

## Les aberrations sphériques en question...S?

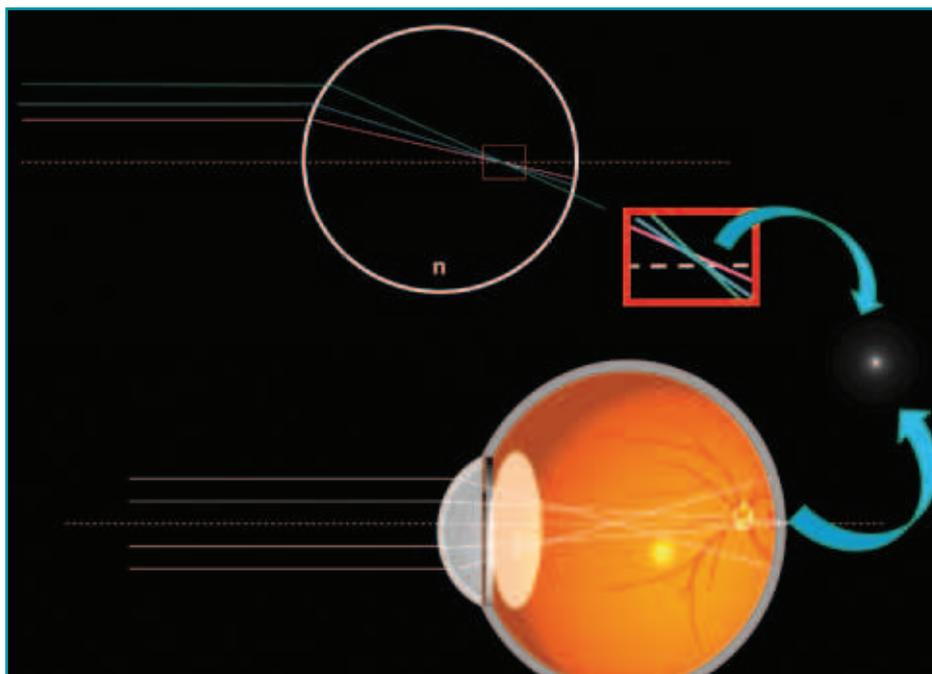


D. GATINEL

L'aberration sphérique est définie en optique géométrique par une différence de puissance réfractive entre les rayons réfractés près et loin de l'axe d'un système optique [1]. Cette différence aboutit à une réduction du stigmatisme, et donc de la qualité de l'image; tous les rayons

émis par la source fixée ne sont pas réfractés dans le plan du foyer (ce plan est celui de la rétine pour un œil emmétrope) (**fig. 1**).

En ophtalmologie, on l'évalue essentiellement pour une source ponctuelle située "à l'infini optique", en pratique suffisamment



**FIG. 1:** L'aberration sphérique positive est engendrée par la géométrie sphérique de la surface réfractive (en haut). Les rayons situés à distance de l'axe optique sont réfractés en avant de ceux situés plus près de l'axe optique (les couleurs des rayons sont arbitraires, la lumière incidente étant monochromatique). Cela provoque une réduction du stigmatisme : au foyer, l'image d'un point est une tache entourée de cercles lumineux concentriques. © D. Gatinel

éloignée (4 mètres et plus). Le taux de l'aberration sphérique est très influencé par le diamètre de la pupille; il augmente de manière exponentielle avec la dilatation pupillaire.

L'aberration sphérique est, par convention, positive quand les rayons périphériques sont réfractés en avant des rayons centraux, et négative dans le cas inverse. L'œil humain présente un taux légèrement positif pour l'aberration sphérique: il existe une différence entre la puissance optique totale (cornée et cristallin) d'environ 0,5 D, entre la périphérie et le centre de la pupille irienne (pour un diamètre de 6 mm). Calculé à partir de la reconstruction du front d'onde puis de sa décomposition en polynômes de Zernike, le taux moyen de l'aberration sphérique est compris entre 0,10 et 0,15 micron pour un diamètre pupillaire de 6 mm chez les sujets jeunes et indemnes de cataracte ou d'anomalies cornéennes [2]. Il est relativement symétrique entre les yeux droit et gauche d'un même sujet. En chirurgie de la cataracte, le gain procuré par les implants asphériques en termes de sensibilité aux contrastes sur la plage de fréquences basses et moyennes a été démontré [3].

Il existe une confusion fréquente entre aberration sphérique et asphéricité. L'asphéricité est une notion géométrique qui traduit la manière dont la courbure d'une surface optique varie entre le centre optique et les bords (si cette variation est nulle, la surface courbe est sphérique) [4]. La confusion provient du fait que l'asphérisation d'une surface optique permet de moduler le taux d'aberration sphérique engendré par celle-ci (ce taux dépend également du pouvoir réfractif de la surface, de l'indice de réfraction du matériau optique utilisé, etc.). Les fabricants d'appareils photographiques ont recours à l'utilisation de lentilles asphériques pour augmenter la qualité optique de leurs objectifs professionnels; la qualité des images produites est sensiblement améliorée, surtout quand elles ont été prises avec

un diaphragme ouvert (équivalent d'une pupille dilatée). Ces principes sont également en vigueur au niveau de la réalisation des miroirs des télescopes.

La cornée est physiologiquement asphérique car sa courbure locale tend à se réduire en périphérie (cette asphéricité est prolate, synonyme de réduction de la courbure locale vers les bords), mais génère tout de même un certain taux d'aberration sphérique positive (moins que si elle était sphérique cependant). Le cristallin compense une partie des aberrations optiques cornéennes, mais au final, l'œil présente un taux d'aberration sphérique légèrement positif, et d'autant plus prononcé que la pupille se dilate.

### **>>> Quel pourcentage de la population souffre d'aberrations sphériques? Est-ce que cela concerne tout le monde?**

Il faut distinguer les yeux sains de ceux atteints d'une pathologie (cataracte) ou ayant bénéficié d'une intervention à visée réfractive. La cataracte, en particulier dans sa forme nucléaire, induit une myopisation et une élévation de l'aberration sphérique négative (le pouvoir optique du noyau cristallinien augmente plus vite que celui du cortex périphérique). La chirurgie cornéenne démyopisante (LASIK, PKR) augmente le taux d'aberration sphérique positive; c'est pour cela que le risque de halos doit être signalé au patient, en particulier si son amétropie initiale est prononcée.

En ce qui concerne l'œil sain, l'aberration sphérique mesurée en clinique semble bien tolérée, en raison de divers phénomènes dont certains siègent au niveau rétinien (effet de Stiles-Crawford), mais sa correction (en optique adaptative par exemple) est source d'une amélioration notable de la qualité optique de l'image rétinienne. Il est à noter que le port de lentille de contact est

susceptible de faire varier le taux d'aberration sphérique, de par la modification géométrique du dioptré antérieur de l'œil. Cet effet peut être mis à profit dans le sens d'une réduction de ce taux.

**>>> Concrètement, par quels symptômes visuels cela se traduit-il? Quelles gênes cela provoque-t-il?**

En pratique clinique, l'aberration sphérique ne dégrade de façon significative la qualité de vision qu'au-delà d'un diamètre pupillaire de 4 mm environ, car l'image d'un point lumineux devient moins compacte et s'étale de manière concentrique (fig. 2).

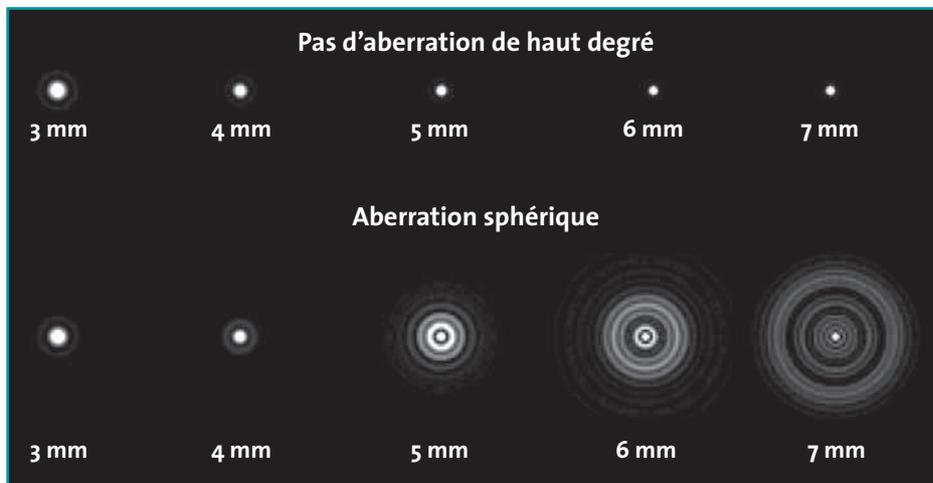
Cette dégradation n'est pas forcément à l'origine d'une perte de lignes d'acuité visuelle explorée avec des optotypes de contraste maximal, mais elle se traduit par une réduction de la sensibilité aux contrastes prédominant pour les fréquences spatiales basses et moyennes (fig. 3 et 4).

C'est dans cette gamme de fréquences (ex. : 3 à 9 cycles par degré, ce qui correspond à une acuité comprise entre 1/10 et 3/10) que la sensibilité aux contrastes de l'œil humain est maximale physiologiquement.

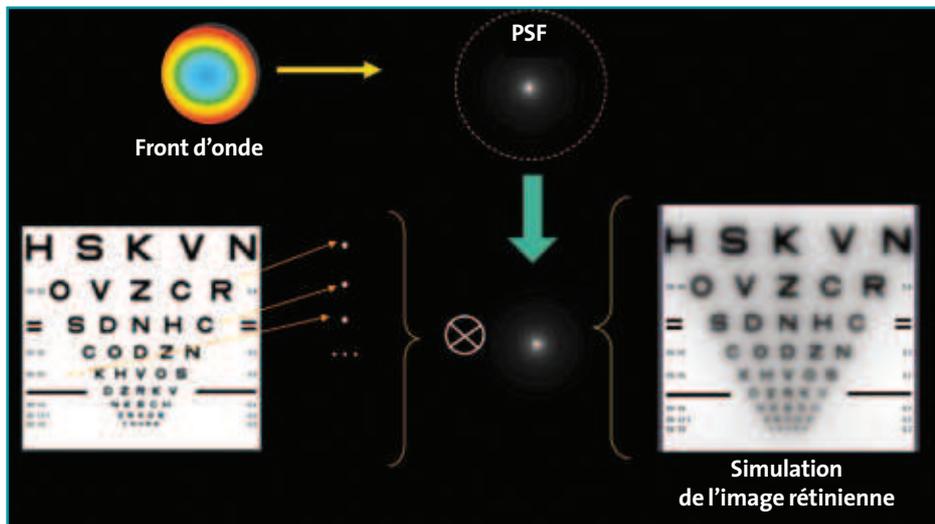
L'augmentation de l'aberration sphérique, qui survient généralement en conditions mésopiques (dilatation pupillaire) peut également induire des signes visuels comme l'impression d'une vision mésopique voilée, moins contrastée, ou encore la perception de halos autour des sources vives de lumière (phares, réverbères, etc.).

**>>> Y a-t-il des moments de la journée où l'on souffre plus de ces symptômes? Dans quelles situations concrètes un patient en souffre-t-il?**

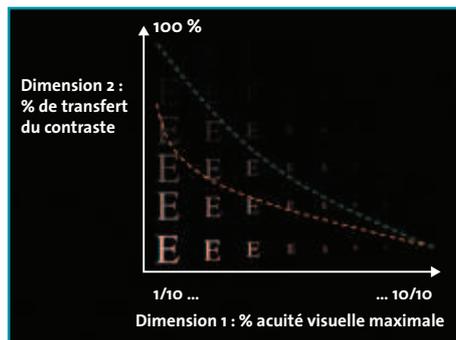
Comme souligné précédemment, les symptômes liés à l'aberration sphérique apparaissent quand la pupille se dilate et



**FIG. 2 :** Comparaison entre les images rétinienne issues d'une source lumineuse ponctuelle dans le cas d'un œil parfaitement emmétrope et dépourvu d'aberration optique (en haut), et présentant uniquement de l'aberration sphérique positive (en bas). En haut, l'image d'un point s'améliore avec la dilatation car les effets de la diffraction sont d'autant moins prononcés que le diamètre pupillaire est large. En bas, l'aberration sphérique contrebalance le bénéfice lié à la réduction de la diffraction. On remarque que l'étalement de l'image du point survient pour un diamètre pupillaire mésopique (5 mm et plus). © D. Gatinel



**FIG. 3 :** Simulation de l'image rétinienne d'une planche d'optotypes vue par un œil atteint d'aberration sphérique positive. Si les lettres demeurent discernables, leur contraste est réduit. © D. Gatinel



**FIG. 4 :** Le transfert du contraste pour un large diamètre pupillaire (en orange) est moindre que pour un diamètre pupillaire plus étroit (en vert) en cas d'aberration sphérique. Réciproquement, la correction de l'aberration sphérique permet d'améliorer le contraste de l'image rétinienne, en particulier dans les conditions mésopiques. © D. Gatinel

que la luminosité ambiante diminue. Ces phénomènes sont liés, puisque la pupille se dilate en raison de la réduction de l'éclairement rétinien. En conditions mésopiques, l'œil utilise à la fois bâtonnets et cônes pour interpréter la scène visuelle, dont l'intensité lumineuse est comprise entre celle du jour

et de la nuit. On pense bien sûr au crépuscule, mais ces conditions sont aussi celles de nombreuses boutiques, d'un quai ou d'une bouche de métro, d'un tunnel urbain...

Or, pour pallier la réduction de la luminosité globale, ces lieux sont généralement munis de sources de lumière (spots, néons, etc.). Un œil atteint d'un taux physiologique d'aberration sphérique aura tendance à voir des halos autour des lumières (également causés par la diffusion lumineuse provoquée par la transparence toujours imparfaite des milieux oculaires). Ces halos seront beaucoup plus marqués en cas d'élévation de l'aberration sphérique positive, et une impression d'image "molle", c'est-à-dire "floutée" ou "peu contrastée", pourra être également ressentie.

### >>> Quels sont les outils à disposition aujourd'hui pour soulager le patient de cette gêne ?

La correction de l'aberration sphérique est un souci permanent pour le concepteur de

n'importe quel système optique d'imagerie. De nombreux travaux ont été consacrés à cette correction au cours du XVII<sup>e</sup> siècle, afin d'améliorer les images produites par les premières lunettes astronomiques et les premiers télescopes. C'est à cette époque que l'on comprit que la géométrie sphérique des surfaces optiques utilisées dans ces systèmes (miroirs, lentilles, etc.) était à l'origine de la réduction du stigmatisme observé quand l'ouverture (surface de lumière collectée) était importante. Certains travaux de Descartes ont été consacrés à la caractérisation géométrique des surfaces qui donneraient une aberration sphérique nulle pour une source éloignée (infini optique); l'ovale de Descartes est d'ailleurs le nom donné à une surface réfractive séparant deux milieux optiques d'indices différents, et dont le profil asphérique (elliptique) permet de focaliser tous les rayons au foyer [1].

L'asphérisation d'une lentille permet de contrôler son taux d'aberration sphérique. Cela est vrai pour tous les types de lentilles, comme celles qui équipent certains objectifs photo, celles qui remplacent le cristallin cataracté (implants pseudophaques) et les lentilles de contact, bien que, dans ce dernier cas, les progrès accomplis soient plus récents.

Le degré d'asphérisation optimal destiné à réduire l'aberration sphérique dépend du contexte. Dans le cas des implants phaques,

il faut tenir compte de l'effet de la cornée et des caractéristiques propres à l'implant posé (puissance, indice de réfraction, etc.). Le cas des lentilles de contact n'échappe pas à ces principes; on peut asphériser une des surfaces de la lentille de contact afin de mieux épouser le galbe cornéen (physiologiquement asphérique) et aussi de contrôler le taux d'aberration sphérique induit par la lentille. Le taux d'asphéricité devra être calculé pour chacune des puissances correctrices disponibles, et prendre en considération l'indice du matériau de la lentille "in situ", sa puissance nominale, etc.

---

### Bibliographie

1. THIBOS LN, YE M, ZHANG X *et al.* Spherical aberration of the reduced schematic eye with elliptical refracting surface. *Optom Vis Sci*, 1997; 74: 548-556.
2. GATINEL D, DELAIR E, ABI-FARAH H *et al.* Distribution and enantiomorphism of higher-order ocular optical aberrations. *J Fr Ophtalmol*, 2005; 28: 1 041-1 050.
3. JOHANSSON B, SUNDELIN S, WIKBERG-MATSSON A *et al.* Visual and optical performance of the Akreos Adapt Advanced Optics and Tecnis Z9000 intraocular lenses: Swedish multicenter study. *J Cataract Refract Surg*, 2007; 33: 1 565-1 572.
4. GATINEL D, HAOUAT M, HOANG-XUAN T *et al.* A review of mathematical descriptors of corneal asphericity. *J Fr Ophtalmol*, 2002; 25: 81-90.

Service d'Ophtalmologie, Fondation A. de Rothschild, CEROC, PARIS.