

NUMÉRO THÉMATIQUE

Chirurgie de l'astigmatisme : nouveautés

La chirurgie réfractive de l'astigmatisme par laser Excimer : bilan préopératoire, profils d'ablation, compensation de la cyclotorsion

RÉSUMÉ : La chirurgie réfractive de l'astigmatisme au laser Excimer donne aujourd'hui des résultats proches de ceux de la correction des amétropies sphériques. La qualification de cette astigmatisme et sa quantification sont des étapes essentielles sur le chemin d'un bon résultat optique. L'astigmatisme cornéen antérieur est le plus souvent responsable de la très grande partie de l'astigmatisme total. Sa quantification par des kératomètres classiques bien connus de l'opérateur reste d'actualité. La topographie systématique en raison du dépistage du kératocône ne vient en général que confirmer les données du kératomètre.

Dans certains cas, il existe une discordance entre les données kératométriques et réfractométriques et, dans ces cas-là, une analyse des données d'élévation antérieures, postérieures, voire une analyse du WaveFront, permettront d'affiner les modalités de traitement qui pourront être personnalisées en fonction de ces examens. Des profils adaptés peuvent être utilisés dans tous les types d'astigmatisme. Les résultats sont optimisés par un contrôle de la rotation du globe oculaire que ce soit manuellement par le marquage préalable des axes d'astigmatisme sur le globe oculaire, mais aussi aujourd'hui par l'utilisation de *trackers* rotatifs passifs ou actifs.



→ L. GAUTHIER-FOURNET
Ophtalmologiste,
SAINT-JEAN-DE-LUZ.

La photoablation au laser Excimer est la technique de choix de correction des astigmatismes. La qualification et la quantification de ces derniers sont les enjeux majeurs de telles procédures. Seule une bonne compréhension de la nature et du mécanisme de ces astigmatismes permettra des résultats optimaux souvent meilleurs qu'une approche entièrement automatisée, disponibles aujourd'hui sur la plupart des plates-formes lasers.

Support anatomique de l'astigmatisme et méthodes d'exploration

L'astigmatisme peut être porté par les différents dioptries oculaires, certains étant facilement examinables, d'autres n'étant connus que par extrapolation.

1. L'astigmatisme cornéen antérieur

C'est à la fois le plus fréquent, le plus important et, heureusement, le plus facilement étudiable et quantifiable. Le dioptrie cornéen antérieur a une puissance d'environ 49 dioptries. Il a été le premier étudié par les ophtalmologistes.

Helmutz, le premier, dès 1853, a inventé le kératomètre duquel s'est inspiré le premier Javal, qui projette sur la surface antérieure de la cornée deux mires (*fig. 1*). La mesure de la distance du reflet de ces deux mires sur le film lacrymal sert à déterminer le rayon de courbure. Classiquement, cette mesure est effectuée sur un rayon de 3 mm explorant donc une surface de cornée plus importante sur les cornées bombées que sur les cornées plates.

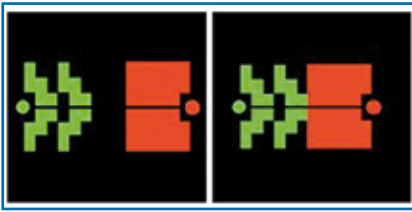


FIG. 1.

Les reproches les plus importants ayant été faits à cette technique ont été :

- l'extrapolation d'une mesure paracentrale à une puissance centrale probablement plus importante, quant à l'évaluation d'une puissance cornéenne utile en optique clinique ;
- la forte dépendance de ces techniques à la qualité du film lacrymal.

Des systèmes beaucoup plus sophistiqués, mais reposant sur le même principe du reflet de figures géométriques sur la cornée, ont été ensuite développés : ce sont les topographies cornéennes spéculaires dérivées du disque de Placido qui consistent à projeter des cercles concentriques sur la surface antérieure de la cornée (fig. 2) et en recueillir le reflet qui

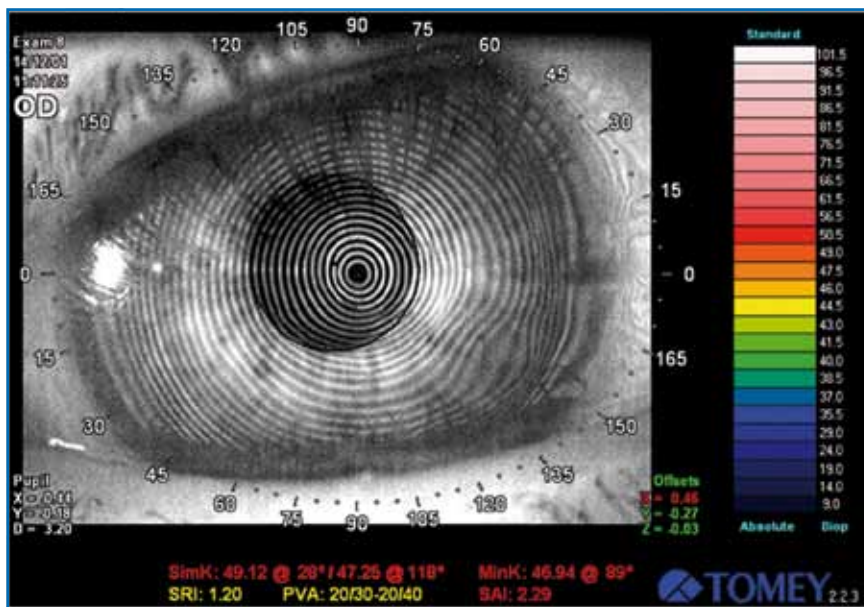


FIG. 2.

est, ensuite, analysé par un logiciel permettant ainsi de relever les différences de courbure entre des milliers de points situés sur tous les méridiens (et non plus sur deux méridiens comme le Javal) et à toute distance de l'apex cornéen, si l'on excepte l'extrême centre, qui constitue une tache aveugle en raison de l'absence de cercles et de la présence de la caméra au centre du dispositif.

Les appareils de biométrie optique employés pour les calculs d'implant (IOLMaster, Lenstar, etc.) utilisent le même principe en multipliant le nombre de points analysés, certains étudiant une zone plus étroite (Lenstar), voire plusieurs cercles concentriques (fig. 3).

La topographie antérieure d'élévation n'est pas, elle, obtenue par l'analyse du reflet de mires, mais par le *scanning* d'une fente lumineuse sur un axe ou sur plusieurs axes (caméra Scheimpflug).

Cette topographie antérieure ne dépend pas du film lacrymal (fig. 4), elle est donc plus fiable sur des cornées pathologiques et devrait donner plus

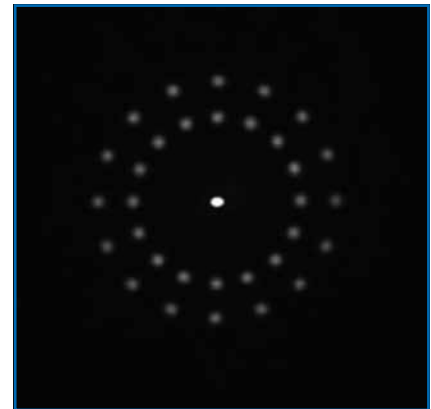


FIG. 3.

d'informations sur l'extrême centre de la cornée. En pratique, elle n'est pas aujourd'hui unanimement reconnue comme donnant plus d'informations sur la surface antérieure et est souvent couplée à la topographie Placido au sein du même appareillage de mesure (Orbscan, Sirius, etc.).

2. L'astigmatisme cornéen postérieur

Ce dioptr est d'une puissance beaucoup moins importante en raison de la faible différence d'indices de réfraction entre l'humeur aqueuse et la cornée. Il n'est étudiable que depuis l'apparition des topographies d'élévation. Ces dernières, étant capables de produire des cartes pachymétriques, peuvent, à partir de la topographie antérieure, en déduire des rayons de courbure postérieurs (fig. 5).

Cette face postérieure étant d'une puissance sept fois moindre à la surface antérieure. L'astigmatisme qu'elle porte sera par définition sept fois plus faible à différence de rayon de courbure entre les deux hémiméridiens identique par rapport à la face antérieure.

Son faible gradient et un parallélisme, certes imparfaits, mais indiscutables par rapport à la face antérieure, en font le plus souvent négliger l'impact sur l'astigmatisme cornéen total extrapolé de la face antérieure.

NUMÉRO THÉMATIQUE

Chirurgie de l'astigmatisme : nouveautés

3. L'astigmatisme cristallinien

Il n'est pas, à ce jour, explorable directement. La plupart des praticiens l'ont assimilé à la différence entre l'astigmatisme

total et l'astigmatisme cornéen. Cette extrapolation est probablement largement entachée d'erreurs par la difficulté de quantification exacte de cet astigmatisme cornéen et de l'absence de prise

en compte de l'astigmatisme postérieur. Combien de chirurgiens ont été déçus par la persistance d'un astigmatisme après phaco-exérèse, inexpliqué par nos modes de mesure de l'astigmatisme cornéen.

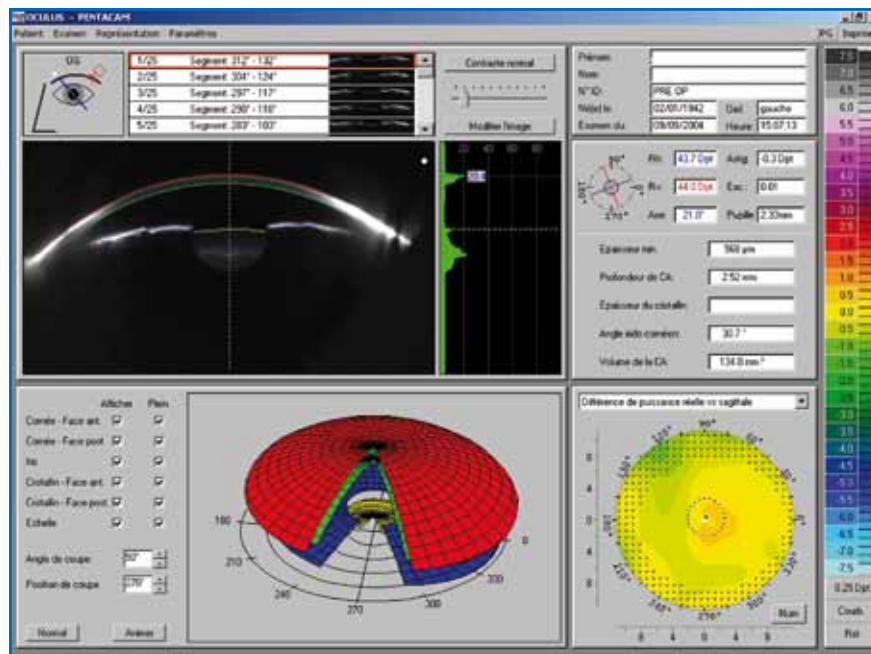


FIG. 4.

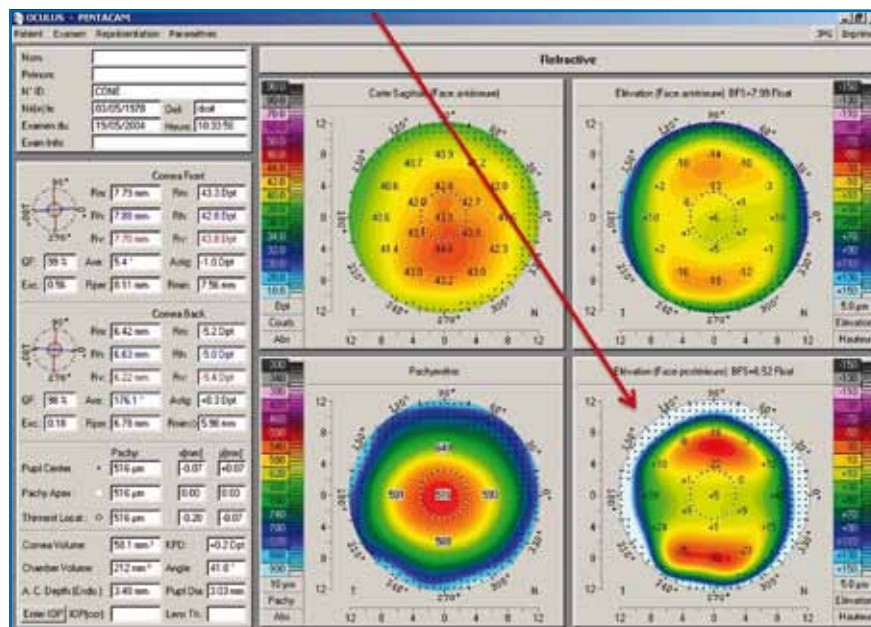


FIG. 5.

4. L'astigmatisme postérieur

Il correspond à la non-sphéricité du pôle postérieur, il n'est pas lui non plus mesurable. Il est probablement plus important sur des yeux à grande longueur axiale et à pôle postérieur déformé (Colobome).

5. L'astigmatisme total

Il est la résultante de tous les astigmatismes précédemment cités. Il est le seul, avec l'astigmatisme cornéen antérieur, à être utilisé en pratique clinique. Il est évalué par la réfractométrie automatique et les techniques de WaveFront et apparentées qui consistent à envoyer des informations lumineuses vers la rétine passant à travers tous les dioptries oculaires et à analyser le retour de ces signaux lumineux.

Cette étude peut se limiter à un seul diamètre comme dans la réfractométrie automatique conventionnelle ou dans le cas du WaveFront à l'étude de toute la surface de réfraction. La réfractométrie automatique est donc au WaveFront ce que le Javal est à la topographie cornéenne.

Problèmes pratiques de mesure d'un astigmatisme régulier en vue d'une correction chirurgicale

Un astigmatisme régulier peut se résumer à une formule sphéro-cylindrique avec une variation régulière de la puissance cornéenne entre deux hémiméridiens séparés de 90 degrés. Plus prosaïquement, dans le cadre d'un bilan préopératoire d'un astigmatisme, certains problèmes doivent être résolus,

quant aux paramètres à utiliser pour la correction des astigmatismes au laser Excimer. En effet, en dehors des traitements personnalisés que nous aborderons ultérieurement, l'astigmatisme devra être défini par une formule sphéro-cylindrique et l'astigmatisme va être défini comme une quantité et un axe.

● Les kératomètres

Ils constituent encore aujourd'hui la base de détermination de ces astigmatismes en raison de leur reproductibilité et du consensus quant aux paramètres mesurés. Ils sont, certes, un peu différents entre les différents modèles mais le chirurgien réfractif devra connaître et avoir l'expérience de son appareil de mesure, il existe un véritable couple technologique kératomètre et laser Excimer.

Par retour d'expérience, le chirurgien devra corréliser la puissance de l'astigmatisme mesuré et la programmation sur le laser utilisé. Le problème majeur est la discordance entre l'astigmatisme kératométrique et l'astigmatisme réfractométrique. Cette discordance peut être de deux types :

>>> Discordance de puissance. La mesure réfractométrique devra être favorisée car, outre le fait que cet astigmatisme représente la réfraction totale, on peut imaginer que la réfraction totale étant une mesure plus centrale que la simple kératométrie, elle appréhende parfois mieux l'astigmatisme cornéen qu'une kératométrie un peu trop périphérique. Ceci est surtout vrai pour les cornées prolatas, la topographie cornéenne serait alors théoriquement capable d'appréhender cet astigmatisme paracentral, mais l'absence de consensus sur les diamètres utilisés et l'hétérogénéité des machines ne permettent pas de l'utiliser en pratique.

>>> Discordance d'axe. Ce problème est le plus délicat à gérer. Il suppose

l'existence de différents astigmatismes portés par différents dioptries. Ces patients ont très souvent en préopératoire une acuité visuelle imparfaite et les résultats de la chirurgie de l'astigmatisme sont souvent plus aléatoires. Sur le plan théorique, l'astigmatisme réfractométrique devrait être retenu ou mieux l'ablation devrait être guidée par un WaveFront mais, en pratique, les résultats cliniques sont souvent médiocres tant il est difficile de compenser un astigmatisme interne par un astigmatisme cornéen antérieur.

En cas d'incohérence, la fiabilité des mesures devra systématiquement être remise en question avec, en particulier, une anamnèse des mesures de l'astigmatisme à partir du dossier d'un patient connu antérieurement.

En particulier, la perte de l'énantiomorphisme (perte de l'image en miroir de la topographie cornéenne) devra faire suspecter une anomalie de position de la tête au moment de la mesure. Bien sûr, il faudra également écarter, dans ce cas-là, une cornée kératocône suspect.

Problèmes pratiques de mesure d'un astigmatisme irrégulier en vue d'une correction chirurgicale

Les méthodes de mesures actuelles apportent une telle précision que, sur le plan théorique, aucun astigmatisme ne correspond strictement à la définition d'un astigmatisme régulier tout comme, avec la sophistication des techniques d'imagerie médicale, aucun être humain ne peut se prévaloir d'avoir deux membres inférieurs de longueur strictement identique.

Un des enjeux majeurs est donc de déterminer à partir de quel degré un astigmatisme devra être considéré comme irrégulier et donc nécessiter une procédure chirurgicale spécifique.

Une définition clinique peut être proposée, à savoir qu'un astigmatisme peut être considéré comme régulier lorsque sa correction lunettes amène un patient à une acuité visuelle de 10/10.

Les cas les plus fréquents d'astigmatisme irrégulier sont :

>>> Les astigmatismes asymétriques.

Ils sont le plus souvent dus à une excéntration du point de fixation par rapport au centre de la pupille (**fig. 6**) et sont donc plus fréquents chez l'hypermétrope. La prise en considération de cet angle kappa dans le centrage d'un laser où l'utilisation du *topolink* ou d'un *aberrolink* permet de compenser cette anomalie de fixation lorsqu'elle a une incidence clinique.

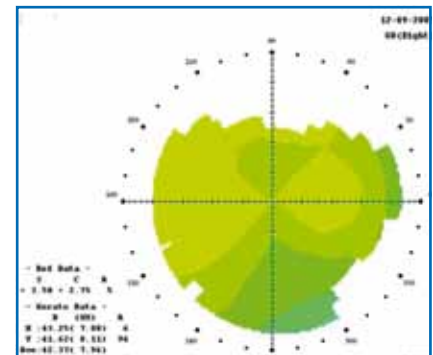


FIG. 6.

>>> Les astigmatismes post-chirurgicaux et post-traumatiques.

Ils sont essentiellement constitués par les décentrement de photoablation, les inhomogénéités de cette dernière et les diverses ulcérations cornéennes et plaies cornéennes. Elles sont du ressort des photoablations personnalisées, en général, à partir de la topographie cornéenne.

Les différents types de photoablation

Ces dernières dépendent du type d'astigmatisme à corriger.

NUMÉRO THÉMATIQUE

Chirurgie de l'astigmatisme : nouveautés

1. Astigmatisme myopique simple : exemple (-2 0°)

La photoablation devra aplatir un axe en laissant l'autre rayon de courbure inchangé. Une photoablation "en bande" est réalisée dans l'axe cornéen le plus plat (**fig. 7**). Cette photoablation ne peut être réalisée que par des *flyings spots* ou équivalents, les autres *delivery systems* vont automatiquement aplatir le contre-axe et devront pratiquer une photoablation complémentaire pour compenser ce *coupling effect*.

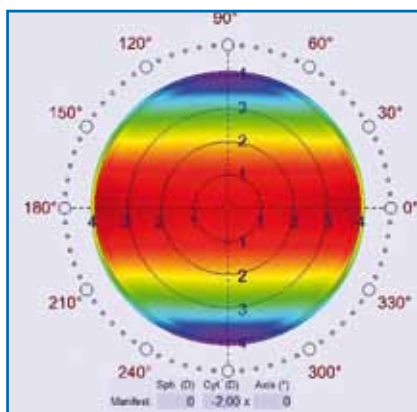


FIG. 7.

2. Astigmatisme myopique composé : exemple -3 (-2 0°)

Il faudra aplatir les deux axes dans des proportions variables. Deux types de procédures par les lasers selon la plate-forme :

>>> Une photoablation elliptique (**fig. 8**) grand axe dans l'axe le plus plat.

>>> Une photoablation séquentielle composée par la sommation d'un traitement myopique simple en bande et d'un traitement myopique sphérique pur.

3. Astigmatisme hypermétropique simple : exemple (90° +2)

Il faut alors bomber un axe sans avoir d'incidence sur le contre-axe.

La photoablation se fait "en aile de papillon" (**fig. 9**) sur l'axe le plus plat. Cette photoablation pure n'est là aussi réalisable que par des *flyings spots* de petits diamètres.

4. Astigmatisme hypermétropique composé : exemple +3 (+2 90°)

Il faut alors bomber un axe plus que le contre-axe. La photoablation en couronne sera alors plus profonde sur l'axe le plus plat (**fig. 10**).

5. Astigmatisme mixte : exemple +1 (-2 0°)

La photoablation est alors plus complexe devant bomber un axe et aplatir le contre-axe. Les lasers modernes gèrent seuls ce type de photoablation (**fig. 11**), certains chirurgiens pré-

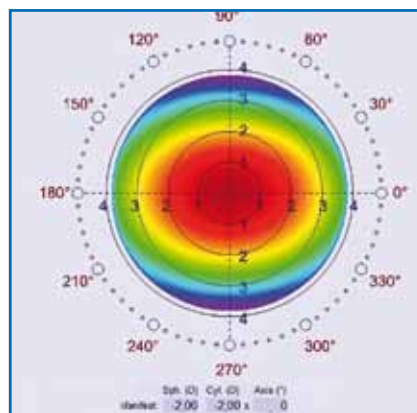


FIG. 8.

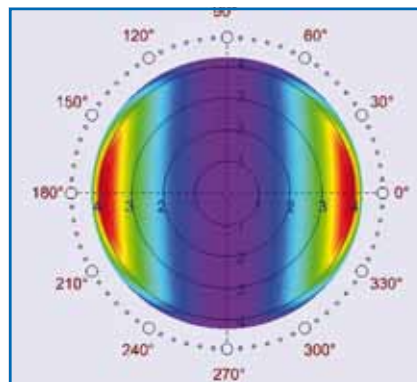


FIG. 9.

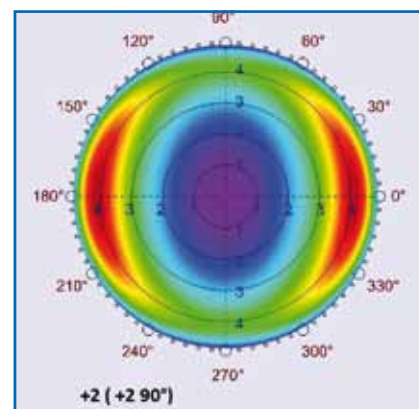


FIG. 10.

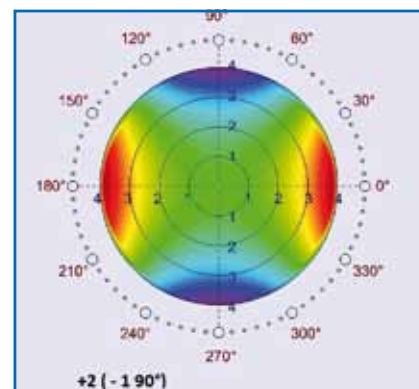


FIG. 11.

fèrent sommer une photoablation de 2 cylindres de signes opposés (cylindres croisés).

Le traitement des astigmatismes complexes

Nous sommes dans le cadre du traitement des astigmatismes irréguliers qu'ils soient congénitaux ou post-traumatiques ou post-chirurgicaux.

Ils sont, en général, portés par la cornée, les astigmatismes internes importants étant en général liés à une pathologie cristallinienne comme, par exemple, dans le cadre d'un syndrome de Marfan et leur traitement impliquant un traitement de la cause (phaco-exérèse).

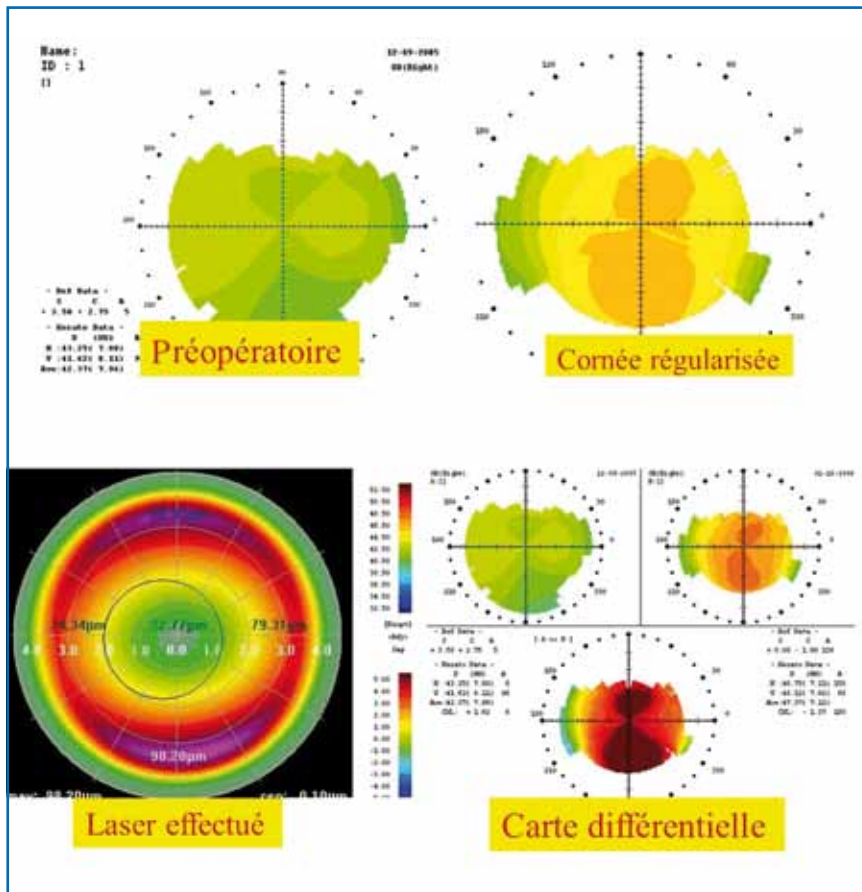


FIG. 12 : Régularisation d'une cornée asymétrique congénitale.

Les astigmatismes cornéens irréguliers font appels au *topolink* qui régularisera la cornée (fig. 12), certains lasers particulièrement perfectionnés permettant d'effacer sélectivement certaines décompositions des aberrations d'origine cornéenne en respectant d'autres. De nombreuses aberrations de hauts degrés participent à l'astigmatisme total (coma, tréfoil, etc.).

Les astigmatismes totaux peuvent également être corrigés en utilisant un *link* aberrométrique. Il faudra alors s'assurer de la fiabilité des mesures qui peuvent être fluctuantes et vérifier que l'anomalie interne ne soit pas un jour corrigée par une autre chirurgie (phaco-exérèse), ce qui engendrerait à nouveau un astigmatisme.

Compensation de la cyclotorsion

La réalisation de la photoablation sur l'axe précis de l'astigmatisme est fondamentale. En effet, une erreur de 15° de l'axe de la photoablation peut induire une perte de 50 % de la correction cylindrique.

Les types de précautions peuvent être prises :

>>> **Le marquage en préopératoire** d'une position de référence le plus souvent l'axe de 0° ou de 90° lequel sera maintenu en position "manuellement" pendant la photoablation en référence à un oculaire s'affichant dans le microscope ou une croix lumineuse

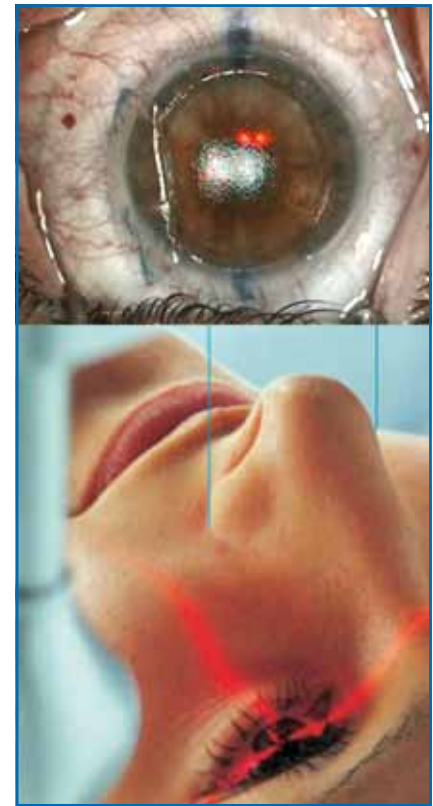


FIG. 13 : Marquage préopératoire de l'axe et maintien de l'alignement peropératoire.

matérialisant les méridiens verticaux et horizontaux (fig. 13).

>>> **L'utilisation d'eye tracker rotatifs** pouvant être actifs ou passifs. Dans tous les cas, une image de référence est prise en préopératoire par un appareil de couplage pouvant être selon les plateformes un topographe ou un WaveFront. Certains points caractéristiques qu'ils soient iriens ou limbiques sont sélectionnés par le système informatique et le *tracker* du laser va reconnaître ces points et déterminer ainsi la position de l'œil sous le laser. Le *tracking* peut alors être :

- **Passif** : la position de l'œil est repérée sous le laser avant la photoablation ; l'éventuelle erreur d'axe est compensée par réinitialisation d'une nouvelle position de référence. Aucune compensation n'est ensuite réalisée pendant la photoablation, l'œil étant censé ne plus

NUMÉRO THÉMATIQUE

Chirurgie de l'astigmatisme : nouveautés

“tourner” pendant la photoablation. Ce système compense essentiellement les erreurs d’axe liées à une mauvaise position de la tête sous le laser lors de l’installation et à la cyclotorsion liée au passage de la position debout à la position couchée.

– **Actif**: une fois la position de référence “recalée”, la position de l’œil va être *trackée* en rotation et compensée pendant toute la photoablation.

Certains *eye tracker*, particulièrement sophistiqués, tels que ceux incorporés dans le laser Schwind, vont compenser des dimensions supplémentaires (**fig. 14**), à savoir :

- le défocus, c'est-à-dire les erreurs de focalisations ;
- le *rolling* qui est l'erreur de parallaxe, liée au regard vers le haut ou le bas, par exemple.

Tous ces systèmes perfectionnés fiabilisent les photoablations en les rendant plus reproductibles et moins opérateurs dépendants. La performance de ces systèmes est très étroitement dépendante des appareils de mesure préopératoires et restent encore clairement perfectibles sur certains lasers.

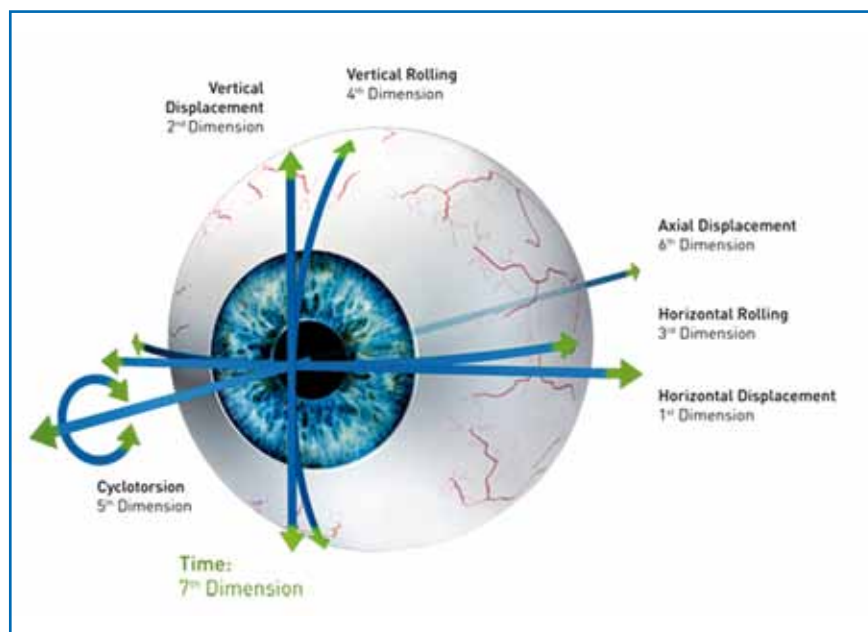


FIG. 14.

Conclusion

Le traitement chirurgical par phot-ablation n'est plus depuis longtemps le parent pauvre de la chirurgie réfractive, une bonne compréhension de leur pathogénie nous permet aujourd'hui

d'avoir des résultats très comparables
aux autres amétropies.

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

réalités

Je m'abonne à
réalités Ophtalmologiques

Médecin

- 1 an : 60 €
- 2 ans : 95 €

Étudiant/Interne ☐ 1 an : 50 €
 (joindre un justificatif) ☐ 2 ans : 70 €

Étranger (DOM-TOM compris)

1 an	: 80 €
2 ans	: 120 €

BULLETIN À RETOURNER À :
PERFORMANCES MÉDICALES
91, AVENUE DE LA RÉPUBLIQUE
75011 PARIS

*Déductible des
frais professionnels*

Bulletin d'abonnement

Nom

Prénom

Adresse

—
Ville

E-mail

Code postal

Règlement ☒ Par chèque (à l'ordre de Performances Médicales)

Signature

■ **Par carte bancaire** (sauf American Express)

carte n° _____

cryptogramme [][] date d'expiration [][][]