



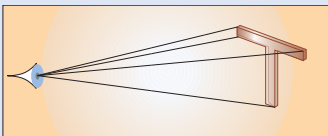
Johannes Kepler
1571-1630

À l'arrivée de Kepler à Prague, Tycho Brahe lui assigne la tâche d'étudier l'orbite de Mars. Kepler pensait effectuer cette tâche en une semaine, il n'en fut rien. Il s'est rapidement rendu compte qu'il fallait corriger les observations en tenant compte du phénomène de la réfraction, c'est-à-dire de la déviation des rayons lumineux par l'atmosphère terrestre. Cette constatation l'a amené à s'intéresser à l'optique.

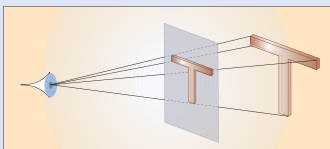
Johannes Kepler

Clin d'œil à l'optique

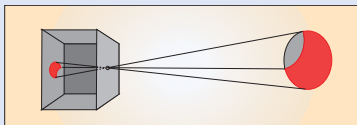
Théorie de la perspective



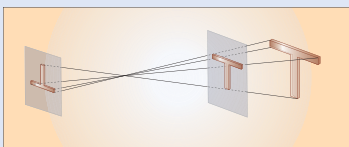
De chaque point de l'objet part un segment de droite allant à l'œil du peintre.



En traversant un écran placé entre l'objet et l'œil du peintre, les rayons lumineux laissent une trace qui forme l'image de l'objet sur la toile.



Observation d'une éclipse dans une chambre obscure



En plaçant l'écran derrière le peintre, l'image est inversée.

Dans son étude de l'optique, Kepler s'est plongé dans les ouvrages d'Alhazen (Al Haytam (965-1039)) et du polonais Witelo (Erazmus Ciolek, 1230-vers 1300). Deux grandes questions étaient laissées sans réponse satisfaisante dans ces ouvrages :

- Comment un objet extérieur parvient-il à notre organe de la vision ?
- Comment s'effectue la transition de l'organe de la vision au cerveau ?

En répondant à ces questions, Kepler est inspiré par les illustrations de Dürer sur la perspective et les notions de projection et de section.

Dans la théorie de la perspective, il faut considérer un segment de droite partant de chacun des points d'un objet. Ces segments de droite forment un cône dont le sommet est l'œil du peintre. En intercalant un écran entre l'objet et l'œil, les segments de droite laissent sur l'écran une trace dont l'effet sur l'œil est le même que l'objet à dessiner.

Dürer illustre ce principe de diverses façons, par exemple dans les dessins de l'homme assis et de la femme couchée. Kepler fait également l'historique de la chambre noire et en décrit les utilisations pour obtenir des mesures précises lors d'éclipses de Soleil.

En observant une éclipse de Soleil dans une chambre obscure, l'image produite sur le mur par les rayons lumineux passant par le petit orifice aménagé dans la cloison est une image inversée.

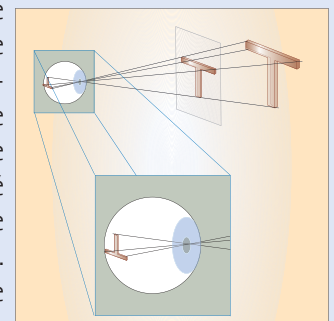
En faisant un parallèle entre les illustrations de Dürer et la chambre obscure, Kepler considère que dans les illustrations de Dürer, si l'écran était placé derrière le peintre, l'image serait également inversée. Kepler comprend alors que le globe oculaire fait office de chambre noire et que l'image ne se forme pas sur le cristallin, comme le croyaient ses prédécesseurs, mais à l'arrière du globe oculaire. Le cerveau traduit alors l'information reçue par le globe oculaire pour recréer une image droite.

La réfraction

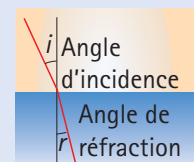
En étudiant la relation entre l'angle d'incidence i et l'angle de réfraction r , Kepler suppose que l'angle de réfraction est proportionnel à l'angle d'incidence, soit :

$$\frac{\angle i}{\angle r} = k$$

Pour des angles inférieurs à 30° , cela constitue une bonne approximation. La



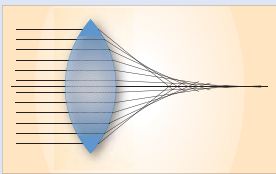
L'image se forme à l'arrière du globe oculaire.



relation exacte, déterminée par Descartes et par Snell quelques années plus tard est :

$$\frac{\sin i}{\sin r} = k$$

Pour bien comprendre le phénomène de réfraction, Kepler étudie ensuite la réfraction des lentilles. Il constate que dans une lentille formée de calottes sphériques, les rayons ne convergent pas bien. Des rayons lumineux parallèles qui



traversent une telle lentille ne convergent pas en un seul point mais en plusieurs points sur l'axe de la lentille. Ce phénomène est maintenant appelé *aberration sphérique*.

Lorsque Kepler entreprend son étude de la réfraction, les lunettes astronomiques et les télescopes ne sont pas encore bien connus. Il examine diverses formes de miroirs et de lentilles dont les formes de la famille des coniques. Il montre comment par une transformation, il est possible de passer de la droite à l'hyperbole, puis à la parabole, à l'ellipse et au cercle. Il constate que les formes coniques ont des points caractéristiques qu'il nomme « foyers ». En plaçant une source lumineuse en l'un des foyers d'une ellipse, l'image est parfaitement claire à l'autre foyer.

Dans le cas d'un miroir parabolique, l'un des foyers est à l'infini. Si une source lumineuse est placée au foyer, les rayons lumineux sont réfléchis parallèlement à l'axe de la parabole. Par ailleurs, les rayons lumineux captés par le miroir parallèlement à l'axe sont concentrés au foyer.

Le cercle et la sphère n'ont qu'un seul foyer, leur centre, et la lumière émise à partir de celui-ci est réfléchi au même point. Le cercle et la sphère sont donc désavantagées par rapport aux autres formes coniques.

Théorie de la vision

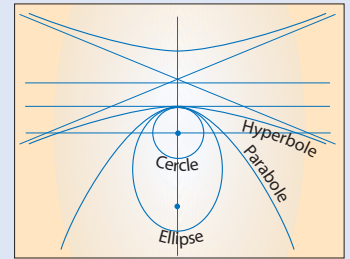
Kepler présente une théorie de la vision dont les grandes lignes sont les suivantes.

Si une source est constituée d'un seul point lumineux, elle émet des rayons dans toutes les directions. Les rayons interceptés par l'œil forment un cône dont le sommet est la source ponctuelle de lumière. Ces rayons subissent une légère diffraction en traversant la cornée puis traversent le cristallin. Celui-ci est une lentille biconvexe qui a la propriété de modifier la direction des rayons lumineux. Les rayons forment alors un nouveau cône dont la base est à la surface du cristallin et convergent en un point sur la rétine. La myopie est une anomalie de la vision dans laquelle l'image d'un objet éloigné se forme en avant de la rétine. L'hypermétropie est une anomalie de la vision dans laquelle l'image d'un objet éloigné se forme en arrière de la rétine. Dans un commentaire, Kepler indique que la partie postérieure du cristallin est de forme hyperbolique. Cette forme lui semble préférable à la forme sphérique car la forme hyperbolique diminue les aberrations.

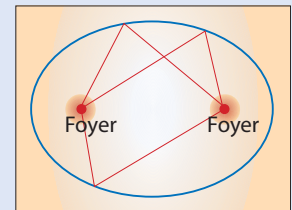
L'illustration en bas de page est inspirée du modèle de la focalisation des images en diverses parties de la rétine imaginée par Kepler.

Kepler a consacré une année entière à l'étude de l'optique et à la rédaction de son ouvrage *Optica*. Une conséquence importante de cette étude est que Kepler a constaté que le cercle et la sphère ne sont pas nécessairement les figures géométriques les plus aptes à décrire les phénomènes physiques. Le recours au cercle et à la sphère, figures « parfaites » de la philosophie aristotélicienne, avait été érigé en dogme dans l'étude de la nature, mais les lentilles sphériques présentent une aberration que les lentilles hyperboliques n'ont pas.

Pour étudier et pour fabriquer des lentilles, des miroirs, des lunettes et des télescopes, il faut pouvoir déterminer la tangente et la normale à une courbe. La question de la détermination de celles-ci devenait donc essentielle pour le développement scientifique au XVII^e siècle.



Passage de la droite à l'hyperbole, à la parabole, à l'ellipse puis au cercle.



L'angle d'incidence et l'angle de réflexion sont définis par la normale à la surface.

