



X. ZANLONGHI<sup>1, 2</sup>,  
 C. FAVEEUW<sup>1</sup>,  
 A. MASSOT<sup>1</sup>,  
 T. BIZEAU<sup>1</sup>



## Quel est l'impact du filtre jaune sur la qualité de vision du patient opéré?

**D**epuis un article princeps de Niwa *et al.* [1], en 1996, qui montrait l'intérêt d'un implant intraoculaire légèrement jaune, des chromophores ont été mis au point pour différents matériaux d'implant intraoculaire et en particulier pour l'acrylique hydrophobe d'Alcon, AcrySof® Natural\* (SN60AT), mis sur le marché en Europe en 2002 (marquage CE) et aux Etats-Unis en 2003 (approbation de la FDA).

Cette filtration de certaines longueurs d'onde s'appuie, d'une part, sur des données *in vitro* de toxicité des ultraviolets et de la lumière bleue sur l'épithélium pigmentaire rétinien [2] et, d'autre part, sur des données épidémiologiques suggérant une corrélation entre la DMLA et certaines longueurs d'onde [3]. Ces implants filtrant une certaine quantité de lumière bleue auraient un rôle protecteur contre l'apparition ou l'aggravation d'une DMLA.

Rapidement, une première controverse est apparue sur le rôle bénéfique ou non de cette filtration sur la perception colorée des patients et sur leur perception des contrastes. Plus récemment, une nouvelle controverse a concerné la vision scotopique [4, 5].

Cet article tente de montrer l'absence de perte de contraste, de perception colorée, ou d'influence sur la vision scotopique des implants filtrants "jaunes".

\* Naturel.

1 Laboratoire d'Explorations Fonctionnelles de la Vision,  
 Clinique Sourdille, NANTES.

2 Service d'Ophtho-Pédiatrie, Fondation A. de Rothschild, PARIS.

### ■ LUMIERE BLEUE ET DMLA

#### 1. – Phototoxicité de la lumière

L'œil humain est constamment exposé à de la lumière naturelle (soleil) et artificielle. Ainsi, l'œil reçoit des UVB (295-320 nm), des UVA (320-400 nm) et de la lumière visible (400-700 nm). La phototoxicité de la lumière est connue depuis de nombreuses années [6, 7].

La rétinophototoxicité des rayons ultraviolets étant connue dès les années 1980, il a semblé utile d'inclure dans tous les implants intraoculaires un filtre anti-UV reproduisant les caractéristiques de filtration du cristallin normal qui absorbe les radiations entre 300 et 400 nm. Ce n'est que depuis quelques années que la lumière bleue visible (400-500 nm) a été identifiée comme un facteur de risque possible de la DMLA [8]. En effet, avec l'âge, on assiste à une augmentation de la lipofuscine (A2E) et à une augmentation du niveau énergétique de lumière absorbée par l'A2E qui est multiplié par 5 [9].

#### 2. – Protégeons la rétine en filtrant la lumière bleue

Les radiations les plus énergétiques de longueur d'onde inférieure à 280 nm sont généralement filtrées par la couche d'ozone. Les UVB et A sont filtrés en dessous de 295 nm par la cornée et en dessous de 400 nm par le cristallin. Les interactions tissulaires sont représentées par des lésions de type photochimique résultant de l'absorption d'une radiation par une molécule absorbante appelée chromophore. L'absorption d'énergie aboutit à la création d'un état instable avec formation de radicaux libres. Plusieurs types de modes de restitution de l'énergie absorbée surviennent ensuite, aboutissant à

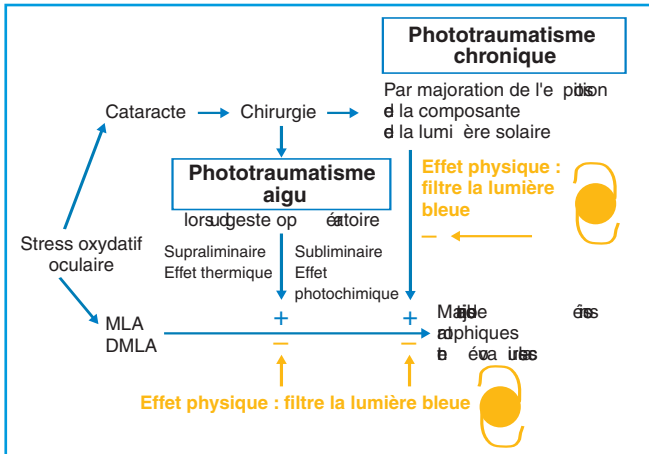


Fig. 1 : Phototraumatisme lié à la chirurgie de la cataracte.

de nombreux remaniements par interaction avec les molécules environnantes [10] (fig. 1).

Sparrow a présenté en 2004 une très belle étude in vitro sur des cellules rétinienne humaines [2]. Cette étude établit une corrélation entre la lumière bleue, l'épithélium pigmentaire, la lipofuscine A2E et l'apoptose cellulaire conduisant à la DMLA. Elle a comparé l'AcrySof® Natural avec d'autres implants à filtres UV de différents matériaux, et démontré qu'AcrySof® Natural entraîne une diminution de près de 80 % de la mort des cellules exposées à la lumière bleue en comparaison de l'absence de filtre. Les autres implants étudiés n'ont que très peu diminué la mort des cellules (de 10 à 20 %).

Au cours du vieillissement, les éléments composant la lipofuscine s'accumulent dans les cellules de l'épithélium pigmentaire. Il est par ailleurs établi que les lésions de la DMLA commencent au niveau de l'épithélium pigmentaire pour s'étendre secondairement aux photorécepteurs [11]. L'augmentation de la concentration en lipofuscine au niveau des cellules susceptibles d'évoluer vers l'atrophie est confirmée par les clichés en autofluorescence.

**3. - Lumière, DMLA et chirurgie de la cataracte**

Avec l'âge, un jaunissement progressif du cristallin apparaît qui protège la région maculaire de l'exposition à la lumière bleue. Lors de la chirurgie de la cataracte, ce filtre disparaît (fig. 2) et l'exposition maculaire à la lumière bleue qui suit pourrait être l'une des plus importantes au cours de la vie des patients opérés. Les rayons ultraviolets ayant un caractère

nocif pour la rétine, il est apparu utile de mimer avec l'implant les caractéristiques de filtration du cristallin normal qui absorbe les radiations entre 300 et 400 nm (fig. 3). Mais, la connaissance d'un lien entre un environnement lumineux et un risque de DMLA dès les années 1988 [12] a conduit à la conception d'implants intraoculaires filtrant la lumière bleue tel l'AcrySof® Natural (fig. 4). A 450 nm, l'AcrySof® Natural filtre de 40 % à 60 % de la lumière (10 et 30 Dpt), il absorbe de moins en moins jusqu'à 550 nm où il devient aussi "transparent" qu'un implant sans filtre jaune [13].

Une littérature abondante et parfois contradictoire relie le risque de DMLA et la chirurgie de la cataracte. La Maryland Watermen Study [14] montre une relation épidémiologique entre la lumière bleue et les formes graves de DMLA. Curieusement, dans cette étude épidémiologique, les auteurs n'ont

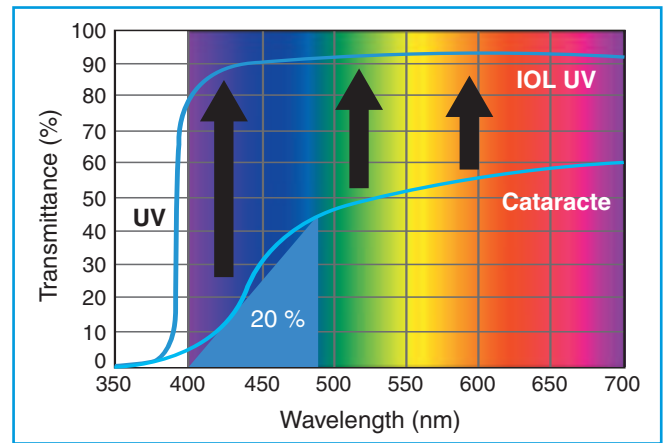


Fig. 2 : Courbe de transmission en fonction de la longueur d'onde d'un cristallin cataracté et d'une LIO seulement anti-UV.

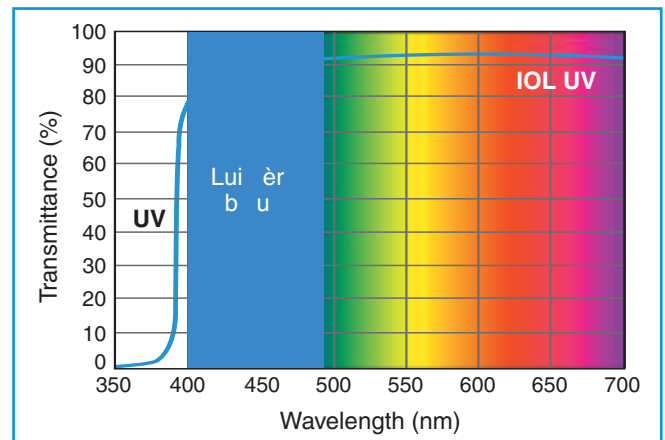
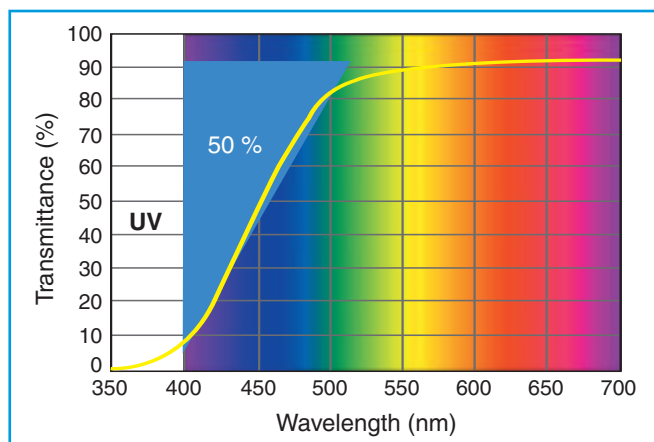


Fig. 3 : 100 % de la lumière bleue passe au travers d'une LIO seulement anti-



**Fig. 4 :** Courbe de transmission en fonction de la longueur d'onde d'une LIO "jaune" filtrant 50 % de la lumière bleue.

pas trouvé de relation entre une exposition accrue aux UVA et UVB avec la DMLA. La Age-Related Eye Disease Study [15] montre une absence de relation entre une progression d'une DMLA et une chirurgie de la cataracte sauf dans des sous-groupes de DMLA exsudative et de DMLA atrophique.

Wang, en 2003 [16], reprenant les données regroupées de la Beaver Dam et de la Blue Mountain Eye Studies, a constitué une cohorte de plus de 6 000 patients suivis pendant plus de 5 ans. Il montre que le risque de développer une DMLA chez les sujets âgés au cours des 5 ans suivant une chirurgie de la cataracte est 2 à 5 fois plus élevé chez les patients opérés de cataracte que chez les sujets appariés n'ayant pas été opérés. C'est ce que note également Pham [17] sur une série de 454 patients opérés avec un suivi moyen de 30 mois qui note une augmentation de l'incidence des formes précoces de DMLA après 3 ans. Glazer-Hockstein montre une diminution du risque de DMLA en filtrant la lumière bleue [18].

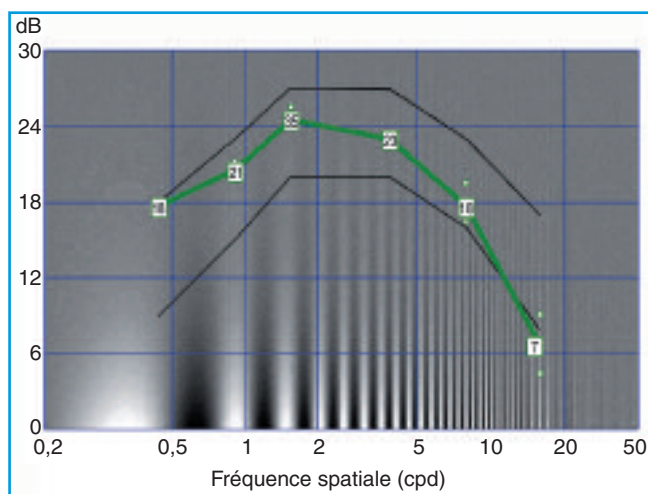
Toutes ces notions sur la toxicité de la lumière bleue incitent à utiliser des implants de couleur jaune qui filtrent une partie de la lumière bleue incidente. Encore faut-il s'assurer que cette filtration n'altère pas les principales fonctions visuelles comme la sensibilité aux contrastes, la résistance à l'éblouissement, la perception colorée, la vision scotopique...

## ■ LA PERCEPTION DES CONTRASTES

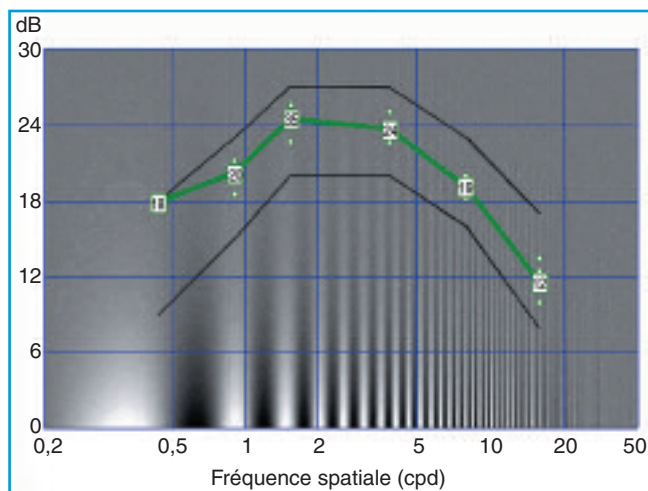
Les études ont montré qu'il n'y avait aucune modification de l'acuité visuelle avec l'implant AcrySof® Natural [19]. Mais

qu'en est-il de fonction plus fine comme la sensibilité aux contrastes (*fig. 5 et 6*) ?

La première étude date de 1996 [1], elle a permis d'évaluer l'efficacité des implants jaunes sur la fonction de sensibilité aux contrastes. Une comparaison de la sensibilité aux contrastes d'yeux pseudophaques, les uns implantés par une lentille intraoculaire absorbant les UV (LIO-UV), les autres par une lentille non cyanopsique teintée en jaune (LIO-UVCY) a été établie pour cinq fréquences spatiales données (1,5 ; 3 ; 6 ; 12 et 18 cpd).



**Fig. 5 :** Sensibilité aux contrastes préopératoire (mesurée sur Métrovision). Œil droit acuité ETDRS de 63 (4/10).



**Fig. 6 :** Même patient de 85 ans, opéré avec un AcrySof® Natural: acuité ETDRS 80 (8/10). La sensibilité aux contrastes photopique est normale.

Les fonctions de sensibilité aux contrastes obtenues en lumière diurne sont présentées sur la **figure 7a**, celles qui sont obtenues en lumière nocturne sur la **figure 7b**. En lumière diurne, comme en lumière nocturne, les implants jaunes se sont révélés améliorer la sensibilité aux contrastes aux fréquences moyennes de 3 à 12 cpd.

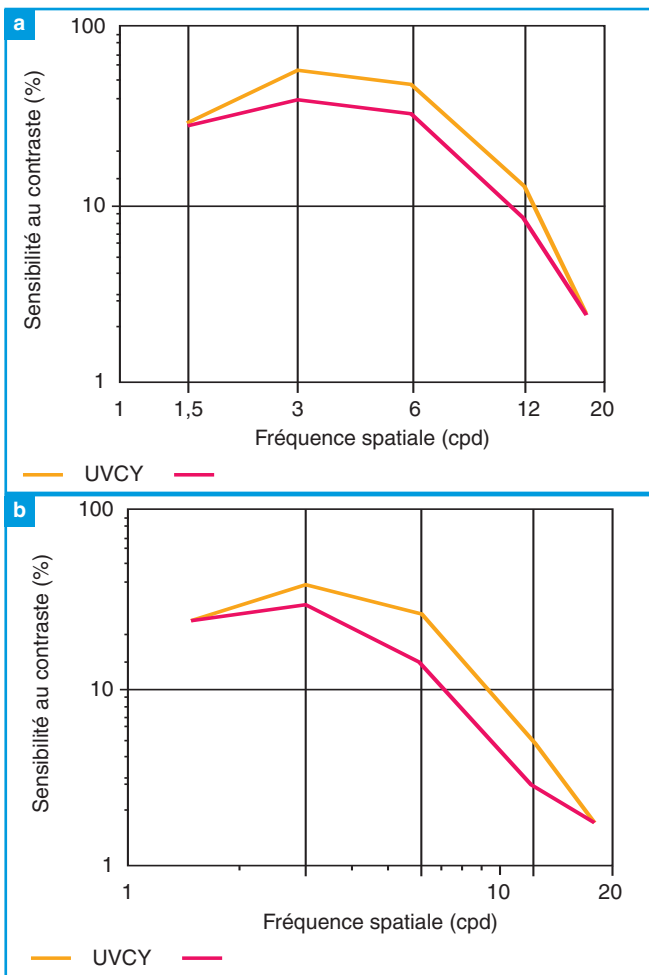
Depuis cette première étude, de nombreuses publications sur la sensibilité aux contrastes en conditions photopique, méso-pique et scotopique, sur l'implant AcrySof® Natural ont été publiées. Nous retiendrons l'étude multicentrique de Marshall [19] qui ne trouve, sur une série de 150 patients recevant un AcrySof® Natural comparativement à une série témoin de 147 patients recevant un AcrySof® monobloc classique simplement anti-UV, aucune différence statistique en termes de sensibilité aux contrastes photopique et méso-pique en utili-

sant le test Vector Vision CSV-1000E. Avec le même matériel de contraste, sur une série de patients implantés sur un œil avec AcrySof® Natural et sur l'autre œil avec AcrySof® SA60AT, Rodriguez-Galietero [20] retrouve les mêmes résultats que l'étude FDA-Marshall.

C'est également ce que nous avons trouvé dans une étude multicentrique française portant sur 104 yeux opérés (publication en cours). La sensibilité aux contrastes photopique avec la planche à contraste variable (**fig. 8**) ne montre pas de différence de score entre un groupe AcrySof® Natural :  $43,4 \pm 4,2$  (n = 72/73), et un groupe SA60AT :  $42,7 \pm 4,8$  (n = 31/31).

Sur une population de 22 patients diabétiques recevant sur un œil AcrySof® Natural et sur l'autre œil AcrySof® SA60AT, Rodriguez-Galietero [21] trouve même une amélioration de la sensibilité au contraste photopique du côté de l'œil implanté avec l'implant filtrant la lumière bleue.

D'autres marques d'implants filtrant les bleus trouvent également une absence de perte de sensibilité aux contrastes et une diminution de l'effet d'éblouissement sur la sensibilité aux contrastes [22].



**Fig. 7 :** Fonctions de sensibilité au contraste en lumière diurne (a) et nocturne (b) pour les groupes LIO-UV et LIO-UVCY. Modifiées d'après Niwa [1].



**Fig. 8 :** Planche Sander-Zanlonghi à Contraste Variable Lissac®.

L'absence d'atteinte, voire l'amélioration de la sensibilité aux contrastes avec l'implant AcrySof® Natural remarquée par plusieurs auteurs, est très probablement liée à une diminution de l'aberration chromatique telle que l'a montrée J. Schwiegerling en 2004 lors de l'ASCRS avec un modèle expérimental optique où l'implant est immergé dans une solution de BSS®.

## ■ LA PERCEPTION DES COULEURS

Une sensation lumineuse peut être reproduite par la superposition en proportions variables de 3 teintes primaires : rouge, vert, bleu. En optique physiologique de la couleur, on utilise un mode de représentation trivariante s'appuyant sur le système trichrome. Classiquement, on utilise le triangle des couleurs de la Commission Internationale de l'Eclairage (<http://www.colorsystm.com/projekte/fr/37cief.htm>) (fig. 9).

En clinique, les tests de vision des couleurs sont des tests pigmentaires de type 15 Hue saturé ou désaturé, 25 Hue et 100 Hue [23].

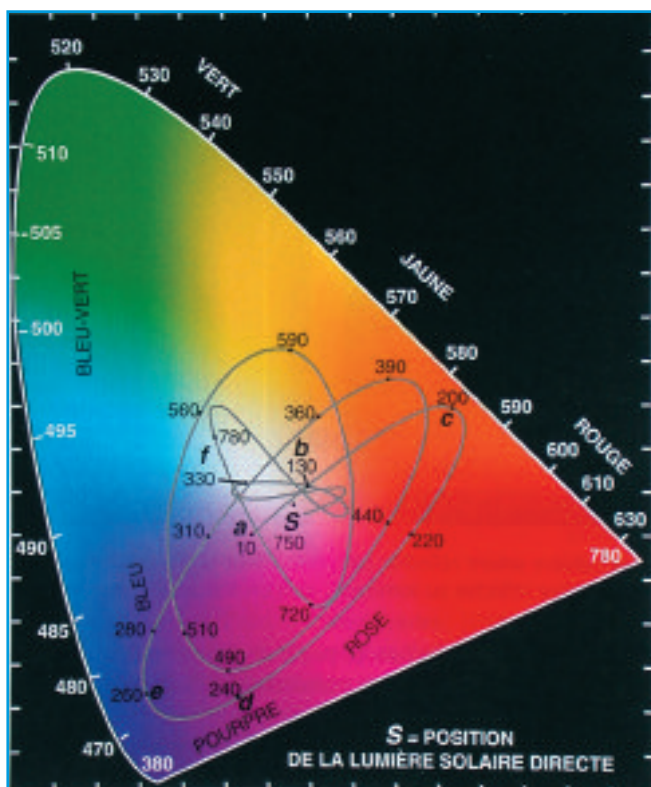


Fig. 9 : Triangle des couleurs CIE.

Marshall [19], en utilisant le test Farnsworth D-15, ne trouve sur une série de 150 patients recevant un AcrySof® Natural comparativement à une série témoin de 147 patients recevant un AcrySof® classique simplement anti-UV, aucune différence statistique en termes de vision des couleurs. Ce même résultat a été observé par Bhattacharjee [24]. C'est également ce que nous avons trouvé dans l'étude multicentrique française en utilisant le 15 Hue désaturé de Lanthony.

Le 100 Hue a été utilisé par Cionni [25] qui a étudié la perception des couleurs chez des patients porteurs de LIO-UV ou de LIO avec filtre de lumière bleue. Les patients opérés de façon bilatérale ont été répartis en deux groupes SN/SN et SA/SA et comparés à des sujets normaux phaqes. La perception colorée a été évaluée dans les trois groupes de patients grâce au test de Farnsworth 100 Hue sous différentes conditions photopique et mésopique. Il n'a trouvé aucune différence statistique dans le score du 100 Hue entre les groupes SN/SN et SA/SA. L'analyse plus fine des erreurs dans l'axe rouge-vert et dans l'axe bleu-jaune ne montre pas non plus de différence. En condition mésopique, le score du 100 Hue est même statiquement meilleur dans le groupe AcrySof® Natural par rapport au groupe de sujets normaux phaqes ( $p = 0,046$ ). Cet auteur conclut que les LIO contenant un chromophore n'entraînent aucune altération de la perception colorée, que ce soit en implantation unilatérale ou bilatérale.

En 2005, Rodriguez-Galietero, toujours avec le 100 Hue sur une série de 20 patients avait trouvé les mêmes résultats [20]. Ce même auteur, sur une autre série de 22 patients diabétiques opérés d'un œil avec AcrySof® Natural et de l'autre avec AcrySof® SA60AT, trouve une meilleure discrimination dans l'axe bleu-jaune, chez les yeux implantés avec l'AcrySof® Natural ( $p = 0,008$ ) [21]. Sur une série de 32 patients implantés sur un œil avec AcrySof® SN60AT et sur l'autre avec AcrySof® SA60AT, une équipe espagnole utilisant le test "Farnworth 25" ne trouve pas de différence [26].

Dans les trois études auxquelles j'ai participé (deux monocentriques avec le Dr Santiago) et une multicentrique portant en tout sur 200 patients, je n'ai qu'un seul cas où une patiente artiste peintre a remarqué en postopératoire immédiat une très discrète différence dans sa perception colorée entre l'œil opéré avec un SN60AT et l'autre œil opéré avec un SA60AT. Cette différence s'est estompée au bout de 6 mois. Il n'y a eu

aucune explantation d'implant filtrant les bleus. Nous recommandons de mettre le même type d'implant filtrant sur les deux yeux.

L'absence d'atteinte de la vision colorée est expliquée par le fait que l'implant AcrySof® Natural ne filtre qu'environ 50 % des bleus à 450 nm (de 40 à 60 % en fonction de la dioptrie) (fig. 4) et, qu'au-delà, AcrySof® Natural transmet davantage de lumière qu'un cristallin naturel sain adulte.

### ■ LA VISION SCOTOPIQUE : LE PHENOMENE DE PURKINJE

Ce phénomène, décrit en 1825, correspond à la dualité rétinienne cône-bâtonnet qui permet de décrire les trois domaines de la vision en fonction du niveau de luminance (tableau I).

La sensibilité de la rétine aux différentes longueurs d'onde varie en fonction de la luminosité ambiante : deux couleurs (bleu et rouge) qui ont la même luminance en vision photopique sont diminuées dans le même rapport de brillance pour se placer en vision scotopique : le bleu semble plus lumineux que le rouge qui paraît presque noir : c'est l'effet Purkinje (fig. 10) [27].

La controverse opposant l'équipe de Braunstein [4] et de Mainster [5] apparaît très théorique. En effet, pour le second, chez les patients déjà atteints de DMLA, il ne faut surtout pas filtrer la lumière bleue car leur vision scotopique est déjà nettement altérée. Le premier répond que l'implant AcrySof® Natural ne filtre que partiellement les bleus (fig. 4) et est équivalent à un cristallin d'un jeune adulte.

De plus, les modèles théoriques et en particulier le modèle de "standard CIE observer" utilisé par Mainster et Sparrow [28] qui décrit une perte de sensibilité de la vision scotopique de

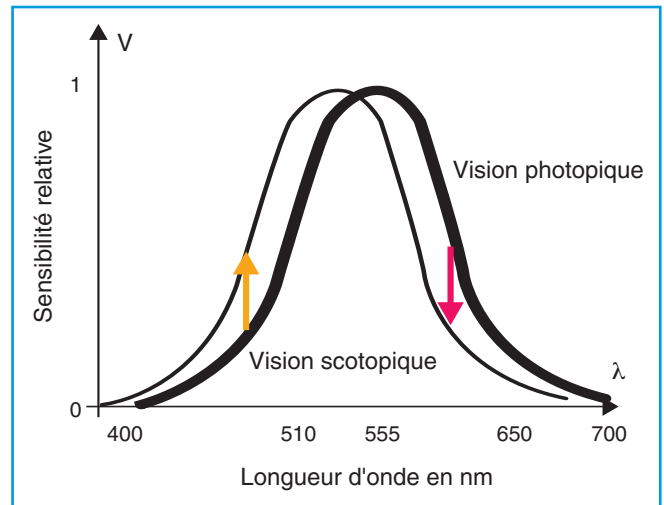


Fig. 10 : Effet Purkinje : glissement vers le bleu de la sensibilité colorée nocturne par meilleure sensibilité des bâtonnets.

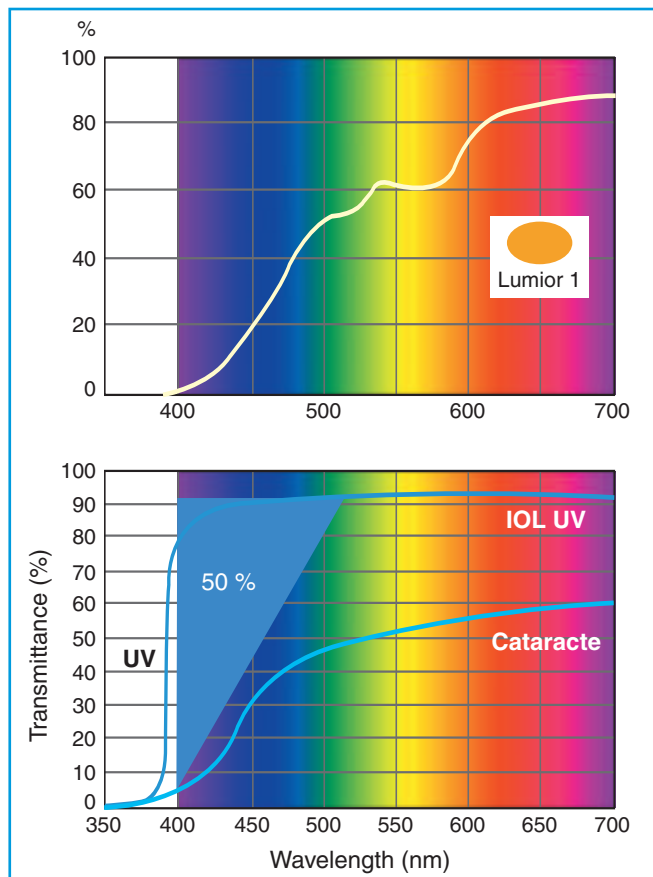
25 % est remis en question en 2006 par Schwiegerling [13] qui modifie le standard CIE et qui, du coup, trouve une diminution de seulement 14,6 % avec l'AcrySof® Natural. Pour Werner [29], l'implant AcrySof® Natural a des effets insignifiants sur la vision scotopique. L'AcrySof® Natural laissant passer une plus grande partie de la lumière que le cristallin adulte (fig. 4), il ne devrait pas y avoir de modification du rythme circadien lié à la mélanopsine [30].

### ■ BASSE VISION ET IMPLANTS FILTRANTS

Un autre argument indirect pour l'utilisation d'implant filtrant les bleus est l'atténuation de la sensibilité à la lumière. Dans l'étude multicentrique française, nous avons noté deux fois moins de porteurs de verres teintés dans le groupe AcrySof® Natural, par rapport au groupe témoin AcrySof® filtre UV (14,5 % Filtre UV + LB vs 30 % Filtre UV).

Diurne	Crépusculaire	Nocturne
Photopique	Mésopique	Scotopique
Luminance > à 10 candelas/m <sup>2</sup>	La courbe d'efficacité lumineuse se déplace progressivement vers les courtes longueurs d'onde (bleu) : effet très utilisé en cinéma avec une impression de nuit par simple interposition d'un filtre bleu	Luminance < à 10 <sub>-3</sub> candelas/m <sup>2</sup>
La sensation de couleur existe	La sensation colorée persiste, mais atténuée les rouges	Vision non colorée (due aux bâtonnets)

Tableau I.



**Fig. 11 :** Comparaisons de trois courbes de transmission : cristallin avec cataracte, LIO UV seule, filtre jaune type Lumior grade 1.

C'est ce que l'on retrouve intuitivement en basse vision où les filtres jaunes sont très largement utilisés. Le filtre de grade 1 le moins "jaune" est déjà très largement plus filtrant que l'AcrySof® Natural (**fig. 11**). Il ne faut donc pas hésiter à prescrire des verres filtrants chez un patient atteint de DMLA même s'il a été opéré avec un AcrySof® Natural.

## CONCLUSION

La caractéristique essentielle de la lentille intraoculaire AcrySof® Natural est sa courbe de transmission qui absorbe totalement les UV et une partie de la lumière bleue par l'addition d'un colorant jaune. Cette filtration permet à l'implant de se rapprocher d'un cristallin naturel et de prévenir les lésions photorétiniennes induites par la lumière bleue après chirurgie de la cataracte. Les différentes fonctions visuelles telles que l'acuité, le contraste, la vision colorée et la vision scotopique,

ne sont pas perturbées, voire même pour certains auteurs sont améliorées.

Remerciements au Dr Lignereux à qui j'ai emprunté en les modifiant les figures 1 à 4.

## Bibliographie

1. NIWA K, YOSHINO Y, OKUYAMA F, TOKORO T. Effects of tinted intraocular lens on contrast sensitivity. *Ophthalm Physiol Opt*, 1996; 16: 297-302.
2. SPARROW JR, MILLER AS, ZHOU J. Blue light-absorbing intraocular lens and retinal pigment epithelium protection in vitro. Lentilles intra-oculaires absorbant la lumière bleue et protection de l'épithélium pigmentaire rétinien in vitro. *J Cataract Refract Surg*, 2004; 30: 873-8.
3. KLEIN R, KLEIN BE, WONG TY, TOMANY SC, CRUICKSHANKS KJ. The association of cataract and cataract surgery with the long-term incidence of age-related maculopathy: the Beaver Dam eye study. *Arch Ophthalmol*, 2002; 120: 1 551-8.
4. BRAUNSTEIN RE, SPARROW JR. A blue-blocking intraocular lens should be used in cataract surgery. *Arch Ophthalmol*, 2005; 123: 547-9.
5. MAINSTER MA. Intraocular lenses should block UV radiation and violet but not blue light. *Arch Ophthalmol*, 2005; 123: 550-5.
6. ROBERTS JE. Ocular phototoxicity. *Journal of Photochemistry and Photobiology B Biology*, 2001; 64: 136-43.
7. BOULTON M. Retinal photodamage. *Journal of Photochemistry and Photobiology B Biology*, 2001; 64: 144-61.
8. DILLON J, ZHENG L, MERRIAM J, GAILLARD E. Transmission of light to the aging human retina: possible implications for ARMD. *Exp Eye Res*, 2004; 79: 753-9.
9. MEYERS SM, OSTROVSKY MA, BONNER RF. A model of spectral filtering to reduce photochemical damage in age-related macular degeneration. *Trans Am Ophthalmol Soc*, 2004; 102: 83-93; discussion 93-52.
10. CORBE C. Radiations non lumineuses et rétine: rayonnement et irradiation. Les Séminaires Ophtalmologiques d'IPSEN, tome 9, "Rétine, lumière et radiations", Y. Christen, M. Doly, M.-T. Droy-Lefaix, eds, © 1998, Irvinn, Paris.
11. YANG JH, BASINGER SF, GROSS RL, WU SM. Blue light-induced generation of reactive oxygen species in photoreceptor ellipsoids requires mitochondrial electron transport. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2003; 44: 1 312-9.
12. YOUNG RW. Solar radiation and age-related macular degeneration. *Surv Ophthalmol*, 1988; 32: 252-69.
13. SCHWIEGERLING J. Blue-light-absorbing lenses and their effect on scotopic vision. *J Cataract Refract Surg*, 2006; 32: 141-4.
14. TAYLOR HR, WEST S, MUNOZ B, ROSENTHAL FS. The long-term effects of visible light on the eye. *Arch Ophthalmol*, 1992; 110: 99-104.
15. MARTIN DF, GENSLER G, KLEIN BE, KLEIN R, CHEW EY. The effect of cataract surgery on progression of advanced AMD. AREDS Research Group. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2002; 43: 1 907.
16. WANG JJ, KLEIN R, SMITH W *et al*. Cataract Surgery and the 5-year incidence of the late stage aged-related maculopathie: pooled findings from the Beaver Dam and Blue Moutains eye studies. *Ophthalmology*, 2003; 110: 1 960-7.
17. PHAM TQ, CUGATI S, ROCHTCHINA E, MITCHELL P, MALOOF A, WANG JJ. Early age-related maculopathy in eyes after cataract surgery. *Eye*, 2006; 10: 1 038.
18. GLAZER-HOCKSTEIN C, DUNAIEF J. Could blue light-blocking lenses decrease the risk of ARMD. *Retina*, 2006; 26: 1-4.
19. MARSHALL J, CIONNI RJ, DAVISON J, ERNEST P, LEHMANN R, MAXWELL, SOLOMON K. Clinical results of the blue-light filtering AcrySof Natural foldable acrylic intraocular lens. *J Cataract Refract Surg*, 2005; 31: 2 319-23.
20. RODRIGUEZ-GALITERO A, MONTES-MICO R, MUNOZ G, ALBARRAN-DIEGO C. Comparison of contrast sensitivity and color discrimination after clear and yellow intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg*, 2005; 31: 1 736-40.

21. RODRIGUEZ-GALIERO A, MONTES-MICO R, MUNOZ G, ALBARRAN-DIEGO C. Blue-light filtering intraocular lens in patients with diabetes: contrast sensitivity and chromatic discrimination. *J Cataract Refract Surg*, 2005; 31: 2 088-92.
22. YUAN Z, REINACH P, YUAN J. Contrast sensitivity and color vision with a yellow intraocular lens. *Am J Ophthalmol*, 2004; 138: 138-40.
23. LANTHONY P. Evaluation du panel D15 désaturé. I: Méthode de quantification et scores normaux. *J Fr Ophtalmol*, 1986; 12: 843-7.
24. BHATTACHARJEE H, BHATTACHARJEE K, MEFHI J. Visual performance: comparison of foldable intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*, 2006; 32: 451-5.
25. CIONNI RJ, TSAI JH. Color perception with AcrySof natural and AcrySof single-piece intraocular lenses under photopic and mesopic conditions. *J Cataract Refract Surg*, 2006; 32: 236-42.
26. CRISTOBAL JA, SIERRA J, MARTIN J, RODRIGUEZ NA, ASCASO J. Intraocular lenses with blue light filter. *Arch Soc Esp Oftalmol*, 2005; 80: 245-9.
27. DUBOIS-POULSEN A. Sur quelques aspects du phénomène de Purkinje. *Documenta Ophthalmologica*, 1996; Volume 20, Number 1.
28. MAINSTER MA, SPARROW JR. How much blue light should an IOL transmit? *Br J Ophthalmol*, 2003; 87: 1 523-9.
29. WERNER JS. Night vision in the elderly: consequences for seeing through a "blue filtering" intraocular lens. *Br J Ophthalmol*, 2005; 89: 1 518-21.
30. BRAINARD GC, HANIFIN JP, GREESON JM, BYRNE B, GLICKMAN G, GERNER E, ROLLAG MD. Action spectrum for human melatonin regulation. *J Neurosci*, 2001; 21: 6 405-12.