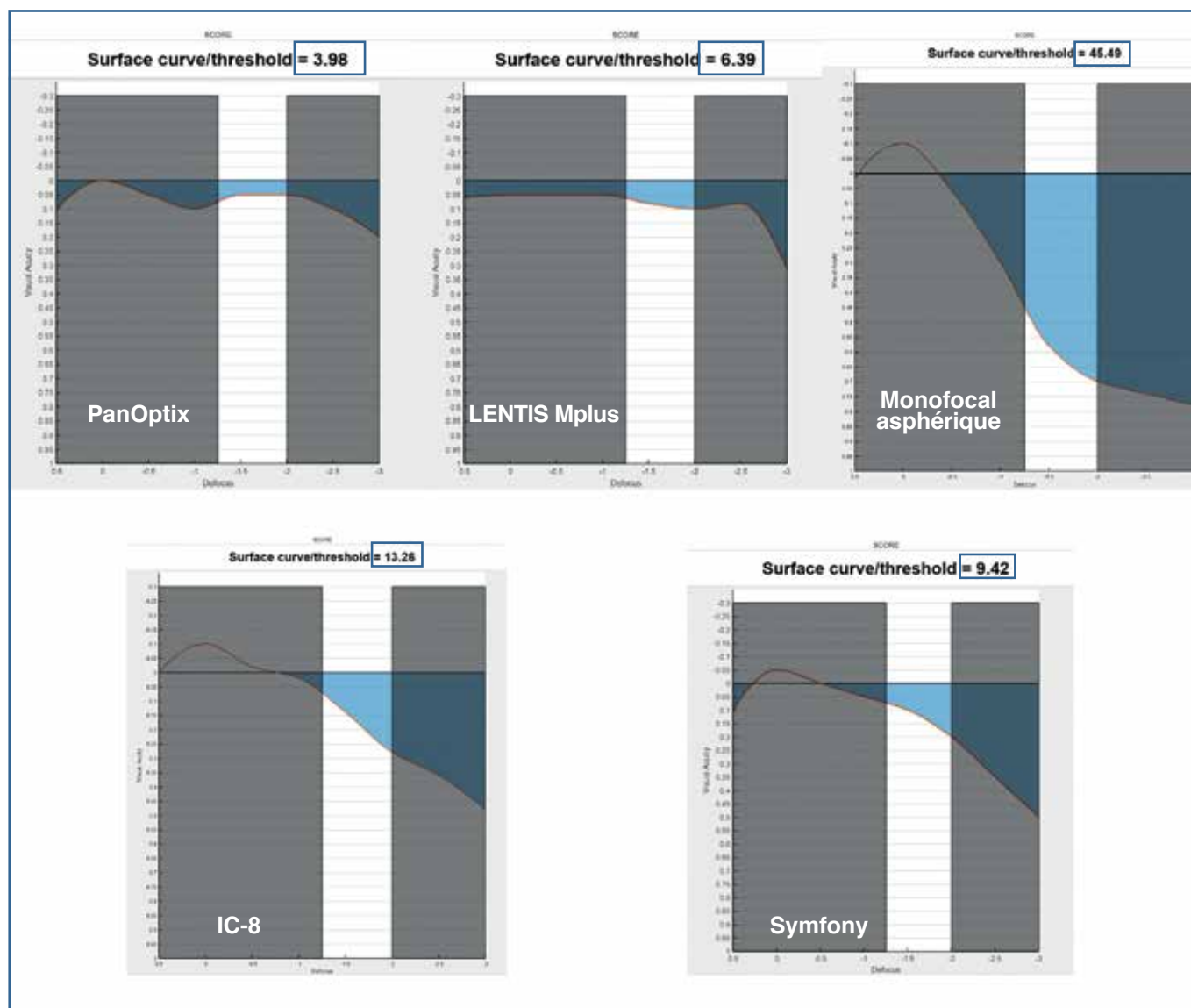


Fig. 12: Scores en vision intermédiaire (-1,25 à -2 D).

– implant EDOF IOLS (Symphony – Johnson & Johnson Vision): 21,25.

Nous distinguons là 3 groupes: l'implant trifocal et multifocal à secteur avec de bonnes performances, l'implant sténopéique et l'implant EDOF, moins performants, et enfin l'implant monofocal asphérique.

>>> Cette application mathématique semble montrer, sur ce travail préliminaire, qu'il est possible de quantifier les données des courbes de défocus afin de les comparer les unes aux autres. Toutefois, les données provenaient de sources diverses, et pour aller plus loin

dans la validation de cet outil, plusieurs étapes seront nécessaires :

- sélectionner de bonnes données cliniques. Nous avons débuté pour cela une étude multicentrique à travers la SAFIR ;
- standardisation des paramètres. Définir vision de loin, intermédiaire et de près en termes d'intervalles. Définir les seuils de vision idéales ;
- mettre au point une méthode statistique de comparaison des surfaces considérant que les courbes sont établies sur des moyennes ;
- ce calculateur pourra peut-être dans le futur être disponible sur un site internet afin de comparer les résultats des différentes études prospectives randomisées.

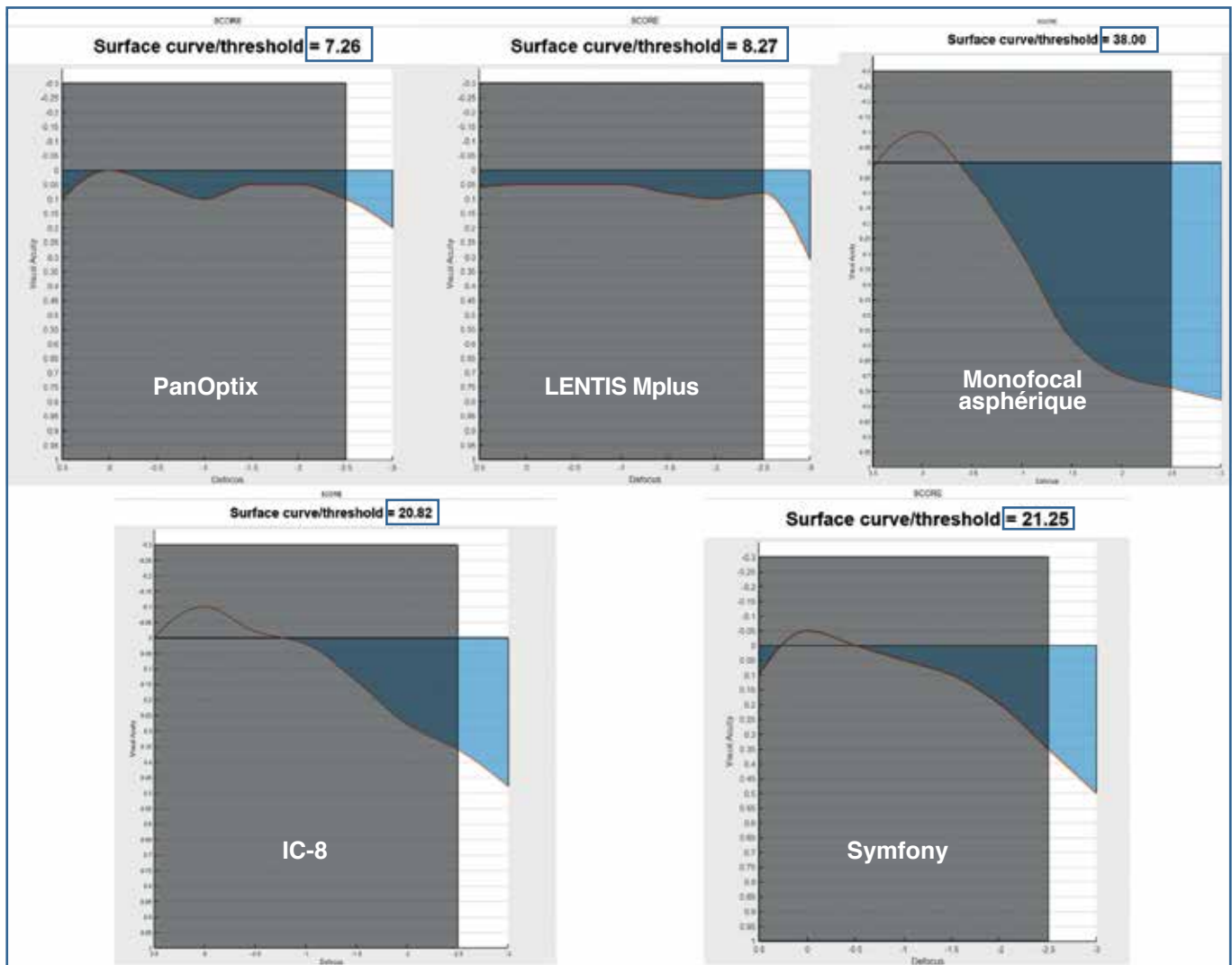


Fig. 13 : Scores en vision de près (-2,5 à -3 D).

Conclusion

Performance et tolérance sont les deux propriétés à étudier simultanément lors de l'évaluation d'un système visant à corriger la presbytie.

Pour ce qui est de la performance, la réalisation et l'analyse des courbes de défocus offrent des possibilités intéressantes de standardisation et de comparaison des différentes solutions optiques disponibles.

Le modèle mathématique proposé permet une analyse quantitative des courbes de défocus des implants corrigeant la presbytie. Une utilisation à large échelle de ce modèle pourrait permettre de proposer des indicateurs de performances basés sur une méthode standardisée.

Bibliographie

1. BREYER DRH, KAYMAK H, AX T *et al.* Multifocal intraocular lenses and extended depth of focus intraocular lenses. *Asia Pac J Ophthalmol*, 2017;6:339-349.
2. ALARCON A, CANOVAS C, ROSEN R *et al.* Preclinical metrics to predict through-focus visual acuity for pseudophakic patients. *Biomed Opt Express*, 2016;7:1877-1888.
3. GATINEL D. Optical performance of monofocal versus multifocal intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*, 2008;34:1817-1818.
4. LEYLAND M, ZINICOLA E. Multifocal versus monofocal intraocular lenses in cataract surgery: a systematic review. *Ophthalmology*, 2003;110:1789-1798.
5. PIEH S, KELLNER C, HANSELMAYER G *et al.* Comparison of visual acuities at different distances and defocus curves. *J Cataract Refract Surg*, 2002;28:1964-1967.
6. GUPTA N, WOLFFSOHN JS, NAROO SA. Optimizing measurement of subjective amplitude of accommodation with defocus curves. *J Cataract Refract Surg*, 2008;34:1329-1338.
7. BUCKHURST PJ, WOLFFSOHN JS, NAROO SA *et al.* Multifocal intraocular lens differentiation using defocus curves. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2012;53:3920-3926.

Thierry Amzallag a déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article. Joël Pynson a déclaré quant à lui être employé par Alcon.



M. ASSOULINE, L. BESSEDE, T. GUEDJ, C. JULLIEN, M. DE OLIVEIRA, C. SENG, A. HOFF
Centre Iéna Vision et Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.
dr.assouline@gmail.com

Implants multifocaux : de la théorie à la pratique Étude rétrospective à propos de 2 099 cas

Dans les années 1980, Bill Isaacson (*fig. 1*), travaillant pour la compagnie 3M, mettait au point le premier modèle d'implant multifocal diffractif en prévision de l'opération de la cataracte que devait subir sa mère. Malgré une efficacité réfractive indéniable, ces implants multifocaux n'avaient pas eu initialement le succès escompté. À l'époque, de nombreux facteurs contribuaient à pénaliser le résultat optique et visuel de ce concept :

- les incisions larges requises par les implants rigides de 6 mm en PMMA favorisaient un astigmatisme élevé, irrégulier et instable ;
- les méthodes biométriques (échographie mode A) et de calcul de la puissance de l'implant étaient une source d'erreur réfractive résiduelle fréquente ;



Fig. 1 : Bill Isaacson, inventeur de l'implant diffractif.

– l'optique diffractive n'avait pas été optimisée pour la taille de la pupille et la précision de l'usinage des marches diffractives était imparfaite, générant des effets visuels indésirables dont certains patients ne parvenaient pas à se débarrasser (halos lumineux, éblouissements, perte de la sensibilité au contraste).

Depuis 35 ans, les progrès ont été très importants.

- La précision réfractive s'est améliorée du fait :
 - de la chirurgie par micro-incision étroite (1,8 mm) et implants souples injectables ;
 - de la biométrie optique et par échographie mode B ;
 - des formules de calcul optimisées par régression multivariable et, plus récemment, par intelligence artificielle pour les longueurs axiales ou les profondeurs de chambre antérieure inhabituelles ;
 - de la prise en compte éventuelle de la puissance optique de la face postérieure de la cornée et de l'asphéricité de sa face antérieure.

- L'efficacité multifocale a été optimisée par :
 - l'apodisation des réseaux diffractifs, permettant, en faisant varier la largeur et la hauteur des marches diffractives du centre vers la périphérie, de moduler l'intensité lumineuse transmise sur les foyers de près et de loin en fonction du diamètre de la pupille afin de favoriser la vision de près à pupille étroite et de préserver l'acuité de loin en pupille large mésopique ;
 - l'amélioration du profil des marches diffractives et de la finition de surface des implants (dont certains sont à présent fabriqués avec une précision de l'ordre du nanomètre), afin de réduire les effets photiques visuels indésirables.

Les experts de la chirurgie réfractive de la cataracte ont progressivement élargi leurs indications et préconisent les implants multifocaux dans 50 à 80 % des cas (en l'absence de

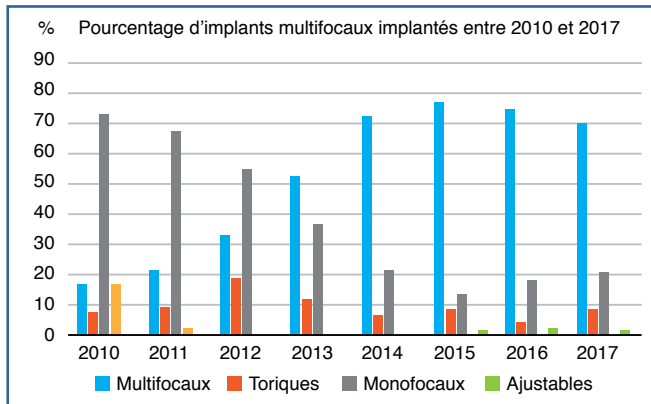


Fig. 2 : Courbe personnelle d'adoption des implants multifocaux. © M. Assouline (n = 3 151).

contre-indication neurorétinienne), pour la plus grande satisfaction de leurs patients (*fig. 2*).

Malgré ces progrès significatifs et une large adoption par les chirurgiens spécialisés, la part de marché des implants multifocaux demeure assez limitée, inférieure à 6-8 % en France (sur 800 000 cas de cataracte opérés par an) et moins de 1 % dans le monde.

Curieusement, les implants multifocaux ne sont toujours pas pris en charge par l'Assurance maladie ou complémentaire, contrairement aux verres progressifs, beaucoup plus coûteux. Le reste à charge du supplément de prix assumé par les patients (entre 0 et 350 euros en France, soit 165 euros en moyenne) semble en effet relativement négligeable au regard d'une indépendance souvent totale vis-à-vis d'une correction optique après l'intervention – non seulement de loin comme avec un implant standard, mais aussi pour la vision de près à 35 cm (lecture) ou en vision intermédiaire à 65 cm (travail sur écran, partitions de musique, smartphones, tablettes, peinture, sculpture...), un bénéfice non négligeable en termes de qualité de vie.

Si le prix de ces implants multifocaux peut sembler un obstacle financier, on constate en réalité que, dans la grande majorité des cas, ce sont les chirurgiens qui s'abstiennent de les proposer à leurs patients. Les patients eux-mêmes demandent pourtant de plus en plus souvent ce type de correction lorsqu'ils en ont entendu parler (média, web, voisins, proches, salle d'attente...), afin de pouvoir vivre plus confortablement "sans lunettes".

Nombre de chirurgiens manifestent toujours une certaine défiance vis-à-vis des résultats publiés [1-6], craignent parfois les difficultés de mise en œuvre spécifiques aux implants multifocaux ou redoutent de se voir imposer par les patients une obligation de résultat qu'ils ne se sentent pas capables

d'assumer. La satisfaction des patients après implants multifocaux dépend en effet de l'obtention effective de l'emmétropie avec absence d'astigmatisme résiduel (succès objectif), mais aussi d'une bonne adéquation entre les attentes et les résultats fonctionnels de l'intervention (succès subjectif), favorisée par un accompagnement pré- et postopératoire optimal du patient par son chirurgien. Par manque d'expérience ou plus rarement de compréhension du fonctionnement optique de ces implants, les chirurgiens non spécialisés ne sont pas toujours à l'aise avec le choix des implants proposés par les fabricants. L'approche *mix & match*, qui consiste à combiner 2 implants multifocaux aux propriétés optiques complémentaires et optimise leur efficacité binoculaire tout en contribuant à réduire les risques d'effets visuels indésirables, peut leur sembler souvent peu naturelle ou trop complexe.

Nous présentons ici notre expérience personnelle de 2 099 cas d'implants multifocaux afin de contribuer à démystifier ces nombreux *a priori* et à donner les clés d'un choix pertinent des implants pour les praticiens.

■ Modèles d'implants et évaluation théorique par simulation numérique Zemax – Ray tracing

Il est assez difficile pour un clinicien d'appréhender les différences de concepts et de designs optiques des implants multifocaux. Si le principe général est toujours le même (séparation de la lumière entrante et distribution sur 2 ou plusieurs foyers), les perfectionnements récents de ces optiques sont difficiles à quantifier sur le plan de leur efficacité visuelle. Les implants diffractifs utilisés dans cette étude (*fig. 3*) diffèrent sensiblement par leur structure optique.

L'AT Lisa bifocal (Zeiss) et le FineVision trifocal (Bausch + Lomb) ont une structure diffractive apodisée qui s'étend du centre jusqu'au bord périphérique de l'optique (6 mm). La réduction de la hauteur et de la largeur des marches diffractives vers la périphérie favorise la vision de près en myopie et la vision de loin en myopie.

Les implants plus récents, le Medicontur Liberty BF677MY et l'Alcon PanOptix, également apodisés, ont une structure diffractive qui est restreinte au centre de l'optique sur un diamètre respectif de 3 mm (Medicontur Liberty) et de 4,5 mm (Alcon PanOptix) (*tableau I*). Ce choix technique est cohérent avec le réflexe d'accommodation-convergence-myopie. La multifocalité diffractive de l'implant n'est en effet utile en pratique que pour la vision de près et la vision intermédiaire

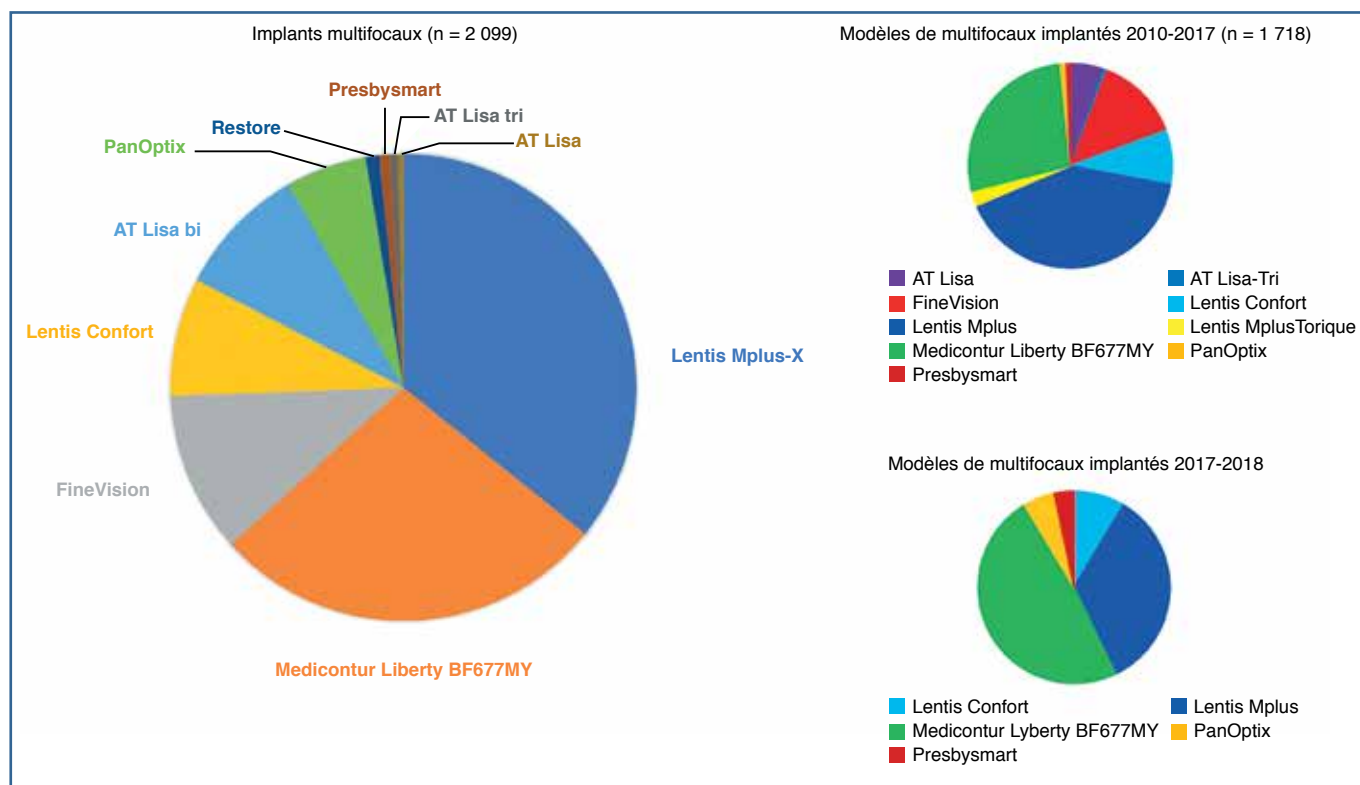


Fig. 3 : Modèles d'implants multifocaux étudiés dans cette série.

Implants trifocaux	Liberty (Medicondur)	FineVision (PhysIOL)	PanOptix (Alcon)
			
Technologie	Diffractive-refractive trifocale	Diffractive trifocale	Diffractive quadrifocale
Apodisation	✓	✓	✓
Marches diffractives	7	20	15
Ordres diffractifs	1 (1st)	2 (1st; 2nd)	3 (1 désactivée)
Surface diffractive	3 mm	5,5 mm	4,5 mm
Perte lumineuse	11 %	14 %	12 %
Distribution énergie VL/VI/VP @ Pupille 3,0 mm	53 % / 14 % / 33 %	49 % / 18 % / 33 %	42 % / 24 % / 22 %
Addition	+1,75 D et +3,50 D	+1,75 D et +3,50 D	+2,17 D et +3,25 D
Torique	✓	✓	✓
Distance lecture	37,5 cm	37,5 cm	40 cm
Aberration sphérique	Neutre	-0,11 µm SA	-0,20 µm SA
Matériau	HL acrylique (25)	HL acrylique (25)	HB acrylique
Réduction des aberrations chromatiques (nb d'Abbe)	58	58	37

Tableau 1 : Caractéristiques optiques comparées des 3 implants multifocaux étudiés.

au travers d'une pupille de taille réduite. La vision de loin à pupille dilatée sera donc mieux préservée par la transmission d'une intensité lumineuse plus importante sur le foyer de loin, notamment pour la vision nocturne.

Les principes de correction optique multifocale de la vision intermédiaire diffèrent pour les 4 implants récents :

- L'optique réfractive asymétrique du Lentis Mplus X-MF30 (Oculentis) comporte, juxtaposée à l'optique principale dédiée à la vision de loin, une zone optique coaxiale segmentaire inférieure responsable d'une combinaison d'aberration sphérique et de coma capables de défocaliser la lumière entrante de façon semi-continue (transitionnelle), très similaire au profil obtenu après presbyLasik.

- L'optique du FineVision (PhysIOL) comprend 2 réseaux diffractifs superposés; le second récupère l'énergie perdue (harmoniques) du premier pour dispenser environ 17 % de l'énergie lumineuse incidente (pour une pupille de 3 mm) sur le foyer intermédiaire.

- L'optique du Liberty (Medicontur) superpose un réseau diffractif simple apodisé, composé seulement de 7 marches diffractives, avec une modification de surface réfractive destinée à optimiser la profondeur de champ; grâce à un usinage dont la précision a été améliorée pour atteindre l'ordre du nanomètre, chaque marche diffractive est pourvue d'une modification de courbure asphérique destinée à augmenter la profondeur de champ (technologie PAD); il résulte de cette géométrie un décalage spatial réfractif du réseau diffractif (EPS pour *Elevated Phase Shift*), proportionnel à l'excentricité, qui contribue à défocaliser 11 à 14 % de la lumière incidente, selon le diamètre de la pupille, pour le foyer dédié à la vision intermédiaire.

- L'optique du PanOptix (Alcon) combine des réseaux diffractifs pour créer 4 foyers, dont l'un est désactivé pour laisser un système trifocal.

Ces implants diffèrent également par leur design géométrique (*fig. 4*) :

- L'implant AT Lisa bifocal (Zeiss) est une navette monobloc simple non angulée à 4 points d'appui.

- L'implant Lentis Mplus est également une navette plus épaisse, à 2 haptiques ajourées formant 4 points d'appui, en matériau hydrophile Benz25 avec modification hydrophobe de la surface et bords carrés.

- L'implant FineVision (PhysIOL) est un implant hydrophile à 4 haptiques ajourées à 4 points d'appui, angulé de 5° et à bords carrés.

- L'implant Liberty (Medicontur) est une lentille hydrophile (matériau classique Benz 25) pourvue d'un filtre jaune naturel très sélectif pour éviter l'altération de la perception des couleurs et présentant le plus faible niveau d'aberration chromatique actuel (nombre d'Abbe de 59, le plus élevé du marché). Son index réfractif très bas réduit le risque de dysphotopsies. L'optique présente des bords carrés très "affûtés" grâce à un usinage direct sans polissage sur 360°, y compris à la jonction avec les haptiques pour la prévention de l'opacification capsulaire postérieure. Cet implant se distingue par ses 2 anses en J avec double arc fermé et courbe-enveloppe de 13 mm, compatible aussi bien avec des petits sacs capsulaires qu'avec une implantation en position ciliaire. L'angle de contact équatorial des haptiques est très augmenté (90° pour un sac de 9 mm, contre 40 à 70° pour les implants classiques). Son asphéricité est neutre.

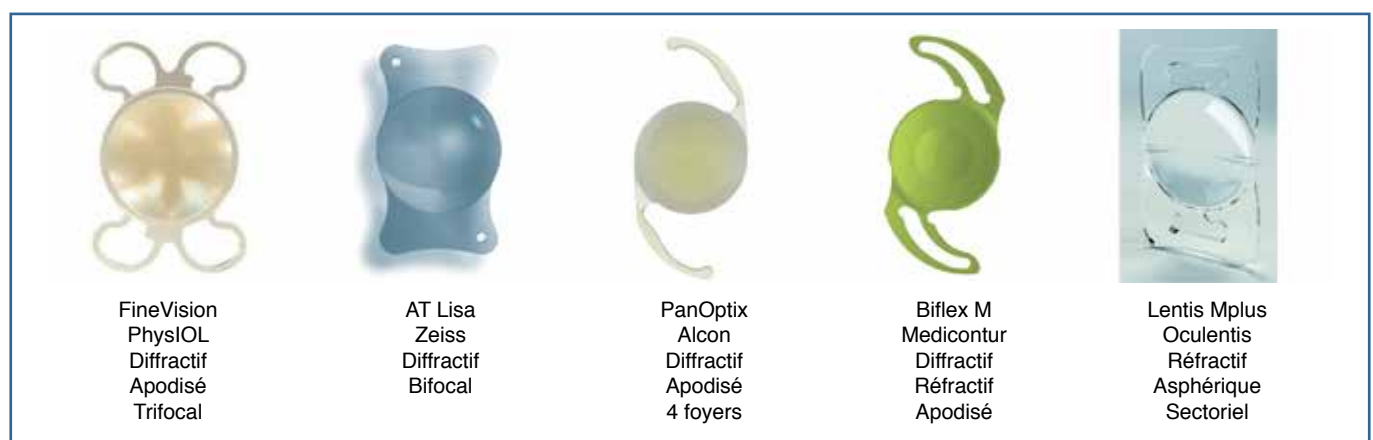


Fig. 4 : Géométrie comparée des principaux implants multifocaux étudiés.

Les systèmes de *ray tracing* avancés, tel le studio optique Zemax, permettent de modéliser le comportement des rayons lumineux au travers des optiques multifocales afin d'en préciser les caractéristiques.

L'analyse par cartographie tridimensionnelle (Zemax *ray tracing mapping* 3D) de la distribution de l'énergie lumineuse

théorique permet de représenter la fonction de modulation de transfert (MTF, déterminant la sensibilité au contraste) sous forme d'une intensité colorée en fonction de la fréquence spatiale et de la défocalisation. Un pic plus ample, plus étroit et plus "chaud" suggère une meilleure performance visuelle. Les **figures 5 et 6** permettent de comprendre que chaque implant multifocal réalise un compromis variable, expliquant

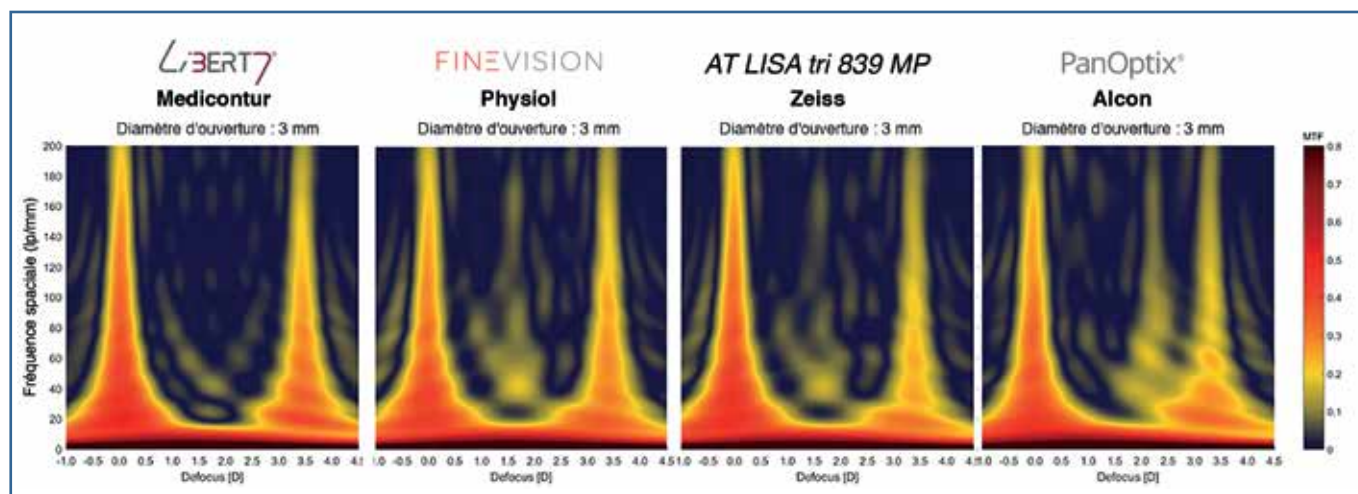


Fig. 5 : Analyse par cartographie tridimensionnelle (Zemax *mapping* 3D *ray tracing*) de la distribution de l'énergie lumineuse théorique en fonction du modèle d'implant pour une pupille d'entrée de 3 mm. La fonction de modulation de transfert (MTF) est représentée sous forme d'une intensité colorée en fonction de la fréquence spatiale et de la défocalisation. Un pic plus ample, plus étroit et plus "chaud" suggère une meilleure performance visuelle (*source : Medicentur*).

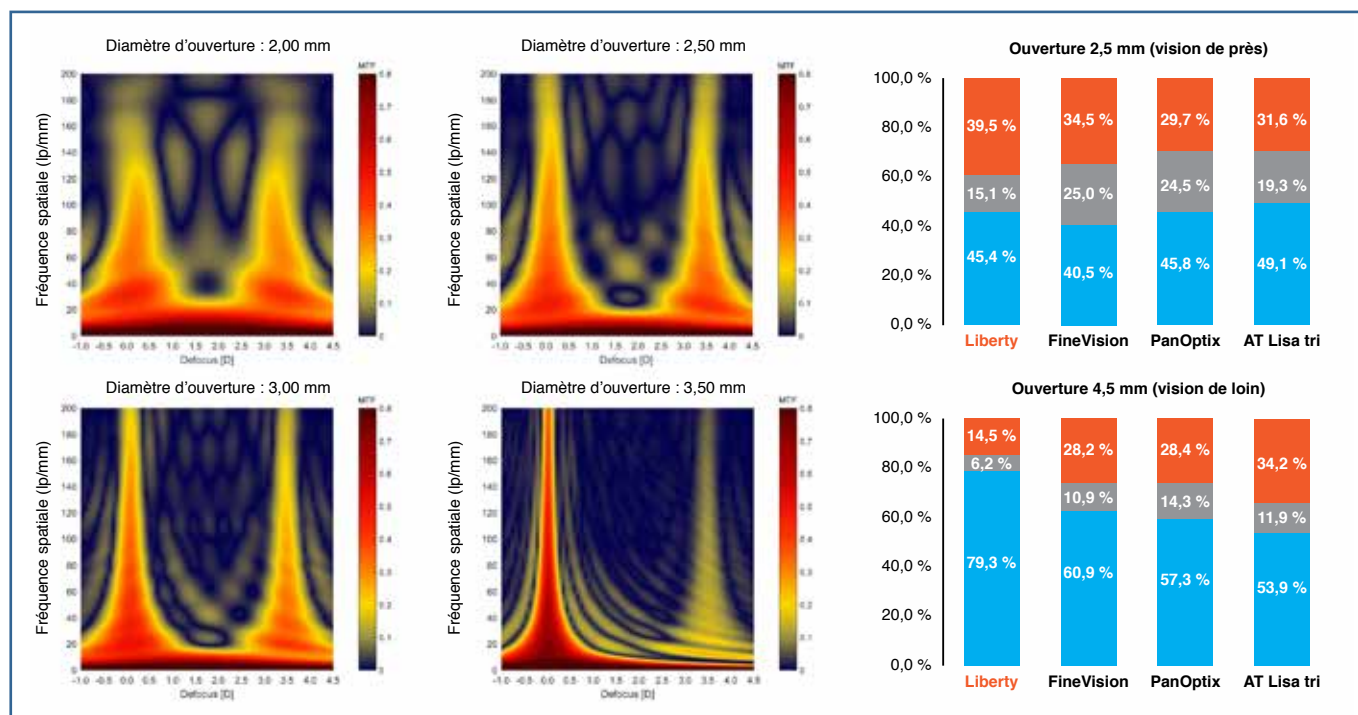


Fig. 6 : Analyse par cartographie tridimensionnelle (Zemax *mapping* 3D *ray tracing*) des MTF de l'implant Medicentur pour une pupille d'entrée de 2,00, 2,50, 3,00 et 4,50 mm. Analyse de la distribution de l'énergie lumineuse théorique en fonction du modèle d'implant pour une pupille d'entrée de 2,25 et de 4,50 mm. La zone réfractive non diffractive périphérique de l'implant Liberté permet de dédier 79,3 % de la lumière entrante pour la vision de loin en pupille mésopique (*source : Medicentur*).

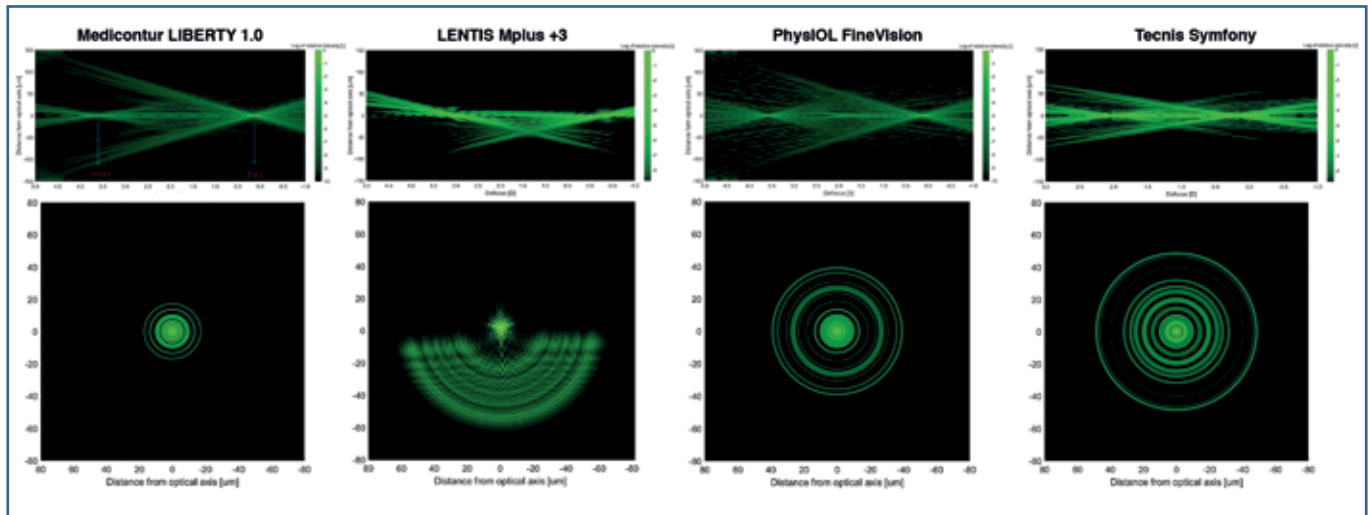


Fig. 7 : Simulation des effets photiques par ray tracing Zemax pour 4 modèles d'implants multifocaux avec une pupille de 4,5 mm. La zone périphérique réfractive non diffractive de l'implant Liberty permet de limiter la dispersion antérograde des rayons lumineux responsables de halos (implants diffractifs) ou d'une coma avec aberration sphérique (implant réfractif asymétrique) (source : MediconTur).

des performances légèrement différentes. Le point le plus notable est que l'extension de la zone diffractive à la périphérie de l'implant limite sa qualité optique pour une pupille d'entrée plus large, par exemple en situation mésopique. L'autre point intéressant est que les différents systèmes destinés à favoriser la vision intermédiaire sans sacrifier la vision de loin et de près utilisent une proportion assez faible de la lumière entrante (de 11 à 17 %) pour une efficacité clinique tout de même très appréciable.

Le système de ray tracing Zemax permet également de modéliser les effets visuels photiques indésirables générés par ces implants multifocaux. La **figure 7** permet de visualiser la dispersion des rayons lumineux entrants, dont la section transversale illustre théoriquement la formation de halos (modèles diffractifs) ou d'aberrations optiques d'ordre supérieur (coma et aberration sphérique pour l'implant réfractif asymétrique).

■ Étude clinique

1. Patients et méthodes

Nous avons comparé rétrospectivement les résultats de 5 implants multifocaux dans une série consécutive de 2099 yeux, opérés par l'auteur.

1. Bifocal diffractif apodisé: AT Lisa Bifocal de Zeiss (n = 193);

2. Réfractif asphérique sectoriel: Lentis Mplus X MF30 d'Oculentis/Topcon (n = 751);
3. Trifocal diffractif (double réseau): FineVision de PhysiOL (n = 234);
4. Diffractif/réfractif (*Elevated phase shift*, profondeur de champ améliorée): Liberty Biflex 677MF de MediconTur (n = 577);
5. Quadrifocal avec un ordre désactivé: PanOptix d'Alcon (n = 117).

La majorité des patients (83 %) ont eu 2 implants différents sur les 2 yeux (approche *mix & match*).

Les implants multifocaux totalisant moins de 100 cas (Restor, Tecnis, PresbySmart, AT Lisa Trifocal...) et les semi-multifocaux (Lentis Confort-MF15, n = 172), accommodatifs, ajustables à la lumière ou asphériques sur mesure ont été exclus de cette analyse.

2. Résultats réfractifs et fonctionnels

Les résultats réfractifs et fonctionnels actualisés de cette étude, que nous avons publiée à plusieurs reprises, sont présentés dans les **figures 8 à 10**.

Les implants plus récents (Lentis, FineVision, Liberty et PanOptix) permettent d'obtenir une meilleure acuité visuelle intermédiaire à 65 cm non corrigée que l'implant bifocal classique (AT Lisa Bifocal). Ce que confirment les courbes de défocalisation monoculaires et binoculaires ainsi que les tests de préférence binoculaire subjective.

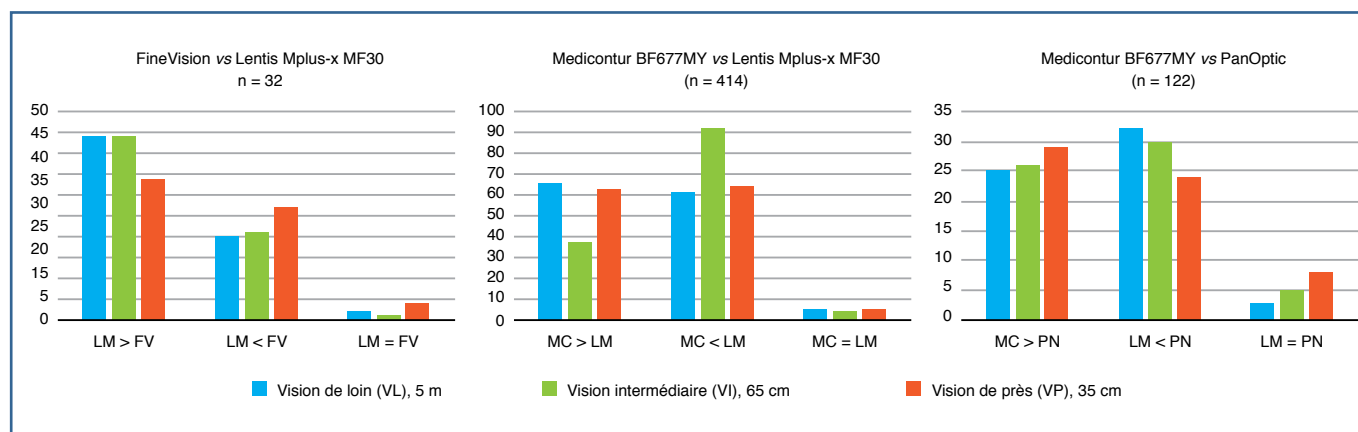


Fig. 8 : Préférence subjective de 3 implants étudiés en *mix & match*, en % des yeux appariés (n = 668). L'implant réfractif Lentis paraît préféré dans les 3 domaines de vision par rapport à l'implant FineVision, mais seulement en vision intermédiaire par rapport à l'implant Liberty. L'implant Liberty semble préféré plus souvent en vision de près par rapport à l'implant PanOptic et moins souvent en vision de loin. Cette préférence subjective est différente de l'acuité mesurée objectivement dans les différents domaines de vision (fig. 9).

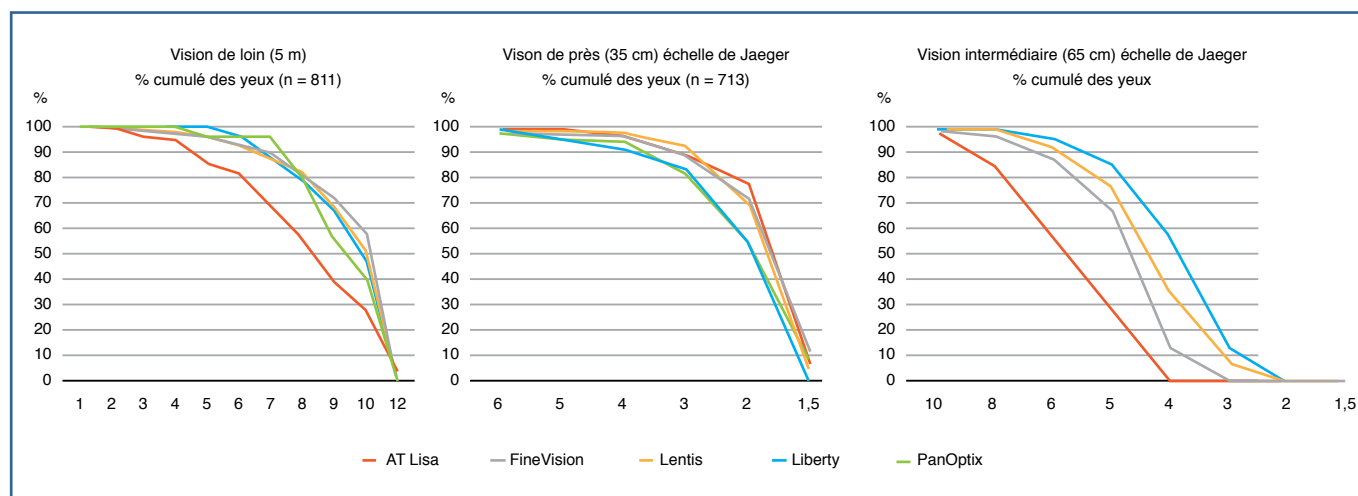


Fig. 9 : Acuité monoculaire non corrigée à 5 m (décimale), 35 cm et 65 cm (Parinaud), en % d'yeux cumulés (n = 811). L'implant AT Lisa Bifocal semble aussi efficace en vision de près, mais moins en vision de loin et, surtout, en vision intermédiaire par rapport aux implants trifocaux récents (Liberty, FineVision et PanOptic) et à l'implant réfractif (Lentis Mplus). Au total, 88 % des yeux obtiennent P4 à 65 cm avec l'implant Liberty, contre 50 % avec l'implant Lentis Mplus, 42 % avec le PanOptic, 14 % avec le FineVision et 0 % avec l'AT Lisa Bifocal.

Ces méthodes d'évaluation clinique subjectives et objectives des performances des implants ne sont cependant pas concordantes, ce qui suggère la participation de mécanismes de neuro-adaptation. Pour l'appréciation de la vision intermédiaire, notamment, la mesure de l'acuité visuelle monoculaire non corrigée semble plus favorable à l'implant Liberty, tandis que les courbes de défocalisation et la préférence subjective semblent donner l'avantage à l'implant Lentis Mplus.

Les caractéristiques de ces implants suggèrent l'intérêt de combiner ces implants entre eux en choisissant un implant plus favorable à la vision de loin sur l'œil dominant (Lentis, PanOptic, Mediconcur) et un implant plus favorable

à la vision de près sur l'œil non dominant (Mediconcur, FineVision, AT Lisa).

Les implants Mediconcur Liberty et Alcon PanOptic semblent actuellement les plus polyvalents et peuvent sans doute être utilisés chacun de façon binoculaire avec une excellente efficacité sur les 3 domaines de la vision.

Les implants diffractifs favorisent la perception de halos lumineux en vision nocturne, peu gênants et limités aux premières semaines postopératoires dans la majorité des cas, sans différence notable entre les implants. L'implant réfractif asphérique crée une coma responsable d'une double image

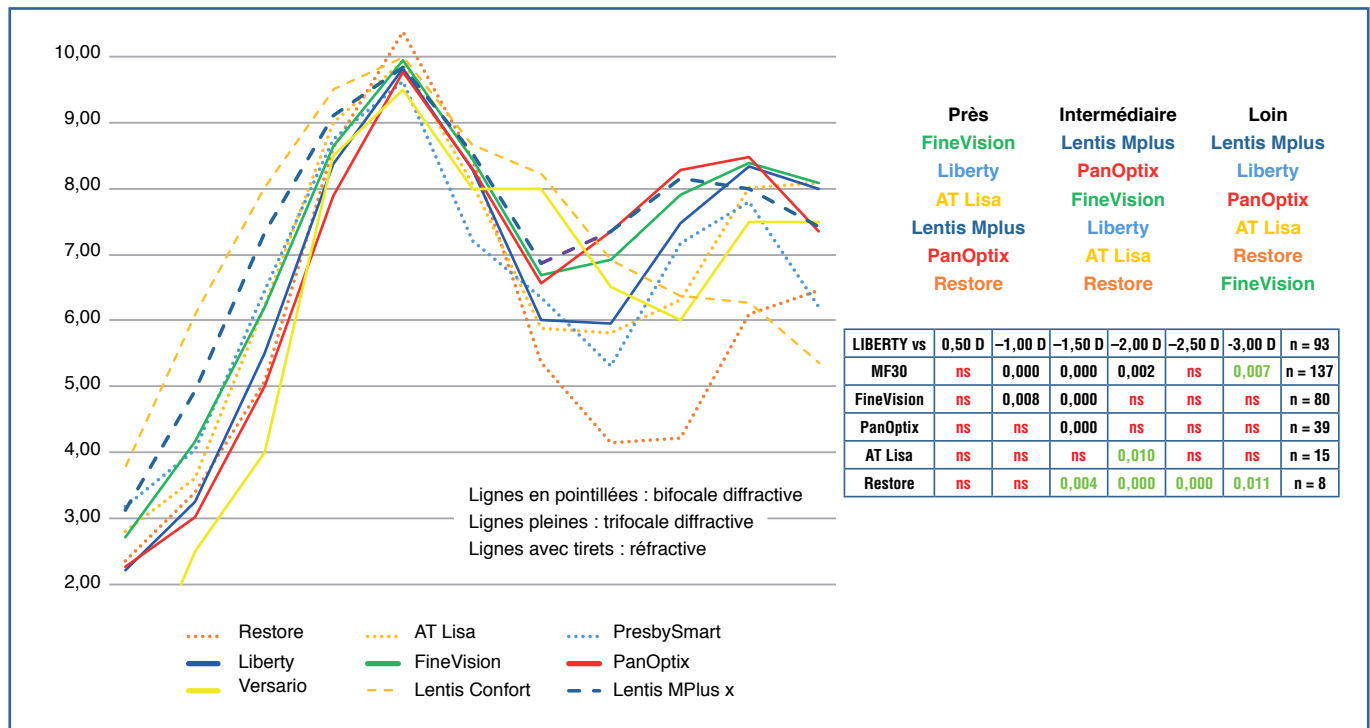


Fig. 10 : Courbes de défocalisation monoculaire (n = 372). Les implants bifocaux (AT Lisa et Restore) apparaissent moins performants en vision intermédiaire. L'implant Liberty est statistiquement meilleur que les implants AT Lisa et Restore entre -1,50 et -2,50 D, et meilleur que l'implant Lentis Mplus en vision de près à -3 D. L'implant Lentis Mplus, l'implant FineVision et l'implant PanOptix sont statistiquement meilleurs que l'implant Medcontur entre -1 et -2 D de défocalisation. Ces courbes de défocalisation ne reflètent pas totalement la préférence subjective (fig. 8) et l'acuité non corrigée monoculaire observées (fig. 9).

inférieure atténuée. La vision de près nécessite un éclairage suffisant pour les petits caractères.

3. Résultats anatomiques

Sur 901 cas de Lentis Mplus X et Lentis Confort implantés, nous avons observé 4 cas de calcification progressive de la surface de l'implant – cela a nécessité un échange d'implant

dans 2 cas, soit 0,22 % (fig. 11). Ce problème a déjà été rapporté pour de nombreux implants et pour ce modèle depuis 2014 [7]. Il serait favorisé par la réalisation d'une vitrectomie, par certains médicaments ou par une injection de gaz (DMEK) [8]. L'incidence rapportée par le laboratoire serait de 0,32 % avec un temps moyen d'apparition de l'ordre de 38 mois. En 2017, le laboratoire a émis une alerte sur les lots dont le numéro commence par les lettres L-, LU- et LS-, et

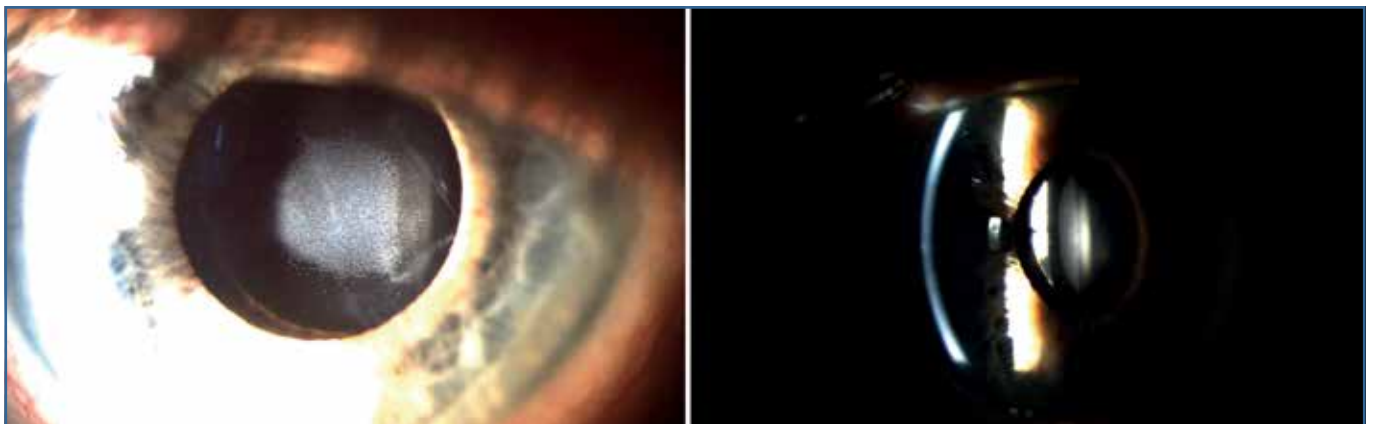


Fig. 11 : Calcification d'un implant Lentis Mplus 4 ans après implantation et avant explantation. Baisse d'acuité visuelle à 4/10. Échange d'implant sans difficulté particulière et récupération d'une acuité visuelle de 9/10 sans correction.

dont la date d'expiration était comprise entre janvier 2017 et mai 2020. Un agent nettoyant utilisé dans le processus industriel et contenant du phosphate a été mis en cause.

■ Conclusion

Les résultats objectifs et subjectifs des implants multifocaux les plus récents apportent aux patients un gain d'autonomie visuelle et de qualité de vie avec une constance et une sécurité qui justifient amplement d'inciter les chirurgiens français à changer leurs habitudes.

Article présenté en partie à l'Asia-Pacific Academy of Ophthalmology (APAO Hong Kong, février 2018, Prix de la meilleure communication scientifique, et APAO Bangkok, mars 2019).

Bibliographie

1. DUNAI AF, KRANITZ K, JUHASZ E *et al.* (Hungary). Comparison of two multifocal IOL types (50 Bi-Flex 677MY and 50 AcrySof IQ) – long-term visual outcome. *ESCRS*, 2016, 2017.
2. VAN ACKER E. Comparison of clinical outcomes and patient satisfaction after implantation of two different types of diffractive apodized IOLs: 40 Bi-Flex 677MY, 40 FineVision (Micro F) trifocal diffractive IOL. Prospective, randomized, observational study. *ESCRS*, 2017.
3. GYORI J. Long term functional and morphological outcomes and patient satisfaction after cataract surgery with 100 Bi-Flex 677MY implantation with/without posterior central circular capsulorhexis (PCCC). *ESCRS*, 2016, 2017.
4. DEXL A. Visual outcome, patient satisfaction and spectacle independency after implantation of 50 eyes with progressive Bi-Flex 677MY. Final result of a multicentric trial with 50 consecutive patients. *ESCRS*, 2015.
5. LAW E, BUCKHURST P, BUCKHURST H *et al.* Randomized clinical trial of the biflex multifocal IOL. *ESCRS*, 2017.
6. FERNÁNDEZ J, RODRÍGUEZ-VALLEJO M, TAUSTE A *et al.* Visual performance of patients implanted with Bi-Flex 677M7 analyzed by the Qvision iPad Multifocal Lens Analyzer. *ESCRS*, 2017.
7. GARTAGANIS SP, PRAHS P, LAZARI ED *et al.* Calcification of hydrophilic acrylic intraocular lenses with a hydrophobic surface: laboratory analysis of 6 cases. *Am J Ophthalmol*, 2016;168:68-77.
8. DE COCK R, FAJGENBAUM MAP. Calcification of Rayner hydrophilic acrylic intra-ocular lenses after Descemet's stripping automated endothelial keratoplasty. *Eye*, 2014;28:1383.

Le Dr M. Assouline est consultant pour Medicontur International et pour Medicontur France, et ne présente pas d'autre intérêt financier dans les produits cités dans cet article.



E. BLUMEN-OHANA
Centre médico-chirurgical Œil et Paupière, PARIS.
blumen.ohana@gmail.com

Implants à profondeur de champ, un choix de première intention ?

La vision intermédiaire est devenue incontournable depuis quelques années avec le développement des ordinateurs, tablettes, smartphones... En parallèle, la chirurgie de la cataracte a maintenant des ambitions réfractives, avec une correction de la presbytie possible. Les implants multifocaux existent depuis quelques dizaines d'années déjà, mais demeurent assez peu posés en pratique quotidienne par rapport au nombre de procédures effectuées. La technologie de ces implants entraîne une perte relative de la vision des contrastes, avec un partage de la lumière incidente sur les différents foyers fixes de focalisation.

Les implants bifocaux utilisés en pratique courante donnent par exemple d'excellents résultats réfractifs sur la vision de loin et la vision de près ; la vision intermédiaire pêche et on obtient des courbes de défocalisation à double bosse et un creux correspondant à cette vision intermédiaire si précieuse.

Si la vision obtenue est démontrée, les patients équipés d'implants multifocaux rapportent régulièrement des effets secondaires non négligeables à type de halos, brouillard visuel, éblouissements...

Les implants à profondeur de champ se sont développés pour tenter de parer à ces signes fonctionnels, tout en favorisant la vision intermédiaire et l'indépendance aux lunettes : le point de focalisation est unique mais allongé, ce qui procure cette profondeur de champ, sans interruption brutale, entre la vision de loin et la vision intermédiaire.

■ Principes optiques

Les implants multifocaux ont la caractéristique de partager la lumière incidente en différents foyers, avec création de plusieurs focales ; leur principe d'action repose sur la vision

simultanée, l'image surajoutée doit être "gommée", et c'est là qu'intervient la neuroadaptation. On observe une déperdition de la lumière incidente de l'ordre de 15 % pour les implants diffractifs, avec une diminution de la sensibilité aux contrastes. Les dysphotopsies responsables de plaintes fonctionnelles telles que la gêne visuelle, les halos ou les éblouissements surviennent surtout en ambiance mésopique ou scotopique.

L'implantation pseudophaque augmente les aberrations optiques chromatiques, longitudinales ou transversales [1]. Ces aberrations entraînent une focalisation différente en fonction de la longueur d'onde sur le plan axial et/ou transversal, elles aboutissent à une image moins nette, irisée. Ces aberrations sont approchées par l'*Abbe number* qui évalue la dispersion chromatique du matériau de nos implants. La correction de ces aberrations est un enjeu important pour optimiser la qualité de vision et limiter la dispersion chromatique des implants [2].

Trois grands principes sont utilisés pour optimiser la profondeur de champ.

1. Les implants à profondeur de champ

Ils utilisent une focalisation étendue, contrairement aux implants monofocaux ou multifocaux "classiques" qui imposent une focalisation du front d'ondes sur un ou plusieurs points définis, avec une éventuelle image "fantôme" provenant de la superposition de la vision de loin et de la vision de près, entravant la qualité de vision. La focalisation étendue permet d'optimiser la qualité de vision en diminuant les halos et les dysphotopsies induits par la focalisation en plusieurs points [3]. L'exemple type de cette catégorie d'implants est le Tecnis Symphony, commercialisé par Johnson & Johnson.

2. Les implants réfractifs à faible addition

Le principe de fonctionnement est celui d'un verre bifocal, avec une zone dévolue à la vision de loin et un segment dédié à la vision intermédiaire, correspondant à une addition de 1,5 D. En effet, il semble que les faibles additions soient mieux vécues sur le plan fonctionnel, avec moins de phénomènes photiques. L'exemple de ce type d'implant est le Lentis Comfort LS-313 MF15 d'Oculentis, commercialisé en France par Topcon.

3. Les implants utilisant le principe du trou sténopéique pour limiter la dispersion de l'onde incidente

Aussi appelés implants à petite ouverture, ils empêchent la transmission de la lumière en dehors de la zone de focalisation précise. On obtient ainsi une bonne profondeur de champ sans zone de transition floue. L'exemple de cette catégorie d'implant est le IC-8 (AcuFocus).

■ Les implants à profondeur de champ

1. Le Tecnis Symphony (fig. 1)

Implant monobloc en matériau acrylique hydrophobe, avec des bords traités, correction des aberrations sphériques, réductions des aberrations chromatiques. La focalisation progressive se fait par le biais d'une échelle achromatique diffractive. Cet implant privilégie la vision de loin et la vision intermédiaire ; on peut optimiser dans une certaine mesure la vision de près en réalisant une micro-bascule, *i.e.* viser une réfraction postopératoire à $-0,50$ D sur l'œil privilégié en vision de près. Le Tecnis Symphony autorise une indépendance aux lunettes, les phénomènes dysphotopsiques sont minimisés [4, 5]. Il existe également en version torique.

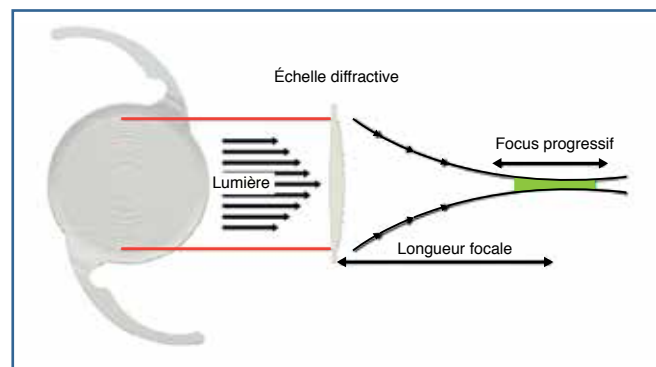


Fig. 1 : Implant Tecnis Symphony.

2. Le MPlus Comfort (fig. 2)

Il s'agit d'un implant acrylique hydrophile à revêtement de surface hydrophobe ; il est multifocal réfractif avec une addition intermédiaire de 1,50 sur une zone sectorielle antérieure. Il procure une excellente vision de loin comparé aux implants monofocaux et une vision intermédiaire [6]. La sensibilité aux contrastes et la vision mésopique sont préservées malgré la profondeur de champ optimisée. La version torique est disponible.



Fig. 2 : Implant MPlus Comfort.

3. Le Mini Well (fig. 3)

Il s'agit d'un implant multifocal asphérique, la profondeur de champ est obtenue par le biais d'aberrations sphériques sur certaines zones de l'optique, ce qui permet d'induire une multifocalité progressive. La zone optique est divisée en trois zones concentriques, la plus externe étant monofocale, privilégiant la vision de loin en mydriase relative. Les deux zones les plus internes ont des aberrations sphériques de signes opposés.

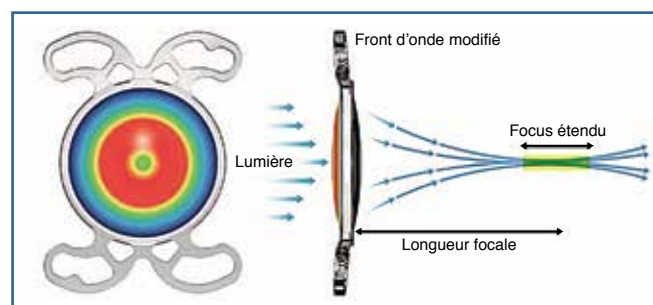


Fig. 3 : Implant Mini Well.

4. Autres

>>> Les implants à petite ouverture

● **IC-8 (AcuFocus) (fig. 4) :** implant monobloc acrylique hydrophobe, avec une pastille laissant passer la lumière sur un diamètre de 1,36 mm au sein d'un masque opaque de 3,23 mm de diamètre.



Fig. 4 : Implant à petite ouverture IC-8 (AcuFocus).

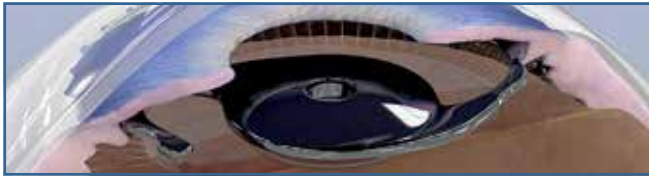


Fig. 5 : XtraFocus (Morcher).

● **XtraFocus** (Morcher) (*fig. 5*), pour une implantation en *piggy-back* avec un trou sténopéique au sein d'une zone qui bloque la lumière du visible, mais qui est perméable à l'infrarouge, autorisant donc un examen de la rétine en OCT.

>>> **Instant Focus** (InFo) (*fig. 6*) est un implant acrylique hydrophile multifocal de sac capsulaire avec une zone optique hybride, réfractive, diffractive et asphérique. L'asphéricité centrale engendre une focalisation étendue entre vision de près et vision intermédiaire.



Fig. 6 : Implant Instant Focus.

>>> **AT LARA 829 MP** (Zeiss) est l'un des derniers implants à profondeur de champ sur le marché. Il s'agit d'un implant acrylique hydrophile, diffractif avec 2 additions différentes (+0,95 et +1,9 D), ce qui améliore la plage de vision entre les deux focales VL et VI sans rupture. On note également dans son cas une diminution des dysphotopsies, une sensibilité aux contrastes préservée du fait de la correction des aberrations chromatiques intégrée.

■ Sélection des patients candidats à une implantation à profondeur de champ

Comme dans le cas d'une implantation multifocale, il s'agit de sélectionner les bons candidats : idéalement âgés de plus de 50 ans, motivés, dépendants aux lunettes, avec un style de vie compatible, l'absence de conduite nocturne régulière... Le temps d'information préopératoire est essentiel pour valider les attentes du patient et vérifier leur adéquation avec les résultats attendus. On évitera les déconvenues chez les patients qui présentent des exigences inappropriées ou une compréhension limitée des enjeux. Il est essentiel de vérifier l'absence de pathologie associée en veillant aux 5 "C" de la *figure 7*.

■ Conclusion

Les implants à profondeur de champ représentent une alternative prometteuse [7] pour corriger la presbytie des patients

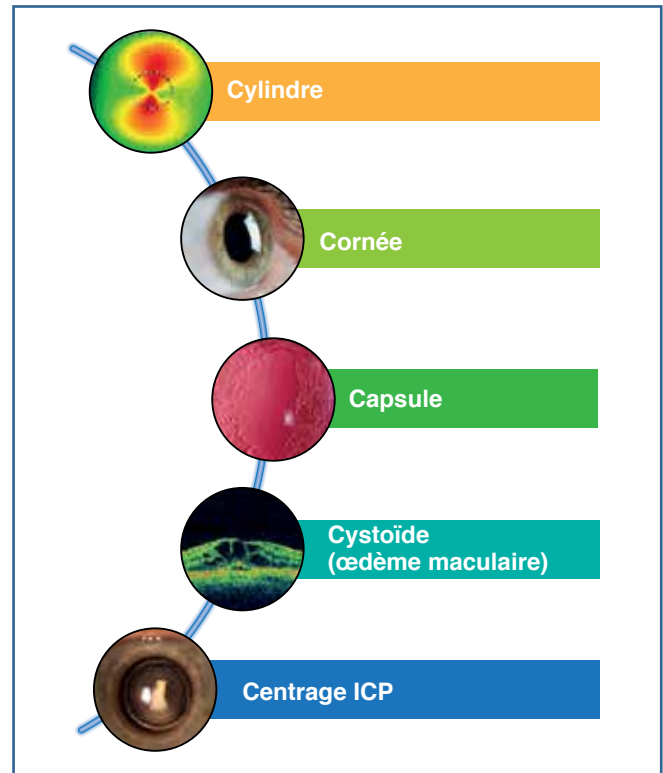


Fig. 7 : Les 5 C à surveiller.

candidats à une chirurgie du cristallin. Leurs avantages tiennent en une réduction des phénomènes photiques engendrés par les implants multifocaux classiques, une sensibilité aux contrastes préservée, sans compromis sur la vision de loin, et une approche confortable de la vision intermédiaire, si précieuse aujourd'hui.

Bibliographie

1. ZHAO H, MAINSTER MA. The effect of chromatic dispersion on pseudophakic optical performance. *Br J Ophthalmol*, 2007;91:1225-1229.
2. ŁABUZ G, PAPADATOU E, KHORAMNIA R *et al*. Longitudinal Chromatic Aberration and Polychromatic Image Quality Metrics of Intraocular Lenses. *J Refract Surg*, 2018;34:832-838.
3. GALLEGGO AA, BARÁ S, JAROSZEWICZ Z *et al*. Visual Strehl performance of IOL designs with extended depth of focus. *Optom Vis Sci*, 2012;89:1702-1707.
4. COCHENER B. Concerto Study Group. Clinical outcomes of a new extended range of vision intraocular lens: International Multicenter Concerto Study. *J Cataract Refract Surg*, 2016;42:1268-1275.
5. ATTIA MSA, AUFFARTH GU, KRETZ FTA *et al*. Clinical Evaluation of an Extended Depth of Focus Intraocular Lens With the Salzburg Reading Desk. *J Refract Surg*, 2017;33:664-669.
6. ALIÓ JL, PLAZA-PUCHE AB, MONTALBAN R *et al*. Visual outcomes with a single-optic accommodating intraocular lens and a low-addition-power rotational asymmetric multifocal intraocular lens. *J Cataract Refract Surg*, 2012;38:978-985.
7. MACRAE S, HOLLADAY JT, GLASSER A *et al*. Special report: American Academy of Ophthalmology Task Force Consensus Statement for Extended Depth of Focus Intraocular Lenses. *Ophthalmology*, 2017;124:139-141.

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



P. ROZOT
Service d'Ophtalmologie, Clinique Juge, MARSEILLE.
pascal.rozot@dr-rozot.com

Explantation des implants multifocaux à visée optique

■ Le contexte de la multifocalité

Depuis une dizaine d'années, on observe une nette amélioration de la tolérance des implants multifocaux, dont les performances optiques se sont affinées et apportent une satisfaction du patient très significative. Toutefois, le principe de partage de la lumière incidente en plusieurs foyers, deux au moins, a des limites incontournables, puisque chaque foyer est crédité d'une quantité de lumière plus réduite qu'un monofocal qui distribue 100 % de la lumière incidente. Il s'agit d'une nouvelle vision pour laquelle le patient doit effectuer un travail d'adaptation cérébrale, avec notamment la neutralisation de l'image non désirée qui se superpose à celle utilisée, que ce soit en vision de loin ou en vision de près et, le cas échéant, en vision intermédiaire pour les implants trifocaux.

Ces dispositifs supposent donc un certain apprentissage, qualifié de neuroadaptation : la durée de ce travail neurologique va être très variable d'un individu à l'autre, et cette durée est relativement imprévisible selon la compliance cérébrale. Celle-ci sera généralement favorisée par un âge plus jeune qui favorise la plasticité cérébrale (ainsi, il est avéré que les enfants s'habituent très facilement à la multifocalité), également par le port préalable de lentilles précornéennes multifocales ayant permis l'apprentissage de la vision simultanée, et ce d'autant plus facilement que la qualité visuelle octroyée par l'implantation est de meilleure qualité que celle des lentilles précornéennes.

Par ailleurs, le diamètre pupillaire doit être pris en compte pour le choix du type de multifocalité : si les très larges diamètres pupillaires restent une contre-indication à la multifocalité, une pupille modérément large fera préférer un implant multifocal réfractif sectoriel, alors que devant un patient à pupille étroite, l'implantation diffractive sera mieux tolérée

et générera moins de halos que lorsque la pupille est plus large. La gêne fonctionnelle liée aux halos étant accentuée par une réfraction postopératoire située sur le versant myopique, il faut en tenir compte lors des mesures biométriques préopératoires et préférer un implant donnant une réfraction à tendance légèrement hypermétropisante.

■ Intolérance optique à la multifocalité : différents cas de figure

Moyennant la prise en considération des éléments décrits plus haut avant l'implantation, les signes d'intolérance optique seront limités. Toutefois, en dépit de ces précautions, il peut advenir qu'une gêne fonctionnelle significative et persistante fasse conclure à une intolérance optique à la multifocalité.

Plusieurs cas de figure peuvent ainsi se présenter :

>>> La vision est inconfortable, floue sur certaines distances quelle que soit la focale utilisée. Il peut s'agir d'une *waxy vision* des implants multifocaux réfractifs sectoriels, phénomène rare, qui touche environ 0,6 % des cas sur une série de 9366 cas, et qui impose l'explantation [1]. Cette vision cireuse peut être retrouvée malgré une vision mesurée à 10/10 sans correction. Il est évoqué pour ces cas la possibilité d'aberrations cornéennes préexistantes de haut ordre qui contrarient le principe optique de ces implants de type réfractif sectoriel : dans ces cas, l'explantation avec pose d'un implant monofocal est le plus souvent nécessaire.

>>> Les *glistenings* et/ou *whitenings* sévères retrouvés sur certains implants hydrophobes diffractifs, responsables d'inconfort visuel avec sensation de perte des contrastes, en général à acuité visuelle respectée, peuvent également imposer l'explantation [2].

>>> La **vision est ressentie floue**, et les mesures d'acuité visuelle font constater une **baisse d'acuité** aux différents foyers quelle que soit la correction optique : ce phénomène peut se voir avec des implants diffractifs en cas de faiblesse sensorielle non prise en compte préalablement. Ainsi, une sénescence maculaire sans DMLA avérée chez un sujet très âgé (au-delà de 84 ans), porteur d'implants trifocaux, peut entraîner un grand inconfort en raison d'une insuffisance de luminosité et de contrastes sur chacun des trois foyers. En cas de nerfs optiques affaiblis par une atteinte glaucomateuse, ce qui est un cas relativement fréquent et parfois négligé lors de la sélection préopératoire, le patient se plaindra d'une moindre performance visuelle et notamment d'une vision nocturne très dégradée. Dans ces cas, l'explantation avec pose d'un implant monofocal est souvent requise, au moins sur un œil.

>>> La **vision enfin peut être ressentie floue**, alors que la réfraction postopératoire est parfaitement emmétrope et l'acuité à 10/10^e Parinaud 2, mais avec **impossibilité de mise au point** : il faut évoquer dans ces cas une intolérance cérébrale à la multifocalité avec une neuroadaptation qui n'arrive pas à se mettre en place malgré un recul d'au moins 6 à 12 mois.

Les études en IRM fonctionnelle ont montré l'activation inhabituelle et anormale de zones cortico-sous-corticales diffuses pour ces cas d'intolérance sensorielle à la multifocalité, alors que les personnes qui tolèrent bien les multifocaux ont une activation principalement du cortex occipital. Cette cause d'intolérance est rare, de l'ordre de 0,2 % des cas, ne devant être retenue qu'après avoir éliminé les autres causes et impose naturellement l'explantation pour un monofocal.

>>> **Présence d'effets photiques majeurs invalidants**, deuxième cause d'explantation à visée optique [3] : il s'agit essentiellement des halos, qui sont bien sûr l'apanage des pupilles larges, d'où l'intérêt de pratiquer une pupillométrie également en condition mésopique à titre préopératoire, en sachant que les pupilles les plus larges constituent une contre-indication à la multifocalité.

Quelques cas peuvent requérir l'explantation en sachant qu'il suffit en général de se limiter à l'explantation de l'implant porté par l'œil dominant, ce qui place alors le patient en situation de monovision hybride (un monofocal sur l'œil dominant et un multifocal sur l'œil non dominant), ce qui réduit fortement la sensation de halos gênants.

>>> **Présence de dysphotopsies** liées à un traitement chirurgical inadéquat ou imparfait : dans cette situation, le système

multifocal n'est pas en cause. Il peut s'agir d'un placement de l'implant en position asymétrique de type *in-out*, avec une anse dans le sac et la deuxième haptique dans le sulcus, ce qui aboutit inmanquablement à un décentrement, allant vers l'anse située dans le sulcus du fait de la rétraction du sac au niveau de l'anse dans le site intra-sacculaire. Ce décentrement peut être associé à certains effets de *tilt* et requiert l'explantation pour placer un implant monofocal dans le sulcus.

Plus rarement il peut s'agir d'un décentrement par des rétractions capsulaires sévères dans le cadre d'un syndrome de type TASS, qui peut requérir tout d'abord un geste conservateur comme une ablation de fibrose pour recentrer l'implant et réduire les phénomènes rétractiles, et dans les cas les plus sévères l'explantation.

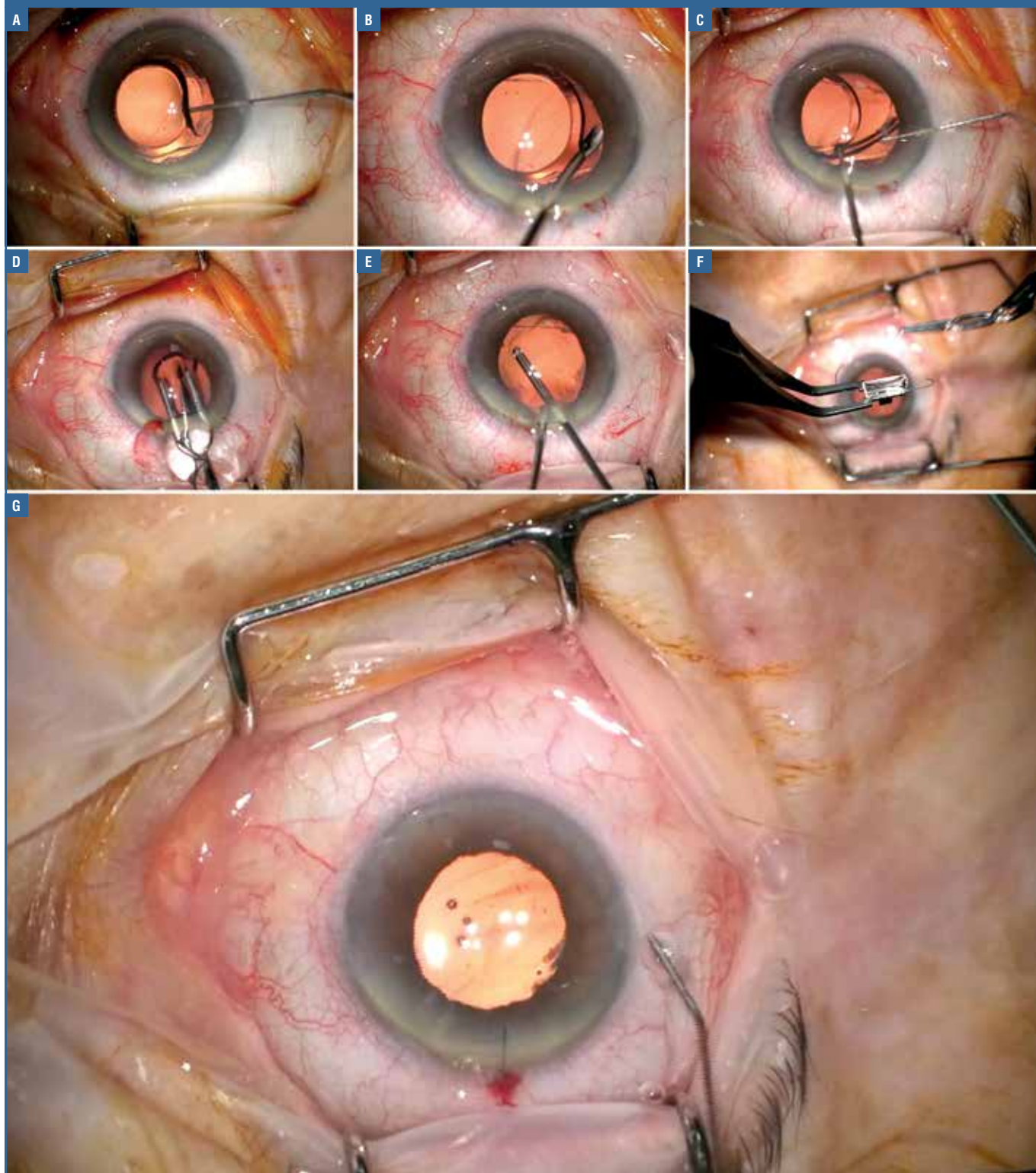
■ Techniques d'explantation (cas 1, 2 et 3)

L'intervention sera d'autant plus facile que la chirurgie est récente, mais bien souvent le travail de neuroadaptation demandé incite à intervenir un an après la chirurgie de phacorexérèse, et il faut tenir compte des phénomènes cicatriciels du sac, avec parfois une certaine fibrose associée.

On pratique en général une incision supérieure et deux incisions limbiques de type paracentèses. Il faut pratiquer une visco-dissection la plus douce possible, et s'aider de divers micromanipulateurs pour décoller l'implant du sac, au besoin en laissant en place une haptique périphérique trop engluée dans la fibrose en la sectionnant aux micro-ciseaux. Une fois luxé dans la chambre antérieure, l'implant, s'il est en acrylique hydrophile, va être sectionné, éventuellement avec des instruments spécifiques mais le plus souvent avec des micro-ciseaux de Vannas, pour être extrait par l'incision supérieure. Un implant hydrophobe peut être replié en chambre antérieure, toujours sous protection copieuse de viscoélastique, avant d'être ressorti par l'incision supérieure également. Si on arrive à décoller complètement les adhérences du sac, on peut placer à nouveau un implant monobloc dans le sac s'il n'y a pas eu préalablement de capsulotomie au laser Nd:YAG.

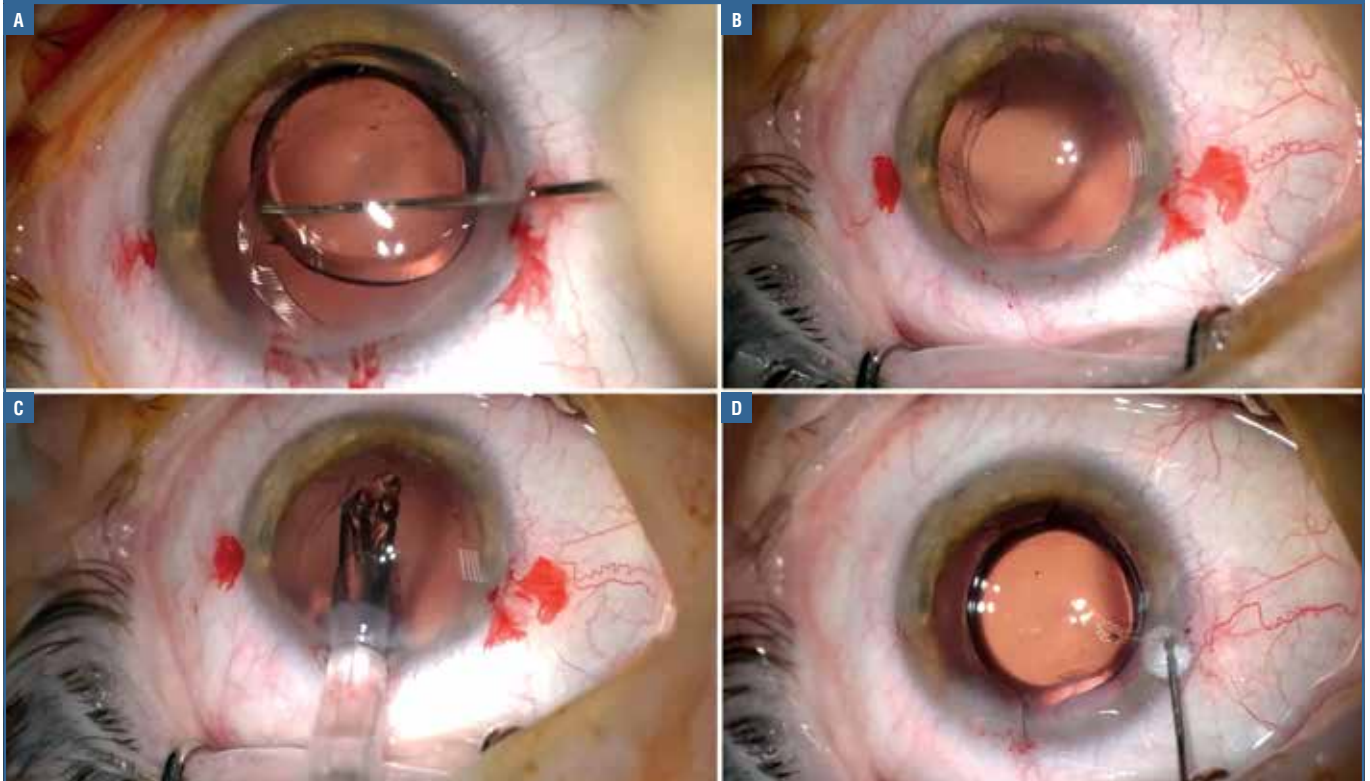
S'il persiste des adhérences empêchant une nouvelle implantation intrasacculaire et/ou qu'une capsulotomie a été réalisée, il est alors raisonnable de placer un implant 3 pièces dans le sulcus. Il faut absolument éviter un implant monobloc dans le sulcus, qui favoriserait le risque de glaucome pigmentaire secondaire par frottement intempestif de l'optique à bords carrés contre

Cas n° 1 : Explantation d'un EDOF diffractif – capsule postérieure ouverte



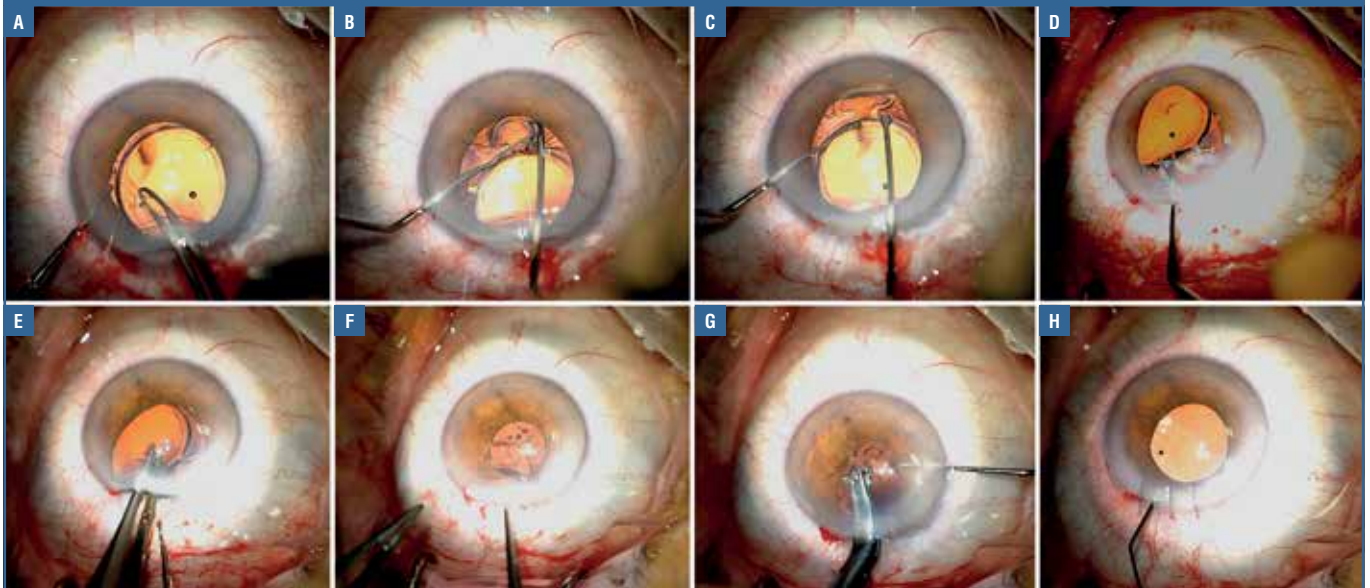
A : Visco-dissection pour luxer l'optique du sac. **B :** Section de la fibrose capsulaire aux micro-ciseaux à commande discale. **C :** Extraction bimanuelle de l'haptique supérieure du sac. **D :** Pliage de l'implant à la pince en chambre antérieure avec appui sur un micromanipulateur sous l'optique avant de l'extraire. **E :** Vitrectomie antérieure bimanuelle. **F :** Pliage à la pince d'un implant 3 pièces. **G :** Aspect final de l'implant dans le sulcus.

Cas n° 2 : Explantation d'un multifocal diffractif – capsule postérieure non ouverte



A : Visco-dissection de l'implant et luxation de celui-ci en chambre antérieure. **B :** Aspect du sac après explantation, capsule postérieure non ouverte. **C :** Implantation dans le sac de la version monofocale d'un implant de la même plateforme. **D :** Aspect final de l'implant monofocal monobloc dans le sac.

Cas n° 3 : Explantation d'un trifocal diffractif – patient de 84 ans – insuffisance zonulaire



A : Tentative de dissection de la fibrose intra-sacculaire. **B :** Impossibilité de disséquer en préservant la zonule en regard des haptiques. **C :** Luxation antérieure des haptiques inférieures avec le sac. **D :** Luxation antérieure des haptiques supérieures avec le sac. **E :** Extraction du complexe implant et sac à la pince. **F :** Mise en place d'un implant à *Iris-claw*. **G :** Enclavement de l'anse temporale à la face postérieure de l'iris. **H :** Aspect final de l'implant clippé à la face postérieure de l'iris.

l'iris, et il faut également éviter une implantation asymétrique *in-out*, qui aboutirait immanquablement à un décentrement.

Si une capsulotomie avait déjà été pratiquée, une vitrectomie antérieure peut être associée. Il est préférable en fin d'intervention de placer une suture sur l'incision supérieure, laquelle peut être enlevée pour gérer au besoin un discret astigmatisme dans le premier mois postopératoire.

Dans certains cas, de fortes adhérences au sac par fibrose dépassent les capacités de résistance de la zonule, et il peut être nécessaire, notamment chez le sujet le plus âgé, de procéder à une extraction complète du sac, avec un complément de vitrectomie antérieure pour placer en priorité un implant clippé à la face postérieure de l'iris.

Le patient doit être prévenu préalablement des risques inhérents à l'intervention d'échange d'implant, avec notamment les risques d'œdème maculaire, et de décollement rétinien secondairement.

■ Conclusion

L'échange d'implant multifocal à visée optique reste relativement rare, de l'ordre de 0,3 à 0,6 %, et donc d'une fréquence

en-deçà des amétropies postopératoires [4] qui restent la première cause d'insatisfaction et qui, au-delà de l'échange précoce d'implant, peuvent être compensées par les techniques conservatrices habituelles (PKR, Lasik, *piggy-back*). Il peut être le plus souvent prévenu par une sélection soigneuse du patient, l'indication optimale du type d'implant à proposer, mais doit nécessairement faire partie de l'information préopératoire délivrée au patient.

Bibliographie

1. VENTER JA, PELOUSKOVA M, COLLINS BM *et al.* Visual outcomes and patient satisfaction in 9366 eyes using a refractive segmented multifocal intraocular lens. *J Cataract Refract Surg*, 2013;39:1477-1484.
2. VAN DER MOOREN M, STEINERT R, TYSON F *et al.* Explanted multifocal intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*, 2015;41:873-877.
3. KAMIYA K, HAYASHI K, SHIMIZU K *et al.* Survey Working Group of the Japanese Society of Cataract and Refractive Surgery. Multifocal intraocular lens explantation: a case series of 50 eyes. *Am J Ophthalmol*, 2014;158:215-220.
4. KERMANI O, GERTEN G. Explication of multifocal intraocular lenses - frequency, causes and course. *Klin Monbl Augenheilkd*, 2016;233:928-932.

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



B. BRIAT¹, J. AGUSSAN², C. FRANCAUD³

¹ Ophtalmologue, ^{2,3} Orthoptiste spécialisé,
Clinique de la Vision – Groupe Visya – Visiopole, LA ROCHELLE.

¹ bbriat@visiopole.com

² jagussan@visiopole.com

³ cfrancaud@visiopole.com

Intérêt du Casia2 pour l'analyse du segment antérieur

Le Casia est un OCT tridimensionnel (tomographie à cohérence optique) qui permet d'effectuer un diagnostic par l'image. Il capture une image en 3D de la section antérieure de l'œil du patient grâce à un scan haute vitesse sans contact. La résolution axiale (profondeur) est de moins de 10 nm, et en transverse de moins de 30 nm. La vitesse de scan est de 50 000 scans-A par seconde, type laser *Swept-Source* à longueur d'onde de 1 310 nm.

Cet instrument comporte les fonctionnalités suivantes :

- **Image capture :** mode 3D pour la capture d'images 3D, mode 2D pour la capture d'images 2D, mode film pour la capture vidéo.
- **Mesure :** capture en contrôlant l'image frontale et tomographique de l'œil du patient, fonction d'alignement automatique pour les positions, fonction *Auto Shot* pour commencer la mesure automatiquement.
- **Data management :** sauvegarde automatique après vérification des images, écran de visualisation seulement pour visualiser les données, écran pour la gestion des données.

Principes de mesure

Le Casia utilise le principe de Fourier, qui divise la lumière issue de la source lumineuse en direction du miroir de référence et de l'œil du patient. Un interféromètre au niveau de la tête optique analyse le signal de référence et le signal réfléchi, puis détecte les interférences pour chaque spectre lumineux (signal d'interférence spectrale).

Les signaux d'interférence spectrale varient en fonction de la différence de temps requis pour la lumière de référence et

la lumière de mesure pour atteindre le détecteur. En utilisant cette variation, l'instrument mesure la profondeur de l'œil du patient. Spécifiquement, le Casia calcule la différence de temps requis pour le signal de référence et le signal de mesure pour atteindre le détecteur, et convertit le résultat en donnée de profondeur en appliquant la conversion de Fourier vers un spectre d'interférence.

Extrêmement simple d'utilisation, le **Casia2** (fig. 1) nous permet d'analyser le segment antérieur de façon innovante. Cet instrument facilite l'utilisation simple et intuitive avec une rapidité de mesure déconcertante et très ergonomique au sein de nos consultations spécialisées en analyse du segment antérieur. Effectivement, les acquisitions des images et des données sont extrêmement rapides sans perte de temps dans le flux de nos consultations. Le logiciel assiste efficacement le praticien de la mesure jusqu'à l'analyse finale.

Points forts :

- le Casia2 est particulièrement adapté pour la cataracte, le glaucome, la chirurgie cornéenne ;



Fig. 1 : Le Casia2.

- analyse de la chambre antérieure, de la fermeture de l'angle pour le glaucome sur 360° ;
- imagerie avancée avec une profondeur de mesure augmentée à 13 mm et une vitesse de scan plus rapide (50 000 scans-A/ seconde) par rapport à la génération précédente ;
- topographie cornéenne, élévation antérieure et postérieure et choix de l'implant ;
- analyse de la courbure du cristallin et progression dans le temps ;
- simulation des implants phaqes.

■ Cornée

Toutes les mesures des différents dioptries cornéens peuvent être visualisées dans un rapport clair et paramétrable (**fig. 2**).

Fonctionnalités :

- mesure de la kératométrie de la face antérieure, postérieure et réelle de la cornée ;
- pachymétrie centrale et la plus fine ;
- diamètre pupillaire ;
- profondeur de chambre antérieure centrale et ESI : indice de détection de l'ectasie cornéenne en pourcentage et détection de kératocône ;
- possibilité de basculer de dioptries à millimètres ;
- possibilité de passer d'une topographie sur 10 mm ou 16 mm ;
- affichage de différentes valeurs numériques sur les cartes ;
- affichage de différents types de grille de mesure ;
- affichage de l'astigmatisme de divers types (orthogonal, zonal ou instantané) ;
- possibilité de changer de types de cartes élévation (BFS) axiale tangentielle (*Instantaneous*) kératométrie ;
- puissance (réfractive) ;
- pachymétrie ACD (profondeur de chambre antérieure).

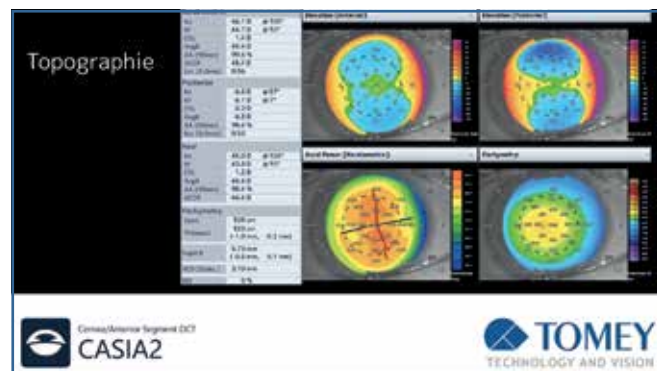


Fig. 2 : Mesure des différents dioptries cornéens.

Le logiciel d'analyse de progression permet de visualiser clairement l'effet d'un traitement dans le temps ou l'évolution d'une pathologie cornéenne.

L'analyse de la qualité du film lacrymal et de la souffrance épithéliale par topographie épithéliale sont envisageables et semblent prometteuses dans l'avenir. Effectivement, de nombreuses études en cours avec publications récentes objectivent l'intérêt de la cartographie topographique, du *mapping* et de la pachymétrie épithéliale. Cette approche pourrait être couplée à l'analyse de la qualité de vision décrite par l'*HDA Analyser* impliquant la *PSF tears* [1-3].

La fonction *Ectasia Screening* permet une détection précoce des conditions ectasiques de la cornée telles que kératocône et dégénérescence pellucide marginale. L'indice ESI (*Ectasia Screening Index*) est tiré des paramètres topographiques antérieurs et postérieurs de la cornée, et de la carte de pachymétrie [4-8].

L'indice ESI autorise une analyse antérieure et postérieure par analyse spécifique de l'asymétrie cornéenne postérieure avec bilan de protrusion locale (*Local Protrusion*) d'après les paramètres de Fourier (asymétrie et *high order* irrégularité).

Il s'intègre parfaitement dans le cadre du bilan préopératoire d'éligibilité à une chirurgie réfractive ablative cornéenne. L'analyse pachymétrique est fine : analyse de l'élévation antérieure et postérieure avec les différents critères classiques connues des utilisateurs des vidéotopographes d'élévation reconnues, BFS (ORBSCAN, etc.)...

Le Casia est utile pour l'analyse anatomique cornéenne afin de cartographier un corps étranger (**fig. 3**), une dystrophie héréditaire ou non, le suivi de tolérance d'un anneau intra-cornéen (**fig. 4 à 7**) ou pour juger de l'épaisseur d'un capot réfractif ancien avant toute reprise chirurgicale. L'analyse peut être dynamique avec clignement (module *Movie*) afin de connaître les contraintes mécaniques architecturales lors de la pression palpébrale ou lors des frottements oculaires quand on connaît les méfaits biodynamiques de ces frottements (anneaux intra-cornéens, implant de chambre antérieure phaque et pseudo-phaque, *iris-claw* phaque et aphaque, et ICL).

L'analyse pré- et postopératoire de greffe transfixiante, et surtout partielle (DSAEK, DMEK...), est extrêmement précieuse pour juger la qualité du résultat ou pour gérer le protocole opératoire sur imperfection anatomique.



Fig. 3 : Analyse de corps étranger intracornéen.

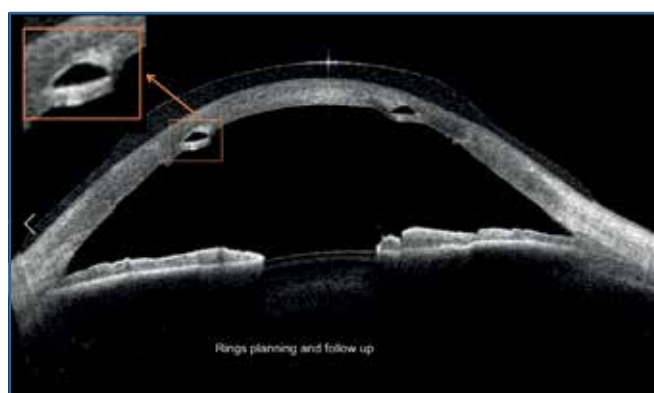


Fig. 4 : Analyse fine des anneaux intracornéens avec suivi du positionnement, éventuelle migration, amincissement cornéen antérieur...

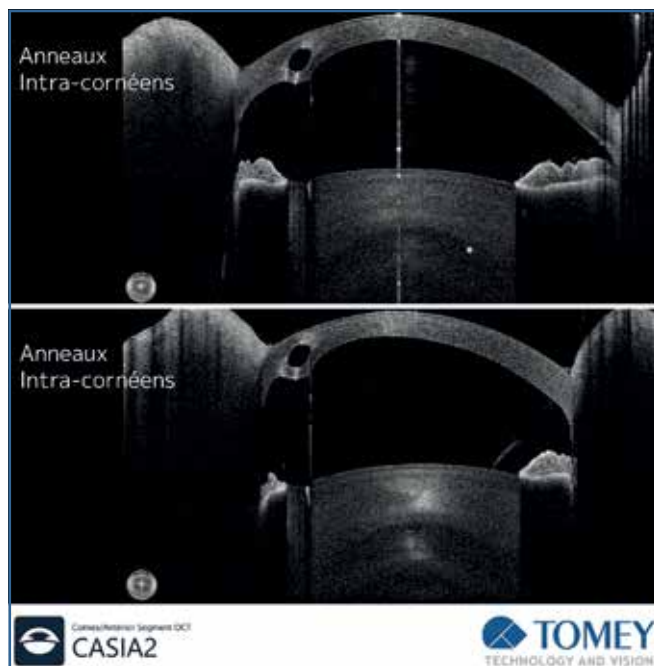


Fig. 5 : Analyse dynamique par Séquence Movie inclus dans le logiciel, objectivant le comportement architectonique cornéen lors du clignement et le retentissement stromal des anneaux intracornéens.

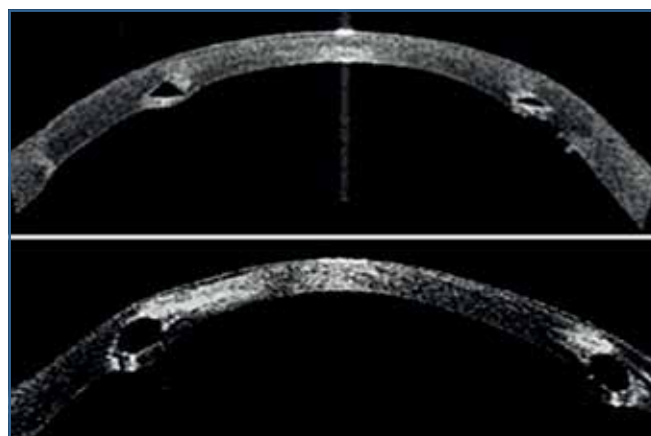


Fig. 6 : Suivi de modification architecturale cornéenne en regard des anneaux.

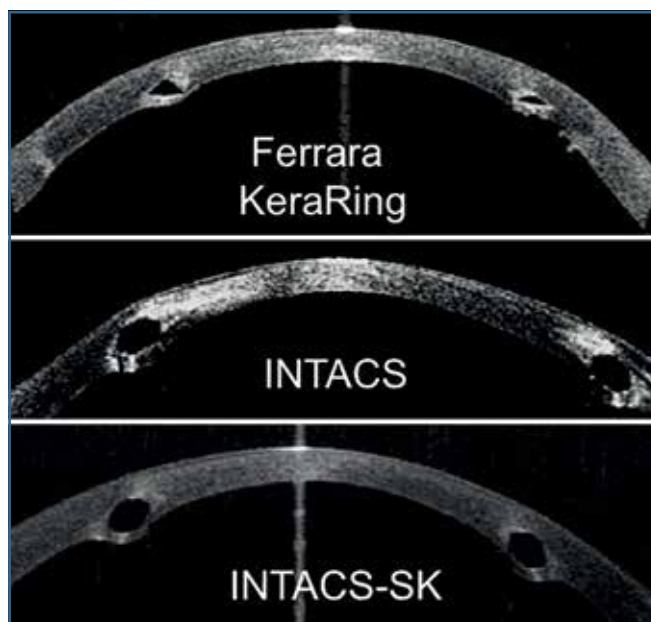


Fig. 7 : Comparatif des différents anneaux intracornéens.

■ Analyse globale de la chambre antérieure

Le Casia permet d'analyser :

- le segment antérieur (*fig. 8*) ;
- les angles AOD, ARA, TISA et TIA, analysés automatiquement avec visualisation dynamique virtuelle sur 360° ;
- la chambre antérieure (aire et profondeur), la position du cristallin (*tilt*) ;
- la possibilité de placer des calipers sur flap ou autres (*fig. 9 et 10*) ;
- les greffes (*fig. 11 et 12*) [9].
- la courbure et l'aire de l'iris (*fig. 13*).
- la voussure irienne, la lésion irienne, rétro-irienne (*fig. 14*).

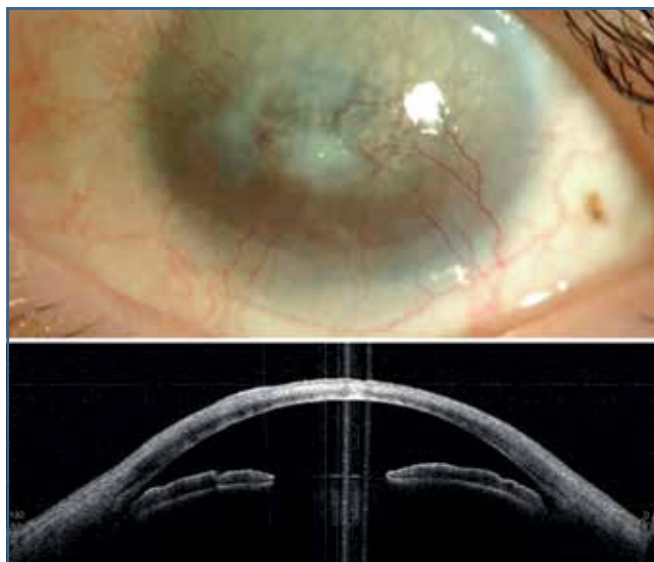


Fig. 8 : Observation des structures du segment antérieur sur cornée opaque, interdisant toute analyse biomicroscopique.

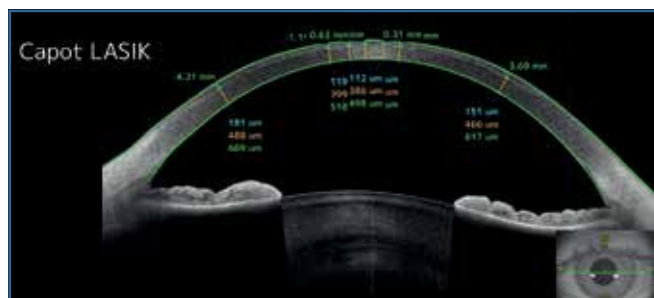


Fig. 9 : Analyse des valeurs pachymétriques précises pré- et postopératoires, éventuellement avant toute reprise chirurgicale ablative. La cartographie fine objectivera un protocole opératoire sûr essentiellement si l'ensemble des paramètres initiaux chirurgicaux ne sont pas connus.

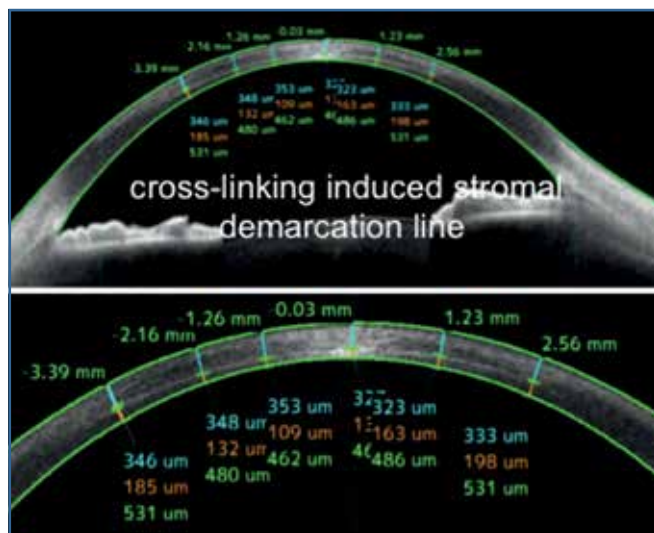


Fig. 10 : Analyse stromale après CXL.

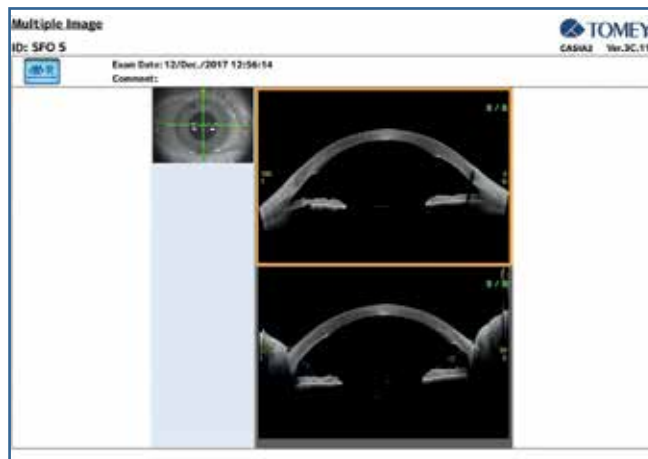


Fig. 11 : Analyse anatomique après greffe endothéliale (DSAEK).

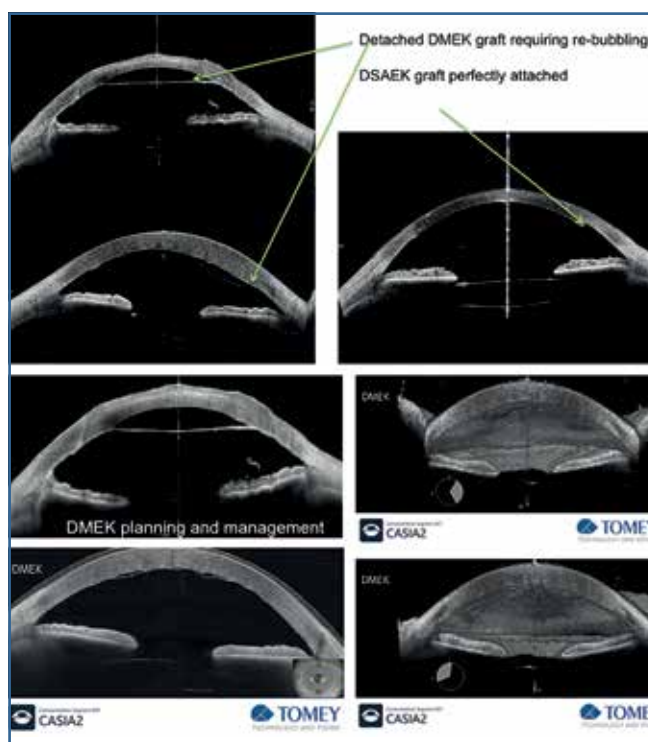


Fig. 12 : Analyse structurale de DMEK, en coupe puis en module volumétrique, sur différents méridiens.

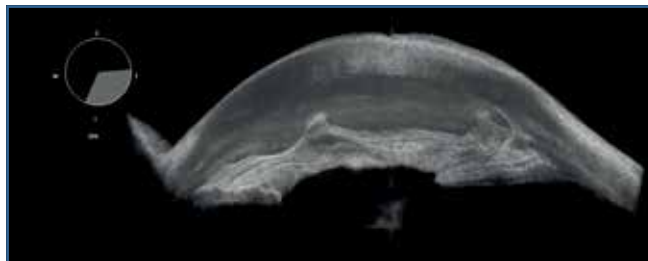


Fig. 13 : Visualisation volumétrique des structures intracaméculaires, présence de synéchies irido-cornéennes, analyse fine par méridien.

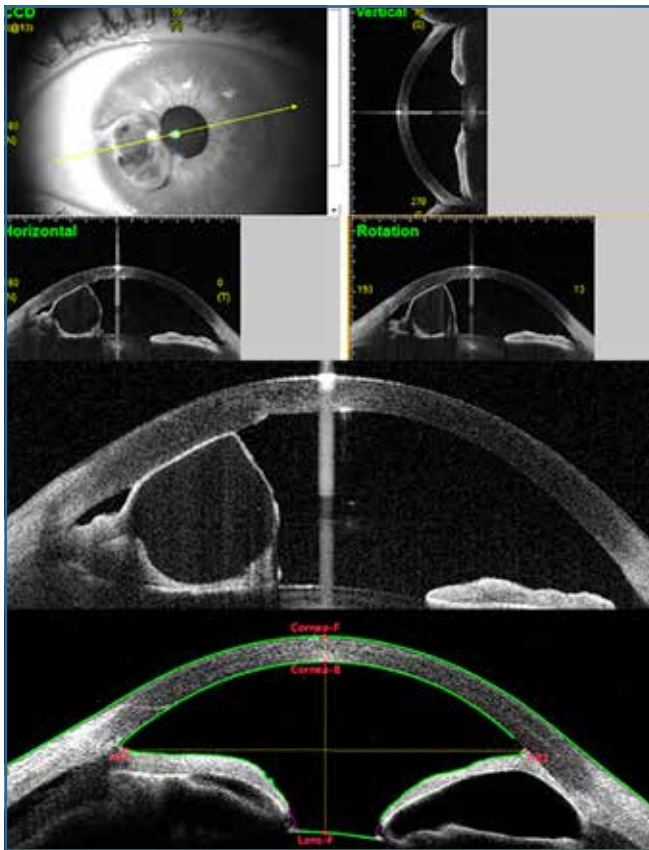


Fig. 14 : Analyse de voussures iriennes, recherche de kystes, lésions tumorales iriennes, rétro-iriennes...

■ Cataracte

L'analyse de la face antérieure et postérieure de la cornée nous guide vers la procédure réfractive la mieux adaptée (fig. 15) [10].

La mesure de 5 paramètres primordiaux du cristallin nous offre une prédiction de nos résultats postopératoires.

Les résultats sont obtenus grâce à l'acquisition *Lens Biometry*. Ils permettent l'extrapolation du diamètre cristallinien, de l'épaisseur cristallinienne, des rayons de courbures de la face antérieure et postérieure. La biométrie préopératoire

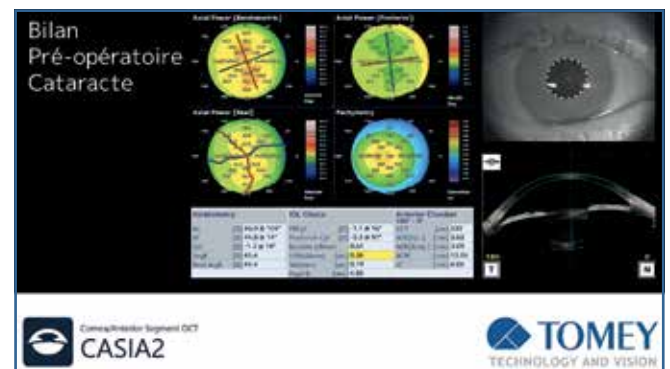


Fig. 15 : Bilan préopératoire de cataracte.

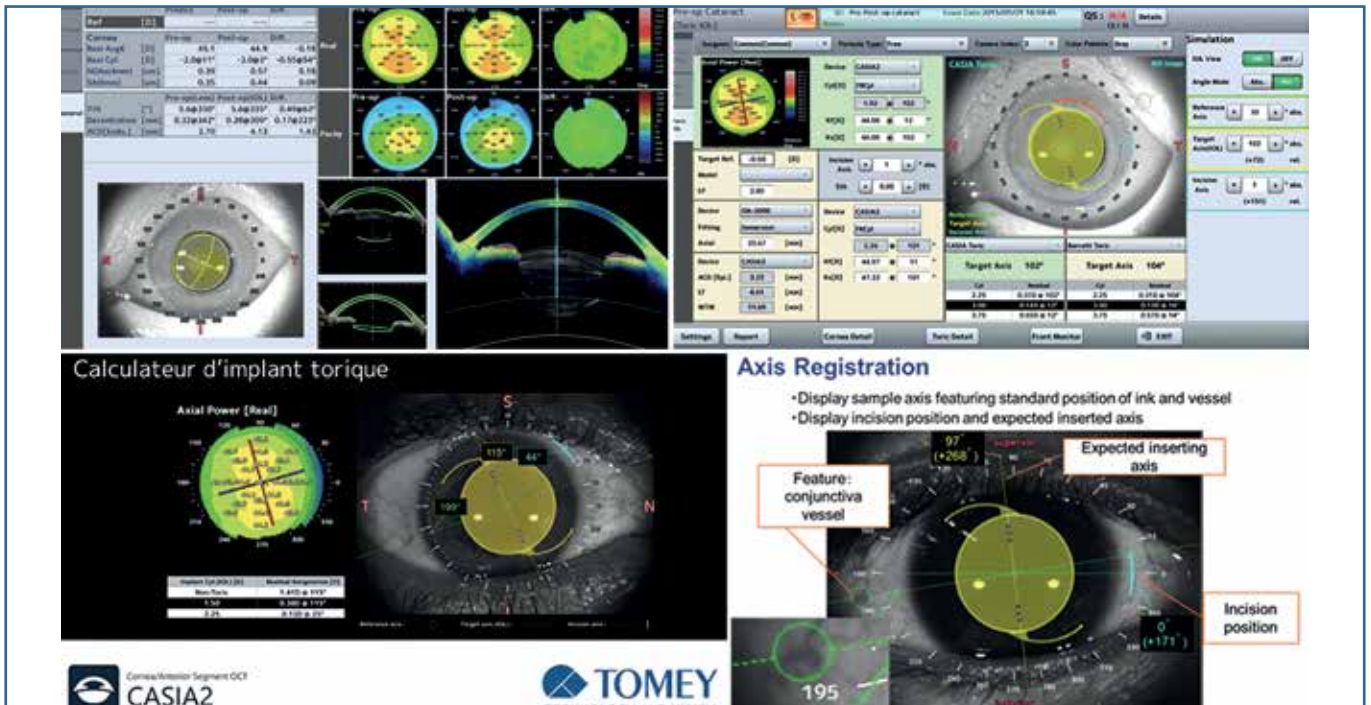


Fig. 16 : Bilan préopératoire de chirurgie implantatoire torique.

est possible dans le cadre d'une implantation torique, en revanche cela nécessite l'apport de la longueur axiale par biomètre externe (**fig. 16**). L'appareil mesure le *tilt* cristallinien sur la coupe sélectionnée avec mesures des rayons de courbures antérieurs et postérieurs moyens, du *tilt* cristallinien et du diamètre cristallinien tirés de l'analyse 3D.

L'analyse du *tilt* et du décentrement est précieuse en pré- et postopératoire de chirurgie de la cataracte, et surtout en chirurgie réfractivo-lenticulaire de chirurgie Premium, à la recherche d'une imperfection de résultat réfractif ou d'une simple insatisfaction du patient: *tilt* sur un implant multifocal, torique ou multifocal torique, décentrement observé (**fig. 17 à 19**), modification réfractive dans le temps par fibrose capsulaire progressive ou après capsulotomie au laser Yag, modifiant la puissance réfractive de l'œil opéré. Le Casia peut être une aide précieuse et il peut affiner notre prise en charge médicochirurgicale. L'analyse des astigmatismes induits iatrogènes pourra être cartographiée par positionnement et *tilt* de l'implant. Le Casia, par sa fonction d'analyse du *tilt*, peut être utile en préopératoire de chirurgie Premium afin de renforcer la prédictibilité réfractive postopératoire. Il permet de valider ou non la pose d'un implant Premium (multifocalité). L'angle pantoscopique connu en correction optique par lunettes chez le fort amétrope ne peut qu'ouvrir de nouvelles questions concernant les résultats imparfaits, d'astigmatismes induits, d'insatisfaction du patient, et permettra de répondre à certaines questions d'incompréhension de la qualité de vision postopératoire [11, 12].

L'imagerie en post-chirurgie permet de visualiser clairement et de documenter la qualité des résultats obtenus.

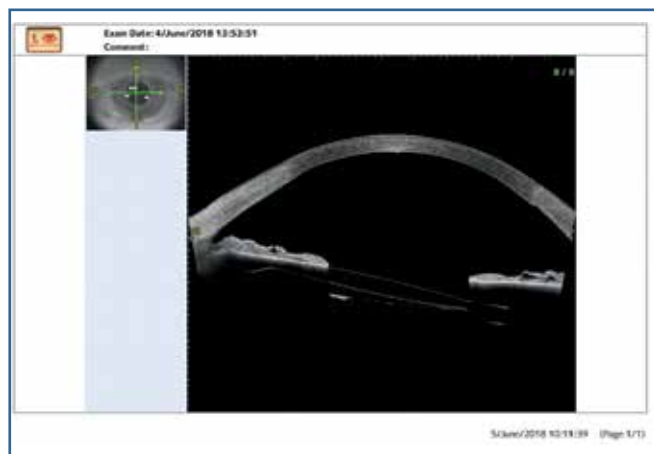


Fig. 17 : Analyse de décentrement de l'implant.

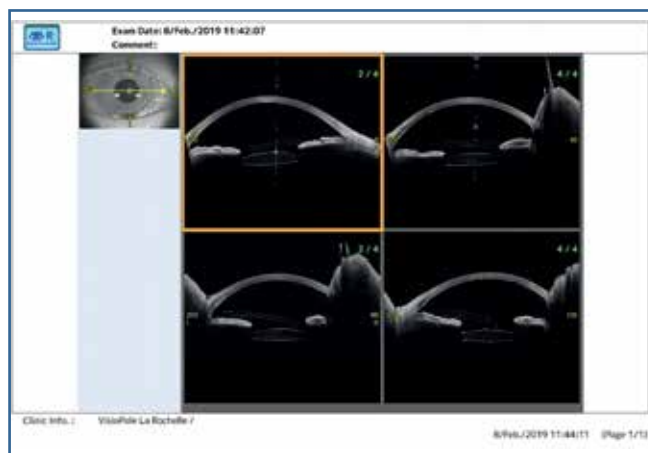


Fig. 18 : Analyse du positionnement en In/Out d'un implant subluxé en chambre antérieure sur piggy-back Add On.

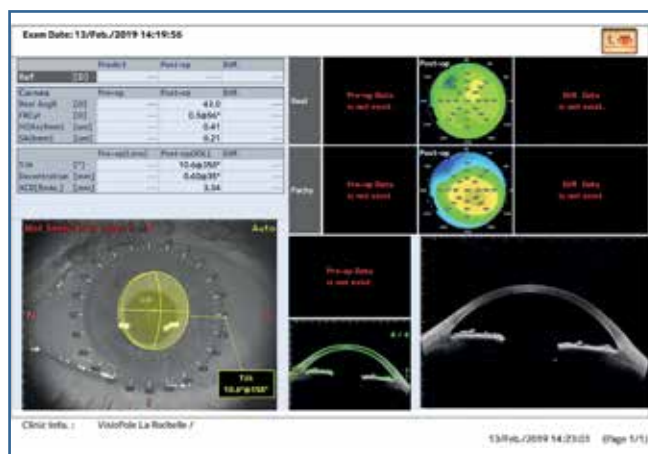


Fig. 19 : Analyse fine du *tilt* de l'implant avec mesure objective de l'angle calculé (exemple : 10,6° à 358°).

■ Glaucome

Le Casia2 détecte désormais automatiquement les angles irido-cornéens sur 360° (**fig. 20**). Il les affiche sur une carte détaillée et complète. L'angle peut être analysé en dynamique avec vidéo sur 360° (**fig. 21**). Les mesures des puissances angulaires sont fines avec analyse anatomique (bec de flûte, iris plateau, glaucome pigmentaire... (**fig. 22**) [13, 14]).

Les images haute résolution permettent une visualisation de grande qualité des détails.

Il est possible d'analyser l'anatomie conjonctivo-cornéenne (*Bleb Raster*) avec coupes parallèles à l'endroit exactement demandé. La fonctionnalité d'une bulle de filtration peut être évaluée (proche de la qualité UBM), fibrose, enkystement, bulbite (**fig. 23**)...

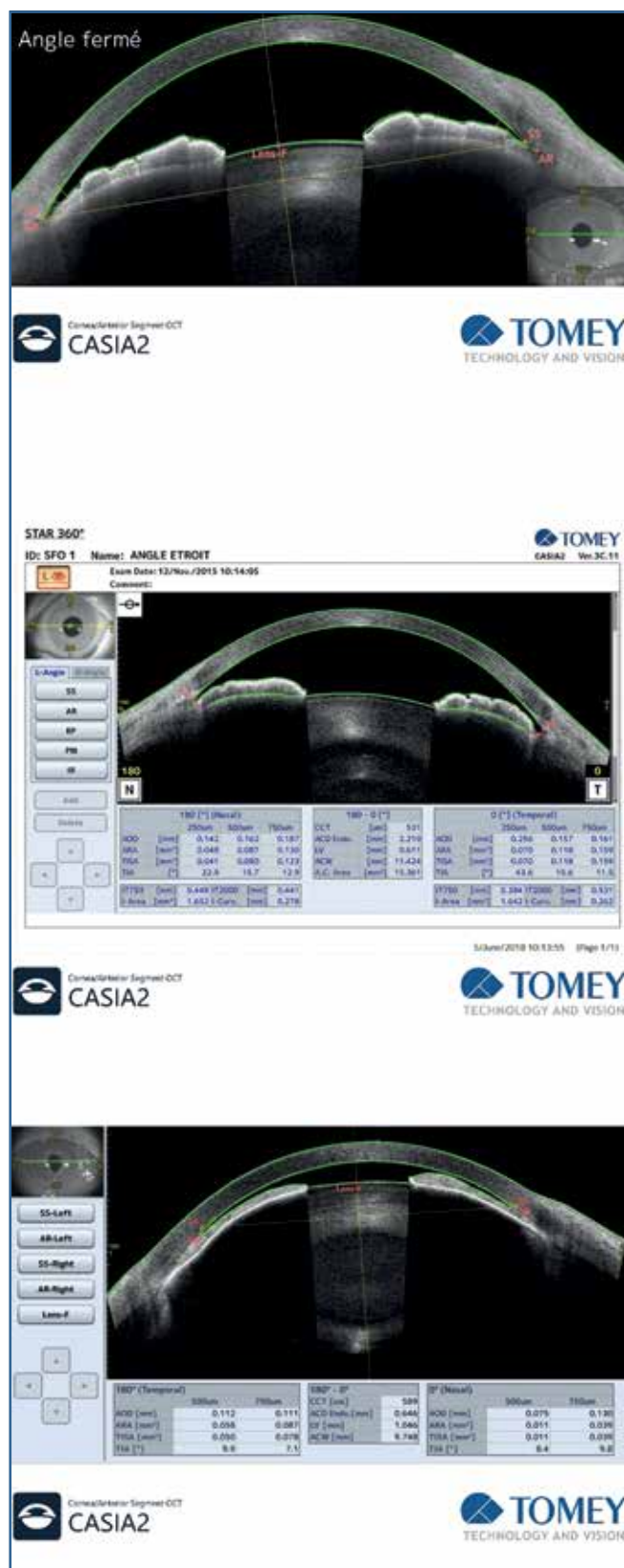


Fig. 20 : Analyse angulaire, profondeur de chambre antérieure.



Fig. 22 : Analyse d'un iris plateau avec étude dynamique Movie.

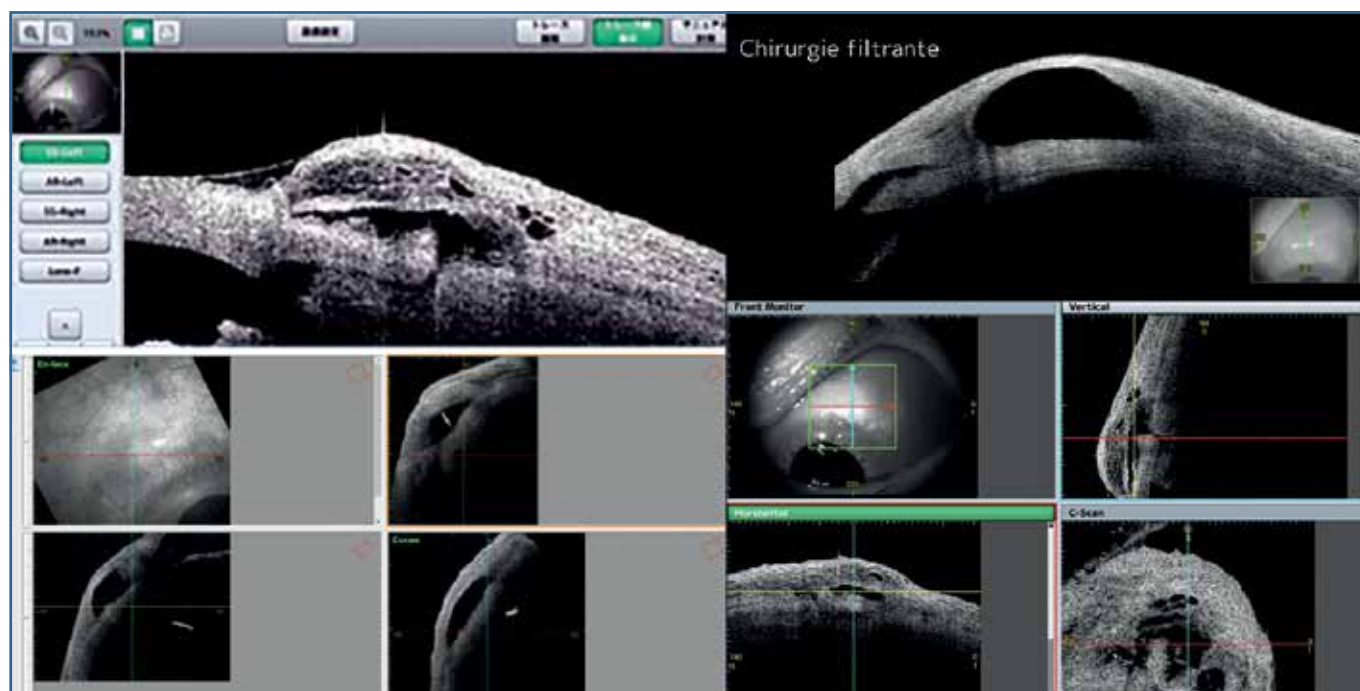


Fig. 23 : Observation de bulles de filtrations, enkystement, bulbite, fibrose...

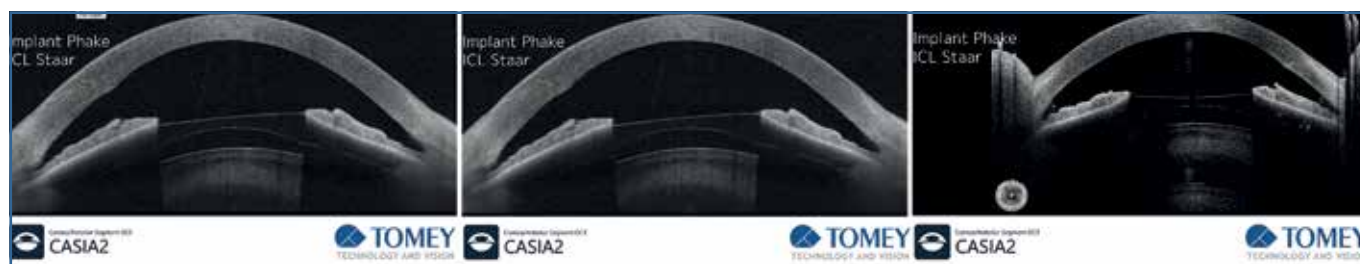


Fig. 24 : Analyse du positionnement en chambre postérieure d'un implant phaqué ICL Staar avec étude dynamique par Séquence Movie des contraintes lors des clignements.

AAYSE 2D / Analyse 2D AA/3D3D	
Visualisation 3D	Gonioscopique, plan de coupes, rotation, ITC
Cartes	● Puissance axiale (antérieure, postérieure, réelle) ● Réfractive (kératométrique, antérieure) ● Puissance instantanée ou tangentielle (kératométrique, antérieure, postérieure, réelle) ● Élévation (antérieure, postérieure) ● Pachymétrie (cartographie, sectorielle) ● Épithélium ● Profondeur de chambre antérieure (endothélium) ● OCT (horizontal/vertical) ● Excentricité (antérieure, postérieure) ● BFS (antérieure, postérieure)
Fonctions d'analyse	● Analyse du cristallin ● Analyse de progression ● Analyse préopératoire cataracte ● Analyse postopératoire cataracte ● Calcul d'implant (attention : la longueur axiale doit être mesurée à partir d'un autre système) ● Vue gonioscopique ● Rotation ● Analyse des angles irido-cornéens ● Épaisseur cornéenne centrale ● Profondeur de chambre antérieure ● Épaisseur de capot ● Topographie ● Accommodation ● Analyse de Fourier ● Dépistage ectasie cornéenne ● Film
Exportation vidéo	● Rotation 2D, C-Scan, 3D.

Tableau I.

■ Implant phaqué et chirurgie additive

L'analyse du volume de chambre antérieure, de la précision de calcul pachymétrique, du calcul fin de la profondeur de chambre antérieure (endothélium-cristalloïde antérieure) ainsi que la précision du *sizing* avec évaluation du diamètre blanc à blanc permet d'affiner l'éligibilité ainsi que le calcul de la puissance de l'implantation phaqué.

Une version *bêta* avec un logiciel ICL Sizing est en cours de validation. Le module Séquence Movie autorise l'observation des contraintes d'un implant au sein du segment antérieur. L'analyse peut être en photopique et scotopique (**fig. 24**).

■ Récapitulatif

Il est présenté dans le **tableau I**.

BIBLIOGRAPHIE

- ADIL EL MAFTOUHI. OCT et sécheresse oculaire. *Les Cahiers d'Ophthalmologie*, 2019;225:50-54.
- SHINZAWA M, DOGRU M, MIYASAKA K *et al.* Application of CASIA SS-1000 Optical Coherence Tomography Tear Meniscus Imaging in Testing the Efficacy of New Strip Meniscometry in Dry Eye Diagnosis. *Eye Contact Lens*, 2018;44 Suppl 1:S44-S49.
- ZHENG X, KAMAO T, YAMAGUCHI M *et al.* New method for evaluation of early phase tear clearance by anterior segment optical coherence tomography. *Acta Ophthalmol*, 2014;92:e105-111.
- CHAN TCY, BISWAS S, YU M *et al.* Comparison of corneal measurements in keratoconus using swept-source optical coherence tomography and combined Placido-Scheimpflug imaging. *Acta Ophthalmol*, 2017;95:e486-e494.
- STEINBERG J, CASAGRANDE MK, FRINGS A *et al.* Screening for Subclinical Keratoconus Using Swept-Source Fourier Domain Anterior Segment Optical Coherence Tomography. *Cornea*, 2015;34:1413-1419.
- SCHRÖDER S, MAÜRER S, EPPIG T *et al.* Comparison of Corneal Tomography: Repeatability, Precision, Misalignment, Mean Elevation, and Mean Pachymetry. *Curr Eye Res*, 2018;43:709-716.
- XU BY, MAI DD, PENTEADO RC *et al.* Reproducibility and Agreement of Anterior Segment Parameter Measurements Obtained Using the CASIA2 and Spectralis OCT2 Optical Coherence Tomography Devices. *J Glaucoma*, 2017;26:974-979.
- GATINEL D. Eye rubbing: a sine qua non for keratoconus? *Int K Kerat Ect Cor Dis*, 2016;5:6-12.
- SZALAI E, NÉMETH G, HASSAN Z *et al.* Noncontact Evaluation of Corneal Grafts: Swept-Source Fourier Domain OCT Versus High-Resolution Scheimpflug Imaging. *Cornea*, 2017;36:434-439.
- Prix Joseph Colin communication orale. Dr Karine HAWA: Mesure des rayons de courbure du cristallin par OCT Swept Source Casia2 (Tomey), Prix Safir 2018.
- NERI A, RUGGERI M, PROTTI A *et al.* Dynamic imaging of accommodation by swept-source anterior segment optical coherence tomography. *J Cataract Refract Surg*, 2015;41:501-510.
- PEYRE C, GARDON P, MEILLON JP. Attention au changement de monture chez le fort myope ! *Cahiers d'Ophthalmologie*, 2016;204:13-14.
- CROWELL EL, BAKER L, CHUANG AZ *et al.* Characterizing Anterior Segment OCT Angle Landmarks of the Trabecular Meshwork Complex. *Ophthalmology*, 2018;125:994-1002.
- ANGMO D, NONGPIUR ME, SHARMA R *et al.* Clinical utility of anterior segment swept-source optical coherence tomography in glaucoma. *Oman J Ophthalmol*, 2016;9:3-10.

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



O. PRISANT

Cabinet Alma-Vision et Clinique de la Vision – Groupe Visya, PARIS.

oprissant@gmail.com

La chirurgie conservatrice du kératocône peut-elle répondre à la demande de réfractive des patients?

Il peut paraître paradoxal de parler de “chirurgie réfractive du kératocône”, alors que le kératocône (KC) est justement une contre-indication à la chirurgie réfractive cornéenne. Après avoir rappelé les principes de la réhabilitation chirurgicale visuelle du kératocône, nous allons dans cet article détailler les raisons qui nous amènent à parler de chirurgie réfractive dans le cadre de la prise en charge du KC :

- patients souvent jeunes ayant une demande quasi-constante de bien voir sans lunettes ou tout au moins d’améliorer leur autonomie visuelle sans correction ;
- mêmes techniques chirurgicales entre la chirurgie réfractive et la chirurgie conservatrice du KC et mêmes objectifs visant dans les deux cas à améliorer la fonction visuelle en modifiant la géométrie cornéenne ;
- progrès très significatifs, ces dernières années, des techniques de réhabilitation visuelle du KC (anneaux, *topolink*, ICL) qui permettent dans nombre de cas de répondre à une demande de chirurgie réfractive de la part des patients kératocôniques.

Nous détaillerons également les facteurs pronostiques de cette chirurgie, permettant de savoir dans quels cas elle peut répondre à la demande de chirurgie réfractive des patients kératocôniques.

■ Rappel sur la chirurgie conservatrice du kératocône

La chirurgie conservatrice du kératocône regroupe l’ensemble des techniques chirurgicales visant, d’une part, à réhabiliter la vision, d’autre part à stabiliser l’évolution de la maladie (*fig. 1*). La réhabilitation visuelle du kératocône passe par la régularisation de la géométrie cornéenne, permettant de faire remonter la meilleure acuité et de corriger partiellement ou totalement l’amblyopie sphéro-cylindrique. Deux types de chirurgie permettent de régulariser la cornée :

la technique additive (représentée par les anneaux intra-cornéens) et la technique ablative (représentée par le laser excimer topoguidé).

En pratique, l’essentiel de la régularisation de la cornée est obtenu grâce aux anneaux puis, quelques mois plus tard, nous affinons ce qui reste à régulariser grâce à une photo-ablation au laser excimer couplée à la topographie cornéenne.

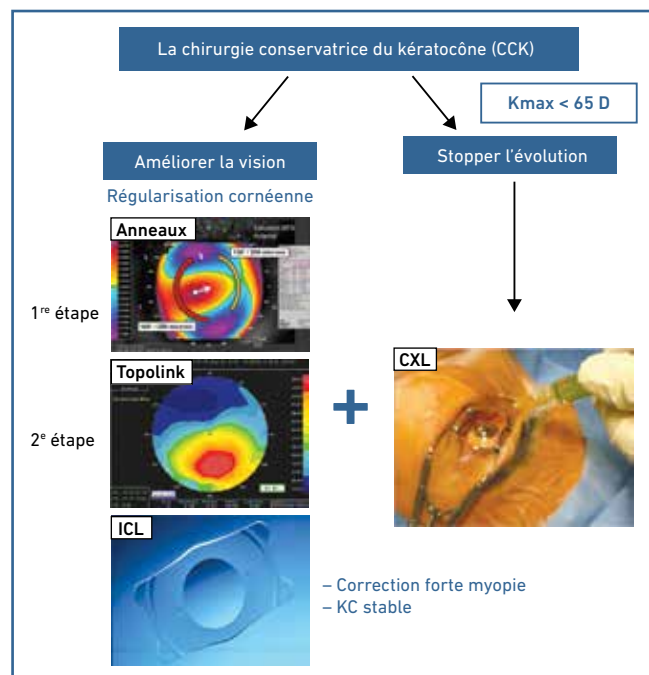


Fig. 1 : Chirurgie conservatrice du kératocône. La chirurgie conservatrice du kératocône n’est indiquée que pour les kératocônes dont le Kmax ne dépasse pas 65 D. Au-delà, les résultats visuels seront moins bons que ceux d’une greffe lamellaire. Cette chirurgie consiste à régulariser la cornée à l’aide d’anneaux (1^{re} étape) puis, quelques mois plus tard, à affiner la régularisation à l’aide du laser topoguidé, systématiquement associé à un CXL (2^e étape, protocole d’Athènes). Si le kératocône est évolutif, le CXL permet de le stabiliser dans 95 % des cas. Les implants phaqes ICL sont indiqués chez les forts myopes, intolérants aux lentilles, dont la cornée aura préalablement été régularisée et stabilisée.

Le laser topoguidé est systématiquement associé au *cross-linking* (CXL), même si le kératocône n'est pas évolutif, de manière à éviter de déclencher une progression de la maladie sous l'effet de la photoablation.

De manière plus rare et lorsque la myopie est forte, nous utilisons également les implants phaqes de type ICL chez les patients dont la cornée aura été préalablement régularisée et stabilisée.

■ Pourquoi parler de chirurgie réfractive dans le traitement du kératocône ?

Le kératocône est classiquement une contre-indication à la chirurgie réfractive. Alors pourquoi parler d'une chirurgie réfractive dans le cadre de sa prise en charge ?

1. Parce que cette demande est très fréquente chez les patients qui présentent un kératocône

Les patients kératocôniques sont souvent jeunes et demandent invariablement s'ils pourront bien voir sans lunettes. Si la chirurgie du kératocône n'est évidemment pas une chirurgie réfractive, la réponse à cette question varie suivant les facteurs pronostiques (stade du kératocône, type de topographie cornéenne, réfraction préopératoire). Et c'est tout l'objet de cet article de savoir moduler la réponse en fonction de la situation préopératoire. Savoir reconnaître les patients chez qui l'amélioration et l'autonomie visuelle seront à la hauteur de celles d'une chirurgie réfractive ou bien plus limitées, savoir anticiper le résultat visuel pour l'expliquer au patient.

2. Parce qu'il existe un parallèle étroit entre les techniques de chirurgie du kératocône et de chirurgie réfractive

Les techniques chirurgicales visant à réhabiliter la vision des patients kératocôniques sont les mêmes que celles de la chirurgie réfractive et, dans les deux cas, cela passe par une modification de la géométrie cornéenne (*fig. 2*).

>>> Anneaux intracornéens

Il ne faut pas oublier qu'ils étaient initialement utilisés en chirurgie réfractive, dans les années 1990, pour corriger les faibles myopies (< 5 D) sans astigmatisme. C'est le Pr Joseph Colin qui, le premier, en 2000, a proposé de les utiliser pour régulariser la cornée kératocônique. Depuis, leur emploi s'est largement amplifié et amélioré et c'est aujourd'hui l'un des principaux éléments de cette chirurgie cornéenne.

>>> Laser excimer

Dans le cadre d'une chirurgie réfractive, le profil d'ablation permet de corriger d'une manière très précise presque toutes les amétropies sphéro-cylindriques. Chez le patient kératocônique, le profil est personnalisé en fonction de la topographie cornéenne (*topolink*) et vise à régulariser la géométrie cornéenne pour réduire les aberrations d'ordre supérieur. Le laser topoguidé permet également, dans une certaine mesure, de corriger tout ou partie de l'amétropie du kératocône.

>>> Implants phaqes ICL

Ils sont préconisés aussi bien en chirurgie réfractive qu'en chirurgie du kératocône dans le cadre de fortes myopies sur des cornées préalablement régularisées et stabilisées.

3. Parce que la chirurgie du kératocône a fait de considérables progrès

La chirurgie de la cataracte est un bon exemple pour illustrer les progrès et l'évolution des indications. Dans les années 1990, cette chirurgie était initialement indiquée pour traiter de véritables cataractes invalidantes. Aujourd'hui, grâce aux progrès réalisés (phaco-émulsification, réduction de la taille des incisions, implants premium, amélioration des calculs d'implants, laser femto...), mais aussi grâce à une sécurité et une précision réfractive accrues, cette chirurgie est réalisable à des fins quasi-réfractives. De la même manière, la chirurgie du kératocône a considérablement progressé au cours des 10 dernières années, ce qui permet dans certains cas d'obtenir des résultats visuels et réfractifs proches de l'emmétropie souhaitée par la plupart des patients kératocôniques (*fig. 3*).

Nous allons voir à présent les différents éléments qui permettent d'optimiser les résultats visuels et réfractifs de la chirurgie du kératocône, en particulier avec les anneaux intracornéens et le laser topoguidé.

■ Progrès et optimisation des résultats des anneaux

1. Le potentiel des anneaux

Les anneaux intracornéens (AIC) représentent le principal mode de régularisation de la cornée. Leur capacité de modification de la géométrie cornéenne peut être très élevée, en atteste

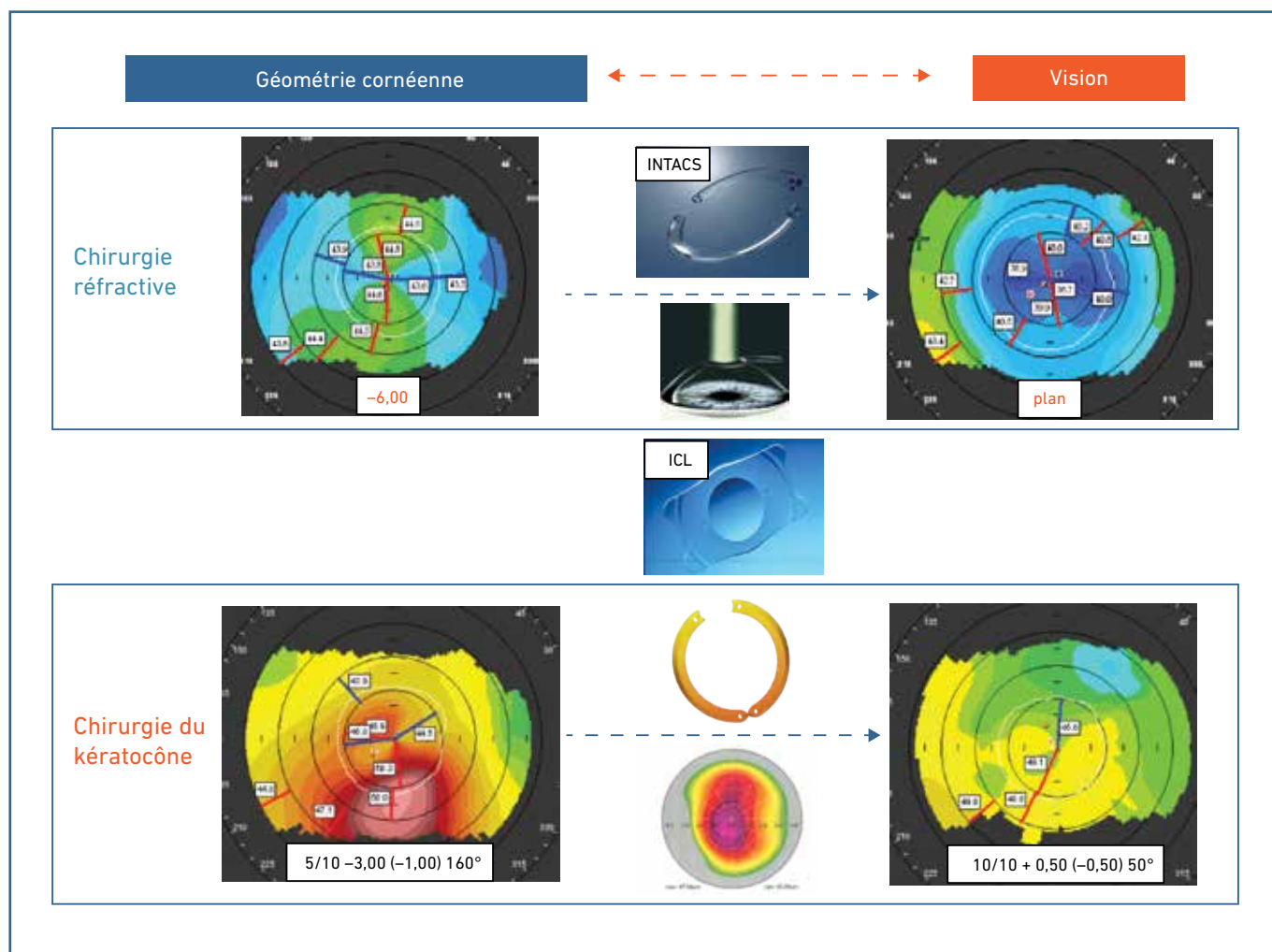


Fig. 2 : Parallèle entre chirurgie réfractive et chirurgie du kératocône. Les techniques chirurgicales sont similaires pour les 2 approches et visent à changer la vision en modifiant la géométrie cornéenne : anneaux (méthode additive) et laser excimer (méthode ablative). Le fondement de ces chirurgies cornéennes est la corrélation très étroite entre la géométrie cornéenne et la fonction visuelle. Les implants ICL sont également communs aux 2 approches.

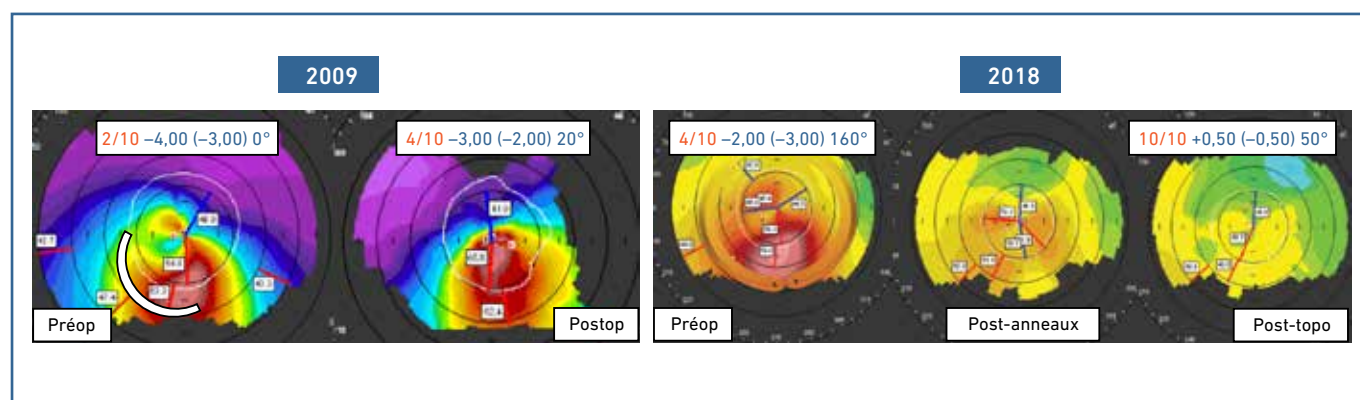


Fig. 3 : Progrès de la chirurgie du kératocône. De considérables progrès au cours de la dernière décennie ont permis d'améliorer les résultats de la réhabilitation visuelle du kératocône, tant au niveau de la meilleure acuité que de la précision réfractive. Ces améliorations concernent chaque technique, mais également, et surtout, la manière de les combiner les unes aux autres dans le temps. **À gauche**, un résultat après anneaux d'un patient traité en 2009. **À droite**, un résultat après anneaux puis laser topoguidé en 2018.

l'exemple sur la **figure 4**, qui montre un effet torique d'environ 14 D ! Compte tenu de ce très fort potentiel, ils sont à manier avec prudence et précision, qu'il s'agisse du choix de l'anneau en fonction de la topographie ou de son positionnement cornéen.

2. Diversité des anneaux, anneaux asymétriques

Au fil du temps et des progrès, les fabricants proposent des anneaux de plus en plus variés, ce qui permet de traiter avec plus de précision une plus grande diversité de kératocônes. Les anneaux varient par leur épaisseur, par le diamètre de leur zone optique et par leur longueur angulaire. Comme nous le savons, plus la longueur angulaire est grande, plus l'anneau permettra d'aplatir la cornée en ayant peu d'effet torique ; inversement, plus la longueur angulaire est courte, plus c'est l'effet torique qui prédominera.

Récemment sont apparus des anneaux à gradient d'épaisseur (les Keraring AS) qui existent en version 160° et, depuis peu, en version 330°. Ils présentent une différence d'épaisseur d'environ 100 μm entre l'extrémité proximale et l'extrémité distale. Ils permettent d'optimiser le traitement des kératocônes lorsque les deux hémis-axes cambrés sont asymétriques. L'extrémité la plus épaisse de l'anneau est alors positionnée en regard de l'hémi-axe le plus cambré (**fig. 5**).

3. Optimiser le choix des anneaux (**fig. 6**)

Optimiser le résultat des AIC revient tout d'abord à choisir les bons anneaux. Lorsque l'on débute dans cette chirurgie, il

est pratique de s'inspirer du nomogramme fourni par le laboratoire. Puis, au fur et à mesure que l'expérience augmente, on dessinera soi-même le plan de traitement avec le ou les anneaux choisis.

Lorsque le cône est décentré, on positionnera un anneau en aval de ce cône, de manière à le réduire et à le recentrer. Lorsque le kératocône est plutôt central, on centrera les anneaux sur l'hémi-axe plat de manière à corriger l'astigmatisme.

4. Optimiser la programmation du tunnel (**fig. 7**)

Le tunnel intracornéen se réalise le plus souvent au laser femtoseconde. Il permet de choisir très précisément la profondeur du tunnel, le lieu de l'incision par laquelle sera inséré le ou les anneaux, et surtout la largeur du tunnel. Plus le tunnel est large, plus l'anneau sera inséré facilement, mais moins l'effet de *stretching* sera important. À l'inverse, si l'on souhaite augmenter l'effet biomécanique de l'anneau, il faudra réduire la largeur du tunnel, au risque d'avoir du mal à introduire l'anneau. Par défaut, pour les Keraring 5 mm, nous réalisons un tunnel de 5 x 5,9 mm. Lorsque l'anneau est quasi-circulaire, nous réalisons un tunnel un peu plus large (5 x 6,6 mm) afin de pouvoir planter l'anneau facilement.

5. Optimiser le positionnement des anneaux

Outre le choix de l'anneau, le positionnement est un facteur crucial d'optimisation du résultat réfractif. Il concerne le centrage de l'anneau et son positionnement angulaire.

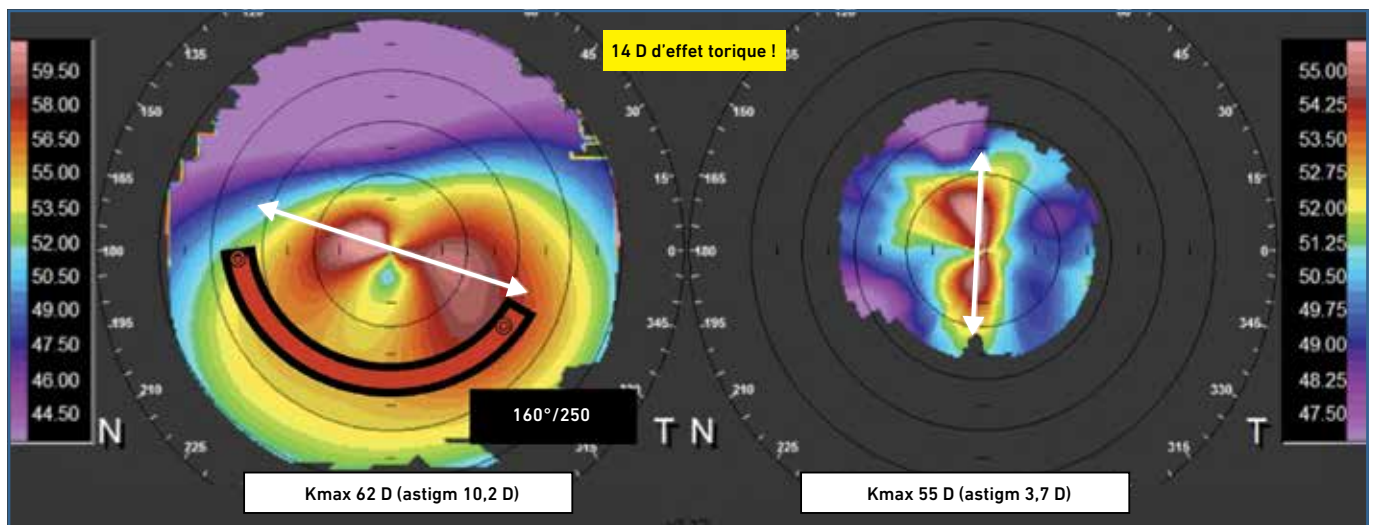


Fig. 4 : Potentiel réfractif des anneaux. Cet exemple montre combien l'effet torique des anneaux peut être puissant et combien ils sont à manier avec prudence. Ici, un simple anneau 160°/250 μm a transformé l'astigmatisme inverse d'une dégénérescence pellucide de 10,2 D en astigmatisme direct de 3,7 D, soit environ 14 D d'effet torique !!

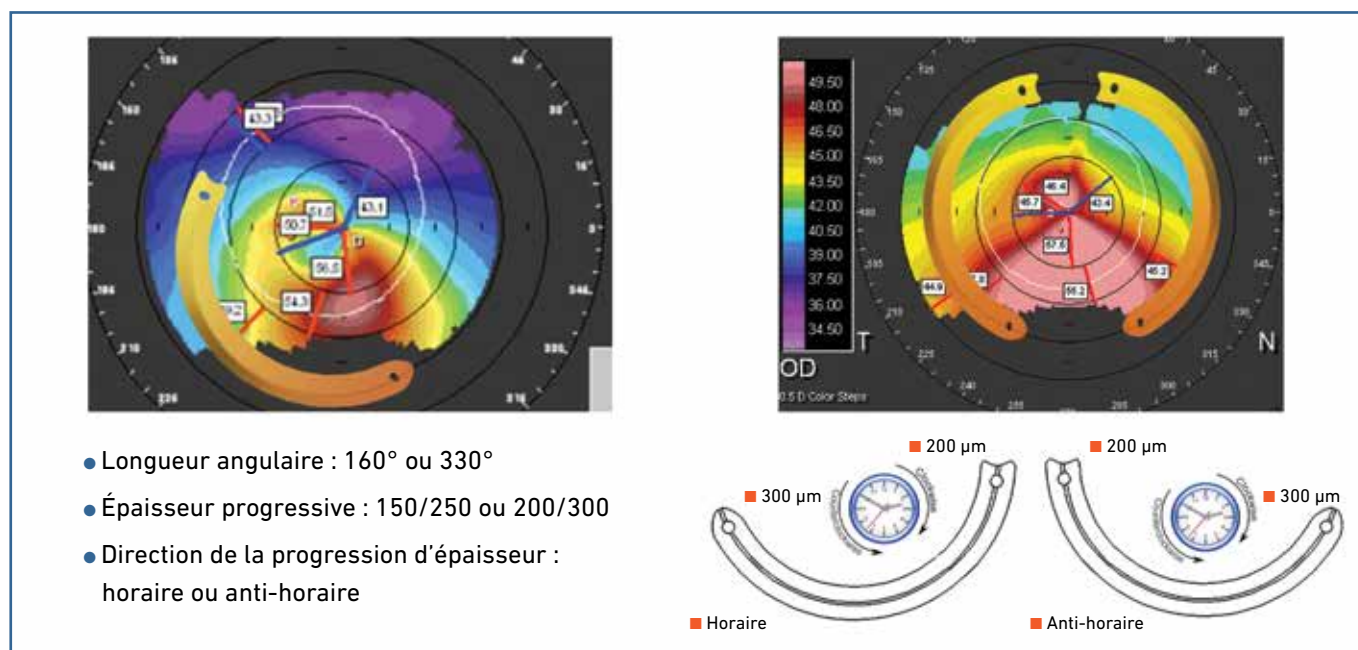


Fig. 5 : Anneaux à gradient d'épaisseur (Keraring AS). L'épaisseur de ces anneaux de 160° varie de 150 à 250 µm ou de 200 à 300 µm. L'extrémité distale plus épaisse est positionnée en regard de l'hémi-méridien le plus cambré. Ils sont indiqués dans les formes *duck type* (en canard) ou *snowman type* (en bonhomme de neige).

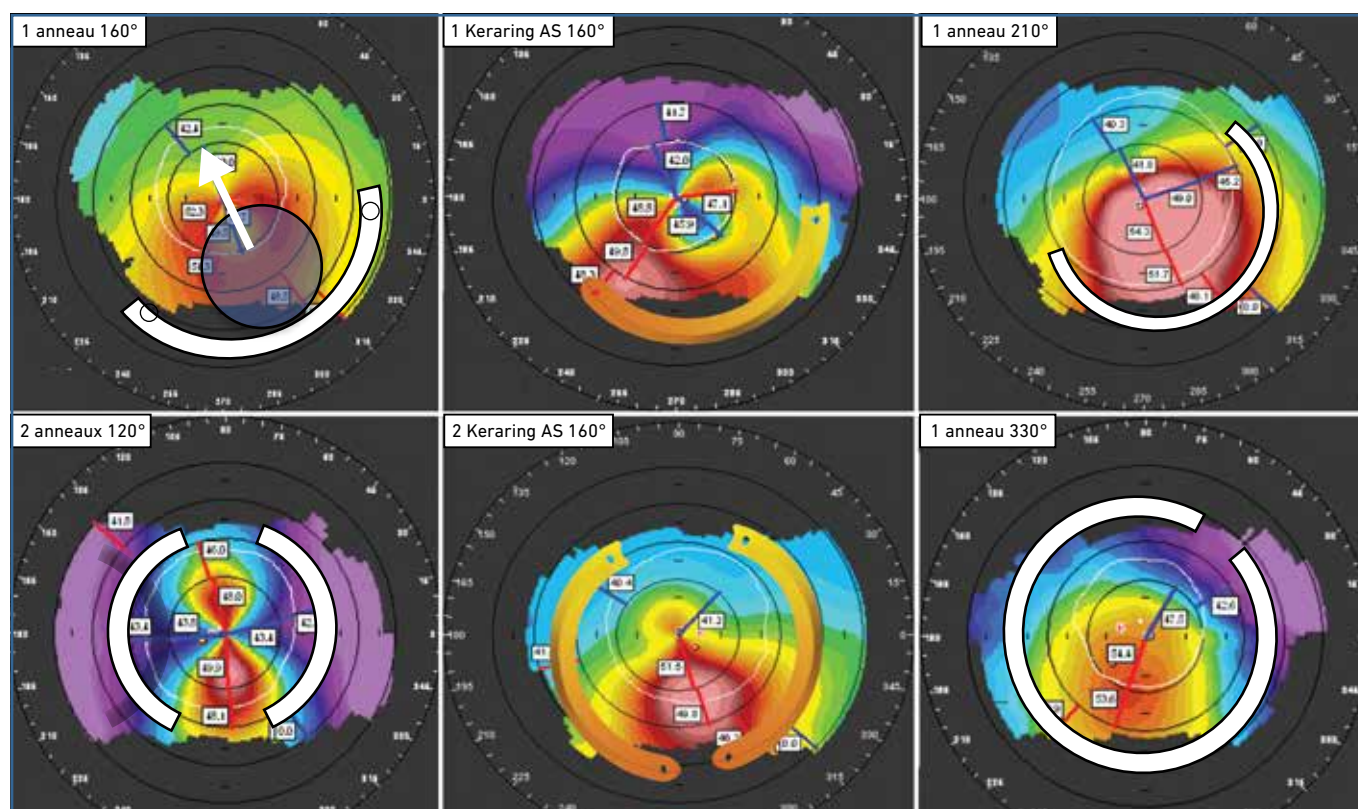


Fig. 6 : Choix des bons anneaux. Pour les kératocônes décentrés, l'anneau est placé en aval du cône de manière à le réduire et à le recentrer. Pour les kératocônes centraux avec fort astigmatisme direct, 2 anneaux 120° sont utilisés et centrés sur le méridien plat. Pour les kératocônes paracentraux avec faible astigmatisme, on utilise volontiers des anneaux de 210° ou, plus récemment, 330° asymétriques.



Fig. 7 : Programmation du tunnel au laser femtoseconde. On peut moduler l'effet de l'anneau en jouant sur la largeur du tunnel : réduction de l'effet réfractif en élargissant le tunnel et inversement. Pour les anneaux de 5 mm, nous programmons généralement un tunnel de 5 x 5,9 mm.

>>> Centrage de l'anneau

Le centrage de l'anneau est fondamental. L'axe optique sera repéré à l'aide d'un feutre et du réflexe de Purkinje sous le laser excimer. En effet, un tunnel et donc un anneau décentré peuvent occasionner des effets intolérables de halos et d'éblouissements, surtout si la pupille est large (ce qui est fréquent chez ces jeunes patients kératocônes) et si le diamètre de l'anneau est petit – nous utilisons le plus souvent des anneaux de petit diamètre de 5 mm car ils ont plus d'effet régularisateur, notamment sur les kératocônes avancés.

>>> Positionnement angulaire

Comme pour les implants toriques, il faudra marquer l'axe horizontal en position assise et positionner l'anneau conformément au plan de traitement qui aura été dessiné en fonction de la topographie préopératoire. Il faudra d'autant plus respecter ce positionnement angulaire que l'anneau a un effet torique prononcé (*fig. 8*). En fin d'intervention, le bon positionnement des anneaux sera vérifié à l'aide d'un cône de Maloney et de la réflexion de ses mires sur la surface de la cornée (*fig. 9*).

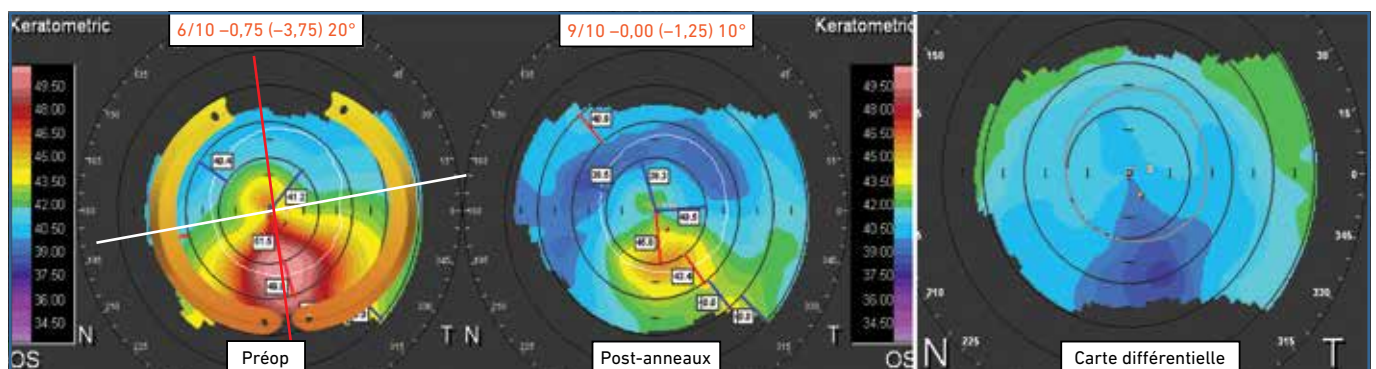


Fig. 8 : Positionnement angulaire des anneaux. Dans cet exemple de kératocône “en bonhomme de neige”, nous avons régularisé la cornée en posant 2 anneaux 160° asymétriques (Keraring AS) en sens inverses (horaire et anti-horaire). L'effet d'aplatissement bien visible sur la carte différentielle est beaucoup plus marqué en inférieur qu'en supérieur, en regard de l'hémi-axe le plus cambré. Pour obtenir cet effet, nous avons combiné l'effet gradient d'épaisseur des anneaux à un désaxement volontaire de ces anneaux vers le bas, de telle manière qu'ils se touchent par leur extrémité distale.



Fig. 9 : Cône de Maloney permettant de vérifier la régularisation cornéenne.

■ Facteurs pronostiques des anneaux

La prédictibilité réfractive des anneaux, moins bonne que celle d'une chirurgie réfractive, s'est néanmoins améliorée au cours des dernières années grâce aux progrès de cette chirurgie. Nous avons 3 facteurs pronostics.

1. Le stade du kératocône (fig. 10)

Celui-ci peut être évalué par le Kmax. Les résultats visuels et réfractifs après anneaux intracornéens et, en général, dans le cadre de la chirurgie conservatrice du kératocône sont bien meilleurs lorsque le stade du kératocône est peu avancé – et donc d'autant moins bons que le stade est plus avancé. Rétrospectivement, lorsque l'on observe des résultats visuels médiocres, on s'aperçoit que le stade initial du

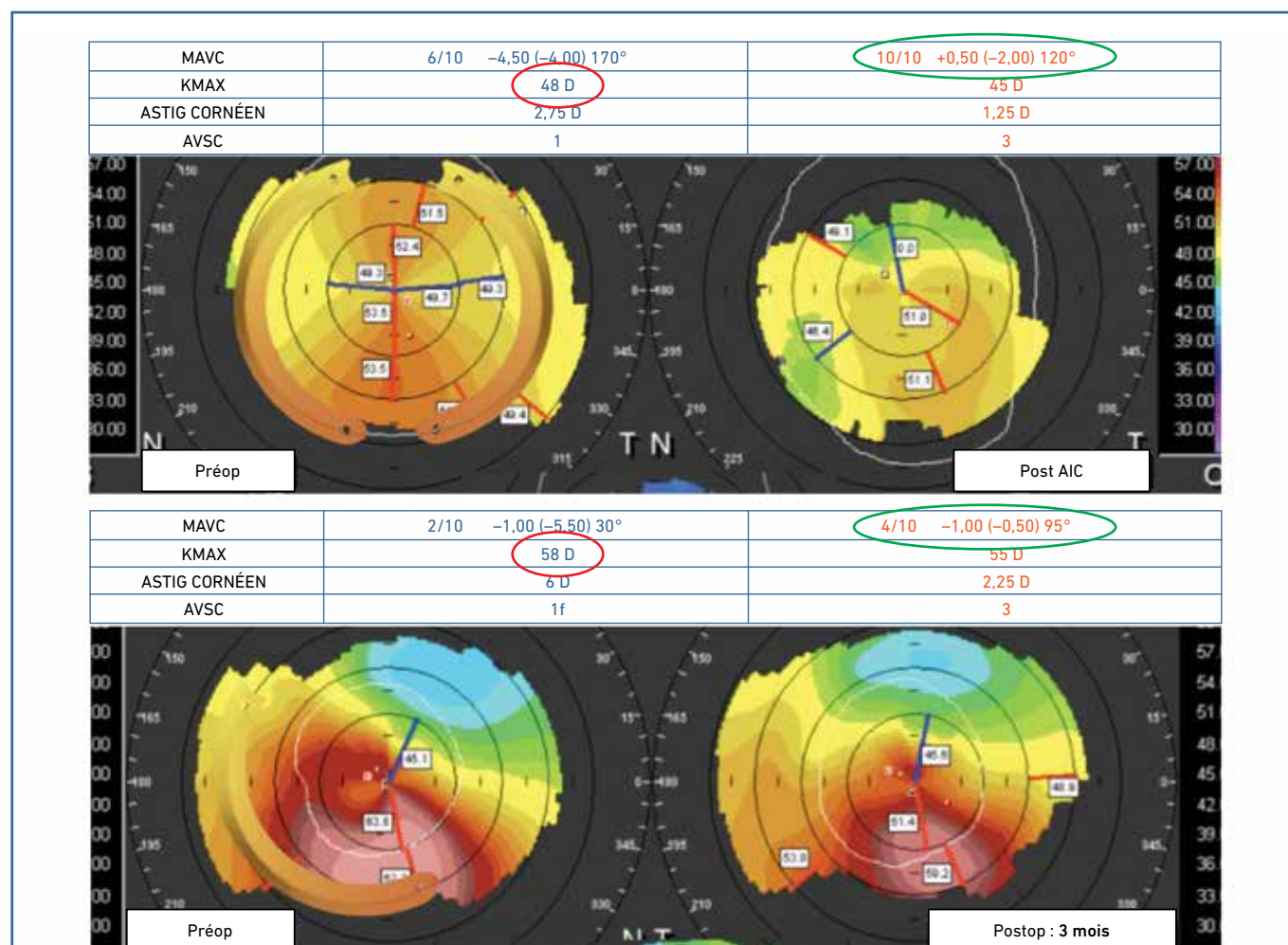


Fig. 10 : Résultat visuel en fonction du stade du kératocône. Nous montrons ici 2 exemples de kératocône ayant un stade complètement différent. **En haut**, un Kmax à 48 D, signifiant un cône peu avancé. La pose des anneaux intracornéens a permis de faire remonter la meilleure acuité de 6/10 à 10/10. **En bas**, le cône est plus avancé avec un Kmax à 58 D. La meilleure acuité ne s'est améliorée que faiblement puisqu'elle est passée de 2/10 à 4/10.

kératocône était avancé, avec un Kmax souvent supérieur à 55 D.

2. Le type de topographie cornéenne

Certaines topographies cornéennes sont bien plus à même de réagir positivement aux anneaux intracornéens. Parmi les “bons cas”, citons notamment :

>>> **Les cônes décentrés (fig. 11).** L’anneau placé en aval d’un cône décentré permet de le réduire et de le recentrer, cela améliore de beaucoup la meilleure acuité et réduit l’astigmatisme.

>>> **Les astigmatismes directs importants (fig. 12),** très facilement corrigés par des anneaux de 120° centrés sur le méridien plat.

>>> **Les cônes “en bonhomme de neige” (fig. 13).** Avec l’apparition des anneaux intracornéens asymétriques, il est désormais possible de traiter avec bien plus de précision

ces kératocônes où l’hémi-axe inférieur est beaucoup plus cambré que l’hémi-axe supérieur.

En revanche, d’autres topographies sont de moins bon pronostic. Il s’agit par exemple des kératocônes paracentraux avec faible astigmatisme (fig. 14).

3. La réfraction

La réfraction initiale est également un facteur pronostique au regard du résultat réfractif final. En effet, les anneaux permettent d’une part de corriger de 2 à 4 D de myopie, d’autre part de corriger un astigmatisme, même important. Un astigmatisme myopique simple (fig. 15) sera donc d’excellent pronostic réfractif, puisque l’anneau pourra corriger la myopie ainsi que l’astigmatisme. Ce raisonnement est également valable pour le laser topoguidé.

Inversement, lorsque la myopie est plus importante (inférieure à -6 D), l’anneau et le laser topoguidé ne pourront pas corriger la totalité de cette myopie. Il faudra donc que

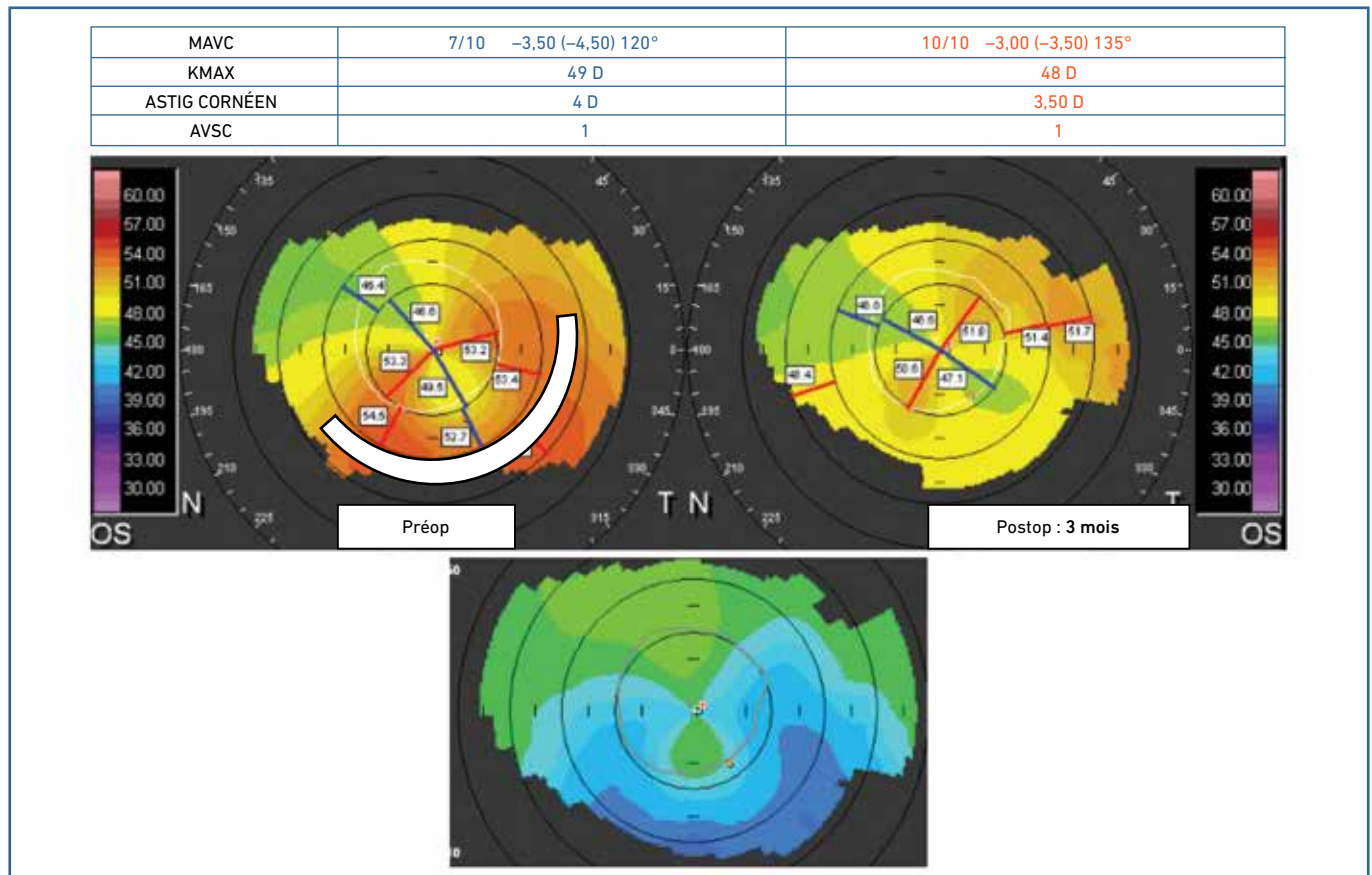


Fig. 11 : Ici, un kératocône très décentré. Un anneau 160°/250 µm permet de réduire fortement le cône, de le recentrer et de faire remonter la meilleure acuité de 7/10 à 10/10. La carte différentielle, en bas, montre l’empreinte de l’anneau.

MAVC	6/10 -1,00 (-8,00) 15°	9/10 +0,00 (-1,25) 150°
KMAX	56,3 D	53,4 D
ASTIG CORNÉEN	11,3 D	3,3 D
AVSC	1	5

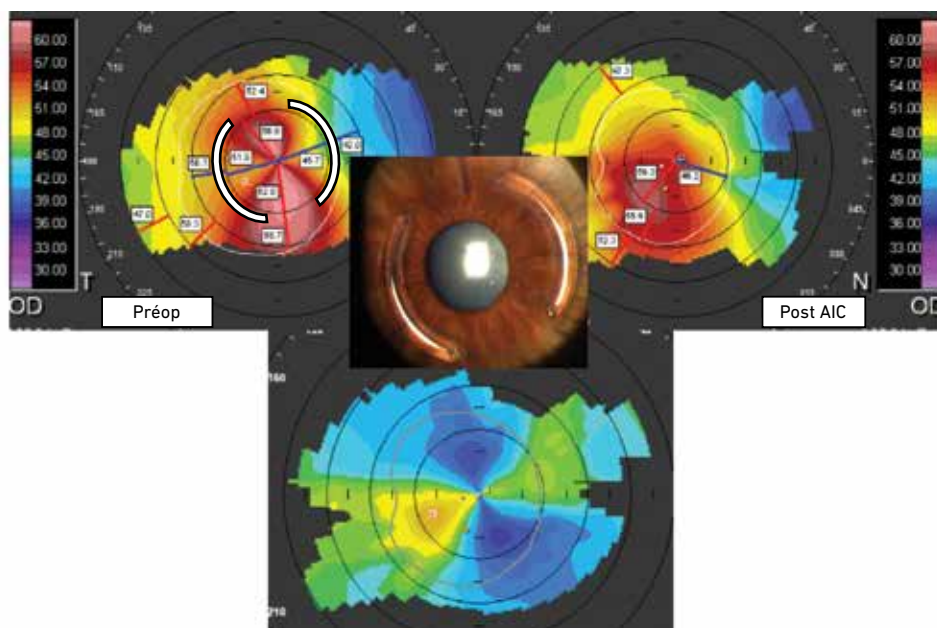


Fig. 12 : Astigmatisme direct de 8 D, presque totalement corrigé par 2 anneaux de 120° centrés sur le méridien horizontal. La meilleure acuité remonte de 6/10 à 9/10.

MAVC	7/10 -0,75 (-4,50) 25°	10/10 +0,50 (-0,25) 20°
KMAX	52 D	46 D
ASTIG CORNÉEN	5,5 D	0,5 D
AVSC	2	9

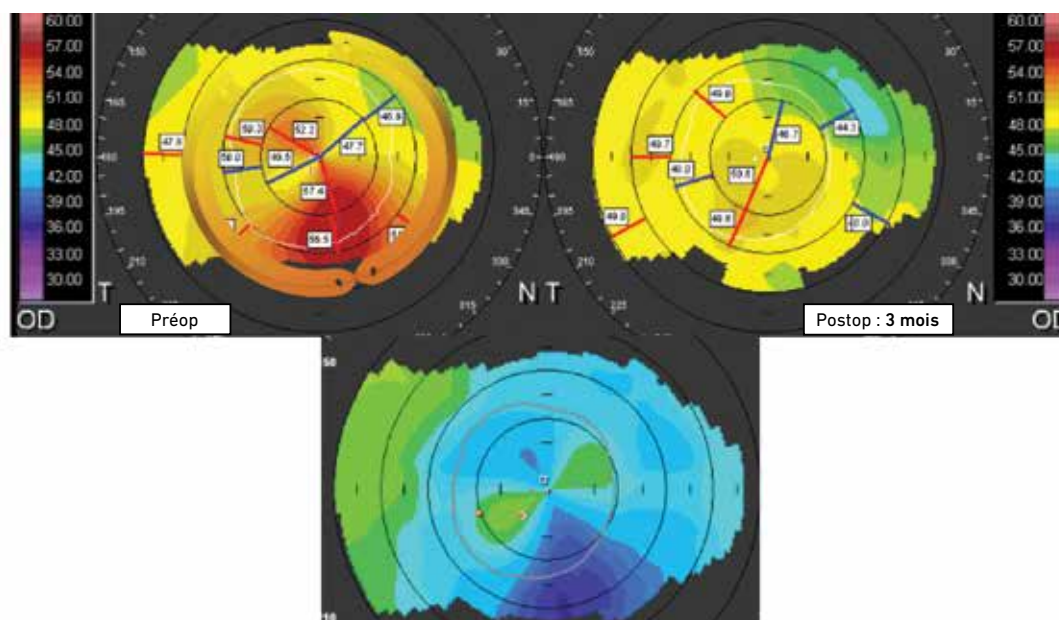


Fig. 13 : Cône "en bonhomme de neige" traité avec succès par 2 anneaux asymétriques Keraring AS 160° horaire et anti-horaire. La carte différentielle montre un effet d'aplatissement beaucoup plus marqué en regard de l'hémi-méridien inférieur.

	PRÉOP	POSTOP ANNEAU 1 MOIS
AVSC	CLD	2/10
RÉFRACTION	4/10 -13,25 (-1,50) 55°	4/10 -8,00 (-1,00) 40°
KMAX	51,6 D	47,5 D
ASTIG K	0,5 D	1,3 D

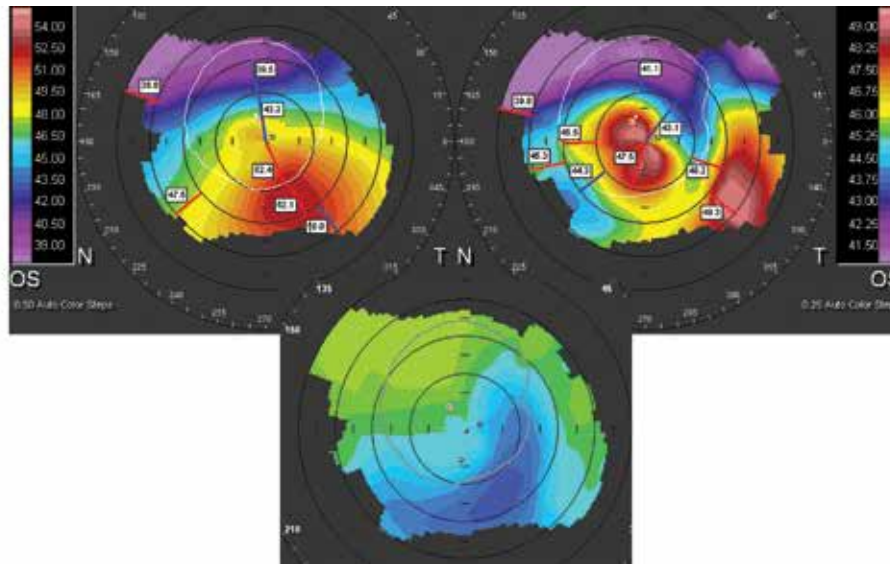


Fig. 14 : Résultat visuel médiocre. Il s'agit d'un kératocône paracentral avec faible astigmatisme, modérément régularisé par un anneau de 210°. La meilleure acuité ne s'est pas améliorée.

MAVC	8/10 -0,50 (-3,00) 45°	10/10 +0,00 (-0,50) 45°
KMAX	48 D	45 D
ASTIG CORNÉEN	3,75 D	1,25 D
AVSC	3	10

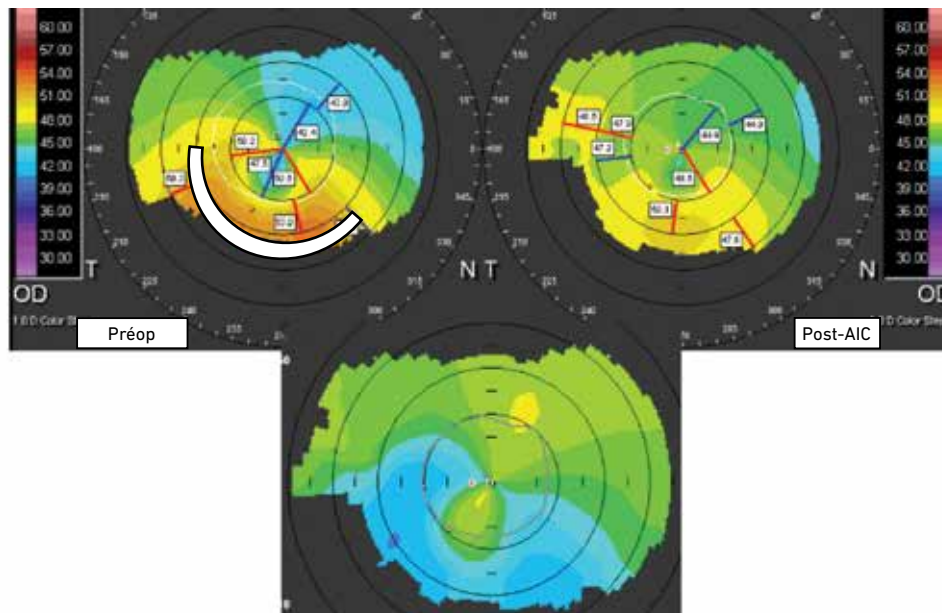


Fig. 15 : Astigmatisme myopique simple : très bon pronostic. Sur cet exemple, on voit un astigmatisme myopique simple qui sera corrigé en totalité par un anneau de 160°/200 µm. Le patient est emmétropisé. Résultat visuel comparable à celui d'une chirurgie réfractive.

le patient soit équipé en lentilles, et s'il ne les supporte pas, envisager un implant myopique phaque de type ICL.

Enfin, les traitements régularisateurs de la cornée étant hypermétropisants, un problème se pose chez les rares patients emmétropes ou hypermétropes kératocôniques. Il faudra donc les prévenir d'une hypermétropie postopératoire probable.

■ Progrès et optimisation des résultats du laser topoguidé (topolink)

Le principe de la photoablation au laser topoguidé est de régulariser la cornée grâce à un profil d'ablation personnalisé qui aura été calculé informatiquement par le laser après couplage avec la topographie cornéenne. En pratique, nous utilisons le laser excimer Wavelight et le Pentacam. Au départ, l'idée n'est pas de réaliser une chirurgie réfractive, mais de régulariser la zone centrale cornéenne de manière à réduire les aberrations d'ordre supérieur (HOA) et faire remonter la meilleure acuité (*fig. 16*).

1. Optimisation de la profondeur d'ablation

Il est en principe recommandé de ne pas dépasser 50 μm de photoablation chez les patients kératocôniques. Il faut vérifier que la pachymétrie minimale avant cette intervention est supérieure à 400 μm . Le résultat postopératoire dépend, d'une part de la régularisation de la cornée pour réduire les HOA, d'autre part de la programmation de la sphère et du cylindre.

Au départ, nous cherchions à ne corriger que 70 % de la sphère et 70 % du cylindre, afin de ne pas trop augmenter la profondeur d'ablation. Actuellement, et lorsque la pachymétrie le permet (proche de 480 à 500 μm), nous programmons la totalité de la sphère et du cylindre, de manière à être le plus près possible d'un résultat réfractif. Lorsque la profondeur d'ablation devient trop importante, il est possible, comme en chirurgie réfractive, de faire varier la taille de la zone optique afin de ne pas dépasser un certain seuil de profondeur d'ablation. Nous arrivons à corriger, selon la pachymétrie préopératoire, jusqu'à 5 D de myopie et/ou d'astigmatisme en équivalent sphérique. Nous associons systématiquement un

MAVC	6/10 -0,25 (-2,25) 165°	10/10 +0,25 (-0,50) 165°
KMAX	50 D	45 D
ASTIG CORNÉEN	2,25 D	0,5 D

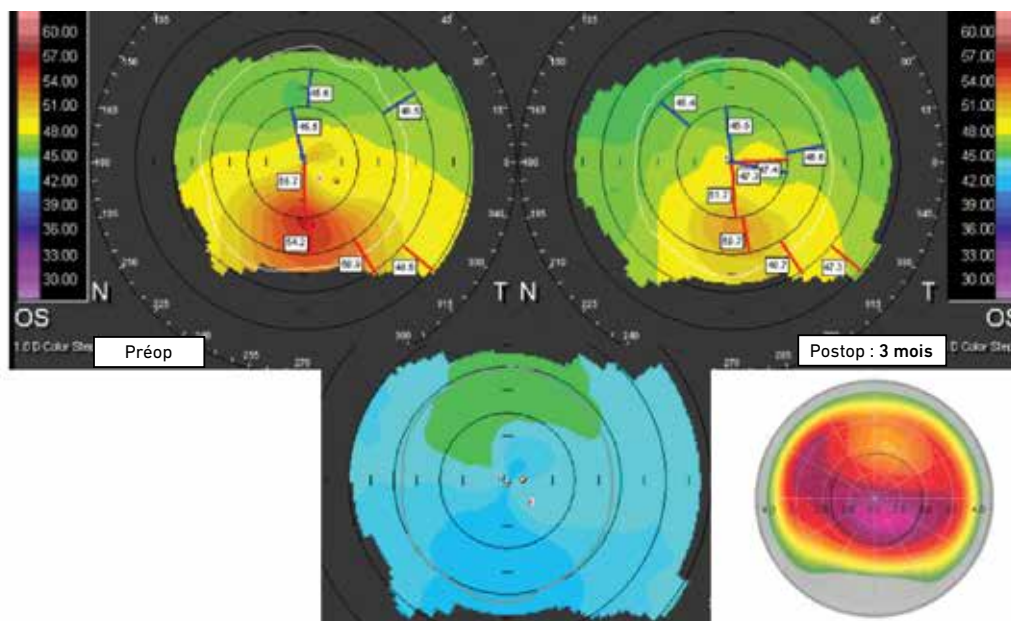


Fig. 16 : Exemple de traitement par laser topoguidé. Ce patient âgé de 30 ans présente un kératocône modéré (Kmax = 50), dont la cornée a été régularisée en une seule étape chirurgicale par laser topoguidé (+ CXL). La carte différentielle (en bas) montre l'effet d'aplatissement correspondant exactement à la topographie préopératoire. La topographie postopératoire est quasi-normalisée avec un effet visuel correspondant de normalisation de la meilleure acuité qui est passée de 6/10 à 10/10. Sur le plan réfractif, 100 % de la sphère et du cylindre préopératoires ont été programmés, ce qui a permis de quasiment emmétropiser le patient en postopératoire.

CXL (protocole d'Athènes), même si le kératocône n'est pas évolutif, de manière à ne pas induire d'aggravation sous l'effet de la photoablation.

2. Mode d'ablation de l'épithélium

L'épithélium peut être enlevé, soit manuellement – à l'aide d'un scarificateur ou d'une brosse d'Amsoil –, soit grâce à une photoablation transépithéliale. Dans cette seconde option, l'épithélium sert alors de masque à la photoablation puisqu'il est plus mince au sommet du cône et plus épais en périphérie. Le fait d'utiliser l'épithélium comme masque d'ablation permet d'augmenter l'effet de régularisation du stroma cornéen.

3. Optimiser la séquence thérapeutique (fig. 17)

Actuellement, nous réalisons le CXL et le laser excimer topoguidé dans le même temps opératoire (protocole dit d'Athènes). Mais nous savons que le CXL est un facteur d'imprédictibilité réfractive et qu'il peut entraîner une hypermétropisation qui réduit la précision réfractive. Certains auteurs préconisent aujourd'hui de réaliser le CXL séparément avant le laser topoguidé. Dans leur expérience, la photoablation a lieu de 6 à 12 mois après le CXL. Le nomogramme d'ablation du laser topoguidé est alors ajusté puisque la photoablation d'un stroma "cross-linké" est moins importante que celle d'un stroma non traité.

Nous envisageons prochainement d'ajuster notre séquence thérapeutique de manière à optimiser le résultat réfractif. Pour le moment, le traitement simultané (CXL et laser topoguidé) donne d'excellents résultats avec une relativement bonne prédictibilité réfractive.

4. Photoablation topo- ou aberroguidée ?

Dans notre expérience, nous utilisons la photoablation sur un mode topoguidé. Certains auteurs, notamment les utilisateurs du laser Schwind, pratiquent une photoablation aberroguidée. Nous pensons qu'elle ne modifie pas beaucoup le résultat puisque le calcul des aberrations cornéennes se fait, non sur des paramètres visuels, mais en fonction de la topographie cornéenne, qui est une donnée purement géométrique.

5. Topolink et réfraction

La majorité des kératocônes sont heureusement myopes. Le laser excimer topoguidé permet de corriger entre 1 et 5 à 6 D de myopie et d'astigmatisme. Lorsque les patients sont hypermétropes, notamment après la pose d'anneaux, nous rencontrons une difficulté réfractive puisque la photoablation périphérique d'une hypermétropie vient annuler l'effet de régularisation de la cornée du laser topoguidé. En effet, dans notre expérience, ce type de laser donne des résultats très médiocres chez les patients hypermétropes. Le cas idéal

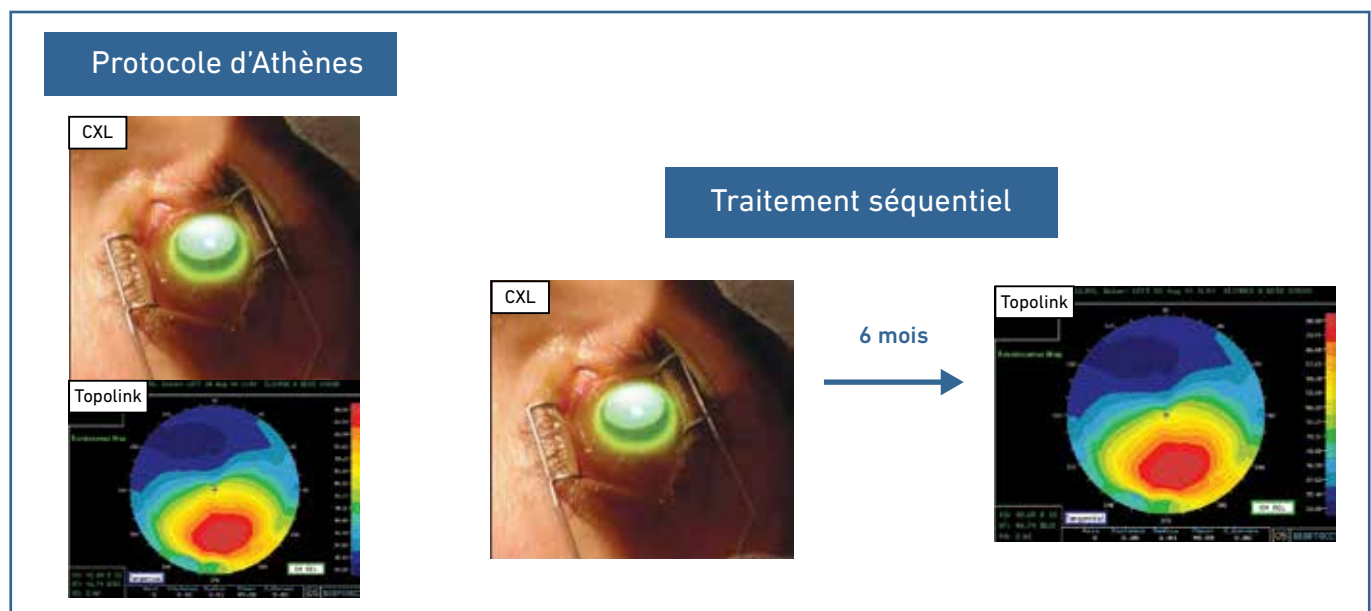


Fig. 17 : Laser topoguidé/CXL : optimisation de la séquence thérapeutique. Le CXL doit être impérativement réalisé avant ou pendant le laser topoguidé, de manière à éviter une aggravation du kératocône sous l'effet de la photoablation. Depuis plusieurs années, nous réalisons ces 2 procédures simultanément (protocole d'Athènes) avec des résultats satisfaisants. Néanmoins, le CXL est hypermétropisant, ce qui est un facteur d'imprédictibilité réfractive. Pour améliorer la précision réfractive du laser topoguidé, certains auteurs préconisent de réaliser la photoablation isolément, de 6 à 12 mois après le CXL, en ajustant le nomogramme de photoablation.

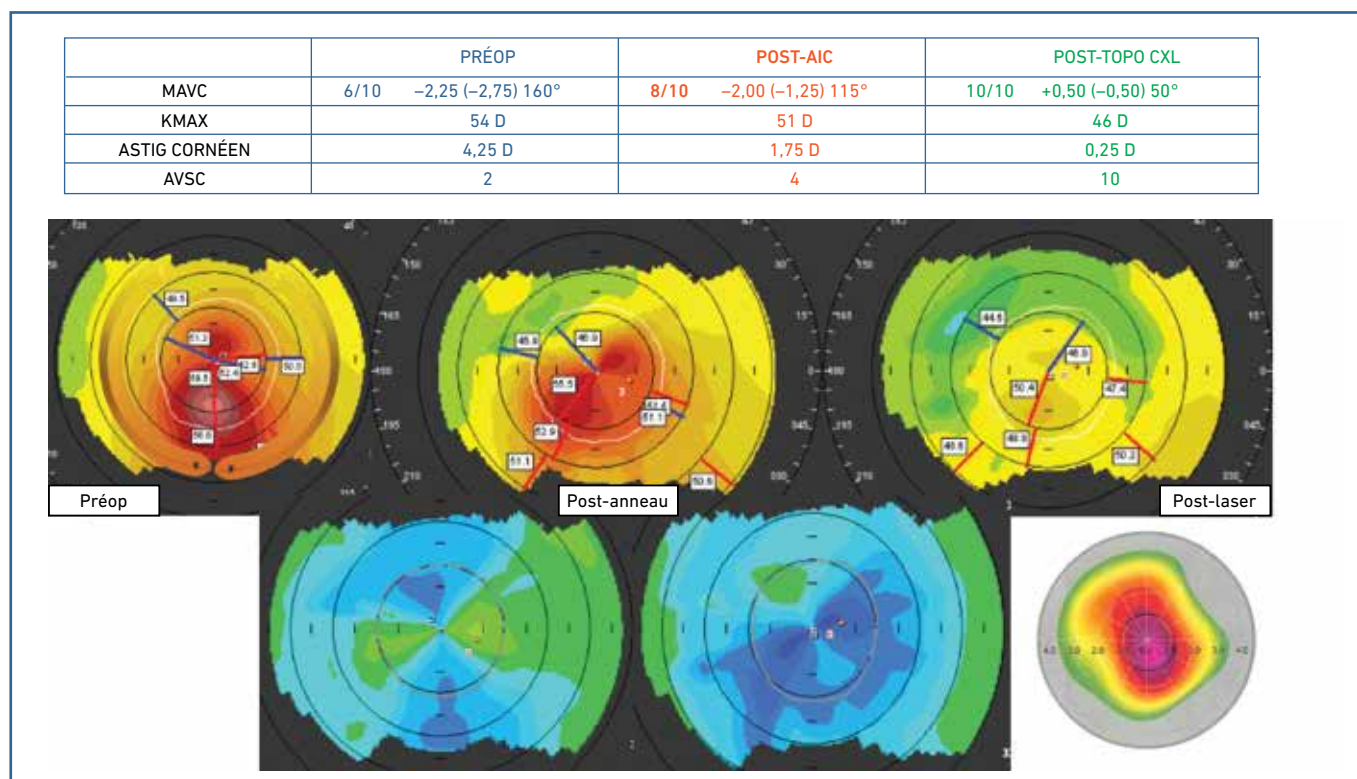


Fig. 18 : Traitement séquentiel par anneaux intracornéens puis par laser excimer topoguidé. Cette cornée kératocônique avait un Kmax initial de 54 D. Elle a été fortement régularisée d'abord par anneaux intracornéens, puis par laser excimer topoguidé. On voit la nette amélioration de la topographie kératométrique. Celle-ci se normalise avec, parallèlement, une remontée très significative de la meilleure acuité – elle passe de 6/10 à 8/10 après anneaux, puis à 10/10 après laser excimer topoguidé. En bas sont représentées les cartes différentielles montrant l'effet topographique de ces deux traitements séquentiels.

est donc une faible myopie en équivalent sphérique avant le laser topoguidé.

■ Optimisation des résultats par combinaison des différents traitements

Un des principaux facteurs d'optimisation réfractive et visuelle de la chirurgie conservatrice du kératocône est le fait de pouvoir combiner entre eux les différents moyens chirurgicaux. Le fait de procéder en 2 étapes pour régulariser la cornée, par anneaux intracornéens dans un premier temps, puis par laser excimer topoguidé (accompagné d'un *cross-linking*) dans un second temps, permet particulièrement d'optimiser la régularisation cornéenne et la remontée visuelle et, dans nombre de cas, de corriger l'amétropie sphéro-cylindrique des patients. L'exemple de la **figure 18** reflète bien les résultats de cette prise en charge.

■ Conclusion

Nous venons de voir les différents éléments qui permettent d'optimiser les résultats visuels et réfractifs de la chirurgie du kératocône, en particulier les anneaux intracornéens et le laser topoguidé. Nous venons également de voir les principaux facteurs pronostiques visuels de la chirurgie conservatrice du kératocône – au premier rang desquels son stade, le type de topographie cornéenne et la réfraction préopératoire –, permettant de dire dans quels cas il sera possible ou non d'atteindre des résultats proches de ceux d'une chirurgie réfractive pour les patients qui le demandent.

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



D. PIÉTRINI, T. GUEDJ
Centre de la cornée et du kératocône, PARIS.
docteurpietrini@gmail.com

Cataracte et kératocône

Le kératocône est une pathologie cornéenne non inflammatoire caractérisée par un amincissement et un bombement cornéens. Cette déformation engendre un astigmatisme irrégulier qui réduit la meilleure acuité visuelle corrigée et la qualité de vision, en particulier mésopique. L'ectasie cornéenne débute le plus souvent à l'adolescence et se stabilise souvent avant l'âge de 40 ans. Le seul traitement pour prévenir l'aggravation de la déformation cornéenne chez les patients les plus jeunes consiste à réaliser un *cross-linking* cornéen. La réhabilitation visuelle repose sur la correction optique, idéalement par l'adaptation en lentilles de contact rigides ou, chirurgicalement, par l'implantation d'anneaux intracornéens et par des photo-ablations de surface, ou encore par une greffe de cornée pour les cas les plus avancés. La survenue d'une cataracte chez les patients présentant un kératocône est plus fréquente que dans la population normale et arrive à un âge plus précoce, d'autant qu'une myopie axiale associée est également plus fréquente. La prise en charge de ce type de cataracte pose des problèmes spécifiques dès le moment de la décision chirurgicale. Ces problèmes sont liés en particulier à la difficulté, l'imprécision et la variabilité des mesures kératométriques et biométriques, sources d'aléas réfractifs postopératoires. Le choix de l'implant, et surtout la décision d'opter pour un implant torique, est spécifique à chaque cas. Enfin, la chirurgie elle-même nécessite de s'adapter à la spécificité de chaque cornée (cornées minces, cicatrices stromales, chirurgies préalables ou associées, gestion de l'astigmatisme, site et taille de l'incision).

■ Examen préopératoire et sélection des patients

Une évaluation préopératoire complète, de la cornée en particulier, est indispensable. Outre les mesures d'acuité visuelle sans et avec correction, une topographie cornéenne en élévation avec analyse des faces antérieure et postérieure est nécessaire, ainsi

qu'une mesure des aberrations cornéennes, une microscopie spéculaire (en particulier chez les porteurs de lentilles de contact) et une biométrie optique par interférométrie avec mesure de la longueur axiale et de la profondeur de la chambre antérieure.

Chez un patient qui présente à la fois une cataracte et un kératocône, la décision chirurgicale est plus délicate et le choix d'intervenir ou non repose sur un faisceau d'éléments cliniques et paracliniques. Il est souvent difficile de faire la part entre la baisse de la vision ou la diminution de la qualité de vision liée à l'existence de la cataracte elle-même, et celle qui est liée à la présence du kératocône. Dans certains cas, un essai contactologique peut apporter une aide précieuse en supprimant les aberrations d'origine cornéenne.

Une autre difficulté de la prise en charge résulte du choix de la formule de calcul la plus appropriée et, surtout, de la fiabilité des mesures kératométriques car celles-ci sont fortement perturbées par la présence de l'ectasie cornéenne. Toutes les formules biométriques reposent sur la mesure de la longueur axiale et sur la mesure de la kératométrie centrale pour déterminer le pouvoir réfractif total de l'œil. En effet, les mesures utilisées sont celles qui s'appliquent aux patients dont la cornée se situe dans des valeurs habituelles. Les mesures kératométriques automatisées analysent le plus souvent 6 points centraux (voire plus sur les appareils plus récents) sur une zone optique de 2,3 ou 2,4 mm. Ces kératomètres automatiques ne s'intéressent qu'à la courbure cornéenne antérieure et supposent un ratio de variation constant entre la cornée antérieure et la cornée postérieure, ce qui est particulièrement erroné dans le cas du kératocône. En effet, dans ce cas, les mesures kératométriques varient considérablement selon le mode et les modalités d'évaluation. La kératométrie est maximale à l'apex du cône, mais les mesures varient considérablement dans une zone optique réduite sur la pente de l'ectasie, ce qui explique leur mauvaise fiabilité et leur variabilité d'un appareil à l'autre. Ces mesures

sont artificiellement majorées pour le calcul biométrique, aboutissant fréquemment à une erreur réfractive hyperopique. Il existe également des variations importantes de la puissance cornéenne postérieure dans cette zone centrale. Pour cette raison, les topographes en élévation permettent une mesure infiniment plus précise de la puissance cornéenne centrale totale en analysant l'élévation des faces antérieure et postérieure. Comme le pressentaient Bourges *et al.*, il semble que la mesure de cette puissance cornéenne totale dans les 15° centraux (environ 3 mm), bien que non intégrée aux formules actuelles, est importante à considérer. Ainsi, les valeurs cornéennes mesurées par les topographes, en particulier en élévation, semblent très supérieures à celles des mesures kératométriques automatisées (à éviter). Sur la **figure 1**, la puissance cornéenne centrale dans les 3 mm centraux est évaluée à 51 D, contre 55,38 D pour la kératométrie automatisée, source de variations biométriques majeures. Sur la **figure 2**, la mesure de la puissance cornéenne réelle centrale totale mesurée par OCT montre également une disparité importante (52,22 D *versus* 55,38 D).

■ Calcul d'implant et choix d'une formule biométrique

Thebpatiphat *et al.* [1] ont évalué différentes formules biométriques de calcul d'implant chez des patients présentant

un kératocône en réalisant pour 12 yeux de 9 patients opérés les mesures avec les formules SRK, SRK II et SRK-T. En dehors de la formule SRK II pour les patients dont la kératométrie n'excédait pas 48 D, toutes les formules se sont révélées imprécises et **plus la kératométrie préopératoire augmente plus l'imprécision augmente** sans retrouver de supériorité d'une formule sur une autre. Le calcul biométrique standard suppose que les valeurs kératométriques au point le plus bombé sont les mêmes que celles de l'axe visuel, et que la face postérieure de la cornée a un rayon de courbure plus bombé de 1,2 mm que la face antérieure. Or, non seulement cette différence est plus importante dans les yeux présentant un kératocône, mais ces deux surfaces sont en plus totalement irrégulières, majorant l'aléa réfractif de toutes les formules de calcul. Enfin, la longueur axiale et la profondeur de la chambre antérieure sont plus importantes, rendant moins précise la position estimée de l'implant en postopératoire. Pour ces mesures de longueur axiale, la biométrie optique s'impose afin d'éviter les erreurs liées à la décentration de l'axe visuel et empêche les erreurs de parallaxe d'une biométrie ultrasonique, souvent plus délicate sur les cornées très amincies.

Dans une étude rétrospective multicentrique portant sur 102 yeux consécutifs de 71 patients, Kazutaka *et al.* ont évalué également différentes formules biométriques (SRK-T,

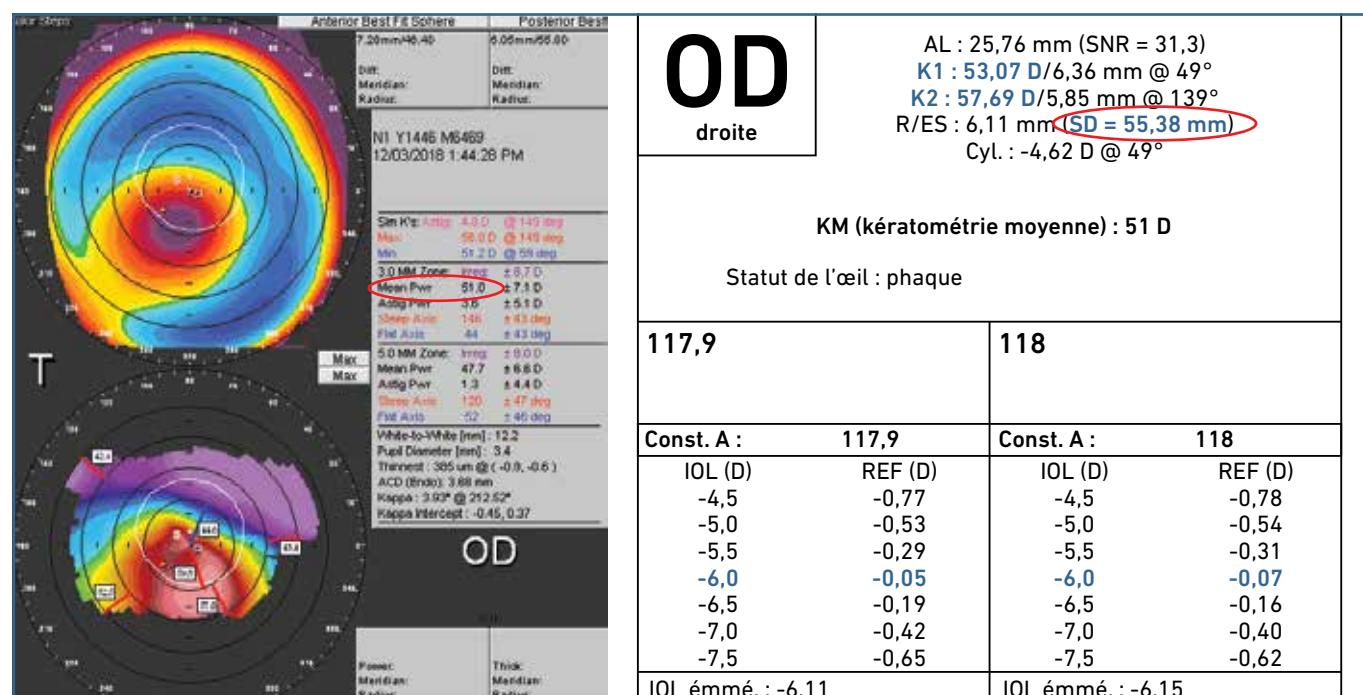


Fig. 1 : Comparaison des valeurs kératométriques obtenues par Orbscan (à gauche) avec les valeurs kératométriques automatisées (à droite).

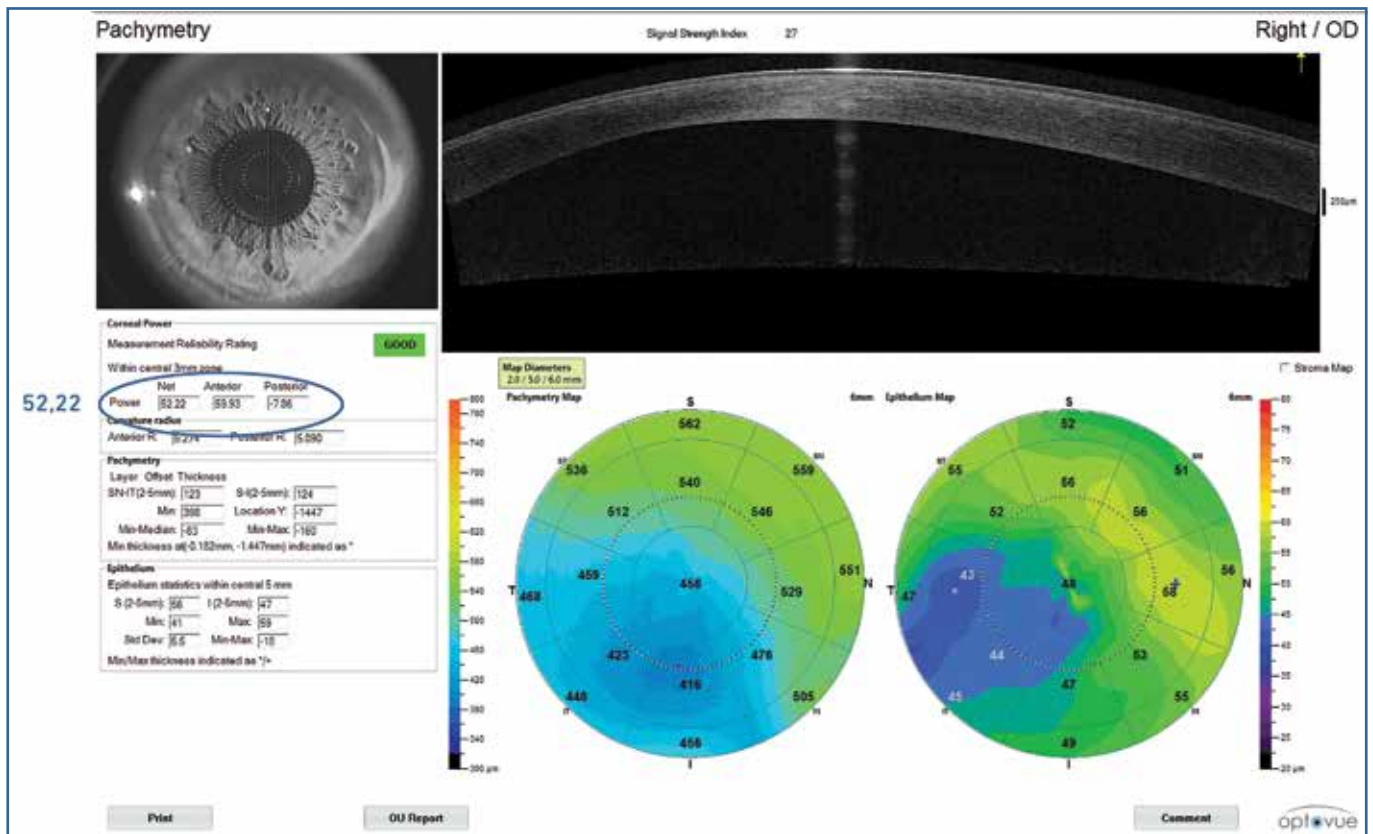


Fig. 2 : Mesure de la puissance cornéenne totale dans la zone optique centrale (3 mm) obtenue par OCT (kératométrie moyenne = 52,22), à comparer avec les mesures kératométriques automatisées du **tableau I**.

Haigis, Hoffer Q). La précision biométrique était significativement meilleure pour la formule SRK-T dans cette très large série et corrobore d'autres études (Hashemi *et al.* [2]).

■ Résultats réfractifs après intervention de cataracte

Dans une large étude rétrospective, Watson *et al.* [3] ont analysé les résultats réfractifs d'une série de 126 yeux atteints de kératocône et opérés de cataracte. Les yeux ont été séparés en trois groupes en fonction de la kératométrie moyenne reflétant le stade évolutif du kératocône. Groupe I: kératométrie moyenne inférieure à 48 D; groupe II, kératométrie moyenne entre 48 et 55 D; groupe III: kératométries supérieures à 55 D. Dans tous les cas, la formule SRK-T a été utilisée avec un équivalent sphérique cible légèrement négatif. Cette étude dresse un tableau assez précis des résultats réfractifs de la chirurgie de cataracte chez les patients atteints de kératocône.

Dans les premiers groupes, où les kératocônes sont les moins évolués, la kératométrie retenue était celle mesurée par le

biomètre (IOLMaster). Dans le dernier groupe, la valeur kératométrique retenue était soit celle recueillie par biométrie (8 yeux) soit une kératométrie arbitrairement fixée à 43,25 (9 yeux). Pour ces différents groupes, les auteurs ont analysé l'erreur de prédiction biométrique (EPB), correspondant à la différence entre la réfraction attendue (en équivalent sphérique) et la réfraction obtenue.

Dans les deux premiers groupes, l'EPB variait entre 0 et -0,3, mais avec des valeurs extrêmes allant de +5,2 à -3,8 D. Seulement 60 % des yeux du groupe I était à ± 1 D de la réfraction attendue.

Dans le groupe III, la réfraction attendue était plus précise lorsque la kératométrie retenue était arbitrairement fixée à 43,25: l'EPB moyenne était de 0,6 D (avec des extrêmes allant de +6,2 à -5,8 D), contre une EPB de 6,8 D dans le groupe où la kératométrie réelle avait été choisie avec des valeurs extrêmes étendues de +0,2 à -17 D.

Enfin, dans une étude rétrospective très récente de 102 yeux consécutifs de 71 patients, Kazutaka *et al.* ont retrouvé une nette

tendance hypermétropique postopératoire statistiquement significative. Ils ont aussi trouvé une nette corrélation entre l'hypermétropie postopératoire et la kératométrie maximale mesurée en préopératoire, confirmant la bonne prédictibilité des mesures dans les formes les moins évoluées de la maladie, ainsi que l'hypermétropisation postopératoire dans les formes les plus évoluées. Les auteurs ont également comparé les résultats réfractifs obtenus par la mesure de la puissance cornéenne totale comparée à la mesure de la puissance réfractive cornéenne de la face antérieure par kératométrie automatisée dans les 2,4 mm centraux. Il existait dans le premier groupe une tendance nette à la myopisation modérée, faisant conclure aux auteurs que la puissance cornéenne idéale à utiliser correspondait, pour les kératocônes évolués, à cette mesure de la puissance cornéenne totale.

L'exemple suivant illustre les difficultés du calcul de l'implant avant chirurgie de cataracte : monsieur P.R., 59 ans, présente un KC ancien. Il est adapté en lentilles rigides depuis de nombreuses années et consulte pour l'apparition d'une cataracte de l'œil droit. Il présente un kératocône évolué dont le bombement cornéen maximal mesuré sur le Pentacam est de 58 D. Le **tableau I** et la **figure 3** illustrent les valeurs des différentes mesures kératométriques : K1, K2 et KM (kératométrie moyenne) du Pentacam, kératométries du IOLMaster Zeiss (K1, K2, KM) et les kératométries en mode True Power du Pentacam (K1, K2, KM).

Appareils	K1 OD	K2 OD	KM OD
Kératométrie Pentacam	49,60	54,20	51,80
Kératométrie mode True Power	48,80	52,50	50,60
Kératométrie IOLMaster	55,24	58,49	56,87

Tableau I : Valeurs des différentes mesures kératométriques selon le type d'appareil (KM = kératométrie moyenne).

Les valeurs les plus élevées sont celles du kératomètre automatique du IOLMaster, ce qui explique la tendance à la surévaluation de ces mesures classiquement décrites, l'écart de valeur atteignant dans cet exemple 6,27 D.

Le **tableau II** et la **figure 4** exposent les résultats de la biométrie utilisant la formule SRK-T réalisée en utilisant soit les valeurs mesurées par le kératomètre automatique du

	Implant emmétropisant SRK-T
IOLMaster (Zeiss)	-19,95
Implant emmétropisant Mesures True Power	-7,91
Réfraction	

Tableau II.

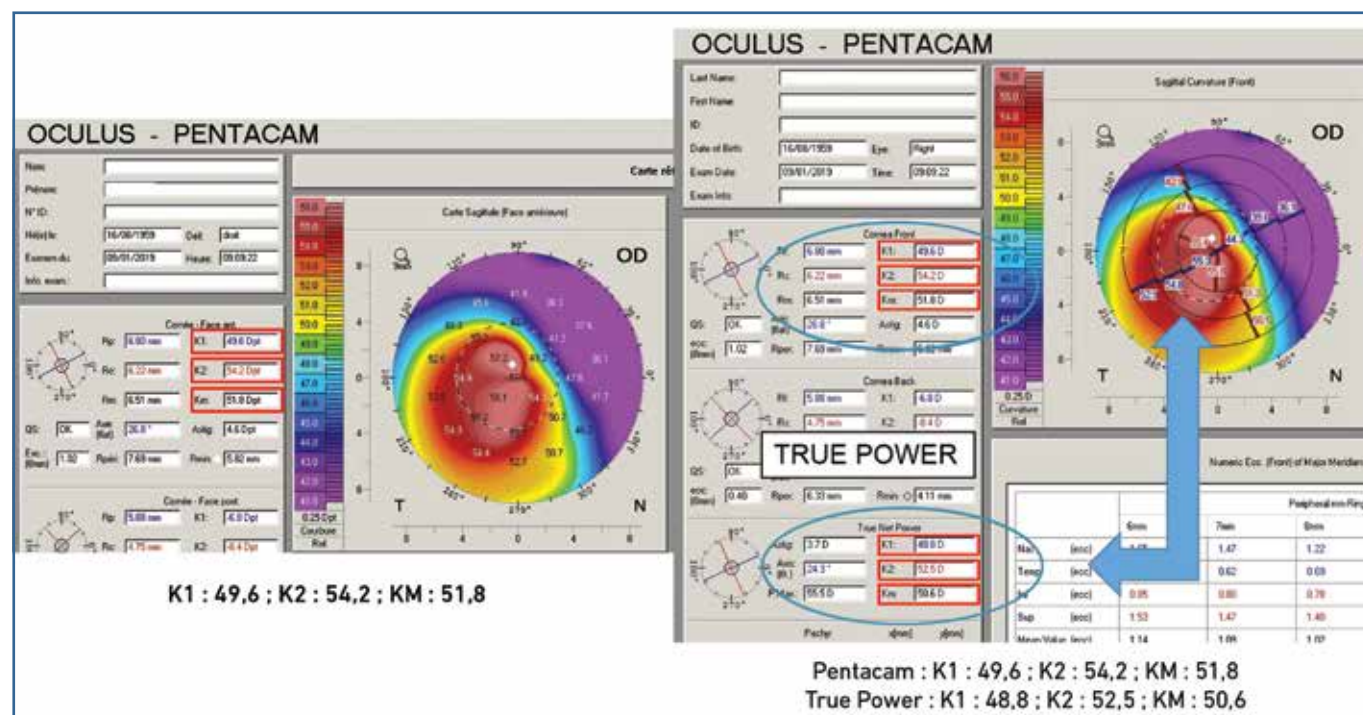


Fig. 3.

Biométrie (IOLMaster) SRK-T Kératométrie automatisée			
OD droite		AL : 28,98 mm (*) K1 : 55,24 D/6,11 mm (*) K2 : 58,49 D/5,77 mm (*) R/ES : 5,94 mm (SD = 56,87 mm) (*) Cyl. : -3,25 D (*)	
Statut de l'œil : phaque			
118			
Const. A :	118	Const. A :	118,1
IOL (D)	REF (D)	IOL (D)	REF (D)
-18,5	-0,69	-18,5	-0,75
-19,0	-0,45	-19,0	-0,51
-19,5	-0,21	-19,5	-0,27
-20,0	-0,02	-20,0	-0,04
-20,5	-0,25	-20,5	-0,19
-21,0	-0,48	-21,0	-0,42
-21,5	-0,71	-21,5	-0,64
IOL émmé. : -19,95		IOL émmé. : -20,09	

Biométrie (IOLMaster) SRK-T Kératométrie True Net Power			
OD droite		AL : 28,98 mm (*) K1 : 48,80 D/6,92 mm (*) K2 : 52,50 D/6,43 mm (*) R/ES : 6,67 mm (SD = 50,65 mm) (*) Cyl. : -3,70 D (*)	
Statut de l'œil : phaque			
118			
Const. A :	118	Const. A :	118,1
IOL (D)	REF (D)	IOL (D)	REF (D)
-6,5	-0,68	-6,5	-0,70
-7,0	-0,44	-7,0	-0,46
-7,5	-0,19	-7,5	-0,22
-8,0	-0,04	-8,0	-0,02
-8,5	-0,28	-8,5	-0,25
-9,0	-0,51	-9,0	-0,49
-9,5	-0,75	-9,5	-0,72
IOL émmé. : -7,91		IOL émmé. : -7,96	

Fig.4 : Biométries (IOLMaster) kératométrie automatisée standard *versus* kératométrie True Power.

IOLMaster, soit les valeurs retrouvées sur la carte True Power du Pentacam.

Selon le mode de calcul, la puissance de l'implant émmétrisant varie donc d'environ 12 D. Chez ce patient, nous avons implanté un implant monofocal de -10 D. En post-opératoire, l'acuité visuelle sans correction était de 8/10. L'autoréfractomètre mesurait +1,25 (20°, -0,75) et la réfraction finale était de +0,50 (20°, -0,25), correspondant à la prédiction réfractive du calcul utilisant les valeurs kératométriques en mode True Power du Pentacam. En extrapolant, on peut évaluer l'erreur réfractive postopératoire du premier mode de calcul à environ +5,50 D, ce qui confirme la précision réfractive des valeurs True Net Power pour les ectasies évoluées.

Dans notre expérience portant sur 37 yeux de patients opérés de cataracte, la mesure de la puissance cornéenne totale des faces antérieure et postérieure dans les 3 mm centraux est la valeur de référence.

■ Quel implant choisir ?

L'implantation monofocale reste la règle en cas de kératocône. Compte tenu de la fréquence des aberrations d'origine cornéenne générées par la cornée ectasique, le choix de l'implant s'orientera vers un implant sans aberrations (dit *aberration free* ou zéro aberration) pour éviter de majorer l'aberration sphérique négative associée au kératocône. L'avènement des implants Premium, en particulier des implants toriques, pose la question de leur intérêt dans la prise en charge de la cataracte chez les patients présentant un kératocône. La spécificité du kératocône est l'existence d'un astigmatisme irrégulier qui représente *a priori* une contre-indication à leur utilisation. Le choix de l'implant en cas d'association à un kératocône s'oriente le plus souvent vers un implant monofocal. Cette implantation représente le standard pour les patients "kératoconiques". Il existe toutefois de nombreuses publications rapportant les résultats des implantations toriques chez les patients présentant un kératocône avec des résultats réfractifs encourageants.

1. Cas des patients déjà porteurs de lentilles rigides

Un cas fréquemment rencontré est celui des patients adaptés en lentilles de contact rigides. La majorité d'entre eux reviennent aux lentilles rigides après l'intervention de cataracte pour retrouver la qualité de vision initiale. Ces patients représentent une contre-indication absolue à l'implantation torique compte tenu de la réapparition de l'astigmatisme interne (implant) lors de la nouvelle adaptation, compliquant celle-ci. **Les implants toriques ne peuvent en aucun cas présenter une alternative à l'adaptation des lentilles rigides.** De même, si une kératoplastie ultérieure est prévue ou pourrait être éventuellement réalisée, on retrouve pour les mêmes raisons une contre-indication absolue à l'implantation torique. Chez les patients déjà porteurs de lentilles sclérales, il sera judicieux de viser une réfraction cible légèrement myopique, d'une part pour préserver une vision sans lentilles de près satisfaisante (comme c'était le cas avant l'opération de cataracte), d'autre part pour faciliter l'adaptation contactologique compte tenu des principes optiques des lentilles sclérales, dont le réservoir de fluide se comporte comme une lentille fortement myopique pouvant atteindre -15 D. Un équivalent sphérique hypermétropique oblige à adapter une lentille plus épaisse, instable et source d'aberrations.

2. Dans quels cas peut-on envisager une implantation torique?

Peu de patients présentant un kératocône sont candidats à une implantation torique. Il s'agit des patients qui présentent une forme fruste ou débutante de KC, ou des patients dont l'astigmatisme cornéen est régulier en topographie et pour lequel une simple correction optique cylindrique procure une bonne acuité visuelle corrigée et une bonne qualité de vision. Une réfraction postopératoire myopique permet d'envisager ultérieurement, si besoin, une procédure cornéoplastique secondaire (anneaux intracornéens et/ou photo-ablation guidée par la topographie souvent "démyopisante").

3. Résultats de l'implantation torique

Les résultats de l'implantation torique chez les patients qui présentent un kératocône sont globalement bons. La plupart des séries de patients publiées retrouvent une diminution du cylindre préopératoire et une amélioration de la réfraction, mais avec des résultats très inférieurs à ceux retrouvés pour des yeux normaux. Les problèmes biométriques demeurent identiques, bien évidemment. Ainsi, dans une série de patients sélectionnés, Navanaty [4] rapporte pour 75 % des patients

de bons résultats avec une acuité visuelle postopératoire de 5/10 ou plus et une réduction du cylindre réfractif préopératoire de 3 à 1 D. En revanche, dans la série de Leccisotti [5], un échange d'implant torique était nécessaire dans plus de 30 % des cas compte tenu d'une imprécision réfractive.

4. Implants multifocaux et kératocône

L'existence d'un kératocône, même à un stade modéré, représente une **contre-indication absolue à une implantation multifocale pour corriger la presbytie.** En effet, l'aléa réfractif est plus important, ce qui limite le fonctionnement de l'implant, et les aberrations d'origine cornéenne (coma fréquemment associée) vont dégrader la qualité de vision, en particulier mésopique, et diminuer encore la transmission lumineuse, aboutissant à une qualité de vision particulièrement dégradée.

■ Chirurgie

Le temps chirurgical est également spécifique dans le cas d'un patient présentant un kératocône. Il faudra privilégier les incisions de petite taille, inférieures à 2 mm, compte tenu de l'absence d'astigmatisme induit, en particulier si un implant torique est prévu. Au-delà de 2,2 mm d'incision, les résultats sur le cylindre cornéen induit postopératoire est plus aléatoire. La suture de l'incision peut être nécessaire, en particulier dans les cas où existe un amincissement périphérique localisé – il y aura lieu de le rechercher avant l'intervention pour éviter d'y placer l'incision principale. Certains auteurs recommandent une incision cornéo-sclérale tunnelisée pour épargner le tissu cornéen. La présence de cicatrices cornéennes peut également gêner la visualisation, l'aide de colorant capsulaire peut dans ces cas améliorer la sécurité des manœuvres endoculaires.

■ Interventions combinées et stratégie thérapeutique

De nombreuses combinaisons sont possibles et, du fait des récents progrès dans la prise en charge des patients atteints d'un kératocône, un certain nombre de patients bénéficient des techniques les plus récentes de cornéoplastie, en particulier *cross-linking* du collagène, anneaux intracornéens, photo-ablations guidées par la topographie, kératoplasties. Toutes ces techniques sont réalisées dans l'idéal avant l'intervention de la cataracte compte tenu de leur effet sur la régularisation

et sur les valeurs kératométriques à prendre en compte lors de l'opération de la cataracte.

■ Conclusion

La chirurgie de la cataracte chez les patients présentant un kératocône représente un véritable défi. La cornée kératocônique est un système optique instable, très sensible aux modifications cristalliniennes, celles-ci survenant plus tôt chez ces patients. Le monitoring cornéen permet le plus souvent d'attribuer la baisse de vision à la cataracte d'installation progressive. Lorsque l'indication opératoire est posée, les formules de calcul basées sur les mesures kératométriques automatisées peuvent être utilisées pour les stades les moins évolués de la maladie. Dans ces derniers cas, l'indication d'un éventuel implant torique sera posée avec prudence. Pour les stades les plus évolués, la kératométrie sera évaluée sur la moyenne kératométrique dans les 3 mm centraux et, surtout, sur la puissance cornéenne totale dans la zone des 3 mm centraux déterminée à l'aide d'un topographe en élévation ou d'une analyse cornéenne OCT. Pour ces cornées très bombées et irrégulières, source d'aberrations optiques majeures, l'implantation monofocale reste la règle en visant une réfraction cible d'autant plus myopique que les valeurs kératométriques sont élevées. Une implantation torique pourra être envisagée dans les cas où la topographie cornéenne est stable et régulière et pour les patients chez qui la correction optique en lunettes fournissait une bonne acuité visuelle et une bonne qualité de vision avant l'apparition de la cataracte.

Chez les patients porteurs de lentilles de contact rigides, l'implantation torique est contre-indiquée et, pour des raisons optiques, une réfraction cible myopique doit être idéalement privilégiée.

En conclusion, la détermination du stade évolutif du kératocône guidera la stratégie de prise en charge de la cataracte. Compte tenu des faibles séries rapportées dans la littérature et de la difficulté de mesure des valeurs kératométriques, outre le mode de calcul et le choix de l'implant, du temps doit être consacré au patient pour l'informer des aléas réfractifs, pouvant nécessiter le port d'une correction optique voire une adaptation contactologique. Dans les cas où le résultat réfractif est mal supporté, un échange d'implant ou la mise en place d'un implant additionnel peut être nécessaire.

BIBLIOGRAPHIE

1. THEBPATIPHAT N, HAMMERSMITH KM, RAPUANO CJ *et al.* Cataract surgery in keratoconus. *Eye Contact Lens*, 2007;33:244-246.
2. HASHEMI H, YEKTA A, KHABAZKHOOB M. Effect of keratoconus grades on repeatability of keratometry readings: Comparison of 5 devices. *J Cataract Refract Surg*, 2015;41:1065-1072.
3. WATSON MP, ANAND S, BHOGAL M *et al.* Cataract surgery outcome in eyes with keratoconus. *Br J Ophthalmol*, 2014;98:361-364.
4. NANAVATY MA, LAKE DB, DAYA SM. Outcomes of pseudophakic toric intraocular lens implantation in keratoconic eyes with cataract. *J Refract Surg (Thorofore, NJ : 1995)*, 2012;28:884-889.
5. LECCISOTTI A. Refractive lens exchange in keratoconus. *J Cataract Refract Surg*, 2006;32:742-746.

Pour en savoir plus

- ALIÓ JL, PEÑA-GARCÍA P, ABDULLA GULIYEVA F *et al.* MICS with toric intraocular lenses in keratoconus: outcomes and predictability analysis of postoperative refraction. *Br J Ophthalmol*, 2014;98:365-370.
- BOURGES JL. Cataract surgery in keratoconus with irregular astigmatism. In Goggin M (ed). *Astigmatism - Optics, physiology and management*. 2012, IntechOpen.
- BOZORG S, PINEDA R. Cataract and keratoconus: minimizing complications in intraocular lens calculations. *Semin Ophthalmol*, 2014;29:376-379.
- CUA IY, QAZI MA, LEE SF *et al.* Intraocular lens calculations in patients with corneal scarring and irregular astigmatism. *J Cataract Refract Surg*, 2003;29:1352-1357.
- FLYNN TH, SHARMA DP, BUNCE C *et al.* Differential precision of corneal Pentacam HR measurements in early and advanced keratoconus. *Br J Ophthalmol*, 2016;100:1183-1187.
- HASHEMI H, HEIDARIAN S, SEYEDIAN MA *et al.* Evaluation of the results of using toric IOL in the cataract surgery of keratoconus patients. *Eye Contact Lens*, 2015;41:354-358.
- JAIMES M, XACUR-GARCIA F, ALVAREZ-MELLONI D *et al.* Refractive lens exchange with toric intraocular lenses in keratoconus. *J Refract Surg*, 2011;27:658-664.
- LEE SJ, KWON HS, KOH IH. Sequential intrastromal corneal ring implantation and cataract surgery in a severe keratoconus patient with cataract. *Korean J Ophthalmol*, 2012;26:226-229.
- MCMAHON TT, ANDERSON RJ, JOSLIN CE *et al.* Precision of 3 topography instruments in keratoconus subjects. *Optometry and vision science: official publication of the American Academy of Optometry*, 2001;78:599-604.
- MASKET S, WANG L, BELANI S. Induced astigmatism with 2.2- and 3.0-mm coaxial phacoemulsification incisions. *J Refract Surg*, 2009;25:21-24.
- NAVAS A, SUÁREZ R. One-year follow-up of toric intraocular lens implantation in forme fruste keratoconus. *J Cataract Refract Surg*, 2009;35:2024-2027.
- STORR-PAULSEN A, MADSEN H, PERRIARD A. Possible factors modifying the surgically induced astigmatism in cataract surgery. *Acta Ophthalmol Scand*, 1999;77:548-551.
- VISSER N, GAST ST, BAUER NJ *et al.* Cataract surgery with toric intraocular lens implantation in keratoconus: a case report. *Cornea*, 2011;30:720-723.

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



É. GABISON
Professeur des Universités, Praticien Hospitalier,
Fondation A. de Rothschild, PARIS.
egabison@for.paris

Nouvelles greffes de cornée : nouvelles stratégies thérapeutiques

La kératoplastie transfixiante (KT) a longtemps été l'allogreffe la plus pratiquée dans le monde, rendant possible le traitement des cécités d'origine cornéenne. Les greffes lamellaires étaient pourtant privilégiées dans la première partie du ^{xx}e siècle en raison de leur risque de rejet plus faible. Cependant, leur pronostic visuel limité par l'irrégularité des interfaces "donneurs-receveurs" et l'apparition de réelles thérapeutiques antirejets a conduit à la large diffusion des greffes transfixiantes.

Au cours des deux dernières décennies, les greffes lamellaires ont vu leurs techniques et leurs indications augmenter de nouveau : la greffe lamellaire postérieure est devenue progressivement la greffe de référence des pathologies de l'endothélium, et la greffe lamellaire antérieure celle des opacités et/ou des irrégularités cornéennes à endothélium sain. Les techniques modernes combinent ainsi l'avantage d'un taux de rejet plus bas et celui d'une récupération visuelle identique voire supérieure à celles des KT tout en diminuant grandement la iatrogénie oculaire.

Ces modifications majeures de nos techniques opératoires ouvrent de nouvelles possibilités thérapeutiques qui aboutissent aujourd'hui à une modification drastique de nos habitudes de prise en charge des patients atteints de pathologies cornéennes.

■ Nouvelles stratégies thérapeutiques après échec d'une kératoplastie transfixiante

De nombreux facteurs permettent d'expliquer la décompensation endothéliale de greffons transfixiants, principalement immunologiques et iatrogéniques. Jusqu'à présent, l'échec d'une kératoplastie transfixiante était traité par son remplacement par une autre greffe transfixiante dont

le pronostic à long terme était moins bon que la première. Aujourd'hui, les greffes endothéliales de type DSAEK (*Descemet Stripping Automated Endothelial Keratoplasty*) ou de type DMEK (*Descemet Membrane Endothelial Keratoplasty*) sont des alternatives intéressantes au remplacement complet du greffon. Si l'intérêt théorique des greffes endothéliales sur le plan de l'architecture cornéenne et de la solidité du globe ne laisse pas de doute, la diminution du risque de rejet reste néanmoins à démontrer, particulièrement chez ces patients, dont le risque est élevé. Ainsi, Anshu *et al.* [1] ont rapporté 60 cas de DSAEK dans les suites de KT, avec un taux de survie de 98 %, 90 %, 81 % et 74 % à 1, 2, 3 et 4 ans respectivement ; c'est un taux supérieur à celui qui est généralement rapporté au cours des "re-greffes transfixiantes" [2, 3].

Dans une étude multicentrique portant sur 246 DSAEK sur KT, le taux de survie était de 90 %, 74 % et 47 % à 1, 3 et 5 ans respectivement. Le meilleur résultat réfractif des DSAEK sur KT est obtenu en général après 3 mois [4], ce qui permet une réhabilitation visuelle plus rapide que pour les re-greffes transfixiantes. La récupération visuelle des patients greffés n'est pas limitée par la DSAEK et des études montrent que plus de 2/3 des patients ont au moins 5/10 et même des récupérations supérieures à celles obtenues lors de la KT d'origine [4, 5]. La particularité des DSAEK sur KT est l'augmentation de l'incidence des décollements précoces du greffon et la difficulté de réalisation du descemetorhexis, plus facile à effectuer à l'intérieur de l'anneau limitant.

La réalisation de DMEK dans les suites de KT a été évaluée sur de petites séries qui confirment l'amélioration de l'acuité visuelle et de la pachymétrie [6-8]. De plus, Heinzlmann *et al.* rapportent un taux de survie de 89 % à 2 ans, théoriquement supérieur aux taux rapportés après KT et même DSAEK [8].

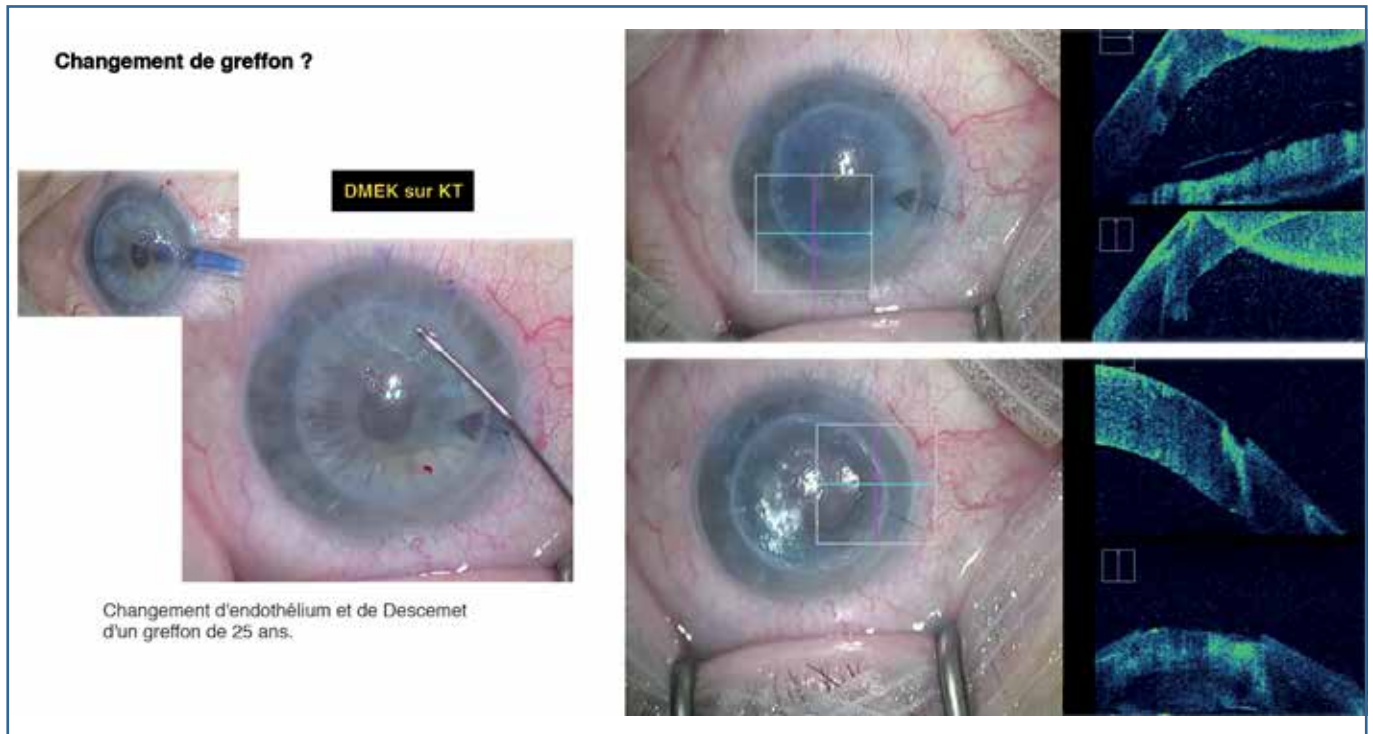


Fig. 1 : Réalisation d'une greffe endothéliale sur une ancienne greffe transfixiante.

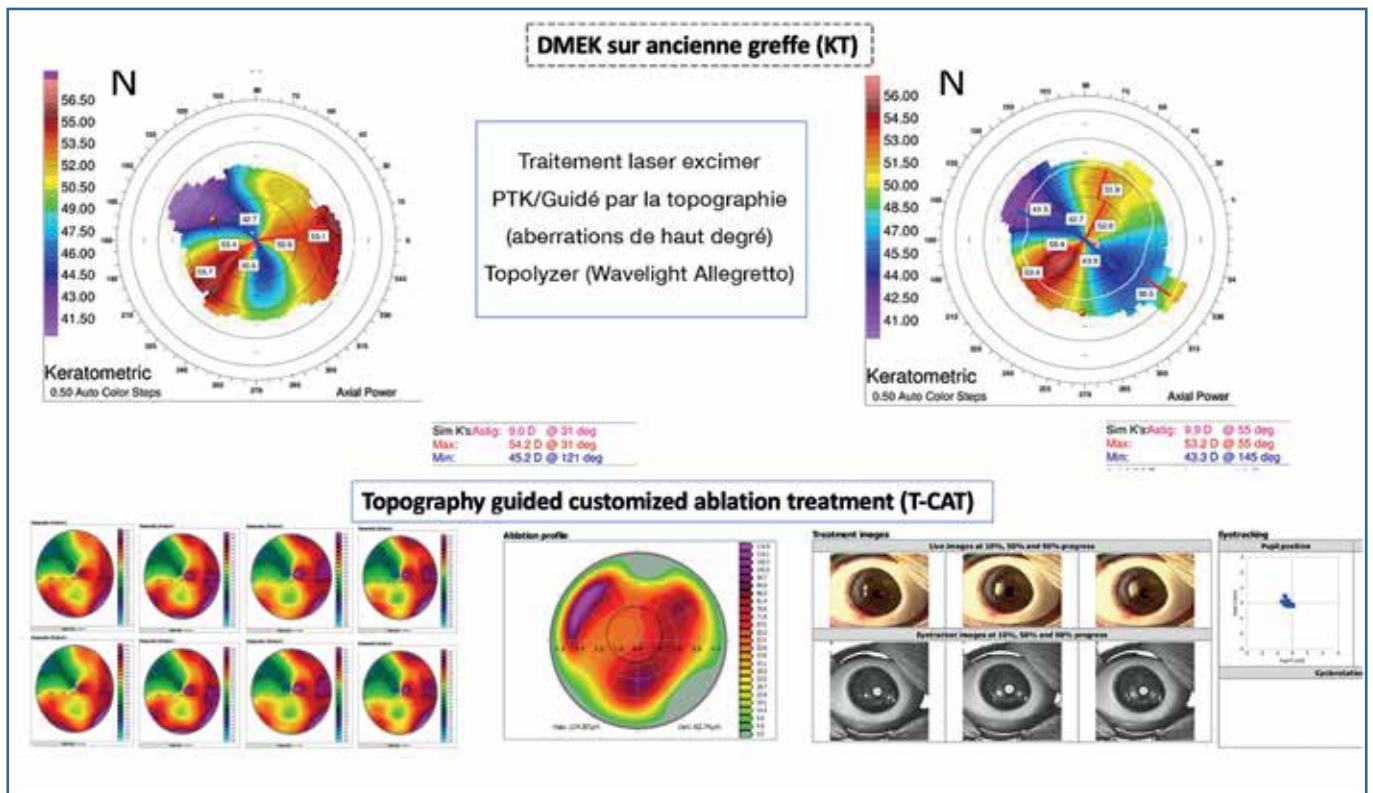


Fig. 2 : Gestion de l'astigmatisme irrégulier au laser excimer avant implantation d'un implant torique et réalisation d'une greffe endothéliale. La topographie de gauche correspond à l'astigmatisme préopératoire, celle de droite au résultat à 3 mois. Le profil d'ablation est représenté sur l'insert du bas.

La réhabilitation visuelle est plus rapide quelle que soit la technique chirurgicale envisagée (DSAEK, DMEK) chez ces patients, souvent déjà adaptés en lentilles de contact rigides (pour traiter une anisométrie ou un astigmatisme plus ou moins régulier).

La réalisation de greffes endothéliales sur d'anciens greffons transfixiants ouvre également de nombreuses possibilités sur la gestion de l'astigmatisme post-greffe. Toutes les combinaisons sont désormais envisageables, des approches réfractives au laser excimer jusqu'aux implants toriques postopératoires (fig. 1 et 2).

La gestion des astigmatismes par implants toriques nécessite néanmoins soit d'opérer avant la décompensation du greffon (devant un comptage endothélial très bas), soit d'utiliser les topographies cornéennes anciennes avant le stade d'œdème.

■ Une particularité des greffes endothéliales après kératite herpétique

La greffe de cornée dans un contexte de kératite herpétique représente un vrai défi en ce qui concerne les suites opératoires.

En effet, si la kératite herpétique est l'une des premières causes de cécité d'origine cornéenne, elle ne représente que moins de 10 % des greffes en France. Cela est lié à l'importance des troubles neurotrophiques postopératoires, l'anesthésie ou l'hypoesthésie cornéenne étant un facteur majeur qui favorise la iatrogénie.

D'autre part, ces greffes sont à haut risque de rejet, notamment en cas de récurrence herpétique. Ces facteurs de risque d'échec de kératoplasties transfixiantes, bien que diminués, ne sont pas entièrement éliminés par la réalisation de greffes lamellaires (antérieures ou postérieures) [9]. La iatrogénie apparemment limitée des greffes endothéliales de type DMEK et la diminution des risques de rejet en font théoriquement l'arme thérapeutique de choix des décompensations endothéliales d'origine herpétique.

Cependant, dans ce contexte viral, une surveillance "rapprochée" est nécessaire en raison des risques de récurrences herpétiques et de kératites neurotrophiques (fig. 3), particulièrement dans les 3 premiers mois [10]. Nous avons rapporté la survenue d'endothélites virales dans les suites

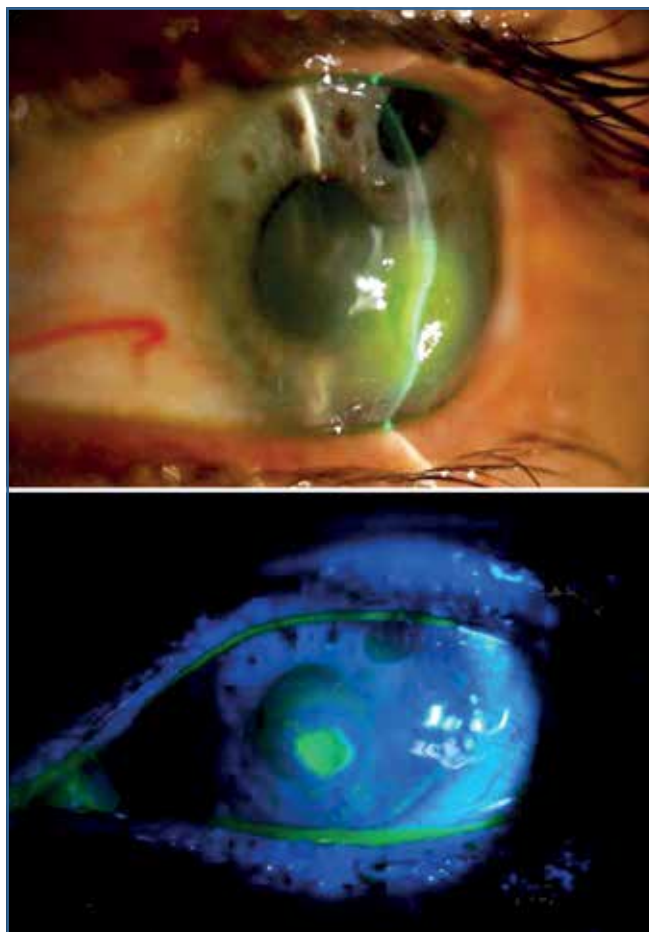


Fig. 3 : Kératite neurotrophique dans les premiers mois suivant une greffe endothéliale de type DMEK pour pathologie herpétique.

opératoires de DMEK chez certains patients malgré une prophylaxie antivirale à dose maximale.

■ Vers une augmentation des besoins en greffons cornéens ?

Les avancées récentes des techniques opératoires de greffes de cornée ont entraîné une diminution de la iatrogénie générale et locale ainsi qu'une amélioration très nette du pronostic visuel des patients greffés. La greffe endothéliale (DSAEK ou DMEK) est aujourd'hui la greffe de référence pour les pathologies de l'endothélium cornéen. Le plus souvent réalisée sous anesthésie locale chez des patients dont l'acuité visuelle est inférieure à 4/10, elle est proposée nettement plus tôt que la kératoplastie transfixiante. Ainsi, en attendant la révolution de la thérapie cellulaire de l'endothélium qui permettra de traiter 20 patients avec un seul greffon, nous allons avoir besoin de plus de greffons...

Bibliographie

1. ANSHU A, PRICE MO, PRICE FW. Descemet's stripping endothelial keratoplasty under failed penetrating keratoplasty: visual rehabilitation and graft survival rate. *Ophthalmology*, 2011;118:2155-2160.
2. THOMPSON RW, PRICE MO, BOWERS PJ *et al.* Long-term graft survival after penetrating keratoplasty. *Ophthalmology*, 2003;110:1396-1402.
3. SAHA D, FERNANDES M, SHAH SG *et al.* Postoperative risk factors influencing corneal graft survival in the Singapore corneal transplant study. *Am J Ophthalmol*, 2011;152:322-323.
4. COVERT DJ, KOENIG SB. Descemet stripping and automated endothelial keratoplasty (DSAEK) in eyes with failed penetrating keratoplasty. *Cornea*, 2007;26:692-696.
5. TARANTINO-SCHERRER JN, KAUFMANN C, BOCHMANN F *et al.* Visual Recovery and Endothelial Cell Survival After Descemet Stripping Automated Endothelial Keratoplasty for Failed Penetrating Keratoplasty Grafts – A Cohort Study. *Cornea*, 2015;34:1024-1029.
6. GUNDLACH E, MAIER AK, RIECHARDT AI *et al.* Descemet Membrane Endothelial Keratoplasty as a Secondary Approach After Failure of Penetrating Keratoplasty. *Exp Clin Transplant*, 2015;13:350-354.
7. ANSHU A, PRICE MO, PRICE FW. Descemet membrane endothelial keratoplasty and hybrid techniques for managing failed penetrating grafts. *Cornea*, 2013;32:1-4.
8. HEINZELMANN S, BÖHRINGER D, EBERWEIN P *et al.* Descemet membrane endothelial keratoplasty for graft failure following penetrating keratoplasty. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2017;255:979-985.
9. LYALL DA, TARAFDAR S, GILHOOLY MJ *et al.* Long term visual outcomes, graft survival and complications of deep anterior lamellar keratoplasty in patients with herpes simplex related corneal scarring. *Br J Ophthalmol*, 2012;96:1200-1203.
10. ABDELMASSIH Y, DUBRULLE P, SITBON C *et al.* Therapeutic Challenges and Prognosis of Descemet's Membrane Endothelial Keratoplasty in Herpetic Eye Disease. *Cornea*, 2019.

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

L. HOFFART¹, G. HO WANG YIN²¹ Clinique Monticelli-Vélodrome, MARSEILLE.² Hôpital de la Timone, MARSEILLE.

louis.hoffart@vision-sud.fr

Indications et résultats des techniques de greffes endothéliales

Actuellement, les kératoplasties endothéliales de type DSAEK (*Descemet stripping automated endothelial keratoplasty*) sont toujours les procédures de kératoplasties lamellaires les plus pratiquées du fait de leur relative facilité et de leurs bons résultats (*fig. 1*). Au cours de cette chirurgie, l'endothélium pathologique est remplacé par un tissu donneur composé de la membrane de Descemet, de l'endothélium et d'une fine couche de stroma cornéen. La technique de DSAEK traditionnelle implique un greffon d'environ 150 μm d'épaisseur. La DSAEK ultrafine (*Ultrathin*-DSAEK ou UT-DSAEK) est une technique similaire qui permet la dissection d'un greffon encore plus fin – entre 80 et 100 μm selon les auteurs, voire moins de 50 μm pour la *Nanothin*-DSAEK (NT-DSAEK). Une publication récente [1] a rapporté la supériorité des résultats de cette technique comparés à ceux de la DSAEK traditionnelle. La technique de DMEK (*Descemet membrane endothelial keratoplasty*), où seule la membrane endothéliale-descémétique est transplantée, offre des résultats encore plus encourageants en termes d'amélioration de l'acuité visuelle et de réduction du taux de rejet [2]. Cependant, la DMEK est techniquement complexe à réaliser ; de multiples difficultés sont rencontrées aussi bien à l'étape de préparation du greffon qu'en postopératoire, avec une fréquence élevée de décollements postopératoires voire de défaillances primitives [3]. Les taux de

réintervention après DMEK publiés se situent entre 2,2 % et plus de 18 % [4]. À ce jour, la supériorité irréfutable de la DMEK, sur le plan des avantages ou des inconvénients liés à cette technique, n'a pas été démontrée et la DSAEK reste la technique de kératoplastie endothéliale la plus fréquemment réalisée (21 868 DSAEK vs 6 459 DMEK, selon les chiffres 2016 de l'Association américaine de la banque des yeux).

■ Techniques chirurgicales

La problématique des techniques de greffes endothéliales est liée au risque d'altérer le greffon au moment de sa préparation ou de son implantation dans la chambre antérieure (*fig. 2*). Si la DMEK implique une dissection délicate lors de la préparation du greffon, les multiples techniques publiées permettent aujourd'hui de réaliser cette phase de façon assez reproductible après une phase d'apprentissage pouvant nécessiter plusieurs dizaines de cas.

La préparation du greffon de DSAEK est plus aisée d'emblée car elle est automatisée à l'aide d'un microkératome. Mais le risque de perforation n'est pas nul (environ 1 à 2 %), notamment pour les techniques de dissection ultrafines, et de la fréquence élevée du décollement postopératoire. L'acquisition et l'utilisation du microkératome pour la préparation du greffon peuvent nécessiter un temps d'installation supplémentaire

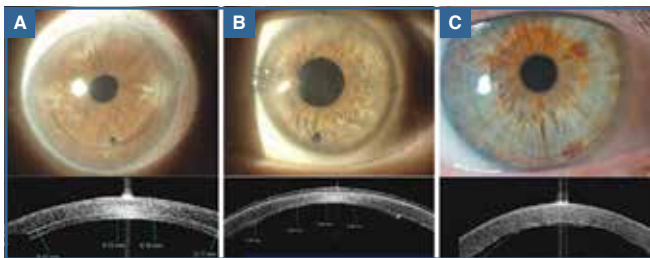


Fig. 1 : Aspect postopératoire (*haut de l'image*) et coupe OCT de segment antérieur (*bas de l'image*) des techniques de greffes endothéliales. **A :** DSAEK. **B :** *Ultrathin*-DSAEK. **C :** DMEK.



Fig. 2 : Comparaison du comportement dans une solution saline d'un greffon endothélial de **(A)** DSAEK, **(B)** d'*Ultrathin*-DSAEK et **(C)** de DMEK.

et un coût plus élevé que celui des techniques purement manuelles (acquisition et maintenance du matériel, coût des consommables).

L'implantation du greffon lors de la DMEK est une procédure plus délicate que dans les techniques de DSAEK. Pas facile, en effet, de dérouler le greffon, qui a tendance à s'enrouler sur lui-même du fait de l'élasticité de la membrane de Descemet – celle-ci variant selon l'âge du donneur. L'analyse sémiologique fine du rouleau endothélial permet d'utiliser des techniques de manipulation du greffon en chambre antérieure afin de le déplier, qui sont également bien codifiées aujourd'hui. La principale limitation de la technique concerne surtout les receveurs qui présentent une cornée très œdémateuse, réduisant la visualisation et les manipulations du greffon en chambre antérieure, notamment pour s'assurer qu'il est positionné dans le bon sens. Si tel n'est pas le cas, le greffon n'est pas fonctionnel et, en général, finit par se détacher. Dans la DSAEK, l'opérateur bénéficie de l'élasticité de la lamelle stromale, permettant un déploiement spontané et immédiat du greffon avec un risque de retournement pratiquement virtuel, même en cas de visualisation limitée du segment antérieur.

■ Indications des kératoplasties endothéliales

Les techniques de DSAEK ultrafines présentent des avantages en termes de résultats visuels de la DMEK tout en limitant les complications postopératoires. De plus, ces techniques peuvent être réalisées sereinement même dans les cas présentant une anatomie complexe tels que les aphaques ou en présence d'un œdème stromal limitant la visualisation des détails de la chambre antérieure. Enfin, la préparation du greffon est automatisée, donc facilement réalisable et reproductible. Cela est d'autant plus important dans un contexte de pénurie de greffons cornéens, où tout échec de dissection peut avoir des conséquences néfastes pour la prise en charge des patients en attente de greffe dans des délais raisonnables.

Les greffes endothéliales sont le plus souvent réalisées dans un contexte de dystrophie de Fuchs évoluée, mais les kératopathies bulleuses de toutes origines peuvent être considérées, pour peu qu'elles ne soient pas trop évoluées et compliquées d'une fibrose stromale.

En revanche, la finesse du greffon de DMEK rend l'opération pratiquement irréalisable sur des yeux dont l'œdème de cornée est trop important et lorsque la visibilité est mauvaise, ainsi que sur des yeux présentant des pathologies associées

telles que l'aphaquie ou l'aniridie. En présence de matériel dans la chambre antérieure (tube de valve de drainage, par exemple) ou de cornée de grand diamètre (mégaloconée des glaucomes congénitaux), la DMEK conserve toutes ses qualités grâce à la dissection possible d'un greffon allant jusqu'à 11 mm de diamètre et à la diminution du risque de conflit entre greffon matériel, par exemple, du fait de sa faible épaisseur.

■ Résultats visuels

De nombreux auteurs rapportent des résultats visuels inférieurs après DSAEK comparés à ceux de la DMEK. D'un autre côté, une méta-analyse récente a comparé les résultats cliniques de la DMEK à la DSAEK et a conclu que la DMEK offre des résultats visuels supérieurs à ceux de la DSAEK [5]. Cependant, la plupart de ces études sont rétrospectives et ne tiennent pas compte de l'épaisseur du greffon en ne différenciant pas les techniques de greffes endothéliales.

Busin [6] a démontré que les courbes d'acuité visuelle entre UT-DSAEK et DMEK sont globalement superposables, avec néanmoins une récupération plus lente pour les greffes comportant une lamelle stromale (*fig. 3*). La différence d'acuité visuelle moyenne à 1 an ne serait que de 1,4 ligne entre UT-DSAEK et DMEK [7]. Cette différence de vitesse de récupération semble inexistante avec les techniques de NT-DSAEK à 1 mois postopératoire. Le taux de patient présentant une acuité visuelle de 10/10 à 1 an était de 57 % après NT-DSAEK, 39,5 % après UT-DSAEK, 13,9 % après DSAEK, contre 57 % observés après DMEK (*fig. 4*).

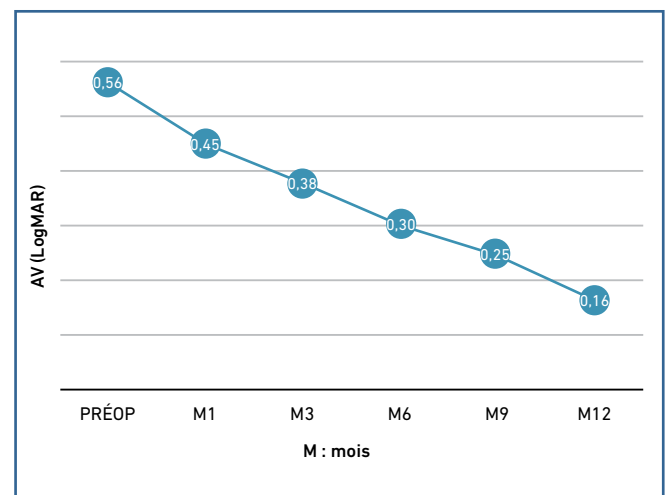


Fig. 3 : Évolution postopératoire de l'acuité visuelle après UT-DSAEK (série personnelle de 100 UT-DSAEK).

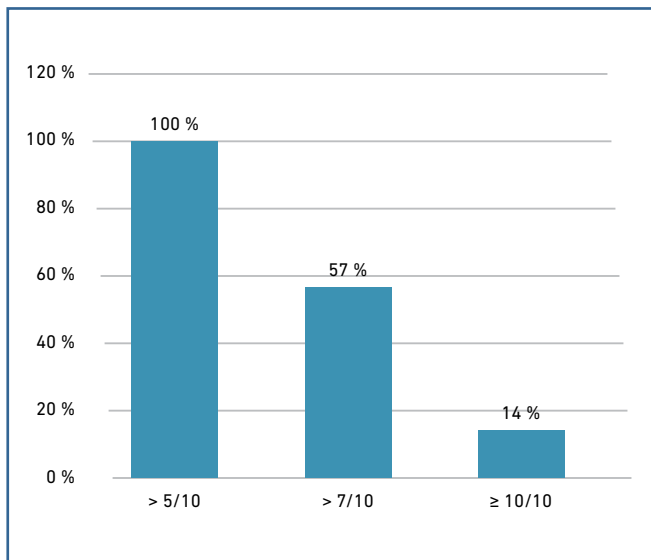


Fig. 4 : Histogramme comparant le pourcentage d'yeux qui ont obtenu plus de 5/10, plus de 7/10 et 10/10 après UT-DSAEK (série personnelle de 100 UT-DSAEK).

La meilleure acuité visuelle après DMEK a souvent été attribuée au résultat anatomique parfait obtenu avec cette technique. Cependant, les résultats équivalents avec les greffes qui comportent une fine lamelle stromale impliquent que d'autres facteurs soient responsables d'une limitation de la fonction visuelle en dehors de l'épaisseur irrégulière du greffon, de la courbure de la face cornéenne postérieure ou encore des aberrations optiques induites. Un paramètre important à prendre en compte quant au pronostic visuel après une greffe endothéliale est la sévérité ainsi que la durée d'évolution de l'œdème stromal préopératoire, qui peut se compliquer d'une fibrose sous-épithéliale et d'une désorganisation des fibres collagéniques. Des études complémentaires sont nécessaires pour préciser le moment opportun d'une indication opératoire et obtenir ainsi une meilleure récupération visuelle.

■ Complications

1. Décollements postopératoires

Les décollements du greffon représentent la complication postopératoire la plus fréquente après une greffe endothéliale et sont plus fréquents après DMEK. Dans les DSAEK, les réinjections d'air ne sont obligatoires que si le greffon est totalement décollé car la plupart des détachements partiels se réappliquent spontanément ; en revanche, dans le cas de la DMEK, une réinjection est impérative même en cas de décollement partiel.

2. Perte cellulaire endothéliale

La perte endothéliale moyenne est d'environ 35 % à 1 an après DSAEK, UT-DSAEK ou DMEK [6]. La densité endothéliale postopératoire est identique après DMEK ou après DSAEK dans la plupart des études, mais il faut tout de même tenir compte de la phase d'apprentissage de la technique de DMEK (plusieurs dizaines de cas), qui implique une plus grande perte endothéliale au cours de cette période.

3. Rejets de greffe

Le taux plus élevé de rejets de greffe après DSAEK semble être lié à la quantité de tissu stromal apporté avec le greffon : pour les greffes les plus épaisses, il est d'environ 10 %. Cependant, lorsqu'il s'agit d'un greffon d'UT-DSAEK, ce taux n'est plus que de 2,8 % à 1 an et 0 % à 1 an après NT-DSAEK. Dans le cas de la DMEK, des fréquences allant de 0 à 5,7 % ont été rapportées. Il peut donc être considéré que les greffes endothéliostromales les plus fines ont des taux de rejets similaires à ceux qui sont observés après DMEK.

4. Shift hypermétropique

Même le simple remplacement de l'endothélio-Descemet lors de la DMEK peut entraîner une fine modification de la kératométrie. La plupart des résultats réfractifs rapportés dans la littérature après DMEK ne retrouvent qu'une très légère hypermétropisation – de 0,50 à 0,75 D en moyenne – dont il faut savoir tenir compte pour obtenir le résultat réfractif souhaité en cas de phacoexérèse associée. Les greffons DSAEK ménisqués sont plus épais en périphérie qu'au centre et sont une source d'erreur supplémentaire avec des modifications réfractives décrites jusqu'à +1,5 D. Dans le cas de l'UT-DSAEK, une hypermétropisation moyenne d'environ +0,75 D a également été rapportée.

■ Conclusion

La comparaison des techniques de kératoplasties endothéliales ne peut plus être aussi caricaturale qu'auparavant car les méthodes automatisées de dissection des greffons lamellaires endothéliaux ultrafins se sont perfectionnées. La supériorité initiale de la DMEK comparée aux DSAEK "épaisses" s'est peu à peu réduite pour aboutir à des résultats similaires, notamment sur le plan visuel, tout en conservant les avantages de réalisation peropératoires des greffons comportant une fine lamelle stromale (dissection du greffon, implantation

et positionnement du greffon, cas complexes). Le débat entre les partisans de la DMEK (chirurgie “physiologique”, mais délicate à réaliser et à fort taux d’échec lors de la période d’apprentissage) et les partisans de la DSAEK (automatisée, de réalisation et de suivi plus simples) est plus que jamais d’actualité avec le rapprochement des résultats obtenus en utilisant les greffons “ultra” voire “nano-fins” !

Bibliographie

1. DICKMAN MM, KRUIT PJ, REMEIJER L *et al.* A randomized multicenter clinical trial of ultrathin Descemet stripping automated endothelial keratoplasty (UT-DSAEK) versus DSAEK. *Ophthalmology*, 2016;123:2276-2284.
2. HAM L, DAPENA I, VAN LUIJK C *et al.* Descemet membrane endothelial keratoplasty (DMEK) for Fuchs endothelial dystrophy: review of the first 50 consecutive cases. *Eye*, 2009;23:1990-1998.
3. DIRISAMER M, VAN DIJK K, DAPENA I *et al.* Prevention and management of graft detachment in Descemet membrane endothelial keratoplasty. *Arch Ophthalmol*, 2012;130:280-291.
4. MONNEREAU C, QUILENDINO R, DAPENA I *et al.* Multicenter study of Descemet membrane endothelial keratoplasty: first case series of 18 surgeons. *JAMA Ophthalmol*, 2014;132:1192-1198.
5. SINGH A, ZAREI-GHANAVATI M, AVADHANAM V *et al.* Systematic review and meta-analysis of clinical outcomes of Descemet membrane endothelial keratoplasty versus Descemet stripping endothelial keratoplasty/Descemet stripping automated endothelial keratoplasty. *Cornea*, 2017; 36:1437-1443.
6. BUSIN M, MADI S, SANTORUM P *et al.* Ultrathin Descemet’s stripping automated endothelial keratoplasty with the microkeratome double-pass technique: two-year outcomes. *Ophthalmology*, 2013;120:1186-1194.
7. CHAMBERLAIN W, LIN CC, AUSTIN A *et al.* Descemet endothelial thickness comparison trial: a randomized trial comparing Ultrathin Descemet stripping automated endothelial keratoplasty with Descemet membrane endothelial keratoplasty. *Ophthalmology*, 2019 Jan;126:19-26.

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



D. TOUBOUL

Centre de Référence National du Kératocône, CHU de BORDEAUX.
david.touboul@chu-bordeaux.fr

Kératocône et frottements oculaires : quelle est la place du *corneal collagen cross-linking* ?

Le *corneal collagen cross-linking* (CXL) est préconisé pour stopper l'évolution du kératocône (KC) depuis presque 15 ans. Bien que sa validation scientifique fût initialement confrontée à de grosses difficultés méthodologiques, cette procédure est actuellement très répandue à travers le monde et figure en première ligne de la prise en charge du KC évolutif. En 2016, l'ANSM a ainsi également validé, à l'issue d'une méta-analyse complète, la création d'une codification pour le CXL, qui reste néanmoins toujours en attente de ratification. La FDA a reconnu et autorisé la procédure également cette même année.

La diversité des protocoles employés cache cependant certaines incompréhensions dans le mode d'action de la procédure. Un grand nombre de publications cliniques et fondamentales se sont penchées sur ce sujet. Le Centre de Référence National Français du Kératocône (CRNK) possède une vaste expertise sur cette technique et a vu l'évolution des patients traités par les différentes procédures de CXL, successivement apparues. Nous sommes arrivés à la conclusion que la simple explication du durcissement du stroma cornéen était insuffisante pour justifier l'efficacité clinique du CXL.

■ Définition établie du CXL : durcir la cornée

La réaction photochimique engendrée dans la matrice du stroma cornéen fait intervenir de la riboflavine et des photons UVA. La libération de radicaux libres induit le pontage du collagène dans la matrice et donc le changement des propriétés viscoélastiques du tissu. Ceci a été démontré *ex vivo* par des test élastographiques divers et variés (élongation, inflation, indentation), mais aussi par des tests de digestions enzymatiques, des mesures de calibre de fibrilles en microscopie électronique, etc. *In vivo*, la tâche a été beaucoup plus difficile pour aboutir à la conclusion d'un gain de durcissement

(résistance élastique). La microscopie Brillouin et l'élastographie par mesure de la vitesse des ondes de cisaillement ont pu apporter quelques études en faveur d'un durcissement de quelques dizaines de pourcents. Les outils cliniques tels que l'ORA ou le CORVIS ST n'ont en revanche jamais montré de modifications significatives après CXL, et ceci est bien sûr très perturbant.

D'un point de vue histologique, le processus de cicatrisation induit un appauvrissement transitoire (6 à 12 mois) du maillage kératocytaire et des plexus nerveux, bien visible en microscopie confocale. Ce point devrait aller contre le durcissement et explique peut-être l'absence de durcissement *in vivo*, les études restant limitées à moins de 12 mois de suivi en général. Les études montrent également un renouvellement des kératocytes post-CXL, avec une densité parfois plus importante. Ce renouveau est peut-être un facteur de renforcement biomécanique en soi, passé un certain "délai de récupération". Enfin, il a été remarqué que sans la déplétion cytologique mentionnée, rencontrée dans les CXL transépithéliaux, l'efficacité était bien moindre. Il existe donc une dimension matricielle (pontages moléculaires), mais également une dimension cellulaire et neurotrophique derrière l'efficacité du CXL.

■ Définition élargie du CXL : inhiber les frottements oculaires

Les frottements sont depuis longtemps reconnus comme principal facteur déclenchant et aggravant de la maladie et devraient être centraux dans le débat autour de l'intérêt du CXL. Il a été récemment mesuré que les frottements oculaires pouvaient faire monter la pression à plus de 300 mmHg pendant les frottements oculaires, *in vivo* dans des yeux de primates. Néanmoins, ils sont très peu explorés ou rapportés par des études visant l'aggravation du KC ou l'efficacité du CXL.

Par ailleurs, bien que le corps médical soit globalement assez convaincu de la toxicité des frottements oculaires, les patients sont souvent arides d'arguments pour expliquer la motivation de leurs frottements oculaires, retrouvés dans plus de 90 % des cas. La raison est très certainement la dimension inconsciente et automatique des frottements oculaires. Le postulat est de démontrer que, peut-être, le CXL agirait aussi bien, et éventuellement de manière prépondérante, sur l'inhibition des frottements oculaires que sur le durcissement de la cornée.

Dans notre expérience, le remplissage d'un questionnaire orienté sur les frottements oculaires permet une prise de conscience et une introspection pour le sujet suspect ou porteur de KC. Ainsi, si les frottements oculaires "pathologiques" sont la principale cause de déformation de la cornée des sujets jeunes, il est logique de penser que l'inhibition de ces frottements devrait éradiquer ou freiner la progression de la dégénérescence cornéenne.

Malgré de nombreuses publications sur le sujet des frottements, parfois antérieures à l'apparition du CXL, le marketing de ce dernier ne revendique pas du tout cette cible d'action et préfère communiquer sur le canal du renforcement biomécanique cornéen. Il existe une grosse lacune à cet endroit. De notre analyse, si le CXL durcit peu *in vivo* mais si la procédure marche bien cliniquement, c'est bien qu'il existe un autre mécanisme dominant. Ici, il est d'ordre comportemental. La "prise en charge par le CXL" est donc très probablement un catalyseur de l'inhibition des frottements oculaires qui ne dit pas son nom. Son fonctionnement est certainement multimodal :

>>> Recours : depuis l'apparition du CXL, une solution de freination existe enfin, les médecins s'emploient ainsi à mieux dépister et adresser plus fréquemment et précocement les patients aux centres référents. Le marketing relié au CXL a été particulièrement bénéfique et efficace en ce sens.

>>> Psychologie : la perspective d'une solution médicale au problème très anxiogène du KC évolutif est, en soi, une facette de l'inhibition des frottements pathologiques.

>>> Portée éducative : le patient est informé à l'occasion de la découverte du KC de l'importance d'éviter les frottements oculaires, ce point est obligatoirement confondant dans l'évaluation des résultats du CXL. Le dépistage des troubles obsessionnels compulsifs est important à considérer, surtout chez les adolescents, souvent plus anxieux qu'il n'y paraît.

>>> Dénervation : le patient voit diminuer sa sensibilité cornéenne pendant plusieurs mois après le CXL. Cette déplétion des plexus nerveux est en cours d'évaluation au CRNK et de nombreux patients témoignent d'ores et déjà avoir considérablement diminué leur envie de frottements dans les suites du CXL.

>>> Traitement de l'inflammation : le traitement des facteurs de risques associés aux frottements joue certainement un rôle également. La prescription de collyres lubrifiants, les soins de blépharites, la prescription de corrections optiques plus ajustées, la prise de stéroïdes, le recours à la désensibilisation aux allergènes, l'usage d'antiallergiques et l'éviction volontaire des facteurs irritants sont autant de mécanismes convergents vers la diminution de l'envie de se frotter les yeux.

>>> Contactologie : l'adaptation en lentilles rigides est souvent facilitée par l'insensibilisation transitoire et le traitement de la micro-inflammation après CXL. Une fois le patient équipé, la vision s'améliore et le stimuli de frottement diminue. Le port de lentilles rigides inhibe également en soi les frottements du patient car la perte de la lentille représente un risque fonctionnel et financier important.

L'action du CXL est donc polymodale, ce qui permet d'expliquer la discordance entre une forte efficacité constatée dans la majorité des centres et des niveaux de preuves d'effet biomécanique faibles dans la littérature scientifique.

Les dérives actuelles du CXL consistent à traiter trop tôt, trop systématiquement, en particulier les enfants. De même pour le traitement des profils non véritablement évolutifs, l'usage d'une procédure prophylactique contre l'ectasie post-laser. N'occultons pas ici les risques de complications liées aux suites du CXL : infections, lésions endothéliales, taies superficielles, limitation de la perméabilité aux collyres sur le long terme, aplatissement non contrôlés évolutifs, etc. Le CXL n'est pas une procédure sans risque.

L'ambition de cet exercice de relecture de l'efficacité du CXL est de permettre de moduler plus justement les indications du CXL et probablement les restreindre à certains patients, insensibles aux différentes approches non invasives de l'inhibition des frottements oculaires pathologiques. Les outils non invasifs d'inhibition des frottements sont essentiellement :
– l'éducation thérapeutique et l'information, réalisées au mieux avec des outils de quantification, des supports de communication (brochures, sites web, applications, événements grand public) ;

- Les justes indications du CXL devraient donc se résumer à tout patient évolutif confirmé et/ou à profil comportemental défavorable. Il faut également mentionner le cas particulier des ectasies post-Lasik qui peuvent faire l'objet d'une attitude plus "agressive", car elles peuvent survenir sur des patients ne frottant pas ou plus beaucoup leurs cornées. Ils sont à suivre probablement de très près, comme pour le cas des enfants (surveillances trimestrielles).

Finalement, le choix du protocole de CXL devrait intégrer nos convictions sur les mécanismes d'actions modernes du CXL. C'est-à-dire ne pas se tromper de cible, s'orientant vers un compromis ciblant les plexus nerveux sous-épithéliaux plus que le traitement de tout le stroma antérieur. Un CXL

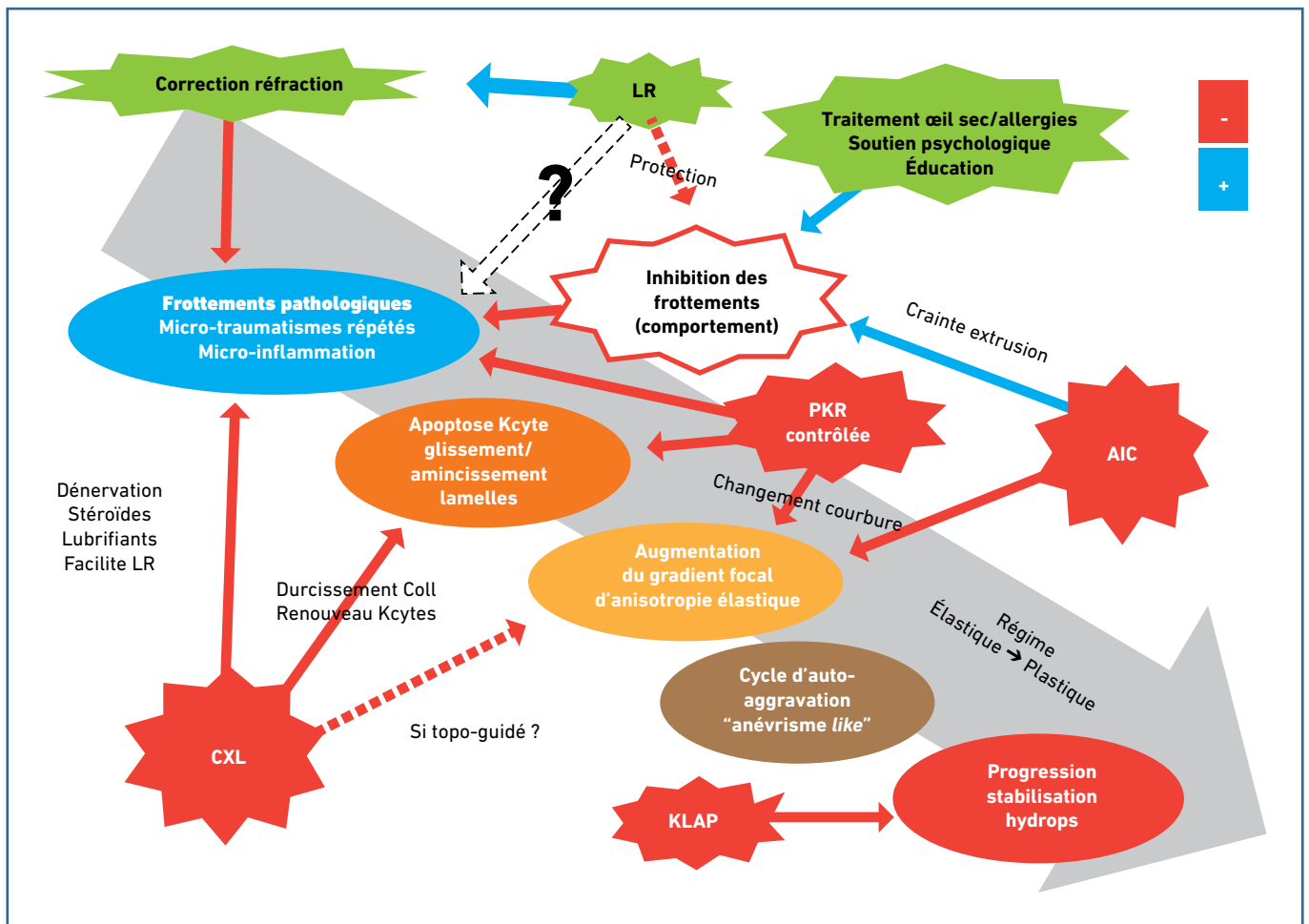


Fig. 1 : Illustration des mécanismes d'inhibition des frottements oculaires. **CXL :** corneal collagen cross-linking; **AIC :** anneaux intracornéens; **PKR :** photokératectomie réfractive; **LR :** lentille rigide; **KLAP :** kératoplastie lamellaire antérieure profonde.

assez antérieur EPI-OFF ou transépithélial EPI-ON, optimisé par la iontophorèse, serait possiblement une solution satisfaisante, en particulier pour les patients à risque de complications lors de la cicatrisation. Le couplage avec le laser excimer de surface est également à reconsidérer car l'ablation de la membrane de Bowman induit un risque de surdosage à la diffusion de la riboflavine. De même, l'intérêt de réaliser un CXL pour compenser la photoablation chez des sujets non évolutifs reste à démontrer, car cela rajoute un stress chimique au stress laser et peut conduire à des cicatrices fibreuses.

■ Conclusion

Le CXL consiste en une dévitalisation du stroma antérieur, c'est donc un geste invasif dont le retentissement s'inscrit sur le long terme. Son effet est polymodal dans l'inhibition des frottements oculaires et ne repose pas exclusivement sur le concept de durcissement matriciel. L'indication doit être posée à la vue du suivi des dégradations morphométriques de la cornée, après mise en œuvre des moyens non invasifs favorisant l'éviction des microtraumatismes répétés de la cornée, impliquant une analyse quantitative poussée du comportement et des habitudes des patients.

Pour en savoir plus

- EVANGELISTA CB, HATCH KM. Corneal Collagen Cross-Linking Complications. *Semin Ophthalmol*, 2018;33:29-35.
- BELIN MW, LIM L, RAJPAL RK *et al.* Corneal Cross-Linking: Current USA Status: Report From the Cornea Society. *Cornea*, 2018;37:1218-1225.

- MASTROPASQUA L. Collagen cross-linking: when and how? A review of the state of the art of the technique and new perspectives. *Eye Vis (Lond)*, 2015;2:19.
- TOUBOUL D, ROBINET-PERRIN A, FOURNIÉ P *et al.* Efficacy of corneal cross-linking for the treatment of keratoconus. *J Fr Ophthalmol*, 2016;39:308-314.
- TOUBOUL D, GENNISSON JL, NGUYEN TM *et al.* Supersonic shear wave elastography for the *in vivo* evaluation of transepithelial corneal collagen cross-linking. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2014;55:1976-1984.
- TOUBOUL D, EFRON N, SMADJA D *et al.* Corneal confocal microscopy following conventional, transepithelial, and accelerated corneal collagen cross-linking procedures for keratoconus. *J Refract Surg*, 2012;28:769-776.
- GORDON-SHAAG A, MILLODOT M, KAISERMAN I *et al.* Risk factors for keratoconus in Israel: a case-control study. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2015;35:673-681.
- GALVIS V, TELLO A, CARREÑO NI *et al.* Risk factors for keratoconus: atopy and eye rubbing. *Cornea*, 2017;36:e1.
- BALASUBRAMANIAN SA, PYE DC, WILLCOX MD. Effects of eye rubbing on the levels of protease, protease activity and cytokines in tears: relevance in keratoconus. *Clin Exp Optom*, 2013;96:214-218.
- MOSTOVOY D, VINKER S, MIMOUNI M *et al.* The association of keratoconus with blepharitis. *Clin Exp Optom*, 2018;101:339-344.
- GALVIS V, SHERWIN T, TELLO A *et al.* Keratoconus: an inflammatory disorder? *Eye (Lond)*, 2015;29:843-859.
- TURNER DC, GIRKIN CA, DOWNS JC. The magnitude of intraocular pressure elevation associated with eye rubbing. *Ophthalmology*, 2019;126:171-172.
- MCMONNIES CW. Inflammation and keratoconus. *Optom Vis Sci*, 2015;92:e35-41.
- MCMONNIES CW. Abnormal rubbing and keratectasia. *Eye Contact Lens*, 2007;33:265-271.

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



P. LEVY, S. PELLEN, J. COULLET, V. DIMEGLIO, J.-L. FRAIMOUT,
C.-F. SCHMITT-BERNARD, B. BRAUNSTEFFER, M. BALDASSO
Clinique de la Vision – Groupe Visya, MONTPELLIER.
levypierre34@gmail.com
severine.pellen@gmail.com

Résultats de l'étude systématique de la surface oculaire avant chirurgie réfractive chez les patients de moins de 40 ans : à propos de 500 cas

La qualité des résultats obtenus en chirurgie réfractive cornéenne n'est plus à prouver. Toutefois, le syndrome sec postopératoire est la cause majeure d'insatisfaction après une intervention, le plus souvent du fait d'un résultat réfractif fluctuant et de mauvaise qualité, mais aussi en cas d'excellent résultat réfractif [1].

La présence d'un syndrome sec préopératoire constitue le principal facteur de risque de développer un syndrome sec postopératoire sévère après Lasik [2, 3]. Ce syndrome est la complication la plus fréquente en chirurgie réfractive. 50 % des patients opérés en Lasik ont des signes ou déclarent avoir des sensations de sécheresse oculaire postopératoires [4]. Et dans 3,7 % des cas, le syndrome d'œil sec postopératoire est reporté comme sévère et ne répond pas aux traitements [5].

Peu d'études existent sur la prévalence de la sécheresse oculaire préopératoire parmi la population des jeunes candidats à une chirurgie réfractive. Et pourtant, il semble s'agir d'une catégorie à risque : lorsqu'ils portent des lentilles, c'est souvent dès le jeune âge, et ils utilisent beaucoup les écrans (ordinateurs, smartphones...), des facteurs qui favorisent un dysfonctionnement de la dynamique palpébrale.

Objectifs de l'étude

1. Objectif principal

Évaluer s'il y a un intérêt à réaliser, de manière systématique, un bilan de surface oculaire préopératoire, comprenant notamment la recherche d'un dysfonctionnement des glandes de Meibomius chez une population de patients jeunes (≤ 40 ans), candidats à une chirurgie réfractive par laser.

2. Objectif secondaire 1

Déterminer si les examens habituellement réalisés en cabinet (interrogatoire à la recherche de symptômes et évaluation de la phase aqueuse) suffisent à identifier un risque de décompensation de la surface oculaire en postopératoire.

3. Objectif secondaire 2

Déterminer les pratiques les plus aptes à détecter les patients à risque lors du bilan préopératoire de chirurgie réfractive.

Patients et méthode

Cette étude a été réalisée à la Clinique de la Vision de Montpellier entre le mois de juin 2017 et le mois d'octobre 2018. L'étude est prospective monocentrique. Nous avons inclus 493 yeux de patients âgés de 18 à 40 ans, candidats à une chirurgie réfractive par laser.

La moyenne d'âge de ces patients est de 29 ans. 52 % des patients sont des hommes et 48 % sont des femmes. 42 % des

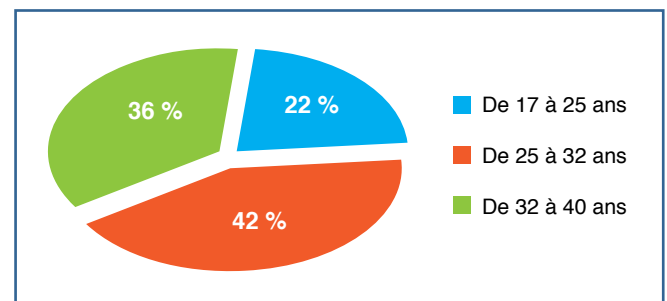


Fig. 1 : Répartition des patients par classe d'âge.

patients évalués ont entre 25 et 32 ans (**fig. 1**). L'évaluation est faite de manière systématique lors du bilan préopératoire de chirurgie réfractive cornéenne.

1. Les critères sont évalués lors du bilan systématique avant chirurgie réfractive au laser

- Questionnaire de symptômes Speed (*Standard Patient Evaluation of Eye Dryness*).

- Épaisseur de la couche lipidique par interférométrie (Lipiview II de TearScience – J & J Vision):
 - épaisseur satisfaisante : ≥ 100 nanomètres;
 - épaisseur insuffisante : < 100 nanomètres.

- Analyse de la dynamique palpébrale (Lipiview II de TearScience – J & J Vision):
 - qualité de clignement satisfaisante : < 40 % de clignements incomplets;
 - altération du clignement : ≥ 40 % de clignements incomplets.

- Analyse de la structure des glandes de Meibomius sur les paupières inférieures par meibographie. DMI (*Dynamic Meibomian Imaging*) et grade des images selon l'échelle d'Arita *et al.*:

- grade 0: pas d'atrophie;
- grade 1: entre 1 et 33 % d'atrophie;
- grade 2: entre 34 et 66 % d'atrophie;
- grade 3: > 66 % d'atrophie.

- Analyse de la fonction meibomienne. La quantité de meibum sécrétée sur 3 zones (T.C.N) des paupières inférieures est évaluée grâce au MGE (*Meibomian Gland Evaluator*) de TearScience:

- fonction correcte : > 8 glandes sécrétantes;
- altération de la fonction : ≤ 8 glandes sécrétantes.

- Analyse de la qualité des sécrétions meibomiennes. La qualité de meibum sécrétée sur 3 zones (T.C.N) des paupières inférieures est évaluée:

- meibum clair;
- meibum trouble;
- meibum pâteux.

- Analyse du volume à la phase aqueuse avec le PRT Test (*Phenol Red Thred Test*):

- PRT < 10 mm : déficit aqueux;
- $20 \text{ mm} > \text{PRT} \geq 10 \text{ mm}$: déficit aqueux modéré;
- PRT ≥ 20 mm : pas de déficit aqueux.

La mesure du BUT (*Break Up Time*) et le test de Schirmer ont été volontairement écartés car les résultats sont variables et leur interprétation subjective.

2. Résultats pour l'objectif primaire de l'étude

Même chez les patients jeunes, près de **1 patient sur 4** présente des **symptômes** de sécheresse oculaire lors du bilan préopératoire de chirurgie réfractive (**fig. 2**).

En analysant les symptômes par groupe d'âge, nous observons que la catégorie des patients les plus jeunes (de 17 à 25 ans) présente moins de symptômes que les autres (**fig. 3**).

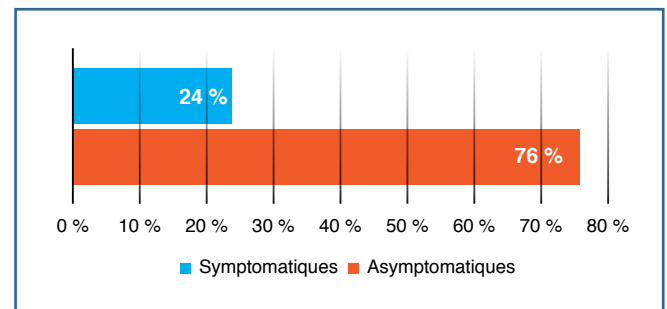


Fig. 2 : Taux de patients avec symptômes ou sans symptômes.

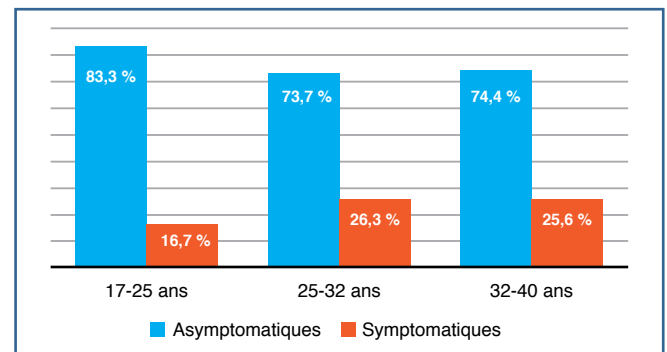


Fig. 3 : Répartition des symptômes par classe d'âge.

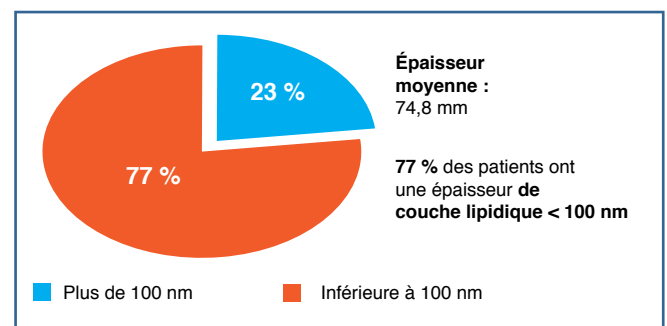


Fig. 4 : Répartition des patients en fonction de l'épaisseur de leur couche lipidique.

77 % des patients présentent une épaisseur de couche lipidique insuffisante (< 100 nanomètres) (**fig. 4**). L'épaisseur moyenne de la couche lipidique est de 74,8 nanomètres. Il faut aussi remarquer que 58 % des patients ont une épaisseur de couche lipidique inférieure à 80 nanomètres.

De plus, **68 %** des patients souffrent d'une **altération de la dynamique palpébrale**, critère essentiel au maintien du système de lubrification oculaire. En comparant le groupe des patients symptomatiques au groupe des patients asymptomatiques, nous observons que la proportion de patients souffrant d'altération du clignement est plus importante chez les patients qui ont des symptômes de sécheresse oculaire. Cela met en évidence l'importance de la dynamique palpébrale pour conserver l'homéostasie du film lacrymal.

L'analyse des **structures meibomiennes** grâce à la meibographie a mis en évidence que **55 %** des patients de moins

de 40 ans candidats à une chirurgie réfractive ont un **grade d'atrophie $\geq$ au grade 1**. Et, surtout, **9 %** des patients présentent une **atrophie sévère $\geq$ au grade 2** (**fig. 5**).

Par ailleurs, 10 % des patients évalués avaient moins de 8 glandes sécrétant du meibum. Sur ces 10 % de patients, 26,5 % d'entre eux avaient moins de 4 glandes actives (**fig. 6**). L'analyse de la qualité de sécrétion a également montré que 1 patient sur 6 présente un meibum de mauvaise qualité.

Concernant le volume aqueux, 57 % des patients ont une phase aqueuse insuffisante et 9 % présentent un déficit aqueux sévère.

Enfin, **15 %** des patients candidats à une chirurgie au laser **présentent des signes cliniques (fonction ou structure altérée) qui nécessitent une prise en charge peropératoire**.

>>> Bilan

Notre étude montre que la majorité des critères d'évaluation de la surface oculaire sont perturbés avant toute chirurgie, même chez les patients les plus jeunes. Il nous semble donc essentiel de réaliser une exploration systématique et complète de la surface oculaire avant chirurgie réfractive par laser, même chez les patients jeunes.

Il sera évidemment indispensable de tenir compte de ces nouveaux critères pour :

- traiter les dysfonctionnements de la surface oculaire en amont de toute chirurgie ;
- adapter la technique chirurgicale si besoin ;
- voire s'abstenir de toute chirurgie en cas de risque majeur de décompensation de la surface oculaire en postopératoire.

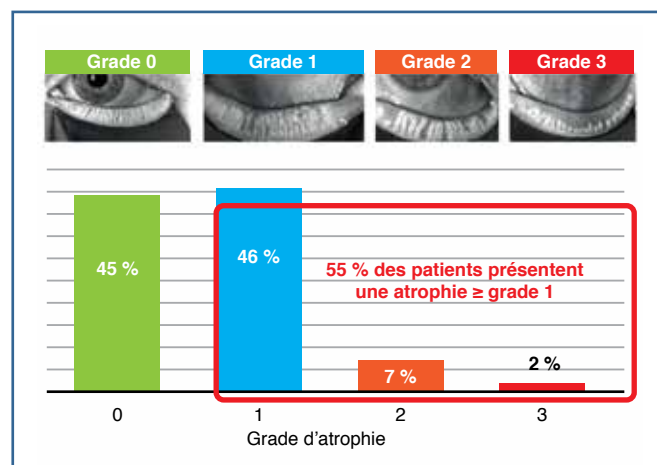


Fig. 5 : Répartition selon le grade d'atrophie meibomienne.

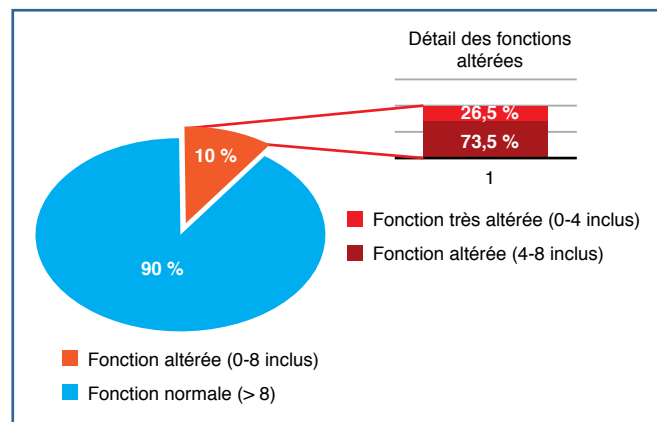


Fig. 6 : Répartition des patients selon leur fonction meibomienne et détail des fonctions les plus altérées.

3. Résultats pour l'objectif secondaire 1

Les examens visant à évaluer l'équilibre du film lacrymal avant chirurgie réfractive, surtout chez les patients jeunes, sont souvent réduits à l'évaluation de la phase aqueuse par Schirmer et à l'interrogatoire à la recherche de symptômes. Nous avons observé les critères de diagnostic des dysfonctionnements de la surface oculaire sur les groupes de patients qui ne présentaient aucun problème de phase aqueuse et sur ceux qui ne présentaient aucun symptôme, identifiant ainsi les patients les plus à risque de décompensation postopératoire.

Sur le groupe des patients **ne présentant aucun déficit aqueux**, notre étude a montré que :

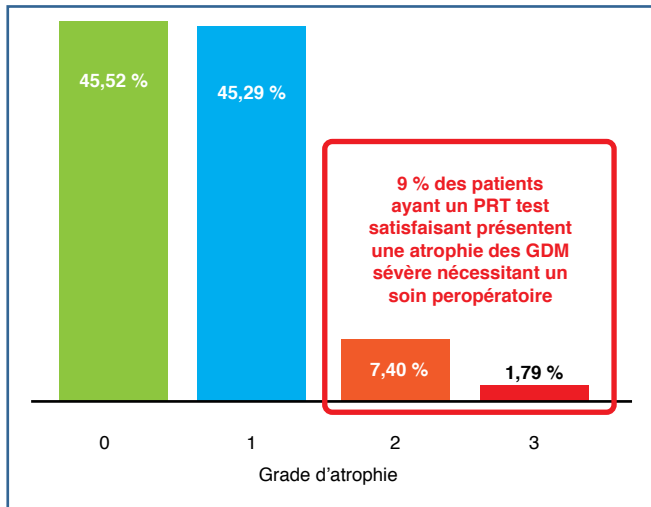


Fig. 7 : Structure des glandes de Meibomius chez les patients avec une PRT supérieure ou égale à 10.

- **9 %** des patients ont **une atrophie meibomienne sévère** $\geq$ au grade 2 (fig. 7) ;
- **9 %** des patients ont **une fonction meibomienne altérée** avec moins de 8 glandes qui sécrètent ;
- **68 %** des patients souffrent d'**une altération de la dynamique palpébrale** ne garantissant pas une lubrification optimale de la surface oculaire.

Sur le groupe des patients **n'ayant pas de symptôme de sécheresse oculaire préopératoire**, notre étude a montré que :

- **1 patient sur 4** a une épaisseur de couche lipidique $<$ à 60 nanomètres (fig. 8) ;
- **9 %** des patients ont **une atrophie meibomienne sévère** $\geq$ au grade 2 ;
- **7 %** des patients ont **une fonction meibomienne altérée** avec moins de 8 glandes sécrétantes ;
- **plus de 1 patient sur 2** de ce groupe a plus de la moitié de ses cils qui ne sont pas complets.

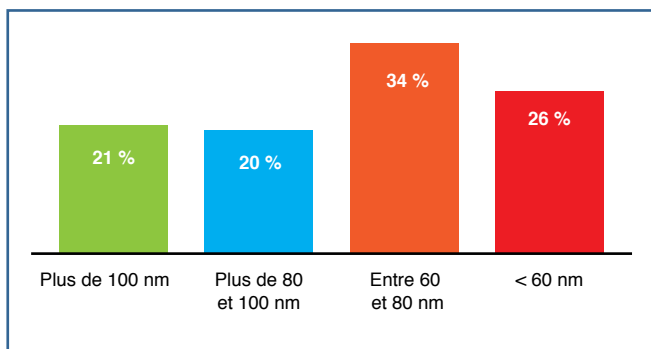


Fig. 8 : Répartition des patients asymptomatiques en fonction de l'épaisseur de couche lipidique.

>>> Bilan

Notre étude montre que l'absence de symptômes et/ou l'évaluation satisfaisante de la phase aqueuse ne présagent en rien de l'absence d'un dysfonctionnement aqueux ou meibomien, donc d'un risque de décompensation postopératoire.

4. Résultats pour l'objectif secondaire 2

L'étude et la comparaison des profils types de patients nous ont donc permis d'envisager une classification des patients à risque de décompensation postopératoire. Nous travaillons à la Clinique de la Vision de Montpellier avec une segmentation par colorimétrie intégrée au bilan de chirurgie réfractive préopératoire. Les patients sont soumis au bilan de surface oculaire quasi-systématiquement et ce bilan intègre les critères évalués au sein de notre étude. Ensuite, un arbre décisionnel intégrant d'abord les grades d'atrophie meibomienne, puis la fonction meibomienne, la qualité du meibum, et enfin les symptômes nous permettent de segmenter les patients en 4 groupes de drapeaux de couleurs différentes.

Parallèlement au groupe drapeaux, nous éditons également une segmentation par couleurs pour les résultats de l'évaluation de la phase aqueuse (fig. 9).

Du point de vue de la surface oculaire :

- **les patients "drapeau vert"** ne présentent pas de contre-indication à la chirurgie réfractive cornéenne ;
- **les patients "drapeau orange"** ont un terrain propice à la décompensation postopératoire. Le discours patient est primordial et la vigilance postopératoire doit être accrue ;
- **les patients "drapeau rouge"** devront bénéficier d'une prise en charge d'un point de vue phase lipidique avant la chirurgie réfractive ;



Fig. 9 : Segmentation préopératoire pour aider à manager le patient, systématiser l'approche et optimiser la prise en charge.

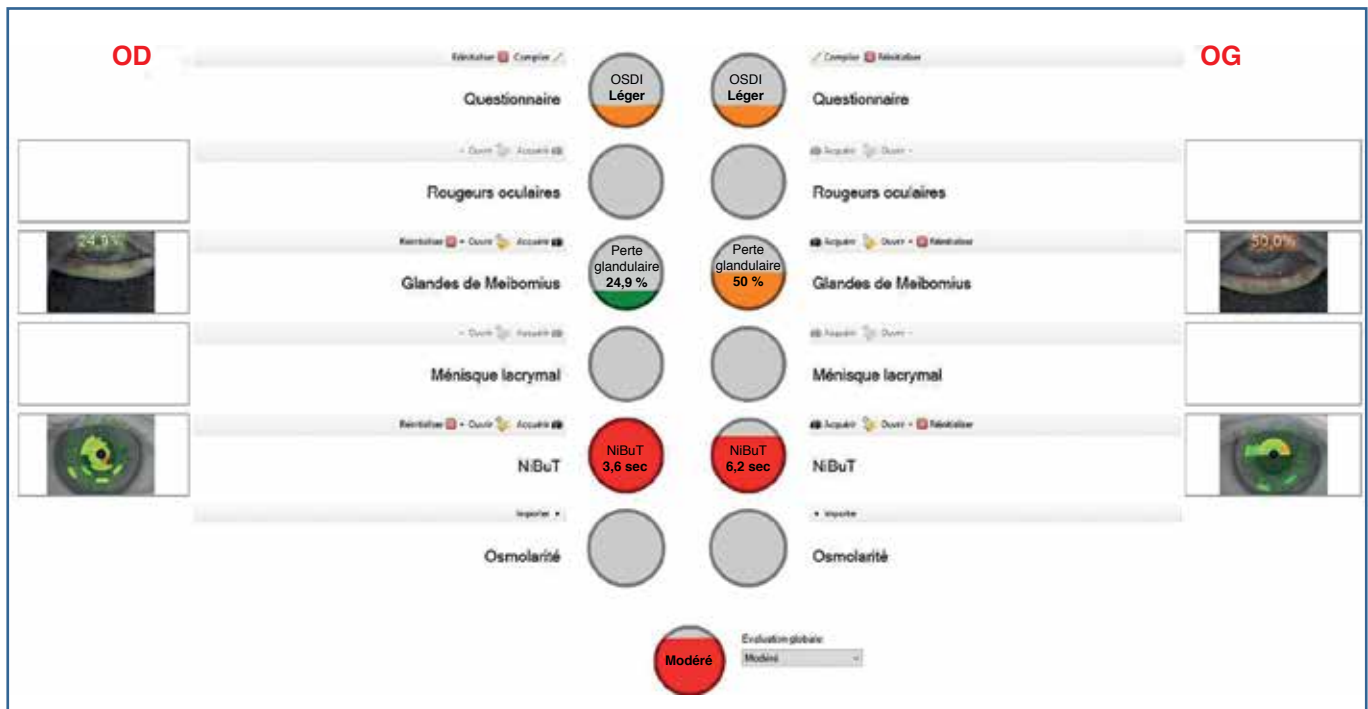


Fig. 10 : Rapport d'analyse kératographique.

- les patients “drapeau bleu” n’ont aucun problème lipidique, mais ils déclarent des symptômes ; il sera de mise d’évaluer la phase aqueuse ou l’esthésie cornéenne et d’en tenir compte.
- les patients “goutte verte” ont un volume aqueux satisfaisant ;
- les patients “goutte orange” ont un volume aqueux moyen, une surveillance postopératoire sera nécessaire ;
- les patients “goutte rouge” ont un volume aqueux insuffisant, une prise en charge préopératoire est indispensable.

Cette segmentation permet d’aider le médecin dans son discours au patient, de systématiser l’approche et d’optimiser la prise en charge.

De nouveaux appareils de diagnostic comme le **kératographe 5M d’Oculus** ou les systèmes **Antares ou Sirius de la marque CSO** permettent d’obtenir des rapports types qui résument les critères essentiels à considérer en matière de dépistage de dysfonctionnement de la surface oculaire en préchirurgie (*fig. 10*).

II Conclusion

L’incidence d’un dysfonctionnement des glandes de Meibomius est importante même chez des patients jeunes

(≤ 40 ans), candidats à une chirurgie réfractive au laser excimer. L’intérêt d’un bilan de surface, et notamment la recherche systématique d’un DGM avant la chirurgie, nous semble primordial à plusieurs titres afin :

- d’optimiser la surface oculaire des patients qui peuvent l’être avant l’intervention ;
- de récuser ceux qui présentent des risques graves de décompensation postopératoire ;
- d’introduire des mesures d’hygiène et d’habitus de vie qui permettront peut-être d’éviter la poursuite de la dégradation de la structure et de la fonction des glandes de Meibomius.

Bibliographie

1. CHAN C ed. *Dry Eye, a practical approach*. Springer, 2015.
2. ALBIETZ JM, LENTON LM, McLENNAN SG. Chronic dry eye and regression after laser in situ keratomileusis for myopia. *J Cataract Refract Surg*, 2004;30:675-684.
3. TODA I, ASANO-KATO N, HORI-KOMAI Y *et al*. Laser-assisted in situ keratomileusis for patients with dry eye. *Arch Ophthalmol*, 2002 Aug;120:1024-1028.
4. TODA I. Lasik and the ocular surface. *Cornea*, 2008;27:S70-S76.
5. TORRICELLI AA, BECHARA SJ, WILSON SE. Screening of refractive surgery candidates for Lasik and PRK. *Cornea*, 2014;33:1051-1055.

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.
cati.ganem@wanadoo.fr

Évaluation subjective de l'amélioration de la sécheresse oculaire traitée par lumière pulsée

La sécheresse oculaire est une maladie de la surface oculaire caractérisée par une perte d'homéostasie du film lacrymal qui induit plusieurs symptômes oculaires : flou visuel, larmoiement, démangeaisons, sensation de brûlure ou de corps étranger, photophobie, fatigue visuelle... Son origine est multifactorielle et ses conséquences multiples : instabilité et hyperosmolarité du film lacrymal, inflammation de la surface oculaire, hypersensibilité neurosensorielle [1-3] (*fig. 1*).

Les traitements sont très variés : hygiène palpébrale, substituts de larmes, traitements et dispositifs stimulant la production

de larmes ou de meibum, traitements anti-inflammatoires ou modifiant l'innervation de la cornée [4, 5].

■ Diagnostic

>>> Le diagnostic clinique de sécheresse oculaire repose sur :

– l'étude des antécédents ophtalmologiques et généraux, pour rechercher les causes d'atteinte inflammatoire des glandes lacrymales, d'infections oculaires, de conjonctivite... ;

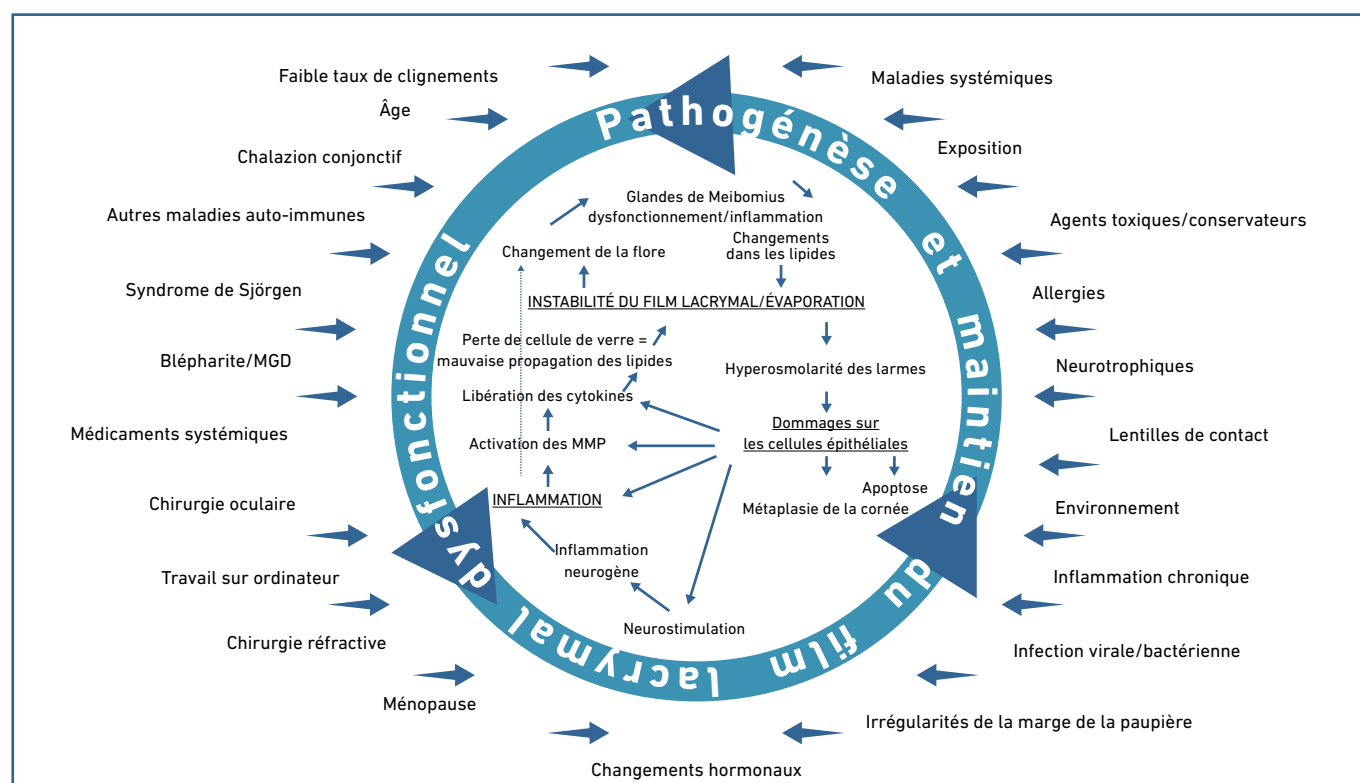


Fig. 1 : Pathogénèse et maintien du film lacrymal [7].

- l'analyse des habitudes de vie (port de lentilles de contact, travail sur écran, environnement socio-professionnel...);
- l'analyse des traitements topiques ou systémiques, passés ou en cours (collyres d'instillations répétées, psychotropes ou isotrétinoïne...);
- l'examen à la lampe à fente des paupières, des cils, de la conjonctive, de la cornée, du segment antérieur, du film lacrymal, du ménisque des larmes, de l'analyse de la statique et de la dynamique des paupières avec le clignement.

>>> L'examen se poursuit après l'instillation de colorants :

- la fluorescéine permet de visualiser les lésions conjonctivo-cornéennes et de mesurer le temps de rupture du film lacrymal (*Tear Break-Up Time*);
- le vert de lissamine colore les cellules mortes ou en voie de desquamation ainsi que les filaments ou les sécrétions.

>>> L'examen des glandes de Meibomius et de leur fonction complète ce bilan :

- le meibum doit sourdre facilement sous forme d'une goutte d'huile claire à la pression des glandes à travers les paupières. En cas de meibomite, il sort difficilement, il est pâteux et blanchâtre;
- le degré de dilatation ou d'atrophie des glandes doit être évalué par meibographie [6].

>>> La production des larmes est évaluée grâce au test de Schirmer sans anesthésie ou, mieux, au test au fil rouge phénol.

■ Le traitement par lumière pulsée

Il existe une association évidente entre la sécheresse oculaire et les maladies inflammatoires de la peau, telles que l'acné rosacée du visage, le psoriasis, la dermatite atopique, dont le traitement par la lumière pulsée intense est largement accepté.

Certaines études récentes ont démontré que, chez les patients souffrant de dysfonctionnements des glandes de Meibomius, le traitement par lumière pulsée [8, 9] réduisait également les signes et les symptômes de sécheresse oculaire, par thrombose des vaisseaux anormaux, liquéfaction de meibum, réduction de la prolifération épithéliale et, par là, de l'obstruction des canaux des glandes [10].

D'autres effets possibles de la lumière pulsée avancés dans ce même article seraient la photomodulation

(modification de l'activité cellulaire, changement de l'activation des fibroblastes et de la synthèse de collagène, modulation de la sécrétion des protéines inflammatoires) ou encore l'éradication du *Demodex*.

■ Matériel et méthodes

Le dispositif de lumière pulsée monochromatique E-Eye (*fig. 2*), de E-Swin, génère une lumière pulsée régulée, polychromatique (580-1 200 nm).

Lorsque le diagnostic de dysfonctionnement meibomien est confirmé, le traitement par laser pulsé peut être proposé.

Après avoir installé le patient dans un fauteuil légèrement incliné, on lui ajuste les protections oculaires opaques (*eye mask*) sur les yeux, puis on applique le gel optique fourni avec l'appareil en couche épaisse, de la région des pommettes à la région temporale. On effectue ensuite une série de 5 flashes sous chaque œil (de la région des pommettes à la région temporale). Un traitement sur quatre séances (jour 0, jour 15, jour 30, jour 75) doit être prévu.

Nous avons réalisé une évaluation subjective du confort oculaire par le questionnaire Speed (*Standard Patient Evaluation of Eye Dryness*) avant le traitement et 3 mois après. Ce



Fig. 2 : Dispositif de lumière pulsée monochromatique E-Eye.

questionnaire évalue les 4 points suivants, dans leur fréquence, leur intensité et leur durée :

- sensation d’yeux secs qui grattent (sensation de sable) ;
- sensation de douleur ou d’irritation ;
- sensation de brûlure oculaire ;
- sensation de fatigue visuelle.

Chacun des symptômes est quantifié de 0 à 4 suivant qu’il est : inexistant, tolérable, inconfortable, problématique ou intolérable. La fréquence est également quantifiée sur une échelle de 0 à 3, suivant que l’évaluation subjective de la fréquence des symptômes est : jamais, parfois, souvent et constante.

Le score total est la somme des notes attribuées, il est au maximum de 28.

■ Statistiques

La comparaison statistique des scores du questionnaire Speed est réalisée à l’aide d’un test de comparaison de données ordinales appariées : le test des rangs signés de Wilcoxon. Les résultats de statistiques descriptives sont présentés sous la forme de boîtes à moustaches. L’analyse est réalisée à l’aide de l’*add-in* XLStat version 2018.6 (Addinsoft) d’Excel (Microsoft).

■ Résultats

Cette étude regroupe les résultats de 30 patients. L’analyse statistique descriptive des résultats est réalisée dans le **tableau I** ci-contre.

Nous avons trouvé une différence statistiquement significative entre le score préopératoire et postopératoire ($p < 0,0001$), avec une réduction moyenne du score Speed de plus de 12 points sur 28. Les scores préopératoires et postopératoires sont représentés sous forme de boîtes à moustaches (**fig. 3**).

■ Discussion

Dans cette étude, nous avons observé une amélioration subjective de la symptomatologie de traitement des yeux secs par lumière pulsée, comme cela a déjà été publié récemment [11]. Des premières études [12, 13] montrent une supériorité du traitement par lumière pulsée par rapport à un traitement combinant massage manuel et chauffage des paupières.

Statistiques	Préopératoire	Postopératoire
Nombre d'observations	30	30
Nombre de valeurs manquantes	0	2
Minimum	12	3
Maximum	28	14
1 ^{er} quartile	16,25	5
Médiane	19,50	8
3 ^e quartile	24	10
Moyenne	19,9	7,714
Variance (n – 1)	17,266	8,804
Déviation standard (n – 1)	4,155	2,967
Coefficient de symétrie Skewness (Pearson)	–0,122	0,327
Coefficient de symétrie Kurtosis (Pearson)	–1,017	–0,759

Tableau I : Description statistique des scores de l’évaluation subjective par le test Speed.

D’autres études récentes montrent l’amélioration objective de l’expression de la sécheresse oculaire par traitement en lumière pulsée [14, 15, 16]. Plusieurs mécanismes expliquant l’amélioration des symptômes de sécheresse oculaire et de la surface oculaire par lumière pulsée sont envisagés :

- le traitement par lumière pulsée réchauffe les glandes de Meibomius à travers la peau mince périoculaire, faisant fondre le meibum [17, 18] ;
- le dispositif émet une énergie qui, en étant absorbée par les chromophores de l’hémoglobine, ferme les vaisseaux anormaux de la marge palpébrale et de la conjonctive adjacente, empêchant la libération de facteurs inflammatoires par ces vaisseaux [19]. Il a été récemment démontré que les concentrations de facteurs inflammatoires, notamment l’interleukine-17A, l’interleukine-6 et la prostaglandine E2 dans le liquide lacrymal, étaient réduites à la suite d’un traitement par IPL [20] ;
- la lumière pulsée soulage la douleur inflammatoire ou neurogène [21] ;
- le traitement par IPL entraîne une réduction immédiate de la charge bactérienne du bord de la paupière et des annexes environnantes, ainsi qu’une atténuation de l’inflammation [22] ;
- enfin, le traitement par lumière pulsée améliore également la vascularisation, probablement par son effet anti-inflammatoire [23].

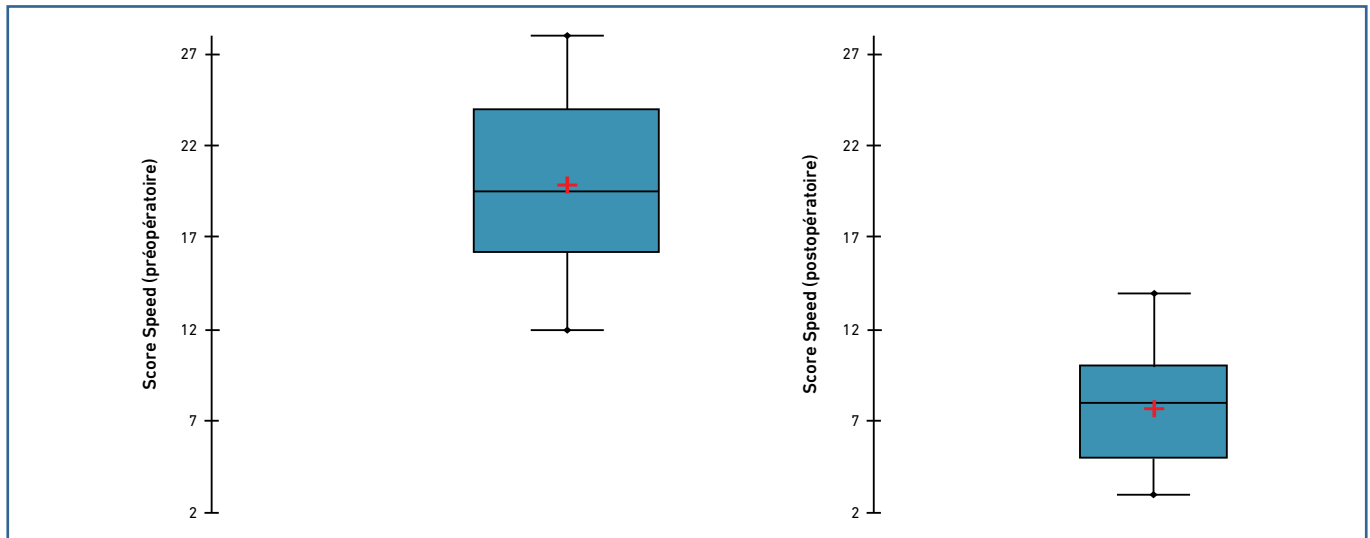


Fig. 3 : Représentation des scores Speed d'évaluation de la sécheresse oculaire avant et après traitement par E-Eye, sous forme de boîtes à moustaches.

Conclusion

Cette étude confirme l'amélioration subjective ressentie par le patient souffrant de sécheresse oculaire par dysfonctionnement des glandes de Meibomius, après traitement par lumière pulsée polychromatique.

Bibliographie

1. WOLFFSOHN JS, ARITA R, CHALMERS R *et al.* TFOS DEWS II Diagnostic Methodology report. *Ocul Surf*, 2017;15:539-574.
2. MILNER MS, BECKMAN KA, LUCHS JJ *et al.* Dysfunctional tear syndrome: dry eye disease and associated tear film disorders - new strategies for diagnosis and treatment. *Curr Opin Ophthalmol*, 2017;27 Suppl 1:3-47.
3. BAUDOUIN C, MESSMER EM, ARAGONA P *et al.* Revisiting the vicious circle of dry eye disease: a focus on the pathophysiology of meibomian gland dysfunction. *Br J Ophthalmol*, 2016;100:300-306.
4. NEBBIOSO M, DEL REGNO P, GHARBIYA M *et al.* Analysis of the Pathogenic Factors and Management of Dry Eye in Ocular Surface Disorders. *Int J Mol Sci*, 2017;18.
5. BARTLETT AH, BARTLETT JD. Ophthalmic Procedures for Treatment of Advanced Ocular Surface Diseases. *Optom Vis Sci*, 2015;92:939-947.
6. ARITA R, FUKUOKA S, MORISHIGE N. New insights into the morphology and function of meibomian glands. *Exp Eye Res*, 2017;163:64-71.
7. From Rolando M, CANTERA E, MENCUCCI R, RUBINO P, ARAGONA P. The correct diagnosis and therapeutic management of tear dysfunction: recommendations of the P.I.C.A.S.S.O. board. *Int Ophthalmol*, 2018;38:875-895.
8. VORA GK, GUPTA PK. Intense pulsed light therapy for the treatment of evaporative dry eye disease. *Curr Opin Ophthalmol*, 2015;26:314-318.
9. BLACKIE CA, CARLSON AN, KORB DR. Treatment for meibomian gland dysfunction and dry eye symptoms with a single-dose vectored thermal pulsation: a review. *Curr Opin Ophthalmol*, 2015;26:306-313.
10. DELL SJ. Intense pulsed light for evaporative dry eye disease. *Clin Ophthalmol*, 2017;11:1167-1173.
11. ARITA R, FUKUOKA S, MORISHIGE N. Therapeutic efficacy of intense pulsed light in patients with refractory meibomian gland dysfunction. *Ocul Surf*, 2019;17:104-110.
12. DELL SJ, GASTER RN, BARBARINO SC *et al.* Prospective evaluation of intense pulsed light and meibomian gland expression efficacy on relieving signs and symptoms of dry eye disease due to meibomian gland dysfunction. *Clin Ophthalmol*, 2017;11:817-827.
13. VEGUNTA S, PATEL D, SHEN JF. Combination Therapy of Intense Pulsed Light Therapy and Meibomian Gland Expression (IPL/MGX) Can Improve Dry Eye Symptoms and Meibomian Gland Function in Patients With Refractory Dry Eye: A Retrospective Analysis. *Cornea*, 2016;35:318-322.
14. KARACA EE, EVREN KEMER Ö, ÖZEK D. Intense regulated pulse light for the meibomian gland dysfunction. *Eur J Ophthalmol*, 2018;1120672118817687.
15. ARITA R, MIZOGUCHI T, FUKUOKA S *et al.* Multicenter Study of Intense Pulsed Light Therapy for Patients With Refractory Meibomian Gland Dysfunction. *Cornea*, 2018;37:1566-1571.
16. RONG B, TANG Y, TU P *et al.* Intense Pulsed Light Applied Directly on Eyelids Combined with Meibomian Gland Expression to Treat Meibomian Gland Dysfunction. *Photomed Laser Surg*, 2018;36:326-332.
17. DELL SJ. Intense pulsed light for evaporative dry eye disease. *Clin Ophthalmol*, 2017;11:1167-2117.
18. TOYOS R, MCGILL W, BRISCOE D. Intense pulsed light treatment for dry eye disease due to meibomian gland dysfunction; a 3-year retrospective study. *Photomed Laser Surg*, 2015;33:41-46.
19. SCHROETER CA, HAAF-VON BELOW S, NEUMANN HA. Effective treatment of rosacea using intense pulsed light systems. *Dermatol Surg*, 2005;31:1285-1289.
20. LIU R, RONG B, TU P *et al.* Analysis of cytokine levels in tears and clinical correlations after intense pulsed light treating meibomian gland dysfunction. *Am J Ophthalmol*, 2017;183:81-90.
21. IRVINE J, CHONG SL, AMIRJANI N *et al.* Double-blind randomized controlled trial of low-level laser therapy in carpal tunnel syndrome. *Muscle Nerve*, 2004;30:182-187.
22. FARRELL HP, GARVEY M, CORMICAN M *et al.* Investigation of critical inter-related factors affecting the efficacy of pulsed light for inactivating clinically relevant bacterial pathogens. *J Appl Microbiol*, 2010;108:1494-1508.

L'auteur a déclaré exercer des fonctions de consultante pour les laboratoires PhysiOL et Zeiss.

Stellaris Elite™

Vision Enhancement System



DEMAIN COMMENCE AUJOURD'HUI

BAUSCH + LOMB

Le Stellaris ELITE™, est un équipement de microchirurgie oculaire conçu pour être utilisé lors d'interventions chirurgicales sur le segment antérieur et postérieur de l'œil. Il permet d'effectuer des interventions de cataracte par phacoémulsification, d'irrigation/aspiration, de diathermie bipolaire, de vitrectomie, d'injection/extraction de liquides de tamponnement et les opérations d'échange air/fluide. Il est réservé aux établissements de santé pour les chirurgiens ophtalmologistes et les personnels qualifiés dans les procédures chirurgicales. Les accessoires de cet équipement, les consommables sous forme de références individuelles ou de packs, ainsi que l'instrumentation permettant de réaliser ces procédures chirurgicales, sont des dispositifs médicaux de classe IIb et IIa qui portent le marquage 0197 dont l'évaluation de conformité a été établie par l'organisme habilité TÜV Rheinland LGA Products GmbH. Veuillez prendre connaissance du catalogue référençant et décrivant ces différents dispositifs, lire attentivement les instructions du manuel d'utilisation et, le cas échéant de la notice spécifique qui accompagne le(s) dispositif(s) médical(aux). 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. © Janvier 2018



1 s / D*

360°

1740 Hz



INTRODUCING

TECHNOLAS® 317
TENEOLTM MODEL 2

BAUSCH + LOMB

Veuillez contacter votre représentant Bausch+Lomb pour plus d'informations sur TECHNOLAS® TENEOLTM 317 MODEL 2.

Le design et les spécificités sont soumis à des changements sans préavis selon les avancées techniques en cours. Le Laser Excimer TECHNOLAS® TENEOLTM 317 MODEL 2 est marqué CE0197. Les indications peuvent varier selon le pays. TECHNOLAS® et TENEOLTM sont des marques déposées de Bausch & Lomb Incorporated. © 2017 Bausch + Lomb Incorporated. Tous droits réservés. Fabriqué par TECHNOLAS Perfect Vision GmbH. 18/04/BAUSCH&LOMB/PM/001

* 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