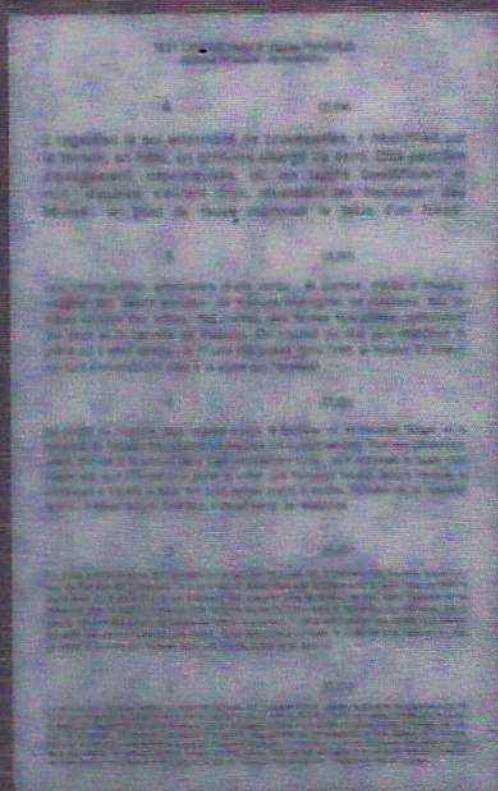


Béatrice Cochener

Catherine Albou-Ganem, Gilles Renard

Presbytie



Intérêt	38
Limites	38
Perspectives	39
II – Hypermétropie saturée	39
Principe	39
Indications	39
Intérêt	40
Limites	40
III – Lentilles multifocales	40
Vision alternée	43
Vision simultanée	48
Indications	52
Résultats	53
Limites et complications	54
IV – Perspectives	

PARTIE III

Chirurgie compensatrice de la perte d'accommodation

CHAPITRE 5 – Traitements photoablatifs	61
I – Monovision	61
C. ALBOU-GANEM	
Application de la monovision au traitement par laser à excimères conventionnel	61
Profils photoablatifs de micromonovision	62
Résultats de la monovision en laser à excimères	65
II – Profil multifocal, ou presbyLASIK multifocal	66
D. PIETRINI	
Principes du presbyLASIK multifocal	67
Classification des presbyLASIK	68
Plateformes et profils multifocaux	73
Indications	73
Perspectives	75
III – Profils asphériques	75
F. MALECAZE	
Principe du presbyLASIK par modification de la géométrie cornéenne au laser à excimères	75
Concepts optiques à connaître	79
Historique des profils d'ablation asphériques	80
Résultats cliniques : état des lieux	87
CHAPITRE 6 – Correction intrastromale au laser femtoseconde	87
C. ALBOU-GANEM	
Principe et mécanismes d'action	90
Sélection des patients	92
Résultats	98
Intérêt	98
Limites	100
Perspectives	

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Albou-Ganem C. Presbylasik avec le laser WaveLight Allegretto. *Réalités Ophthalmologiques*. 2011 ; 186.
- [2] Albou-Ganem C., Amar R. Pseudo-accommodation résiduelle après chirurgie de la presbytie après IntraCOR, LASIK, AT LISA M, FineVision. Communication orale, SAFIR, 2011.
- [3] Artola A., Patel S., Schimchak P. *et al.* Evidence for delayed presbyopia after photorefractive keratectomy for myopia. *Ophthalmology*. 2006 ; 113 : 735-41.
- [4] Ayoubi M.G., Leccisotti A., Goodall E.A. *et al.* Femtosecond laser in situ keratomileusis versus conductive keratoplasty to obtain monovision in patients with emmetropic presbyopia. *J Cataract Refract Surg*. 2010 ; 36 : 997-1002.
- [5] Barisić A., Gabrić N., Dekaris I. *et al.* Comparison of different presbyopia treatments: refractive lens exchange with multifocal intraocular lens implantation versus LASIK monovision. *Coll Antropol*. 2010 ; 34 Suppl 2 : 95-8.
- [6] Braun E.H., Lee J., Steinert R.F. Monovision in LASIK. *Ophthalmology*. 2008 ; 115 : 1196-202.
- [7] Cox C.A., Krueger R.R. Monovision with laser vision correction. *Ophthalmol Clin North Am*. 2006 ; 19 : 71-5.
- [8] Evans B.J. Monovision, a review. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2007 ; 27 : 417-39.
- [9] Erickson P. Potential ranges of clear vision in monovision. *J Am Optom Assoc*. 1988 ; 59 : 203-5.
- [10] Farid M., Steinert R.F. Patient selection for monovision laser refractive surgery. *Curr Opin Ophthalmol*. 2009 ; 20 : 251-4.
- [11] Fawcett S.L., Herman W.K., Alfieri C.D. *et al.* Stereoacuity and foveal fusion in adults with long-standing surgical monovision. *J AAPOS*. 2001 ; 5 : 342-7.
- [12] Fonda G. Presbyopia corrected with single vision spectacles or corneal lenses in preference to bifocal corneal lenses. *Trans Ophthalmol Soc Aust*. 1966 ; 25 : 78-80.
- [13] Garcia-Gonzalez M., Teus M.A., Hernandez-Verdejo J.L. Visual outcomes of LASIK-induced monovision in myopic patients with presbyopia. *Am J Ophthalmol*. 2010 ; 150 : 381-6.
- [14] Gauthier-Fourné L. Presby-Topolink. WaveLight user's meeting, Sept. 2010.
- [15] Ghenassia C. Presbytie et accommodation résiduelle. WaveLight user's meeting, Sept. 2010.
- [16] Goldberg D.B. Laser in situ keratomileusis monovision. *J Cataract Refract Surg*. 2001 ; 27 : 1449-55.
- [17] Goldberg D.B. Comparison of myopes and hyperopes after laser in situ keratomileusis monovision. *J Cataract Refract Surg*. 2003 ; 29 : 1695-1701.
- [18] Goldberg D.B. Succeeding with monovision LASIK. *CRST*. 2003 ; 3 : 43-4.
- [19] Hehn F. Presbylasik chez le myope. Des Chirurgies Réfractives. *Réalités Ophthalmologiques*, numéro spécial. Clinique de la Vision. 2010 : 31-36.
- [20] Hom M.M. Monovision and LASIK. *J Am Optom Assoc*. 1999 ; 70 : 117-22.
- [21] Jain S., Arora I., Azar D.T. Success of monovision in presbyopes: review of the literature and potential applications to refractive surgery. *Surv Ophthalmol*. 1996 ; 40 : 491-9.
- [22] Jain S., Ou R., Azar D.T. Monovision outcomes in presbyopic individuals after refractive surgery. *Ophthalmology*. 2001 ; 108 : 1430-3.
- [23] Maguen E., Nesburn A., Salz J. Bilateral photorefractive keratectomy with intentional unilateral undercorrection in an aircraft pilot. *J Cataract Refract Surg*. 1997 ; 23 : 294-6.
- [24] McDonnell P.J., Lee P., Spritzer K. *et al.* Associations of presbyopia with vision-targeted health-related quality of life. *Arch Ophthalmol*. 2003 ; 121 : 1577-81.
- [25] Miranda D., Krueger R.R. Monovision laser in situ keratomileusis for pre-presbyopic and presbyopic patients. *J Refract Surg*. 2004 ; 20 : 325-8.
- [26] Mrochen M. Hyperprolate corneas for pseudo-presbyopia correction. *CRST Europe*. Jan. 2009 : 28-29.
- [27] Nanavaty M.A., Spafford D.J., Boyce J. *et al.* Wavefront aberrations, depth of focus, and contrast sensitivity with aspheric and spherical intraocular lenses: fellow-eye study. *J Cataract Refract Surg*. 2009 ; 35 : 663-71.
- [28] Reilly C.D., Lee W.B., Alvarenga L. *et al.* Surgical monovision and monovision reversal in LASIK. *Cornea*. 2006 ; 25 : 136-8.
- [29] Reinsteinst D.Z., Couch D.G., Archer T.J. LASIK for hyperopic astigmatism and presbyopia using micromonovision with the Carl Zeiss Meditec MEL80 platform. *J Refract Surg*. 2009 ; 25 : 37-58.
- [30] Reinsteinst D.Z., Archer T.J., Gobbe M. LASIK for myopic astigmatism and presbyopia using non-linear aspheric micro-monovision with the Carl Zeiss Meditec MEL 80 platform. *J Refract Surg*. 2011 ; 27 : 23-7.
- [31] Saragoussi J.-J. Chirurgie de la presbytie : principes et orientation des indications. *J Fr Ophthalmol*. 2007 ; 30 : 552-8.
- [32] Shah C.R., Purba M.K., Dardzhikova A. *et al.* Experience with patient satisfaction with monovision targeted in PRK and LASIK. ASCRS. San Francisco. 2009.
- [33] Wright K.W., Guemes E., Kapadia M.S., Wilson S.E. Binocular function and patient satisfaction after monovision induced by myopic photorefractive keratectomy. *J Cataract Refract Surg*. 1999 ; 25 : 177-82.
- [34] Zhang F., Sugar A., Jacobsen G., Collins M. Visual function and patient satisfaction: Comparison between bilateral diffractive multifocal intraocular lenses and monovision pseudophakia. *J Cataract Refract Surg*. 2011 ; 37 : 446-53.

II — PROFIL MULTIFOCAL, OU PRESBYLASIK MULTIFOCAL

D. PIETRINI

L'approche cornéenne au laser à excimères de la compensation de la presbytie est un des traitements les plus séduisants. Comparée aux autres techniques existantes, ses atouts sont nombreux : traitement peu invasif, chirurgie cornéenne validée par les ophtalmologistes, acceptée par les patients, précise dans ses résultats, sûre dans sa réalisation et à long terme, standardisée, ajustable — atout particulièrement important dans la recherche du compromis visuel idéal chez le patient presbyte.

Il est habituel d'appeler « presbyLASIK » une chirurgie LASIK comportant une ablation cornéenne multifocale (c'est-à-dire comportant deux foyers ou plus) spécifique, uni- ou bilatérale, destinée à augmenter la profondeur de champ du système optique par l'induction

d'une multifocalité ou d'aberrations optiques déterminées par un profil ablatif spécifique. De nombreuses plateformes laser proposent aujourd'hui un profil d'ablation multifocal pour compenser la presbytie. Si leurs objectifs sont souvent voisins, les profils diffèrent selon les fabricants — les différentes compagnies tentées depuis longtemps par l'aventure de la presbytie ont hésité à proposer une chirurgie de compromis visuel dans laquelle la perte de qualité de vision des traitements empiriques initiaux était quasi constante, peu maîtrisable et peu réversible [2]. La forte demande des patients et la meilleure maîtrise des aberrations induites permettent aujourd'hui aux différentes compagnies de proposer un profil spécifique à la presbytie commercialement disponible sur la quasi-totalité des plateformes existantes.

Principes du presbyLASIK multifocal

La constatation de l'effet bénéfique sur la presbytie de chirurgies réfractives aussi variées que la kératotomie radiaire, la photokératectomie réfractive myopique ou le LASIK hypermétropique génératrices d'aberrations optiques capables de créer un certain degré de multifocalité, a orienté les pionniers de ces chirurgies [4]. Empirique à ses débuts, la recherche puis la compréhension et la maîtrise de la technique du presbyLASIK ont bénéficié des techniques d'investigations cornéennes modernes, comme la topographie Placido et d'élévation, mais surtout de l'analyse aberrométrique, plus particulièrement de la compréhension, de l'analyse et du rôle de certaines aberrations sur la vision de près, notamment l'aberration sphérique et la coma, reflets privilégiés de la pseudo-accommodation et de la qualité de vision (cf. *infra*, « III – Profils asphériques »). L'optique adaptative développée ces dernières années et qui permet d'analyser en temps réel l'effet de la modification des aberrations sur le front d'onde d'un système optique va encore améliorer et affiner notre connaissance de la multifocalité.

Le presbyLASIK consiste à induire une pseudo-accommodation par multifocalité cornéenne, elle-même génératrice d'aberrations ayant un effet bénéfique sur la profondeur de champ. Mais le presbyLASIK ne peut se résumer à la création de cette zone optique, le plus souvent insuffisante à fournir à elle seule une bonne vision de près du fait d'une pseudo-accommodation elle-même insuffisante, limitée qu'elle est par les effets secondaires d'un excès d'aberrations induites nuisible à la qualité de vision.

Le presbyLASIK repose sur le trépied :

- cornée multifocale ;
- accommodation résiduelle ;
- jeu pupillaire.

Ces trois éléments sont synergiques et leur association permet d'obtenir habituellement suffisamment de pseudo-accommodation pour obtenir l'indépendance vis-à-vis des lunettes. Tous ces éléments doivent donc être pris en considération dans l'indication chirurgicale et l'évaluation des résultats.

■ RAPPELS D'OPTIQUE

Les notions d'optiques à la base de la multifocalité sont plus spécifiquement abordées dans la section « III – Profils asphériques » ci-après et aux chapitres 7 et 8. Rappelons que la cornée est une surface asphérique dont le rayon de courbure varie du centre vers la périphérie. La cornée normale est le plus souvent prolate, c'est-à-dire que son rayon de courbure diminue du centre vers la périphérie. Dans le cas inverse, la cornée est dite oblate. En ophtalmologie, l'asphéricité cornéenne est exprimée par la variable Q . Pour une cornée prolate, la valeur moyenne est de $-0,2$ environ. Cette asphéricité cornéenne et ses modifications vont générer des effets optiques à titre d'aberration sphérique due à la différence de focalisation des rayons lumineux centraux et périphériques, du fait de la variation du rayon de courbure sur la surface cornéenne. L'aberration sphérique se manifeste cliniquement par une perte de netteté (fin voile flou diffus). L'aberration sphérique est dite positive si les rayons issus de la périphérie convergent en avant des rayons centraux, et inversement. Cette aberration du front d'onde (aberration de quatrième ordre) est dénommée Z_4^0 et est quantifiable en micromètres (RMS, Root

Mean Square). L'aberration sphérique (notion optique) moyenne d'une cornée normale est de $+0,27 \mu\text{m}$; elle évolue de règle en signe inversé par rapport à l'asphéricité (notion géométrique), à laquelle elle est corrélée.

Les modèles d'optique adaptative ont montré la relation linéaire existant entre l'augmentation de l'aberration sphérique et la profondeur de champ, pour des valeurs de coefficient de Zernike Z_4^0 allant jusqu'à $0,6 \mu\text{m}$. De même, par l'analyse aberrométrique dynamique d'un œil normal, on retrouve une augmentation de l'aberration sphérique au cours de l'accommodation [17]. Dans ce cas, les modifications d'aberration sphérique sont en rapport avec les modifications cristalliniennes.

L'approche scientifique du presbyLASIK a consisté essentiellement à induire de l'aberration sphérique négative par le biais d'un remodelage cornéen spécifique intégré à la correction visuelle ou réalisé de façon séquentielle.

■ MODES D'INDUCTION DE LA MULTIFOCALITÉ CORNÉENNE

MANIPULATION DE L'ABERRATION SPHÉRIQUE

Le terme de multifocalité regroupe des entités extrêmement variables et est réducteur dans le cas de la chirurgie cornéenne, tant les variables de cette multifocalité sont nombreuses, les profils multifocaux ayant évolué de l'addition d'îlots de myopisation (centrés puis décentrés) vers des profils asphériques ou hyperasphériques. L'analyse des aberrations et leur quantification permettent de mieux décrire la modulation d'un front d'onde consécutif aux modifications de la géométrie ou de la puissance cornéenne. La modulation de l'aberration sphérique est la voie la plus explorée, la plus couramment utilisée et commercialisée sur les principales plateformes laser existantes. L'asphéricité de la cornée est le paramètre de choix pour induire de la profondeur de champ. En faisant varier l'asphéricité négative de $-0,2$ vers une valeur de facteur Q proche de -1 , c'est-à-dire en rendant la cornée « hyperprolate », on induit de l'aberration sphérique négative et une pseudo-accommodation proportionnelle. On peut inclure dans ce cadre la plupart des traitements qu'on pourrait désormais qualifier de « réfractifs » destinés, par exemple, à induire une myopie centrale sur une zone optique déterminée mais qui induisent en fait également une pseudo-accommodation par induction d'aberration sphérique négative [2, 5].

MANIPULATIONS DES AUTRES ABERRATIONS

Il s'agit de manipulations plus complexes, touchant la coma en particulier (horizontale ou verticale), qui entraînent des modifications d'asphéricité localisées compatibles avec une amélioration de la profondeur de champ. La coma, liée le plus souvent à un défaut d'alignement des surfaces sur l'axe visuel (décentrement en chirurgie réfractive), est due à la réflexion de rayons non parallèles. Elle a un propre effet bénéfique sur la pseudo-accommodation [12] mais est habituellement gênante sur le plan visuel (diplopie monoculaire).

Ce type de traitements n'est pas proposé à l'heure actuelle sur des plateformes laser mais résulte le plus souvent d'utilisation empirique par certains opérateurs de zones optiques de tailles inhabituelles et plus ou moins décentrées ; ils peuvent difficilement faire l'objet d'une version commerciale [3, 5].

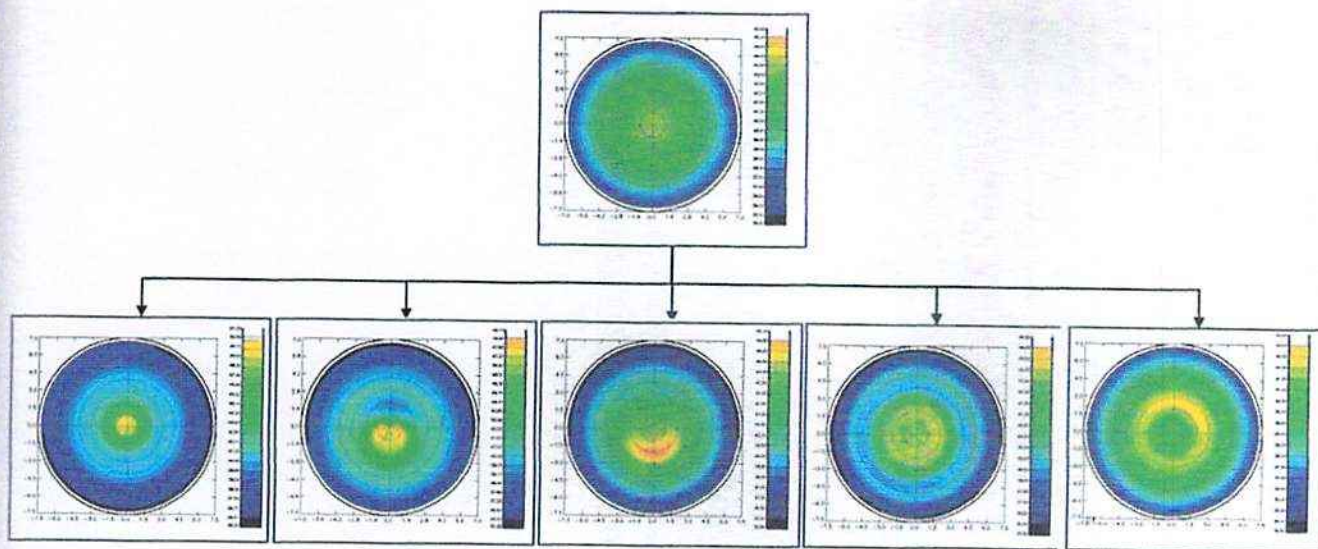


Fig. 5-1 Différents profils de presbyLASIK.
(Avec l'aimable autorisation de Technolas Perfect Vision.)

■ JEU PUPILLAIRE

Le myosis accommodatif, même s'il est inconstant et s'il varie avec l'âge, est un élément déterminant du fonctionnement du presbyLASIK, en particulier pour les traitements à vision de près centrale [9]. Le myosis favorise la vision de près centrale par augmentation de la profondeur de champ lors du réflexe d'accommodation-convergence-myosis et explique la nécessité d'un bon éclairage pour la vision de près. La mesure du diamètre pupillaire photopique et mésopique doit faire partie du bilan initial et est un élément capital de l'indication chirurgicale. Outre la mesure du diamètre pupillaire, l'analyse et la correction des variations de forme (« shift pupillaire ») entre une pupille mésopique dilatée et photopique serrée lors des traitements avec certains lasers est une avancée non négligeable dans la qualité des traitements, en particulier pour les patients hypermétropes chez qui l'angle kappa — défini comme l'angulation entre centre pupillaire et axe visuel — est souvent important. Là encore, la mesure préopératoire de cet angle kappa peut être un élément de l'indication opératoire. La mesure de l'angle kappa peut faire éliminer certains traitements dont un centrage en dehors de l'axe visuel pourrait entraîner des effets à type de coma induite, en particulier les traitements à petite zone centrale. Soulignons la difficulté du centrage des traitements sur un axe visuel qui diffère en vision de loin et en vision de près.

■ ACCOMMODATION RÉSIDUELLE

Une des grandes particularités des techniques de presbyLASIK comparées aux chirurgies endoculaires est la conservation quasi constante d'une quantité variable d'accommodation résiduelle, y compris chez les patients après soixante ans [18]. Cette accommodation résiduelle est toujours mise à profit dans le fonctionnement du système optique multifocalité-myosis-accommodation. Elle explique les meilleurs résultats des traitements chez les patients les plus jeunes et la perte d'effet attendue avec le temps et dont il faut prévenir les patients. Enfin, l'accommodation à elle seule génère un supplément d'aberration sphérique bénéfique sur la profondeur de champ [10]. La mesure ou l'évaluation de cette accommodation résiduelle est capitale dans le bilan préopératoire et est élément de l'indication opératoire.

Classification des presbyLASIK

La classification des profils de presbyLASIK s'est faite historiquement en fonction de la localisation sur la surface cornéenne des différents types d'ablation ou des plages de vision fournies par leur localisation sur la cornée (vision de près centrale, presbyLASIK décentré, etc.).

Une classification plus récente des aberrations manipulées illustre peut être mieux le mode de fonctionnement, soulignant d'emblée leurs avantages et inconvénients respectifs (fig. 5-1).

■ PRESBYLASIK CENTRÉS

Il s'agit de profils multifocaux dont l'ablation ou les ablations successives sont centrées. C'est ce type de profil qui est le plus répandu, commercialement exploitable compte tenu d'une bonne reproductibilité et d'une plus grande facilité de retraitement si nécessaire. Il en existe deux grands types : les presbyLASIK centrés à vision de près centrale et les presbyLASIK centrés à vision de près périphérique.

PROFILS DE PRESBYLASIK CENTRÉS À VISION DE PRÈS CENTRALE

Ce sont les plus répandus, les plus utilisés et les plus étudiés. Leur prépondérance vient de leur capacité à cumuler deux facteurs d'accroissement de la profondeur de champ :

- le myosis lié à l'accommodation ou à l'éclairage photopique, qui focalise les rayons lumineux sur la zone de vision de près ;
- l'induction d'aberration sphérique négative aisée par l'ajout d'une zone d'addition centrale ou tout autre remodelage cornéen générateur d'aberration sphérique négative.

Ce principe est utilisé et commercialisé par les compagnies Schwind, Technolas, Zeiss, VISX, Alcon.

PROFILS DE PRESBYLASIK CENTRÉS À VISION DE PRÈS PÉRIPHÉRIQUE

Ils correspondent le plus souvent à une superposition de traitements centrés et une combinaison de traitement myopique et hypermétro-

tropique. Citons ainsi l'exemple du traitement PAC développé sur la plateforme Nidek [20, 21]. Le principe général de fonctionnement reste l'induction d'aberration sphérique négative voire de coma pour créer de la pseudo-accommodation. En dehors de la compagnie Nidek, aucune société ne commercialise ce type de traitement pour la compensation de la presbytie, mais elle a été décrite par différents auteurs sur des plateformes autres : Technolas ou VISX [6, 14].

■ PRESBYLASIK DÉCENTRÉS

Il s'agit de profils destinés à induire une asphéricité localisée à une partie de la cornée. Compte tenu du décentrement, le traitement induit aussi de la coma, source d'augmentation de la profondeur de champ et d'une meilleure réponse accommodative [7] mais aussi, parfois, de diminution de la qualité de vision difficilement contrôlable. Ces profils ont été utilisés au tout début par certains auteurs [3, 5, 22], mais il s'agit le plus souvent d'un « détournement » de traitements conventionnels appliqués le plus souvent en inférieur ou en inféronasal du centre visuel. Très peu de publications rapportent ces résultats. Ces traitements sont désormais de moins en moins pratiqués et aucun d'entre eux n'est proposé commercialement par un fabricant de lasers.

Plateformes et profils multifocaux

Les différentes plateformes et leurs algorithmes spécifiques pour le traitement de la presbytie sont présentés en suivant l'ordre alphabétique des compagnies distribuant ces lasers : Alcon, Meditec Zeiss, Nidek, Schwind, Technolas Perfect Vision.

Laser WaveLight® Allegretto Wave® Eye-Q, laser EX 500 (Alcon), algorithme F-CAT

Le laser Allegretto (fig. 5-2) illustre le type de traitement dénommé « hyperasphérique » pour la correction de la presbytie (développé à la section III suivante). L'algorithme WFO (Wave Front Optimised) du laser Allegretto a été développé pour minimiser l'aberration sphérique induite par la variation de l'action du laser en périphérie de l'ablation. Cette modulation de l'asphéricité a conduit la compagnie à travailler sur la modulation du facteur Q cornéen : la particularité de cette plateforme comparée aux autres est d'offrir au chirurgien la possibilité d'afficher dans la programmation du laser un facteur Q

cible. Ce profil ablatif modifie l'asphéricité cornéenne sans induire de multifocalité à proprement parler et permet de compenser la presbytie avec un facteur Q postopératoire cible déterminé par le chirurgien et compris, selon les auteurs, entre $-0,6$ et $-1,00$. Au-delà de cette valeur, la quantité d'aberration sphérique risque d'être difficilement compatible avec une bonne qualité de vision. Le nomogramme de programmation nécessite de compenser le *shift* myopique habituellement induit. La figure 5-3 illustre le profil ablatif réalisé par le laser en traitement standard pour une hypermétropie de $+4,00$ D avec un facteur Q cible programmé pour $Q = 0$, alors que la figure 5-4 représente le traitement d'une hypermétropie de $+1,75$ D avec un facteur cible de $Q = -1,00$. Dans ce dernier cas, le profil ablatif « hyperasphérique » génère plus d'aberration sphérique. Comme pour tous les traitements de la presbytie, la modification du facteur Q peut se faire de façon uni- ou bilatérale et de façon symétrique ou non. Ce traitement est le plus souvent utilisé unilatéralement — traitement optimisé standard sur l'œil préféré en vision de loin et modification du facteur Q sur l'œil préféré en vision de près — associé à un certain degré de monovision appelée « monovision avancée », c'est-à-dire l'association d'un traitement standard sur l'œil préféré en vision de loin et un traitement avec modification de l'asphéricité sur l'œil préféré en vision de près.

Alarcon rapporte le résultat du traitement de cinquante yeux de vingt-cinq patients d'âge moyen 49,6 ans traités avec le laser Allegretto Wave® Eye-Q 400 Hz et un protocole original associant modification du facteur Q et monovision [1]. L'œil dominant est traité en visant l'emmétropie et une asphéricité cible de $-0,8$; l'œil préféré en vision de près est traité en visant une myopie de $-1,25$ D et une asphéricité cible de $-1,00$. En postopératoire, plus de 90 % des patients ont une acuité visuelle binoculaire sans correction de 0,00 logMAR de loin et de près, ce qui correspond à 1.0 et Parinaud 2. En revanche, une diminution significative de la sensibilité aux contrastes et une dégradation de la stéréoacuité sont rapportées chez tous les patients.

Laser EC 500 (Nidek), algorithme PAC

Il s'agit d'une technique de presbyLASIK centré dont la particularité est de fournir une vision de loin centrale et une vision de près périphérique. L'algorithme, développé en France par A. Telandro [20], est dénommé PAC pour « Pseudo-Accommodative Cornea ». Il s'agit d'une combinaison de traitements hypermétrope et myopique. Une première ablation hypermétrope réalisée sur une très large zone optique augmente la prolativité et l'asphéricité cornéenne au sein de la zone optique, d'où induction d'aberration sphérique négative et augmentation de la profondeur de champ. Compte tenu des changements réfractifs induits par cette ablation (myopisation), un traitement démyopisant est indispensable. Ce traitement est réalisé sur une (ou plusieurs) zone(s) optique(s) de petite taille, de façon à obtenir l'emmétropie au centre de la cornée pour la vision de loin et à conserver la cornée périphérique pour la vision intermédiaire et la vision de près. La figure 5-5 illustre le profil cornéen final obtenu après cette combinaison de traitements. Les résultats publiés par Uy [21] concernent cent quatre-vingt-quinze myopes et cent dix-neuf hypermétropes traités. L'équivalent sphérique postopératoire était de $-0,4$ D dans le groupe des myopes et $+0,15$ D dans le groupe hypermétrope ; 83 % des myopes et 87 % des hypermétropes lisaient 20/30 (6/10) et Jaeger 3 (Parinaud 4). Le coefficient d'asphéricité (Q) passait de $-0,2$ à $-0,07$ chez les patients myopes et de $-0,28$ à $-0,74$ chez les patients hypermétropes. L'auteur retrouve une induction de $0,3 \mu\text{m}$ d'aberration sphérique chez les myopes et moindre, de $0,016 \mu\text{m}$, chez les hypermétropes. Notons toutefois que l'âge moyen des myopes est de quarante-six ans, celui des hypermétropes de cinquante-six ans. À long terme, seulement 65 % des patients accèdent à 0.8 et Jaeger 2 (Parinaud 3). L'auteur



Fig. 5-2 Laser WaveLight® Allegretto Wave® Eye-Q. (Avec l'aimable autorisation d'Alcon.)

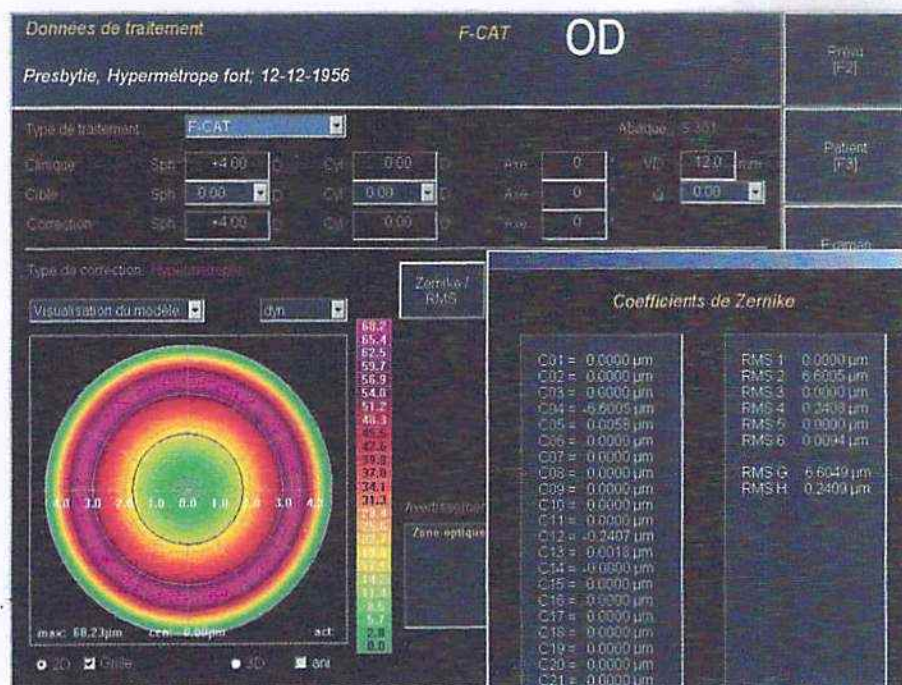


Fig. 5-3 Profil ablatif de traitement d'une hypermétropie avec $Q = 0$.
(Avec l'aimable autorisation d'Alcon.)

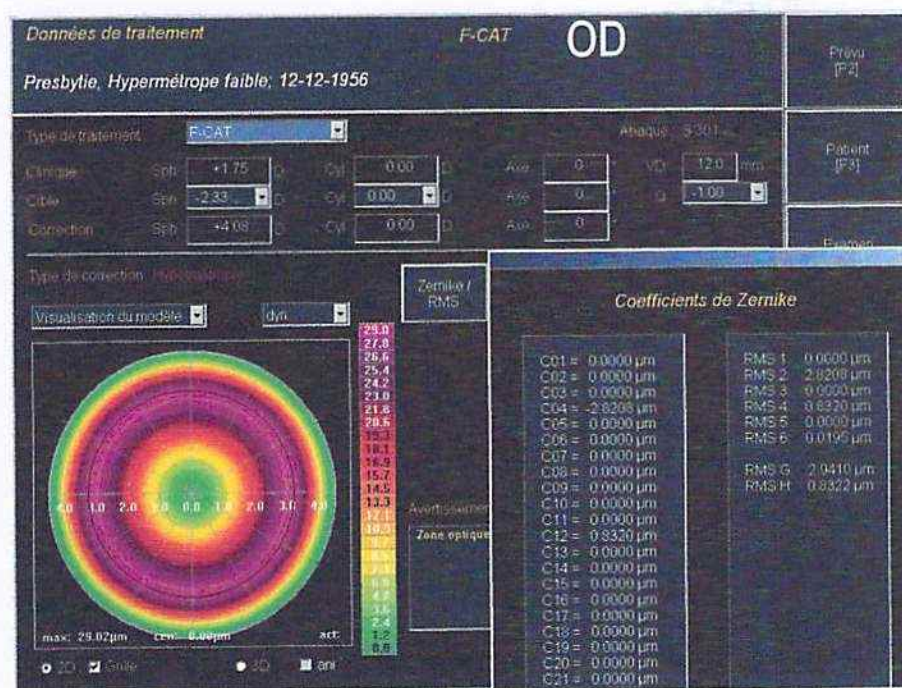


Fig. 5-4 Profil de traitement d'une hypermétropie avec $Q = -1$.
(Avec l'aimable autorisation d'Alcon.)

conclut que le traitement sert à diminuer la dépendance vis-à-vis des lunettes sans la supprimer. Compte tenu de l'âge des patients myopes et de l'équivalent sphérique postopératoire, le résultat en vision de près est probablement légèrement insuffisant.

Laser 217 P (Technolas, B & L), algorithme SUPRACOR®

La compagnie Technolas Perfect Vision travaille sur la compensation de la presbytie par profil multifocal centré à vision de près centrale. Les premiers travaux consistaient à ajouter au traitement de la vision

de loin une zone myopique d'addition centrale de puissance variable sur une petite zone optique. Les travaux publiés par J.J. Alió et J.-J. Chabard^[2], promoteurs de la technique en France, ont retrouvé dans une étude pilote de cinquante yeux de vingt-cinq patients hypermétropes 72 % de patients ayant une acuité visuelle de loin sans correction supérieure à 1,0 et 65 % de patients avec une acuité visuelle de près supérieure à 0,5. Ces résultats publiés en 2006 retrouvaient 28 % de perte de deux lignes de meilleure acuité visuelle, en rapport avec une augmentation des aberrations centrales induites, en particulier la coma, probablement liée aux difficultés de centrage

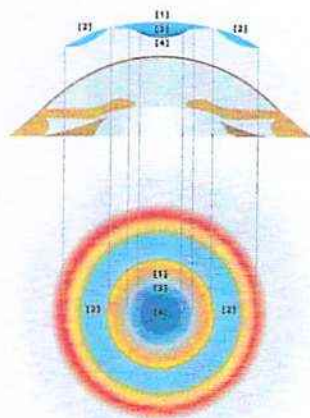


Fig. 5-5 Profil cornéen après traitement PAC.
(Document de A. Hagège.)

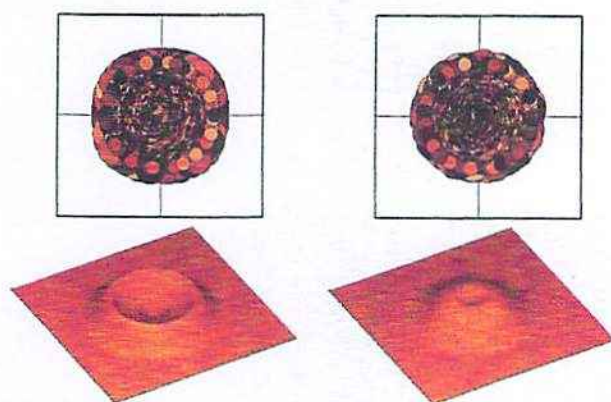


Fig. 5-6 Profils SUPRACOR® hypermétropique et myopique.
(Avec l'aimable autorisation de Technolas Perfect Vision.)

du traitement de très petite taille sur l'axe visuel de l'hypermétrope et des effets optiques liés à la superposition des ablations séquentielles. Secondairement, la société a évolué vers une multifocalité asymétrique délivrée en un temps unique. L'œil préféré en vision de

près recevait une multifocalité plus importante. Ce traitement, baptisé PresbyOne®, n'a pas été mis sur le marché et la société, compte tenu de son expérience, a préféré commercialiser le logiciel SUPRACOR® fondé sur une multifocalité symétrique sans aucun élément de monovision destiné aux myopes et aux hypermétropes. Citons la possibilité avec ce laser de réaliser également des profils de type presbyLASIK périphérique avec vision de près périphérique. Cette technique nommée PML (Peripheral Multifocal LASIK) décrite par Pinelli [14] consiste à superposer deux traitements de façon séquentielle pour induire un bombement paracentral destiné à la vision de près. La compagnie Technolas Perfect Vision vient donc de commercialiser le logiciel de compensation de la presbytie au laser à excimères baptisé SUPRACOR®. La figure 5-6 et la vidéo 5-1 illustrent le traitement SUPRACOR® myopique et hypermétropique. Cet algorithme de traitement, confidentiel, associe une combinaison de traitements dans l'aire centrale destinée à fournir la pseudo-accommodation avec le minimum d'aberrations dans cette région pupillaire. Cette technologie a fait l'objet d'une étude multicentrique européenne en vue de l'obtention du marquage CE, obtenu en 2011. La compagnie qui commercialise également la technologie laser femtoseconde intrastromal IntraCOR® pour la correction de la presbytie s'est inspirée de l'expérience et des résultats de cette dernière pour élaborer un profil ablatif original au laser à excimères, dont l'image topographique mime celle obtenue avec les kératotomies circulaires intrastromales de l'IntraCOR®. La particularité de ce traitement est sa bilatéralité sans monovision, contrairement à la plupart des autres profils où s'ajoute le plus souvent une part de monovision. Le même profil ablatif est réalisé sur les deux yeux et la réfraction cible est l'emmetropie. Le traitement est réalisé en un temps unique pour éviter la superposition de zones optiques et les pentes des zones réfractives comportent une transition douce. Le traitement est destiné aux myopes, aux hypermétropes et aux emmétropes, avec les réserves habituelles pour cette dernière catégorie de patients. L'analyse en ray-tracing de topographies idéales de patients traités a permis de diminuer les aberrations induites dans la région pupillaire pour une qualité de vision optimale. La figure 5-7 est une topographie préopératoire (en bas à droite), postopératoire (en haut à droite) et différentielle (à gauche) d'un traitement SUPRACOR®. La zone de bombement central se raccorde en pentes douces à la périphérie. Comparé au traitement IntraCOR® réservé aux emmétropes, le traitement SUPRACOR® s'adresse à une large gamme d'amétropies. Les résultats de l'étude multicentrique ont fait l'objet de plusieurs communications orales [13, 19], ayant inclus quarante-six yeux de vingt-

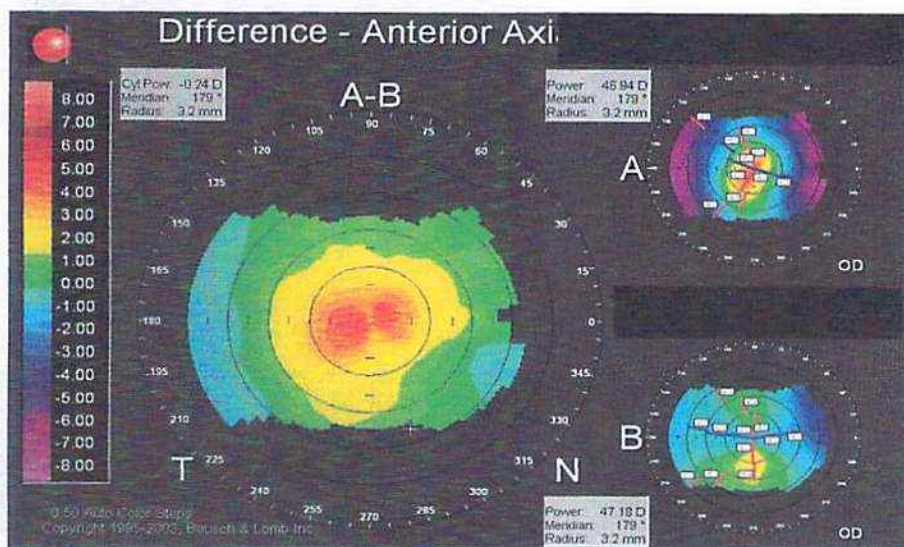


Fig. 5-7 Topographie différentielle d'un traitement SUPRACOR®.
(Cliché de D. Pietrini.)

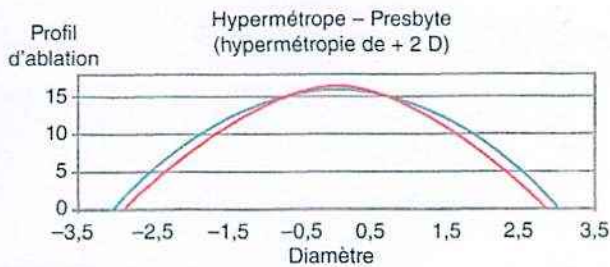


Fig. 5-8 Profil multifocal VISX.
(Avec l'aimable autorisation d'AMO.)

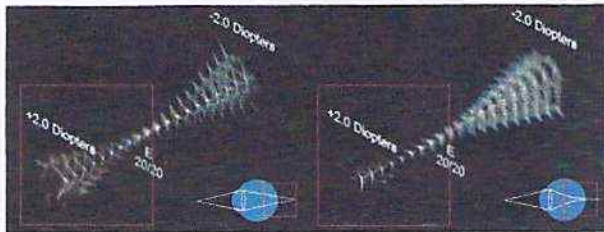


Fig. 5-9 Variation de la PSF après traitement multifocal.
(Avec l'aimable autorisation d'AMO.)

trois patients avec un recul d'au moins six mois pour tous les patients. À six mois, l'équivalent sphérique moyen est de $-0,27$ D ; 96 % des patients lisent 0,8 ou plus en vision binoculaire sans correction et 91 % des patients lisent 0,8 ou plus sans correction de près (Parinaud 2). Le taux de satisfaction est élevé (96 %). Il n'y a aucune perte de deux lignes ou plus de meilleure acuité visuelle corrigée.

Laser VISX STAR S4 IR (Abbot Medical Optics)

Appliqué dès 2003 au Canada par Bruce Jackson, le profil multifocal spécifique intégré à la plateforme Star S4 est guidé par aberrométrie et breveté par VISX au titre de pionnier. Il partage avec de nombreux autres profils de presbyLASIK la réalisation d'une multifocalité cornéenne centrée et, surtout, asphérique. Le profil VISX réalise une zone périphérique pour la vision de loin et une zone de bombement central de myopisation pour la vision de près (fig. 5-8). La courbe asphérique produite améliore la profondeur de champ du fait de l'induction d'aberration sphérique négative. La figure 5-9 illustre l'augmentation volumétrique de la Point Spread Function lorsqu'un traitement est réalisé en mode presbytie (à gauche).

La particularité essentielle du traitement de la presbytie sur la plateforme VISX est d'être fondé uniquement sur l'analyse préalable du front d'onde (wavescan), l'opérateur « n'ayant la main » ni sur le profil d'asphéricité, ni sur la quantité d'addition, ni sur le diamètre de l'îlot central. Le laser utilise tous les raffinements d'une ablation moderne, associe un « eyetracker » actif travaillant dans les trois directions et, surtout, un système de reconnaissance irienne infrarouge pour la correction de la cyclotorsion à partir du repérage des cryptes iriennes sur l'image wavefront (patient assis) ajusté sur celle obtenue sous le microscope du laser à excimères (patient couché). Enfin, la version S4 du VISX est apte à compenser les changements de forme pupillaire, en particulier induits par le jeu accommodatif sous l'effet des variations de lumière. Jackson a publié les résultats à six mois d'une étude prospective du traitement de soixante-six yeux de trente-trois patients hypermétropes et presbytes avec le traitement asphérique du laser VISX [8]. Le traitement était bilatéral et symétrique, la réfraction visée était l'emmetropie et aucune monovision n'a été recherchée. À un an, 100 % des patients pouvaient lire 0,8 ou mieux et Jaeger 3 (Parinaud 4). La diminution de la sensibilité aux contrastes n'était pas significative. Les valeurs d'aberration sphérique négative étaient fortement corrélées à l'amélioration de près.

Dans le souci d'être exhaustif, mentionnons quelques expériences de LASIK périphérique avec vision de loin centrale. Epstein rapporte une série de patients traités avec le laser VISX sur le mode d'un presbyLASIK périphérique unilatéral [9] — seul l'œil préféré en vision de près est traité en presbyLASIK, l'œil préféré en vision de loin reçoit un traitement standard. Les résultats retrouvent 70 % de patients obtenant 1,0 en vision de loin et Jaeger 2 (Parinaud 3), avec augmentation des aberrations de haut degré surtout chez les hypermétropes. L'indépendance vis-à-vis des lunettes a été obtenue dans 91 % des cas.

Laser MEL 80[®] (Carl Zeiss Meditec), algorithme Laser Blended Vision (micromonovision)

La société Zeiss (Carl Zeiss Meditec, Jena, Allemagne) propose sur sa plateforme laser à excimères MEL 80[®] (fig. 5-10) un module de traitement de la presbytie, développé en collaboration avec D.Z. Reinstein, baptisé « Laser Blended Vision ». Il s'agit d'un concept associant un traitement asphérique bilatéral inducteur d'aberration sphérique négative, et donc d'augmentation de la profondeur de champ, à une micromonovision, c'est-à-dire une pénalisation modérée de l'œil préféré en vision de près. Le profil est dit « asphérique non linéaire », reposant sur des changements non linéaires de l'asphéricité à la surface de la cornée. Le chirurgien programme la réfraction et indique la dominance oculaire dans le programme du traitement. La réfraction cible de l'œil pénalisé est par défaut de $-1,50$ D, mais elle peut être adaptée à la tolérance du patient à cette pénalisation. La figure 5-11 illustre la programmation d'un traitement Laser Blended Vision sur la plateforme MEL 80[®] avec induction d'une pénalisation par défaut de $-1,50$ D de l'œil préféré en vision de près. Reinstein a publié des résultats chez le myope et chez l'hypermétrope [16, 17], retrouvant 94 % des patients à 1,0 en vision de loin et Jaeger 2 ou plus en vision bilatérale sans correction. La satisfaction est excellente pour plus de 90 % des patients. Il est intéressant de noter l'absence de diminution de la sensibilité aux contrastes. Ce concept utilise la monovision mais l'intérêt de son association à un profil hyperprolate aux deux yeux pour améliorer la profondeur de champ permet de réduire l'amétropie myopique résiduelle sur l'œil préféré en vision de près. Chez le myope presbyte, l'étude rétrospective porte sur cent cinquante-cinq patients consécutifs traités avec micromonovision de 0,75 D à 2,00 D sur l'œil dédié à la vision de près en fonction de l'âge et de la tolérance. En vision binoculaire sans correction, 99 % des patients lisent 1,0 ou plus et 96 % des patients lisent Jaeger 2. Aucun patient n'a perdu deux lignes ou plus de meilleure acuité visuelle corrigée et il n'y a aucune diminution de la sensibilité aux contrastes en vision mésopique.



Fig. 5-10 Laser MEL 80[®] Zeiss Meditec.
(Avec l'aimable autorisation de Zeiss.)

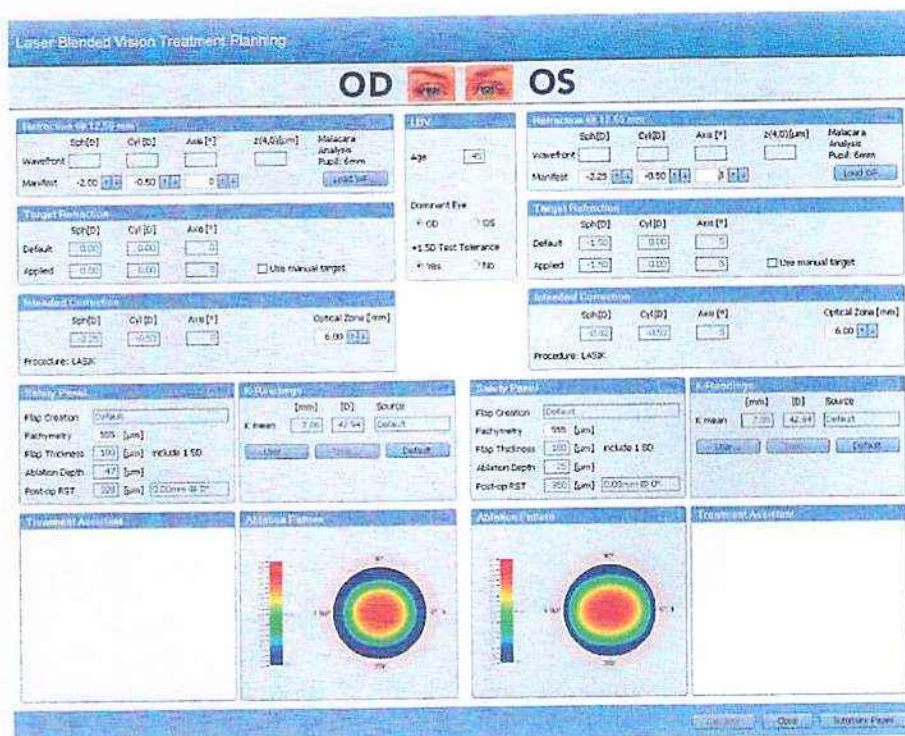


Fig. 5-11 Écran de traitement Laser Blended Vision.
(Avec l'aimable autorisation de Zeiss.)

Laser Schwind AMARYS, algorithme PresbyMAX

Le laser développé par la société Schwind eye-tech-solutions (Kleinostheim, Allemagne) est doté d'un logiciel de traitement de la presbytie nommé PresbyMAX®, développé en coopération avec Visum sous la direction de Jorge Alió et le groupe OCIVIS de l'université d'Alicante (fig. 5-12). Ce profil de presbyLASIK est centré à vision de près centrale. Il est destiné à s'associer au traitement de toutes les autres amétropies associées à la presbytie : hypermétropie, myopie, astigmatisme. Ce traitement est dit « bi-asphérique » ; il dérive d'un modèle prédictif fondé sur un algorithme de propagation lumineuse [11]. Il fournit la vision de près par la cornée centrale et la vision de loin par la cornée périphérique. Chaque zone concentrique est multifocale avec une transition entre les deux fournissant la vision intermédiaire. La figure 5-13 illustre sur sa partie gauche le profil

kératométrique et le profil cornéen à droite résultant de la double ablation. Le traitement est bilatéral et symétrique sans monovision. L'ablation des deux zones pour la vision de loin et de près est réalisée en un traitement unique. Les résultats à six mois de l'étude multicentrique PresbyMAX® ont été présentés par Alió : l'acuité visuelle binoculaire de loin sans correction est de 0,8 ou mieux pour 73 % des patients et l'acuité visuelle de près est de 0,8 ou Jaeger 2 pour 51 % d'entre eux. La quantité d'aberration sphérique induite est de 0,24 μm en moyenne à 6 mm, correspondant à une multifocalité



Fig. 5-12 Laser Schwind AMARYS.
(Avec l'aimable autorisation de Schwind.)

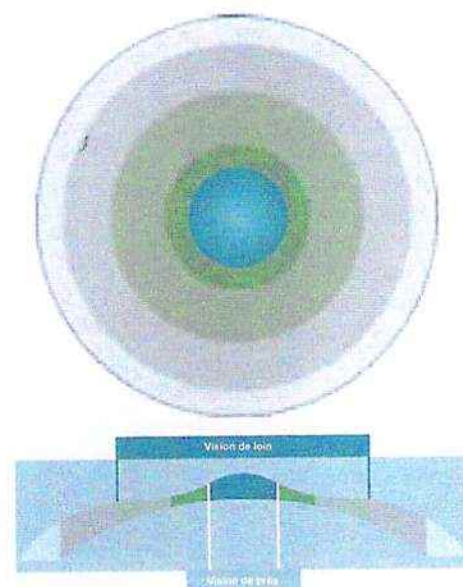


Fig. 5-13 Profil bi-asphérique : procédure PresbyMAX®.
(Avec l'aimable autorisation de Schwind.)

induite de 0,41 D à la surface de la cornée. Les valeurs de coma sont quasi inchangées, témoignant de la préservation d'une bonne qualité de vision.

I Indications

Les preuves scientifiques permettent aujourd'hui de proposer un traitement de type presbyLASIK aux patients candidats pour réduire la dépendance aux lunettes dans la vie quotidienne. La plupart des plateformes laser donnent de bons résultats et, surtout, une grande satisfaction et une grande indépendance vis-à-vis d'une correction optique dans la vie quotidienne. Le compromis obtenu doit être expliqué au patient et formulé dans des termes compréhensibles pour une information éclairée et exhaustive.

■ SÉLECTION DES PATIENTS ET INTÉRÊT DU PRESBYLASIK MULTIFOCAL

Le presbyLASIK ou du moins le profil multifocal à lui seul fournit rarement une pseudo-accommodation suffisante pour une vision de près parfaite. Le myosis joue un rôle supplémentaire par augmentation de la profondeur de champ. Enfin, et c'est un des facteurs majeurs de la variabilité du traitement, l'accommodation résiduelle plus importante chez les sujets jeunes leur confère les résultats optimaux. Les meilleures indications de presbyLASIK concernent donc les jeunes presbytes, en particulier les petits hypermétropes. Cette population habituée à vivre sans correction supporte d'autant plus mal le port d'une correction optique qu'elle n'a jamais été dépendante à la moindre correction. À partir de 1 D d'hypermétropie, la vision de loin sans correction commence habituellement à baisser, mais nécessite rarement une correction compte tenu d'une bonne tolérance à l'amétropie et de la préservation d'une accommodation souvent suffisante pour un bon confort visuel de loin sans correction optique. En revanche, la gêne fonctionnelle en vision de près sans correction est majeure. Une chirurgie presbyLASIK va donc améliorer à la fois la vision de loin et, surtout, la vision de près, en particulier chez les patients ayant conservé un bon niveau d'accommodation résiduelle. Rappelons que chez l'hypermétrope, le traitement standard augmente naturellement la « prolaticité » de la cornée et cet effet est souvent suffisant chez les forts hypermétropes pour fournir la pseudo-accommodation nécessaire. C'est pour les petites hypermétropies qu'il faut augmenter l'effet de pseudo-accommodation et soit ajouter une zone dédiée à la vision de près, soit majorer l'asphéricité en modulant le facteur Q par exemple, voire en induisant un certain degré de monovision.

■ INFORMATION DES PATIENTS ET LIMITES DU PRESBYLASIK MULTIFOCAL

Après l'examen ophtalmologique, l'entretien avec le patient revêt une importance capitale. Cet entretien représente au moins la moitié du traitement car de la sélection et de l'accompagnement va dépendre la satisfaction. Il est capital de connaître et de comprendre les attentes du patient pour lui apporter satisfaction. En effet, à résultat réfractif égal, deux patients différents peuvent être, l'un, extrêmement déçu, et l'autre, très satisfait. Tous les patients candidats à la chirurgie doivent être informés clairement sur le compromis visuel et sur les insuffisances, les limites et les effets secondaires potentiels. Cette information sera délivrée au mieux sous forme écrite (cf. chapitre 20) :

- la vision de loin peut être moins bonne qu'avant l'opération avec ou sans lunettes (traduit la perte de lignes toujours

possible, habituellement de l'ordre d'une ligne en vision binoculaire) ;

- la diminution de la qualité de l'image en postopératoire est la conséquence du compromis visuel entre vision de loin et vision de près. La multifocalité de surface crée du fait de l'aberration sphérique induite un effet de halo plus particulièrement gênant en vision mésopique. La neuroadaptation fait disparaître habituellement le halo avec le temps ;

- une correction en vision de loin peut être nécessaire ponctuellement, en particulier pour la conduite nocturne ;

- la vision de loin peut être moins bonne dans certaines conditions d'éclairage intense, entraînant un myosis, en particulier chez les patients opérés par une technique à vision de près centrale ; cet état peut nécessiter le port de verres teintés pour la conduite ;

- la vision de près peut être insuffisante, en particulier dans certaines conditions d'éclairage selon la technique choisie ;

- l'opération réduit la dépendance aux lunettes pour la vision de près mais une correction optique peut être nécessaire ponctuellement en vision de près, en particulier avec le temps ; des verres correcteurs peuvent être nécessaires pour certaines activités en vision très rapprochée ou pour la lecture très prolongée ;

- le résultat ne peut que rarement s'évaluer avant un mois période d'adaptation habituellement nécessaire et est habituellement stabilisé entre trois à six mois. Notons la fréquente myopisation postopératoire initiale dont le patient doit être prévenu ; cette myopisation initiale régresse habituellement au cours des premiers mois, la régression étant plus importante qu'avec un traitement conventionnel. La gêne en vision nocturne est fréquente du fait de la combinaison de ces différents facteurs : myopisation, hyperprolaticité, mydriase.

Le traitement est réservé aux patients psychologiquement positifs et motivés acceptant une diminution potentielle de la qualité de vision. Les meilleurs candidats sont les hypermétropes presbytes jeunes puis les astigmates, les forts myopes, les emmétropes et, enfin, les petits myopes.

Certains patients doivent être écartés *a priori* du fait de leur profession : conducteurs professionnels ou activité prédominante en vision mésopique du fait du risque de diminution de la meilleure acuité visuelle corrigée en vision de loin.

I Perspectives

Les mécanismes optiques permettant d'induire de la pseudo-accommodation sont complexes. Les traitements sont variés mais tous efficaces à différents degrés. L'avenir passera probablement par un traitement personnalisé adapté à l'analyse du front d'onde du patient, à l'analyse de la cinétique pupillaire et à la simulation des modulations du front d'onde avant de modifier le profil cornéen. L'optique adaptative est certainement la prochaine étape incontournable des traitements multifocaux.

CONCLUSION

Le niveau de preuve scientifique concernant le presbyLASIK est suffisant pour pouvoir le proposer à nos patients à la condition d'une sélection rigoureuse des bons candidats et d'une information exhaustive. La plupart des techniques sont en plein essor et la littérature encore insuffisante pour déterminer le profil ablatif idéal ou prévoir la quantité d'aberrations induites ainsi que leur tolérance pour un individu donné. La plupart des techniques proposées sont encore récentes et nécessitent des investigations complémentaires et un plus grand recul.

Synthèse

Traitements photoablatifs : presbyLASIK multifocal

- Le profil cornéen multifocal, ou presbyLASIK multifocal, est :
 - non invasif, car cornéen ;
 - multifocal (≥ 2 foyers, uni- ou bilatéral) pour un gain en profondeur de champ.
- Sa limite est la qualité de vision.

Principe

- Multifocalité + jeu pupillaire + accommodation résiduelle.
- La cornée naturelle est en règle prolate (asphéricité $Q \approx -0,2$), inductrice d'aberration sphérique (+ 0,27 μm) ; il existe une relation linéaire entre gain en profondeur de champ et aberration sphérique... mais la qualité de vision diminue : un compromis est à trouver.
- Mode d'induction de la multifocalité :
 - manipulation des aberrations sphériques : îlots de myopisation centré, décentrés ou profil asphérique « hyperprolate » ($Q = -1$) → pseudo-accommodation proportionnelle (un traitement réfractif peut être ajouté si amétropie associée à la presbytie) ;
 - manipulation d'autres aberrations : coma (horizontal + vertical : « décentrement ») → modification localisée compatible avec un gain de pseudo-accommodation (profondeur de champ), mais risque de diplopie monoculaire (peu utilisée).
- Jeu pupillaire :
 - myosis accommodatif (inconstant, variant avec âge) : favorise la vision de près centrale par augmentation de la profondeur de champ lors du réflexe accommodation-convergence-myosis et explique la nécessité d'un bon éclairage en vision de près ;
 - importance de la mesure préopératoire (+++) du diamètre mésopique, photopique et de l'angle kappa (angulation entre centre pupille et axe visuel pour un centrage adapté).
- Accommodation résiduelle :
 - existe à tout âge mais surtout chez le jeune presbyte, ce qui explique les meilleurs résultats chez les moins de 55 ans et la perte de l'effet avec le temps ;
 - génère un supplément d'aberration sphérique → bénéfice en profondeur de champ ;
 - mesure préopératoire (+++).

Classification des presbyLASIK

- Centré :
 - le plus répandu, bonne reproductibilité et facilité du retraitement ;
 - centré à vision de près centrale : le plus utilisé, capable de cumuler plusieurs facteurs accroissant la profondeur de champ (myosis, induction d'aberrations sphériques négatives) ; profil utilisé par Schwind, Technolas, Zeiss, VISX, Alcon ;
 - centré à vision de près périphérique : le plus souvent superposition d'un traitement centré et d'un traitement de la myopie ou de l'hypermétropie (Nidek) ;
- Décentré : induit une asphéricité localisée à de la coma (par décentrement) → gain en profondeur de champ et réponse accommodative... mais qualité de vision parfois incontrôlable (n'est pas commercialisé).

Information au patient

- Compromis à expliquer.
- L'accommodation résiduelle optimise les résultats → candidat idéal = jeune presbyte (accommodation résiduelle), surtout petit hypermétrope (gêne en vision près).
- Limites :
 - vision de près imparfaite (variabilité ; perte moyenne d'une ligne en binoculaire) ;
 - altération de la qualité de vision par aberration sphérique induite : halos (surtout nocturnes ; diminuent avec la neuroadaptation en 3 à 6 mois) ;
 - petite baisse en vision de loin : peut nécessiter des lunettes de nuit ou teintés de jour ;
 - stabilité entre 3 à 6 mois ;
 - fréquente myopisation initiale suivie d'une régression (avec perte de pseudo-accommodation).
- À réserver aux patients motivés, acceptant le compromis : gain en vision de près/petite perte de vision de loin (exclus : conducteurs professionnels ou activités nocturnes).

Perspectives

- Traitement personnalisé, adapté sur l'analyse du front d'onde et l'analyse de la cinétique pupillaire.
- À déterminer : la quantité d'aberration sphérique induite idéale.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Alarcón A., Anera R.G., Villa C. *et al.* Visual quality after monovision correction by laser in situ keratomileusis in presbyopic patients. *J Cataract Refract Surg*, 2011 ; 37 : 1629-35.

[2] Alió J.L., Chaubard J.-J., Caliz A. *et al.* Correction of presbyopia by technovision central multifocal LASIK (presbyLASIK). *J Refract Surg*, 2006 ; 22 : 453-60.

[3] Anschutz T. Laser correction of hyperopia and presbyopia. *Br Ophthalmol Clin*, 1994 ; 34 : 107-37.

- [4] Artola A., Patel S., Schimchak P. *et al.* Evidence for delayed presbyopia after photorefractive keratectomy for myopia. *Ophthalmology*, 2006 ; 113 : 735-41.e1.
- [5] Bauerberg J.M. Centered vs. inferior off-center ablation to correct hyperopia and presbyopia. *J Refract Surg*, 1999 ; 15 : 66-9.
- [6] Epstein R.L., Gurgos M.A. Presbyopia treatment by monocular peripheral presbyLASIK. *J Refract Surg*, 2009 ; 25 : 516-23.
- [7] Gamba E., Sawides L., Dorronsoro C., Marcos S. Accommodative lag and fluctuations when optical aberrations are manipulated. *J Vis*, 2009 ; 9 : 4.1-15.
- [8] Jackson W.B., Tuan K.M., Mintsoulis G. Aspheric wavefront-guided LASIK to treat hyperopic presbyopia: 12-month results with the VISX platform. *J Refract Surg*, 2011 ; 27 : 519-29.
- [9] Kasthurirangan S., Glasser A. Age-related changes in the characteristics of the near pupil response. *Vision Res*, 2006 ; 46 : 1393-403.
- [10] Li Y.J., Choi J.A., Kim H. *et al.* Changes in ocular wavefront aberrations and retinal image quality with objective accommodation. *J Cataract Refract Surg*, 2011 ; 37 : 835-41.
- [11] Ortiz D., Alió J.J., Illueca C. *et al.* Optical analysis of PresbyLASIK treatment by a light propagation algorithm. *J Refract Surg*, 2007 ; 23 : 39-44.
- [12] Oshika T., Mimura T., Tanaka S. *et al.* Apparent accommodation and corneal wavefront aberration in pseudophakic eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2002 ; 43 : 2882-6.
- [13] Pietrini D.R., Castanera J., Chaubard J. *et al.* Clinical study of visual outcomes and patient satisfaction with excimer procedure for presbyopia. Free Paper, ASCRS, 2011.
- [14] Pinelli R., Ortiz D., Simonetto A. *et al.* Correction of presbyopia in hyperopia with a center-distance, paracentral-near technique using the Technolas 217z platform. *J Refract Surg*, 2008 ; 24 : 494-500.
- [15] Reinstein D.Z., Archer T.J., Gobbe M. LASIK for myopic astigmatism and presbyopia using non-linear aspheric micro-monovision with the Carl Zeiss Meditec MEL 80 platform. *J Refract Surg*, 2011 ; 27 : 23-37.
- [16] Reinstein D.Z., Couch D.G., Archer T.J. LASIK for hyperopic astigmatism and presbyopia using micromonovision with the Carl Zeiss Meditec MEL80 platform. *J Refract Surg*, 2009 ; 25 : 37-58.
- [17] Rocha K.M., Vabre L., Chateau N., Krueger R.R. Expanding depth of focus by modifying higher-order aberrations induced by an adaptive optics visual simulator. *J Cataract Refract Surg*, 2009 ; 35 : 1885-92.
- [18] Sheppard A.L., Davies L.N. The effect of ageing on in vivo human ciliary muscle morphology and contractility. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011 ; 52 : 1809-16.
- [19] Slade S., Barragan E. Clinical evaluation of a new presbyopic LASIK treatment. Free Paper, ESCRS, 2011.
- [20] Telandro A. The pseudoaccommodative cornea multifocal ablation with a center-distance pattern : a review. *J Refract Surg*, 2009 ; 25 : S156-9.
- [21] Uy E., Go R. Pseudoaccommodative cornea treatment using the NIDEK EC-5000 CXIII excimer laser in myopic and hyperopic presbyopes. *Refract Surg*, 2009 ; 25 : S148-55.
- [22] Vinciguerra P., Nizzola G.M., Bailo G. *et al.* Excimer laser photorefractive keratectomy for presbyopia: 24-month follow-up in three eyes. *J Refract Surg*, 1998 ; 14 : 31-7.

III – PROFILS ASPHÉRIQUES

F. MALECAZE

Principe du presbyLASIK par modification de la géométrie cornéenne au laser à excimères

La compensation réfractive de la presbytie par la modulation de l'asphéricité cornéenne est à l'heure actuelle un des sujets les plus discutés en chirurgie réfractive, suscitant un grand intérêt parmi les chirurgiens et l'industrie.

Face à l'insuffisance actuelle des différentes approches chirurgicales visant à restaurer l'accommodation, plusieurs techniques ont été proposées pour compenser la presbytie en induisant une fonction accommodative « artificielle » générée par une modification de la focalisation optique, décrite sous le terme de pseudo-accommodation. Le principe optique commun à ces techniques est de compenser la perte du pouvoir accommodatif liée à l'âge en augmentant la profondeur de champ et, ainsi, de diminuer la dépendance aux verres correcteurs en vision de près tout en conservant une focalisation satisfaisante en vision de loin. Cette pseudo-accommodation peut être générée au niveau des dioptries cornéen ou cristallinien. L'approche cornéenne, couramment décrite sous le nom de presbyLASIK « hyperasphérique », est une procédure simple et rapide, alors que la procédure cristallinienne plus complexe expose aux risques de la chirurgie intraoculaire.

Concepts optiques à connaître

■ ASPHÉRICITÉ ET ABERRATION SPHÉRIQUE

ASPHÉRICITÉ

Une surface asphérique est une surface qui n'est pas une sphère (« a » privatif). C'est donc une surface dont la courbure n'est pas constante, alors que dans le cas d'une sphère le rayon de courbure est en tout point le même (fig. 5-14).

Une surface asphérique présente une symétrie de révolution, ce qui signifie qu'une rotation autour de l'axe optique ne modifie pas ses propriétés physiques.

En géométrie mathématique, une surface asphérique est décrite sous le terme de conique ou section conique, car elle est générée par l'intersection d'un cône par un plan de coupe (fig. 5-15). Selon son angle, l'intersection qu'on obtient est un cercle, une ellipse, une parabole ou une hyperbole^[9, 17]. La figure 5-16 représente la dénomination des différents types de sections coniques. Le rayon de courbure :

- augmente lorsqu'on s'éloigne du centre dans une ellipse oblate (bombement majoré en périphérie) ;
- est constant dans le cas d'une sphère ;