



L'ASTIGMATISME

AUTEUR

Prof. Earl L. Smith III: University of Houston

RÉVISION PAR LES PAIRS

Prof. Emeritus Barry L. Cole: University of Melbourne

INTRODUCTION ET SURVOL

Ce chapitre inclura:

- La classification des astigmatismes
- Les modèles schématiques des yeux astigmatés
- La formation d'une image: astigmatés non corrigés
- La vision chez les astigmatés non corrigés
- Les effets des lentilles de correction sur la taille de l'image rétinienne
- L'accommodation oculaire chez les astigmatés corrigés

L'astigmatisme (**a** = sans, **stigma** = point) est une amétropie qui existe lorsque les rayons provenant d'un point distant ne sont pas focalisés par le système optique de l'oeil en un point unique (donc quand l'oeil ne forme pas un point image pour un point objet distant). L'image d'un point objet est plutôt composée de deux lignes perpendiculaires séparées par une distance donnée. L'astigmatisme est l'amétropie la plus commune chez l'humain. Presque tous les yeux (environ 90%) démontrent un degré mesurable d'astigmatisme mais heureusement, l'importance de cette amétropie est relativement petite chez la plupart des individus.

La cause la plus fréquente de l'astigmatisme est une surface de réfraction torique. La surface antérieure de la cornée, par exemple, n'est habituellement pas sphérique (la puissance de la cornée n'est pas la même dans tous les méridiens). La surface postérieure de la cornée, de même que les surfaces du cristallin, peuvent aussi être astigmatés. Par contre, même lorsque les surfaces de la cornée et du cristallin sont sphériques, un décentrement ou une inclinaison par rapport à l'axe optique de la cornée causerait de l'astigmatisme oblique et contribuerait à l'astigmatisme total de l'oeil.

CLASSIFICATION DES ASTIGMATISMES

Le type d'astigmatisme qui est associé à un œil non accommodé est typiquement classifié selon les positions par rapport à la rétine des deux foyers provenant d'un objet distant et selon la position des méridiens principaux, donc les méridiens avec la puissance de réfraction la plus et la moins élevée. Si le méridien ayant la plus grande puissance est approximativement vertical ($\pm 30^\circ$), l'astigmatisme est dit 'avec-la-règle'. Si le méridien le plus puissant est approximativement horizontal ($\pm 30^\circ$), l'astigmatisme est 'contre-la-règle'. Le terme 'astigmatisme oblique' est utilisé pour décrire les cas d'astigmatisme pour lesquels les méridiens principaux sont à plus ou moins 15 degrés des axes de 45 ou de 135 deg.

La Figure 7.1 ci-dessous illustre la classification des astigmatismes selon la position relative des foyers images (provenant d'un point distant) par rapport à la rétine.

7.1a représente un **astigmatisme myope composé**. Le terme 'composé' indique que les deux foyers images sont situés du même côté de la rétine. Dans ce cas particulier, les deux foyers sont situés dans le vitré, ce qui indique que les deux méridiens principaux sont myopes.

7.1b représente un **astigmatisme simple myope**. 'Simple' indique qu'un méridien est emmétrype, donc un des foyers est formé sur la rétine.

7.1c est un **astigmatisme mixte**, ce qui signifie qu'un méridien est myope et que son foyer est devant le vitré, mais que l'autre méridien est hypermétrope et que son foyer est derrière la rétine.

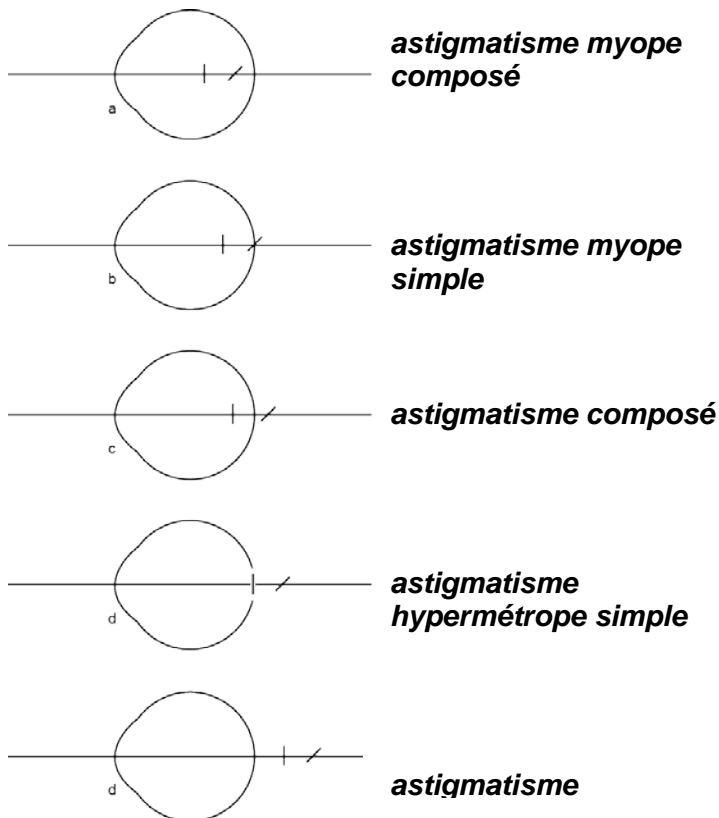
7.1d illustre un **astigmatisme hypermétrope simple**. Un foyer image est formé sur la rétine alors que l'autre est formé derrière la rétine.

7.1e représente un **astigmatisme hypermétrope composé** où les deux méridiens sont hypermétropes et leurs foyers images sont formés derrière la rétine.

Dans les sections suivantes, on va considérer trois aspects du système optique des yeux astigmatiques:

- 1) La formation de l'image dans la condition non corrigée
- 2) Les effets des lunettes et des lentilles cornéennes sur la taille et la forme des images rétinienne, et
- 3) Les prérequis accommodatifs des yeux astigmatiques corrigés.

Comme pour les amétropies sphériques, plusieurs de ces cas sont étudiés grâce à l'utilisation d'un œil schématisé réduit.



Classifiés selon la position par rapport à la rétine des lignes focales images, formés à partir d'un objet distant et les positions des méridiens principaux.

Position du méridien le plus puissant

« avec-la-règle » = presque vertical ($\pm 30^\circ$)

« contre-la-règle » = presque horizontal ($\pm 30^\circ$)

« oblique » = près de 45° ou de 135° ($\pm 35^\circ$).

Figure 7.1: Différentes classifications de l'astigmatisme (tirés de H. Obstfeld, *Optics in Vision*. Butterworth, London, 1982).

YEUX SCHÉMATIQUES ASTIGMATES

L'astigmatisme est une amétropie réfractive. Étant donné que les modèles d'oeil réduit n'ont qu'une seule surface de réfraction équivalente, les yeux astigmatiques sont modélisés en utilisant une surface de réfraction torique ou astigmatique. Puisque chaque méridien principal a sa propre erreur de réfraction, chaque méridien principal aura aussi son propre PR, point focal et point nodal. Le plan principal pour chaque méridien principal coïncidera avec l'apex de la surface équivalente de réfraction. Évidemment, il ne peut y avoir qu'une seule longueur axiale, par contre, les individus astigmatiques peuvent aussi avoir une amétropie sphérique de nature axiale. En d'autres mots, la distance entre la rétine et le plan principal d'un oeil astigmatique ne sera pas toujours égale à celle d'un individu avec une amétropie réfractive sphérique (soit de 22.22 mm). Voir Figure 7.2.

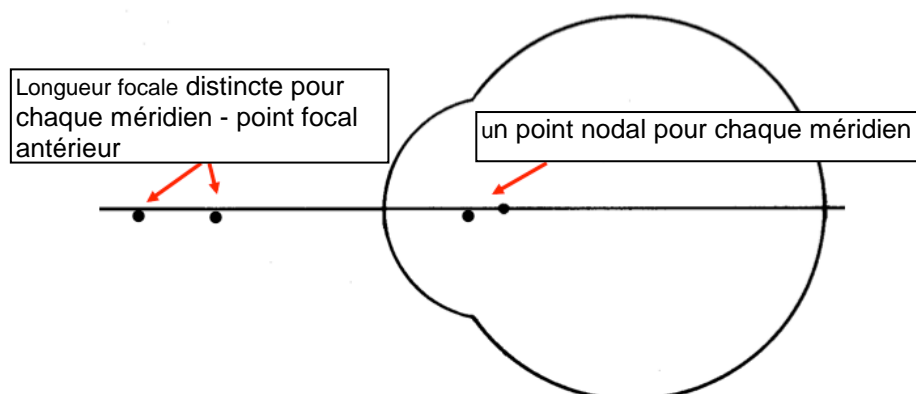


Figure 7.2: Chez l'astigmatique, chaque méridien aura un point focal et un point nodal distinct

FORMATION DE L'IMAGE: ASTIGMATES NON CORRIGÉS

L'acuité visuelle des astigmates non corrigés sera influencée par le type d'astigmatisme et les caractéristiques spatiales des optotypes employés pour la mesure de l'acuité visuelle. Les effets de l'astigmatisme sur l'image rétinienne, donc sur la performance visuelle, peuvent être évalués en considérant les effets de cette amétropie sur la forme de l'image rétinienne d'un point distant et sur celle d'un objet étendu. Les calculs nécessaires sont presque identiques à ceux décrits dans le chapitre 4 pour l'amétropie sphérique, par contre, avec les astigmates, il est nécessaire de faire ces calculs pour chaque méridien principal. Les calculs sont donc semblables à ceux de deux yeux différents qui représenteraient chacun l'un des méridiens principaux.

Considérons donc que le patient a un astigmatisme myope composé avec-la-règle et une erreur de réfraction de $-5.00/-5.00 \times 180$. Considérons aussi que ce patient a une amétropie sphérique qui est de nature réfractive (donc la distance entre le plan principal et la rétine est de 22.22 mm) que la pupille du patient est de 10 mm en diamètre (et, comme dans les amétropies sphériques, qu'elle est localisée au plan principal de l'oeil).

POINT OBJET

La forme de l'image rétinienne d'un point distant peut être obtenue en considérant la position des foyers image par rapport à la rétine. La Figure 7.3 illustre le pinceau astigmatique produit par le prolongement des foyers image pour les deux méridiens principaux. Comme on le voit dans l'encadré de la Figure 7.3, l'erreur de réfraction des méridiens horizontal et vertical est de -5.00 D et de -10.00 D respectivement. Conséquemment, la puissance totale de réfraction du méridien vertical de l'oeil sera de $+70$ D (donc 10 D de plus qu'un oeil emmétrope) alors que la puissance de réfraction du méridien horizontal sera de $+65$ D. Les rayons de lumière provenant de l'objet distant empiètent sur le méridien vertical et après réfraction, convergent pour former un foyer image horizontal au point 3 pour finalement diverger dans le plan vertical lorsque qu'ils s'approchent de la rétine. Les rayons qui empiètent sur le méridien horizontal de cet oeil convergeront pour former un foyer image vertical. Le méridien horizontal étant moins myope que le méridien vertical, le foyer image vertical résultant sera formé plus loin de la surface équivalente de réfraction, donc plus près de la rétine. Après la formation du foyer image vertical au point 7, la lumière réfractée par le méridien horizontal va diverger en direction de la rétine dans le méridien horizontal situé après le point 7.

Les dimensions horizontale et verticale de l'image rétinienne sont délimitées par les rayons qui entrent dans le système optique aux bord de la pupille (voir Figure 7.3). Comme le montre la figure 7.3, après la formation du foyer image horizontal au point 3, les rayons de lumière réfractés après le méridien vertical vont diverger davantage, avant de croiser la rétine, contrairement aux rayons réfractés au méridien horizontal (qui sont à foyer au point 7). Comme la pupille (qui est l'ouverture de l'oeil) est circulaire, le prolongement du dessin à la surface de la rétine sera elliptique avec, dans ce cas, l'axe vertical plus long que l'horizontal. Par contre, on doit reconnaître que le prolongement formé par les rayons va varier en taille et en forme à une distance donnée de la surface équivalente de réfraction. Par exemple, si la rétine est déplacée vers l'avant pour être au point 3, l'image rétinienne résultante serait encore elliptique, mais l'axe long serait horizontal. Évidemment, si la rétine était au point 3 ou f_h , le dessin suite à la réfraction formerait une ligne. L'image rétinienne serait circulaire si la rétine était située au cercle de moindre confusion, soit le point dioptrique entre le point focal secondaire situé à mi-distance entre les méridiens horizontal et vertical.

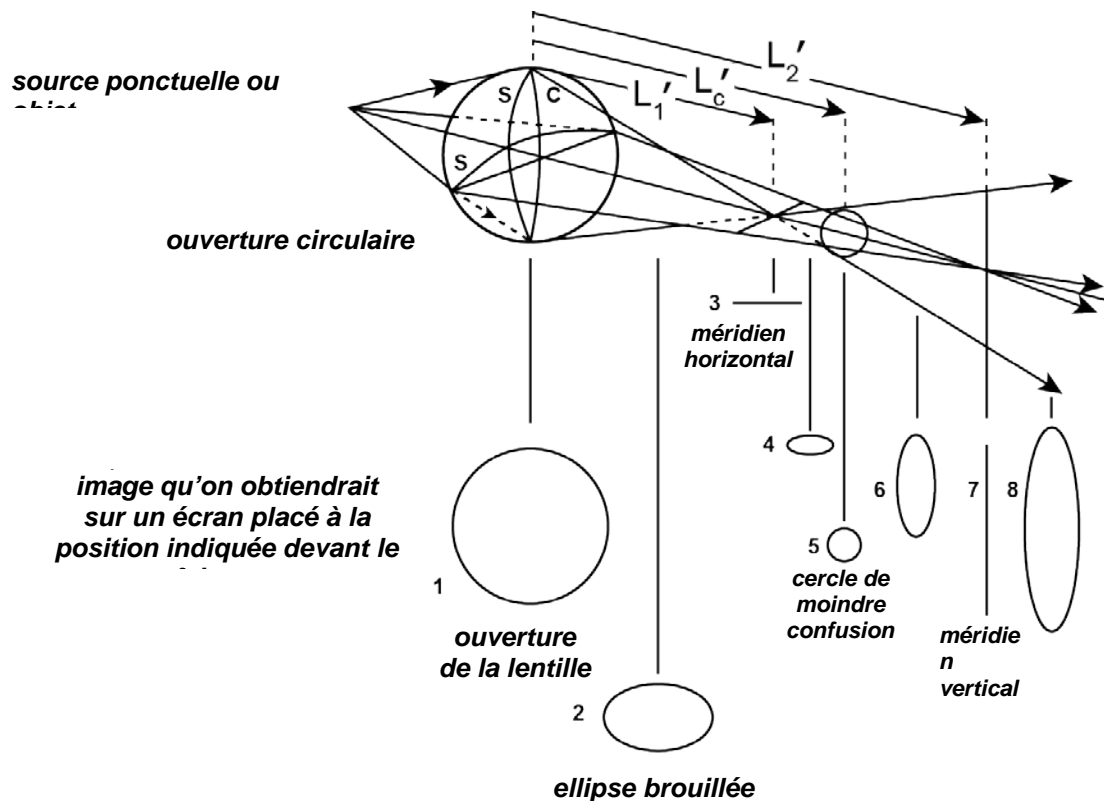


Figure 7.3: Dessin astigmatique pour un système avec une ouverture circulaire

Les dimensions physiques de l'image rétinienne elliptique peuvent être calculées en utilisant une approche géométrique. La position du foyer image pour chaque méridien doit être calculée et ensuite, les dimensions respectives peuvent être calculées en utilisant les rapports de triangles semblables.

Pour le **méridien vertical**:

La vergence de la lumière suite à la réfraction

$$L'_v = L + F$$

$$L'_v = 0 + 70 \text{ D} = 70 \text{ D}$$

Position de l'image

$$l'_v = \frac{n'}{L'_v} = \frac{1.333}{+70 \text{ D}} = 0.01905 \text{ m}$$

donc le foyer horizontal est formé à 19.05 mm du plan principal de l'oeil et à 3.17 mm devant la rétine (22.22 mm - 19.05 mm).

À partir de la Fig 7.3, on peut déduire que le triangle formé par la pupille à sa base et le point 3 à son apex est semblable au triangle formé par la dimension verticale de l'image rétinienne et le point 3. Donc, la taille de l'image verticale, (h'_v), peut être calculée en faisant le rapport entre les bases et les hauteurs des triangles semblables.

Taille de l'image verticale

$$\frac{h'_v}{3.17 \text{ mm}} = \frac{\text{taille de la pupille}}{19.05 \text{ mm}}$$

$$h'_v = \frac{10 \text{ mm} * 3.17 \text{ mm}}{19.05 \text{ mm}} = 1.66 \text{ mm}$$

donc la dimension verticale ou l'axe long de l'image rétinienne est de 1.66 mm.

Pour le **méridien horizontal**:

La vergence de la lumière après la réfraction

$$L'_h = L + F_h$$

$$L'_h = 0 + 65 \text{ D} = +65 \text{ D}$$

Position image

$$l'_h = \frac{n'}{L'_h} = \frac{1.333}{+65 \text{ D}} = 0.02051 \text{ m}$$

donc le foyer image vertical est formé à 20.51 mm derrière la surface de réfraction équivalente et à 1.71 mm devant la rétine.

Taille horizontale de l'image

$$\frac{h'_h}{1.71 \text{ mm}} = \frac{10 \text{ mm}}{20.51 \text{ mm}}$$

$$h'_h = \frac{10 \text{ mm} * 1.71 \text{ mm}}{20.51 \text{ mm}} = 0.834 \text{ mm}$$

Donc, la dimension horizontale de l'image rétinienne est de 0.834 mm, environ la moitié de la taille de la dimension verticale.

L'OBJET ÉTENDU

La taille 'définie' d'une image rétinienne chez l'astigmat non corrigé peut être calculé en considérant les rayons principaux des deux méridiens principaux. Dans la Figure 7.4a les rayons principaux et les dessins astigmatiques pour les deux méridiens principaux de l'astigmat non corrigé (-5.00 / - 5.00 X 180) sont illustrés comme des prolongements superposés. Dans cet exemple, l'objet distant est un carré (avec des côtés verticaux et horizontaux); les côtés du carré sous-tendent des angles de 0.1 rad au plan principal de l'oeil. Bien que les deux méridiens aient des puissances réfractives différentes, les deux rayons principaux sont identiques car dans ce cas, l'amétropie (la composante sphérique et astigmat) est de nature réfractive. Conséquemment, la taille définie de l'image sera la même pour les deux méridiens et peut être calculée en multipliant l'angle de réfraction associé aux rayons principaux à la distance entre le plan principal et la rétine.

Angle de réfraction (pour les deux méridiens)

$$i' = \frac{i}{n'} = \frac{0.1 \text{ rad}}{1.333} = 0.075 \text{ rad}$$

Taille de l'image rétinienne (pour les deux méridiens)

$$h' = (0.075 \text{ rad}) (22.22 \text{ mm})$$

$$h' = 1.67 \text{ mm}$$

Donc l'image rétinienne sera carrée et les dimensions horizontales et verticales seront de 1.67 mm.

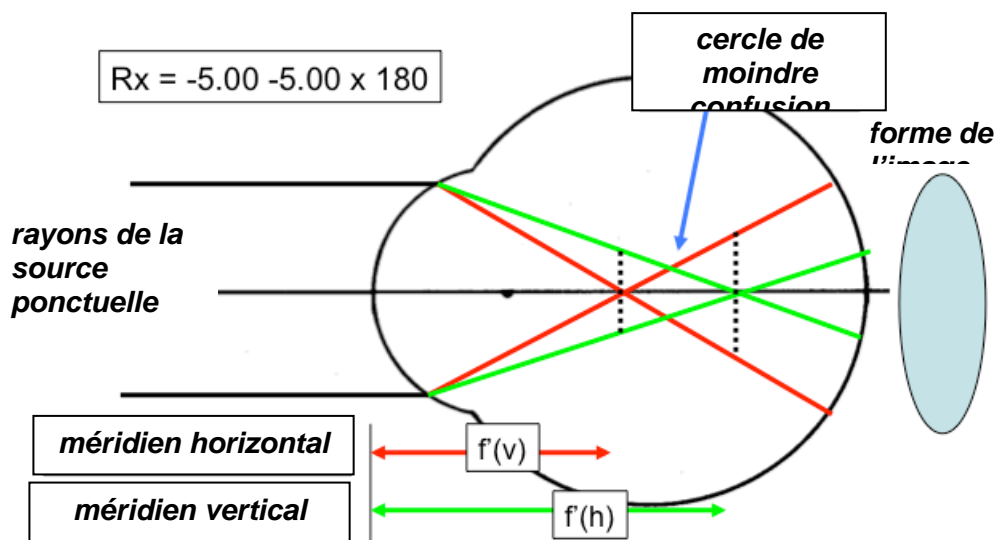


Figure 7.4a: Image rétinienne chez les yeux astigmates non corrigés

Comme chaque point de l'image rétinienne non corrigée sera un flou 'ovale' orienté verticalement, la **vraie** taille physique de l'image rétinienne sera plus large que celle décrite par les rayons principaux et sera, dans ce cas, asymétrique. Comme on le voit dans l'encadré de la Fig 7.4b, les côtés verticaux de l'image rétinienne seront de 3.33 mm en longueur. Cette valeur est la somme du flou de l'image (donc 1.66 mm, la dimension de l'axe long de l'ellipse flou) et de la taille 'définie' de l'image rétinienne déterminée par le rayon principal. La dimension totale de l'image dans le méridien horizontal sera de 2.50 mm (1.67 mm plus 0.834 mm).

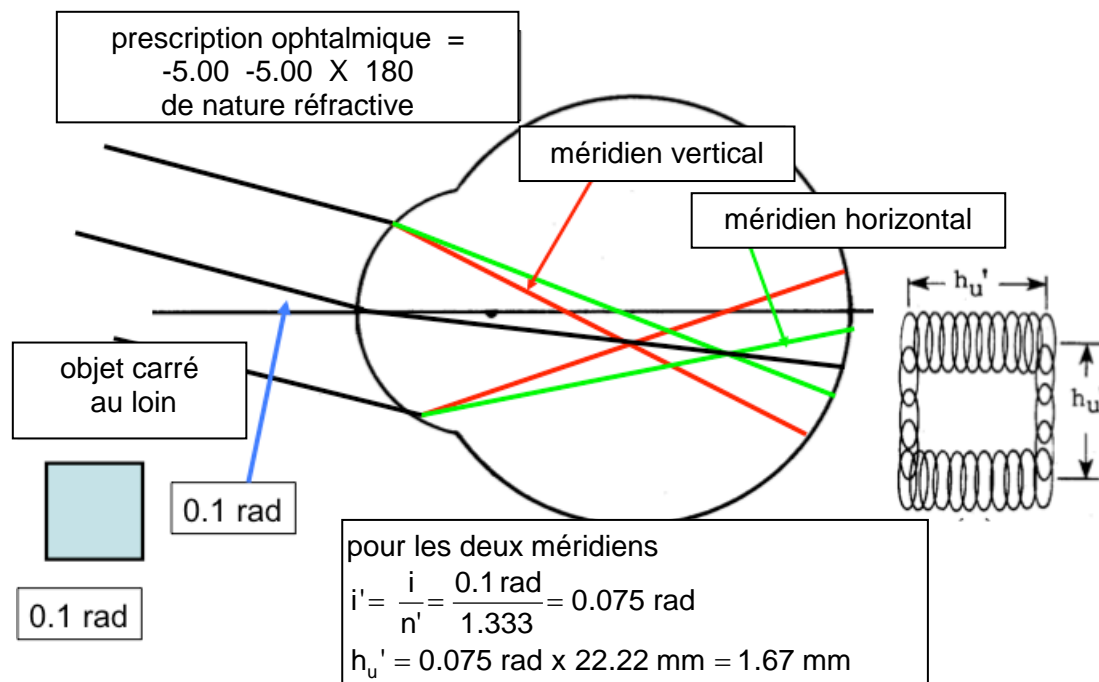


Figure 7.4b: Taille de l'image rétinienne chez l'astigmate non-corrigé – objet carré éloigné

Note: Dans l'oeil astigmatique, l'orientation du foyer le plus éloigné du plan principal de l'oeil sera toujours parallèle au méridien oculaire ayant la puissance réfractive positive la plus élevée, donc à 90 degrés de l'axe du cylindre négatif de la lentille de correction. Il est important de garder cette relation en tête lorsque vous utilisez la carte d'astigmatisme afin de déterminer l'axe du cylindre approprié pour le patient. Pour être en mesure d'interpréter correctement la carte d'astigmatisme, on doit s'assurer qu'une quantité suffisante de puissance positive est employée. On doit ajouter assez de puissance positive pour positionner les foyers image du vitré en avant de la rétine. Dans ce cas, on sait que le foyer postérieur sera plus près de la rétine et que le patient verra les lignes sur la carte d'astigmatisme (qui sont parallèles au méridien oculaire le plus fort) plus foncées et plus distinctes que toutes les autres.

LA VISION CHEZ LES ASTIGMATES NON CORRIGÉS

Les astigmatismes peuvent habituellement voir certaines cibles mieux que d'autres car l'image dans l'oeil astigmatique non corrigé est habituellement asymétrique (lorsque le cercle de moindre confusion n'est pas sur la rétine). Le déficit visuel exact dépendra de l'importance et de la classification de l'astigmatisme et aussi du type de stimulus qui est employé. Par exemple, considérons deux cibles 'E'. Dans les deux cas, les caractéristiques verticales subiraient de la distorsion, mais pour l'astigmatisme avec-la-règle, (la myopie astigmatique composée décrite ci-haut) moins que l'horizontale. Par contre, étant donné que les caractéristiques critiques du E pivoté sont verticales, l'astigmatisme non corrigé décrit ci-haut serait en mesure de résoudre le E pivoté autant que le E traditionnel, non pivoté. Si on demandait au patient quelles lignes sur une carte d'astigmatisme étaient les plus claires, il répondrait que les lignes à 12:00 et à 6:00 sont les plus distinctes (les moins floues).

Les cartes de Snellen traditionnelles sont composées de lettres majuscules, où dominent les composantes horizontale et verticale. Les astigmatismes avec- et contre-la-règle ayant des erreurs de réfraction d'importance égale auront environ la même acuité visuelle pour ces cartes. La visibilité d'une lettre donnée dépendra de quel foyer image est le plus près de la rétine et de la forme exacte de la lettre. Conséquemment, pour les rangées de lettres s'approchant de la limite de résolution, les astigmatismes non corrigés identifieront seulement une partie des lettres sur plusieurs rangées avant d'en venir à manquer toutes les lettres sur une rangée (Figure 7.5). Les individus avec l'astigmatisme oblique d'une même importance démontrent habituellement une acuité visuelle plus faible que les astigmatismes avec- ou contre-la-règle étant donné que les caractéristiques horizontales et verticales de la carte

Snellen ne seront pas à foyer et peu de lettres Snellen ont des caractéristiques critiques orientées obliquement (Figure 7.6).

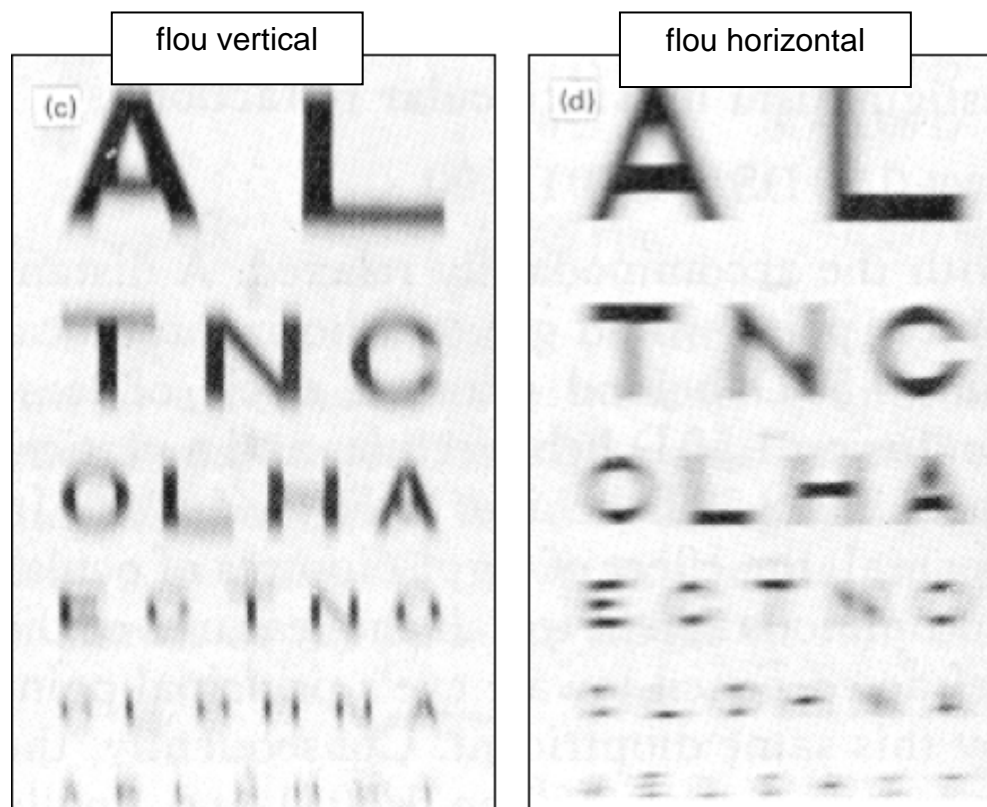


Figure 7.5: La vision chez les astigmates non corrigés – ‘avec la règle’ (L) et contre-la-règle’ (R)

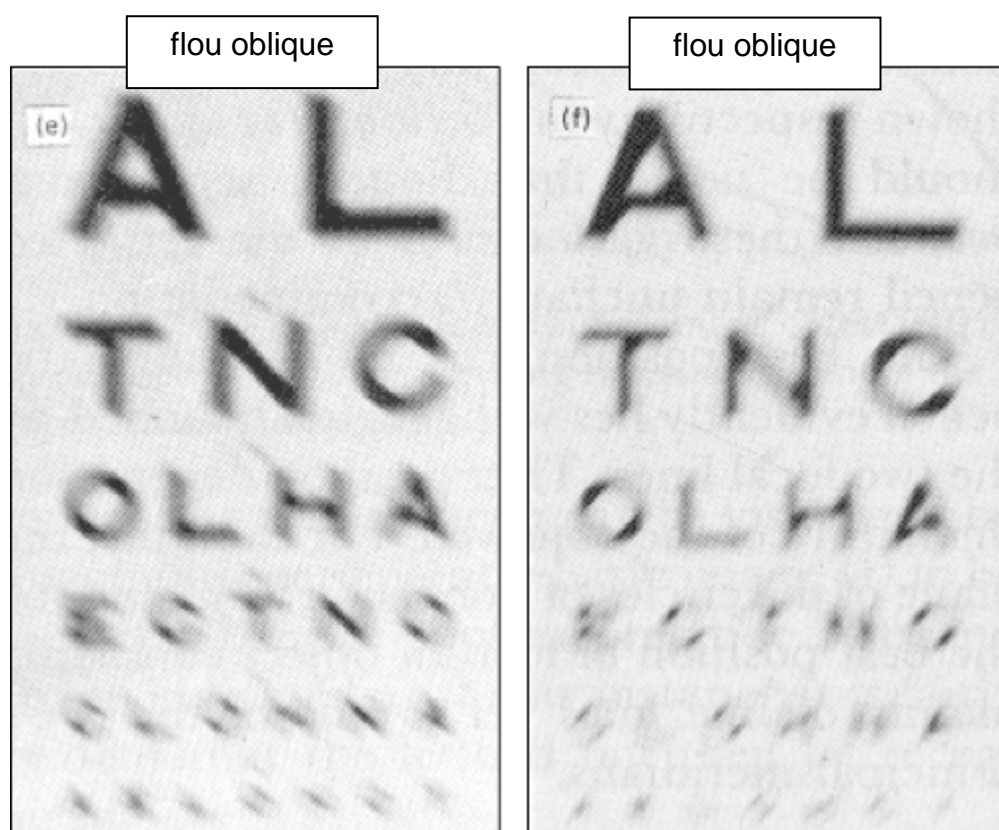


Figure 7.6: La vision chez les astigmates non corrigés-45 degrés (L) et 135 degrés (R)

Dans certains cas, l'acuité Snellen peut surestimer la performance visuelle des astigmatiques non corrigés pour certaines tâches visuelles. Par exemple, contrairement aux lettres majuscules, les lettres minuscules sont dominées par les composantes verticales et ces composantes sont critiques pour reconnaître les lettres. De plus, la distance horizontale entre les lettres adjacentes est inférieure à la distance verticale entre les lignes de lettres. En conséquence, les astigmatiques ayant des flous elliptiques horizontaux sur leurs rétines ne pourront pas lire les lettres minuscules aussi bien que celles ayant des flous verticaux (en supposant que les astigmatiques ont la même acuité Snellen). Plus le flou dans le méridien horizontal est grand, plus les caractéristiques des lettres seront masquées et se confondront avec les lettres adjacentes. Ces astigmatiques ont donc une moins bonne acuité Snellen lorsqu'ils observent des lettres imprimées en minuscules.

LES EFFETS DES LENTILLES DE CORRECTION SUR LA TAILLE DE L'IMAGE RÉTINIENNE

L'analyse des images rétinienne dans les yeux astigmatiques corrigés est en quelque sorte analogue à la comparaison des images rétinienne de deux yeux ayant des erreurs de réfraction différentes. On doit considérer les effets de la réfraction sur les deux méridiens principaux afin de déterminer les effets des lentilles de correction sur la taille de l'image rétinienne chez les astigmatiques. En d'autres mots, on doit déterminer la GL et la GRL pour les deux méridiens.

LENTILLES CORNÉENNES

Les lentilles cornéennes et les lunettes ont des effets très différents sur les images rétinienne formées dans les yeux astigmatiques. Comme dans le Chapitre 4, la GL sera égale à 1.0 lorsque les amétropies réfractives seront corrigées en lentilles cornéennes (si la lentille cornéenne est placée sur le plan principal de l'oeil). La GL sera la même pour les deux méridiens principaux lorsque les astigmatiques seront ajustés en lentilles cornéennes car l'astigmatisme est une amétropie réfractive. Revenons à l'oeil astigmatique décrit ci-haut (voir Fig 7.7). L'oeil avait une prescription ophtalmique de $-5.00 / -5.00 \times 180$ et l'amétropie complète (sphère et cylindre) était de nature réfractive (donc la distance entre le plan principal et la rétine était égale à celle d'un oeil emmétrope, 22.22 mm). Quelle serait le GL et le GRL pour les méridiens principaux quand l'oeil est corrigé en lentilles cornéennes au plan principal de l'oeil?

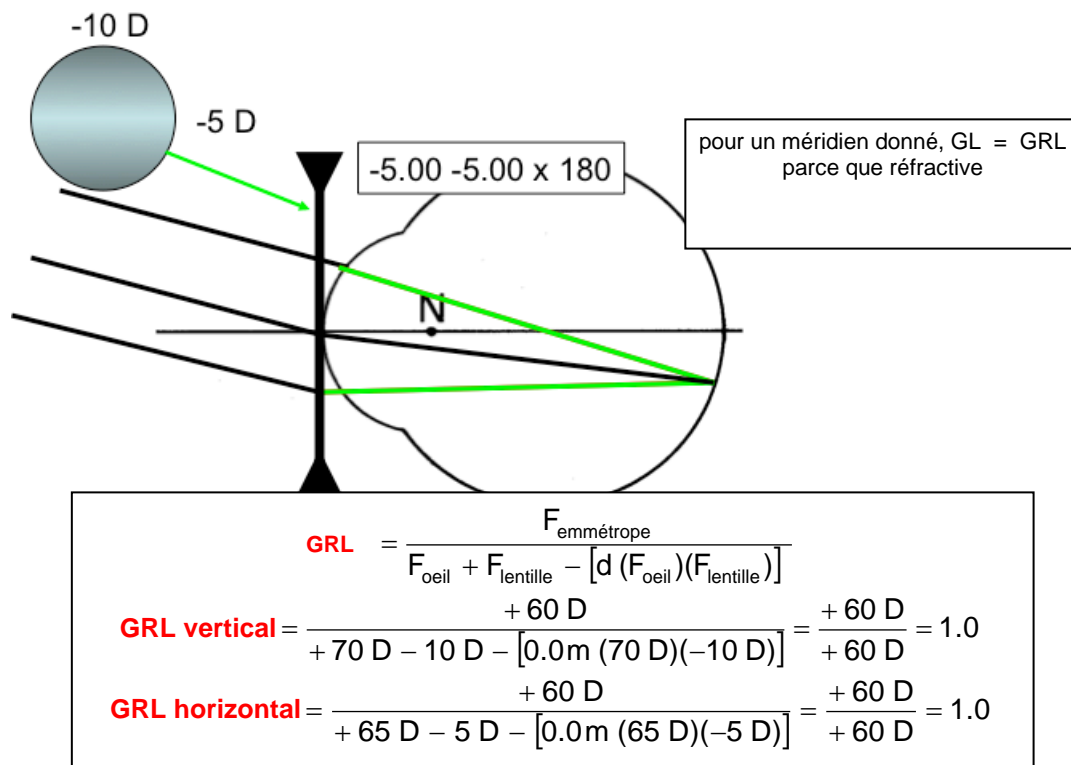


Figure 7.7: Le GRL avec une correction d'astigmatisme en lentilles cornéennes

Étant donné que l'amétropie est de nature entièrement réfractive, le GL sera égale au GRL et la façon la plus simple de déterminer ces valeurs est de considérer la puissance équivalente de la combinaison oeil-lentille dans les deux méridiens principaux.

Pour le méridien vertical,

$$F_{\text{lentille}} = -10.0 \text{ D}$$

$$F_{\text{oeil}} = +70.0 \text{ D}$$

$$\text{GRL} = \frac{F_{\text{emmétrope}}}{F_{\text{combinaison oeil amétrope - lentille}}}$$

$$\text{GRL} = \frac{+60 \text{ D}}{+70 \text{ D} - 10 \text{ D} - [0(70 \text{ D})(-10 \text{ D})]} = \frac{+60 \text{ D}}{+60 \text{ D}}$$

Donc, le GRL = GL = 1.0

Pour le méridien horizontal,

$$F_{\text{lentille}} = -5.00 \text{ D}$$

$$F_{\text{oeil}} = +65.0 \text{ D}$$

$$\text{GRL} = \frac{+60 \text{ D}}{+65 \text{ D} - 5 \text{ D}}$$

Donc, GRL = GL = 1.0

Pour l'oeil astigmat, l'image rétinienne sera identique à celle créée dans l'oeil emmétrope, donc sa taille et sa forme seront identiques.

Le GL pour les deux méridiens principaux sera toujours égal à 1.0 quand les astigmatés sont corrigés au plan principal. Par contre, si l'astigmat a aussi une amétropie sphérique de nature axiale, le GRL pour un méridien donné ne sera pas égal au GL bien que les GRL pour les deux méridiens principaux seront égaux. Par exemple, dans l'exemple ci-haut, la composante sphérique de l'erreur réfractive aurait pu être de nature axiale, donc en plus de l'astigmatisme cornéen de 5.0 D, la longueur axiale de l'oeil aurait pu être plus longue que la normale. Dans ce cas, le GRL aurait été supérieur à 1.0 pour les deux méridiens, mais le GL serait quand même de 1.0 (voir Chapitre 4 et les effets des lentilles cornéennes sur le GRL dans les myopies axiales).

LENTILLES DES LUNETTES

Dans l'amétropie réfractive corrigée par des lunettes, le GRL et le GL varient comme fonction de la puissance et de la position de la lentille de correction. En conséquence, lorsque les astigmatés sont corrigés en lunettes, le GL et le GRL pour les deux méridiens principaux peuvent être très différents. Afin d'illustrer ce point, considérons les effets de la correction de la myopie astigmat composée décrite ci-haut avec des lentilles positionnées à 15 mm devant le plan principal de l'oeil (voir Fig 7.8). Encore une fois, considérons que l'erreur de réfraction est de nature entièrement réfractive et que la Rx oculaire du patient est de -5.00 / -5.00 X 180.

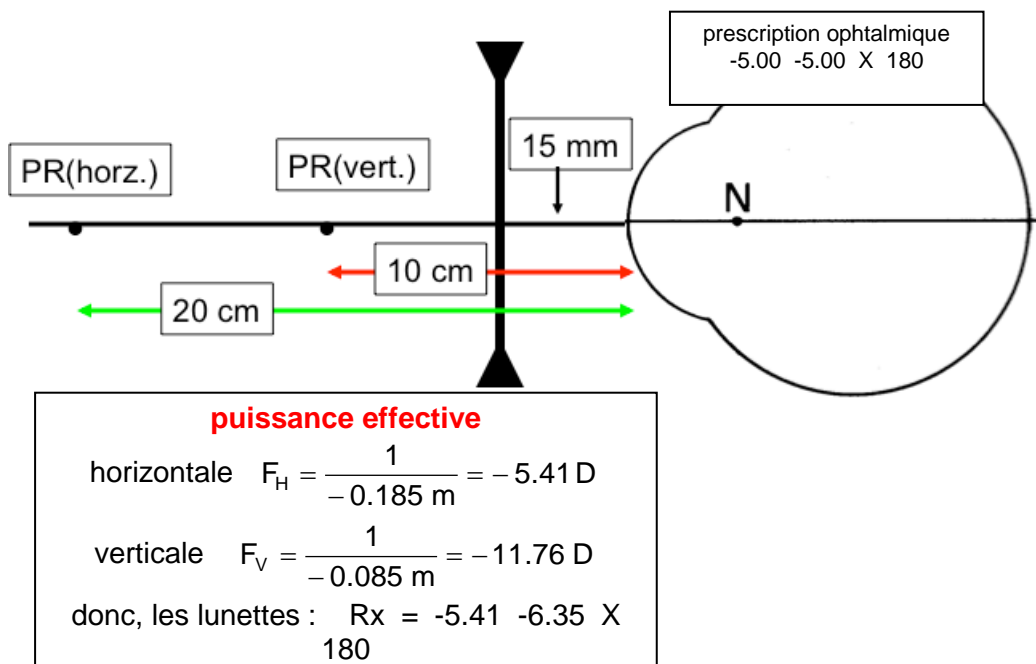


Figure 7.8: La correction de l'astigmatisme par des lunettes

Premièrement, calculons la puissance équivalente appropriée au plan des lunettes.

Pour le **méridien horizontal**

Le point éloigné de l'oeil pour le méridien horizontal est à 20 cm ($1 / -5.0 \text{ D}$) devant le plan principal de l'oeil. Le nouveau plan des lunettes est à 1.5 cm devant le plan principal de l'oeil, donc, le méridien horizontal de la lunette devra avoir une longueur focale secondaire de -18.5 cm (20 cm - 1.5 cm). Alors, la puissance de la lunette dans le méridien horizontal doit être de:

$$F_H = \frac{1}{-0.185 \text{ m}} = -5.41 \text{ D}$$

Pour le **méridien vertical**

Le point éloigné pour les méridiens verticaux est à 10 cm devant le plan principal de l'oeil, alors, à 8.5 cm devant le plan des lunettes. Alors, la puissance de la lentille des lunettes dans le méridien vertical doit être:

$$F_V = \frac{1}{-0.085 \text{ m}} = -11.76 \text{ D}$$

Alors, la Rx des lunettes est de: -5.41/-6.35 × 180.

Étant donné que l'amétropie est entièrement réfractive, le GRL = GL pour un méridien donné et ces valeurs peuvent être calculées de différentes façons. Les deux stratégies les plus faciles impliquent le calcul du GRL en utilisant l'approche de la puissance équivalente et le GL en utilisant la relation entre le point éloigné et la lentille des lunettes.

Le GRL pour le méridien horizontal

$$\begin{aligned}F_{\text{lentille}} &= -5.41 \text{ D} \\F_{\text{oeil}} &= +65.0 \text{ D} \\F_{\text{emmétrope}} &= +60.0 \text{ D} \\t &= 0.015 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{GRL}_H &= \frac{F_{\text{emmétrope}}}{F_{\text{oeil}} + F_{\text{lentille}} - [t (F_{\text{oeil}})(F_{\text{lentille}})]} \\&= \frac{60 \text{ D}}{65 \text{ D} - 5.41 \text{ D} - [(0.015 \text{ m})(65 \text{ D})(-5.41 \text{ D})]} \\&= \frac{60 \text{ D}}{64.86 \text{ D}} = 0.925\end{aligned}$$

Le GRL pour le méridien vertical

$$\begin{aligned}F_{\text{lentille}} &= -11.76 \text{ D} \\F_{\text{oeil}} &= +70.0 \text{ D}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{GRL}_V &= \frac{60 \text{ D}}{70 \text{ D} - 11.76 \text{ D} - [(0.015 \text{ m})(70 \text{ D})(-11.76 \text{ D})]} \\&= \frac{60 \text{ D}}{70.59 \text{ D}} = 0.85\end{aligned}$$

Le GL pour le méridien horizontal

$$\begin{aligned}\text{GL}_H &= \frac{(\text{distance entre le PR}_H \text{ et le plan des lunettes})}{(\text{distance entre le PR}_H \text{ et le plan principal})} \\&= \frac{18.5 \text{ cm}}{20.0 \text{ cm}} = 0.925\end{aligned}$$

GL pour le méridien vertical

$$\text{GL}_V = \frac{8.5 \text{ cm}}{10.0 \text{ cm}} = 0.85$$

Les calculs ci-haut indiquent que la lunette tend à minimiser l'image rétinienne de l'oeil non corrigé et de l'oeil standard emmétrope. Ils démontrent que le grossissement pour une image étendue à foyer sera différente pour les deux méridiens principaux, donc que la forme de l'image rétinienne subira des distorsions et la forme de l'image rétinienne ne sera pas identique à la forme de l'objet. Considérons la forme de l'image rétinienne résultant d'un objet carré distant avec des cotés horizontaux et verticaux sous-tendant 0.1 radians. Comme on l'a vu à la page 7, l'image rétinienne définie pour cet objet dans l'état non corrigé serait un carré avec des côtés de 1.67 mm long (cet objet produirait aussi un carré image de 1.67 mm dans un oeil emmétrope). Afin de déterminer la taille de l'image rétinienne dans l'état corrigé, on peut multiplier la taille de l'image rétinienne non corrigée par le GL pour chaque méridien tout en se rappelant que le GL pour le méridien horizontal détermine les dimensions horizontales de l'image rétinienne mise au point et que le GL pour le méridien vertical détermine les dimensions verticales. Donc, pour cet exemple, les dimensions de l'image rétinienne corrigée seraient:

Méridien Horizontal

$h'_h = ML_h \times$ (taille de l'image horizontale non corrigée)

$h'_h = 0.925 \times 1.67 \text{ mm}$

$h'_h = 1.54 \text{ mm}$

Note: Les dimensions ci-hauts seraient celles des côtés horizontaux et verticaux de l'image rétinienne formée dans un oeil **sphérique** myope ayant une erreur de réfraction de -5.41 D.

Méridien vertical

$$h'_v = 0.85 \times 1.67 \text{ mm}$$

$$h'_v = 1.42 \text{ mm}$$

Donc, l'image rétinienne nette du carré serait un rectangle avec l'axe long horizontal. Une règle d'or importante est la suivante: l'image la plus agrandie dans l'oeil astigmatique corrigé sera toujours parallèle à l'axe du cylindre négatif de la lunette (dans ce cas, le méridien horizontal).

À première vue, l'exemple ci-haut pourrait porter à confusion. Dans l'oeil astigmatique non corrigé, le méridien vertical produit un foyer image horizontal pour chaque objet distant alors que le méridien horizontal produit un foyer image vertical. Rappelons que dans l'exemple ci-haut, on traite d'un objet *étendu* et d'une image *mise-au-point*. La différence dans la taille de l'image découle de la différence dans la taille des images d'objets distants formées par les deux méridiens de la lentille de correction aux points éloignés de l'oeil. Comme le montre la Fig 7.9, l'image d'un carré distant formée par les méridiens horizontal et vertical de la lunette utilisée dans l'exemple ci-haut peut être illustrée par les rayons provenant des extrémités de l'objet et passant par le centre optique de la lunette (à nouveau, les deux méridiens principaux sont illustrés comme des prolongements superposés). L'image formée au point focal du méridien horizontal de l'oeil par la puissance du méridien horizontal de la lentille sera un carré situé à 18.5 cm devant la lentille. Chaque point de ce carré sera, en fait, une ligne verticale (donc le foyer image formé par le méridien horizontal de la lentille). Le méridien vertical de la lentille formera une image carré au point éloigné vertical, situé à 8.5 cm devant la lentille. Encore une fois, l'image de l'objet carré distant sera un carré, mais chaque point sera représenté comme une ligne horizontale. Évidemment, l'image formée au point éloigné horizontal est physiquement la plus grande, mais on doit pas oublier que l'angle d'incidence au plan principal de l'oeil sera différent pour ces deux images. Et dans ce cas, l'angle d'incidence des rayons principaux provenant de l'image au point éloigné horizontal sera plus grande que celle provenant de l'image au point éloigné vertical. Conséquemment, étant donné que la longueur axiale de l'oeil est la même pour les deux méridiens, l'image rétinienne résultante sera plus grande dans le méridien horizontal.

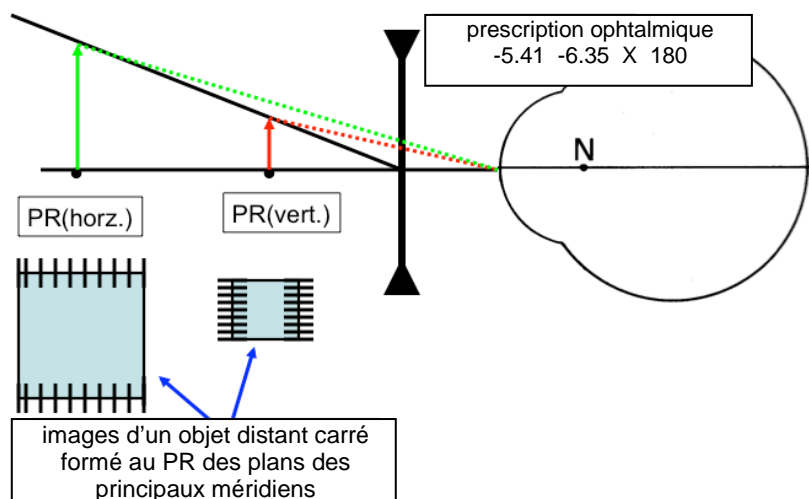


Figure 7.9: L'image d'un carré distant formé par les méridiens horizontal et vertical de la lunette.

Note: Considérons ce qui arriverait aux images dans la Fig 7.10 si on plaçait une fente sténopéique devant la lentille de correction; premièrement avec la fente à l'horizontale et ensuite à la verticale. Une fente sténopéique est un disque opaque avec une ouverture centrale d'environ 1mm de largeur (comme un trou allongé). Cet instrument simple était souvent utilisé afin de déterminer la présence d'astigmatisme. En plaçant la fente selon une orientation particulière, on isole en quelque sorte la puissance d'un seul méridien et on réduit le système optique d'un oeil

astigmatisme à celui d'un système sphérique. Un individu astigmatique manifeste une erreur de réfraction qui varie en fonction de l'orientation de la fente.

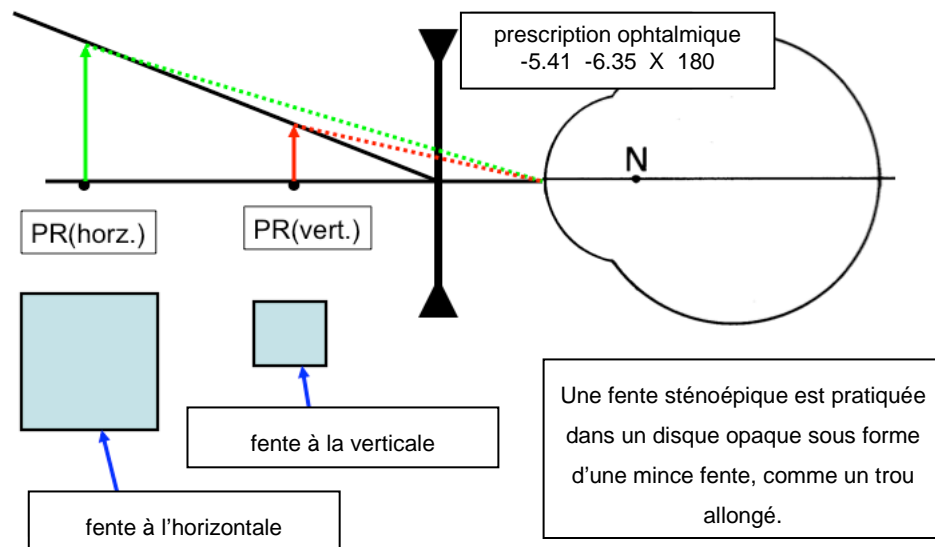


Figure 7.10: L'impact d'une fente sténopéique sur les images rétiniennes formées par les lentilles des lunettes

Comme discuté au Chapitre 4, la différence interoculaire dans la taille entre les images peut produire des distorsions dans la perception spatiale, et si elle est assez grande, la fusion peut en être perturbée. Considérons les deux individus suivants. Les deux patients ont des yeux amétropes. L'oeil droit du patient A a une réfraction de -5.00 D (myopie réfractive sphérique). L'oeil droit du patient B a une myopie astigmatique simple, qui est aussi de nature réfractive (pl / -5.00 X 180). Supposons que les deux patients soient corrigés par des lunettes positionnées à 15 mm devant le plan principal de l'oeil. Pour le patient A, l'image de l'oeil droit sera plus petite que celle de l'oeil gauche (environ 7.5%), mais les formes seront identiques. Chez le patient B, les dimensions horizontales de l'image de l'oeil droit seront les mêmes que celles de l'oeil gauche, mais les dimensions verticales dans l'oeil droit seront plus petites que celles de l'oeil gauche. Donc les formes des images de l'oeil droit et de l'oeil gauche du patient B seront différentes. Lequel de ces deux patients d'après vous ressentira des difficultés associées à l'aniséiconie?

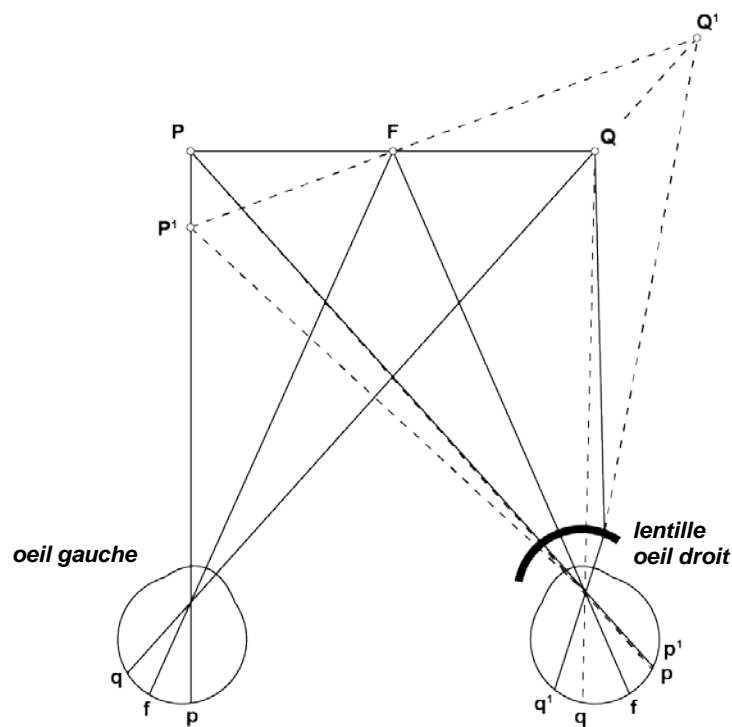
D'une certaine façon, le patient A ressentira la plus grande différence interoculaire dans la taille des images (en termes d'aire) mais le patient B aura le plus tendance à se plaindre des symptômes de l'aniséiconie. En général, la différence interoculaire de grossissement affecte l'habilité à fusionner les images des deux yeux. Par contre, les différences méridionales associées à l'astigmatisme produisent des distorsions beaucoup plus grandes. Souvent, lorsqu'on fournit à un individu une nouvelle Rx qui cause une différence interoculaire méridionale dans la taille de l'image, le patient peut dire que sa vision est nette, mais que les choses paraissent 'bizarres' à travers la nouvelle Rx (ou ne paraissent pas normales). Il est important pour l'optométriste de reconnaître quand une nouvelle Rx risque d'altérer l'équilibre interoculaire habituelle de la taille de l'image rétinienne. Dans plusieurs cas, le patient va s'adapter rapidement au déséquilibre s'il est bien conseillé. Par contre, dans certains cas, il peut être nécessaire de passer à une stratégie de correction différente. Il est également important de savoir que le patient qui s'est adapté à un déséquilibre interoculaire peut temporairement rapporter des symptômes similaires s'il reçoit une nouvelle Rx qui élimine ce déséquilibre (si on remplace les lunettes du patient B par des lentilles cornéennes).

FACTEUR FORME DE GROSSISSEMENT

Comme nous l'avons vu dans le chapitre sur l'aphakie, le grossissement angulaire peut aussi être produit par la forme de la lentille de correction. En général, avec des amétropies sphériques, le grossissement des formes devient significatif seulement avec des lentilles positives de puissance élevée. Mais chez les astigmatiques, le design des lunettes peut affecter les différences méridionales dans la taille de l'image rétinienne, même pour les puissances de cylindres relativement faibles. Rappelons que le facteur forme S est directement proportionnel à l'épaisseur de la lentille et à la puissance de la surface frontale de la lunette. Considérons les différences potentielles entre des lunettes avec un cylindre positif ou négatif. Pour celles qui ont un cylindre négatif, la surface frontale est sphérique et la surface arrière est cylindrique. D'un autre côté, avec un cylindre positif, la surface arrière est sphérique alors que la surface frontale est cylindrique. Donc, le degré du grossissement-forme sera différent pour les méridiens

principaux des lentilles à cylindres positifs (le facteur forme est constant dans tous les méridiens pour un cylindre négatif).

Conséquemment, on doit être conscient qu'en changeant la lunette d'un cylindre positif à un cylindre négatif et vice versa, il y aura des effets similaires à ceux décrits ci-haut pour la puissance des corrections astigmatiques. En effet, les patients qui changent la forme de leurs lunettes rapportent souvent des symptômes similaires (ex: la nouvelle paire de lunettes rend la vision 'bizarre') (voir Figures 7.11, 7.12 et 7.13).



En grossissant le méridien horizontal de l'oeil droit, une surface plane semblera pivoter autour d'un axe vertical de sorte que son côté droit s'éloigne de l'observateur.

From Ogle, 1972.

Figure 7.11: L'impact du grossissement sélectif du méridien horizontal de l'oeil droit en utilisant des lunettes (tiré de K N Ogle. *Optics*. Springfield, Illinois, 1972)

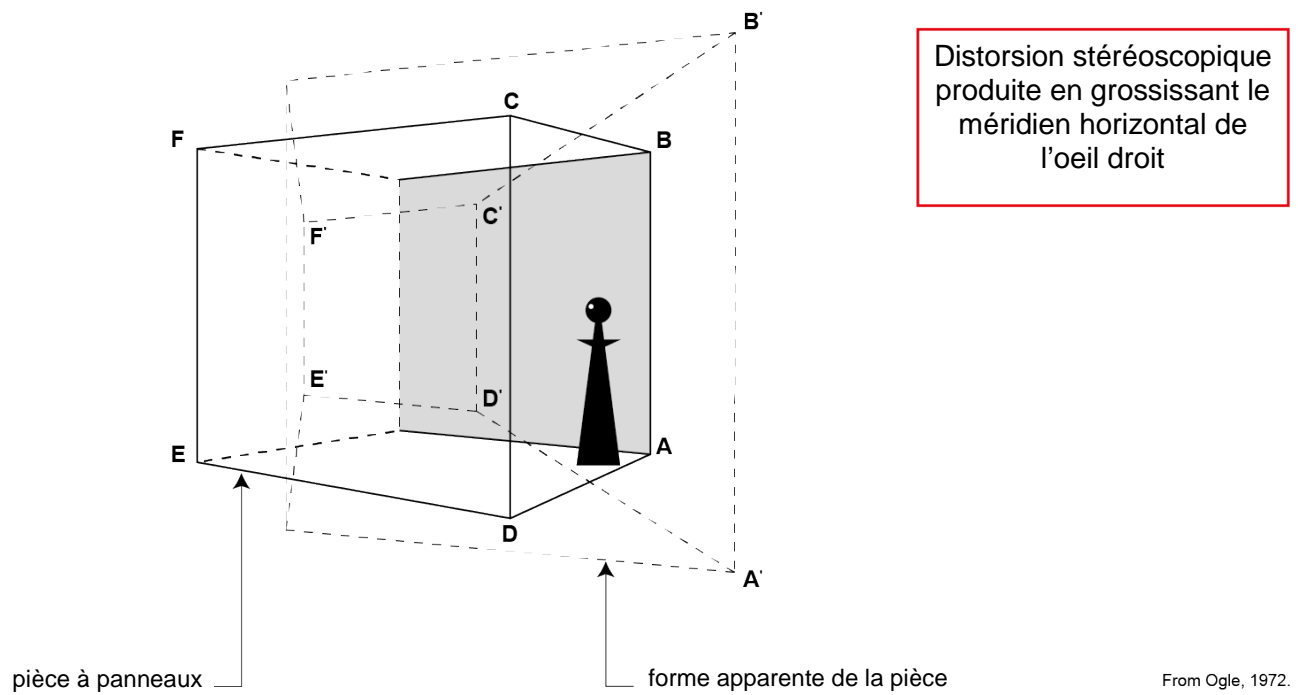
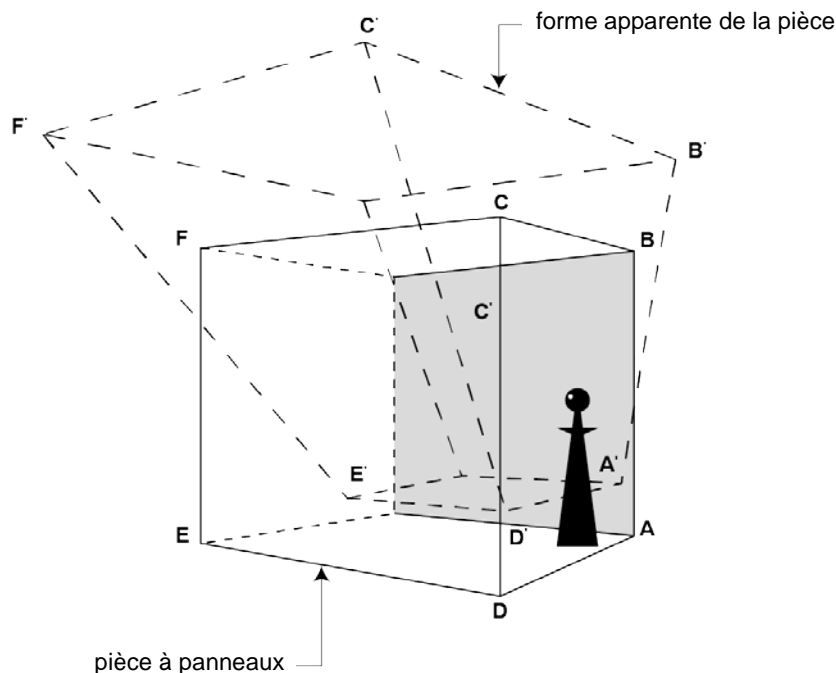


Figure 7.12: La distorsion stéréoscopique de l'espace par grossissement dans le méridien horizontal de l'oeil droit (tiré de K N Ogle. *Optics*. Springfield, Illinois, 1972)



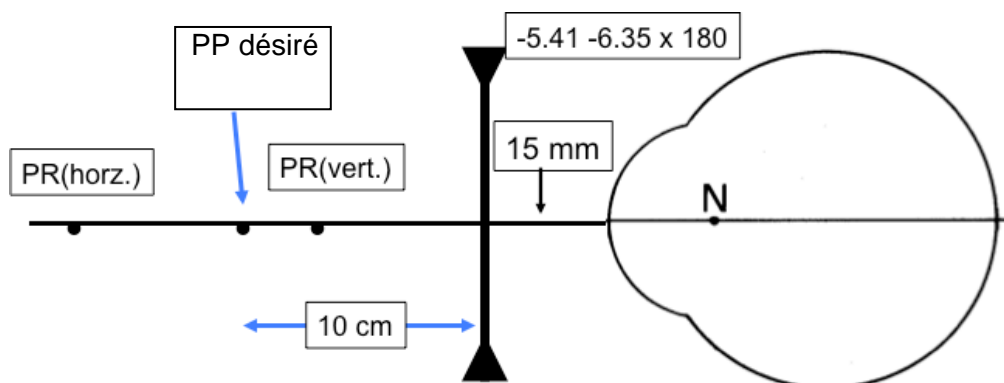
Distorsion stéréoscopique produite en grossissant le méridien à 135° de l'oeil droit et celui à 45° de l'oeil gauche

From Ogle, 1972.

Figure 7.13: La distorsion stéréoscopique de l'espace par le grossissement dans les méridiens obliques des deux yeux (tiré de K N Ogle. *Optics*. Springfield, Illinois, 1972)

L'ACCOMMODATION OCULAIRE CHEZ LES ASTIGMATES CORRIGÉS

Comme discuté dans le Chapitre 4, les lunettes peuvent avoir un effet important sur la demande accommodative oculaire. Les effets des lentilles de correction sur l'accommodation oculaire dépendent de la position et de la puissance de la lentille. Étant donné que la puissance du cylindre varie dans chaque méridien, les individus astigmatiques corrigés en lunettes sont confrontés à une situation difficile lorsqu'ils doivent faire l'accommodation d'un objet éloigné à un objet rapproché. L'exemple suivant illustre ces difficultés potentielles. Considérons que l'individu myope (Rx oculaire: -5.00 / -5.00 x 180) utilisé dans les exemples précédents possède des lunettes situées à 15 mm devant le plan principal de l'oeil (Rx des lunettes: -5.41 / -6.35 x 180). Quelle quantité d'accommodation est requise pour permettre la mise au point d'un objet (à 10 cm devant le plan des lunettes (voir Fig 7.14))?



accommodation oculaire

$$\begin{aligned} \text{amplitude oculaire} &= L_{PR} - L_{PP} \\ \text{méridien horizontal} &= -5.0 \text{ D} - (-12.5 \text{ D}) = 7.5 \text{ D} \\ \text{méridien vertical} &= -10.0 \text{ D} - (-16.4 \text{ D}) = 6.4 \text{ D} \end{aligned}$$

Figure 7.14: L'accommodation dans les yeux astigmatiques corrigés avec des lunettes

Étant donné que les méridiens horizontaux et verticaux de la lentille de correction ont des puissances différentes, ils doivent être analysés séparément. En conséquence, c'est comme si on déterminait les demandes accommodatives pour deux yeux différents.

LA DEMANDE ACCOMMODATIVE EN LUNETTES

La demande accommodative par rapport au plan des lunettes est la même pour tous les méridiens car l'accommodation en lunettes est indépendante de la distance de la lentille de correction. Pour les deux méridiens (horizontal et vertical), la demande accommodative en lunettes pour le point situé à 10 cm devant le plan des lunettes est de 10.00 D.

La demande accommodative oculaire - méridien vertical

Comme avec les amétropies sphériques, pour déterminer la demande accommodative oculaire, on doit déterminer la vergence de la lumière au plan principal de l'oeil pour un objet à l'infini et pour un objet situé à 10 cm devant le plan des lunettes. Et pour les deux points 'objet', les effets de la lentille de correction doivent être considérés. Il est donc nécessaire de déterminer la position des images d'un objet éloigné et d'un objet rapproché, formées par réfraction à travers la lunette. La différence de vergence pour ces deux positions mesurées par rapport au plan principal de l'oeil représentera l'augmentation requise de la puissance oculaire pour permettre la mise au point à 10 cm de l'oeil à partir de l'infini optique. Chaque méridien principal doit être considéré de façon séparée.

$$F_{\text{lentille}} = -11.76 \text{ D}$$

Objet distant, la vergence de la lumière sortant de la lunette

$$L' = L + F$$

$$L' = 0 - 11.76 \text{ D} = -11.76 \text{ D}$$

Objet distant, position de l'image

$$l' = \frac{n'}{L'} = \frac{1}{-11.76 \text{ D}} = -0.085 \text{ m}$$

Objet distant, la vergence de la lumière au plan principal de l'oeil

$$L_{\text{PR}} = \frac{n}{l} = \frac{1}{-0.085 \text{ m} - 0.015 \text{ m}} = -10 \text{ D}$$

Objet rapproché, la vergence de la lumière sortant de la lunette

$$L' = L + F$$

$$L' = -10.0 \text{ D} - 11.76 \text{ D} = -21.76 \text{ D}$$

Objet rapproché, position image

$$l' = \frac{n'}{L'} = \frac{1}{-21.76 \text{ D}} = -0.046 \text{ m}$$

Objet rapproché, la vergence de la lumière au plan principal de l'oeil

$$L_{PP} = \frac{n}{l} = \frac{1}{-0.046 \text{ m} - 0.015 \text{ m}} = -16.4 \text{ D}$$

La demande accommodative oculaire pour le méridien vertical est la différence entre L_{np} et L_{fp} .

$$\text{demande accommodative} = -10.0 \text{ D} - (-16.4 \text{ D}) = 6.4 \text{ D}$$

En regardant à travers la lunette, l'oeil doit accommoder de 6.4 D dans le méridien vertical afin de permettre la mise au point à partir de l'infini à 10 cm devant la lunette.

Demande accommodative oculaire - méridien horizontal

$$F_{\text{lentille}} = -5.41 \text{ D}$$

Objet distant, la vergence de la lumière sortant de la lunette

$$L' = L + F$$

$$L' = 0 - 5.41 \text{ D} = -5.41 \text{ D}$$

Objet distant, position image

$$l' = \frac{n'}{L'} = \frac{1}{-5.41 \text{ D}} = -0.185 \text{ m}$$

Objet distant, la vergence de la lumière au plan principal de l'oeil

$$L_{PR} = \frac{n}{l} = \frac{1}{-0.185 \text{ m} - 0.015 \text{ m}} = -5 \text{ D}$$

Objet rapproché, la vergence de la lumière sortant de la lunette

$$L' = L + F$$

$$L' = -10.0 \text{ D} - 5.41 \text{ D} = -15.41 \text{ D}$$

Objet rapproché, position image

$$l' = \frac{n'}{L'} = \frac{1}{-15.41 \text{ D}} = -0.065 \text{ m}$$

Objet rapproché, la vergence de la lumière au plan principal de l'oeil

$$L_{PP} = \frac{n}{l} = \frac{1}{-0.065 \text{ m} - 0.015 \text{ m}} = -12.5 \text{ D}$$

Demande accommodative oculaire

$$L_{fp} - L_{np} = -5.0 \text{ D} - (-12.5 \text{ D}) = 7.5 \text{ D}$$

En regardant à travers la lunette, la puissance du méridien horizontal de l'oeil doit être augmentée de 7.5 D afin de permettre la mise au point d'un objet situé à 10 cm devant le plan des lunettes à partir de l'infini.

Si on se base sur les calculs ci-haut, ce patient devra accommoder respectivement de 6.4 D et de 7.5 D dans les méridiens vertical et horizontal pour permettre la mise au point sur l'objet en vision rapprochée. Il ne sera pas possible d'obtenir une image rétinienne claire car l'augmentation de la puissance associée à l'accommodation est sphérique (donc la puissance augmente dans tous les méridiens d'une quantité égale),. L'image sera diminuée en qualité par la quantité d'erreur réfractive d'un astigmatisme non corrigé et cette diminution de qualité sera égale à la différence des demandes accommodatives oculaires des méridiens principaux. La plupart des manuels suggèrent que, dans ce cas, le patient accommoderait d'environ 6.95 D pour que le cercle de moindre confusion soit situé sur la rétine. Par contre, les recherches assez récentes tendent à montrer que l'oeil accommoderait pour le méridien vertical, ou de 6.4 D. Il semble que l'oeil accommode pour le foyer image qui est situé le plus près de la rétine et qui requière le moindre effort. Dans ce cas, le méridien horizontal serait hors foyer d'environ 1.1 D.

Parfois, on peut avoir un patient astigmatisme qui a des problèmes associés à la demande accommodative produite par ses lunettes. En général, ce patient aura un cylindre relativement élevé, une tâche et une distance de travail très rapprochée, une demande visuelle requérant une vision spatiale fine (ex: des petits détails) et sera très pointilleux. Les symptômes du patient seraient semblables à ceux d'un astigmatisme non corrigé. Dans ces cas, il y a plusieurs façons de résoudre le problème. Si possible, on pourrait proposer des lentilles cornéennes au patient. Ces lentilles cornéennes pourraient éliminer le problème car la demande accommodative oculaire en lentilles cornéennes au près serait la même pour tous les méridiens. On pourrait aussi prescrire une deuxième paire de lunettes simple vision pour la vision rapprochée avec une correction cylindrique différente de celle pour la vision éloignée. Avec cette technique, il faut déterminer la correction astigmatisme au près nécessaire, soit subjectivement ou par calcul. Une autre approche serait de fournir au patient une addition au près pour les deux yeux. Avec cette approche, on réduit la demande accommodative totale pour les deux méridiens pour que la différence interoculaire dans la demande accommodative devienne assez petite pour être tolérée.

BIBLIOGRAPHIE

- H. Obstfeld, Optics in Vision. Butterworth, London, 1982.
- K N Ogle. Optics. Springfield, Illinois, 1972.