

Technologie READ™ pour la correction de la presbytie en LASIK chez les hypermétropes et emmétropes presbytes

Damien Gatinel

Hôpital Fondation Rothschild, Université Internationale Abulcasis des Sciences de Santé

Introduction

La presbytie est une conséquence inévitable du vieillissement oculaire, caractérisée par une diminution progressive de la capacité d'accommodation. Chez les patients hypermétropes et emmétropes, elle provoque une dépendance croissante aux verres correcteurs. La technologie **READ™ (Refractive Enhanced Adjusted Distance)** constitue une approche innovante de correction laser de la presbytie en LASIK, qui repose sur une variation de l'asphéricité cornéenne afin d'optimiser la profondeur de champ de l'œil non dominant pour englober la vision de près et la vision intermédiaire. Cette solution, conçue en collaboration entre l'auteur de cet article et les laboratoires **Alcon/Wavelight**, est intégrée comme option de correction dans le menu de paramétrage du laser excimer **EX500**, offrant ainsi une alternative optimisée pour la prise en charge de la presbytie (**Figure 1**).

Champ d'application de READ™

Une règle cardinale en chirurgie réfractive réside dans le fait que la satisfaction du patient ne découle pas uniquement d'une performance visuelle absolue, mais aussi du gain perçu par rapport à son état initial (préopératoire). L'intervention doit fournir une amélioration tangible, adaptée aux attentes et aux habitudes visuelles propres à chaque individu. Bien qu'il subsiste naturellement des exceptions dans toute pratique clinique, les solutions multifocales suscitent généralement moins d'intérêt chez les myopes devenus presbytes, car ceux-ci bénéficient d'une acuité visuelle de près non corrigée satisfaisante, tout en jouissant d'une vision de loin irréprochable en correction lunettes ou lentilles. Dès lors, un

compromis optique multifocal risque d'être perçu comme une altération plutôt qu'une amélioration chez les myopes : il dégrade la qualité d'image en vision de près non corrigée à laquelle ils sont habitués, et réduit la qualité visuelle de loin. Dans ce contexte, la monovision constitue une alternative séduisante, d'autant que nombre de myopes presbytes y ont déjà eu recours en lentilles de contact.

Chez les emmétropes et les hypermétropes devenus presbytes, l'expérience visuelle obéit à une autre dynamique. N'ayant jamais bénéficié d'une vision de près confortable sans effort accommodatif, ces patients perçoivent différemment les effets du vieillissement visuel et ne peuvent compenser leur défaut d'accommodation en retirant une correction de loin. De plus, les hypermétropes légers évoluent souvent sans leur correction et s'accommodent de fait d'une



Figure 1 : Option de traitement **READ™** intégrée au laser excimer **Wavelight EX500**. Ce mode de correction, développé en collaboration avec **Alcon/Wavelight**, est disponible dans le menu de paramétrage du laser, permettant une prise en charge optimisée de la presbytie en modulant le profil réfractif cornéen.

perception légèrement floue de leur environnement. Pour éviter de susciter une déception liée à une gêne en vision de loin, il est important de préserver la netteté de l'œil directeur. Avec la technologie READ™, la multifocalité est exclusivement induite sur l'œil non dominant. Après l'intervention, les patients bénéficient d'une amélioration significative de la vision de loin du côté de l'œil dominant, tandis que l'œil non dominant leur offre une meilleure acuité en vision de près. Cette complémentarité binoculaire représente un gain net par rapport à vision non corrigée, inconfortable et limitée de près comme de loin. La technologie READ™ s'adresse ainsi aux patients emmétropes ou hypermétropes devenus presbytes, en leur offrant une solution qui restaure une vision binoculaire fonctionnelle à toutes les distances et leur permet ainsi d'accéder à un équilibre visuel optimisé, améliorant la qualité de vie et réduisant la dépendance aux aides optiques.

Il peut être intéressant de réaliser un test préopératoire en lentilles de contact simulant une monovision classique ; cette évaluation permet d'identifier d'éventuelles incompatibilités liées à la dominance oculaire, susceptibles de compromettre l'efficacité de la correction différenciée. Par exemple, une dominance excessive de l'œil directeur pourrait empêcher le patient de tirer pleinement parti de la vision de près offerte par un œil non dominant pourtant corrigé sur le plan optique.

Principe de la technologie READ™

La correction de l'œil dominant est effectuée sans modification intentionnelle de l'asphéricité, et vise l'emmétropie. Sur l'œil non dominant, READ™ repose sur l'introduction d'une aberration sphérique négative associée à une correction additionnelle pour le près (« READ-add ») — sa valeur s'ajoute à la correction nécessaire pour le loin. On induit une myopie « partielle » de l'œil non dominant, tout en maintenant ou restaurant l'emmétropie sur l'œil dominant. Cette approche améliore l'acuité visuelle de près et intermédiaire de l'œil non dominant tout en préservant de ce même côté une vision de loin plus performante qu'avec une simple correction de monovision. La perception visuelle est ainsi répartie de manière plus harmonieuse entre les deux yeux.

Une application optimisée des principes réfractifs

L'originalité de READ™ ne réside pas tant dans les principes optiques mis en jeu, qui restent communs à toutes les solutions de photoablation fondées sur une modulation de l'aberration sphérique négative (ASN), mais bien dans la manière dont ces principes sont appliqués de manière transparente et optimisée. READ™ se distingue par une approche qui offre à l'utilisateur un contrôle précis du trai-

tement, facilitant ainsi les ajustements ultérieurs au fil de l'expérience acquise. Cette philosophie s'éloigne des artifices marketing et des appellations floues souvent employées pour masquer la réalité technique, en mettant en avant une solution rigoureuse, explicable et reproductible.

Examinons à présent comment l'aberration sphérique négative contribue à l'extension de la profondeur de champ utile de l'œil opéré.

Précisions techniques sur l'aberration sphérique négative et la profondeur de champ utile

Il est important de dissiper une confusion souvent constatée entre l'induction d'un profil cornéen hyperprolate et son effet optique supposé. L'hyperprolatisation est une stratégie qui ne peut être bénéfique que pour améliorer l'acuité visuelle non corrigée de loin d'un œil myope. Elle ne constitue en rien une solution pour restaurer la vision de près non corrigée d'un presbyte emmétrope ou hypermétrope : lorsqu'il est appliqué pour un œil emmétrope, l'aplatissement périphérique de la cornée induit par l'hyperprolatisation provoque

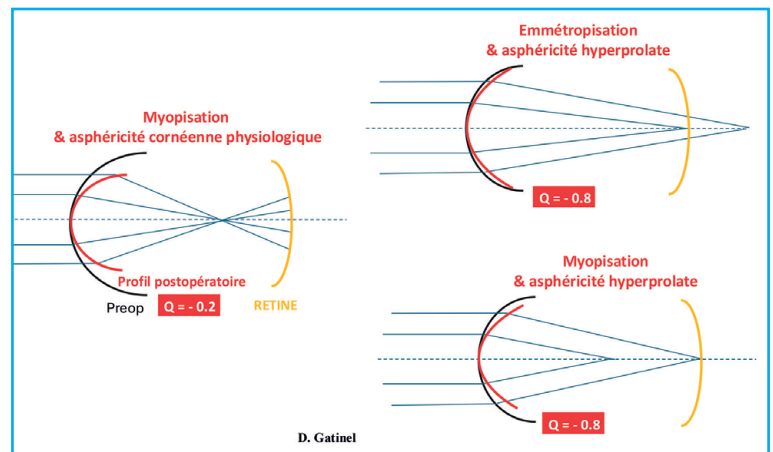


Figure 2 : Stratégies de correction du **presbytie-LASIK** appliquées à l'œil non dominant.

Ces diagrammes illustrent différentes approches de correction basées sur la modulation de l'asphéricité cornéenne et de la myopisation.

À gauche : La **monovision franche** repose sur une myopisation totale sans modification intentionnelle de l'asphéricité cornéenne. Ce choix permet une vision de près efficace, mais compromet significativement la qualité de la vision de loin non corrigée.

En haut à droite : L'induction d'un **profil hyperprolate** sans ajouter de myopisation centrale (paraxiale) ne génère pas une profondeur de champ fonctionnelle. En effet, bien que l'augmentation de l'asphéricité puisse réduire la courbure de la cornée en périphérie, elle ne permet pas, à elle seule, d'optimiser la vision intermédiaire et de près puisqu'en dehors de la région paracentrale, les rayons lumineux sont défocalisés en arrière du plan rétinien.

En bas à droite : Pour obtenir un bénéfice réel en vision de près sans sacrifier exagérément la vision de loin, il est essentiel de **combinaison une myopisation centrale avec une induction d'aberration sphérique négative (ASN)**. L'ASN joue un rôle clé en régulant la répartition de la vergence dans la pupille : elle réduit progressivement la myopisation en périphérie, ce qui améliore la vision de loin par rapport à la monovision franche, tout en conservant une profondeur de champ utile.

une hypermétropisation. Cette modification réfractive n'apporte aucun bénéfice dans ce contexte, puisque toute défocalisation en arrière du plan rétinien n'induit aucune profondeur de champ utile. En revanche, pour un œil myope, une asphérisation négative marquée permet de réduire l'excès de focalisation des rayons non centraux par la périphérie cornéenne, et d'augmenter la profondeur de champ utile (**Figure 2**). L'intérêt de la technologie READ™ repose donc sur l'application rigoureuse et contrôlée de cette modulation réfractive, maximisant ses bénéfices pour la correction de la presbytie sans induire d'effets indésirables superflus.

Une compréhension plus approfondie des effets réfractifs induits par l'aberration sphérique négative nécessite une approche technique plus rigoureuse. Cette aberration peut être formulée selon différentes représentations mathématiques, mais elle est le plus couramment exprimée à l'aide des polynômes de Zernike, qui constituent une base ortho-normée adaptée à la description des irrégularités optiques – même si, comme nous allons le voir, celle-ci n'est pas forcément idéale pour une distinction claire entre le bas et le haut degré telle qu'on l'appréhende en clinique ophtalmologique.

Contrairement à l'idée reçue selon laquelle les aberrations de haut degré sont, par définition, non corrigibles par une correction sphéro-cylindrique classique, certains modes d'ordre élevé au sein de la décomposition de Zernike échappent à cette classification. Ils présentent en effet une superposition de composantes appartenant à la fois aux aberrations de bas et de haut degré, qui leur confère une influence mixte sur la réfraction globale de l'œil. Cette interaction complexe peut moduler la profondeur de champ et la qualité optique perçue, en fonction de la structure pupillaire et des conditions d'éclairage.

Nous avons vu que, pour induire une profondeur de champ utile, il est impératif d'induire une **myopisation centrale** tout en assurant une dégression progressive périphérique vers l'emmétropie, sans toutefois générer d'hypermétropi-

sation indésirable. Considérée de manière isolée, l'aberration sphérique négative de Zernike revêt un caractère hybride qui implique une myopie centro-pupillaire et une hypermétropie annulaire périphérique, avec une couronne intermédiaire d'emmétropie. La représentation de cette modulation réfractive peut être efficacement illustrée à l'aide d'une **carte de vergence**, représentant de manière plus intuitive les variations dioptriques induites par une aberration sphérique négative de -0,3 microns sur un disque pupillaire de 6 mm (**Figure 3**). Cette carte révèle l'induction d'une myopisation centrale s'atténuant graduellement jusqu'à une légère hypermétropisation en périphérie.

Un tel agencement répond aux exigences d'une multifocalité fonctionnelle utile, sous réserve d'un ajustement précis du gradient de puissances dégressives induit par une stratégie combinant myopisation utile et induction d'aberration sphérique négative contrôlées. Si le profil réfractif sculpte une zone centrale myopisante, la courbure plus en périphérie doit être finement ajustée afin de minimiser l'excès de focalisation, mais sans excès, pour ne pas induire d'hypermétropisation inutile.

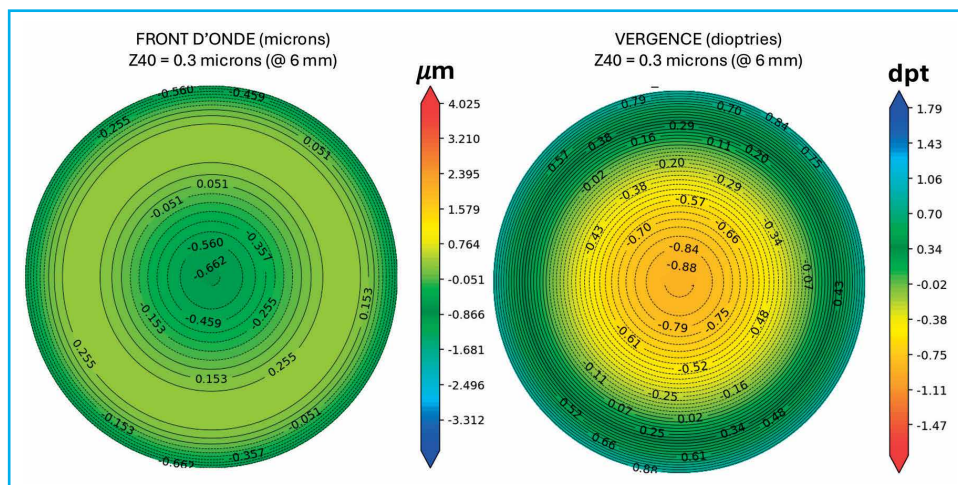


Figure 3 : Représentation du front d'onde et de la vergence associée à une aberration sphérique de Zernike de **-0,3 microns** pour un diamètre pupillaire de **6 mm**.

À gauche, la carte illustre le **front d'onde** correspondant à cette aberration sphérique négative de Zernike. Sa distribution prend la forme caractéristique d'un **profil en sombrero**, traduisant une dépression centrale relative et une élévation périphérique. Toutefois, cette représentation en microns ne permet pas une interprétation immédiate des effets réfractifs perçus par le patient.

À droite, la carte de **vergence (exprimée en dioptries)** traduit l'impact réfractif de cette aberration sphérique. On observe un **gradient continu de puissance réfractive**, allant d'une **myopisation centrale (-0,88 D)** à une **hypermétropisation progressive en périphérie (+0,88 D)**.

L'effet global de cette **aberration sphérique négative (ASN)** est donc équivalent à une **dégression de puissance optique du centre vers les bords de la pupille**. Une aberration sphérique négative de **-0,3 microns** sur une pupille de **6 mm** équivaut à une **réduction progressive d'environ 2 D** entre le centre et la périphérie de la pupille. En d'autres termes, la puissance optique diminue progressivement vers les bords, induisant un étalement focal qui favorise la profondeur de champ sans imposer une défocalisation excessive en vision de loin.

Cette approche exploite ainsi pleinement le potentiel de l'ASN pour améliorer la vision fonctionnelle, en optimisant la profondeur de champ sur une plage étendue de distances focales.

Multifocalité vs monovision franche

En monovision classique, l'intégralité de la surface pupillaire adopter une réfraction franchement myopique, réduisant considérablement la qualité de vision de loin. En revanche, avec READ™, une réduction progressive de l'excès de vergence vers les bords permet de préserver au sein de l'aire pupillaire une certaine capacité de focalisation sur des objets plus éloignés, en évitant une dégradation excessive de la vision de loin. Cette approche exploite de manière optimisée les bénéfices de l'aberration sphérique négative en maintenant un équilibre entre la profondeur de champ utile et la qualité de l'image sur l'ensemble du spectre visuel. Cette distribution optimisée de la vergence confère un double avantage : elle permet une vision de près sans correction, tout en préservant une qualité optique supérieure en vision de loin par rapport à la monovision conventionnelle, où l'ensemble de la pupille adopte une réfraction uniformément myopique, ce qui compromet plus significativement l'acuité visuelle de loin.

Analyse quantitative de la modulation du facteur Q cornéen et de l'aberration sphérique

Toute solution chirurgicale optimisée repose sur l'intégration de données théoriques (le modèle) et leur réévaluation à la lumière des premiers résultats cliniques. L'approche READ™ illustre parfaitement ce processus en ajustant la variation de facteur Q cornéen pour obtenir un profil optique optimisé. Une diminution d'environ $\Delta Q = -0,6$ (passage d'une valeur initiale de $Q = -0,2$ à une valeur finale de $Q = -0,8$) permet d'induire une variation contrôlée de l'aberration sphérique négative de Zernike proche de Δz_{40} (Δc_{12}) = $-0,4 \mu m$ pour une pupille de 6 mm de diamètre. Cette variation structure un gradient de vergence efficace au sein de la pupille, élément central du mécanisme READ™ où la myopisation est non pas globale, mais sélective, confinée à la portion centrale du disque pupillaire grâce au gradient réfractif induit par l'aberration sphérique négative, qui assure une transition fluide entre la zone centrale myopisée et une périphérie progressivement démyopisée.

Une correction additive (READ add) de +2,50 D peut ainsi être ajoutée à la correction nécessaire à l'amétropie de l'œil non dominant afin d'induire une myopisation utile pour la vision de près (ex : correction totale délivrée de +4,50 D, pour une hypermétropie de +2 D). L'aberration sphérique oculaire présente en moyenne une valeur préopératoire positive, avoisinant +0,10 μm pour un disque pupillaire de 6 mm de diamètre. Si l'on se contentait de cette étape de surcorrection dioptrique, la pupille de l'œil non dominant adopterait une réfraction uniformément myopique, voire légèrement majorée vers les bords. Cependant, en modulant l'asphéricité cornéenne vers un profil hyperprolate ($\Delta Q = -0,6$), on induit une aberration sphérique proche de -0,30 μm qui permet une réduction progressive de la vergence cornéenne d'environ -1,75 D vers les bords.

Validation clinique

L'évaluation de l'efficacité d'une correction multifocale basée sur une augmentation de la prolaticité cornéenne ne peut se limiter à l'inspection d'une carte de topographie cornéenne. En effet, celle-ci ne renseigne que sur la courbure cornéenne, et même en optant pour une carte de puissance réfractive, on ne peut étudier l'impact réfractif d'une correction multifocale. Pour une analyse pertinente, le recours à un aberromètre fournissant une carte de vergence oculaire totale est nécessaire (Figure 4). Celle-ci intègre la réfraction

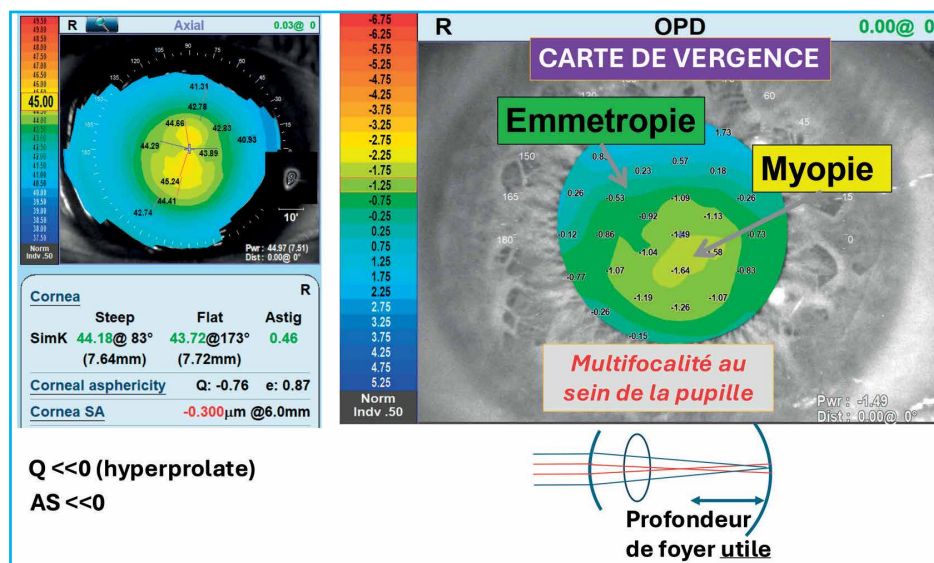


Figure 4 : Relation entre asphéricité cornéenne et multifocalité effective.

L'induction d'une hyperprolaticité cornéenne et d'une aberration sphérique négative (ASN) ne garantit pas à elle seule une multifocalité efficace. Seule la carte de vergence oculaire totale permet d'évaluer l'impact réfractif réel en mettant en évidence un gradient de puissance optique.

Ici, on observe une myopisation centrale progressivement compensée par une démyopisation périphérique, traduisant un étalement focal optimisé. Ce gradient continu de vergence est essentiel pour assurer une profondeur de champ utile, améliorant la vision de près sans compromettre excessivement la vision de loin.

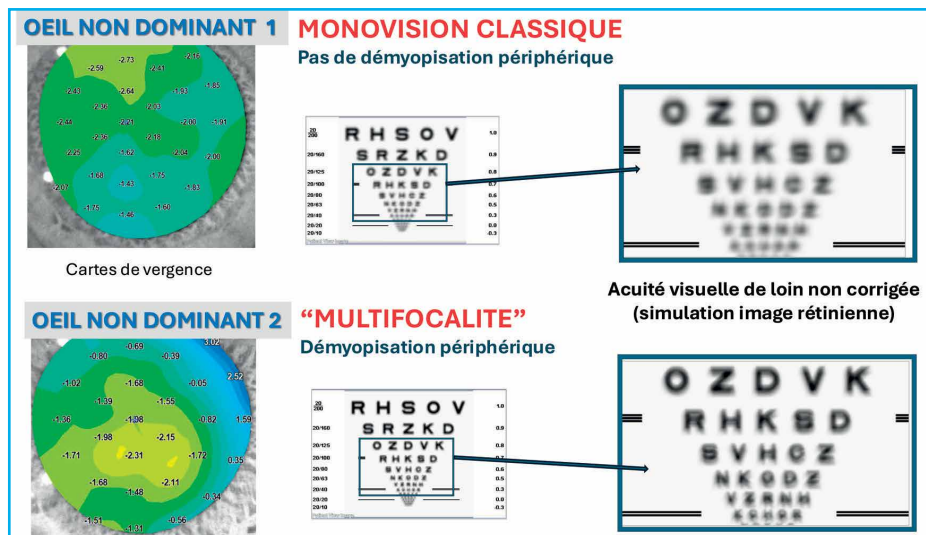


Figure 5 : Impact de la dégression de la myopisation sur la qualité de l'image rétinienne en vision de loin non corrigée.

La simulation de l'acuité visuelle de loin sur l'œil non dominant met en évidence l'intérêt d'une démyopisation progressive au sein de la pupille (approche READ™ et techniques apparentées) par rapport à une myopisation totale du disque pupillaire (monovision franche).

En haut (monovision classique) : L'absence de démyopisation périphérique entraîne une détérioration marquée de la vision de loin, avec une image rétinienne floue sur l'ensemble des optotypes simulés.

En bas (stratégie multifocale READ™) : L'induction d'un gradient de vergence, avec une myopisation centrale atténuée progressivement vers la périphérie, améliore la qualité de l'image rétinienne en vision de loin, tout en préservant la capacité de lecture de près.

Ce résultat souligne l'importance de la gestion différenciée de la vergence au sein de la pupille pour optimiser la profondeur de champ sans altérer excessivement la vision de loin.

oculaire totale et permet de vérifier la présence d'un gradient de focalité exploitable, caractérisé par une transition réfractive progressive destinée à optimiser la performance visuelle (Figure 5).

Études cliniques

Les études menées par notre équipe ont posé les bases théoriques et recueilli les résultats cliniques de la stratégie utilisée par READ™. Une première étude théorique réalisée en 2014 a prédit qu'une augmentation de l'asphéricité prolate ($\Delta Q = -0,6$) était requise pour induire une variation de l'aberration sphérique proche de $-0,4 \mu m$ en cas de correction positive associée (hypermétropie et presbytie) ^[1].

Ces prédictions ont été confirmées par une étude clinique menée en 2016 sur un groupe de 65 patients (130 yeux), avec un suivi à 6 mois démontrant une amélioration significative de l'acuité visuelle binoculaire sans correction ^[2]. Ainsi, 91 % des patients atteignaient une acuité visuelle de loin de 20/20 ou mieux, tandis que 83 % obtenaient une acuité visuelle binoculaire de près équivalente à Jaeger 3 (Parinaud 4)

ou mieux. La réfraction équivalente sphérique moyenne s'élevait à $-1,07 D \pm 0,74 D$ pour les yeux non dominants et à $0,32 D \pm 0,55 D$ pour les yeux dominants. Par ailleurs, le delta de la valeur Q mesuré était de $-0,61 \pm 0,15$ pour les yeux non dominants et de $-0,33 \pm 0,25$ pour les yeux dominants, confirmant ainsi la cohérence entre les corrections appliquées et les prédictions théoriques.

Une autre étude a ensuite comparé les résultats visuels d'une correction « presbyLasik » asphérique inspirée de la stratégie READ™ à ceux d'une simulation préopératoire de monovision en lentilles chez des patients presbytes hypermétropes ^[3]. L'œil non dominant a ensuite bénéficié d'une surcorrection avec ablation asphérique négative, tandis que l'œil dominant recevait une correction emmétropisante. Après 6 mois, 100 % des patients atteignaient une acuité visuelle de loin non corrigée (UDVA) de 20/20 ou mieux, contre seulement 57 % en monovision, et 100 % obtenaient une acuité visuelle intermédiaire non corrigée de 20/25 ou mieux

(contre 32 % en monovision). En vision de près, 92,86 % des patients atteignaient 20/25 dans les 2 groupes. La simulation de monovision en lentilles montrait des performances bien inférieures, aucun patient n'atteignant une UDVA de 20/50 et seulement 3,6 % obtenant une acuité de 20/40 en vision de près. La satisfaction des patients était élevée, confirmant la supériorité de la modulation de l'aberration sphérique négative sur l'œil non dominant par rapport à la monovision standard, notamment pour la vision de loin.

Caractéristiques de la procédure chirurgicale

Le traitement LASIK avec READ™ implique plusieurs étapes clés :

- **Mesure préopératoire** : une mesure de la topographie cornéenne et l'acquisition de la kératométrie et de l'asphéricité initiale ainsi que le repérage du vertex avec le **Topolyzer Vario**® sont nécessaires. Ces données sont transmises par le réseau local au logiciel relié qui pilote le laser excimer **EX500**.
- **Programmation du traitement** : la programmation s'effectue systématiquement en commençant par l'œil non dominant

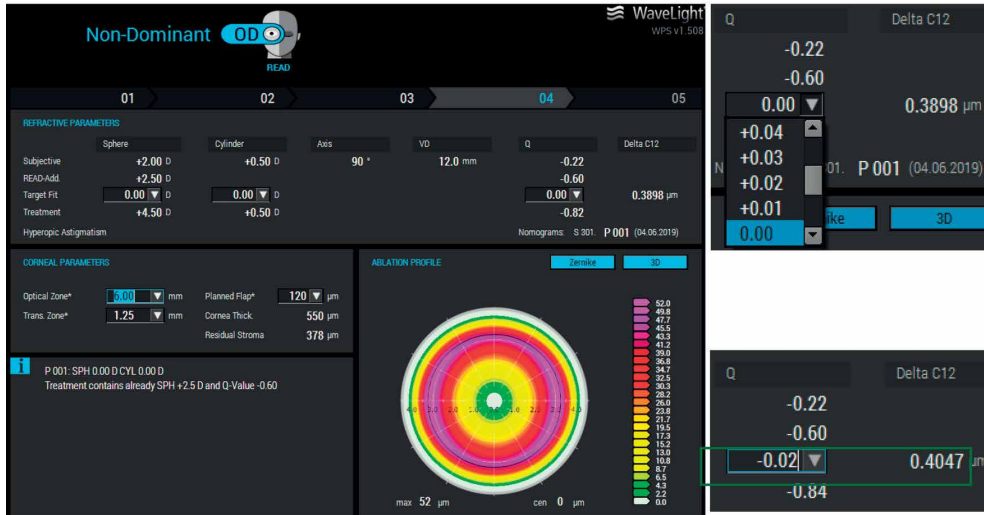


Figure 6 : Écran de programmation des paramètres pour l'œil non dominant traité selon la stratégie READ™.

Cet affichage permet la saisie des paramètres de correction pour l'ablation laser excimer, incluant les réglages standard et les ajustements spécifiques à la stratégie READ™ :

Correction réfractive : sphère, cylindre, axe et addition READ™, définissant l'amétropie à traiter et l'objectif de compensation de la presbytie.

Zone optique et profil d'ablation : diamètre de la zone optique, épaisseur du volet cornéen (flap), profondeur résiduelle du stroma.

Modulation de l'asphéricité : ajustement précis de l'asphéricité cible (Q-value) pour optimiser l'induction d'une aberration sphérique négative contrôlée.

Prévisualisation des effets optiques : estimation des modifications attendues sur l'aberration sphérique totale (delta C12) en fonction des réglages appliqués.

(Figure 6). Les valeurs cibles, notamment l'addition réfractive pour le près (READ-Add : +2,50 D) et un delta d'asphéricité Q proposé par défaut (-0,6), sont modulables par l'utilisateur. Le praticien peut simplement renseigner la valeur de l'amétropie en vision de loin (ex : 0 D pour un emmétrope, +3 D pour un hypermétrope). L'impact de la variation d'asphéricité sur le taux d'aberration sphérique attendu est automatiquement renseigné à l'écran (valeur du DeltaC12). Une fois l'œil non dominant programmé, la correction de l'œil directeur est ajustée avec précision afin d'optimiser l'emmétropisation et garantir un équilibre visuel optimal.

- Il est recommandé de programmer conjointement la création d'un large volet cornéen avec le laser femtoseconde Wavelight® FS200 (ex : diamètre 9,5 mm, épaisseur 130-140 µm pour réduire le risque de micro-plis). Un large diamètre permet à la photoablation principalement périphérique d'être délivrée en intégralité sur une surface stromale convenablement exposée.
- Contrôle du centrage : comme pour toutes les corrections positives, il est vivement recommandé de centrer la photoablation vers ou sur le vertex (à **au moins 75 %** de la distance entre le centre pupillaire et le vertex).

Conclusion

La technologie READ™ marque une avancée significative dans la correction de la presbytie par LASIK, en exploitant de manière synergique l'asphérisation cornéenne et l'optimisation de la modulation du gradient de vergence afin d'accroître la profondeur de champ fonctionnelle. En modulant progressivement la myopisation centrale de manière contrôlée, cette approche offre aux presbytes emmétropes et hypermétropes une meilleure autonomie en vision de près, tout en préservant davantage l'acuité de loin de l'œil non dominant par rapport à une monovision classique, où la myopisation uniforme altère plus significativement la perception des distances.

Cette approche repose sur une sélection rigoureuse des candidats et un paramétrage

chirurgical précis, faisant de cette technique une alternative raffinée et performante à la monovision conventionnelle. L'avenir de cette technologie réside dans une personnalisation encore plus poussée des profils d'ablation ; en intégrant les variations dynamiques pupillaires en fonction des conditions lumineuses, il serait possible d'affiner davantage les résultats visuels, adaptant ainsi la correction non seulement à la statique optique de l'œil, mais aussi à ses variations physiologiques. Ces évolutions témoignent d'une tendance vers une correction de la presbytie plus fine et plus individualisée, consolidant ainsi le rôle des technologies modernes comme READ™ dans l'arsenal des solutions réfractives contemporaines. ■

Liens d'intérêts : consultant pour la société Alcon/Wavelight.

Références

1. Gatinel D, Azar DT, Dumas L, Malet J. Effect of anterior corneal surface asphericity modification on fourth-order zernike spherical aberrations. *J Refract Surg.* 2014 Oct;30(10):708-15. doi: 10.3928/1081597X-20140903-10. PMID: 25291755.
2. Courtin R, Saad A, Grise-Dulac A, Guilbert E, Gatinel D. 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 Nov 1;32(11):734-741. doi: 10.3928/1081597X-20160810-01. PMID: 27824376.
3. Rahmania N, Salah I, Rampat R, Gatinel D. Clinical Effectiveness of Laser-Induced Increased Depth of Field for the Simultaneous Correction of Hyperopia and Presbyopia. *J Refract Surg.* 2021 Jan 1;37(1):16-24. doi: 10.3928/1081597X-20201013-03. PMID: 33432991.