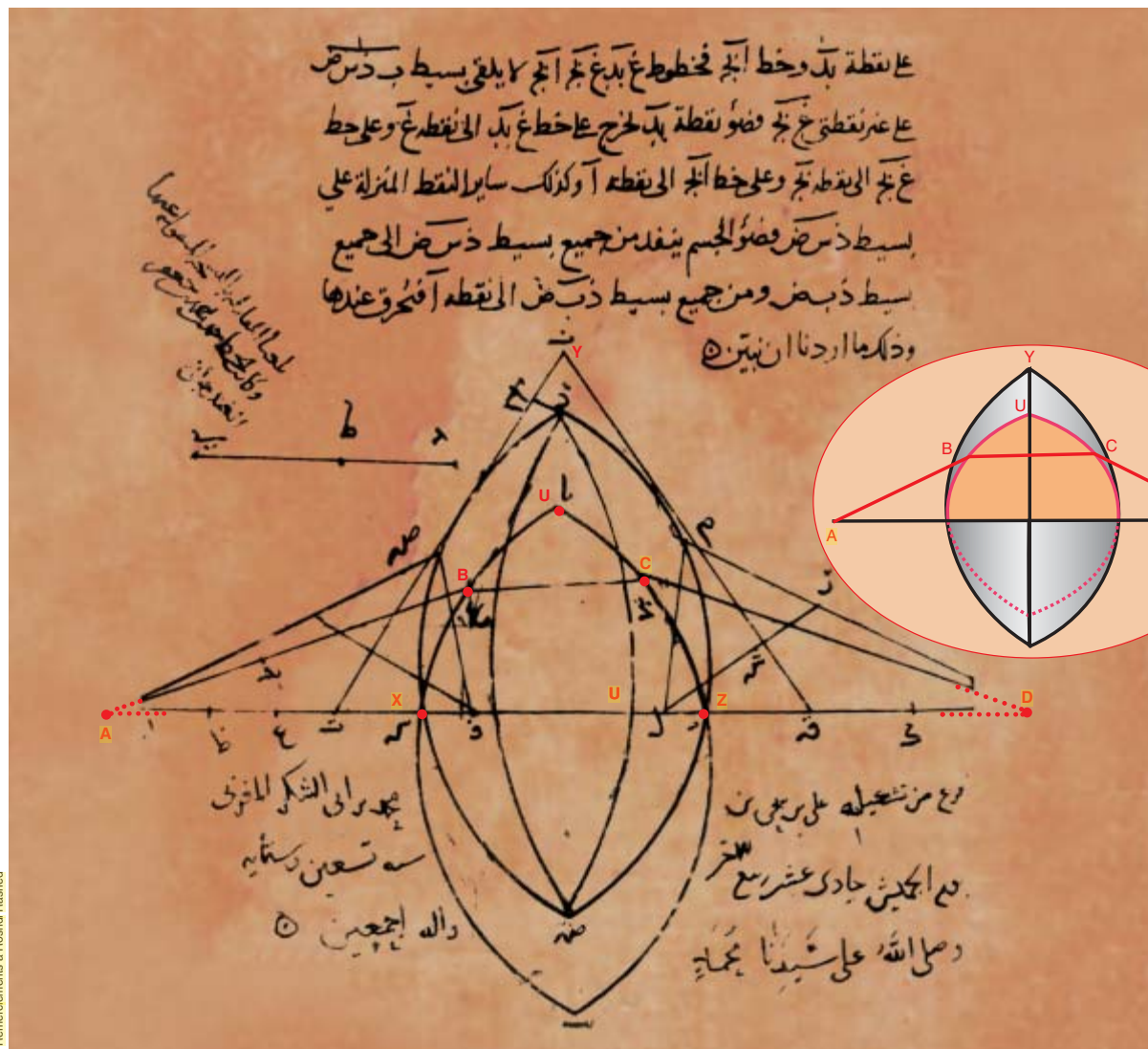




2. Extrait de *Sur les instruments ardents*, d'Ibn Sahl, écrit vers 984. Après avoir énoncé la loi des sinus et avoir étudié la réfraction à travers une surface hyperbolique, Ibn Sahl considère une lentille biconvexe limitée par deux hyperboles. La figure décrit le trajet des rayons lumineux à travers la lentille. Le texte qui l'accompagne démontre qu'un rayon émanant du point A (et tombant en B sur la demi-lentille XYZ) subit une première réfraction qui le

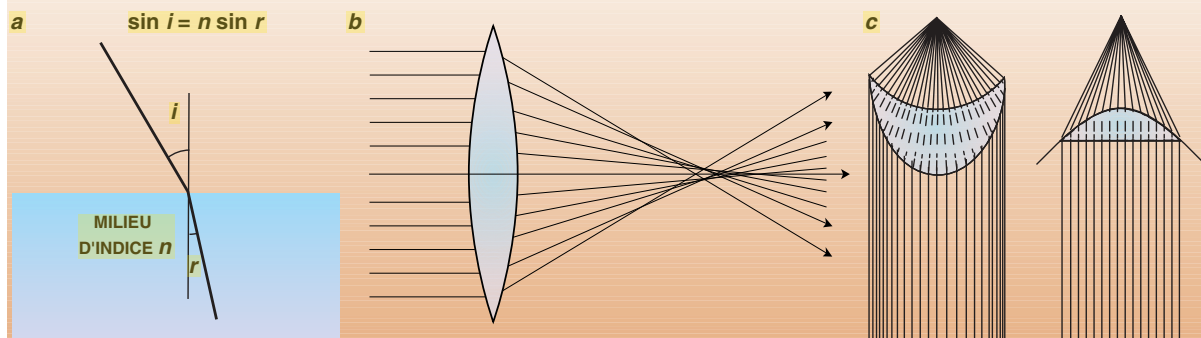
se plaignant que son état de santé l'empêchait de la formuler explicitement sous une forme qui puisse être publiée. Peut-être ne voulait-il pas risquer de s'attirer les foudres du clergé, suspicieux à l'égard des travaux scientifiques. À mesure que la santé de Harriot déclina, la patience de Kepler s'épuisa et ce dernier entreprit d'établir seul la loi de la réfraction. Il observa que lorsque les rayons sont à peu près parallèles à l'axe de la lentille (ces rayons sont dits paraxiaux), l'angle de réfraction est proportionnel à l'angle d'incidence. De plus, il remarqua que le facteur de proportionnalité dépendait des milieux que le rayon traversait. Il appliqua cette approche aux lentilles, puis aux instruments astronomiques. Cependant, cette approximation ne l'amena pas à déterminer les formes des anacastiques, que les scientifiques cherchaient depuis si longtemps.

Outre sa correspondance avec Harriot, Kepler utilisa une autre source d'informations. Dans les années 1600, il avait écrit un traité d'optique astronomique, dans le prolongement de

celui d'un savant polonais nommé Witello. Ce volume était paru en 1270 et contenait aussi l'*Opticae Thesaurus*, un manuel d'optique arabe traduit en latin (mais on ignore par qui). Ce dernier était le *Kitâb al-manâzîr*, écrit au XI^e siècle par le savant arabe Abu ali al-Hasan Ibn al-Haytham, que l'Europe médiévale appelait par la forme latine de son prénom, Alhazen. Ainsi, l'influence d'Ibn al-Haytham en Europe datait déjà de plusieurs siècles : du Moyen Âge à la Renaissance, pratiquement tous les traités d'optique se fondaient sur ses travaux.

L'ÉCOLE ARABE

Contrairement à une idée assez répandue en Occident, les scientifiques arabes n'étaient pas de simples bibliothécaires qui ne faisaient que perpétuer le savoir grec, ils ont largement étendu les connaissances de leurs prédécesseurs antiques dans de nombreuses disciplines. Après une période de traductions



3. Au X^e siècle, Ibn Sahl formula la loi de la réfraction (la déviation d'un rayon lumineux qui passe d'un milieu transparent dans un autre) telle que nous la connaissons aujourd'hui (a). Avec cette loi, il détermina la forme des anacastiques, c'est-à-dire les surfaces des lentilles qui concen-

trent tous les rayons incidents en un point unique. En Europe, où ce savoir avait été perdu, Kepler remarqua que ce n'est pas le cas du cercle (b), mais échoua à découvrir les anacastiques. Descartes les publia finalement dans son *Discours de la méthode* en 1637 (c).

massives des principaux auteurs grecs (Euclide, Héron, Ptolémée, Théon... pour l'optique), qui commence sous la dynastie des Omeyyades, au VII^e siècle, les Arabes s'attachent à rectifier les erreurs contenues dans les œuvres grecques.

Sous le règne des Abbassides, à partir de 750, les califes s'enrichissent grâce au commerce à grande échelle : l'empire est alors au maximum de son expansion géographique, il contrôle les routes terrestres et maritimes vers l'Asie. Émerge alors une classe d'intellectuels qui vivent dans les grandes cités du monde arabe, où se constituent des bibliothèques, comme Damas, Bagdad (la nouvelle capitale) ou encore Le Caire. Les califes abbassides pratiquent une politique de mécénat scientifique systématique, permettant de grandes avancées. En optique, l'œuvre la plus monumentale est celle d'Ibn al-Haytham, mais si importante soit-elle, elle ne surgit pas du néant : ce savant est l'héritier d'une longue tradition de penseurs créatifs. Notamment, il eut trois principaux prédécesseurs dans le monde arabe. Lecteurs critiques de l'héritage grec, ils reprennent les textes qu'ils étaient systématiquement par des expériences.

Le premier, Al-Kindi est irakien et passe la majeure partie de sa vie à Bagdad, où il meurt en 866. Philosophe et savant, il est l'auteur de neuf traités d'optique. Dans l'une de ces expériences, il vérifie (à l'aide d'une planche percée d'un trou par lequel passent les rayons) l'égalité des angles d'incidence et de réflexion par rapport à la normale d'un miroir. Le second, Ibn Luka, est lui aussi irakien. Entre 860 et 895, il traduit des ouvrages scientifiques grecs à Bagdad. Puis, il est appelé en Arménie aux côtés du calife, où il publie plusieurs ouvrages sur la réflexion. Un siècle plus tard, à l'époque du troisième prédécesseur d'Ibn al-Haytham, nommé Ibn Sahl, la configuration politique de la communauté musulmane a changé : la dynastie des Abbassides a périéclité, laissant émerger des seigneurs locaux. Malgré ce morcellement, la politique de mécénat des princes demeure inchangée, assurant ainsi à Ibn Sahl les conditions matérielles nécessaires à la poursuite de ses travaux. Il passe de l'étude des miroirs à celle des lentilles.

L'ERREUR DE PTOLÉMÉE EST PERPÉTUÉE

Vient ensuite Ibn al-Haytham. Né en 965 en Irak, il quitte son pays pour aller s'installer au Caire, où il passera l'essentiel de sa vie, jusqu'à sa mort en 1040. On sait peu de choses sur lui, sinon que son œuvre scientifique est immense, touchant aussi bien aux mathématiques qu'à l'astronomie. L'optique en est la partie la plus marquante : il écrit plusieurs traités spécialisés (sur l'arc-en-ciel, les ombres, les miroirs sphériques...) qu'il synthétise dans le *Kitâb al-manâzîr*.

Ibn al-Haytham distingue l'optique physique géométrique de l'optique physiologique. Pour les auteurs grecs, le mécanisme de la vision était lié à un rayon qui sortait de l'œil et illuminait

l'objet observé. Ibn al-Haytham montre que la lumière possède une existence propre : elle n'appartient ni à l'objet ni à l'individu qui le voit. En optique géométrique, il consacre le septième chapitre du *Kitâb al-manâzîr* à la réfraction. Comme ses prédécesseurs, il adopte une démarche scientifique rigoureuse, fondée sur l'expérimentation et utilise deux lois qualitatives : (1) le rayon incident, le rayon réfracté et la normale au dioptre (la surface entre les deux milieux) sont coplanaires ; (2) le trajet du rayon qui traverse un dioptre dans un sens est le même que celui du rayon qui le traverse dans l'autre sens. Dans un autre traité, intitulé *La sphère ardente*, il étudie les lentilles sphériques en utilisant les tables numériques de l'*Optique* de Ptolémée (du II^e siècle). L'ouvrage grec aborde la réfraction à l'interface air/verre et air/eau, mais les résultats indiqués ne sont qu'approximatifs.

Or, récemment, un manuscrit d'Ibn Sahl qui contient la forme exacte de loi de la réfraction a été retrouvé en partie dans la bibliothèque Milli, à Téhéran, et en partie dans celle de Damas, en Syrie. L'auteur de cette découverte, Roshdi Rashed, spécialiste en histoire des sciences arabes de l'Université Paris VII, avait déjà découvert de nombreux manuscrits importants dans les musées de différents pays du monde arabe. Le traité d'Ibn Sahl, intitulé *Sur les instruments ardents*, a été écrit entre 983 et 985. Ibn Sahl y étudie les miroirs ardents, puis les lentilles ardentes. Pour les lentilles, il a besoin de la loi de la réfraction et commence par faire référence à l'*Optique* de Ptolémée, mais rejette les valeurs numériques proposées par l'auteur. Il s'aperçoit que la notion de milieu a une importance capitale et caractérise chacun d'eux par un rapport constant (l'inverse de l'indice de réfraction du milieu, divisé par l'indice de l'air). Puis, il donne la loi moderne de la réfraction. Enfin, il calcule les surfaces anacastiques que Descartes croyait avoir découvertes. Ainsi, Ibn Sahl devrait être reconnu comme le premier à avoir établi la loi de la réfraction.

Outre le manuscrit original d'Ibn Sahl, R. Rashed a également édité et analysé le septième livre de l'*Optique* d'Ibn al-Haytham. Pourquoi ce dernier n'a-t-il pas repris la forme correcte de la loi de la réfraction d'Ibn Sahl, au lieu de continuer à utiliser les tables de Ptolémée, rejetant ainsi dans l'oubli une loi que les opticiens mettront plus de six siècles à retrouver ? Selon R. Rashed, Ibn al-Haytham, ayant introduit en optique et plus généralement en physique la notion même de preuve expérimentale, a voulu obtenir des valeurs numériques à partir de l'expérience.

Brahim GUIZAL et John DUDLEY sont physiciens au Laboratoire d'optique P.M. Duffieux à l'Université de Franche-Comté.

ROSHDI RASHED, *A pioneer in Anacastics : Ibn Sahl, on Burning Mirrors and Lenses*, Isis, 81 464-491, 1990.

ROSHDI RASHED, *Géométrie et dioptrique au X^e siècle*, Paris, Les belles lettres, 1993.