

# L'Optique Arabe de la période médiévale

## L'exemple d'Ibn al Haytham

Azzedine BOUDRIOUA  
 LPL, CNRS UMR 7538, Institut Galilée, Université Paris 13  
[boudrioua@univ-paris13.fr](mailto:boudrioua@univ-paris13.fr)

Le succès des sciences de la lumière est avant tout le succès du savoir universel et de la connaissance humaine qui se sont construits à travers les siècles ; de nombreuses civilisations et cultures ont apporté leur pierre à l'édifice.

### Dans l'antiquité, la lumière était considérée comme un « Feu »

Dans l'antiquité, la lumière était considérée comme un « Feu » et ce qui intéressait les Grecs n'était pas la lumière mais la vision – d'où le mot optique, du grec *optikos* qui signifie « relatif à la vue ». Deux théories s'affrontaient : la théorie du « feu visuel » ou extramission, et la théorie du « feu externe » ou intromission [1,2]. Dans la théorie d'extramission, on considérait que la vision était assurée par un rayon lumineux émis par l'œil. La théorie de l'intromission quant à elle considérait que les formes physiques ou « simulacres » pénétraient dans l'œil en provenance des objets. Plus tard, les

premiers travaux de l'École d'Alexandrie, et plus précisément ceux d'Euclide (325–265 avant JC), imposent la théorie de l'extramission comme modèle pour l'étude de l'optique. Euclide établit la loi de la réflexion, mais son œuvre est surtout celle d'un géomètre : il se base principalement sur la propagation rectiligne et sur la notion de rayon visuel (à ne pas confondre avec le rayon lumineux tel que nous le comprenons aujourd'hui : « ... le rayon visuel n'est en rien l'équivalent d'un rayon lumineux inversé », écrit G. Simon dans « Archéologie de l'optique » [2]. Trois siècles plus tard, Claude Ptolémée (100-170), un des derniers phares de la science Grecs et dont l'œuvre dans le domaine de l'optique représente une somme de ce qu'on savait de son

temps, considère que la réflexion et la réfraction ont pour conséquence de briser le rayon visuel... Quand le regard se brise sur un obstacle au lieu de poursuivre son trajet en ligne droite, il subit un accident qui le trompe. En somme, la vision peut devenir fautive à cause de la réflexion ou la réfraction.

Ainsi, ce qui intéressait les Grecs n'était pas la lumière mais la vision. L'œil produit la lumière et le rayon visuel est une sorte de prolongement quasi matériel de l'âme pour palper le monde visible, comme le toucher. TeL était l'héritage grec à la veille du moyen-âge qui s'installe en occident. Dans cette longue et tumultueuse période, deux événements majeurs vont bouleverser l'ordre établi : la chute de Rome en 476 et l'avènement de l'Islam (570–632).

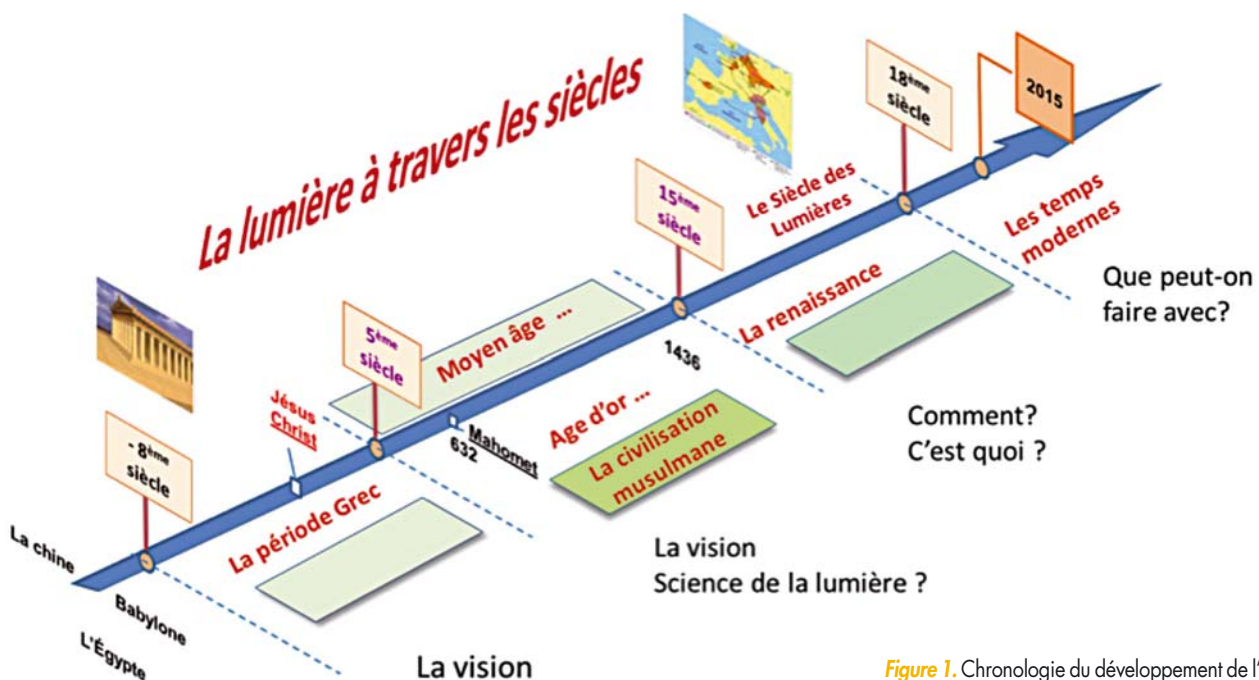


Figure 1. Chronologie du développement de l'optique.

## Qui a découvert la loi de la réfraction ?

Il est établi que la loi de la réfraction était connue par un physicien anglais, un certain Thomas Harriot en 1602, décédé avant de la publier. Le hollandais Willebrord Snell redécouvre cette loi en 1621, mais il ne l'a pas publiée avant sa mort en 1626. René Descartes publie cette loi dans son *Discours sur la Méthode* en 1637. Le physicien français François Arago, fervent patriote, défend que Descartes soit le découvreur de cette loi en se référant aux travaux de Ptolémée. Il écrit ainsi : « ... Quant à la loi mathématique de ces écarts, que l'arabe Alhazen, le polonais Vitellio, Kepler et d'autres physiciens ont cherché en vain, elle est due à Descartes. Je dis Descartes, et Descartes seul ; car, si les revendications tardives de Huygens en faveur de son compatriote Snellius étaient acceptées, il faudrait renoncer à jamais à l'écriture de l'histoire des sciences. » Rebondissement au 20<sup>e</sup> siècle : les travaux de R. Rashed établissent sans équivoque qu'Ibn Sahl a démontré cette loi en 984 [4-6].

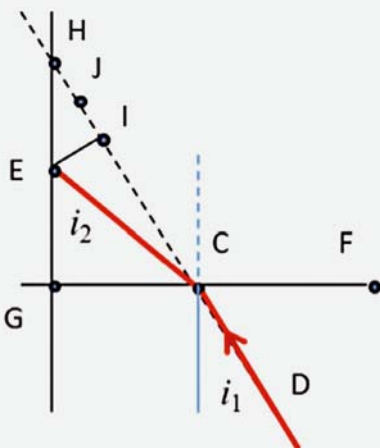


Figure E1. Loi de la réfraction démontrée par Ibn Sahl (984).

$$\frac{CE}{CH} = \frac{CE}{CG} \cdot \frac{CG}{CH} = \frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{CE}{CH} < 1$$

## Ibn Sahl et la loi de la réfraction

Le problème d'Ibn Sahl peut se résumer de la manière suivante : comment focaliser la lumière d'une source par réfraction pour obtenir un point ardent ? Avec une démonstration magistrale se basant sur le rapport entre les rayons lumineux incident et réfracté, il établit que ce rapport est toujours constant (ce rapport est équivalent à l'indice de réfraction du milieu).

## La civilisation arabo-musulmane

Après la mort du prophète de l'Islam en 632, les affaires de la Oumma (nation) ont d'abord été prises en charge par les quatre successeurs (Abou Bakr (632-634), Omar (634-644), Othman (644-656) et Ali (656-661)) considérés par la tradition musulmane comme des saints éclairés. Après eux, la dynastie des Omeyyades s'empare du pouvoir et établit Damas (Syrie actuelle) en capitale de l'empire. De 661 à 750, priorité est donnée aux conquêtes. Profitant de l'affaiblissement de la famille des Omeyyades, sa rivale de toujours, la famille des Banou Abbas, s'empare à son tour du pouvoir califal pour donner naissance à la dynastie des Abbassides dont le règne s'étendra de 750 à 1250 avec comme capitale Bagdad (Iraq actuelle). Avec cette dynastie, c'est l'avènement de ce que l'on peut qualifier de « lumières arabes ».

C'est en l'an 786 que Haroun Al Rashid (littéralement Haroun le clairvoyant) prend les rênes de la nation musulmane et devient calife à Bagdad. Ce fut probablement un de ces grands hommes d'état dont les nations et les sociétés humaines ont besoin pour dépasser les contingences et s'élever à des vérités universelles. Mais c'est à son fils Al Mamun (813) que l'on doit la création de ce qui deviendra l'Université – à savoir la première Bait-el-Hikmat (maison de la sagesse) à Bagdad. Dans un énorme mouvement qui a duré deux siècles environ, les savants musulmans ont d'abord traduit et étudié tous les travaux des penseurs grecs (Aristote, Platon, Archimède, Euclide, Ptolémée), perses ou indiens...

Dans un climat de tolérance et de respect mutuels, savants musulmans, chrétiens et juifs s'attèlent ensemble à bâtir une civilisation éclairée qui s'installe pendant plus de cinq siècles. Hunayn Ibn Ishaq (Isaac) (808-873), chrétien nestorien, savant trilingue (Arabe, Syriaque et Grec), est le parfait exemple de cette dynamique nouvelle. Grand érudit, autorité incontestée pour la traduction des travaux grecs en Arabe avec le Syriaque comme langue intermédiaire, il est aussi l'auteur de 10 traités sur l'œil : il y affirme notamment que l'organe sensible de l'œil est le cristallin localisé au centre du globe oculaire.



Vous pouvez compter sur nos ASSEMBLAGES DE FIBRES OPTIQUES



- Fibres Optiques pour  $\lambda = 190 - 2000 \text{ nm}$
- Diamètre de Coeur: 50 - 2000  $\mu\text{m}$
- Assemblages de Fibres
- Assemblages de Fibres Médicales
- Assemblages de Fibres Fortes Puissances
- Avec Traitements AR

[www.lasercomponents.fr](http://www.lasercomponents.fr)

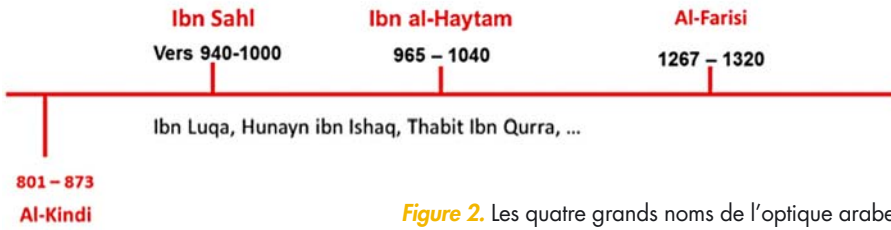


Figure 2. Les quatre grands noms de l'optique arabe.

## L'optique arabe

Quatre noms vont jouer un rôle déterminant : Al Kindi (801–873), Ibn Sahl (940–1000), Ibn al Haytham (965–1040) et Al Farisi (1267–1320) [1]. Vraisemblablement, l'intérêt porté par les savants arabes aux instruments ardents est capital dans le développement de l'optique. La légende selon laquelle Archimède aurait incendié la flotte romaine du Général Marcellus, pour défendre sa cité Syracuse en 212 avant JC, en construisant un miroir pour concentrer la lumière du soleil, était connue de tous. Reproduire cette arme sophistiquée constituait un des objectifs de la recherche sur la catoptrique et l'anaclastique. À noter que l'appellation « optique arabe » se réfère à la langue arabe qui était la langue des sciences de cette époque.

Yaqub Ibn Ishaq Ibn Sabah Al-Kindi (801–873), connu comme le « Philosophe

des Arabes » de la période médiévale et partisan de la théorie euclidienne de l'ex-tramission, propose néanmoins quelques corrections à la notion de rayon visuel [3]. Il écarte une conception purement géométrique de ce rayon : pour lui, ce ne sont pas des droites géométriques mais des impressions produites par des corps à trois dimensions.

Abu Sad Al Alla Ibn Sahl (940–1000), auteur d'un traité sur les instruments ardents vers 984, mathématicien associé à la cour de Bagdad, explique comment les lentilles et les instruments coniques dévient et focalisent la lumière [1,4]. On lui doit deux manuscrits découverts par Roshdi Rashed à Damas (Syrie) et à Téhéran (Iran). Ces livres sont à la fois théoriques et expérimentaux : on y trouve notamment les procédés mécaniques pour le tracé continu des coniques. Pour la première fois, Ibn Sahl étudie les instruments

ardents non seulement par réflexion mais aussi par réfraction. Outre les miroirs ardents parabolique et ellipsoïdal, il étudie les lentilles plan-convexes et hyperboliques biconvexes. Surtout, il caractérise le processus de réfraction par un rapport constant propre aux milieux en présence, ce qui constitue la première divulgation connue de la loi de la réfraction établie cinq siècles plus tard par Descartes.

## Abu Ali al-Hasan ibn al-Hasan ibn al-Haytham

Connu en Europe sous son nom latinisé Alhazen. Les premières études modernes et son identification sont dues notamment à Eilhard E.G. Wiedemann (1852–1928), un orientaliste allemand, physicien et historien des sciences [7]. Mustafa Nazif [8] était l'un des pionniers à se focaliser sur les travaux d'Ibn al Haytham. Roshdi Rashed a également très largement contribué à la mise en valeur et à la diffusion de ses travaux [1-4]. Abdelhamid I. Sabra a réalisé une première édition critique des 3 premiers livres d'Ibn al Haytham, ainsi que la traduction de ces livres en anglais [9].

**Ibn al Haytham entreprend la réforme de l'optique à l'image d'un bâtisseur qui réalise un chef-d'œuvre pour la postérité.**

### L'apport d'Ibn Al-Haytham

| Qu'était l'optique au temps de Ptolémée ?  | Que devient l'optique avec Ibn al Haytham ?   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'optique, science de la vision.</li> <li>• L'optique, science de géomètres.</li> <li>• L'objet de l'optique d'Euclide et de Ptolémée : c'est la vision, et non la lumière.</li> <li>• La lumière est nécessaire à la vision mais elle n'est pas l'entité physique spécifique à laquelle l'organe visuel est sensible.</li> </ul> | <p>L'optique devient la science de la lumière, avec deux parties :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>la théorie de la vision</b> : la physiologie de l'œil et la perception psychologique associées ;</li> <li>• <b>la théorie de la lumière</b> avec l'optique géométrique et l'optique physique. L'optique se base sur le modèle du mouvement de billes solides jetées contre un obstacle, associé à une approche géométrique.</li> </ul> <p><b>L'œil devient un instrument optique, et la lumière une entité physique</b> indépendante de la sensation visuelle.</p> |

Ibn al-Haytham est considéré comme le premier à avoir introduit la « méthode scientifique », très similaire à la méthode scientifique moderne et comportant les étapes suivantes :

- observation,
- définition du problème,
- formulation d'une hypothèse,
- vérification de l'hypothèse au moyen de l'expérimentation,
- analyse du résultat des expériences,
- interprétation des données et formulation des conclusions,
- publication des résultats.

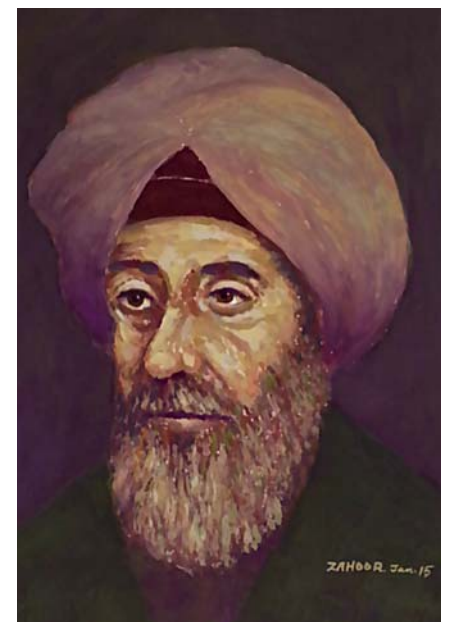


Figure 3. Ibn al Haytham (965– 1040). Peinture par Prof. Zargar Zahoor, Ex-Dean and Head, Faculty of Fine Arts, Jamia Millia Islamia University (India).



**Figure 4.** Selenographia, description of the moon de Johannes Hevelius (1647). Le frontispice présente les deux scientifiques Ibn al Haytham (Alhazen, à gauche) et Galilée (à droite) comme les deux explorateurs de la nature par le biais de la pensée rationnelle (noter le schéma géométrique dans la main d'Ibn al-Haytham) et par l'observation (illustrée en par le télescope dans la main de Galilée).

Il fait partie de ces génies que l'humanité peut avoir à des siècles d'intervalle. Son raisonnement est clair : il rejette les théories grecques, propose un nouveau paradigme et explique la réflexion et la réfraction [1,2]. Pour lui, la lumière est matérielle et se propage avec une vitesse très grande et finie selon des rayons rectilignes. La modification de cette vitesse par les corps rencontrés cause la réfraction : en passant d'un milieu à un autre, la vitesse se réduit si le second milieu est plus dilué, elle augmente s'il est plus dense. Le choc de la lumière et des corps crée la réflexion. Il prend en compte deux éléments dans le mouvement de la lumière : l'un vertical, perpendiculaire à la surface qui sépare les deux milieux et doté d'une vitesse constante ; l'autre, horizontal, parallèle à cette surface et doté d'une vitesse variable. Cette théorie est de conception très moderne... Ibn Al-Haytham a également posé les bases de l'optique moderne

avec son approche expérimentale de la propagation de la lumière.

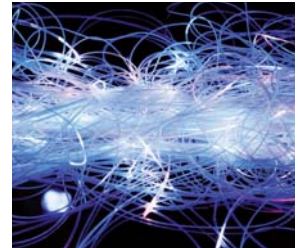
En somme, avec Ibn al Haytham, l'optique n'a plus le sens qu'elle revêtait naguère : une géométrie de la perception. Elle comprend désormais deux parties : une théorie de la vision, à laquelle sont associées une physiologie de l'œil et une psychologie de la perception ; et une théorie de la lumière, à laquelle sont liées une optique géométrique et une optique physique. La lumière existe indépendamment de la vision, elle se meut avec une très grande vitesse finie. Son mouvement ressemble à celui de corpuscules.

L'héritage d'Ibn al Haytham nous a été transmis à travers son œuvre majeure *Kitab al-Manazir* (Le livre de la vision, en sept volumes) qui a été rédigée entre 1010 et 1028. On doit sa première traduction latine sous le titre de *Perspectiva (De aspectibus)* à Gérard de Crémone (1114–1187), un écrivain et traducteur italien de Crémone (Lombardie, en Italie). Sur 14 exemplaires recensés en Europe de la traduction latine, deux se trouvent à Cambridge, un à Édimbourg, trois à Londres, et un à Oxford [10]. Sept en tout – c'est-à-dire la moitié des manuscrits disponibles – sont en Angleterre. Ceci n'est pas étonnant quand on sait que l'anglais John Pecham<sup>1</sup> (1277–1273) en a fait un manuel d'optique pour l'enseignement, dont l'usage s'est prolongé jusqu'à la fin du 16<sup>e</sup> siècle. Il était la référence à l'université de Paris en 1296, disponible à la bibliothèque de la Sorbonne vers 1306 et utilisé comme manuel à Oxford, Cambridge, Canterbury et Merton College vers le 14<sup>e</sup> siècle (Holbrook, 1998).

Cette œuvre, qui s'est transmise en Occident au début du 13<sup>e</sup> siècle, a grandement influencé les travaux sur l'optique de la plupart des savants de la Renaissance [11]. L'un des premiers à avoir étudié et diffusé les travaux d'Ibn al-Haytham est Roger Bacon (1214–1292), qui fut aussi l'un des premiers à prendre conscience de l'importance de l'héritage arabe dans les domaines de la science et de la philosophie. Ainsi également de l'éminent polonais Vitellio (1230–1275)...

<sup>1</sup> « Le texte de Pecham se revendique explicitement de l'optique d'Alhacen qu'il cite nommément et plagie très largement en de nombreux endroits » - Anne Valérie Dulac [10].

**IDIL** SPÉCIALISTE DES TECHNOLOGIES  
FIBRES OPTIQUES ET LASER



## BESOIN D'UNE SOLUTION POUR ORGANISER VOS FIBRES OPTIQUES ?

**IDIL**

**SOLUTIONS STANDARDS  
OU À FAÇON, AU CHOIX.**

L'équipe **IDIL** met à votre disposition de nombreuses compétences techniques.

Bénéficiez d'un service innovant, efficace et minutieux !



**BUNDLE - MATRICE - VGROOVE  
FIBRES LENTILLÉES  
POLISSAGE D'EXTRÉMITÉ DE FIBRE  
CONNECTORISATION...**

**20** **IDIL**  
YEARS OLD | FIBRES OPTIQUES  
System & components for science & industry

**02 96 05 40 20**  
**22300 LANNION**  
[www.idil.fr](http://www.idil.fr)

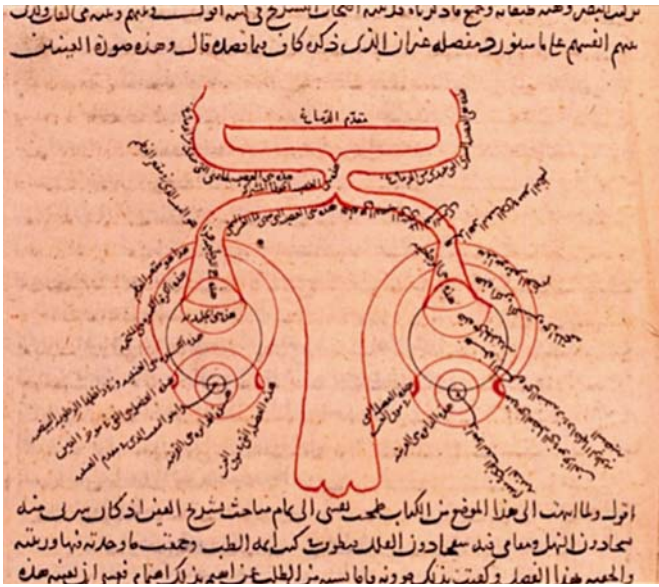


Figure 5. Diagramme du system nerveux et la vision de Kamal al Din al Farisi de son livre Kitab Tanqih al-Manazir li-dhawi al-absar wa-l-basa'ir in qu'il a édité à partir du livre Kitab al Manazir d'Ibn al Haytham. Source : Tanqih al-Manazir, Istanbul, Topkapi Palace Museum Library, Ahmed III, MS 3340, folio 16a.

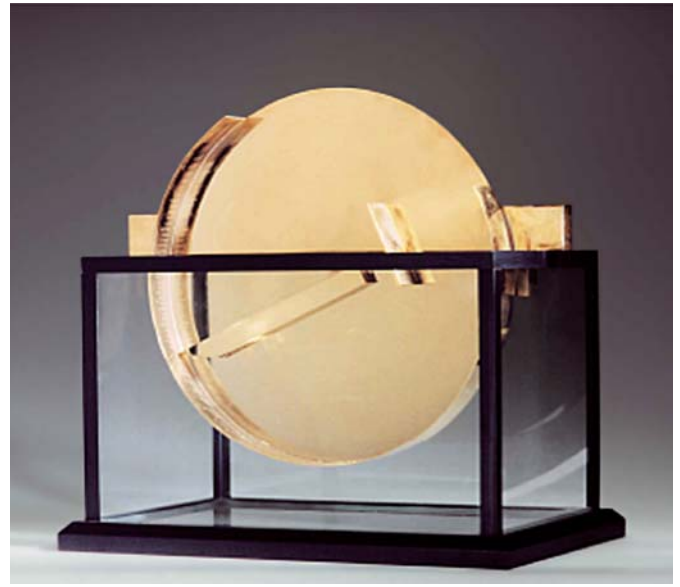


Figure 6. Instrument de mesure de la réfraction de la lumière d'après la description d'Ibn al Haytham (1041). Herausgegeben von Fuat Sezgin, *Wissenschaft und Technik im Islam*, Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften an der Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main (2003).

L'impact de cette optique nouvelle dépasse largement la seule discipline qui vient de naître. Le *Kitab Al Manazir* est imprimé pour la première fois à Bâle en 1572 par Frédéric Risner sous le titre *Opticae Thesaurus*. Jusqu'au 17<sup>e</sup> siècle, Alhazen reste une des références qui inspirent la culture, l'art, la peinture à travers tout le continent européen [12].

Cependant, comme toute théorie nouvelle, celle d'Ibn al Haytham est imparfaite et évidemment incomplète. Un jeune élève du grand astronome et mathématicien Qutb al-Din al-Shirazi, lui-même élève de l'astronome A-Tusi, va entreprendre l'une des missions les plus ardues : la révision du traité de l'optique du Maître Ibn al Haytham [1]. Dans son œuvre *Tanqih Kitab al-Manazir* (la révision du traité d'optique d'Ibn al-Haytham), Kamal Al-Din Al-Farisi (1260–1320), reprend l'étude de la sphère ardente et se focalise sur l'étude de l'arc-en-ciel qui fascinait les opticiens et les érudits de l'époque. Il réalise plusieurs expériences avec une sphère remplie d'eau comme modèle de la goutte d'eau qui lui permettent de donner la première explication correcte de l'apparition des couleurs de l'arc-en-ciel qui sont, pour lui, une fonction de la combinaison de la réflexion et de la réfraction, ou dans ses propres termes : « *Les couleurs de*

*l'arc-en-ciel sont différentes, rapprochées, entre le bleu, le vert, le jaune noirâtre, et proviennent de l'image d'une source lumineuse forte parvenant à l'œil par réflexion et réfraction, ou une composition des deux* ».

Les travaux de ces illustres savants de la période médiévale ont alimenté ceux de leurs successeurs plusieurs siècles plus tard. Descartes (1595–1650), Kepler (1600), Snell (1625), Fermat (1664), Grimaldi (1665), Huygens (1678) et même le grand Newton (1704) ont d'abord étudié l'optique arabe et particulièrement l'optique d'Ibn al Haytham [11].

En conclusion, le savoir universel est le fruit d'une œuvre collective, l'œuvre d'hommes et de femmes à travers les siècles, partout où ils ont eu la curiosité et l'envie de comprendre leur monde. Ce savoir est composé de briques et de strates construites l'une sur l'autre et parfois imbriquées à ne plus se démêler. Connaître cette histoire et redécouvrir les expériences oubliées est un enjeu primordial, et peut donner de l'inspiration et une meilleure compréhension des enjeux du monde présent.

Remerciements

L'auteur exprime sa gratitude au Prof. Roshdi Rashed pour avoir pris le temps de lire et corrigé cet article.

Références

[1] R. Rashed, *Histoire des sciences arabes*, Tome 2, Ed. du Seuil (1997)  
 [2] G. Simon, *Archéologie de la vision : l'optique, le corps, la peinture*, Ed. du Seuil (2003)  
 [3] R. Rashed, *L'optique et la cataoptrique*, Volume 1, Ed. E.J. Brill (1997)  
 [4] R. Rashed, A Pioneer in Anaclastics—Ibn Sahl on Burning Mirrors and Lenses, *ISIS* 81, 464-491 (1990)  
 [5] A. Kwan, J. Dudley, E. Lantz, Who really discovered Snell's law?, *Physics World* L (2002)  
 [6] J. Al Khalili, Advances in optics in the medieval Islamic world, *Contemporary Physics* 56(2), 109–122 (2015)  
 [7] E.G. Wiedemann, [https://en.wikipedia.org/wiki/Eilhard\\_Wiedemann](https://en.wikipedia.org/wiki/Eilhard_Wiedemann)  
 [8] M. Nazif, *Al-Hasan ibn al-Haytham, his optical researchs and discoveries* (2 vols.) (Cairo, 1942-1943)  
 [9] A.I. Sabra, *The optics of ibn al-Haytham* (2 vols.) (London, 1989)  
 [10] A.-V. Dulac, Shakespeare et l'optique arabe, *Actes des congrès de la Société française Shakespeare* (Shakespeare et l'Orient) 27 (2009)  
 [11] D.C. Lindberg, Medieval Islamic Achievement in Optics, *Optics and Photonics News*, 31-35 (2003)  
 [12] C.M. Falco, A.L. Weintz Allen, Ibn al-Haytham's Contributions to Optics, Art, and Visual Literacy, *Painted Optics Symposi*, Florence, September 7-9, 2008