L'année ophtalmologique

Quoi de neuf dans les pathologies cornéennes ?

P. FOURNIÉ
CHU de TOULOUSE.

Le prochain congrès de la Société française d'ophtalmologie aura une tonalité cornéenne puisque le rapport portera sur cette thématique : "La cornée en 3D". Je vous invite à assister à la présentation du rapport, le lundi 12 mai 2025, pour faire l'état des lieux de ces 3D : "Dégénérescences", "Dystrophies", "Déformations".

Quoi de neuf dans le kératocône ?

>>> Chirurgie additive et kératocône

On observe un regain dans la littérature de techniques de **greffes de cornée lenticulaires** dans le kératocône [1, 2]. Ce renouveau est en partie dû à la possibilité d'insérer un lenticule cornéen dans une poche stromale avec une incision non pas circulaire mais de petite taille, autorisant une chirurgie "mini-invasive" avec suture uniquement de l'incision d'entrée, ou même sans suture (***fig. 1***) [2]. Si une découpe d'un plan lamellaire dans le kératocône a pu s'accompagner de questions sur la résistance biomécanique de ces cornées, ces doutes sont levés à ce jour, sans description rapportée de progression de la déformation. Ces techniques ont un objectif de stabilisation par épaississement cornéen mais aussi de réhabilitation par aplatissement cornéen.

L'autre raison de ce renouveau repose également sur la forme des lenticules insérés : convexe initialement mais moins efficace car reproduisant l'asymétrie cornéenne, et nécessitant le plus souvent une correction par lentille rigide ou photoablation laser de surface complémentaire ; concave surtout mais plus difficile d'accès, résidu par exemple d'une KLEx (*keratorefractive lenticule extraction* – "ex SMILE") hypermétropique (***fig. 1***) [2]. Ce profil est "plus logique", reproduisant un aspect d'anneau circulaire.

D'autres profils intéressants peuvent se justifier : en donut ou en croissant notamment, asymétriques. Les tissus allogéniques utilisés peuvent provenir de

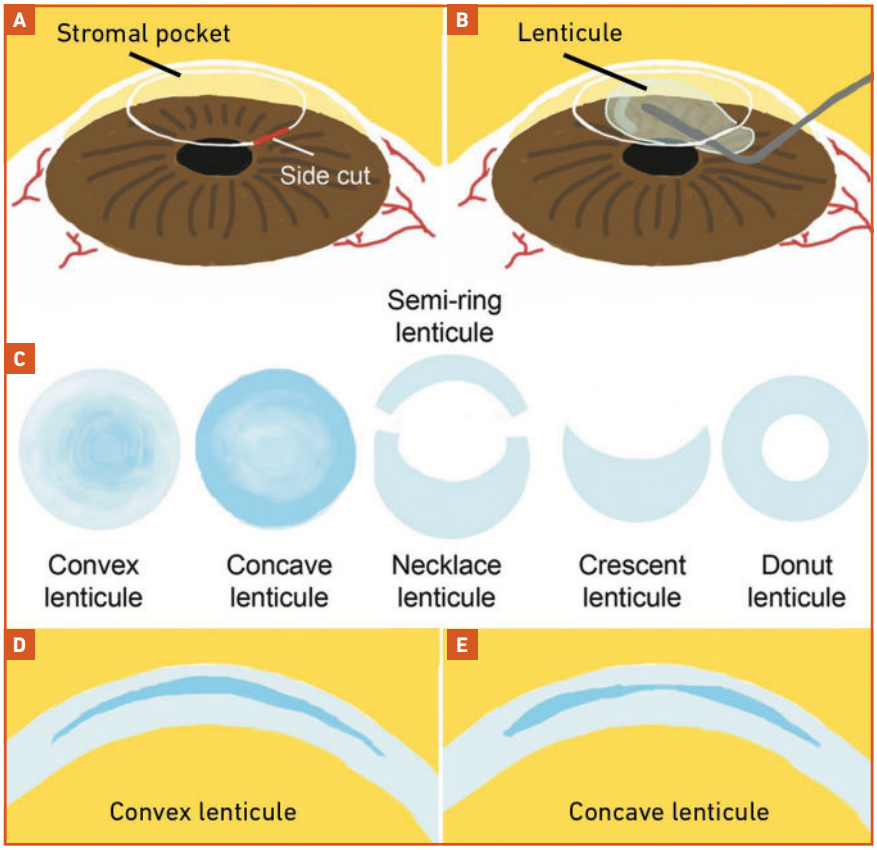

Fig. 1 : Kératoplastie par addition de lenticules. **A :** Création d'une poche stromale au laser femtoseconde. **B :** Insertion d'un lenticule stromal dans la poche. **C :** Différents types de lenticules stromaux. **D :** Vue en coupe d'un lenticule convexe inséré. **E :** Vue en coupe d'un lenticule concave inséré. D'après Liu *et al.*, 2024 [2].

L'année ophtalmologique

donneurs cadavériques, greffons déclassés avec une densité endothéliale inférieure à 2 000 cellules/mm^2, de couches de Bowman, ou de déchets de soins (KLEx), mais nécessitent dans tous les cas une traçabilité et un respect des mesures de sécurité inhérentes à l'utilisation de tissus humains. Les lenticules peuvent, ou pas systématiquement, bénéficier d'une procédure de *cross-linking* préalablement à leur utilisation, sans bénéfice prouvé à ce jour. Le lenticule a été décrit également comme un support pour une thérapie cellulaire additionnelle par l'adjonction de cellules souches notamment [1, 2].

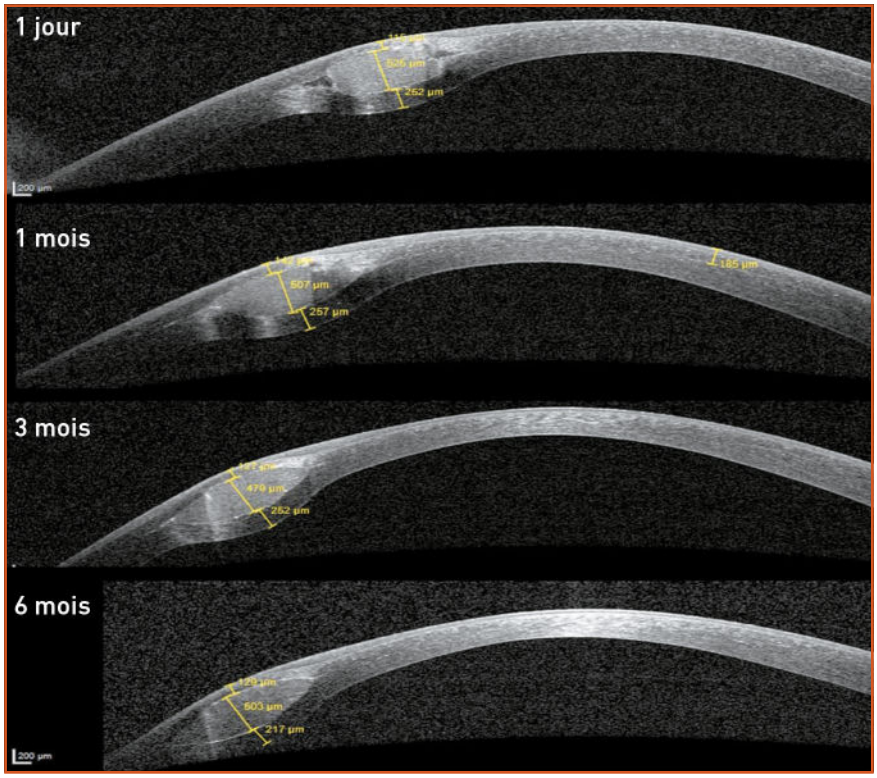

Fig. 2 : OCT de segment antérieur d'anneaux intracornéens allogéniques (CAIRS) avec résorption progressive de l'œdème entre 3 et 6 mois. Le tissu est parfaitement "intégré" au stroma du receveur. D'après Keskin Perk *et al.*, 2024 [3].

Les **anneaux intracornéens allogéniques** (CAIRS pour *corneal allogenic intrastromal ring segments*), préparés par trépanation, ou par laser femtoseconde, répondent davantage au besoin de remodelage d'une cornée kératocônique déformée et dont l'épaisseur est inhomogène. Ces anneaux allogéniques ont également pour avantage d'être plus conservateurs dans la mesure où ils s'insèrent par un tunnel cornéen et non par une poche lamellaire, et qu'ils épargnent le centre cornéen et donc l'axe visuel. Ils peuvent également être cross-linké ou pas, ajustables en longueur, largeur, épaisseur, même s'il n'existe pas de nomogrammes consensuels. L'insertion d'un anneau allogénique s'accompagne d'un œdème se résorbant progressivement le plus souvent sur 3 mois (***fig. 2***) [3]. Le tissu allogénique est, sur 3 à 6 mois, colonisé par les kératocytes du receveur. Les résultats sont similaires à ceux obtenus avec les anneaux synthétiques [3-5], avec une première étude comparative CAIRS *vs* anneaux synthétiques publiée [4], une étude française de la Fondation Rothschild de 79 yeux à 6 mois avec un taux de satisfaction de 86,1 % [5], et une étude de 62 yeux confirmant une stabilité à 3 ans de recul (***fig. 3***) [3]. Soosan Jacob,

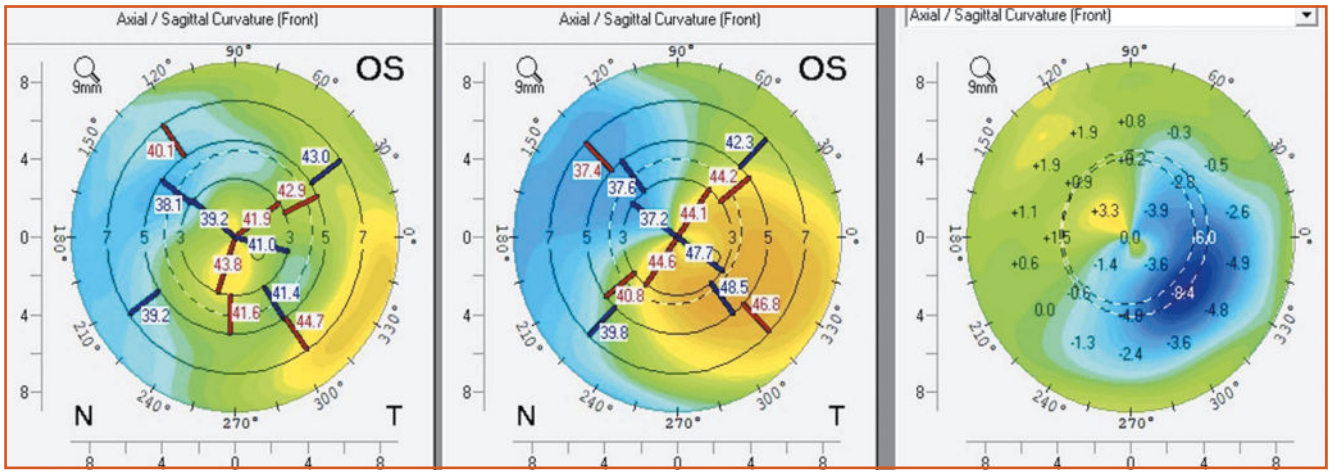

Fig. 3 : Anneaux intracornéens allogéniques (CAIRS) avec carte topographique sagittale préopératoire (**au centre**), postopératoire (**à gauche**) et carte différentielle (**à droite**) avec aplatissement cornéen et régularisation cornéenne. D'après Keskin Perk *et al.*, 2024 [3].

L'année ophtalmologique

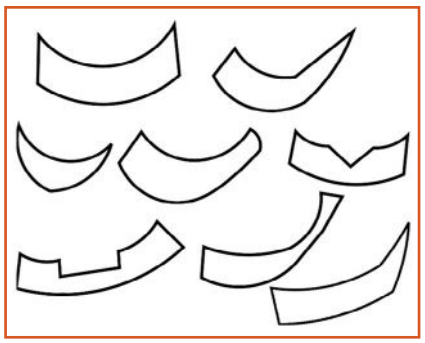

Fig. 4 : Illustration de quelques exemples de CAIRS de forme personnalisée utilisés dans le nomogramme de Soosan Jacob. D'après Jacob, 2025 [6].

à l'origine de la description de cette technique, a décrit plusieurs types d'anneaux personnalisables (***fig. 4***) [6].

D'autres auteurs ont proposé d'autres nomogrammes [7-9]. La standardisation d'un nomogramme d'implantation, ainsi que le développement de programmes de découpes par laser femtoseconde pour créer des CAIRS personnalisables, permettront probablement d'affiner et d'améliorer la précision de cette technique dont les résultats initiaux sont déjà encourageants.

>>> Orientations futures du *cross-linking* cornéen (CXL) dans le kératocône

Le CXL s'est révélé être un traitement efficace du kératocône en stoppant la progression de la maladie chez les enfants et les adultes. L'amélioration des résultats visuels étant hautement souhaitable, plusieurs approches ont été mises au point pour tenter d'améliorer la qualité de vision des patients, soit en modifiant le protocole du CXL, soit en l'associant à d'autres procédures chirurgicales [10, 11].

Le protocole du CXL conventionnel (irradiance 3 mW/cm^2, durée 30 min, fluence 5,4 J/cm^2) a été défini pour protéger l'endothélium cornéen. Des données plus récentes ont mis en évidence un seuil de risque endothélial plus élevé permettant d'utiliser des fluences plus importantes sans danger. Des protocoles de CXL avec des **fluences augmentées** (irradiance 18 mW/cm^2, durée 9 min 15 s, fluence 10 J/cm^2) retrouvent expérimentalement sur des cornées porcines, un effet biomécanique supérieur à celui obtenu par le CXL conventionnel (***fig. 5***) [11]. Des résultats préliminaires rapportent une amélioration de l'aplatissement et de la régularisation cornéenne. Les résultats cliniques d'études multicentriques randomisées sont attendus avec des procédures guidées ou pas par la topographie cornéenne, epi-ON, avec supplémentation ou pas en oxygène. Les premiers résultats cliniques, s'ils confirment l'innocuité de ces procédures, pourraient conduire à de nouveaux standards en matière de CXL.

L'autre approche consiste à coupler le CXL à des **procédures soustractives par laser excimer**. Cependant, l'ablation du tissu cornéen par le laser entraîne une réduction supplémentaire de l'épaisseur de la cornée, ce qui peut avoir un effet négatif sur la stabilité de la cornée. Les séries rapportées ne citent que peu d'aggravation si la procédure est conservatrice, inférieure à 50 µm de photoablation, et couplée à un CXL [10-12]. Pour éviter une forte réduction de l'épaisseur de la cornée, la planification du traitement doit être optimisée pour corriger uniquement les aberrations d'ordre supérieur et régulariser la surface de la cornée. L'objectif de cette procédure est d'améliorer l'acuité visuelle en utilisant des verres de lunettes ou des lentilles de contact souples si le patient ne tolère pas les lentilles rigides. L'introduction du *ray-tracing* a permis de calculer la contribution réfractive de la surface cornéenne postérieure et de l'épithélium, évitant

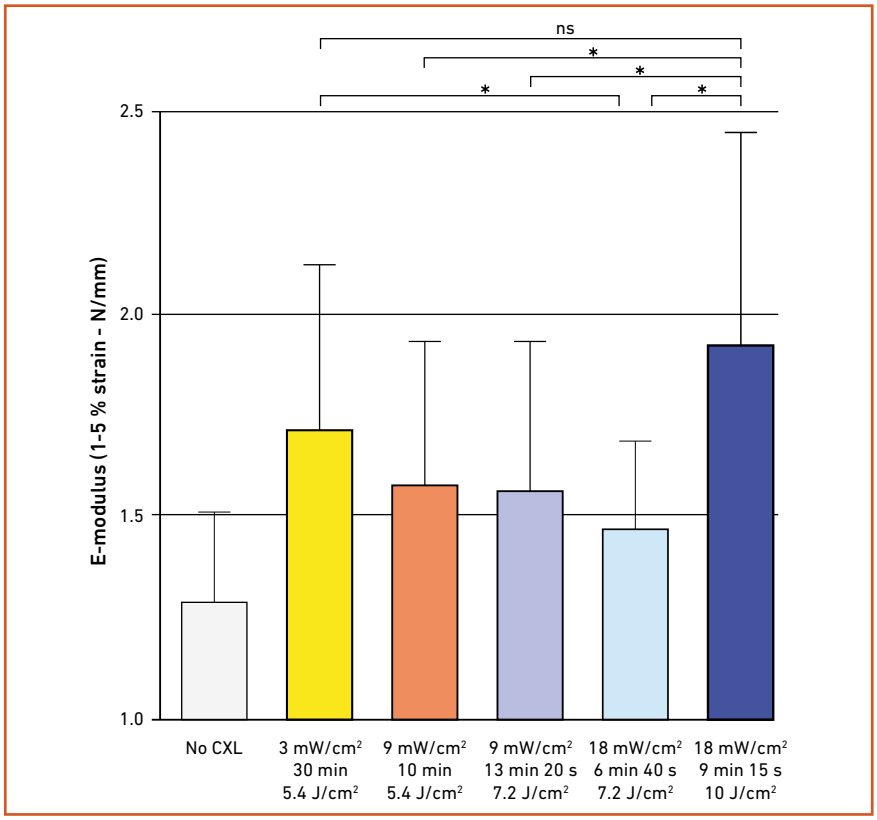

Fig. 5 : Diminution de l'effet biomécanique du CXL avec l'augmentation de l'irradiance des UVA et l'accélération de la procédure de CXL (irradiance 9 mW/cm^2, durée 10 min, fluence 5,4 J/cm^2). Une augmentation de la fluence à 10 J/cm^2 (irradiance 18 mW/cm^2, durée 9 min 15 s) permet par contre d'augmenter l'effet biomécanique par rapport à la technique standard. D'après Hafezi *et al.*, 2025 [11].

ainsi la surcorrection indésirable souvent rapportée dans la littérature avec les techniques guidées par la topographie, et a permis de réduire l'ablation du tissu stromal [10, 11]. La survenue de haze et ses répercussions sont rapportées dans la littérature et semblent corrélées à la profondeur d'ablation et à l'utilisation de mitomycine. Récemment, une stabilisation de l'ectasie a été suggérée par le remodelage cornéen induit postlaser et la régularisation du gradient de courbure cornéenne, qui redistribuerait le stress biomécanique de la région apicale vers la périphérie et homogénéiserait la répartition des contraintes exercées sur la cornée [13]. Cette approche doit encore être étudiée et confirmée à l'avenir.

Dans le **domaine de la greffe de cornée**, une approche intéressante consisterait à réaliser un CXL "en donut" périphérique ou annulaire à la fois sur la cornée du donneur et du receveur, à différents temps, pour renforcer l'ensemble de la jonction donneur-receveur, stabiliser la cicatrice et empêcher sa déhiscence tardive et l'astigmatisme irrégulier progressif qui peut se produire avec l'amincissement lent et continu de la cornée périphérique du receveur [10]. Enfin, dans un nouveau spectre d'indications, l'effet du CXL sur la régression des vaisseaux lymphatiques pourrait également être utilisé comme prétraitement afin de promouvoir la survie du greffon dans les cas de transplantations de cornée à haut risque de rejet [14].

>>> Précision du calcul de la puissance d'un implant intraoculaire de cataracte en cas de kératocône

La prise en charge d'une cataracte en cas de kératocône présente une série de défis :
– surestimation de la puissance de la cornée et sous-estimation de la puissance de l'implant, entraînant une erreur de réfraction hypermétropique. Il est recommandé de viser un résultat plus myope que souhaité, en corrélation avec la sévérité du kératocône ;
– faible fiabilité de tous les systèmes d'imagerie lorsque le Kmax est supérieur à 55 D. Il est recommandé de multiplier et de comparer les mesures kératométriques, topographiques notamment ;
– résultats réfractifs moins prévisibles en cas de kératocône sévère. Il est essentiel de conseiller les patients pour qu'ils aient des attentes réalistes compte tenu des résultats quelque peu imprévisibles.

Une méta-analyse récente a exploré et comparé les performances des différentes formules de calcul d'implants en cas de kératocône [15]. La formule Barrett True-K MPC (*measured posterior cornea*) s'est classée au premier rang pour les différentes mesures, suggérant sa précision supérieure pour les calculs d'implant en cas de kératocône (***fig. 6***). Les formules optimales peuvent différer en fonction de la sévérité du kératocône, les données actuelles suggérant un avantage potentiel de la Kane KCN pour les cas graves. Certaines de ces formules sont accessibles en ligne, parfois regroupées, notamment sur le site de l'European Society of Cataract and Refractive Surgeons (https://iolcalculator.escrs.org). Il est conseillé d'incorporer des calculs multiformules et de les comparer entre elles.

>>> Quelques mots physiopathologiques dans le kératocône

Des études génétiques d'association pangénomique (GWAS pour *genome-wide association study*) permettent une exploration plus exhaustive du génome et ont permis une identification plus précise de variants génétiques associés au kératocône. Une cohorte internationale de 4 669 cas contre 116 547 contrôles a identifié 36 loci associés au kératocône avec une association significative, impliquant notamment deux voies biologiques, l'une liée à l'intégrité de la matrice extracellulaire du collagène et l'autre à la différenciation cellulaire [16]. Cette étude a également révélé l'association du kératocône avec d'autres traits dont notamment l'équivalent sphérique et l'épaisseur de la cornée centrale. Une analyse de régression a révélé que les marqueurs génétiques associés au

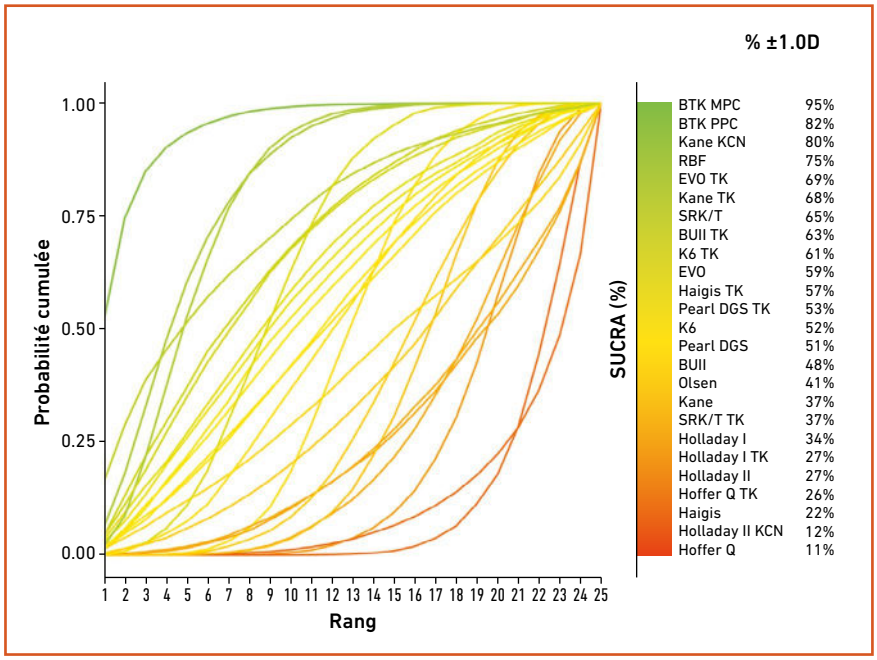

Fig. 6 : Pourcentage d'yeux avec une erreur de prédiction réfractive à ±1,00 D : surface sous la courbe (AUC pour *area under curve*) pour toutes les formules. D'après Reitblat *et al.*, 2024 [15]. Plus la courbe est proche du coin haut-gauche, meilleure est l'AUC et meilleures sont les performances de la formule.

L'année ophtalmologique

kératocône dans cette méta-analyse de 4 669 kératocônes contribuent à expliquer 12,5 % de l'héritabilité globale du kératocône parmi les mêmes populations d'ascendance européenne [16]. Un modèle prédictif testé sur un panel restreint mais indépendant de patients et de témoins d'origine européenne atteints de kératocône, a révélé que ces marqueurs avaient une valeur prédictive faible (AUC = 0,737) pour le kératocône. Si la génétique seule, dans l'état actuel des connaissances, ne permet pas aujourd'hui un bon test de dépistage du kératocône, elle peut se combiner à un modèle contenant des mesures de la cornée, avec une amélioration de la valeur prédictive (AUC = 0,88) récemment rapportée [17]. Cet apport de la génétique pourrait permettre dans l'avenir d'améliorer la valeur prédictive de tests multimodaux combinant des données que l'on peut imaginer topographiques, épithéliales, biomécaniques, environnementales, comportementales, génétiques…

Très préliminaire encore mais intellectuellement intéressante, une étude rapporte une signature unique du **microbiote de la surface oculaire** dans le kératocône corrélée aux grades de la maladie et aux facteurs moléculaires et cellules immunitaires sécrétés [18]. Connaissant le rôle du microbiote dans d'autres maladies, il serait séduisant de penser, tout en restant prudent, qu'une altération du microbiote de la surface oculaire pourrait participer à une dysrégulation immunitaire/inflammatoire dans le kératocône et jouer un rôle dans le mécanisme physiopathologique de la maladie. Cette approche, soumise à de nombreux biais, mérite d'être davantage explorée.

Quoi de neuf dans la dystrophie cornéenne endothéliale de Fuchs ?

Le dépistage de l'**œdème cornéen infraclinique** repose sur l'analyse de cartes tomographiques Scheimpflug décrite en 2019-2020 avec trois paramètres à rechercher (***fig. 7***) :
– décentrement du point le plus fin ;
– perte du parallélisme des isopachs (cercles ou ovales de même pachymétrie) ;
– dépression focale observée sur la carte d'élévation postérieure.

Le risque de progression de la décompensation endothéliale à 4 ans a été estimé à :
– 0 % si aucun des trois paramètres n'est présent en préopératoire ;
– 50 % si un ou deux paramètres sont présents ;
– 75 % si les trois paramètres sont présents.

En cas de chirurgie de cataracte seule, la présence d'au moins deux critères, en l'absence de signes cliniques de décompensation cornéenne (dérouillage matinal avec flou transitoire), est à risque de décompensation postopératoire avec œdème et recours à une greffe endothéliale.

Ces signes, décrits en imagerie Scheimpflug, sont retrouvés sur les imageries tomographiques OCT. La faible reproductibilité des mesures d'un appareil à l'autre doit faire préférer l'utilisation d'un même appareil pour le suivi et le diagnostic d'une aggravation.

Une étude récente rapporte le devenir à 5 et 10 ans des trois techniques de **greffes de cornée** dans ce contexte : greffes endothéliales (DMEK et DSAEK) et greffe transfixiante (KT) [19]. Comme attendu, l'amélioration visuelle était plus rapide après DMEK et DSAEK qu'après KT, et le

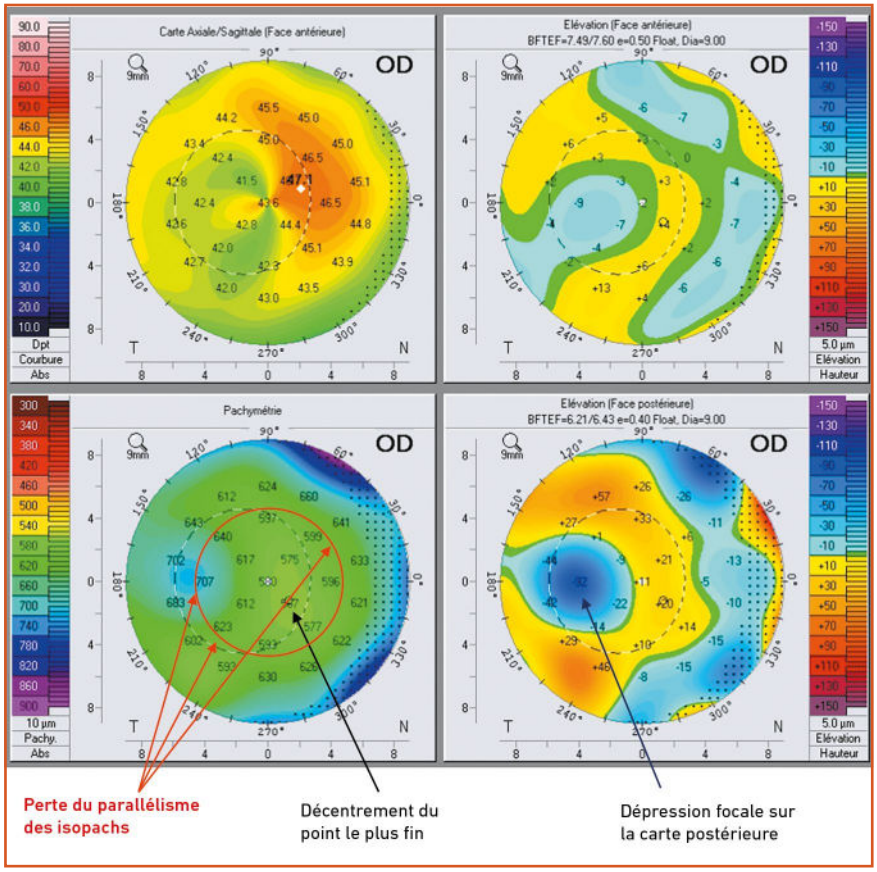

Fig. 7 : La carte quadmap du PentacamÒ (Scheimpflug) retrouve les trois signes sur les cartes pachymétriques et en élévation postérieure signant un œdème cornéen infraclinique à risque de décompensation œdémateuse.

taux de rejet était inférieur après DMEK par rapport à la KT. En revanche, la survie du greffon était supérieure après KT par rapport aux greffes endothéliales (***fig. 8***) avec une perte de cellules endothéliales plus lente après KT par rapport à la DMEK et à la DSAEK. Cette étude suggère une survie à long terme des greffons endothéliaux limitée par rapport à la greffe transfixiante, potentiellement en raison d'une perte plus rapide des cellules endothéliales. Même si cette observation était confirmée, les greffes endothéliales resteraient l'indication de première intention en raison d'une part de leurs avantages significatifs en ce qui concerne les résultats visuels et les taux de rejet, en particulier pour la DMEK, d'autre part du remplacement possible d'un greffon endothélial.

La disponibilité d'un nouveau collyre antiglaucomateux, combinant une prostaglandine (latanoprost 50 µg/mL) et un **inhibiteur de Rho Kinase** (nétarsudil 200 µg/mL) est un événement puisqu'il s'agit d'une nouvelle classe thérapeutique dans le glaucome. Le nétarsudil agit en relâchant le réseau trabéculaire, en augmentant l'écoulement trabéculaire et en augmentant le diamètre des veines épisclérales, abaissant ainsi la pression veineuse épisclérale et augmentant l'écoulement de l'humeur aqueuse. Cela questionne sur une possible utilité en postgreffe de cornée notamment en présence d'une hypertonie oculaire ou d'un glaucome. Les inhibiteurs de Rho kinase sont utilisés dans les techniques de thérapies cellulaires endothéliales notamment pour la préparation *ex vivo* des cellules endothéliales avant injection en chambre antérieure. Les inhibiteurs de rho kinase *ex vivo* protègent les cellules endothéliales de l'apoptose induite par le stress pendant le passage cellulaire, favorisent la prolifération des cellules endothéliales *in vitro* et améliorent l'adhésion cellulaire. En condition clinique, un article récent fait état d'une amélioration significative de l'acuité visuelle, de la pachymétrie, ainsi que de la qualité de vie globale de patients souffrant de diverses formes d'œdème cornéen après instillation d'un collyre inhibiteur de rho kinase, le ripasudil [20]. Son mécanisme d'action implique la modulation de la contractilité cellulaire et l'amélioration de la fonction des cellules endothéliales, facilitant ainsi la résolution de l'œdème. Le ripasudil n'augmentait pas le nombre de cellules endothéliales, ce qui suggère que son rôle principal est d'améliorer la fonction cellulaire plutôt que d'induire une prolifération cellulaire [20]. L'arrivée de ce collyre dans le glaucome pourrait, nous l'espérons, préfigurer une disponibilité à venir dans certains cas d'œdème infraclinique ou clinique dans les maladies endothéliales et greffes de cornée.

L'EndoArt® est un copolymère synthétique de 50 µm d'épaisseur, agissant comme une barrière aqueuse, en alternative à un greffon endothélial. Une étude récente rapporte les résultats à 2 ans de sept cas après échec de greffes endothéliales ou kératopathie bulleuse sévère à la suite de chirurgies répétées dans un contexte de comorbidités oculaires [21]. Il s'agit du positionnement parmi les indications de décompensations endothéliales de cet implant synthétique, à savoir les échecs de greffes préalables. La pachymétrie dans cette série de sept cas est passée de 805 ± 131 µm en préopératoire à 577 ± 90 µm en postopératoire. Quatre des sept patients ont nécessité un rebullage dans les 3 à 4 mois après implantation (***fig. 9***). Les résultats à

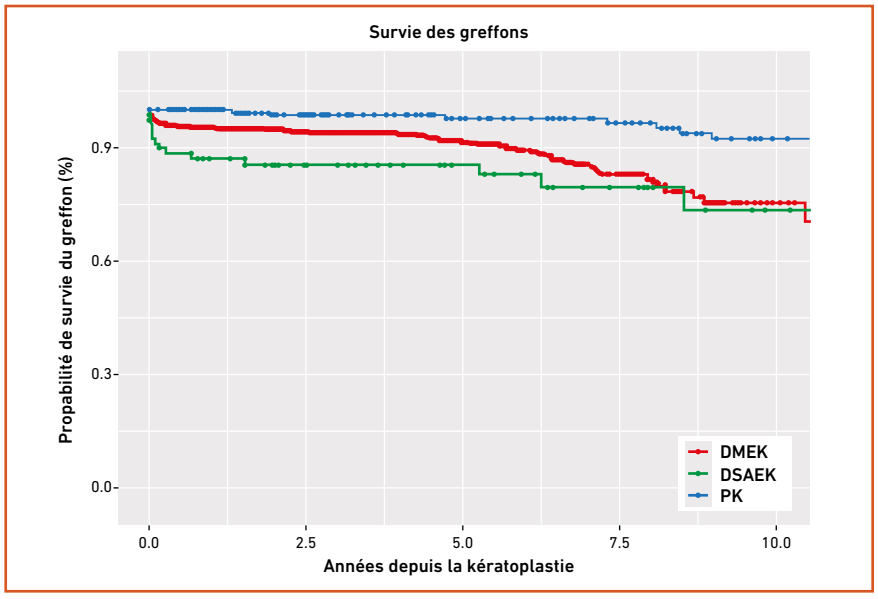

Fig. 8 : Courbe de Kaplan-Meier de survie des greffons DMEK, DSAEK et KT (PK pour *penetrating keratoplasty*). La survie du greffon à long terme à 10 ans est supérieure après KT (92 %) contre 75 % pour la DMEK et 73 % pour la DSAEK. D'après Wilhelm *et al.*, 2025 [19].

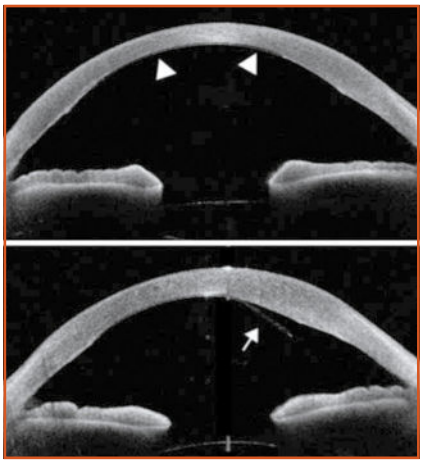

Fig. 9 : EndoArt® en place sur l'OCT du haut (**têtes de flèches**) avec une pachymétrie conservée en regard, un aspect fibreux hyperréflectif sur les bords de l'implant qui signent le plus souvent sa bonne adhérence. Aspect de décollement partiel de l'EndoArt® sur l'image du bas (**flèche**) avec une épaisseur stromale augmentée en regard et la nécessité de réinjecter une bulle d'air. D'après Fontana *et al.*, 2025 [21].

L'année ophtalmologique

2 ans étaient stables. Une étude multicentrique en cours portant sur près de 80 patients devrait permettre d'apporter des résultats plus informatifs, sur la sécurité et la tolérance notamment de cet implant. Les résultats devraient être publiés prochainement.

En bref

>>> Un nouveau traitement contre la kératite à Acanthamoeba

Le collyre de polihexanide 0,8 mg/mL, SIFI, a reçu l'approbation de la Commission européenne pour le traitement de la kératite amibienne chez les adultes et les enfants à partir de 12 ans. Il s'agirait de la seule thérapie approuvée dans cette indication. Lorsqu'il est utilisé en monothérapie, dans le cadre du protocole de traitement de l'essai clinique de phase III, il permet d'obtenir des taux de guérison médicale de 84,8 %. Une autorisation d'accès compassionnel est en cours en attendant une autorisation de mise sur le marché.

>>> Actualités en médecine régénérative de surface

Le plasma obtenu à partir du sang PRGF – ENDORET® contient une concentration augmentée de plaquettes qui entraînent la libération de facteurs de croissance. Comme tous les collyres dérivés du sang, le PRGF Endoret® présente en France un statut très encadré, confronté à des difficultés de règlementation régie par les autorités de santé. Il s'agit d'une préparation magistrale fabriquée uniquement au sein des pharmacies hospitalières. Il est indiqué dans la régénération des tissus oculaires endommagés ou dans les troubles de la surface oculaire tels que : le syndrome d'œil sec sévère, le syndrome de Gougerot-Sjögren, le syndrome de Lyell et Stevens-Johnson, les érosions cornéennes ne parvenant pas à cicatriser, la réaction de greffe contre l'hôte, la kératopathie neurotrophique… Des études ont montré un risque moindre de fibrose par rapport au sérum autologue et une possible réponse thérapeutique en cas d'échec au sérum autologue. En France, seuls des centres situés à Marseille et Paris délivrent actuellement ce produit.

Des collyres à l'insuline à faible dose se sont révélés être également un traitement simple et efficace pour la kératopathie neurotrophique réfractaire lorsque la réponse au traitement habituel est incomplète. Aucune forme commerciale n'est actuellement disponible. Leur utilisation reposerait sur des préparations magistrales hospitalières.

La cornée est l'un des domaines pionniers de la médecine régénérative. La plupart des techniques utilisent des cellules souches autologues ou allogènes. L'introduction des cellules souches pluripotentes induites (*induced-pluripotent stem cells – iPSCs*) a stimulé la recherche dans ce domaine, et plusieurs cellules/tissus dérivés de ces cellules iPSCs font actuellement l'objet d'essais cliniques. Une équipe japonaise a récemment publié dans *Lancet* les premières séries d'opérations chirurgicales chez l'homme qui utilisent des feuillets de cellules épithéliales humaines dérivées d'iPSCs pour réparer la cornée de patients souffrant de déficience visuelle à cause d'un déficit en cellules souches épithéliales limbiques [22]. Ces résultats sur quatre patients à 2 ans sont très prometteurs dans des indications où les atteintes bilatérales restent trop souvent à l'origine de cécité cornéenne.

BIBLIOGRAPHIE

1. Vanathi M. Tissue addition keratoplasty in keratoconus: Trends and concerns. *Indian J Ophthalmol*, 2024;72:1-2.
2. Liu Y, He Y, Deng Y *et al.* Lenticule addition keratoplasty for the treatment of keratoconus: A systematic review and critical considerations. *Indian J Ophthalmol*, 2024;72:S167-S175.
3. Keskin Perk FFN, Tanriverdi C, Karaca ZY *et al.* Long-Term Results of Sterile Corneal Allograft Ring Segments Implantation in Keratoconus Treatment. *Cornea*, 2024.
4. Asfar KE, Bteich Y, Mrad AA *et al.* Corneal Allogenic Intrastromal Ring Segments (CAIRS) *Versus* Synthetic Segments: A Single Segment Comparative Analysis Using Propensity Score Matching. *J Refract Surg*, 2024;40:e863-e876.
5. Mechleb N, Gatinel D, Fitoussi L *et al.* Six-Month Results of Multiple Femtosecond Laser-Assisted Corneal Allogeneic Ring Segments Implantation: A Case Series. *Cornea*, 2025.
6. Jacob S. Custom-shaped CAIRS for personalized treatment of Keratoconus. *Indian J Ophthalmol*, 2025;73:3-5.
7. Bteich Y, Assaf JF, Mrad AA *et al.* Corneal allogenic intrastromal ring segments (CAIRS) for corneal ectasia: A comprehensive segmental tomography evaluation. *J Refract Surg*, 2023;39:767-776.
8. Haciagaoglu S, Tanriverdi C, Keskin FFN *et al.* Allograft corneal ring segment for keratoconus management: Istanbul nomogram clinical results. *Eur J Ophthalmol*, 2022 Dec 4:11206721221142995.
9. Greenstein SA, Yu AS, Gelles JD *et al.* Corneal tissue addition keratoplasty: new intrastromal inlay procedure for keratoconus using femtosecond laser-shaped preserved corneal tissue. *J Cataract Refract Surg*, 2023;49:740-746.
10. Raiskup F, Herber R, Lenk J *et al.* Crosslinking with UV-A and riboflavin in progressive keratoconus: From laboratory to clinical practice - Developments over 25 years. *Prog Retin Eye Res*, 2024;102:101276.
11. Hafezi F, Kling S, Hafezi NL *et al.* Corneal *cross-linking*. *Prog Retin Eye Res*, 2025;104:101322.
12. Achiron A, Yahalomi T, Knyazer B *et al.* Efficacy comparison of combining *cross-linking* and refractive laser ablation in progressive keratoconus: systematic review and meta-analysis. *Can J Ophthalmol*, 2024;59:e661-e672.
13. Roberts CJ, Knoll KM, Mahmoud AM *et al.* Corneal stress distribution evolves from thickness-driven in normal corneas to curvature-driven with progression in keratoconus. *Ophthalmol Sci*, 2023;:100373.
14. Wiedemann J, Hos D, Limburg E *et al.* UV light-*medi*ated corneal crosslinking as (lymph)angioregressive pretreatment to promote graft survival after subse-

quent high-risk corneal transplantation (CrossCornealVision): protocol for a multicenter, randomized controlled trial. *Trials*, 2024;25:169.

15. Reitblat O, Sella R, Zlatkin R *et al.* Intraocular lens power calculation accuracy in patients with keratoconus: Network meta-analysis and systematic review. *Clin Exp Ophthalmol*, 2024.
16. Hardcastle AJ, Liskova P, Bykhovskaya Y *et al.* A multi-ethnic genome-wide association study implicates collagen matrix integrity and cell differentiation pathways in keratoconus. *Commun Biol*, 2021;4:266.
17. He W, Võsa U, Palumaa T *et al.* Developing and validating a comprehensive polygenic risk score to enhance keratoconus risk prediction. *Hum Mol Genet*, 2025;34:140-147.
18. Kumar NR, Khamar P, Kannan R *et al.* Distinct Ocular Surface Microbiome in Keratoconus Patients Correlate With Local Immune Dysregulation. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2025;66:60.
19. Wilhelm TI, Gauché L, Böhringer D *et al.* Ten-year outcomes after DMEK, DSAEK, and PK: insights on graft survival, endothelial cell density loss, rejection and visual acuity. *Sci Rep*, 2025;15:1249.
20. Lavy I, Erdinest N, Corredores J *et al.* Evaluating the efficacy of Rho kinase inhibitor eye drops in the management of corneal edema: A single-center retrospective cohort study. *Taiwan J Ophthalmol*, 2024;14:88-94.
21. Fontana L, di Geronimo N, Versura P. Long-Term Clinical Outcomes and Anterior Segment Optical Coherence Tomography Findings After Artificial Endothelial Replacement Membrane Implantation. *Cornea*, 2025.
22. Soma T, Oie Y, Takayanagi H *et al.* Induced pluripotent stem-cell-derived corneal epithelium for transplant surgery: a single-arm, open-label, first-in-human interventional study in Japan. *Lancet*, 2024;404:1929-1939.

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