



**HAL**  
open science

# Ibn al-Haytham sur la vision binoculaire: un précurseur de l'optique physiologique

Dominique Raynaud

► **To cite this version:**

Dominique Raynaud. Ibn al-Haytham sur la vision binoculaire: un précurseur de l'optique physiologique. *Arabic Sciences and Philosophy*, 2003, 13, pp.79-99. halshs-00005585

**HAL Id: halshs-00005585**

**<https://shs.hal.science/halshs-00005585>**

Submitted on 15 Nov 2005

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Ibn al-Haytham sur la vision binoculaire: un précurseur de l'optique physiologique

DOMINIQUE RAYNAUD

Université Pierre-Mendès-France (Grenoble)

**Résumé:** L'optique physiologique moderne introduit les notions relatives aux conditions de fusion des images binoculaires par le concept de correspondance, prêté à Christiaan Huygens (1704), et par une expérience attribuée à Christoph Scheiner (1619). L'article montre que la conceptualisation de l'expérience remonte en fait à Ptolémée (90-168) et à Ibn al-Haytham (m. ap. 1040), et précise les connaissances que ce dernier avait des mécanismes de la vision binoculaire. Il est ensuite expliqué pourquoi Ibn al-Haytham, mathématicien mais ici expérimentateur, ne donne pas la forme circulaire de l'horoptère théorique, dont la construction revient à Gerhard Vieth (1818) et Johannes Müller (1826). En revanche, l'étude expérimentale d'Ibn al-Haytham met en place la notion de points correspondants, les cas de diplopie homonyme et croisée et prépare même la découverte de l'aire fusionnelle de Panum.

**Mots-clés:** Ibn al-Haytham, vision binoculaire, diplopie physiologique, points correspondants, horoptère, cercle de Vieth-Müller, aire de Panum.

**Summary:** The modern physiological optics introduces the notions related to the conditions of fusion of binocular images by the concept of correspondence, due to Christiaan Huygens (1704), and by an experiment attributed to Christoph Scheiner (1619). The conceptualization of this experiment dates, in fact, back to Ptolemy (90-168) and Ibn al-Haytham (d. af. 1040). The present paper surveys Ibn al-Haytham's knowledge about the mechanisms of binocular vision. The article subsequently explains why Ibn al-Haytham, a mathematician, but here an experimenter, did not give the circular figure of the theoretical horopter, construction due to Gerhard Vieth (1818) and Johannes Müller (1826). But, on the other hand, it is clear that Ibn al-Haytham's experimental study puts in place the notion of corresponding points, the cases of homonymous and cross diplopia, and even prepares the discovery of Panum area.

**Keywords:** Ibn al-Haytham, binocular vision, physiological diplopia, horopter, corresponding points, Vieth-Müller circle, Panum area.

### Introduction

L'optique physiologique moderne a l'habitude de présenter la mise en évidence des deux cas de diplopie physiologique par l'expérience suivante:

« La diplopie physiologique peut se matérialiser par la très ancienne expérience de Scheiner. Soit une règle de bois d'environ 50 cm dont une extrémité est placée à la base du nez et sur laquelle sont piquées trois épingles à 30, 40 et 50 cm. Si l'on fixe l'épingle médiane, les deux autres épingles sont vues doubles »<sup>1</sup>.

« Lorsqu'on pique sur une règle une épingle à tête noire et une épingle à tête blanche et qu'on fixe la boule noire: a) si la boule blanche est située plus près des yeux que la boule noire [...] il y a diplopie croisée; b) si la

<sup>1</sup> Henry Saraux et Bertrand Biais, *Physiologie oculaire* (Paris, 1973, 2<sup>e</sup> éd. 1983), pp. 390-391.

boule blanche est située plus loin des yeux que la boule noire [...] il y a diplopie directe »<sup>2</sup>.

Cette expérience, attribuée à l'astronome-mathématicien jésuite Christoph Scheiner (1619), ne lui revient pas<sup>3</sup>, puisque Ptolémée (90-168) et Ibn al-Haytham (m. ap. 1040) l'ont faite avant lui en en tirant les mêmes conséquences. Cette méconnaissance pose la question des emprunts tacites<sup>4</sup> à cause desquels on a crédité un jésuite du XVII<sup>e</sup> siècle d'avoir inventé cette expérience. Albert Lejeune ayant traité des études de Ptolémée sur la vision binoculaire<sup>5</sup>, nous ne parlerons, dans cet article, que des recherches d'Ibn al-Haytham.

Ibn al-Haytham est unanimement apprécié pour ses travaux de mathématiques (*Commentaire sur les prémisses du livre des Éléments d'Euclide, Traité sur la construction de l'heptagone, Traité sur la mesure des paraboloides, Traité sur la mesure de la sphère*, un écrit sur le théorème dit "de Wilson"), d'astronomie (*Détermination du méridien solaire, Doutes sur Ptolémée, Épitre sur l'orientation de la qibla, Discours sur la solution des doutes sur le mouvement d'enroulement*) et d'optique (*Livre de l'optique, Discours de la lumière, Sur les miroirs ardents sphériques, Sur les miroirs ardents paraboliques, Sur la sphère ardente, Sur la lumière de la lune, Sur le halo et l'arc-en-ciel, Sur la forme de l'éclipse, etc.*). Ses études sur la vision binoculaire restent moins bien connues.

Prolongeant les réflexions de Claude Ptolémée<sup>6</sup>, de Hunayn Ibn Ishâq<sup>7</sup> — et peut-être de Qustâ ibn Lûqâ<sup>8</sup> — Ibn al-Haytham commence par décrire l'instrument permettant d'étudier la

<sup>2</sup> Annette Spielmann, *Les strabismes. De l'analyse clinique à la synthèse chirurgicale* (Paris, 1991), p. 116. Le seul auteur à mentionner la contribution d'Ibn al Haytham (Alhazen) à l'étude de la diplopie physiologique est Yves Legrand, *Optique physiologique*, tome 3: *L'espace visuel* (Paris, 1956), p. 210.

<sup>3</sup> Christoph Scheiner, *Oculus, hoc est fundamentum opticum...* (Inspruck 1619, London, 1652), pp. 32-49.

<sup>4</sup> La recherche des emprunts est une question extrêmement délicate: 1) Elle est difficilement systématisable car elle dépend toujours de l'intérêt que le chercheur porte à tel ou tel domaine de connaissances; 2) elle est entravée par le fait que les idées, issues de quelques textes-clefs, ont souvent diffusé par une multitude de commentaires et de copies difficilement discernables les uns des autres; 3) elle est enfin discutable car elle dépend d'une appréciation exacte du rôle que joue l'élément emprunté dans une oeuvre scientifique. La recherche des emprunts est cependant en position — et c'est son principal intérêt — de modifier la vision du développement d'une science car elle conditionne la question de la paternité scientifique (*authorship*). Toute attribution hative risque d'effacer la régulière stratification des concepts scientifiques. Il suffit de penser aux recherches de Ptolémée, Ibn Sahl, Ibn al-Haytham, Harriott, Snell et Descartes sur les problèmes de réfraction; à celles des astronomes de l'école de Maragha, d'Ibn ash-Shâtir et de Copernic dans l'introduction des cercles tangents pour expliquer les mouvements planétaires.

<sup>5</sup> Albert Lejeune, "Les recherches de Ptolémée sur la vision binoculaire", *Janus*, 47 (1958): 79-86. Cet article est repris d'une communication adressée, l'année précédente, au 2e Congrès Benelux d'Histoire des Sciences.

<sup>6</sup> Albert Lejeune, *L'optique de Claude Ptolémée dans la version latine d'après l'arabe de l'émir Eugène de Sicile* (Leiden, 1989), p. 109. Nous avons la certitude de cette filiation grâce à un passage des *Doutes sur Ptolémée*, où Ibn al-Haytham mentionne explicitement les expériences de son prédécesseur: « Dans la discussion des erreurs visuelles, où [Ptolémée] décrit la réglette sur laquelle sont dessinées des lignes de différentes couleurs, [...] », Abû 'Alî al-Hasan Ibn al-Hasan Ibn al-Haytham, *Al-Shukûk 'alâ Baṭlamyûs*, éd. A.I. Sabra et N. Shehaby (Le Caire, 1971), p. 65. Voir les commentaires d'Abdelhamid I. Sabra, "Ibn al-Haytham's criticism of Ptolemy's optics", *Journal of the History of Philosophy*, 4 (1966): 145-149.

<sup>7</sup> Hunayn Ibn Ishâq, *The book on the ten treatises on the eye ascribed to Hunain ibn Is-hâq (809-877 A.D.)*, trad. Max Meyerhof (Le Caire, 1928), p. 26. Cf. Pierre Pansier, *Collectio ophthalmologica veterum auctorum*, fasc. 7: *Hunayn Ibn Ishâq, Liber de oculi*; Galien, *Littere Galieni ad corisium de morbis oculorum et eorum curis* (Paris, 1909-1933).

<sup>8</sup> Roshdi Rashed, *Oeuvres philosophiques et scientifiques d'al-Kindî*, vol. 1: *L'optique et la catoptrique* (Leiden, 1997), p. 584.

vision binoculaire. Il s'agit d'une tablette de bois (*lawh*, *tabula*) rectangulaire ABCD, longue d'une coudée (45 à 50 cm) et large de quatre doigts (6 à 7 cm). Le petit côté AB porte, en son milieu, une excavation MHN pour y passer le nez. Les médianes HZ et KT (*khattân*, *lineae rectae*) et les diagonales AD et BC (*qutrân*, *diametra*) sont peintes de couleurs différentes de manière à être bien visibles<sup>9</sup>. Ibn al-Haytham fabrique ensuite trois colonnettes de cire de couleurs différentes et les dispose en différents lieux de la règle de manière à étudier les conditions de fusion des images binoculaires. Il réalise, à partir de ce dispositif, une série d'expériences qui seront une source constante d'inspiration de l'optique occidentale.

## 1. LA NOTION DE POINT CORRESPONDANT

Les spécialistes actuels de l'optique physiologique font débiter la notion de « point correspondant » au XVII<sup>e</sup> siècle, avec les recherches de Christiaan Huygens<sup>10</sup>:

« La première notion de points rétinien correspondants remonte à Huygens: "chaque point du fond de l'oeil a son point correspondant dans le fond de l'autre, en sorte que lorsqu'un point de l'objet est peint dans quelques deux de ces points correspondants, alors il ne paraît que simple comme il est" »<sup>11</sup>.

« Pour expliquer l'unification des deux sensations visuelles, Huygens et Müller ont appelé *points correspondants* des deux rétines (PRC), les photorécepteurs dont l'excitation simultanée donne la sensation d'une source unique »<sup>12</sup>.

La notion de « correspondance », aujourd'hui association du point nasal d'une rétine à un point temporal de l'autre rétine (Figure 2, points  $p_G$  et  $p_D$ ), est très antérieure aux travaux de Huygens, puisque l'on trouve déjà chez Ptolémée l'adjectif *consimilis* appliqué aux rayons visuels. Ce sont les *radii ordine consimiles*, « rayons semblablement ordonnés », que Lejeune traduit par « rayons correspondants »<sup>13</sup>. Cette traduction rend le texte selon l'usage qui s'est désormais imposé, mais la terminologie n'était pas encore fixée au XIX<sup>e</sup> siècle. Helmholtz écrit des PRC: « Nous leur donnerons le nom de points *coïncidents* ou *correspondants*; on les a encore nommés points *identiques*, en faveur d'une théorie particulière. Comme à chaque point de chaque champ visuel répond un certain point rétinien, on peut également parler de

<sup>9</sup> Abû °Alî al-Hasan Ibn al-Hasan Ibn al-Haytham, *Kitâb al-manâzîr*, III, II, 12. *Opticae thesaurus Alhazeni Arabi libri septem*, éd. Risner (Bâle, 1572, New York, 1972), p. 81; *The Optics of Ibn al-Haytham*, Books 1-3: *On direct vision*, trad. et com. Abdelhamid I. Sabra, 2 vols. (London, 1989), vol. 1, pp. 237-238.

<sup>10</sup> Christiaan Huygens, *Opuscula posthuma quae continent Dioptricam...* (Leiden, 1704).

<sup>11</sup> Renée Pigassou-Albouy, *Les strabismes*, vol. 1: *Les divergences oculaires* (Paris, 1991), p. 27.

<sup>12</sup> Idem, vol. 2: *Les convergences oculaires* (Paris, 1992), p. 7; Yves Le Grand, *Optique physiologique*, 3, p. 208.

<sup>13</sup> Albert Lejeune, *L'optique de Claude Ptolémée*, p. 104 et *passim*.

*points coïncidents, correspondants ou identiques des deux rétines* »<sup>14</sup>. Ces traditions différentes, dont Helmholtz se fait l'écho, ne proviennent que de la difficulté à traduire avec exactitude le latin *consimilis*. Si Ptolémée n'emploie l'adjectif qu'à propos des rayons visuels, Ibn al-Haytham l'utilise explicitement pour parler des points correspondants: « Et les deux formes qui apparaissent en deux points semblablement situés (*fī nuqtatayni mutashâbihatay al-waḍc, in duobus punctis... consimilis positionis*) de la surface des yeux, viendront en un même lieu [...] du nerf commun, où elles se superposeront et composeront une seule forme »<sup>15</sup>. La « surface des yeux » (*sath al-baṣar, superficies uisus*) dont il est question n'est pas la surface rétinienne<sup>16</sup> mais cornéenne, qui enveloppe le dioptre cristallinien antérieur (*al-jalâdiyya, anterior glacialis*) où est situé le lieu de la sensibilité, nommé « surface du corps sensible »<sup>17</sup> (*sath al-jism al-hâss, superficies uisus sentientis*). Le rôle de la rétine constitue donc l'écart le plus sensible entre la théorie médiévale et l'optique physiologique moderne.

À cette différence près, on doit créditer Ibn al-Haytham de la notion de correspondance, qui servira de point de départ à l'analyse de nombreux problèmes de vision binoculaire. Il est d'ailleurs possible que Huygens l'ait tirée de la lecture du traité d'Ibn al-Haytham, bien connu dans l'Europe classique par l'édition Risner de 1572.

<sup>14</sup> Hermann von Helmholtz, *Optique physiologique* (Leipzig, 1866, Paris, 1867), p. 880. Sur ces différents usages terminologiques, précisons que les points sont nommés identiques dans le cadre de la théorie nativiste qui suppose le couplage inné des points rétinien dans le cerveau. L'hypothèse, émise par Galien, *De usu partium*, IX, 12, a été reprise par Johannes Müller, *Zur Vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns* (Leipzig, 1826), qui formule la « loi des identités des deux rétines », puis par Ewald Hering, *Beiträge zur Physiologie* (Leipzig, 1861-1864), qui donne la « loi des directions visuelles identiques ». L'expression de « points correspondants », la seule à avoir survécue, marquait à l'origine une approche empiriste du problème (Helmholtz) opposée à la théorie nativiste (Hering). Sur ces conceptions, Ch. Thomas, "La physiologie de la vision binoculaire", *Archives d'Ophthalmologie (Paris)*, 31 (1971):189-206, p. 191-192.

<sup>15</sup> *Kitâb al-Manâẓir*, III, 2, *Opticae thesaurus*, p. 79, *Optics*, vol. 1, p. 234. Forme (*sâra*) désigne ici l'image sensorielle et non pas l'image réelle produite par l'oeil qu'Ibn al-Haytham nomme *khayâl*.

<sup>16</sup> Felix Platter, *De corporis humani structura et usu* (Bâle, 1583) et Johannes Kepler, *Ad Vitellionem paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur* (Frankfurt, 1604) sont les premiers à avoir perçu le rôle de la rétine. Le second écrit, chap. 5 (*De modo visionis*), p. 168: « Je dis que la vision se produit quand l'image de tout l'hémisphère du monde qui est devant l'oeil, et un peu plus, se forme à la surface de la paroi concave blanc-rougeâtre de la rétine ». La description du cristallin comme lentille projetant l'image visuelle sur la rétine sera donnée par Scheiner, *Oculus, hoc est fundamentum opticum*. Ibn al-Haytham, *Opticae thesaurus*, pp. 3-4, dresse la liste des parties de l'oeil (*rutûba al-baydiyya*: humor albugineus, *r. al-jalâdiyya*: crystallinus, *r. al-zujâjyya*: humor vitreus, *ṭabaqa al-ʿankabûtiyya*: tela aranea *ṭ. al-multahîma*: consolidativa, *ṭ. al-ʿinabiyya*: uvea, *ṭ. al-qar-niyya*: cornea) mais ne dit rien de la rétine. On peut se demander si la réparation de cette omission eût été de quelque importance: le texte de référence en matière d'anatomie oculaire, qui était à l'époque celui de Hunayn Ibn Ishâq, *The book on the ten treatises on the eye*, limite le rôle de la rétine (*ṭ. ash-shabakiyya*) à nourrir le vitré et le cristallin. Sur ces problèmes d'anatomie: Mustafâ Nazîf, *al-Ḥasan Ibn al-Haytham; his researches and discoveries in optics* (en arabe, Le Caire, 1942-1943), 1, pp. 205-217; Abdelhamid I. Sabra, *Optics*, vol. 2, pp. 45-51; Gül Russell, "The anatomy of the eye in ʿAlî Ibn al-ʿAbbâs al-Majusî: A textbook case", Charles Burnett, Danielle Jacquart, eds., *Constantine the African and ʿAlî Ibn al-ʿAbbâs al-Majusî* (Leiden, 1994), pp. 247-265; *Idem*, "La naissance de l'optique physiologique", Roshdi Rashed, éd., *Histoire des sciences arabes* (Paris, 1997), 2, pp. 319-354 (qui ne traite cependant pas des expériences d'Ibn al-Haytham).

<sup>17</sup> *Opticae thesaurus*, pp. 16-17. Le cristallin étant plus dense que la cornée, les rayons lumineux sont en quelque sorte absorbés à l'entrée de ce nouveau milieu. Cf. Abdelhamid I. Sabra, "Sensation and inference in Alhazen's theory of visual perception", Peter K. Machamer, Robert G. Turnbull, eds., *Studies in perception* (Columbus, 1978): 160-185, p. 164.

## 2. L'ÉTUDE DE LA DIPLOPIE PHYSIOLOGIQUE (EXPÉRIENCES 1, 2)

La notion de *fusion* répond au cas où les points-objets se peignent sur des points (réiniens) correspondants. La notion de *diplopie* répond au cas où les points-objets tombent sur des points disparates. Tout objet qui se trouve au-delà du point de fixation est vu double selon le cas de la *diplopie homonyme*. Tout objet qui se trouve en-deçà du point de fixation est vu double selon le cas de la *diplopie croisée*. Ni Ptolémée, ni Ibn al-Haytham, n'ont employé de terminologie spécifique pour parler de diplopie (*comprehendetur duo / yudraku 'ithnayni*), mais ils décrivent néanmoins tout à fait distinctement les deux cas de la diplopie physiologique<sup>18</sup>. Voici les expériences d'Ibn al-Haytham.

Expérience 1<sup>19</sup>. Les colonnes étant situées en L Q S et les yeux fixant Q, les colonnes L S sont vues doubles (Figure 1). Comme il a été dit, le dédoublement de S, situé au-delà du point de fixation, illustre le cas de la diplopie homonyme, celui de L, de la diplopie croisée.

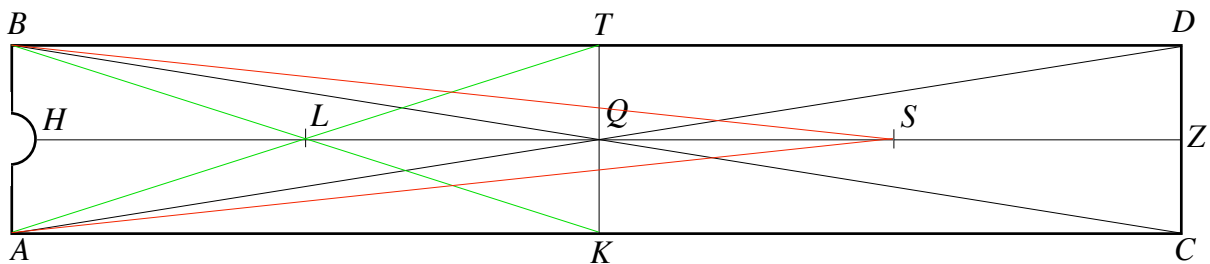


Figure 1

Expérience 2<sup>20</sup>. Les colonnes étant situées sur une même diagonale en I Q P et les yeux fixant Q, les colonnes I P sont vues doubles. De même, si les colonnes sont situées en-deçà du point de fixation, en I J; ou au-delà du point de fixation, en O P (Figure 2).

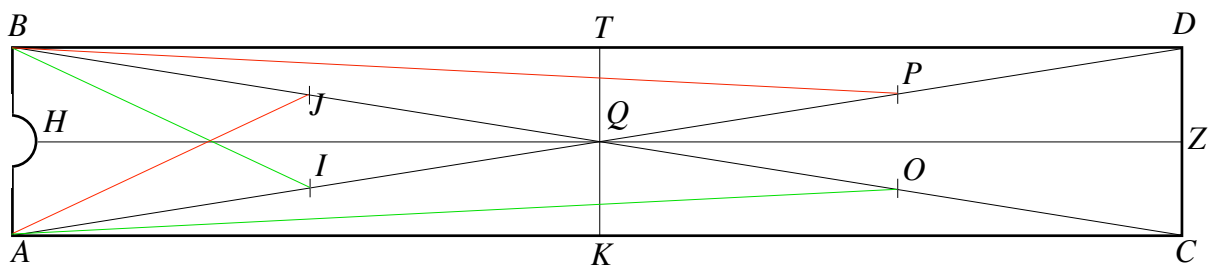


Figure 2

<sup>18</sup> Ptolémée écrit: « Si on mène la droite HTK parallèle à EDZ et que les axes restent fixés en D, l'objet qui est en T [situé en-deçà du point de fixation D] apparaîtra en deux endroits: H et K [...] Si nous fixions les deux axes sur le point T, nous verrions alors D [situé maintenant au-delà du point de fixation T] sur les points E et Z » (Cum autem producta fuerit linea HTK equidistans lineae EDZ et fuerint duo axes oppositi puncto D, res que est super punctum T, uidebitur in duobus locis qui sunt H, K [...] Et si posuerimus utrosque axes oppositos puncto T, uidebimus tunc D super punctos E, Z), Lejeune, *L'optique de Claude Ptolémée*, p. 103, cf. *infra* Figure 6. Le même diagnostic est porté par Lejeune, "Les recherches de Ptolémée", p. 82.

<sup>19</sup> *Opticae thesaurus*, p. 82, *Optics*, vol. 1, p. 239.

<sup>20</sup> *Opticae thesaurus*, p. 82, *Optics*, vol. 1, p. 239-240.

### 3. LA DÉTERMINATION DE L'HOROPTÈRE (EXPÉRIENCES 3, 4)

Le concept d'*horoptère* a été introduit en 1613 par le jésuite Franciscus Aguilonius<sup>21</sup> qui le définit par le plan frontal auquel appartient le point de fixation. Par la suite, principalement au XIX<sup>e</sup> siècle, l'horoptère fera l'objet de nombreuses études, notamment celles de Vieth, Müller, Hering et Helmholtz<sup>22</sup>. Aujourd'hui limité au plan horizontal, l'horoptère est défini par la courbe des points-objets reçus par des points correspondants. Quoique Ibn al-Haytham n'ait connu ni le nom ni la forme donnés ultérieurement à ce lieu géométrique tiré de la notion de point correspondant, ses travaux préparent directement sa découverte.

Expérience 3<sup>23</sup>. Les trois colonnes de cire colorées étant situées en T Q K et les yeux A B fixant Q, les colonnes sont vues simples (Figure 3).

Expérience 4<sup>24</sup>. La même chose advient si l'on prend T ou K comme point de fixation, les colonnes de cire n'étant pas déplacées (Figure 3).

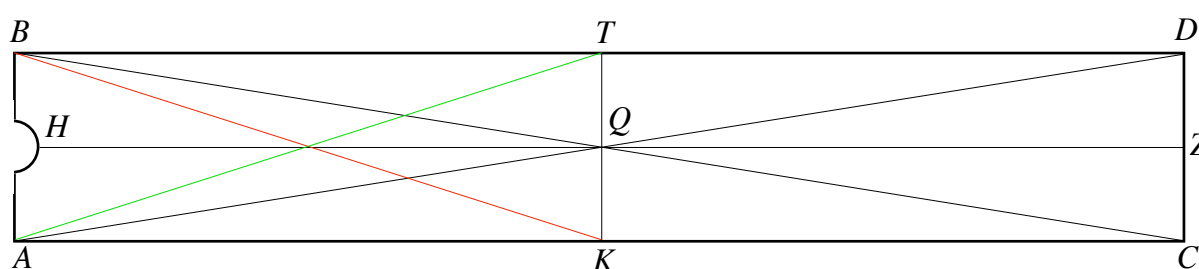


Figure 3

On trouve ici une première détermination de l'horoptère, assimilé par Ibn al-Haytham à la droite frontale TK (comme le fera après lui Aguilonius au XVII<sup>e</sup> siècle). Abdelhamid I. Sabra a bien vu que les expériences de Ptolémée et d'Ibn al-Haytham préparent la découverte de l'horoptère moderne, dont les points-objets sont vus simples par les deux yeux. Il écrit:

« Il eût été facile, pour Ptolémée et Ibn al-Haytham, de généraliser ces conclusions. Pour des points situés dans le plan des axes [visuels], les conditions de la vision simple (prise au sens littéral) sont satisfaites seulement par les points de la circonférence du cercle passant par les centres des yeux et par le point de fixation (nommé "cercle horoptère" ou "horoptère horizontal" [...]) Mais ni Ptolémée, ni Ibn al-Haytham n'ont tiré cette conséquence. (Notons, toutefois, que la contribution d'Ibn al-Haytham n'est *pas* strictement géométrique) »<sup>25</sup>.

Cette observation nous incite à reprendre l'étude de cette expérience, en explicitant les raisons pour lesquelles Ibn al-Haytham n'a pas déterminé la forme de l'horoptère.

<sup>21</sup> Franciscus Aguilonius, S.J., *Opticorum libri VI* (Anvers, 1613), Lib. II.

<sup>22</sup> Gerhard Ulrich Anton Vieth, "Ueber die Richtung der Augen", *Gilbert's Annalen der Physik*, 58 (1818): 233-253. Johannes Müller, *op. cit.* Ewald Hering, *op. cit.* Hermann von Helmholtz, *Optique physiologique* (Leipzig, 1866, Paris, 1867).

<sup>23</sup> *Opticae thesaurus*, III, II, 12, p. 82, *Optics*, vol. 1, p. 239.

<sup>24</sup> *Opticae thesaurus*, III, II, 12, p. 82, *Optics*, vol. 1, p. 239.

<sup>25</sup> Sabra, *Optics*, vol. 2, pp. 123-124.

*L'horoptère théorique*

Retraçons tout d'abord la genèse du cercle horoptérique de Vieth-Müller. Limitons-nous au plan de visée horizontal qui permet de définir l'« horoptère longitudinal ». Quel est le lieu géométrique des points-objets qui sont vus simples par les deux yeux? Soient  $C_G$  le centre optique gauche,  $C_D$  le centre optique droit,  $F$  le point de fixation. L'angle  $FC_GC_D$  est nommé  $\gamma$ , l'angle  $FC_D C_G$  est nommé  $\delta$ . Lorsque les deux yeux fixent  $F$ , la rotation des globes oculaires produit les quasi-images de  $F$  sur les foveae  $f_G$  et  $f_D$  (figure 4). Le point-objet  $M$  est reçu par les points correspondants  $p_G$  et  $p_D$ , c'est-à-dire par les cellules sensorielles nasales et temporales correspondantes des deux yeux<sup>26</sup>.

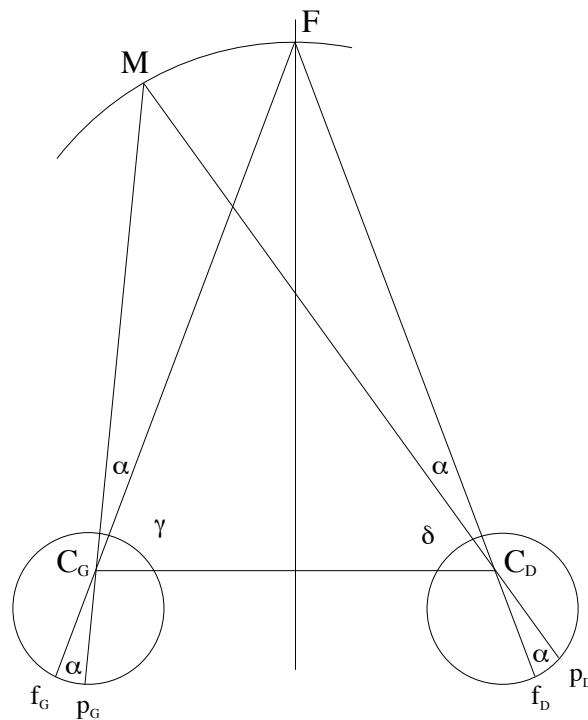


Figure 4

Dans ces conditions, les directions visuelles  $p_G M$  et  $p_D M$  sont également correspondantes et les arcs  $f_G p_G$  et  $f_D p_D$  découpent des angles égaux ( $\alpha$ ). Le point  $M$  est alors l'intersection des droites d'angle  $\gamma + \alpha$  et  $\delta - \alpha$  par rapport à la droite des centres optiques. On en déduit immédiatement que  $C_G F C_D = \pi - \gamma - \delta = \pi - \gamma - \alpha - \delta + \alpha = C_G M C_D$ .

<sup>26</sup> La fusion binoculaire est due à l'architectonique des fibres optiques: les rétines temporales sont perçues par les mêmes hémisphères cérébraux, les rétines nasales par les hémisphères opposés. Les influx nerveux issus de cellules homologues de deux PRC fusionnent dans la couche V de l'aire striée du cortex visuel.



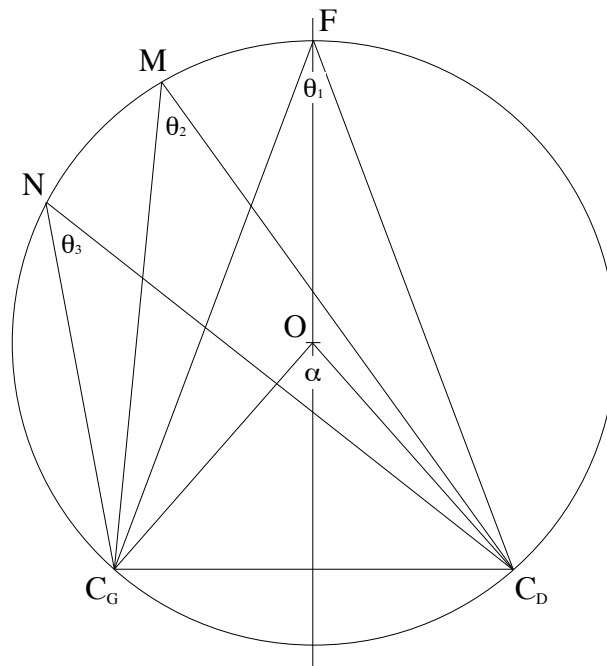


Figure 5

Le théorème de l'angle inscrit nous apprend que, sur un cercle de centre  $O$  à deux points de base  $A$  et  $B$ , un point  $M$  décrivant le cercle détermine un angle inscrit  $AMB$  constant et égal à la moitié de l'angle au centre  $AOB$ . Dans le cas présent (Figure 5), les points-objets qui sont vus simples par les deux yeux sont les points  $F, M, N \dots$  tels que:

$$\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \dots = \frac{\alpha}{2}$$

C'est la raison pour laquelle Vieth et Müller ont défini l'horoptère théorique comme le cercle passant par les deux centres optiques  $C_G$  et  $C_D$  et par le point de fixation  $F$ . Étant donné le point de fixation, le cercle horoptérique est unique. Supposons maintenant que le point de fixation  $F$  parcourt la droite  $OF$ . L'horoptère se modifie alors de sorte que tous les horoptères forment un faisceau linéaire à points de base  $C_G$  et  $C_D$  (ces points ont une puissance nulle par rapport à tous les cercles du faisceau).

Nous arrivons maintenant à la question proprement historique: pourquoi Ibn al-Haytham n'a-t-il pas construit le cercle horoptérique?

1) Ibn al-Haytham avait-il les connaissances mathématiques nécessaires pour faire cette construction? La propriété de géométrie plane sur laquelle se fonde l'horoptère est connue depuis l'Antiquité<sup>27</sup>; Elle est exposée par Euclide (*Éléments*, III, 20-21)<sup>28</sup>, Archimède (*Livre des*

<sup>27</sup> Les architectes grecs connaissaient également cette propriété du cercle. Ils en avaient déduit l'usage de vérifier la concavité des cannelures de la colonne ionique à l'aide d'une équerre. Lorsqu'on imprime un mouvement de rotation à l'équerre, les deux arêtes de la cannelure, qui servent de butée, déterminent le déplacement de l'angle droit de l'équerre sur un cercle.

<sup>28</sup> Euclide d'Alexandrie, *Les Éléments*, vol. 1: *Livres I-IV: Géométrie plane*, trad. Bernard Vitrac (Paris, 1990), pp. 431-433. Les *Éléments* ont été connus en arabe, sous le titre *Kitâb al-Usûl*, par plus de trois traductions échelonnées entre le VIII<sup>e</sup> et le X<sup>e</sup> siècle.

*Lemnes*)<sup>29</sup> et al-Kîndî (*Sur la rectification des erreurs*)<sup>30</sup>. Ibn al-Haytham, à qui l'on doit un *Livre sur la résolution des difficultés et l'explication des notions du livre d'Euclide* (*Kitâb fî Hall shukûk kitâb Uqlîdis wa sharḥ ma'ânîh*), ne pouvait pas ignorer le théorème de l'angle inscrit.

2) Ibn al-Haytham possédait-il les notions d'optique physiologique nécessaires pour tracer l'horoptère? Pour construire l'horoptère, Müller s'appuie sur la notion de correspondance. Or, il n'existe aucune raison de situer l'émergence de cette notion au XVII<sup>e</sup> siècle puisque Ibn al-Haytham en fait usage (*fî nuqtatayni mutashâbihatay al-waḍ'*, *in duobus punctis consimilis*). La nouveauté introduite par Müller ne réside que dans l'application de la correspondance à des points *rétiniens*, mais cette innovation n'est nullement nécessaire à la construction de l'horoptère. Le parcours d'un rayon dans l'oeil étant déterminé par les indices des différents milieux, la correspondance vaut pour *l'ensemble du chemin optique*. On est en droit de parler de correspondance à propos des points rétiniens, cristalliniens, cornéens ou autres). Ibn al-Haytham, qui place le lieu de la sensibilité dans le dioptré cristallinien antérieur, pouvait construire l'horoptère à partir des points cristalliniens correspondants.

3) Ibn al-Haytham a-t-il suivi un argument d'autorité? Ptolémée écrit déjà: « De même, [les deux yeux étant situés en A et B, et les axes visuels étant fixés sur D], si du point D nous menons EDZ perpendiculaire à GD, chacun des objets placés sur cette droite qui fait face au point D apparaîtra simple et en son lieu vrai »<sup>31</sup> (Figure 6).

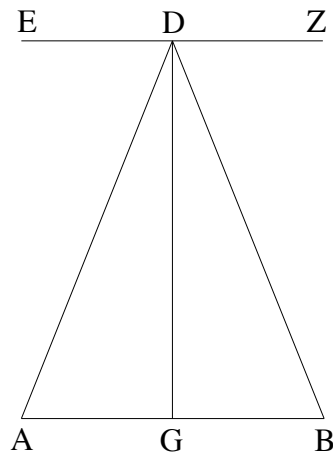


Figure 6

C'est là une proposition équivalente à celle avancée par Ibn al-Haytham. Mais il n'existe aucune raison de penser ici à un argument d'autorité. Dans ses *Doutes sur Ptolémée*, Ibn al-Haytham récuse certaines des conséquences tirées par son prédécesseur de ces expériences binoculaires: « [Ptolémée] dit que, lorsque la vue fixe l'objet intermédiaire supposé être au milieu de la planchette au point d'intersection des deux diamètres, les deux lignes, ou diamètres, représentant les axes visuels sont vus comme une seule ligne qui coïncide avec l'axe commun

<sup>29</sup> Archimède, *Des corps flottants, Stomachion, La méthode, Le livre des lemmes, Le problème des boeufs*, éd. et trad. Charles Mugler (Paris, 1971), p. 513. Ses oeuvres ont été traduites en arabe par Thâbit Ibn Qurra.

<sup>30</sup> Roshdi Rashed, *L'optique et la catoptrique*, pp. 278, 312.

<sup>31</sup> Albert Lejeune, *L'optique de Claude Ptolémée*, p. 103.

[...] Mais c'est là une erreur attestée tant par le raisonnement que par l'expérience [...] »<sup>32</sup>. Si Ibn al-Haytham fait une telle critique de Ptolémée, on voit mal pourquoi il lui aurait emprunté une autre proposition sans l'avoir éprouvée.

4) Il existe toutefois une autre raison pour laquelle Ibn al-Haytham a pu ne pas produire cette démonstration: c'est qu'il aborde ce problème en expérimentateur<sup>33</sup> et non en géomètre. S'il existait un écart sensible entre l'horoptère théorique et l'horoptère expérimental, il n'y aurait plus aucune raison de juger « insuffisants » les résultats de Ptolémée et d'Ibn al-Haytham en les rapportant au cercle horoptérique de Vieth-Müller — quoique ce soit la ligne d'interprétation étroite suivie par Albert Lejeune et par Abdelhamid I. Sabra<sup>34</sup>.

Or, la physiologie oculaire contemporaine fait cette distinction<sup>35</sup>. Ainsi, trouve-t-on que:

« Sur un plan horizontal, l'horoptère correspond à *peu près* à un cercle déterminé par les points nodaux des deux yeux et le point de fixation »<sup>36</sup>.

« Différentes formes d'horoptère ont été proposées [...] L'horoptère empirique de correspondance horizontale semble plus valable que l'horoptère géométrique »<sup>37</sup>.

La distinction régulièrement exposée entre un « horoptère théorique » et un « horoptère empirique », « réel » ou « expérimental » est un indice des doutes que l'optique physiologique contemporaine nourrit vis-à-vis du modèle géométrique de Vieth-Müller.

### *L'horoptère expérimental*

Il apparaît en effet que la construction de l'horoptère théorique que nous venons de décrire

<sup>32</sup> Ibn al-Haytham, *Al-Shukûk 'alâ Baṭlamyûs*, p. 65.

<sup>33</sup> Sur la notion d'expérience et l'attitude expérimentale de l'auteur: Nazîf, *Ibn al-Haytham*, 1, pp. 43-48, repris, avec un commentaire, par Roshdi Rashed, *Optique et mathématiques* (Aldershot, 1992), pp. 235-239, Matthias Schramm, *Ibn al-Haytham's Weg zur Physik* (Wiesbaden, 1963), Abdelhamid I. Sabra, "The astronomical origin of Ibn al-Haytham's concept of experiment", *Actes du XIIe congrès international d'histoire des sciences* (Paris, 1971), vol. 3A, pp. 133-136. Roshdi Rashed, *Entre arithmétique et algèbre* (Paris, 1984), pp. 314-315, souligne que « C'est essentiellement en optique, avec Alhazen, que l'on constate l'émergence de cette nouvelle dimension [expérimentale]. Chacun sait qu'avec Alhazen nous avons définitivement rompu avec l'optique comme géométrie de la vision ou de la lumière ». Position similaire de Gérard Simon, "La psychologie de la vision chez Ptolémée et Ibn al-Haytham", Ahmad Hasnawi, Abdelali Elamrani-Jamal et Maroun Aouad, éd., *Perspectives arabes et médiévales sur la tradition scientifique et philosophique grecque* (Louvain, 1997), pp. 189-190, note \*.

<sup>34</sup> Lejeune, "Les recherches de Ptolémée", p. 84, Sabra, *Optics*, vol. 2, p. 124.

<sup>35</sup> Cette distinction doit en partie à la controverse qui s'était engagée entre Hering et Helmholtz sur la forme de l'horoptère. Helmholtz, assisté de Berthold, Bernstein et Dastich, refit les expériences de Hering en parvenant à des résultats peu probants: « Quant à moi, lorsque je suis à la distance indiquée par Hering, la surface des fils me paraît nettement concave [elle devait apparaître plane] », Helmholtz, *Optique physiologique*, p. 829.

<sup>36</sup> Spielmann, *Les strabismes*, p. 117.

<sup>37</sup> Pigassou-Albouy, *Les convergences oculaires*, p. 9.

résulte d'importantes simplifications géométriques<sup>38</sup>:

1) Le champ visuel dans lequel on peut expérimenter l'horoptère est limité. D'abord, le champ visuel binoculaire est encadré par les demi-lunes temporales: chez un sujet normal, le rayon nasal limite fait un angle  $\alpha = 55^\circ$  par rapport à l'axe géométrique en vision droite. Pour un point de fixation à 25 cm des yeux (expérience d'Ibn al-Haytham), les deux yeux ne perçoivent que les objets d'un secteur de  $2\alpha = 110^\circ$ , formant un angle au centre de  $190^\circ$  sur l'horoptère. Il y a ensuite la tache aveugle de Mariotte, scotome physiologique qui est à l'origine de deux zones de vision monoculaire en plein champ binoculaire. Enfin, l'iris n'est pas disposé dans le plan, mais en avant du centre optique d'environ 3,8 mm. Comme l'iris a un diamètre moyen de 3,5 mm, les rayons qui touchent l'oeil sous un angle inférieur à  $27^\circ$  par rapport à la direction de fixation passent par les points nodaux<sup>39</sup>. Les rayons incidents plus obliques sont masqués par l'iris ou sont réfractés à la périphérie du cristallin. Ils sont alors affectés par l'aberration de sphéricité. Dans les mêmes conditions, la vision est nette pour les points d'un secteur de  $69^\circ$  (découpant un angle au centre de  $108^\circ$  sur l'horoptère).

2) Si l'on essaie de remédier à cette situation en provoquant la mydriase (qui peut atteindre 8 mm), les rayons incidents obliques passent par les points nodaux, mais, la pupille étant dilatée, plus de rayons sont réfractés à la périphérie du cristallin. La confusion occasionnée par l'aberration de sphéricité est alors d'autant plus forte que le diamètre pupillaire est grand.

3) L'optique physiologique utilise un modèle géométrique de l'oeil assimilant notamment la surface rétinienne à une calotte sphérique. Mais, comme le reconnaît Yves Le Grand, « Ce schéma géométrique est une fiction. En réalité [...] l'axe géométrique [antéro-postérieur zz'] n'est pas un axe de révolution: dans le plan équatorial, le rayon de courbure est généralement moindre du côté temporal que du côté nasal »<sup>40</sup>. Lorsqu'un point issu de l'horoptère se forme sur les rétines, il ne peut donc pas donner lieu à deux points exactement correspondants, car les rayons correspondants atteignent des cellules rétinienne distinctes.

4) Une autre difficulté réside dans le fait que la loi de Listing<sup>41</sup> (qui exprime que les globes oculaires subissent une torsion d'autant plus importante que la fixation se fait sur un point éloigné de l'axe horizontal ou vertical) ne vaut que dans le cas de la vision à l'infini. Lorsque

<sup>38</sup> Nous utiliserons dans la suite de cette analyse les données anatomiques suivantes: 1) épaisseur sur l'axe longitudinal: cornée 0,5 mm, humeur aqueuse 3,1 mm, cristallin 4,0 mm, vitré 16,3 mm; 2) indice de réfraction: cornée 1,38, humeur aqueuse 1,34, cristallin 1,42, vitré 1,34; 3) rayon de courbure: dioptré cornéen antérieur 7,7 mm (49  $\delta$ ), dioptré cornéen postérieur 6,8 mm (-4  $\delta$ ), dioptré cristallinien antérieur 10,0 mm (5  $\delta$ ), dioptré cristallinien postérieur 6,0 mm (9  $\delta$ ). L'oeil a une puissance totale de 59  $\delta$ , dont le dioptré cornéen antérieur fournit l'essentiel (les indices de réfraction de l'air et de la cornée sont très différents, le dioptré cornéen antérieur est très éloigné de la rétine, le rayon de courbure de la cornée est petit). Étant donné le centre de rotation du globe oculaire (situé à 13,5 mm en arrière du dioptré cornéen antérieur), on définit l'axe horizontal xx', l'axe vertical yy' et l'axe antéro-postérieur zz'. Les axes xx' et yy' se coupent au centre de rotation du globe. Yves Le Grand, *Optique physiologique* (Paris, 1948-1956, rééd. 1964-1972).

<sup>39</sup> Nommons N le point nodal objet, I et I' les limites internes de l'iris, H le milieu du segment II'. L'angle  $2\beta$  sous lequel un rayon visuel peut toucher le point nodal est déterminé par la relation:

$$\beta = \sin^{-1}\left(\frac{HI}{HN}\right)$$

Comme HI = 1,75 mm et HN = 3,8 mm,  $\beta = 27^\circ 25'$ .

<sup>40</sup> Le Grand, *Optique physiologique*, p. 36.

<sup>41</sup> Johann Benedikt Listing, *Beitrag zur physiologischen Optik* (Göttingen, 1845).

les yeux quittent la position primaire pour converger sur un point de fixation proche, il devrait se produire un simple mouvement d'intorsion autour de l'axe  $yy'$ . « Or cela n'a pas lieu: quand le point de fixation se rapproche, les méridiens s'écartent par le haut, ce qui revient à dire que la convergence entraîne une giration de chaque oeil en dehors [...] Les écarts à la loi de Listing dans le regard horizontal dépassent pour chaque oeil 1 degré par  $10^\circ$  de convergence  $2\beta$  des lignes de visée »<sup>42</sup>. Pour l'oeil gauche, l'image d'un segment horizontal pivote dans le sens antihoraire; pour l'oeil droit, l'image pivote dans le sens horaire. La distance séparant deux cônes excitables étant de  $4,5 \mu$ , des images ne peuvent se former en des points réiniens correspondants que si la torsion autour de l'axe  $zz'$  est inférieure à  $1'$  d'arc. Pour un point de fixation situé à 25 cm des yeux (expérience d'Ibn al-Haytham), la torsion conjuguée des globes oculaires est de  $2\alpha = 3^\circ 8''$  d'arc<sup>43</sup>. Étant très largement supérieure à une torsion de  $1'$  d'arc, elle interdit la formation de points réiniens strictement correspondants.

Si l'on tient compte de tous ces facteurs, le lieu géométrique des points-objets donnant naissance à des points réiniens correspondants *n'est pas* le cercle de Vieth-Müller: l'horoptère passe par le point de fixation, mais à mesure que l'excentricité rétinienne croît, l'incertitude augmente quant à sa position. Au XIX<sup>e</sup> siècle, Helmholtz notait que, dans l'appréciation de la frontalité de trois épingles disposées sur une règle de bois à 50 cm des yeux, « le cas le plus favorable était toujours celui où la direction de la ligne d'épingles répondait à celle de la tangente au cercle horoptérique »<sup>44</sup>. Le résultat de Helmholtz est identique à celui que tirait Ibn al-Haytham de cette expérience.

On comprend mieux pourquoi Ibn al-Haytham, expérimentateur ici plus que géomètre, a retenu la droite frontale TQK comme définition du lieu géométrique des points-objets qui sont vus simples par les deux yeux: la construction du cercle horoptérique est issue d'hypothèses discutables qui n'ont guère de validité en vision rapprochée. Mais pour bien saisir le caractère rationnel de cet horoptère frontal, il faut encore revenir sur l'histoire des travaux qui sont à l'origine de la détermination de l'horoptère expérimental.

#### 4. L'AIRE FUSIONNELLE DE PANUM (EXPÉRIENCE 5)

C'est par la critique du cercle de Vieth-Müller que Panum propose, en 1858, une nouvelle

<sup>42</sup> Yves Le Grand, *Optique physiologique*, vol. 1: *La dioptrique de l'oeil et sa correction* (Paris, 1965), pp. 248-249. Saraux et Biais, *Physiologie oculaire*, p. 336. Helmholtz, exploitant une découverte de Volkmann, avait déjà montré que, lors de la fixation rapprochée, il existe une torsion autour de l'axe antéro-postérieur, telle que « la convergence amène des déviations de  $2^\circ$  à  $2^\circ \frac{1}{2}$  de l'image accidentelle », *Optique physiologique*, p. 609.

<sup>43</sup> L'angle de convergence  $2\beta$  est l'angle  $C_GFC_D$  formé au point de fixation F par les axes visuels des yeux  $C_G$  et  $C_D$ . Soit H le point d'intersection de l'axe médian et de la droite des centres optiques  $C_GC_D$ . On a:

$$2\beta = \sin^{-1}\left(\frac{C_G C_D}{FH}\right)$$

Pour  $C_GC_D = 6,5$  cm et  $FH = 25$  cm,  $2\beta = 15^\circ 4'$ .

Par conséquent,  $\alpha \approx \frac{2\beta}{10} = 1^\circ 30' 4''$ ,  $2\alpha \approx 3^\circ 8''$ .

<sup>44</sup> Helmholtz, *Optique physiologique*, p. 912.

conception de la correspondance rétinienne<sup>45</sup>. Son but n'est pas de préciser sa forme expérimentale, mais d'étudier le degré de disparité qui peut être toléré en fusion. Le dispositif expérimental est le suivant. Étant donnés les yeux  $C_G$  et  $C_D$ , le point de fixation  $F$ , on dispose à proximité de celui-ci deux barrettes verticales  $B_1$  et  $B_2$ , de telle sorte que, pour un oeil, elles soient alignées sur la droite  $C_G B_1 B_2$ . On cherche alors, en déplaçant  $B_1$  le long de l'axe visuel  $C_G B_2$ , l'intervalle dans lequel les barrettes sont vues simples par l'autre oeil  $C_D$  (Figure 7).

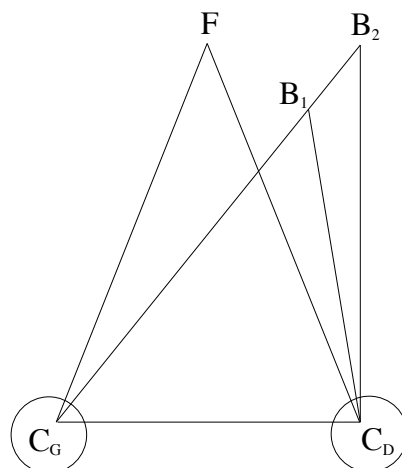


Figure 7

On détermine la limite externe (diplopie homonyme) et interne (diplopie croisée) de l'aire des points-objets qui sont vus simple en fusion binoculaire. C'est l'« aire fusionnelle de Panum ». Ce résultat signifie que des points rétiniens non exactement correspondants, mais faiblement disparates, parviennent malgré tout à être fusionnés en une seule image<sup>46</sup>.

Ogle<sup>47</sup> a repris l'étude expérimentale du problème, avec un point de fixation situé à 40 cm des yeux. Il a ainsi précisé la position de l'aire fusionnelle de Panum entre les deux courbes correspondant aux seuils de diplopie homonyme et croisée (Figure 8).

Figure 8

L'abaque de Ogle représente les moyennes des limites externe et interne — qui fixent les seuils de diplopie directe et croisée — et le cercle de Vieth-Müller (noté V-M) qui sort de l'aire de Panum pour une excentricité supérieure à  $6^\circ$ . L'horoptère, désormais défini par la courbe située à mi-distance entre les limites externe et interne, répond à la conique :

<sup>45</sup> Peter Ludwig Panum, *Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen* (Kiel, 1858). Cf. la récente synthèse de Christian Corbé, Jean-Pierre Menu, Gilles Chaine, *Traité d'optique physiologique et clinique* (Paris, 1993), pp. 100-102.

<sup>46</sup> Helmholtz, *Optique physiologique*, p. 937, appuie cette conception. Le phénomène observé n'a été expliqué que beaucoup plus tard: « Parce qu'il y a convergence des stimuli rétiniens de plusieurs cellules réceptrices vers une seule cellule ganglionnaire en périphérie et parce qu'une certaine disparité est compatible avec la fusion, il n'y a pas correspondance point par point [...] Si bien que la zone de vision simple entourant le point de fixation n'est pas une simple ligne [i.e. l'horoptère] mais une surface d'autant plus large que l'on s'écarte du point de fixation », Spielmann, *Les strabismes*, p. 117.

<sup>47</sup> Kenneth Neil Ogle, *Researches in binocular vision* (Philadelphia, 1950).

$$\cotan u_1 - \cotan u_2 = H$$

(avec  $u_1 = FC_G M$  et  $u_2 = FC_D M$ , selon la notation adoptée Figure 4). Comme l'écrit Ogle, l'horoptère réel se trouve être « une courbe située à mi-chemin entre le cercle de Vieth-Müller et la tangente en F à ce cercle »<sup>48</sup>. Autrement dit, le cercle de Vieth-Müller modélise la correspondance rétinienne par excès, alors que la droite frontale la modélise par défaut.

Ces nouveaux éléments permettent de formuler dans de bonnes conditions une dernière question sur l'horoptère: le modèle frontal retenu par Ibn al-Haytham n'est-il pas simplement dû au fait que, pour une tablette expérimentale assez étroite ( $TK = 6$  ou  $7$  cm), la droite et le cercle horoptérique sont pratiquement confondus? L'écart maximal entre les deux, qui apparaît sur le bord de la tablette, est aisément calculable:  $TT' = KK' = 0,41$  cm<sup>49</sup>. Sommes-nous alors dans l'aire de Panum, où les images des points K et K' sont fusionnées? L'abaque de Ogle donne, pour un point de fixation à 40 cm et une excentricité de  $8^\circ$  (l'angle QHK vaut  $7^\circ 28'$ ), une tolérance de 4,6 mm (Figure 8). Or, plus le point de fixation est proche, plus la tolérance diminue. Par conséquent, dans le dispositif expérimental d'Ibn al-Haytham, la tolérance devrait être très inférieure à 4,6 mm. Les points K K' ne devraient pas être fusionnés. L'expérience, reproduite sur la tablette binoculaire, montre qu'une épingle K' positionnée à 4,1 mm en deçà de K est effectivement dédoublée<sup>50</sup>. On ne doit donc pas admettre l'argument selon lequel la droite TQK est une approximation de l'horoptère théorique parce que l'un et l'autre seraient pratiquement confondus. Pour l'oeil, l'horoptère circulaire et l'horoptère frontal ne sont *pas* confondus. C'est donc pour une tout autre raison qu'Ibn al-Haytham a retenu la droite frontale: celle-ci est expérimentalement mieux ajustée que le cercle de Vieth-Müller. En effet, les points-objets de la droite frontale TQK tombent dans l'aire de Panum, alors que les points-objets du cercle T'QK' sont vus doubles.

Revenons maintenant à la question de la correspondance approximative des images, que les modernes connaissent sous le nom d'aire de Panum. Si les dispositifs expérimentaux conçus par Panum et Ogle sont parfaitement originaux, l'idée de mesurer le degré de disparité toléré en fusion ne leur est pas attribuable. On en trouve en effet une première expression dans le *Kitâb al-Manâzir*.

Expérience 5<sup>51</sup>. Les colonnes étant à nouveau situées en T Q K et les yeux fixant Q, on prend la colonne en K et on la déplace sur le côté KC. Proche de K, en S, la colonne est vue

<sup>48</sup> Le Grand, *Optique physiologique*, tome 3, p. 215.

<sup>49</sup> Sur la tablette expérimentale, Q est le point de fixation. Le cercle de Vieth-Müller passe à proximité de K en K', à proximité de T en T'. Notons Q' le point d'intersection de la médiane HQ avec la frontale T'K'. QQ' est la flèche du cercle. La flèche étant calculable, on peut écrire  $TT' = KK' = QQ' = R(1 - \cos \alpha)$ . Comme  $R = 12,75$  cm et  $\alpha = 14^\circ 30'$ , il s'ensuit que  $TT' = KK' = 0,41$  cm.

<sup>50</sup> Le modèle de cette tablette binoculaire a été exposé au Musée des Offices de Florence, du 16 octobre 2001 au 7 avril 2002, Dominique Raynaud, "Alhazen / Ibn al-Haytham, Tavoleta binoculare", Filippo Camerota, éd., *Nel segno di Masaccio. L'invenzione della prospettiva* (Firenze, 2001), p. 14. Dans l'expérience de Helmholtz, consistant à faire coulisser trois règles munies d'épingles, la fixation s'opérant sur l'épingle du milieu, l'auteur notait de même qu'il suffisait d'avancer l'épingle latérale d'une demi-épaisseur d'épingle (0,25 mm) pour observer le dédoublement. Helmholtz, *Optique physiologique*, p. 912. Sans atteindre cette précision, nous avons observé un dédoublement fréquent entre 1 et 2 mm.

<sup>51</sup> *Opticae thesaurus*, p. 82, *Optics*, vol. 1, p. 240.

simple. Plus loin de K, en F, elle est vue double (Figure 9).

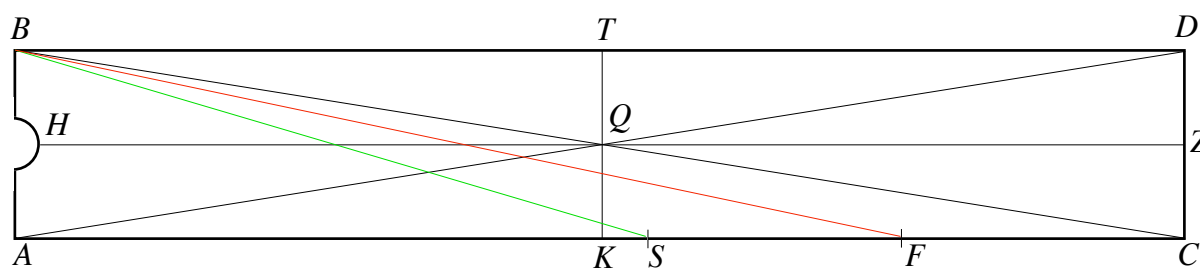


Figure 9

Par cette observation — restée de nature qualitative — Ibn al-Haytham ne parvient pas à déterminer l'extension de l'espace dans lequel des points-objets sont fusionnés. Il prépare cependant la théorie de l'aire fusionnelle de Panum car, en translatant la colonnette sur KC, il établit clairement que la fusion s'opère aussi pour des points-objets qui ne sont pas *strictement* contenus dans l'horoptère. Il aurait suffi qu'il répète l'expérience en déplaçant la colonnette sur KC, TD, QZ et plusieurs autres parallèles à ces droites, pour s'approcher d'une définition des tolérances admises en correspondance.

Résumons-nous: par ces expériences, Ibn al-Haytham s'assure que la fusion des quasi-images produites par les deux yeux ne s'opère que dans deux cas: 1) les objets sont vus simples s'ils appartiennent au plan frontal passant par le point de fixation (l'horoptère des modernes); 2) les objets sont vus simples si leur position ne s'écarte pas trop du plan frontal (l'aire de Panum des modernes). En dehors de ces conditions, il y a vision diplopie<sup>52</sup>. Ces conclusions sont simples et elles offrent la particularité de ne pas recourir à la théorie de la neutralisation psychologique (de l'une des deux images rétinienne). Il ne faut donc pas se méprendre sur le sens des passages dans lesquels Ibn al-Haytham admet que les cas de vision simple sont les plus fréquents<sup>53</sup>. Il se demande par exemple: « Puisqu'il en est ainsi, nous devons déterminer comment un objet unique est simultanément vu simple par les deux yeux, *la plupart du temps et dans la plupart des cas*, et comment il se fait qu'un objet unique soit semblablement situé par rapport aux deux yeux, *la plupart du temps et dans la plupart des cas* [...] »<sup>54</sup>. La symétrie de construction de cet énoncé suffit à prouver l'absence d'une théorie de la neutralisation chez Ibn al-Haytham: les objets sont vus simples s'ils sont perçus dans des directions correspondantes (ou presque correspondantes); dans les autres cas, il y a diplopie. C'est là une différence remarquable, entre la théorie médiévale et la théorie moderne, dans l'analyse des problèmes de la vision binoculaire.

On pourrait d'ailleurs — au-delà des seules conceptions défendues par Ibn al-Haytham —, s'interroger sur la valeur de l'argument de la neutralisation pour ramener le cas de la vision di-

<sup>52</sup> Ce résultat est formulé en termes à peu près identiques par Ibn al-Haytham, *Optics*, vol. 1, p. 241-242.

<sup>53</sup> « Les objets ne sont vus doubles que rarement », *Optics*, vol. 1, p. 242.

<sup>54</sup> *Opticae thesaurus*, p. 76, *Optics*, vol. 1, pp. 228-229 (mes italiques).



plopique à celui de la vision simple. Il suffit de comparer l'opinion d'Albert Lejeune<sup>55</sup> avec la position de certains spécialistes d'optique physiologique, pour se rendre compte combien l'hypothèse de la neutralisation psychologique doit être maniée avec prudence. Dans un examen critique des raisons pour lesquelles des points faiblement disparates sont vus simples, Le Grand s'écarte de la conception, encore courante au XIX<sup>e</sup> siècle, accordant une grande place au phénomène de neutralisation. Il note:

« Il pourrait y avoir neutralisation d'une des images rétinienne, ce qui empêcherait de voir double. C'était l'opinion de Porterfield (1759), qui considérait la perception des doubles images comme anormale ou du moins artificielle [...] Or, avec un peu d'habitude, on perçoit fort bien ces images doubles, comme nous le montrerons tout à l'heure, et l'hypothèse de la neutralisation constante est inadmissible »<sup>56</sup>.

## CONCLUSION

L'histoire des expériences binoculaires qui vient d'être retracée montre que le courant de recherches qui s'est développé à partir du XVII<sup>e</sup> siècle (théorie des points correspondants, étude de la diplopie (homonyme et croisée), construction de l'horoptère, découverte de l'aire fusionnelle) ne peut être pensé sans la référence aux travaux de Ptolémée et d'Ibn al-Haytham qui préparent, sur bien des points, les résultats de l'optique physiologique moderne. Il y a ici une stratification des concepts scientifiques comparable à celle qui affecte les recherches sur la réfraction entreprises par Ptolémée, Ibn Sahl, Ibn al-Haytham, Harriott, Snell et Descartes. Si les savants de l'époque classique ont contribué à élucider le fonctionnement de la vision, en expliquant le rôle du cristallin et de la rétine, force est de reconnaître que, sur les conditions de fusion des images binoculaires, ils sont largement restés tributaires de la théorie médiévale. Sur ce point, il n'y aura pas de rupture avant la découverte des bases neurophysiologiques de la vision binoculaire au XX<sup>e</sup> siècle.

À quoi doit-on alors l'illusion d'une grande dépression scientifique d'avant le XVII<sup>e</sup> siècle? L'étude de la réception de l'optique nous met peut-être en position d'avancer une explication. Les idées d'Ibn al-Haytham n'ont pas été connues seulement par l'édition Risner de 1572; elles ont aussi largement diffusé par la voie des commentaires médiévaux et renaissants. On sait notamment que les expériences binoculaires d'Ibn al-Haytham ont été discutées par Roger Ba-

<sup>55</sup> « [...] Nous fixons toujours l'objet sur lequel se porte notre attention et nous neutralisons inconsciemment tout ce qui pourrait nuire à la perception claire de ce que nous voulons regarder. C'est si vrai que l'observation des images doubles est très pénible et ne s'obtient qu'au prix d'un véritable entraînement », Albert Lejeune, "Les recherches de Ptolémée", p. 79.

<sup>56</sup> Le Grand, *Optique physiologique*, tome 3, p. 209.

con<sup>57</sup>, John Pecham<sup>58</sup>, Witelo<sup>59</sup>, Lorenzo Ghiberti<sup>60</sup>, Leonardo da Vinci<sup>61</sup>, Egnazio Danti<sup>62</sup>, etc. Dans l'Europe du XVII<sup>e</sup> siècle, où plusieurs de ces textes étaient aisément accessibles<sup>63</sup>, les savants ont pu avoir l'impression que les travaux sur les conditions de fusion des images binoculaires étaient à ce point saturés de commentaires qu'ils ne méritaient plus qu'on cite leurs inventeurs. C'est là, à n'en point douter, l'un des facteurs qui ont conforté l'illusion d'une redécouverte intégrale des problèmes d'optique physiologique à partir du XVII<sup>e</sup> siècle.

<sup>57</sup> *The Opus maius of Roger Bacon*, éd. J.H. Bridges (Frankfurt am Main, 1964), pp. 92-99. Nouvelle édition: David C. Lindberg, *Roger Bacon and the origins of Perspectiva in the Middle Ages* (Oxford, 1996).

<sup>58</sup> John Pecham, *Tractatus de perspectiva*, éd. David C. Lindberg (St Bonaventure, 1972), pp. 56-57, *John Pecham and the science of Optics : Perspectiva communis*, éd. et trad. David C. Lindberg (Madison 1970), pp. 116-118.

<sup>59</sup> Witelo, *Opticae libri X*, éd. Risner, rééd. David C. Lindberg (Bâle, 1572, New York, 1972), pp. 98-108.

<sup>60</sup> Lorenzo Ghiberti, *I Commentari*, éd. Ottavio Morisani (Napoli, 1947), p. 145. Graziella Federici Vescovini, "Contributo per la storia della fortuna di Alhazen in Italia: Il volgarizzamento del ms. Vat. 4595 e il 'Commentario Terzo' del Ghiberti", *Rinascimento*, 5 (1965): 17-49; *idem*, "Alhazen vulgarisé: Le 'De li aspecti' d'un manuscrit du Vatican (moitié du XIV<sup>e</sup> siècle) et le troisième 'Commentaire sur l'optique' de Lorenzo Ghiberti", *Arabic Sciences and Philosophy*, 8 (1998): 67-96. Pour une mise au point: Dominique Raynaud, "Le fonti ottiche di Lorenzo Ghiberti", F. Camerota, éd. *Nel segno di Masaccio. L'invenzione della prospettiva* (Firenze, 2001), pp. 79-81.

<sup>61</sup> *The notebooks of Leonardo da Vinci*, éd. et trad. Jean-Paul Richter (New York, 1972), pp. 53, 77, 129.

<sup>62</sup> Egnazio Danti, *Le due regole della prospettiva pratica di M. Iacomo Barozzi da Vignola* (Roma, 1583), pp. 54-55. Une traduction française, due à Pascal Dubourg-Glatigny (Centre Koyré), est en préparation.

<sup>63</sup> Rappelons à ce titre que les bibliothèques européennes conservent 39 copies de la *Perspectiva* de Bacon, 64 copies de la *Perspectiva communis* de Pecham, 25 copies de la *Perspectiva* de Witelo. Pour une étude de la réception médiévale et renaissance du traité d'Ibn al-Haytham, cf. David C. Lindberg, "Alhazen's theory of vision and its reception in the West", *Isis*, 58 (1967): 326-337; *idem*, "Introduction to the reprint edition", *Ibn al-Haytham, Opticae thesaurus* (New York, 1972), pp. xxi-xxx.