



## Équipement du myope presbyte par orthokératologie

Richard Luscan

L'équipement par orthokératologie du myope presbyte est rendu possible du fait de la multifocalité induite par la méthode. Dans le cas d'un patient qui présente un astigmatisme interne, quelques mises au point sont toutefois nécessaires, notamment chez le sujet plus âgé en raison de la croissance cristallinienne et la rigidification corticale progressive. Grâce aux appareils OCT de segment antérieur et d'UBM, il est désormais possible de revenir sur les mécanismes de l'accommodation.

Pour être efficace, cet équipement nécessite le retour à un bon myosis de fixation dont le diamètre minimal doit être inférieur ou égal à 3,5 mm [1,2]. Ce diamètre sera en effet réduit à moins de 3 mm par la correction du grandissement de l'image cornéenne (14%) et par l'effet Stiles-Crawford permettant, par l'approximation de Gauss, un gain dynamique de profondeur de champ d'environ 3 dioptries [1-3]. L'orthokératologie peut ainsi créer une épargne accommodative non ciliaire, utilisable pour la presbytie, annulant aussi le retard accommodatif classique du myope [accommodative lag] [3].

La démonstration en sera faite par l'équipement en Menicon Z Night sphérique, dès 2012, d'un patient âgé de 45 ans présentant une myopie OD de -3,75 et OG -5,25 et toujours porteur du même équipement renouvelé en 2018 à désormais 50 ans. Les cartes topographiques soustractives permettent de retrouver la parfaite obtention du résultat réfractif avec la correction d'un astigmatisme cornéen étonnamment non exprimé par la réfraction du patient. Soit une acuité de 12/10 et P1,5 en vision binoculaire. On notera également le retour du jeu pupillaire adjacent à la pente interne de l'anneau avec un diamètre pupillaire actuel de 3,12 à 3,15 mm, soit une pupille réelle de 2,76 mm environ (figures 1 à 3).

L'analyse fine de ce cas nécessite quelques mises au point. Les topographies initiales de ce patient révèlent en effet un astigmatisme direct de la face cornéenne antérieure, dont le calcul logiciel Easyfit de la lentille tient parfaitement compte en proposant une lentille Z Night torique. Néanmoins, la mesure de la réfraction subjective et objective (réfracteur automatique) ne la retrouve pas : OD -3,75 et OG -5,25, soit une correction purement sphérique bilatérale. Ce que la plupart des logiciels d'adaptation en orthokératologie signalent alors comme un astigmatisme interne lors des calculs.

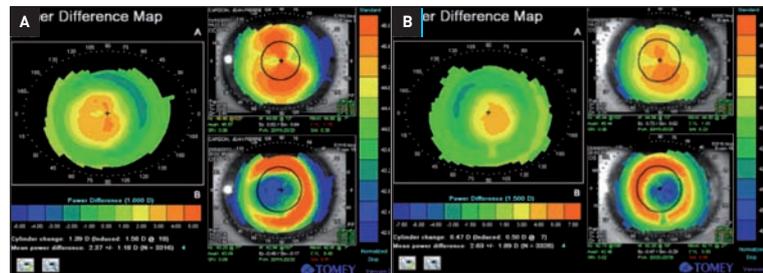


Figure 1. Cartes topographiques différentielles. A. Œil droit ; B. Œil gauche.

|           | OD                   | OG                   |
|-----------|----------------------|----------------------|
| Marque    | MENICON Z NIGHT T    | MENICON Z NIGHT T    |
| Modèle    | TG58/57 HT 0,53/0,59 | TG58/57 HT 0,59/0,61 |
| Diamètre  | 10,20                | 10,20                |
| Rayon     | 7,95                 | 8,80                 |
| Puissance | verre neutre         | verre neutre         |

Figure 2. Prescription.



Figure 3. État actuel au 13/01/2018.

Garches

## Astigmatisme interne

Cette notion d'astigmatisme interne reste notoirement assez floue et nous allons tenter d'en rappeler les composantes.

1- La face cornéenne postérieure peu ou pas évaluée par la plupart des topographes utilisant la technique de Placido reste capable de compenser, au moins partiellement, la toricité antérieure. Ces appareils analysent principalement la réflexion antérieure sur le film lacrymal, lui-même régulièrement étalé sur la face antérieure de la cornée après clignement palpébral.

2- L'astigmatisme dit interne présente donc également une composante cristallinienne qui, par définition, s'avère variable, voire même labile, ou dépendante du potentiel accommodatif résiduel et donc aussi de l'âge. Les appareils d'OCT de segment antérieur et d'UBM désormais capables d'évaluer l'origine et les modifications des cristalloïdes antérieures et postérieures nous éclairent sur ces points.

À ce stade, il nous faut revenir sur les mécanismes de l'accommodation et l'éclairage nouveau qu'en ont donné les études utilisant ces appareils (*figures 4 et 5*) [4].

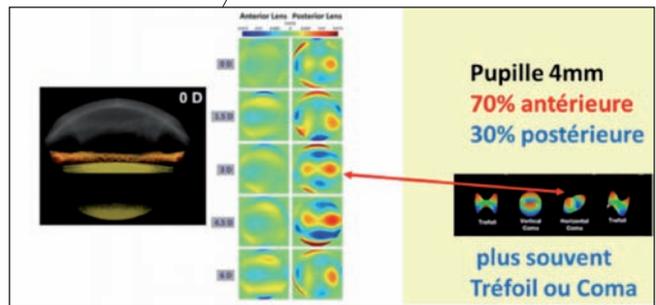
En effet, si la théorie d'Helmholtz s'avère globalement confirmée, le relâchement zonulaire après la contraction ciliaire n'intéresse que la zonule antérieure, et la contraction antéro-interne accommodative du muscle de Rouget-Müller induit aussi une traction antéro-externe de la cristalloïde postérieure par la zonule postérieure (*figure 5*).

Il en résulte donc un plan de traction cristalloïde postérieure en portion sphérique à circonférence globalement circulaire, qui moulera plus ou moins transitoirement le cortex équatorial cristallinien assez mou sur un noyau central sensiblement plus élastique et moins compliant.

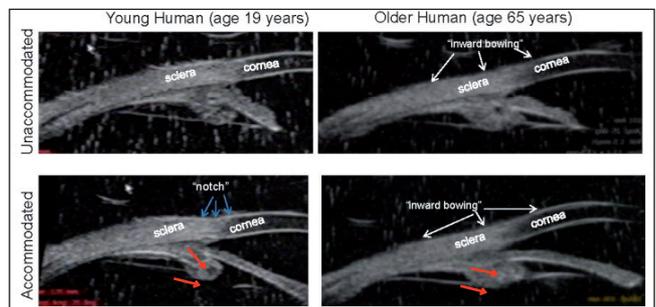
Cette action occasionne donc la formation de plis pouvant constituer ou renforcer des aberrations de type Coma ou Tréfoil, conditionnant ainsi une réfraction additionnelle accommodative astigmatique ou sphérique respectivement (*figure 4*).

Il faut comprendre ainsi que ces astigmatismes, inconstants et variables chez le sujet jeune, se fixent et se renforcent avec l'âge, par la croissance cristallinienne et la rigidification corticale progressive.

Mais aussi par la sur-accommodation requise par nos usages modernes abusant de l'éclairage artificiel et d'écrans mobiles rétroéclairés. En effet, la croissance cristallinienne sous-corticale étant d'environ 20 $\mu$ /an, et nos cristallins ne se trouvant que rarement en relâchement et en désaccommodation complète, l'épithélium germinatif aura donc plutôt tendance à renforcer et aggraver les plis qu'à les annuler.



**Figure 4.** Modifications réfractives cristalloïdes antérieures et postérieures pendant l'accommodation de 0 à 6 dioptries (Ant : sphérique et Post : astigmatisme inverse).



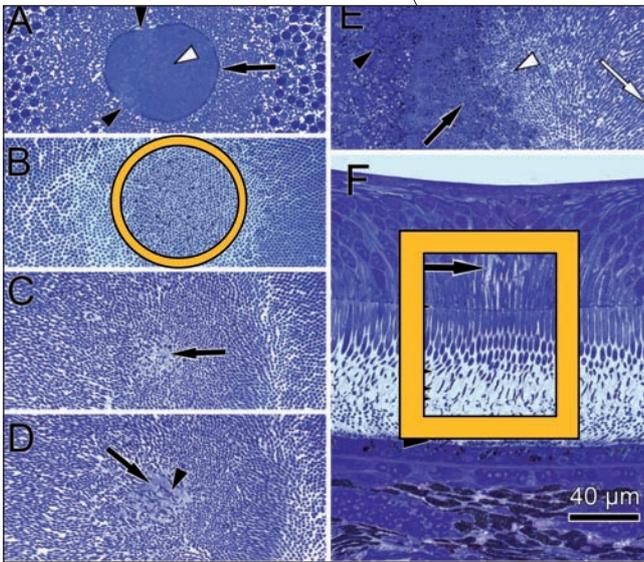
**Figure 5.** Sens du mouvement antéro-interne du corps ciliaire à l'accommodation (flèches rouges) ; noter aussi l'aplatissement limbique induit (flèches bleues) d'après [4].

## Effet Stiles-Crawford

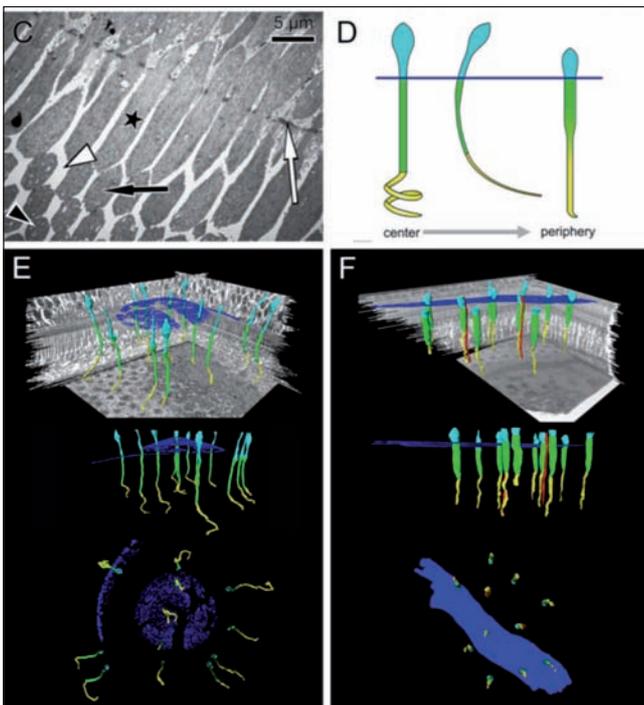
Si chacun sait que la lumière comporte 2 composantes physiques (une corpusculaire, photonique, et une autre ondulatoire, quantique), on remarquera que l'œil et la fonction visuelle font tout pour éliminer cette dernière et ses conséquences perceptives liées à sa genèse potentielle de diffractions par interférences. L'une de ses armes est l'effet Stiles-Crawford ; les 2 autres sont le myosis de fixation focalisateur du faisceau lumineux incident et l'intégration mentale d'environ 240 millisecondes, synthèse des 7 à 8 fixations de 3/100 de seconde dont elle ne garde sans doute que les plus précises en netteté et qualité.

Une explication plus claire de ce premier effet découle d'une publication récente de Tschulakow et de l'équipe de Tübingen du Pr U. Schraermeyer (*figures 6 à 8*) [5]. Reprenant une recherche anatomique fondamentale sur la structure de la fovéa chez l'homme et les primates, ces scientifiques ont découvert une similarité structurale de la fovéola avec celle d'une fibre optique. Leurs analyses ont également révélé la forme spiralée des articles externes des cônes centraux, contrastant avec celle, curviligne, des extrafovéaux (*figure 7*). Enfin, elles retrouvent la présence d'un méplat sur les cellules de Müller en couronne périfovéale, capable d'occasionner une déviation réfléctive des photons incidents, non strictement orthogonaux (*figure 8 A,B,F*).

# Contactologie

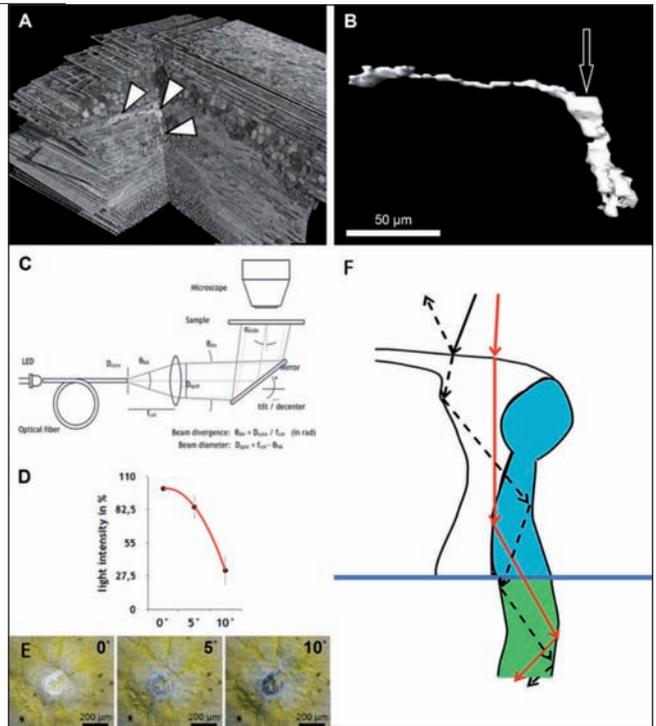


**Figure 6.** Organisation fovéale des cellules de Müller et des cônes centraux similaire à celle de fibres optiques (cercle et rectangle jaunes) ; image d'après [5].



**Figure 7.** Cônes ; corps cellulaire (bleu ciel), ellipsoïde (vert), article externe (jaune), plan de la limitante externe (bleu sombre). Noter l'aspect courbe des cônes paracentraux révélés par la section semi-fine en dehors des 100µ centraux (C étoile noire) (D) ; image d'après [5].

Donc, si l'on considère la transmission lumineuse directement perpendiculaire ou orthogonale à la fovéola (donc à 0°) comme étant de 100%, une inclinaison de l'incidence de celle-ci sur un angle de 5° la diminuera de (15,3% + 9,6%), soit d'environ 25%, et pour 10° de (67,8% + 11,3%), soit de près de 80% [5]. Il faut donc comprendre que 80%



**Figure 8.** A et B : aspect des cellules de Müller périfovéales (100µ) avec méplat réfléchissant et déviant la lumière. D et E : baisse de la transmission lumineuse suivant l'angle d'incidence. F : transmission lumineuse orthogonale couplée, cône et cellule de Müller dans les 100µ centraux : flèches rouges et traits d'union noirs (effet fibre optique-like) ; image d'après [5].

de la lumière déviée de plus de 10 degrés de l'orthogonalité ne sont donc pas perçus.

On rappellera ici, comme évoqué plus haut, que cet effet physiologique biophysique permet, couplé à l'approximation de Gauss dont il renforce ainsi la pertinence, d'éliminer une majeure partie des aberrations optiques diffractives et leurs halos. Notons aussi que cet effet sera d'autant plus efficace que le jeu pupillaire naturel sera présent ou restauré, ce que nous détaillerons dans le paragraphe suivant.

## Retour ou maintien du jeu pupillaire normal

Le jeu pupillaire normal est totalement dépendant de l'éclairement rétinien et sous contrôle ortho et parasympathique, dans l'action classique du réflexe photomoteur (RPM) et de celle du réflexe myotique de fixation.

La myopie établie aboutit ainsi à une viciation du parcours accommodatif et de son myosis de fixation habituel, surtout en vision lointaine, réalisant la classique pseudocycloplégie avec retard accommodatif (ou « *accommodative lag* » des Anglo-Saxons) [Multifocalité, R. Luscan, CDO 215].

La restauration orthokératologique de l'emmétropie augmentera significativement l'éclairement rétinien pour permettre le retour du jeu pupillaire normal avec néomyosis de fixation (figure 9).

Pour l'illustrer, un modèle artificiel d'œil adapté par orthokératologie a été réalisé avec l'aide, d'une part, d'un verre dont l'apex présente un demi-tore similaire à celui obtenu par l'adaptation orthokératologique, puis un verre d'examen de 20 dioptries diaphragmé lui a été ajouté pour simuler ainsi la focalisation cristallinienne. Deux photos (une de chaque état) ont ensuite été réalisées pour illustrer les différentes focalisations après éclairage par une simple lampe LED (lumière du jour).

La première révèle une focalisation en anneau du demi-tore convergent centrée d'une zone plus diffuse correspondant à la focalisation de l'apex cornéen (figure 9A). Sur la deuxième, la focalisation additionnelle par la lentille faisant office de cristallin augmente clairement la luminosité centrale. Elle la fait fusionner avec celle du demi-tore convergent, elle-même rétrécie, élargissant ainsi le diamètre de l'éclaircissement maximal rétinien focalisé (figures 9B et 10).

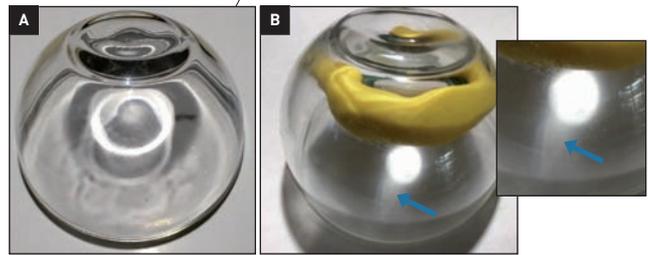
L'augmentation de l'éclaircissement rétinien obtenu remplace l'œil dans son tonus parasympathique naturel par le biais du RPM et de son contrôle par les cellules à mélanopsine, rétrécissant ainsi couramment le diamètre pupillaire de 1 mm ou plus à la fixation.

## Orthokératologie et multifocalité

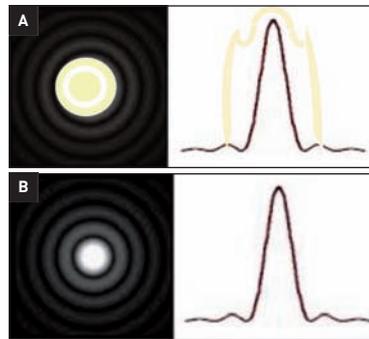
L'orthokératologie induit naturellement une multifocalité assez analogue à celle que l'on retrouve sur les lentilles multifocales à addition périphérique annulaire, ou encore sur certains implants multifocaux dont la correction centrale reste destinée à la vision lointaine. L'anneau de demi-tore myopisant se révèle ainsi couramment plus puissant de 12 à 15 dioptries par rapport à la puissance cornéenne apicale qui, par définition, sera proche de l'emmétropie après adaptation. Respectivement de 55-43, soit 12 dioptries OD, et de 55-39, soit 16 dioptries OG, sur le cas présenté. Donc sa focalisation complémentaire et interférentielle augmentera la profondeur de champ perçue net si elle se fait orthogonalement dans les 100  $\mu$  fovéaux à structure fibre-optique like privilégiée.

## Discussion

Bien que la multifocalité induite par l'orthokératologie soit réelle et importante (voir paragraphe précédent), il est légitime de se demander si son efficacité est réellement liée à ses particularités optiques ou à l'importante augmentation de l'éclaircissement rétinien qu'elle provoque. En effet, celui-ci, par une nouvelle dynamisation du RPM, réduira suffisamment le diamètre pupillaire pour une bonne mise en jeu de l'effet Stiles-Crawford. Si ce dernier avoisine les 3 mm, il permettra l'approximation de Gauss. La synergie biophysique, puis finalement physiologique, obtenue de ces différents effets restaurera ainsi une profondeur de champ d'au moins 3 dioptries, sous condition d'un éclairage suffisant [1,2].



**Figure 9.** A. Illustration de la nouvelle focalisation lumineuse en anneau produite par une cornée modifiée par ortho-K. B. Focalisation complète avec verre diaphragmé de 20 dioptries simulant l'œil complet après l'adaptation en ortho-K. Noter l'aspect fusionné des focales cornéenne et cristallinienne. Diffractions concentriques des focalisations multifocales (flèche bleue). Images R. Luscan.



**Figure 10.** A. Image schématique de la tache d'Airy augmentée et intensifiée après ortho-K (écru) ; image R. Luscan. B. Image classique de la tache d'Airy sans ortho-K (emmétrope) ; image airylab.fr.

## Conclusion

Comme démontré par le patient présenté plus haut, l'adaptation orthokératologique des myopes presbytes est donc possible, dans la limite de leurs indications et des possibilités techniques. La présence d'un astigmatisme possiblement interne n'est pas un frein absolu en deçà de 1 dioptrie. Le retour à l'emmétropie œil nu nécessite la présence d'un anneau de demi-tore myopisant bien situé après l'adaptation. Celui-ci, garant de la multifocalité induite par la méthode, restaurera un parcours accommodatif naturel peu ciliaire en renforçant les capacités physiologiques biophysiques de l'œil grâce à une augmentation notable de l'éclaircissement rétinien.

## Références bibliographiques

- [1] Hickenbotham A, Tiruveedhula P, Roorda A. Comparison of spherical aberration and small-pupil profiles in improving depth of focus for presbyopic corrections. *J Cataract Refract Surg.* 2012;38(12):2071-9.
- [2] Zheleznyak L, Jung H, Yoon G. Impact of pupil transmission apodization on presbyopic through-focus visual performance with spherical aberration. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2014;55(1):70-7.
- [3] Ren Q, Yue H, Zhou Q. Effects of orthokeratology lenses on the magnitude of accommodative lag and accommodative convergence/accommodation. *Zhong Nan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban.* 2016;41(2):169-73.
- [4] Croft MA, McDonald JP, Katz A *et al.* Extralenticular and lenticular aspects of accommodation and presbyopia in human versus monkey eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2013;54(7):5035-48;5049-58.
- [5] Tschulakow AV, Oltrup T, Bende T *et al.* The anatomy of the foveola reinvestigated. *PeerJ.* 2018;12;6:e4482.