

# L'origine du télescope (I)

Jean Manfroid



*L'un des télescopes de Galilée (© NASA)*

On attribue souvent l'invention du télescope (sous la forme de la lunette astronomique) à Galilée, tout en reconnaissant qu'il ne faisait que reprendre l'invention d'un marchand de lunette hollandais. Quant au télescope à miroirs, c'est à Newton que l'on pense. Qu'en est-il vraiment, et pourquoi y a-t-il eu cette révolution de l'observation astronomique au début du 17<sup>e</sup> siècle? C'est ce que nous nous proposons d'examiner. Et, tout d'abord, que peut-on espérer faire avec une lentille, et pourquoi ne l'a-t-on pas fait plus tôt?

## Image virtuelle

Une lentille peut avoir quantité d'utilisations pratiques, par exemple projeter une image sur un écran. Nous nous confinons ici à la vision directe. Comment voit-on les objets en les regardant au travers d'une lentille? Peut-on grossir leur apparence – ce qui pour des astres<sup>1</sup> revient à les « rapprocher »?

Les images de la page suivante illustrent le cas d'une lentille convexe de distance focale  $f = 25$  cm. Une telle lentille donne une image réelle – une image que l'on peut montrer sur un écran – d'un objet situé au-delà de cette distance critique. Un objet situé au foyer aura son image à l'infini, et un objet situé en deçà aura une image virtuelle, tout aussi inaccessible, formée non pas par les rayons sortants, mais par leur prolongement du côté de l'objet.

Dans quelles conditions un œil normal (jeune, capable d'accommoder de l'infini à

quelques décimètres) peut-il voir ces images? Poser le problème est le résoudre : il suffit qu'en regardant vers la lentille, l'image (réelle ou virtuelle) soit à une distance comprise entre l'infini et quelques décimètres. Si l'image est du même côté de la lentille que l'objet, elle est virtuelle. C'est le cas typique de la loupe.

On utilise normalement une loupe de façon à ne pas fatiguer les yeux. Le repos physiologique de l'œil correspond à une distance assez grande. Pour simplifier, nous la prendrons infinie<sup>2</sup>. Si l'on place l'objet au foyer de la loupe, l'image est à l'infini et l'observateur accommode sans forcer quelle que soit la distance de l'œil. Si l'œil est contre la loupe (figure du haut) on a le champ maximal, mais rien n'empêche de se reculer, les dimensions apparentes de l'image (la fleur entre les doigts de la semeuse) restent les mêmes puisqu'elle est à l'infini, et le champ se réduit.

Les dimensions apparentes (c'est-à-dire angulaires) de l'image sont celles que l'on verrait en l'absence de loupe, en plaçant l'œil à la distance  $f$  de l'objet. L'utilité de la loupe est

1 Cette analogie n'a bien sûr guère de sens pour des objets microscopiques.

2 Cela peut varier selon les individus, et il y a quelques controverses sur ce sujet parmi les spécialistes ; constatons simplement que regarder les étoiles fatigue moins l'œil que déchiffrer la liste des ingrédients d'une conserve.

donc évidente pour des distances  $f$  plus petites que ce que permet l'accommodation de l'œil. Son autre intérêt est de réduire la fatigue de l'œil, même pour des  $f$  assez grands.

Cette expérience simple exige une condition : une lentille de bonne qualité sur toute sa surface. Une mauvaise loupe pourra éventuellement être utilisée tout contre l'œil si elle peut être assimilée localement à une lentille parfaite de distance focale  $f$ , avec  $f$  variant de point en point. On imagine que l'utilisation d'une telle loupe n'est guère pratique. Si l'on s'éloigne de la lentille, la zone contribuant à la vision s'élargit, les défauts s'additionnent et l'image devient de plus en plus floue. Les Anciens n'avaient pas d'optiques parfaites à leur disposition, et certainement pas d'aussi grande taille. Il leur aurait été impossible de réaliser l'expérience et de comprendre le fonctionnement d'une loupe.

Le grossissement angulaire effectif est de 1 lorsque l'on place l'œil contre la lentille et il augmente avec la distance puisque les dimensions apparentes de l'objet (hors loupe) diminuent proportionnellement. Les vendeurs indiquent souvent un grossissement pour les loupes,  $\times 4$  ou  $\times 6$  par exemple<sup>3</sup>. Il s'agit du grossissement « commercial » défini par rapport à l'objet vu à une distance de 20 ou 25 cm. La loupe utilisée pour nos images a donc un grossissement commercial de 1. Un utilisateur capable d'accommoder à 25 cm ne bénéficie d'aucun avantage quant au grossissement, mais seulement d'un confort visuel.

Le principe de la loupe peut être généralisé aux lentilles de lunettes destinées à corriger la vision. Ces lentilles forment une image à une distance où l'œil peut accommoder. Ainsi une lentille convergente peut amener à l'infini l'image d'un objet trop proche pour un hypermétrope et une lentille divergente peut rapprocher l'image d'un objet trop éloigné pour un myope. On conçoit que l'on ne trouve pas de loupe divergente puisqu'un myope peut se rapprocher ou ... chausser ses lunettes.



**Le Petit Larousse vu à la loupe. Le livre est placé au foyer de la lentille. En haut, l'œil est contre celle-ci. L'aspect serait le même s'il n'y avait pas de loupe mais, pour percevoir l'image avec netteté, il faudrait être capable d'accommoder à 25 cm plutôt qu'à l'infini. En reculant, les dimensions apparentes des choses vues au travers de la loupe ne changent pas alors que le champ se réduit.**

<sup>3</sup> On est malheureusement parfois trompé par une indication de puissance donnée en dioptries, c'est-à-dire l'inverse de la distance focale exprimée en mètres.



*Lentille simple utilisée comme télescope rudimentaire avec un grossissement allant de 4 à 0,5 selon la distance à l'image. Celle-ci est située à 25 cm de la lentille du côté de l'observateur.*

### **Image réelle**

Si l'objet est situé au-delà de la distance  $f$  de la lentille, l'image est réelle et située du côté de l'observateur. Pour la voir, l'observateur doit au moins reculer derrière elle<sup>4</sup> et même un peu plus afin de permettre à l'œil d'accommoder. Ensuite, plus il s'éloigne et plus l'image lui paraît petite (images ci-contre). S'il peut se placer à la distance  $f$  de l'image (dans notre cas, 25 cm, ce qui est aisé pour un œil normal ou modérément myope) l'image a la même dimension apparente qu'en l'absence de lentille. Le grossissement angulaire est de  $1\times$ . Un observateur très jeune ou myope, qui pourrait accommoder à 12,5 cm, bénéficierait d'un grossissement angulaire de  $2\times$ . Voilà un télescope rudimentaire, fait avec un seul élément optique. Sur l'image du haut nous avons simulé le cas d'une accommodation (assez irréaliste, sauf pour les très jeunes) de 6 cm qui donnerait un grossissement de  $4\times$ .

Le grossissement angulaire est égal au rapport de la distance focale à la distance d'accommodation (soit de l'œil à l'image). Pour grossir beaucoup il faut donc une lentille de longue focale, plusieurs mètres.

Faute de lentille convexe de longue focale, nous avons un peu triché en utilisant pour l'image un miroir concave d'1 m40 de focale. À la différence de la lentille, il faut se placer

<sup>4</sup> Si la distance est suffisamment grande, un œil hypermétrope pourra voir l'image en se plaçant près de la lentille. L'image devient virtuelle et on se retrouve dans le cas précédent.

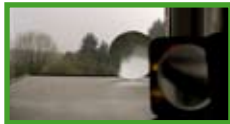


*Un objectif de longue focale (ici, 1 m 40) permet d'obtenir un bon grossissement sans devoir forcer sur l'œil.*

dos à l'objet éloigné, et un peu hors axe pour voir l'image de celui-ci dans le miroir et, en raison de la réflexion, l'image est retournée gauche-droite. Une telle focale permet un grossissement de 7 si l'on accommode à 20 cm.

La netteté de l'image exige une bonne qualité de l'optique sur toute sa surface. Des irrégularités provoqueraient inévitablement une dégradation de l'image qui deviendrait vite très floue et, malgré le grossissement, moins détaillée que ce que l'œil verrait en l'absence de lentille. Nous pouvons donc comprendre qu'ici aussi, les Anciens devaient être incapables de réaliser cette expérience et de profiter de ce moyen de grossissement qui demande non seulement une bonne optique, mais aussi une longue focale et un bon diamètre.

Nous avons montré qu'un télescope peut consister en seule-



*En regardant l'image réelle créée par l'objectif au moyen d'une simple loupe (l'oculaire) on atteint sans difficulté des grossissements de plusieurs fois sans devoir forcer.*

*Un myope ou un presbyte n'a qu'à modifier très légèrement la position de la loupe pour un résultat équivalent, alors qu'en l'absence d'oculaire les possibilités d'accommodation de l'oeil sont critiques.*

ment un objectif (lentille ou miroir) et que son grossissement augmente avec la focale, ce qui est l'inverse du cas de la loupe. Ce télescope grossit d'autant plus que l'observateur est myope et capable d'accommoder très près. Or, que fait une loupe, sinon de simuler une accommodation de près. Il est donc naturel d'utiliser une lentille pour se libérer de la contrainte de la distance d'accommodation. La distance œil-image devient alors la focale  $f'$  de la loupe et elle peut être très petite. Nous réunissons ainsi les avantages des deux modes d'observation et nous avons un télescope dont le grossissement est  $fff'$ . C'est la lunette astronomique de base : le télescope dit de Kepler.

Nous n'avons parlé que de lentilles convergentes. L'image d'un objet est virtuelle et située du même côté. On en a l'usage comme verre de lunette puisqu'une lentille divergente peut rapprocher l'image d'un objet éloigné, la rendant accessible à un myope. L'image d'un objet réel étant toujours plus petite que l'objet, on n'a pas la possibilité de l'utiliser comme objectif. Par contre une lentille divergente peut intervenir comme oculaire d'un télescope en formant une image non renversée. Il est curieux que ce système, géométriquement beaucoup moins évident, la lunette de Galilée, ait été réalisé avant l'autre. C'est la preuve que ce ne sont pas des considérations théoriques mais bien des tâtonnements et des expériences plus ou moins raisonnées qui ont abouti aux premiers instruments. Ces manipulations ne sont pas difficiles : en jouant avec deux lentilles convenables, de focales différentes, n'importe qui inventerait le télescope en quelques minutes. Le mot-clé est « convenable ». Quand a-t-on pu disposer de lentilles de qualité permettant de réaliser les petites expériences décrites ci-dessus ?

### **De l'éclat de quartz aux lunettes**

Néron, paraît-il, regardait les jeux de cirque au travers d'une émeraude. S'agissait-il d'« hulkiser » les gladiateurs en les teintant de vert et en les grossissant ? Certainement pas. Le choix de l'émeraude – si cette version de la légende est correcte – s'explique facilement par le fait qu'un verre ou un cristal commun



*Des lentilles de cristal ont été utilisées pour les yeux du pharaon Rahotep 26 siècles avant notre ère (Musée du Caire)*

n'étaient pas assez nobles pour lui, et tant pis pour les couleurs. Le bon sens suggère qu'en plaçant l'œil au bon endroit un cristal de forme appropriée permettait au tyran de corriger un défaut de la vue, myopie ou autre.

Les pouvoirs ou illusions optiques des milieux transparents, eau, glace, cristal, sont connus sinon compris depuis toujours. Les maîtriser et en tirer profit n'a cependant pas été facile.

Parmi les premières pièces ressemblant un tant soit peu à des lentilles figurent les cristaux utilisés pour les yeux de statues égyptiennes, 26 siècles avant notre ère. Il existe aussi des pièces d'origine mycénienne datant de 16 siècles avant notre ère. Elles étaient polies dans du cristal – en général du quartz.

On trouve ensuite de nombreux cristaux ronds, de petites dimensions, et de forme plan-convexe. Leur très petit rayon de courbure donne des puissances optiques de plusieurs dizaines de dioptries ce qui, à l'évidence, exclut leur usage comme correcteur de vue ou comme loupe pour l'écriture. Par contre elles pouvaient aider à la lecture en les posant, face plane contre un texte. En déplaçant la « pierre de lecture » (lapides ad legendum) le long des mots, on grossissait successivement toutes les lettres<sup>5</sup>. Connue des Grecs depuis l'Antiquité cette techni-

que a été redécouverte ou mise au point par Abbas Ibn Firnam au 9<sup>e</sup> siècle.

Il semble que l'on ait mis longtemps avant de réaliser que ces fortes loupes n'étaient pas un vrai remède aux défauts de la vision – sans doute par une mauvaise compréhension du fonctionnement de l'œil – et que la solution demandait au contraire des lentilles de faible puissance, quelques dioptries seulement.

Un objet fort étudié, la lentille de Nimrud, découverte en Iraq, a été réalisée entre 750 et 710 avant notre ère. Son diamètre est d'environ 4 cm et sa focale, si l'on peut parler de foyer, d'environ 11 cm, mais sa qualité optique est si atroce qu'elle n'a pu avoir le moindre usage optique. Cela n'a pas empêché certains de penser qu'elle faisait déjà partie d'un télescope, expliquant ainsi les connaissances astronomiques des Assyriens et pourquoi ceux-ci voyaient en Saturne un dieu entouré d'un cercle de serpents... Sans aller



*La lentille de Nimrud, exposée au British Museum, est la première connue. (Wikipedia)*

<sup>5</sup> Cela préfigure les vidéo-loupes qui servent le même but mais, si les pierres de lecture fonctionnent bien selon le principe de la loupe en formant une image virtuelle en arrière de l'objet, il n'en va pas de même des vidéo-loupes en dépit de leur nom. Celles-ci utilisent une caméra qui donne une image agrandie sur un écran. – écran qu'il faut éventuellement regarder avec des lunettes.

jusque-là, on a pu imaginer que ce type d'objet aurait servi de lentille très grossière, et aider à réaliser des travaux de précision comme graver les très petits caractères trouvés sur des objets contemporains. En plaçant l'œil contre la lentille on peut bénéficier à certains endroits de conditions favorables et s'en servir comme loupe. Mais, pas question de s'éloigner de la loupe comme dans notre expérience car alors c'est la qualité optique sur une surface de plus en plus grande qui intervient.

Une utilisation éventuelle de telles lentilles de roche aurait pu être d'allumer du feu. On utiliserait alors la surface totale comme collecteur de lumière, la focalisation parfaite n'étant pas indispensable pour autant que la transparence soit suffisante.

La lentille de Nimrud montre une symétrie circulaire indiquant qu'elle a été polie sur un tour de potier, une technique connue depuis la nuit des temps et l'on trouve de nombreux ménisques du même genre chez les égyptiens, les babyloniens, les grecs.

On en a la mention sur des hiéroglyphes égyptiens du 5<sup>e</sup> siècle avant notre ère et il y est question pour la première fois de pouvoir grossissant. L'usage de loupe de cristal est mentionné par Aristophanes dans « Les Nuées » en 423 av. J.-C., quand Strepsiade s'adresse à Socrate : « Tu as sans doute déjà vu chez les vendeurs de drogues une pierre belle, diaphane, au moyen de laquelle ils allumaient du feu ? »

Le feu pouvait aussi être allumé ou ranimé au moyen de miroirs comme dans le culte de Vesta.

Peu à peu le verre, un matériau connu depuis l'Antiquité, s'est mis à rivaliser avec les cristaux naturels. Sa fabrication qui demande de très hautes températures est très difficile et les techniques pour le rendre transparent et stable ne

sont apparues que progressivement. C'est au Moyen-Orient que s'établirent les premières verreries. Les gisements de natron – un carbonate naturel de sodium – fournissaient un fondant qui abaisse la température de fusion du verre et rend sa fabrication moins ardue. L'usage de ce matériau se répandit dans l'Empire Romain. L'adjonction de divers matériaux permettait de le rendre transparent et incolore, et les techniques de soufflage rendaient possible la fabrication de pièces diverses, y compris du verre à vitre.

Les romains et les grecs remplissaient d'eau des sphères de verre pour faire des lentilles, ce qui ne surprendra pas quiconque a déjà regardé au travers d'une bouteille d'eau ou d'un aquarium rond. Sénèque, le tuteur de

*Le cristal de Lothaire datant du 9<sup>e</sup> siècle a été cerclé d'un anneau de cuivre au 15<sup>e</sup> siècle et brisé à la Révolution Française. (Wikipedia)*





*Une lentille de Visby au Museum of National Antiquities de Stockholm. (cliché mararie; Creative Commons)*

Néron, au 1<sup>er</sup> siècle avant notre ère mentionne le pouvoir grossissant de ces sphères.

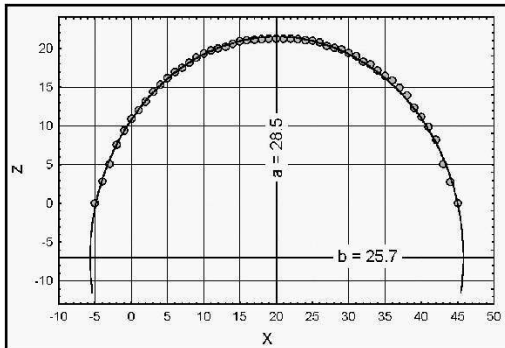
L'intérêt de Sénèque pour l'optique permet de soupçonner que c'est lui qui a conseillé à l'Empereur d'utiliser un cristal pour améliorer sa vue du spectacle des gladiateurs.

On sait que même une sphère parfaite donne de très mauvaises images (le terme d'aberration sphérique est explicite). La distance focale d'une sphère de rayon  $R$  et d'indice de réfraction  $n$  est  $nR/(2n-2)$ . Pour une sphère d'eau elle est environ égale à deux diamètres et pour une sphère de verre à 1,5 diamètre. Une petite sphère pourrait donc servir de mauvaise loupe et une grosse sphère de mauvais objectif de télescope.

La technique de polissage a progressé au cours des siècles et il est probable que les lentilles de cristal ont été de plus en plus utilisées comme aide visuelle surtout pour des travaux minutieux et l'on pense aux moines copistes et aux graveurs.

La fin de l'Empire Romain au 5<sup>e</sup> siècle mit fin au commerce du natron et par la même occasion à l'usage du verre. Le Moyen-Âge dut se contenter des cristaux offerts par la nature.

Un objet remarquable est le cristal de Lothaire (intaille de Lothaire ou encore bijou de Waulsort) datant du milieu du 9<sup>e</sup> siècle de notre ère et réalisée pour le roi carolingien Lothaire II. Cette pièce, une lentille biconvexe de plus de 11 cm de diamètre, est l'un des bijoux de l'art médiéval. Elle a été conservée à l'abbaye de Waulsort<sup>6</sup> jusqu'à la Révolution Française, lorsque l'abbaye a été supprimée par les révolutionnaires français et que des pillards, ou des moines, ont jeté le bijou dans la Meuse. Il a été assez rapidement repêché et, après avoir été vendu et revendu, il aboutit au British Museum en 1855. La qualité de cette



*Profil d'une lentille de Visby comparé à une ellipse (O. Schmidt, K.H.Wilms, B. Lingelbach, Optometry and Vision Science (1999) 76, 624)*

<sup>6</sup> Waulsort, village en bord de Meuse au sud de Dinant, actuellement dans la commune d'Hastière; site d'un monastère bénédictin fondé au 10<sup>e</sup> siècle par des moines irlandais venus d'Écosse pour évangéliser la région.



**Illustration de l'utilisation d'une pierre de lecture au Moyen-Âge (Zeiss Optical Museum Oberkochen)**

lentille atteste de l'expérience et de l'habileté des moines.

Au 9<sup>e</sup> siècle Abbas Ibn Firnas<sup>7</sup> (810–887) avait trouvé un moyen de produire des lentilles bien claires et d'en faire des pierres de lectures.

Les lentilles dites de Visby datent du 11<sup>e</sup> ou 12<sup>e</sup> siècle et ont été découvertes dans l'île scandinave de Gotland, (Mer Baltique) dans des tombes Viking. Il a été suggéré qu'elles provenaient du Moyen-Orient mais des fouilles ont révélé sur l'île l'existence d'ateliers de taille et des lentilles non terminées ce qui favorise l'hypothèse d'une origine locale. Ces pièces témoignent d'une qualité optique remarquable qui laisse penser qu'elles ont pu être utilisées comme aides visuelles. Leurs formes sphériques ressemblent étonnamment à celles des verres optiques actuels.

La fin des croisades permit à nouveau le commerce avec le Moyen-Orient, l'importation du natron, une reprise progressive du travail du verre et des progrès techniques significatifs.

Selon certains, le contexte historique favorisa le passage des pierres de lecture aux verres de lunette. La mise sur le marché, après les Croisades, de brouettes de reliques, os,

poils, doigts, vrais morceaux de fausse croix, etc., entraîna la fabrication de nombreux reliquaires munis de fenêtres permettant d'admirer d'aussi fabuleux trésors. Jusqu'alors les reliques restaient à l'abri des regards. Certaines de ces fenêtres taillées par des artisans expérimentés se sont révélées de bonne qualité optique. Leur grande taille et leur faible puissance optique pouvaient en faire des aides visuelles, ce que n'ont pas manqué de constater des moines âgés et, par conséquent, presbytes. Comme il fallait démonter les objets sacrés pour s'approprier des monacles on peut s'interroger sur le bien-fondé de cette hypothèse ou sur l'ampleur du phénomène. Ce qui est certain c'est que la technologie existait à l'époque et qu'elle a dû être favorisée par l'usage religieux.

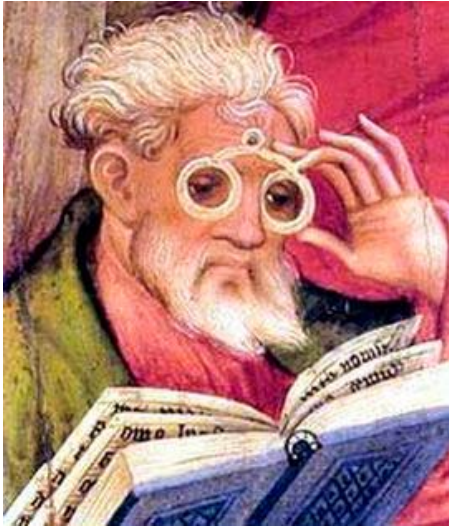
Le douzième siècle a ainsi vu l'arrivée du monocle ou monoculaire. Une sculpture de la cathédrale de Constance datant du milieu du 13<sup>e</sup> siècle en montre l'une des premières illustrations. Les lunettes (binoculaires) allaient suivre mais il fallu attendre quelques décennies car produire des lentilles similaires de même qualité présentait de grosses difficultés.



**Hugues de Saint-Cher, installé à son écritoire. Ce portrait réalisé vers 1352 par Tommaso de Modena est l'un des premiers montrant le port de lunettes. Il s'agit cependant d'un anachronisme, le personnage étant mort en 1263, une vingtaine d'années avant l'invention des bésicles.(Wikipédia)**

<sup>7</sup> Abbas Ibn Firnas est surtout connu parce qu'il aurait tenté d'imiter Icare en s'affublant d'ailes et de plumes et en se lançant d'une élévation, une expérience qui se serait évidemment mal terminée. Sans doute ne s'agit-il que d'une légende car la relation n'en fut faite que 7 siècles plus tard.





***L'Apôtre aux Lunettes par Conrad von Soest, un anachronisme encore plus flagrant que le précédent (c. 1403)***

Les secrets de la fabrication du verre étaient bien gardés. Ramenés par les marchands vénitiens, ils conféraient à Venise un quasi monopole de l'industrie verrière. On mit au point un procédé astucieux permettant de produire des lentilles de même forme et de même puissance pour la confection de lunettes : on soufflait une sphère et on y taillait les lentilles. Les deux faces sphériques étaient parallèles et

on assurait une puissance correcte en polissant de façon adéquate l'une d'elles. Il est bien établi que les lunettes correctrices existaient en Italie à la fin du 13<sup>e</sup> siècle. Les premières y auraient été fabriquées vers 1286.

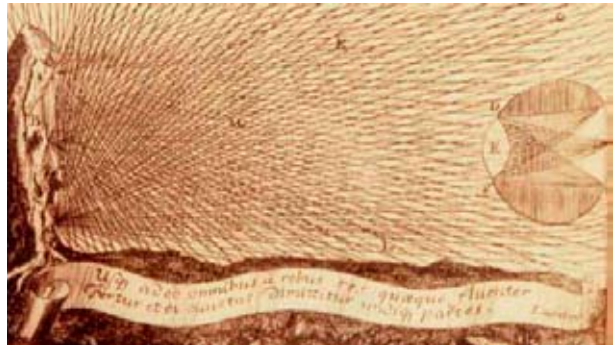
Mais l'espionnage industriel existait déjà et la technique du verre finit par se répandre en Europe, d'autant que la demande pour des lunettes grandissait avec la prolifération des livres. Il fallut attendre le milieu du 15<sup>e</sup> siècle pour voir des verres concaves, pour myopes, alors que les lunettes étaient jusque-là réservées aux presbytes et hypermétropes. Une méthode de fabrication était le rodage de verres plans sur des boules de canon bien sphériques, ce qui donnait des puissances élevées.

La correction de l'astigmatisme avec des verres « cylindriques » vint bien plus tard, au 19<sup>e</sup> siècle.

### ***L'optique***

Dans l'Antiquité, l'appréhension des objets par la vue s'expliquait généralement par l'émission de rayons rectilignes depuis l'œil, Euclide (c. 325–c. 265 av. J.-C.) basant sur ce principe une théorie géométrique de l'optique. Archimède (c. 287–212) puis Héron (c. 10–c. 70) ont repris ces idées, ce dernier formulant pour la première fois la loi du plus court chemin de la lumière 16 siècles avant

***Illustration médiévale des théories concurrentes de la vision : à gauche l'œil envoie des rayons sur l'objet, à droite l'œil les reçoit. (fravaahr.org)***



Fermat. Plus tard encore, Claude Ptolémée (c. 90–c. 168) dans son *Optique* développe cette théorie dite de l'émission, ou de l'extromission. On peut retrouver ce concept évoqué dans des expressions comme porter le regard, ou jeter un coup d'œil (devenu comiquement de nos jours « jeter un œil » !), et les sondages montrent que beaucoup de nos contemporains conçoivent encore les choses de cette manière. Ce concept erroné a cependant servi de base dans le monde hellénistique pour élaborer la théorie des miroirs plans et sphériques.

L'explication alternative de l'émanation, ou intromission, qui nous paraît si naturelle est que ce sont les objets qui nous envoient de petits corpuscules, une théorie favorisée par Empédocle (c. 490–430 av. J.-C.), Démocrite (c. 460–370 av. J.-C.) et d'autres partisans de l'atomisme et ensuite par Aristote (384–322 av. J.-C.) et ses disciples. Curieusement, c'est la théorie de l'émanation qui fut la plus critiquée au point que ses partisans admettaient généralement la coexistence des deux mécanismes, la théorie de la double émission, prônée par Platon (c. 423–c. 347 av. J.-C.).

Après Ptolémée on retiendra Théon d'Alexandrie (c. 335–c. 405) et surtout Anthémios de Tralles (c. 474–534) qui a étudié les propriétés des paraboles et fabriqués des « miroirs ardents » capables de concentrer les rayons du Soleil à des distances assez grandes puisqu'il s'en servit pour incommoder un voisin gênant. On comprend l'origine de la légende qu'il semble avoir lancée, et selon laquelle Archimède aurait utilisé des miroirs ardents pour brûler les vaisseaux de Marcellus au siège de Syracuse (cf. *Les miroirs ardents*, p. 33).

Cette fable d'Anthémios eut pour effet d'impressionner durant quelques siècles les autorités qui voyaient là un moyen de renforcer leurs armées. Les savants profitèrent de cet intérêt et de l'appui des gouvernants pour poursuivre leurs travaux en optique avec toutefois très peu de résultats quant au développement d'armes non conventionnelles dont ils avaient parfaitement compris les limitations.

L'irakien Al-Kindî (c. 805–c. 873) reprend le problème de l'embrasement à distance



*Al-haytham* (965 – 1037)  
(Wikipedia)

au moyen de miroirs, et développe les travaux d'Anthémios de Tralles en examinant d'autres types de miroirs. Malheureusement une grande partie de son œuvre est perdue.

En 984, le savant persan Ibn Sahl (c. 940–1000) a écrit un ouvrage traitant des lentilles et des miroirs et explore en détail la théorie des lentilles et des miroirs ardents. On trouve pour la première fois une représentation correcte, géométrique, de la loi de la réfraction. La loi de Descartes, ou Snellius, n'est donc en fait que celle d'Ibn Sahl. Son manuscrit s'était perdu et il ne fut redécouvert que dans les années 1990, mais les idées d'Ibn Sahl avaient été poursuivies et développées par un autre grand savant persan, Ibn Al-haytham (Al hassen, ou Alhazen, 965–1037) dont l'œuvre ne fut pas égarée. Bien au contraire, elle fut publiée à diverses reprises et influença les savants jusqu'au 17<sup>e</sup> siècle, d'autant plus que, contrairement à Ibn Sahl qui ne voyait que les aspects géométriques, Ibn Al-haytham envisageait aussi le côté physique des phénomènes optiques.<sup>8</sup> Il énonce que « la vision se fait par des rayons venant de l'objet à l'œil.

<sup>8</sup> Al-haytham est l'auteur éponyme du problème suivant : « étant donné une source lumineuse et un miroir sphérique, quel est le point du miroir où se reflète la lumière vers l'œil de l'observateur », problème parfois posé en terme du rebond d'une bille dans un billard circulaire.

Quand l'œil est placé face à un objet illuminé, il arrive de la lumière à sa surface extérieure [...] l'œil ne peut sentir l'objet vu que par l'intermédiaire de la lumière que celui-ci lui envoie. » Ces travaux ont ainsi conduit au rejet de la théorie de l'extromission de Ptolémée, à la preuve de celle de l'intromission d'Aristote, et à une meilleure compréhension des propriétés des lentilles et des miroirs. Ibn Al-haytham distingue les conditions de la vision et de la propagation. Selon lui la lumière est indépendante de la vision, elle se propage selon des lignes droites dans toutes les directions. Ce sont bien là les concepts qui permettront le développement de l'optique physique.

L'œuvre d'Ibn Al-haytham a été poursuivie par Kamal al Din al Farisi (1267–1319) qui fut avec Theodoric de Freiberg (c. 1250–c. 1310) l'un des premiers à donner une explication de la formation de l'arc-en-ciel. Avec Kamal al Din al Farisi s'arrêtent cependant les contributions arabes originales dans le domaine de l'optique alors même que les bases venaient d'en être solidement établies.

Au 13<sup>e</sup> siècle l'anglais Robert Grosseteste (c. 1175–1253) et ensuite Roger Bacon (1214–1294), s'inspirent largement des savants arabes et persans, sans vraiment effectuer d'expériences eux-mêmes, respectant ainsi la tradition médiévale scolastique, et ne faisant guère progresser la science. Ils s'émer-

veillaient de ce que les lentilles permettent de lire les plus petites lettres de très loin et de rapprocher le Soleil, la Lune et les étoiles. Grosseteste décrit la réfraction de la lumière à travers une sphère remplie d'eau. Il énonce une loi de la réfraction très grossière « l'angle de réfraction est égal à la moitié de l'angle d'incidence » alors qu'Ibn Al Hassan, plus de deux siècles auparavant avait trouvé la loi correcte.

Deux siècles plus tard, en 1508, c'est Léonard de Vinci (1452–1519) qui fait allusion à un arrangement de verres et de miroirs permettant de « voir la Lune plus grosse ». En amenant l'image d'une planète sur un miroir concave on verrait « sa surface très agrandie ». Les historiens ne savent pas si Vinci a construit quelque-chose sur ce principe. Probablement pas. Pas plus qu'il n'a réalisé de parachute, d'hélicoptère, et d'autres inventions dont il a été jusqu'à dresser des plans. Mais nous avons vu plus haut qu'un unique miroir concave de longue focale peut grandir les objets. Il suffit pour cela de l'orienter convenablement, et c'est peut-être simplement ce que veut dire Vinci.

***Schéma dû à Roger Bacon montrant comment Robert Grosseteste décrit la réfraction de la lumière dans une sphère remplie d'eau (Wikipedia).***

