



M. ASSOULINE,
Clinique de la Vision, PARIS.
dr.assouline@gmail.com

The mysterious rainbow glare : a new insight...

Parmi les effets indésirables optiques visuellement significatifs de la correction chirurgicale de la myopie par LASIK (sensibilité transitoire à la lumière, effet mésopiques de aberrations optiques d'ordre supérieur tels que l'aberration sphérique ou la coma, perte de contraste liée à la cicatrisation de l'interface ou à la dégradation des modulations de fonction de transfert cornéennes) figure une complication rare et relativement mystérieuse rapportée initialement en 2008 par notre ami Ron Krueger (*Cleveland Eye Clinic*, Ohio, Etats-Unis) [1]: le *rainbow glare* ou "dysphotopsie en arc-en-ciel".

Les patients atteints perçoivent de façon assez spécifique et précoce après la chirurgie, des franges colorées (entre 4 et 12, le plus souvent 6) irradiant de façon symétrique à partir du centre de façon radiaire autour des sources lumineuses sur fond sombre et comportant les différentes couleurs du spectre coloré, allant des couleurs froides (violet-bleu-ou longueurs d'onde courtes au centre) vers les couleurs chaudes (jaune-rouge ou longueurs d'onde longues en périphérie). Ces franges colorées sont associées à une double image centrale atténuée (diplopie monoculaire "fantôme") et éventuellement à une polyopie (images secondaires latérales). Ces effets visuels indésirables peuvent être perçus comme suffisamment handicapant pour empêcher la conduite automobile et les activités visuelles quotidiennes.

La majorité des cas sont bénins et se résolvent spontanément. Certains patients sont cependant particulièrement gênés et le manque de prise en compte de leurs symptômes par leur ophtalmologiste ou de solution efficace peut les conduire à consulter de façon itératives plusieurs spécialistes, voire à bénéficier, pour certains, d'une prise en charge psychothérapeutique lourde.

Dans la publication princeps, Krueger *et al.* [1] avaient retrouvé 19,14 % de cas de *rainbow glare* après femtoLASIK

réalisé avec un ancien modèle de laser femtoseconde intra-Lase 15 kHz, utilisant une énergie de 1,3 à 2,6 uJ par spot et un intervalle de 9/9 ou 11/9 μm (sur 399 yeux) et 2,47 % seulement dans une série de 186 yeux opérés avec un nouveau modèle de laser femtoseconde, utilisant la même fréquence mais avec une ouverture numérique plus élevée. L'incidence était plus élevée pour les hypermétropes (39,4 %) que pour les myopes (14,8 %) et également plus élevée pour les corrections plus importantes. L'épaisseur du volet était un facteur de risque avec 19 % de plus de cas par augmentation de 10 μm de la profondeur de l'interface. Les auteurs ont également noté une corrélation avec le coma et les aberrations optiques totales. Une association significative avec les autres effets photiques indésirables du LASIK a été notée (halos, éblouissement et diffraction en étoile de type *starburst*).

Une seconde publication par Bamba *et al.* en 2009 [2] a montré dans une série de 256 yeux traités avec un laser plus récent cadencé à 60 kHz une incidence plus réduite pour des spots de basse énergie (4,1 % ; 0,8 uJ) que de haute énergie (11,6 % ; 1.1 uJ, séparé de 8 μm). En réduisant l'énergie, en augmentant la fréquence et en réduisant l'espacement des spots, l'incidence minimale retrouvée dans cette série était de 2,47 %. Une distribution bimodale de l'incidence suggérait une corrélation significative :

- avec des problèmes initiaux d'alignement et de réglage de l'énergie ;
- avec des problèmes secondaires de maintenance trop tardive du laser femtoseconde.

Des incidences similaires ont été observées avec des lasers plus récents tel que le FS200 Wavelight. Notamment, dans une publication récente, l'*upgrade* de ce laser a été associé à une incidence de 13,73 % alors que cette même équipe avait une incidence de 1,57 % avec ce laser non upgradé [3].

Cependant aucun cas n'a été rapporté :

- avec le laser IntraLase FS150 ou le laser Visumax Zeiss. Nous utilisons ces deux lasers depuis de nombreuses années et n'avons pas observé de cas personnel de *rainbow glare* sur plusieurs milliers de cas opérés ;
- après SMILE Relex au laser Visumax Zeiss ;
- quand la distribution des impacts de laser femtoseconde est effectué en mode spiral (caractéristique des lasers les plus récents) plutôt que selon un balayage en grille. Cette réduction de l'incidence semble être liée au fait que les lasers les plus récents utilisent des objectifs à grande ouverture numérique capable de focaliser plus précisément les *spots* de laser et de réduire les dommages tissulaires collatéraux.

Dans une étude comparative du LASIK au microkératome et au laser femtoseconde, réalisée au CHNO des 15-20 à Paris, notre ami Bertrand Sonigo (Saint Germain en Laye) [4] a montré cliniquement, grâce à la microscopie confocale que l'on retrouvait des lignes de points hyper-réfléctifs espacés de 9 à 12,5 μm dans le stroma adjacent à l'interface. Cependant, ces points sont également observés chez des patients asymptomatiques.

Dès 2008, Ron Krueger [1] a émis l'idée que ce phénomène optique était la conséquence d'un réseau de diffraction transmissif et a également calculé au moyen de l'analyse des tracés effectués par les patients, l'espacement théorique des anomalies de transparence du stroma à l'origine du phénomène, comme étant de 9,2 μm , une valeur identique à celle observée pour les impacts du laser femtoseconde.

En effet, lorsqu'une lumière polychromatique traverse un réseau de diffraction comportant des fentes espacées régulièrement, une décomposition spectrale des rayons émergents est observée du fait d'une interférence constructive. L'angle d'émergence étant proportionnel à la longueur d'onde et inversement proportionnel à la distance entre les centres de chaque fente (l'équation précise étant $\sin\theta_m = m\lambda/A$), les longueurs d'onde courtes apparaissent plus proches de la source lumineuse et les longueurs d'onde élevées plus éloignées. Plusieurs auteurs ont montré qu'il était possible de reproduire l'effet optique de ces interférences constructives sur une plaque de verre, un gel, une lentille de contact ou un disque en PMMA traités par laser femtoseconde. Sur le plan théorique, il ne semble donc pas possible techniquement de réduire suffisamment l'espacement des spots pour éradiquer ce problème, compte tenu des paramètres optiques de l'œil humain. Un espacement optimal de 3 μm a été suggéré par un modèle expérimental [5].

Notre brillant condisciple et ami Damien Gatinel (Paris) a élaboré une représentation graphique pédagogique assez sophistiquée de la théorie de Krueger montrant la formation d'interférences constructives, du fait de la superposition de rayons diffractés, liée à l'espacement régulier et périodique des impacts de laser femtoseconde dans le stroma cornéen lors de la réalisation du volet du femtoLASIK.

Damien Gatinel a par ailleurs proposé "d'effacer" les traces résiduelles des impacts de laser femtoseconde persistant au niveau de la face postérieure du volet (la face antérieure du stroma sous jacent ayant déjà été "lissée" par la photoablation réfractive), en pratiquant une photoablation réfractive ou thérapeutique de 10 à 15 μm de profondeur sur cette face postérieure du volet, avec un certain succès subjectif sur quelques patients. En 2015, Damien Gatinel [6] a publié son premier cas. La patiente de 33 ans se plaignait d'un *rainbow glare* sur son œil droit et une correction de son astigmatisme résiduel de -0.75 D par une photoablation de la face postérieure du volet a permis d'emmétropiser l'œil et réduire la dysphotopsie.

La photoablation de la face postérieure du volet, décrite il y a une quinzaine d'années par notre ami Jerry Tan (Singapour) est simple à réaliser (marquage épithélial sur centre de la pupille, inversion du volet sur un support convexe, ajustement de l'axe de l'astigmatisme à 180° sur la programmation du laser, et préservation d'une épaisseur du volet résiduelle de 90 μm , comprenant l'épaisseur épithéliale de 50 μm). Cette méthode de retouche présente également l'avantage de ne pas réduire la pachymétrie stromale postérieure résiduelle.

Nous avons eu l'opportunité d'examiner en 2016 pour "deuxième" avis spécialisé le patient décrit initialement par Damien Gatinel et son équipe dans leur publication de 2013 [7], se plaignant d'un *rainbow glare* invalidant de l'œil droit.

Ce patient né en 1983 et opéré en 2012 à la Fondation Rothschild à Paris d'un femtoLASIK (probablement avec un laser femtoseconde IntraLase FS60) pour une myopie de -6.0/-7.0 D, avait une réfraction postopératoire quasi parfaite (OD +0.50 (-0.75) 5° = 10/OG +0.50 (-0.50) 165° = 10).

La pachymétrie résiduelle était de 459/498*us et 490/511*orb, ce qui témoignait d'une excellente perméabilité optique de la cornée (la pachymétrie Orbscan étant typique inférieure à la pachymétrie ultrasonique en cas d'opacification stromale).

L'aberrométrie Zywave et KRW1 montrait une aberration sphérique minime, inférieure à 0,50 μm , pour des HOA

totales de $1,31 \mu\text{m rms}$ à gauche. Une coma modérée de l'œil droit en relation avec un léger décentrement temporel, visible sur les topographie Orbscan et Pentacam était observée. La résistance mécanique mesurée à l'ORA était normale (fig. 1).

En réinterrogeant ce patient, nous avons noté un fait très inhabituel. Les effets photiques associés à la dégradation de la qualité optique de la cornée dans les suites d'une chirurgie

réfractive sont typiquement majoré en ambiance mésopique ou scotopique du fait de l'augmentation de l'impact des aberrations optiques d'ordre supérieur (HOA). Le patient, en revanche, insistait sur le fait que les phénomènes photiques dont il souffrait (*rainbow glare*) était presque exclusivement perçus en ambiance photopique extrême (forte lumière de face), évoquant une majoration des symptômes en myosis et un phénomène de diffraction prédominant.

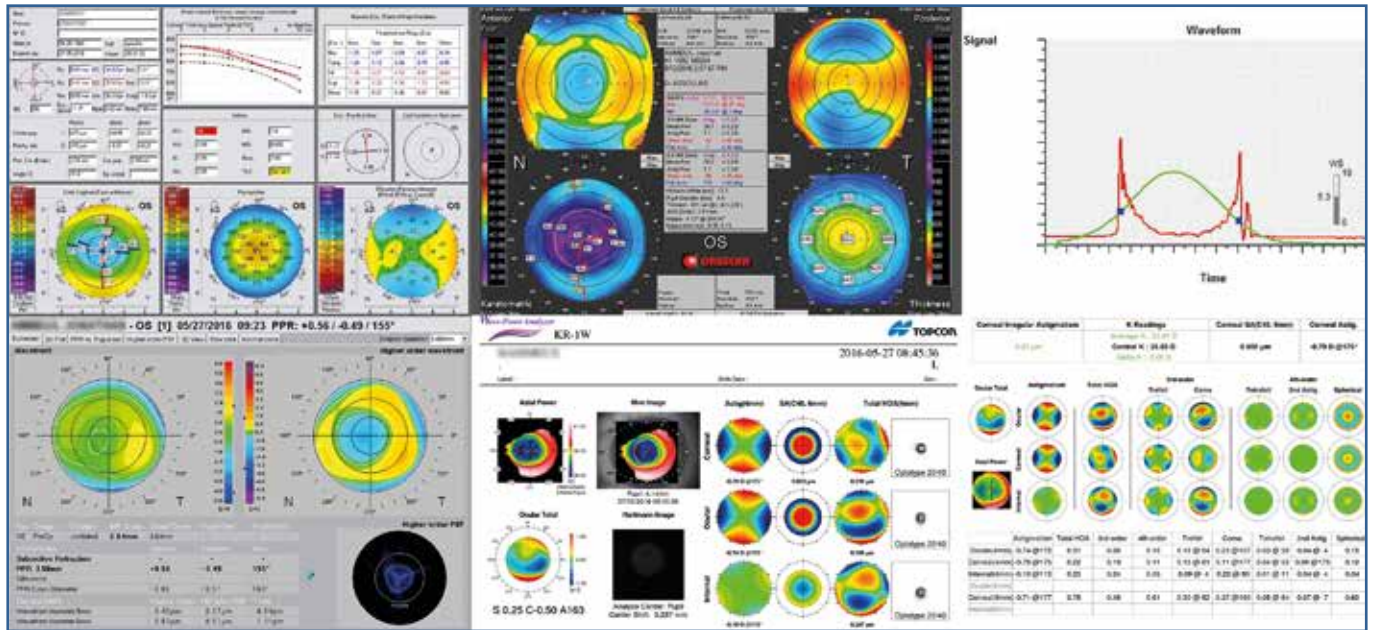


Fig. 1 : Examens topographiques, aberrométriques, et biomécaniques (œil gauche).

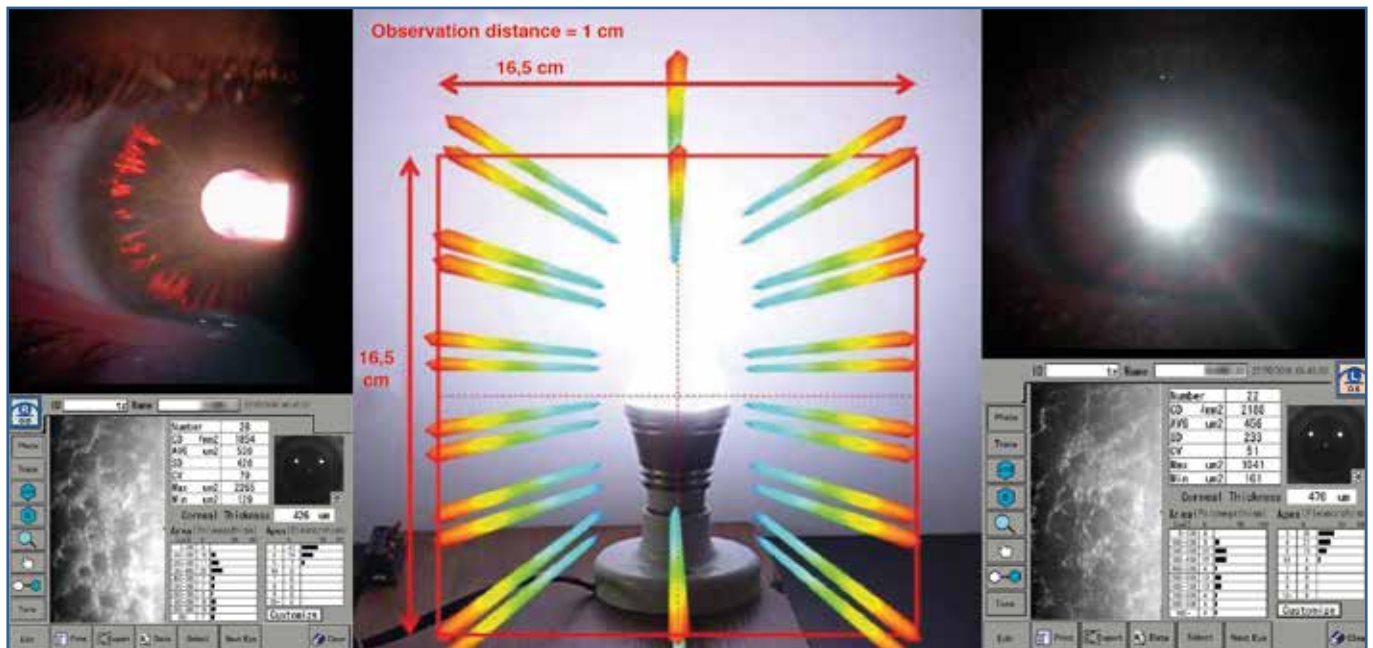


Fig. 2 : Examens biomicroscopique et spéculaire (œil droite et gauche). © www.gatinel.com

En examinant plus attentivement le patient au biomicroscope, nous avons pu constater deux anomalies très significatives qui avaient curieusement échappé aux très nombreux ophtalmologistes l'ayant examiné depuis 2011 (son chirurgien en premier lieu, puis tous les spécialistes consultés par la suite ainsi que les membres de l'équipe ayant publié son cas). Ces anomalies étaient probablement moins visibles au cours des années antérieures.

La cornée postérieure était le siège d'une *cornea guttata* très avancée, confirmée en microscopie spéculaire (**fig. 2**).

Par ailleurs, en myosis photo-induit, une très importante dispersion pigmentaire, responsable d'une transillumination irienne radiaire était clairement visible (**fig. 3**), correspondant parfaitement à la transcription graphique du *rainbow glare* effectuée par le patient (**fig. 4**).

Ce cas illustre plusieurs aspects intéressants de la chirurgie réfractive :

- Les théories optiques fondamentales permettent parfois d'expliquer rationnellement et avec une grande élégance des

effets cliniques inattendus liés à l'émergence de techniques chirurgicales nouvelles. L'enseignement théorique ne devrait pas être négligé dans une pratique chirurgicale de pointe.

- Une conjonction inhabituelle de facteurs de risques explique *a posteriori* la manifestation gênante et persistante d'un phénomène photique indésirable généralement bénin et à présent très rare, le *rainbow glare* ;
 - correction myopique relativement importante ;
 - légère coma induite par un décentrement modéré du côté droit sur lequel prédominait l'effet photique ;
 - traitement par laser femtoseconde de deuxième génération ayant probablement contribué à la formation d'un réseau diffractif d'impacts tissulaires intrastromaux responsable d'interférence constructive à l'origine de la perception du *rainbow glare* ;
 - majoration possible par la *cornea guttata* de ces phénomènes diffractifs structurés et des interférences constructives qui en résultent ;
 - majoration plus que probable de la perception des effets photiques par l'altération significative de l'imperméabilité optique irienne en myosis selon une disposition radiaire et

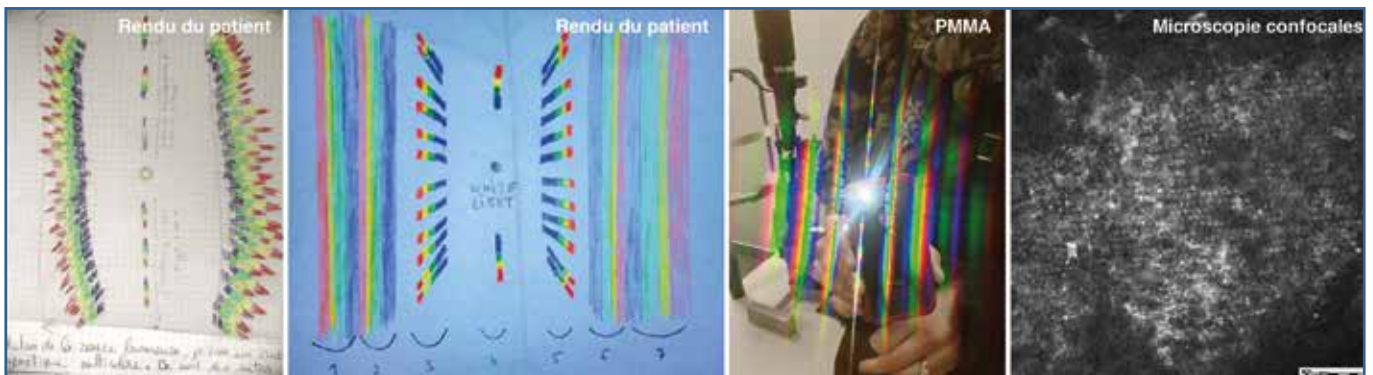


Fig. 3 : The Mysterious Rainbow Glare (©www.gatinel.com 2013).

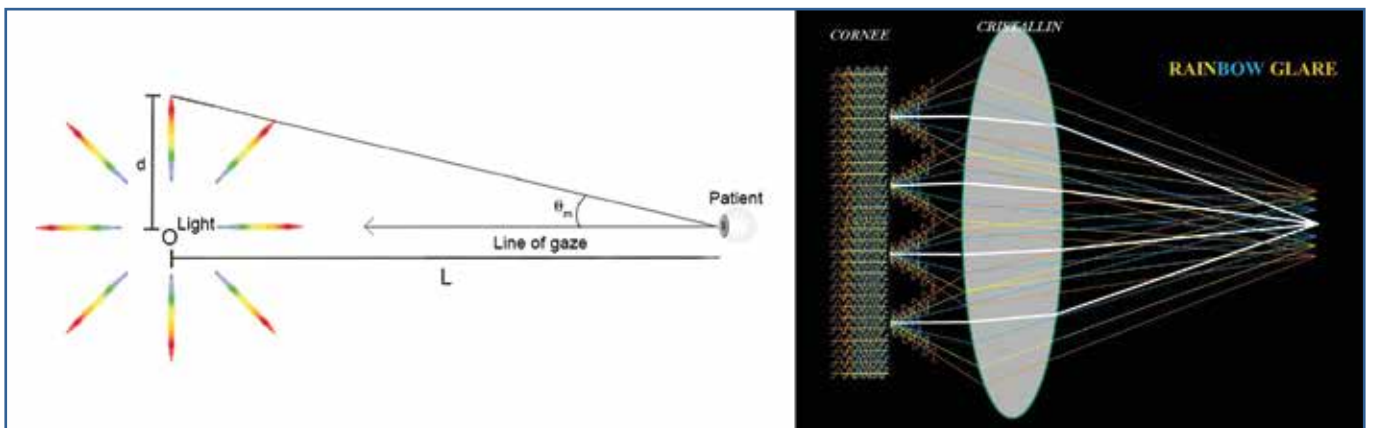


Fig. 4 : Réseaux de diffraction transmissive et interférences constructives : $\sin\theta_m = m\lambda/A$ © Ron Krueger (2008) et Gatinel.com (2013)

un espacement superposables à la transcription graphique du *rainbow glare* par le patient.

- La sémiologie clinique des effets photiques doit être mise en relation avec la théorie de l'optique physiologique, qui permet de distinguer les conséquences des aberrations optiques d'ordre supérieur (majorées en mydriase) de ceux de la diffraction (majorées en myosis serré).

- Au risque de paraître inutilement conservateur, l'examen clinique consciencieux ne devrait probablement pas perdre sa place de choix face à l'arsenal diagnostique paraclinique considérable dont bénéficient aujourd'hui les chirurgiens réfractifs.

Pour en savoir plus

1. KRUEGER RR, THORNTON IL, XU M *et al.* Rainbow glare as an optical side effect of IntraLASIK. *Ophthalmology*, 2008;115:1187-1195.
2. BAMBA S, ROCHA KM, RAMOS-ESTEBAN JC *et al.* Incidence of rainbow glare after laser in situ keratomileusis flap creation with a 60 kHz femtosecond laser. *J Cataract Refract Surg*, 2009;35:1082-1086.

3. ZHANG Y, CHEN YG. High incidence of rainbow glare after femtosecond laser assisted-LASIK using the upgraded FS200 femtosecond laser. *BMC Ophthalmol*, 2018;18:71.
4. SONIGO B, IORDANIDOU V, CHONG-SIT D *et al.* In vivo corneal confocal microscopy comparison of intralase femtosecond laser and mechanical microkeratome for laser in situ keratomileusis. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2006;47:2803-2811.
5. ACKERMANN R, KAMMEL R, MERKER M *et al.* Optical side-effects of fs-laser treatment in refractive surgery investigated by means of a model eye. *Biomed Opt Express*, 2013;4:220-229.
6. GATINEL D, SAAD A, GUILBERT E *et al.* Simultaneous correction of unilateral rainbow glare and residual astigmatism by undersurface flap photoablation after femtosecond laser-assisted LASIK. *J Refract Surg*, 2015;31:406-410.
7. GATINEL D, SAAD A, GUILBERT E *et al.* Unilateral rainbow glare after uncomplicated femto-LASIK using the FS-200 femtosecond laser. *J Refract Surg*, 2013;29:498-501.
8. PETER M, KAMMEL R, ACKERMANN R *et al.* Analysis of optical side-effects of fs-laser therapy in human presbyopic lens simulated with modified contact lenses. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2012;250:1813-1825.
9. SALZ JJ. Difficult and Complicated Cases in Refractive Surgery: Suction Loss After Complete Raster Pattern and No Side Cut, No Flap Lift, and Rainbow Glare. Berlin Heidelberg: Springer; 2014.
10. KRUEGER RR, ROCHA KM, DUPPS WJ. Natural History and Incidence of Rainbow Glare and Light Scattering in Femtosecond LASIK. San Diego, CA: American Society of Cataract and Refractive Surgery; 2015. Paper 16815.

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