



D. GATINEL

Service d'Ophtalmologie, Fondation A. de Rothschild,
et CEROC (Centre d'Expertise
et de Recherche en Optique Clinique), PARIS.

Les implants multifocaux pour la chirurgie de la cataracte permettent de diviser l'énergie lumineuse incidente en plusieurs foyers. Ils symbolisent de manière concrète la dimension "réfractive" qu'acquiert la chirurgie de la cataracte au fil du temps, mais ils suscitent des interrogations légitimes de la part des chirurgiens.

La vision est un phénomène complexe qui fait intervenir de nombreux traitements successifs de l'information visuelle captée par les photorécepteurs. Ces facteurs interviennent pour accroître la tolérance à la multifocalité, et les nouvelles générations d'optiques multifocales sont optimisées pour préserver la qualité de vision de loin.

Qualité optique et performance visuelle sont deux entités distinctes, et le compromis induit par les implants multifocaux (réduction du stigmatisme) peut être compensé par une performance visuelle accrue sans verres correcteurs. Comme souvent en chirurgie, les bonnes indications font les bons résultats.

Vision et implants multifocaux en chirurgie de la cataracte

Par opposition aux implants dits monofocaux, les implants multifocaux pour la chirurgie de la cataracte permettent de diviser l'énergie lumineuse incidente en plusieurs foyers utiles à la vision de loin et de près. La plupart des présentations générales traitant des optiques multifocales insistent sur la distinction entre implants réfractifs et diffractifs.

Dans cet article, nous élargirons le propos de cet article aux implants multifocaux en général, avec comme objectif principal de souligner certains des principes optiques et physiologiques qui régissent le succès (ou l'échec) de l'implantation multifocale..., et chasser certaines idées reçues !

■ QUELQUES GENERALITES

Les implants monofocaux permettent de corriger l'hypermétropisation induite par l'ablation du cristallin, mais pas la restauration de l'accommodation. Des lunettes correctrices sont nécessaires pour permettre au sujets pseudophaques emmétropes de lire ou d'accomplir des tâches sollicitant la vision de près. Les implants multifocaux visent à accroître l'indépendance à la correction optique, qui est une exigence de plus en plus fréquemment rapportée par les patients candidats à une chirurgie de la cataracte.

On associe souvent – à tort – multifocalité et principe de la vision simultanée. La vision simultanée correspond à la perception simultanée de deux images, parmi lesquelles le "cerveau" doit choisir en fonction du contexte. Les implants multifocaux ne mettent pas en jeu le principe de la vision simultanée, qui est plutôt l'apanage de la monovision (situation dans laquelle un œil voyant net de loin, l'autre de près, il s'agit alors de "supprimer de façon sensorielle" la perception de l'image floue). L'enjeu de l'implantation multifocale est, au contraire, de permettre d'obtenir une qualité optique "acceptable" pour les cibles placées à différentes distances de l'œil du patient. Plutôt que de suppression, ou de "tri cortical", l'implantation multifocale requiert l'adaptation sensorielle à un compromis optique.

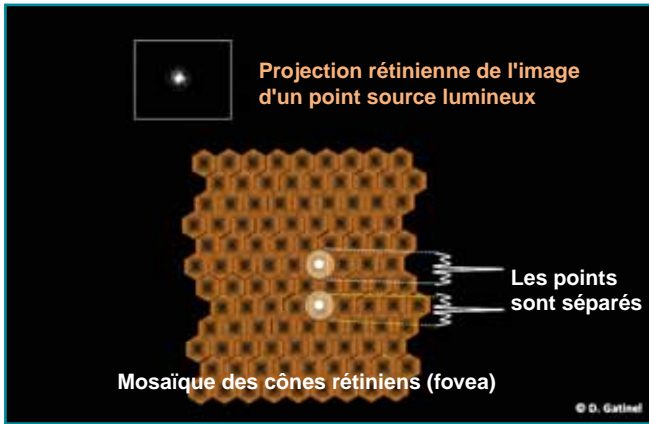


Fig. 1 : La point spread function (fonction d'étalement du point) correspond à l'étalement lumineux formé par l'image d'un point source élémentaire. Il reflète le stigmatisme obtenu. Ici 2 points (ex. : 2 étoiles proches) sont séparés, grâce à la qualité du stigmatisme, et cet écartement est suffisant pour permettre un échantillonnage correct au niveau de la mosaïque rétinienne.

Pour en comprendre l'enjeu, il faut rappeler certaines propriétés. Pour un œil sain, pseudophaque (implant monofocal) et bien corrigé, il existe une distance où une cible sera perçue de manière nette. Pour un œil emmétrope, cette distance est située "à l'infini". Prenons l'exemple de deux étoiles proches mais distinctes et suffisamment brillantes sur la voûte céleste : cette cible sera "résolue" au niveau de la rétine si la projection rétinienne de l'image de chacune des étoiles formées par les structures optiques oculaires est convenablement échantillonnée par les cônes photorécepteurs de la fovéa. Cette situation est satisfaite à deux conditions : l'image rétinienne de chaque étoile doit être suffisamment punctiforme ("stigmatisme") et les images de chaque étoile ne doivent pas être trop dispersées, ni trop se recouvrir au niveau de la mosaïque des photorécepteurs. En termes plus rigoureux, la qualité optique de l'image rétinienne dépend de la Fonction d'Étalement du Point (*Point Spread Function*), qui représente l'étalement lumineux rétinien correspondant à l'image d'un point source élémentaire (chaque étoile dans notre exemple) (*fig. 1*).

En raison de la répartition spatiale particulière de la lumière réfractée, le stigmatisme obtenu avec les implants multifocaux, qu'ils soient réfractifs ou diffractifs, est par essence moindre que celui obtenu avec les implants monofocaux. Les foyers "utiles" sont caractérisés par la préservation d'un pic central lumineux, cerné d'une couronne ou d'un disque lumineux concentrique, voire de plusieurs (aspect de la PSF) (*fig. 2*). Pour le foyer de près, le disque correspond à la répartition de l'intensité de la lumière destinée au foyer de loin. Pour le foyer de loin, le disque est formé par la lumière destinée au foyer de près, et qui a ensuite divergé.

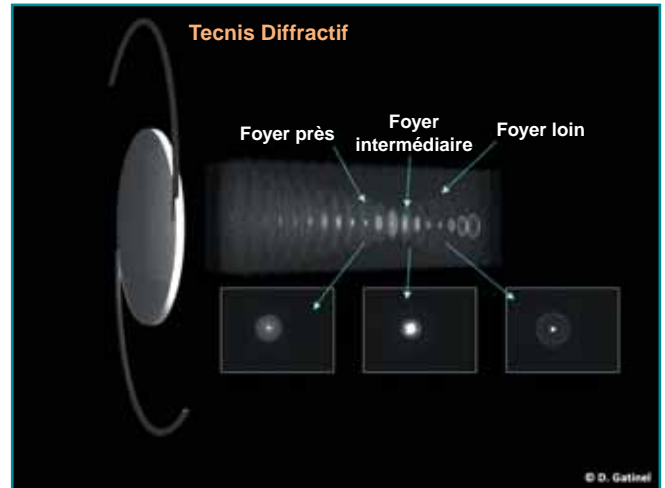


Fig. 2 : Répartition de l'énergie lumineuse après réfraction par un implant diffractif bifocal. Noter l'aspect particulier de la PSF dans les différents plans focaux : pic central plus ou moins large, entouré d'une couronne lumineuse de moindre intensité.

Cette réduction du stigmatisme implique une réduction de la sensibilité aux contrastes. La présence du pic lumineux central explique la conservation de l'acuité visuelle à contraste maximal, tandis que les disques sont à l'origine des symptômes visuels fréquemment rapportés comme les halos et/ou les cercles lumineux qui entourent les lumières vives observées en conditions mésopiques. En vision intermédiaire, le pic central de la PSF est plus bas et élargi, ce qui corrobore la réduction de l'acuité et des performances visuelles pour cette distance (*fig. 3*).

La présence d'une aberration optique associée (ex. : astigmatisme, d'origine cornéenne) peut induire une perturbation de

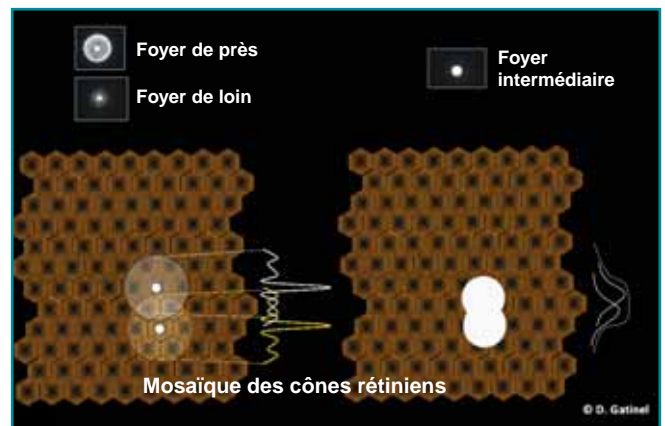


Fig. 3 : Les caractéristiques des PSF obtenues pour les différentes distances expliquent les performances obtenues avec les implants diffractifs bifocaux : maintien de l'acuité visuelle à contraste maximal en vision de loin et de près, mais pas en vision intermédiaire (dans cet exemple, deux points sources présentant un même écartement ne sont pas résolus en vision intermédiaire, car les PSF sont étalés et se chevauchent trop) (© D. Gatineau).

ces caractéristiques et altérer la qualité du stigmatisme jusqu'à ne plus autoriser un échantillonnage suffisant au niveau des photorécepteurs. Du fait des modifications induites par la multifocalité de l'implant, les conséquences d'un astigmatisme associé seront plus délétères que lorsque celui affecte un œil avec une lentille monofocale.

■ IMPLANTS MULTIFOCAUX ET FONCTION VISUELLE

Dans notre expérience, les implants multifocaux représentent une option intéressante pour la correction de l'aphaïque chez les patients désireux de se passer de lunettes pour la plupart des activités de la vie courante. Pourtant, les discussions relevées entre chirurgiens spécialistes de la cataracte laissent parfois poindre le scepticisme de certains, voire la critique du concept de multifocalité, fondée sur la réduction de la qualité optique qu'imposent ces implants à la vision de loin.

Les conséquences de l'insertion d'implants multifocaux doivent surtout s'apprécier dans un cadre clinique et fonctionnel et à l'aune de certaines caractéristiques de la vision humaine.

- ▶ Qualité optique et performance visuelle sont deux entités distinctes, et le compromis induit par les implants multifocaux (réduction du stigmatisme) peut être compensé par une performance visuelle accrue sans verres correcteurs.
- ▶ Les implants multifocaux bénéficient d'une certaine adaptation du système visuel, ils fournissent des résultats fonctionnels satisfaisants quand les indications sont bien posées et les conditions d'implantation respectées.

POINTS FORTS

En chirurgie de la cataracte, l'indication est motivée par une réduction de la qualité visuelle ; avant même que l'opacification cristallinienne ne réduise la valeur de l'acuité visuelle à contraste maximal, la diffusion optique qu'elle engendre affecte la sensibilité aux contrastes et peut provoquer divers symptômes visuels dont des halos marqués et plus ou moins réguliers. La réduction de la qualité visuelle est significativement plus prononcée que celle obtenue après la chirurgie et implantation multifocale. Le cristallin opacifié agit comme un filtre plus sélectif pour certaines couleurs et la restauration de la transparence des milieux procure également une amélioration de la perception des couleurs. En bref, la vision d'un sujet atteint de cataracte prononcée est considérablement

Vieillesse oculaire

Toutes pareilles ?



Fig. 4 : Simulation de la vision d'un patient emmétrope atteint de cataracte (à gauche) et après chirurgie avec implantation multifocale (à droite). Malgré la persistance de halos autour des lumières vives (flèches), la qualité de l'image perçue (netteté, contrastes et colorimétrie) est considérablement améliorée.

améliorée après ablation d'un cristallin opacifié et insertion d'une lentille multifocale (fig. 4). Par ailleurs, chez un patient atteint de cataracte nucléaire avec myopisation d'indice, la perte de l'acuité visuelle de près non corrigée après implantation monofocale est parfois source de déception.

La vision ne doit pas être réduite à un pur phénomène de reproduction du monde environnant ; elle correspond plutôt à un processus visant à recueillir de l'information et destinée à favoriser l'interaction du voyant avec celui-ci. De fait, si elle est amorcée par une étape optique, la vision est phénomène complexe qui fait intervenir de nombreux traitements successifs de l'information visuelle captée par les photorécepteurs.

La plupart des implants multifocaux induisent une répartition légèrement asymétrique de l'énergie lumineuse en faveur de la vision de loin. En effet, la réduction de l'énergie lumineuse dédiée au foyer de près peut être compensée par l'augmentation de l'éclairage de la cible lue (qualité de l'éclairage d'appoint, du contraste de l'écran digital, etc.). De plus, à contraste réduit, l'identification et la lecture de caractères orthographiques et de mots sont plus aisées que celle de motifs plus abstraits (fig. 5). Enfin, les patients hypermétropes et emmétropes presbytes sont plus sensibles au gain apporté en vision de près que les myopes, car ils ne pouvaient déjà voir nettement de près autrement qu'avec une correction optique.

Qu'en est-il pour la perte d'intensité lumineuse en vision de loin ? L'œil humain est capable de s'adapter quasi instantanément à des conditions de luminosités extrêmement diverses, dont on estime qu'elles peuvent varier de 1 à 10^{10} entre l'éclairage d'un ciel de nuit sans lune et celui d'un soleil au zénith. Pour collecter plus de lumière, la surface de la pupille ne peut s'accroître que d'un facteur 10 environ. Le reste de l'adaptation à l'obscurité est donc le fruit de mécanismes liés



Fig. 5 : Comparaison de la facilité de lecture entre un texte manuscrit intelligible et un texte déformé ("captcha") pour le même degré de flou et de réduction du contraste. Ce test est utilisé sur Internet dans les formulaires pour se prémunir contre les soumissions automatisées et intensives réalisées par des robots malveillants. La vérification utilise la capacité d'analyse d'image ou de son de l'être humain. Un captcha usuel requiert ainsi que l'utilisateur tape les lettres et les chiffres visibles sur une image distordue qui apparaît à l'écran. Le texte est lu sans difficultés même flouté, car les mots et caractères, pourtant de corps plus petit, sont identifiés à partir de repères simples. A droite, le captcha flou, pourtant constitué de lettres et de chiffres, mais organisés sans logique apparente, est à peine identifiable.

à la sensibilité remarquable des photorécepteurs rétinien et à la modulation rétinocognitive du signal.

Le codage de l'information visuelle commence au niveau de la rétine (il existe seulement 1 million de fibres axonales dans le nerf optique, alors que l'on dénombre 130 millions de photorécepteurs dans la rétine !). Ce codage favorise certains types d'informations comme la perception accrue des bords nets, au détriment de détails moins utiles, et ce en fonction du contexte et de la scène observée. Pour s'en convaincre, il suffit d'observer l'image d'Adelson, qui fournit un aperçu convaincant de la puissance de ces mécanismes cognitifs (fig. 6) : la vision

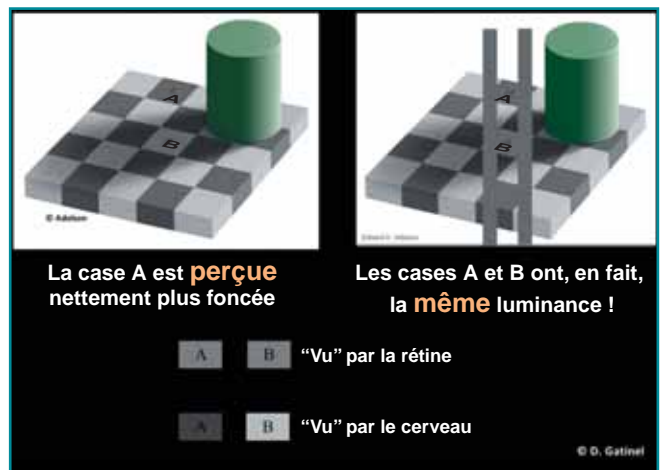


Fig. 6 : Exemple spectaculaire des mécanismes interprétatifs mis en jeu par les processus cognitifs liés à la vision. Le cerveau "voit" la case A plus foncée car dans le contexte d'un damier. Cela est attendu (la case A est réellement plus foncée, mais du fait de l'ombre portée de la colonne, le niveau de gris est rigoureusement identique pour les deux cases telles qu'elles apparaissent sur l'image... !)

humaine distingue clairement un contraste entre deux plages dans une image, alors que celui-ci est **objectivement** nul ! Ce contraste perçu n'existe que grâce à l'intervention de mécanismes cognitifs (le cerveau impose sa vision, qui interprète que sur un damier, les cases noires doivent apparaître forcément plus sombres que les blanches). Ces phénomènes (sensibilité et codage) sont certainement bénéfiques à l'accomplissement des tâches visuelles après implantation multifocale, comme la reconnaissance de plages uniformes faiblement contrastées (ex. : distinguer des marches d'escalier dans la pénombre). Ils évoluent favorablement avec le temps car comme en chirurgie réfractive cornéenne ou après adaptation de lentilles de contact multifocales, on note généralement après implantation multifocale une amélioration subjective de la performance visuelle avec au fil du temps une réduction de l'intensité de certains phénomènes comme les halos lumineux.

Une étude récente n'a pas retrouvé de différences significatives pour la vision des contrastes entre des patients équipés d'implants monofocaux ou multifocaux [1], même si une méta-analyse publiée en 2006 concluait à une réduction de la sensibilité aux contrastes et la perception plus fréquente de halos après implantation multifocale [2]. La proportion de lumière diffusée au niveau rétinien (*retinal straylight*) a été retrouvée plus élevée (20 %) après implantation multifocale qu'après implantation monofocale (augmentation non statistiquement significative) [3].

Une autre étude a conclu à l'absence de différence significative de diffusion lumineuse entre implants mono- et multifocaux, attribuée à l'influence de facteurs neuronaux. Un travail rétrospectif intéressant a porté sur un groupe de patients non satisfaits après chirurgie de la cataracte et implantation multifocale, qui se plaignaient d'une vision floue ou de phénomènes lumineux parasites. L'étude a montré que les causes de mécontentement étaient dans plus de 90 % des cas liées à un

problème intercurrent et pouvaient être traitées efficacement (sécheresse oculaire, erreur de calcul biométrique, opacification capsulaire, implant décentré, etc.).

A la lecture des données de la littérature, une tendance se dessine, que l'on pourrait résumer ainsi : les implants multifocaux provoquent plus de halos mais affectent moins la sensibilité aux contrastes que prévu par une approche purement optique.

■ CONCLUSION

Si la qualité optique induite par les implants multifocaux est objectivement inférieure à celle des implants monofocaux, plusieurs facteurs concourent à relativiser ce verdict, et font des implants multifocaux une option intéressante pour qui souhaite avant tout bénéficier d'une vision utile sans lunettes à la fois de loin et de près.

Ainsi, chez un patient motivé et bien sélectionné, la performance visuelle prodiguée par un implant multifocal pourra être jugée satisfaisante, et les symptômes visuels induits un compromis avantageux vis-à-vis de ceux procurés par un implant monofocal et le nécessaire port d'une paire de lunettes. ■

Bibliographie

1. CIONNI RJ, OSHER RH, SNYDER ME *et al.* Visual outcome comparison of unilateral versus bilateral implantation of apodized diffractive multifocal intraocular lenses after cataract extraction : prospective 6-month study. *J Cataract Refract Surg*, 2009 ; 35 : 1033-9.
2. LEYLAND M, PRINGLE E. Multifocal versus monofocal intraocular lenses after cataract extraction. *Cochrane Database Syst Rev*, 2006 ; 18 : CD003169.
3. HOFMANN T, ZUBERBUHLER B, CERVINO A *et al.* Retinal straylight and complaint scores 18 months after implantation of the AcrySof monofocal and ReSTOR diffractive intraocular lenses. *J Refract Surg*, 2009 ; 25 : 485-92.
4. CERVINO A, HOSKING SL, MONTES-MICO R *et al.* Retinal straylight in patients with monofocal and multifocal intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg*, 2008 ; 34 : 441-6.
5. WOODWARD MA, RANDLEMAN JB, STULTING RD. Dissatisfaction after multifocal intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg*, 2009 ; 35 : 992-7.