



Sphère, cylindre et axe : quelles relations ?

Olivier Touzeau

Les relations entre les paramètres de la réfraction sont d'autant plus fortes que la sphère et le cylindre sont élevés. La sphère est relativement indépendante du cylindre sauf pour les fortes amétropies sphériques qui sont associées à un cylindre plus élevé. Le lien entre l'axe et la sphère est faible. Les caractéristiques de l'axe sont influencées par la valeur du cylindre. Plus le cylindre est important, plus les axes sont directs avec une forte symétrie en miroir par rapport à l'axe controlatéral (énantiomorphisme). Les relations entre la sphère, le cylindre et l'axe sont plus faibles que les relations avec les paramètres controlatéraux.

Les données réfractives sont difficiles à analyser

Malgré une utilisation universelle et constante de la sphère, du cylindre et de l'axe, les relations entre ces données sont mal connues. L'analyse statistique de la réfraction à partir des données polaires (sphère, cylindre et axe) est difficile. Du fait de sa nature directionnelle et de son cycle non trigonométrique, l'axe ne peut pas être analysé avec des statistiques conventionnelles. Effectuer une corrélation entre le cylindre et l'équivalent sphérique est discutable car les deux variables ne sont pas mathématiquement indépendantes. En effet, le cylindre entre lui-même dans la définition de l'équivalent sphérique. Une composante sphérique de la réfraction indépendante du cylindre peut être obtenue en utilisant la sphère de l'expression en cylindre négatif pour les myopes et la sphère de l'expression en cylindre positif pour les hypermétropes. Les méthodes « non polaires » permettent une analyse plus complète de la réfraction au prix d'une formulation plus abstraite et mathématiquement plus complexe.

La réfraction présente une forte relation avec l'œil controlatéral

Les paramètres de la réfraction présentent une forte relation avec le paramètre correspondant controlatéral. La sphère et le cylindre sont le plus souvent proches de la valeur controlatérale. **Le lien entre les deux yeux est plus fort pour la composante sphérique que pour le cylindre** comme le montre les coefficients de corrélation respectifs ($r \approx 0,90$ contre $r \approx 0,65$ p < 0,001)[1]. Les axes de l'astigmatisme des deux yeux ne présentent pas une

symétrie directe mais sont le plus souvent l'image l'une de l'autre dans un miroir [2]. Cette symétrie en miroir ou énantiomorphisme est la conséquence de l'embryogenèse (plan sagittal de symétrie) et s'observe également sur les différentes structures anatomiques de l'œil (point cornéen le plus fin, papilles optiques, vaisseaux rétinien...). Mathématiquement, **l'énantiomorphisme est maximal quand la somme des deux axes (droit et gauche) est égale à 180°** (figure 1). Ainsi les couples d'axe « 85°, 95° » « 170°, 10° » « 90°, 90° » présentent une parfaite symétrie en miroir. Le degré d'énantiomorphisme présenté par les deux yeux d'un individu peut être quantifié par la différence (en valeur absolue) entre la somme des deux axes (droit et gauche) et la valeur 180° (figure 1).

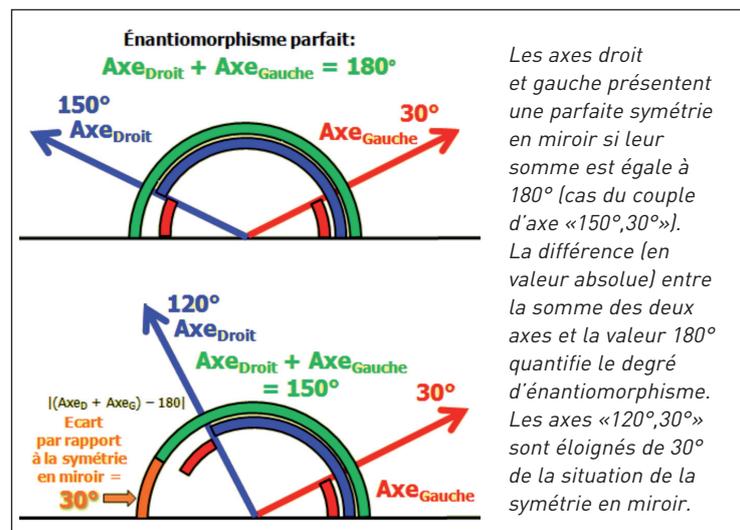


Figure 1. Définition et quantification de l'énantiomorphisme des deux axes de l'astigmatisme.

Degré d'énantiomorphisme = $| \text{axe}_D + \text{axe}_C - 180^\circ |$

Une addition ou une soustraction de 180° à la somme des deux axes doit être pratiquée quand cette dernière est respectivement inférieure à 90° ou supérieure à 270° car une différence d'axe ne peut jamais excéder 90° . Cette formule quantifie l'écart présenté par les deux axes par rapport à la symétrie en miroir. Le minimum 0° correspond à un énantiomorphisme parfait et le maximum 90° à l'absence totale d'énantiomorphisme. Les couples d'axe « $0^\circ, 90^\circ$ » « $45^\circ, 45^\circ$ » « $30^\circ, 60^\circ$ » sont parmi les moins énantiomorphes (car la somme des deux axes est égale à 90°).

Compte tenu du fort lien entre les deux yeux, la réfraction la plus probable que l'on peut déduire à partir des données controlatérales est la suivante :

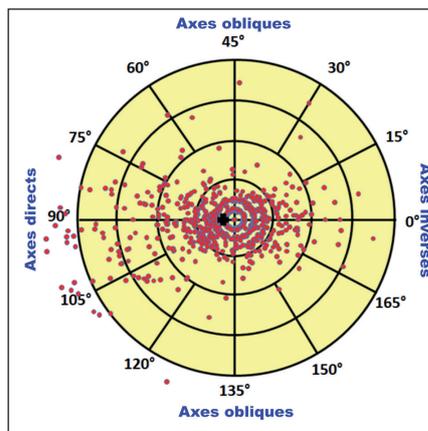
Sphère_{Controlatérale} (Cylindre_{Controlatéral} × Axe en miroir)

En prenant la sphère et le cylindre controlatéraux et l'axe en miroir, l'erreur moyenne (en valeur absolue) est de 0,63 D pour la sphère, de 0,40 D pour le cylindre et de 23° pour l'axe.

La sphère et le cylindre sont relativement indépendants...

Dans la population générale, pour la plupart des auteurs le lien statistique entre la composante sphérique de la réfraction et le cylindre est faible ou minime et n'atteint souvent pas le seuil de significativité [1]. Ce résultat n'est guère étonnant car les amétropies sphériques et l'astigmatisme n'apparaissent pas au même âge compte tenu d'une **physio-pathogénie différente**. L'astigmatisme, surtout s'il est important, est le plus souvent généré par la toricité de la cornée tandis que l'amétropie sphérique dépend principalement de l'équilibre entre la courbure cornéenne et la longueur axiale de l'œil. La période de développement de la cornée étant brève, la toricité et la courbure de la cornée sont habituellement fixées vers l'âge de 3 ans. Le statut sphérique est donc essentiellement déterminé par la modification de la longueur axiale qui augmente au cours de l'enfance et de l'adolescence. L'hypermétropie quasi physiologique du nourrisson et du jeune enfant régresse avec la croissance du globe durant l'enfance. Quand ce processus d'emmétropisation est optimal l'œil ne présente pas d'amétropie sphérique. Si l'œil reste trop court par rapport à la puissance réfractive, l'hypermétropie va persister. Au contraire, l'œil va devenir myope si la longueur de l'œil devient trop importante par rapport à la puissance.

Figure 2. Distribution hétérogène des cylindres et des axes de l'astigmatisme.



Ce graphique d'Holladay visualise les cylindres et les axes de l'astigmatisme réfractif de 500 yeux droits exprimés en cylindre positif. L'ambiguïté du cycle de l'astigmatisme a été supprimée par le doublement des axes. L'origine correspond à un cylindre nul, les différents cercles concentriques représentant une même puissance cylindrique de +1D à +4D. Certains points (en particulier les plus internes) représentent plusieurs yeux. Les axes obliques sont presque toujours associés à un faible cylindre. Les cylindres élevés sont le plus souvent associés à un axe direct plus rarement à un axe inverse.

...sauf pour les fortes amétropies sphériques

Si la composante sphérique de la réfraction et l'astigmatisme apparaissent relativement indépendants l'un de l'autre dans la population générale, plusieurs études ont confirmé un lien en cas de forte amétropie sphérique (myopie au-delà de -6 D et hypermétropie supérieure à $+4$ D). **Les forts amétropes sphériques ont un cylindre plus élevé que le reste de la population** (1,15 D vs 0,84 D, $p < 0,001$, $n = 500$) [1]. Dans ce groupe, la corrélation entre la composante sphérique et le cylindre devient significative ($r = 0,20$, $p < 0,001$). Une corrélation plus importante a été rapportée par Heidary dans un groupe de myopes forts ayant une myopie moyenne de -10 D ($r = 0,34$, $p < 0,001$, $n = 217$) [3]. Comment expliquer le lien statistique entre la composante sphérique et le cylindre en cas de forte amétropie sphérique ? Plusieurs études longitudinales ont suggéré qu'un **astigmatisme initial pourrait perturber le processus d'emmétropisation de l'œil** et par conséquent favoriser l'apparition d'une amétropie sphérique (hypermétropie ou myopie). Expérimentalement, il est possible d'induire une forte amétropie sphérique en créant un astigmatisme cornéen.

Le cylindre influence l'axe et son degré d'énantiomorphisme

La répartition des cylindres et des axes n'est pas homogène dans la population générale (figure 2). Ainsi, les faibles valeurs de cylindre sont plus fréquentes que les valeurs élevées et les axes directs sont beaucoup plus fréquents que les axes inverses et surtout que les axes obliques. Le cylindre et l'axe ne sont pas statistiquement indépendants comme le montre la distribution très hétérogène des couples «cylindre-axe». Les axes obliques sont presque toujours associés à un faible cylindre. **Plus la valeur du cylindre augmente, plus la prévalence des axes directs augmentent** au détriment des axes inverses et obliques (tableau I) [1,4,5].

Tableau I. Principaux facteurs influençant les caractéristiques de l'astigmatisme réfractif. Le cylindre a plus d'influence sur l'axe que l'âge et surtout que la sphère. Les relations entre la sphère et l'astigmatisme n'existent que pour les fortes amétropies sphériques (↗ = augmentation, ↘ = diminution, → = stabilité ou absence d'influence).

	Cylindre	Axes de l'astigmatisme			Symétrie en miroir
		Orientation des axes			
		direct	inverse	oblique	
Cylindre ↗	-	↗	↘	↘	↗
Sphère ↗	↗	↗	↘	→	→
Age ↗	→	↘	↗	→	↘

L'influence du cylindre ne se limite pas aux axes mais concerne également leur degré d'énantiomorphisme. Le degré d'énantiomorphisme des axes est fortement influencé par la magnitude de l'astigmatisme alors que, paradoxalement, la valeur elle-même des axes ne semble pas avoir de rôle majeur dans la symétrie. **Plus le cylindre est élevé, plus le degré de symétrie en miroir des deux axes est important.** L'influence du cylindre sur le degré d'énantiomorphisme des axes s'explique par l'origine de l'astigmatisme. **L'astigmatisme cornéen est plus énantiomorphe que l'astigmatisme réfractif** (ou oculaire). Ayant une origine cornéenne quasi exclusive, les astigmatismes importants ont un plus fort degré d'énantiomorphisme. Au contraire, pour les faibles astigmatismes, la part interne (ou cristallinienne) est loin d'être négligeable d'où un plus faible énantiomorphisme. La précision des axes subjectifs est également moins élevée quand le cylindre est faible car, dans ce cas, une erreur d'axe a moins de conséquence optique. Cette diminution de la précision de l'axe peut également expliquer le plus faible degré d'énantiomorphisme des astigmatismes ayant un petit cylindre, du moins pour la mesure subjective. S'il existe un lien statistique important entre l'axe et le cylindre, en particulier si la valeur de ce dernier est élevée, l'âge joue également un rôle non négligeable sur l'axe et son degré d'énantiomorphisme (*tableau II*).

L'action de l'âge sur l'axe de l'astigmatisme est inverse à celle du cylindre. Avec la sénescence, la prévalence des axes inverses augmente au détriment des axes directs tandis que le degré d'énantiomorphisme des axes tend à diminuer. Toutefois, la modification des axes avec l'âge concernent essentiellement les faibles astigmatismes ayant un axe direct. Les forts astigmatismes et les axes inverses semblent plus stables dans le temps aussi bien au niveau des axes ou de leur symétrie.

Tableau II. Influence du cylindre sur l'axe de l'astigmatisme. L'augmentation de la valeur du cylindre est associée à une augmentation de prévalence des axes directs et à une plus grande symétrie en miroir avec l'axe controlatéral. Données réfractives de 500 yeux droits, $p < 0,001$ [1].

Cylindre	Symétrie en miroir	Distribution des axes		
		direct	inverse	oblique
< 1 D	27°	43 %	38 %	19 %
1 à 2 D	15°	54 %	38 %	8 %
> 2 D	11°	79 %	16 %	5 %

Les relations entre l'axe et la sphère sont faibles

Si l'existence d'un axe oblique ou inverse a parfois été retenue comme un facteur susceptible de favoriser le développement d'une myopie forte, les relations entre l'axe et la composante sphérique de la réfraction sont assez mal connues. Un lien assez lâche entre l'axe et la sphère peut être facilement masqué par la forte relation qui unit l'axe et le cylindre, et analyser l'axe indépendamment du cylindre est statistiquement difficile. Récemment, Mandel a montré sur une large population, l'existence d'un lien significatif entre la composante sphérique et l'axe indépendamment du cylindre [5]. Les fortes amétropies sphériques (myopie ou hypermétropie) sont associées à une augmentation de la prévalence des axes directs et à une diminution de la prévalence des axes inverses, la fréquence des axes obliques n'étant pas influencée par la composante sphérique. Le lien sphère-axe est toutefois nettement plus faible que le lien cylindre-axe.

Bibliographie

1. Touzeau O, Gaujoux T, Bullet J *et al.* Relations entre les paramètres de la réfraction : sphère, cylindre et axe. *J Fr Ophtalmol.* 2012; 35(8):587-98.
2. Guggenheim JA, Zayats T, Prashar A, To CH. Axes of astigmatism in fellow eyes show mirror rather than direct symmetry. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2008;28(4):327-33.
3. Heidary G, Ying GS, Maguire MG, Young TL. The association of astigmatism and spherical refractive error in a high myopia cohort. *Optom Vis Sci.* 2005;82(4):244-7.
4. Farbrother JE, Welsby JW, Guggenheim JA. Astigmatic axis is related to the level of spherical ametropia. *Optom Vis Sci.* 2004; 81(1):18-26.
5. Mandel Y, Stone RA, Zadok D. Parameters associated with the different astigmatism axis orientations. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2010;51(2):723-30.