

# Une histoire de l'optique géométrique : quelques jalons.

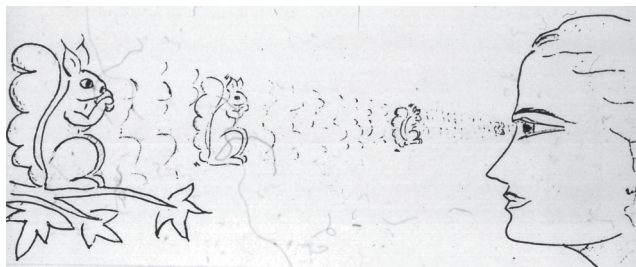
## 1) Des philosophies grecques à Descartes.

**Bernard Maitte<sup>(\*)</sup>**

*Avec les nouveaux programmes de collèges, prônant l'interdisciplinarité, après le sujet de l'agrégation de physique de cette année, qui montre la richesse des méthodes variationnelles pour traiter diverses parties de cette science, il apparaît particulièrement pertinent de montrer l'évolution des idées en optique géométrique, source de collaborations entre les collègues, notamment physiciens et mathématiciens : c'est à quoi s'attache cet article, qui sera publié sur deux bulletins.*

### **Les philosophies antiques bâtissent une optique sans se soucier de ce que sont la lumière et l'œil.**

En optique, la seule question vraiment débattue par les Écoles qui s'affrontent dans le monde grec est celle de la vision. Toutes les réponses apportées reposent sur un socle commun : de même qu'Homère et Hésiode (VII<sup>ème</sup> siècle avant JC) assimilent le visible et le voyant et considèrent que les corps célestes sont doués de la vue du fait même qu'ils répandent de la lumière, tous les philosophes admettent que *seul le semblable peut agir sur le semblable* et considèrent l'œil comme un point. Pour les atomistes, des enveloppes ténues émanent des objets : elles virevoltent en conservant leurs formes, viennent vers l'œil « sous des grandeurs proportionnellement réduites<sup>(1)</sup> », appuient sur l'air en étant inscrites dans des cônes ayant l'œil pour sommet et l'objet pour base (fig. 1) ; ces *écorces* rencontrent d'autres effluves provenant des humeurs internes de l'œil, y laissent une empreinte, un peu comme la cire garde la trace d'un sceau.



Dessin de Jacqueline Maitte-Lobbé

Pour Aristote (384-322), la vision se distingue des autres sens en ce qu'elle permet de voir les couleurs. Pour en rendre compte, il observe les pratiques des peintres et des teinturiers : comme eux, il considère que le blanc est homogène, les

(\*) Professeur émérite à l'université de Lille, 1 sciences et technologies.

(1) Lucrèce, *De Rerum Natura*, IV, 72-112.

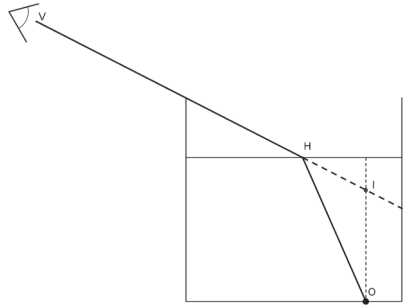
couleurs des mélanges. Il en explique la grande variété par sa philosophie : le monde est constitué de deux régions cosmiques aux propriétés bien différentes. Au centre, siège la Terre – zone de génération et de corruption –, formée de quatre éléments *terre, eau, air et feu* ; autour se situe le Ciel – lieu de perfection –, limité par la *sphère des étoiles fixes*, rempli du cinquième élément, l'*éther*. Une partie de celui-ci pénètre dans notre monde, y emplit les corps : on l'appelle alors le *diaphane*. Quand il n'y a ni regard ni lumière, celui-ci est *en puissance* : c'est le noir, l'absence de visibilité. Quand la lumière et le regard sont présents, le diaphane passe immédiatement en *acte*, donne les différentes couleurs, selon l'illumination subie et les impuretés présentes dans les corps.

Pour les pythagoriciens et Platon (428-348), nous voyons parce que l'œil émet un « feu de la vue » qui rencontre le feu extérieur. Euclide (vers -300), partage cette position, remarque que nous pouvons voir, ou non, une aiguille tombée à nos pieds : c'est que le regard peut se décomposer en *rayons visuels* rectilignes, parfaitement délimités, séparés par du vide. Ils partent de l'œil, vont vers les objets en se répartissant dans un cône, nous permettent de voir des détails très fins. Cette conception lui permet d'écrire une *Optique*<sup>(2)</sup>, dans laquelle il justifie la grandeur apparente des objets par la valeur de l'angle visuel sous lequel on les voit, donne des relations permettant de faire apparaître des proportions agréables là où la perspective introduit des déformations : ainsi les figurations de la colonne Trajane seront-elles exécutées à une échelle plus grande au sommet qu'à la base, donnant une apparence d'égalité entre les différentes parties. Jamais le regard n'aura été à ce point géométrisé. Une *catoptrique* est aussi attribuée à Euclide. L'œuvre, composite, qui nous est parvenue comprend des passages erronés, d'autres certainement dus à Archimède (287-212) : elle donne les lois de la réflexion du rayon visuel sur des plans, des miroirs convexes, concaves, précise les images qu'ils donnent selon la position du point oculaire, permet de construire des miroirs composites (plans, concaves, convexes) donnant plusieurs images, renversées ou non, d'un même objet, montre que les miroirs concaves peuvent concentrer les rayons du soleil en un point où une matière combustible peut être enflammée, le *foyer*, dont il précise la position, distinct du centre de courbure. Cette *catoptrique* envisage aussi la déformation de la vision par la réfraction.

L'optique antique est marquée par trois autres œuvres tardives. Celle d'Archimède est totalement perdue, mais la tradition qui lui fait enflammer la flotte romaine par des miroirs ardents influencera les recherches ultérieures. Ptolémée (90-168), astronome, veut préciser la position des planètes et des étoiles : il tient compte des variations de la visibilité dans l'air en raison de la réfraction, qu'il mesure avec précision avec les instruments de l'astronomie ; il construit (faussement) la place qu'occupe l'objet vu, à l'intersection de la perpendiculaire au plan de séparation des milieux et « dans le prolongement du regard (...) avec l'impression, non que le rayon visuel est brisé, mais plutôt que les choses flottent et s'élèvent jusqu'à lui<sup>(3)</sup> »

(2) Euclide, *L'optique et la catoptrique*, trad. P. Ver Eecke, Paris, Blanchard, 1959.

(3) Ptolémée, *Optique*, livre II, cité par G. Simon, *Le regard, l'être et l'apparence*, Paris, Seuil, 1988, p. 167.



**Figure 2 : Ptolémée, détermination (fautive) de la réfraction. en I à la surface déséparation air-eau. (Schéma de l'auteur). L'objet réel est en O, son image en I. L'objet, posé au fond de la cuve, est situé sur la normale**

L'explication chez Ptolémée n'est plus analogie, comme chez Aristote, ni géométrisation, comme chez Euclide : elle peut faire appel à une certaine expérimentation ; cependant, sa mathématisation ne concerne que les substances les plus parfaites (l'âme, les étoiles, ...) et non les choses terrestres qui en sont indignes : leur optique ne peut être que qualitative. Médecin, Galien (129-216) cesse de considérer l'œil comme un point : il s'intéresse à sa structure, le dissèque après l'avoir fait cuire dans l'eau ; ce faisant, le cristallin, dur et lenticulaire, échappe à la lame et gicle sur le côté : il ne peut être placé. Galien le croit situé au centre de l'œil, rendu sensible par des fluides visuels venant du cerveau par le nerf optique, fait se former sur lui une image de l'objet déterminée par le cône de rayons visuels qui proviennent de celui-ci. Galien marque l'aboutissement de l'optique antique, qui explique la vision sans se soucier de ce qu'est la lumière et fait se rencontrer le regard et les émanations de l'objet vu.

### L'optique en pays d'Islam : premières théories de la lumière.

Après la chute de l'empire romain d'Occident, la religion musulmane s'étend rapidement de Saragosse à Samarkand (VII et VIIIèmes siècles). Un des soucis des cavaliers qui se lancent dans la conquête est de préserver et de revivifier les foyers culturels anciens rencontrés. Avec le développement des villes, des bibliothèques, institutions d'enseignement, se multiplient. Une effervescence intellectuelle se produit. Les érudits commencent par s'approprier les savoirs anciens (grecs, indiens, babyloniens, chinois...), ainsi que les techniques des artisans du « croissant fertile ». Elèves de plusieurs traditions, les savants des pays d'Islam, quelle que soit leur confession (musulmans surtout, mais aussi chrétiens, juifs, païens ...) ne cherchent plus à expliquer seulement l'homme et ses sensations, déterminer le « pourquoi » des choses comme les philosophes grecs, mais constituent aussi des savoirs pratiques, construisent une science profane, écrite en arabe — langue intellectuelle, celle du Coran — : ils vont aller plus loin et ailleurs que leurs prédécesseurs.

En optique, Platon, Aristote, Euclide, Ptolémée, Galien sont traduits en arabe. Dans la filiation de la tradition légendaire d'Archimède, un sujet d'étude concerne les « miroirs ardents ». Al-Kindî (796-873) donne à la lumière une réalité

matérielle : ce faisant, il rompt avec la tradition antique en ne s'intéressant plus à la vision mais aux propriétés d'une lumière matérielle qui se propage selon des *rayons lumineux* venant de la source, peut se réfléchir sur des surfaces de diverses géométries, enflammer dans des conditions qu'il étudie. Ibn-Sahl (940-1000) veut définir les conditions de l'inflammation après la traversée de *sphères ardentes* par la lumière : pour cela, il croise trois traditions, la géométrisation d'Euclide, la mesure des réfractations de Ptolémée, Archimède. Pour faciliter cette recherche théorico-pratique, il utilise des patrons, des gabarits, ce qui l'amène à représenter graphiquement le rapport constant que font ce que nous appelons les sinus des angles d'incidence et de réfraction pour un passage de l'air dans le verre : il trace des rayons réfractés<sup>(4)</sup>.

Ibn al-Haytham (965-1039) se saisit de ces prémices et, dans son monumental *Traité d'optique*<sup>(5)</sup>, développe sur des bases méthodologiques nouvelles une théorie complète de la lumière. Dès les premières lignes de son œuvre, il exprime l'idée qu'elle est indépendante de l'œil, de l'objet vu, du corps lumineux, qu'elle possède une existence propre : il n'est donc pas vain de vouloir déterminer sa nature. Pour ce faire, il observe, précise, mesure, grâce à des appareillages soignés, tous les effets de la lumière : elle se propage selon des droites, se réfléchit, se réfracte avec des angles précis, enflamme, cause l'arc-en-ciel...



**Figure 3 : Tous les effets lumineux selon Ibn al-Haytham.**  
*Frontispice de la « Magie » de Witelo, Nuremberg, 1535.*

Il conjecture que la « plus petite des lumières » se comporte comme un corps pesant : il le vérifie en réalisant des dispositifs expérimentaux permettant, d'une part, de contrôler les propositions de l'optique géométrique, et, d'autre part, de montrer que

(4) Ibn Sahl, *Le livre sur les miroirs ardents*, in R. Rashed, *Géométrie et dioptrique au Xème siècle*, Paris, Les Belles Lettres, 1993. Contrairement à ce qu'y affirme Rashed, Ibn Sahl ne trouve pas la loi de la réfraction : il construit des réfractations particulières à partir d'un rapport constant, mais, il admet le retour inverse,

alors que le passage du verre dans l'air peut provoquer une réflexion totale du rayon lumineux.  
(5) A.I. Sabra, *The Optics of Ibn al-Haytham. Books I, II, III: On Direct Vision*. With Translation, Introduction, Commentary, Glossaries. London, The Warburg Institute, 1989

la lumière peut être assimilée à un mobile. C'est la méthode expérimentale que nous voyons naître sous sa plume : l'usage systématique de procédés empiriques, la combinaison de la logique et des arts mécaniques, le développement de nouveaux rapports entre mathématiques et physique permettent à Ibn al-Haytham de faire de l'expérimentation « une composante à la fois systématique et réglée de la preuve, (à devenir) une catégorie de la preuve »<sup>(6)</sup>. Cette méthode le conduit à formuler une théorie corpusculaire de la lumière grâce à laquelle il déduit l'explication de tous les effets préalablement observés (la réfraction de l'air dans l'eau serait due — c'est une conséquence physico mathématique obligatoire — à une augmentation de la vitesse de la lumière dans ce second milieu). Pour expliquer l'action des sphères ardentes, il invente la chambre noire, y observe et reproduit les chemins optiques de rayons réfractés.

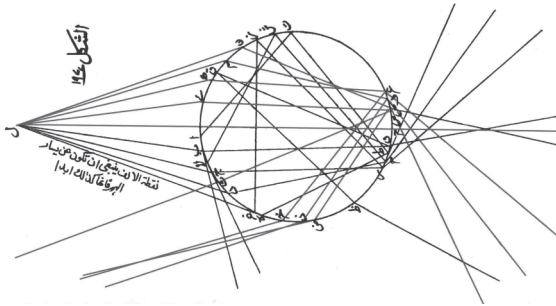


Figure 4 : Rayons réfractés dans une sphère de verre.  
Dessin autographe de Ibn al-Haytham.

Il peut alors s'attaquer au problème de la vision, construit un modèle analogique de l'œil : comme Galien, il place le cristallin en son centre, déduit (donc faussement) l'image virtuelle sur celle-ci (elle n'est pas inversée), sépare les aspects que nous dirions physiques, physiologiques, psychologiques de la vision. L'œuvre d'Ibn al-Haytham est vivement discutée en pays d'Islam : les uns refusent que le mouvement et les mathématiques soient introduits en philosophie, les autres empruntent au monde des techniques et adoptent la méthode hypothético-déductive testée par l'expérience.

### L'optique dans le Moyen-Âge chrétien.

À partir du XII<sup>ème</sup> siècle, le monde chrétien découvre Ibn al-Haytham (appelé en Occident Alhazen) grâce à d'audacieux voyageurs, aux communautés hébraïques fixées dans les deux mondes, par les contacts directs dans les villes limitrophes, par la reconquête de la Sicile (1063) et de Tolède (1085). Les traductions sont nombreuses. Mais les intellectuels latins sont des clercs dont les préoccupations sont toutes autres que celles des savants en pays d'Islam : ils développent leurs activités au sein des monastères, veulent concilier la foi et la raison. Ils le font par de multiples voies mais tous privilégient le raisonnement logique à la méthode expérimentale : celle-ci restera inconnue pendant de longs siècles chez les latins. À Oxford, Robert

(6) R. Rashed, *Entre arithmétique et algèbre*, Paris, Les Belles Lettres, 1984.

Grossetête (1175-1253) se pose explicitement comme héritier d'Aristote et des mécaniciens arabes. Il veut résoudre la contradiction qui fait, dans la Genèse, Dieu séparer le premier jour la lumière des ténèbres et créer les luminaires le quatrième jour seulement : il tient la lumière pour la première forme corporelle créée par Dieu, en un point. Ce point possède la propriété de se dilater et d'étendre instantanément à la fois la lumière fondamentale (le *lux*) et l'espace, selon une sphère. Lorsqu'elle atteint sa limite de ténuité, cette sphère cesse de se dilater. La lumière matérielle (le *lumen*) se rétracte alors, revient au point initial, se dilate à nouveau et ainsi de suite<sup>(7)</sup>. À la quatrième rétractation se forment les planètes et la sphère terrestre, disposées selon le schéma général aristotélicien. Cette métaphysique de la lumière est mise par Grossetête au service des sciences de la nature : il déduit que le monde est plein, identifie le lumen à des battements, analogues aux sons, qui se propagent dans l'éther, applique la géométrie aux sphères, rayons, droites qu'il introduit, rend compte qualitativement des réflexions et réfractions, énonce une première conception « ondulatoire » de la lumière. Witelo (1220-1286) lui préfère les conceptions corpusculaires d'Ibn al-Haytham. Thomas d'Aquin (1228-1274), quant à lui, s'oppose à toute géométrisation : il parvient à concilier la métaphysique d'Aristote et la révélation chrétienne, élabore la belle synthèse que constitue la scolastique thomiste, qui se diffusera surtout à partir de la fin du XIV<sup>ème</sup> siècle, et deviendra l'enseignement officiel de l'Église. Elle fait de la lumière une pure qualité qui représente la perfection de Dieu : elle ne veut être vulgaire, se quantifier. Les lentilles de verre, inventées par des artisans, se diffusent à partir du XIII<sup>ème</sup> siècle, sont utilisées pour « corriger la vue basse », mais, introduisant un artifice devant les yeux, induisant une « vision dépravée », elles sont jugées « indignes de philosophie » : nul n'essaie d'expliquer le principe de leur action, alors que de nombreux documents iconographiques montrent des clercs affublés de lorgnons dès le XIV<sup>ème</sup> siècle<sup>(8)</sup>.

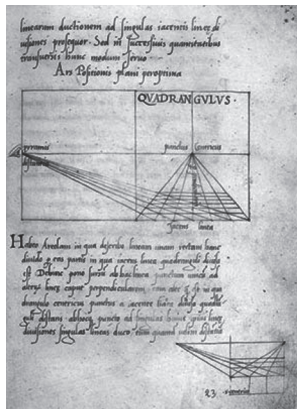
---

(7) Robert Grossetête suit Aristote lorsqu'il considère que nos sens, pouvant être trompeurs, nous permettent la perception de faits. L'induction nous permet de remonter de ces faits à une permanence qui se cache derrière tous les changements observés et demeure constante lorsqu'ils se produisent. C'est la substance des choses. Une fois déterminée, cette substance permet, par la déduction, de prouver que tous les effets observés, les *accidents*, découlent bien de la substance et y trouvent une explication logique. Le *lux* est la substance. La propagation de la lumière, les réflexions, réfractions... sont les accidents, le *lumen*. Cette notion de substance et d'accident aura une importance essentielle après le concile de Trente (1545-1553) : les réformés affirment qu'à la messe, lors de la consécration de l'hostie, le prêtre *symbolise* la Cène : l'hostie et le vin du calice *figurent* le corps et le sang du Christ. Les partisans de Rome soutiennent que le pain et le vin se transforment *réellement* en corps et sang du Christ. Dans ce cas, comme avant et après la consécration, l'hostie et le contenu du calice ont toujours les mêmes apparences et goûts, les accidents sont identiques : ce qui a changé, c'est la substance des choses. Il y a eu *transsubstantiation*. L'Église de Rome sera fidèle à Aristote dont la philosophie peut rendre compte de cette transsubstantiation et condamnera l'atomisme. On pourra cependant trouver des atomistes chez les catholiques (Gassendi) et des partisans du monde plein (Huygens) chez les réformés. Dans sa métaphysique de la lumière, Grossetête s'inspire aussi de Platon et d'Augustin en ce qui concerne l'attention que ces deux auteurs portent à la lumière, qu'elle soit intellectuelle ou matérielle.

(8) Chiara Frugoni, *Le Moyen-Âge sur le bout du nez*, Paris, Les Belles Lettres, 201

## Migration des savoirs et Renaissance.

La fin du Moyen-Âge voit se produire une migration des savoirs dans l'espace profane dont est emblématique l'œuvre de Dante (1265-1321). La philosophie se « déprofessionnalise », peut débattre en langue vernaculaire pour des auditoires laïcs. Les hommes qui accompagnent cette laïcisation de la pensée ont conscience d'être des hommes nouveaux. Le bouleversement majeur est provoqué non par des philosophes, mais par des hommes de pratique et d'action. Les Mécènes ont besoin de réalisations techniques pour le développement du commerce ; ils aiment l'ostentation. À leur cour vivent des hommes spéculatifs, des techniciens, des artistes. De nouvelles pratiques, une nouvelle culture émerge. L'imprimerie induit l'apparition d'un nouveau type d'intellectuel, qui se tourne avec avidité vers Pythagore, Platon, l'alchimie, l'astrologie, décline le *jeu des possibles* pour dépasser Aristote. Une nouvelle « géographie de la pensée » apparaît, tandis que reprend l'expansion européenne. Dans ce contexte, les peintres, architectes, sculpteurs du quattrocento italien substituent aux deux Régions cosmiques d'Aristote (le Ciel, la Terre), un monde unifié et géométrisé grâce aux lois de la perspective. Brunelleschi (1377-1446) représente le baptistère de Florence tel qu'on le voit du Duomo dans sa « Tavoletta », Alberti (1404-1472) dans son *De pictura* introduit l'analyse fonctionnelle de la peinture, veut aller plus loin qu'Euclide, établit les lois de la perspective (à partir de rayons visuels, l'œil étant considéré comme un point), les vérifie « par démonstration », au moyen d'une chambre noire inspirée d'Ibn al-Haytham, donne une base scientifique aux constructions en introduisant une seule relation géométrique entre tous les éléments d'un tableau.



**Figure 5 : Alberti, construction des points de fuite principal et secondaire à partir des rayons visuels partant d'un œil ponctuel. *De pictura* 1436.**

Piero della Francesca (1415-1492) va plus loin encore en ramenant la variété de la nature à la régularité de la géométrie : son œuvre est rendue possible par les travaux de Paolo Toscanelli (1397-1482), qui construit des gnomons, observe des comètes, mesure leurs trajectoires, établit des cartes. Une fois les lois de la perspective établies, les peintres vont pouvoir les transgresser : Leonard de Vinci dessine la première « vision dépravée », une anamorphose, qui aura une descendance féconde.

Marsile Ficin (1433-1499) rédige une *Théologie platonicienne* qui fait de la lumière, la métaphore de Dieu, un « rire du ciel », appartenant à la fois au regard, à la philosophie, révélant le mode d'être des choses : elle donne naissance à l'esthétique, régit un réseau de forces magiques auquel donne accès aussi l'hermétisme (Ficin traduit ce qu'il croit être le livre d'Hermès Trismégiste). La « magie naturelle » se développe : l'optique y permet la relation entre œuvres d'art, savoirs intellectuels et pratiques ; des cabinets d'optique montrant la variété des modes d'obtention d'images déformées et surprenantes sont réalisés : ils obtiennent un grand succès, sont l'objet de toute une littérature. L'Europe entre en pleine fermentation, des hérésies se développent, donnent naissance à la Réforme, puis à la Contre-Réforme, qui, toutes deux, exigent de revenir au sens littéral des Ecritures, un sens que le Moyen-Âge n'avait jamais imposé.

### La naissance de la science moderne.

En 1543, Copernic (1473-1543) publie son *De Revolutionibus...* Il y développe des conceptions qu'il a muries en Italie auprès des perspectivistes et d'astronomes pythagoriciens : son système unifie le monde, place le Soleil au centre, introduit les proportions, décrit comme anamorphoses les observations du ciel faites de la Terre. Mais ses propositions posent plus de problèmes qu'elles n'en résolvent. Le 16ème siècle voit se développer d'intenses disputes sur l'astronomie. Tycho Brahé (1546-1601) construit de très précis appareils d'observations à l'œil nu et, grâce aux mesures optiques et à leurs corrections par l'influence de la réfraction, renouvelle les tables astronomiques, propose un système qui sauve Aristote et tient compte de Copernic.

Galilée (1564-1642), copernicien convaincu, veut répondre à la question : pourquoi un corps tombe-t-il à nos pieds sur une Terre en mouvement ? Il expérimente. Entendant, en 1609, parler d'une lunette d'approche inventée par des artisans hollandais, il s'en fait livrer une, a confiance dans cet instrument, l'améliore, démontre qu'elle fait voir agrandis les objets lointains, la tourne (1610) vers le ciel, interprète ce qu'il y voit (les levers et couchers de Soleil sur la Lune, les taches solaires, les phases de Vénus...) grâce à ses connaissances de perspective, des anamorphoses, de l'optique géométrique (utilisée à partir du rayon visuel, plus pratique à mettre en œuvre, dit-il, que les rayons lumineux), donne les preuves observationnelles de la validité du système de Copernic. Dès lors, il développe la méthode expérimentale, l'applique à l'explication des mouvements locaux, de la résistance des matériaux, s'interroge sur la vitesse de la lumière, affirme que Dieu s'est révélé par ses paroles et par ses actes : les textes sacrés donnent la Foi, ils sont indubitables dans ce domaine, sont muets sur la Création dont nous devons rechercher la logique sans nous appuyer sur la Bible, par l'exercice du raisonnement hypothético-déductif, qui se teste par l'expérience. Ce faisant, Galilée laisse un monde unifié : Dieu l'a écrit en langage mathématique (qui, pour lui, est une géométrie) ; il est connaissable grâce à l'expérimentation.

Kepler (1571-1630) vérifie les observations astronomiques de Galilée. L'ostracisme concernant les instruments optiques ainsi levé, il publie un mois plus tard sa *Dioptrique*, dans laquelle il explique le fonctionnement des lentilles, de la



lunette, propose la réalisation de divers instruments, dont le téléobjectif, qui ne sera réalisé que deux siècles plus tard. Mais Kepler était allé plus loin que ces explications techniques en 1604 dans une œuvre capitale<sup>(9)</sup> : il y avait unifié le *lux* et le *lumen* en la seule lumière, montré qu'il faut raisonner à partir de rayons lumineux, donné un schéma correct de l'œil et de la formation des images sur la rétine, distingué définitivement dans la vision les phénomènes physiques, physiologiques, et cérébraux. Kepler ne serait pas Kepler s'il ne réaffirmerait pas à cette occasion son mysticisme : pour lui la lumière relie la physique à une métaphysique et à une théophanie, est la figure de la Trinité divine, en ce qu'elle se propage d'un centre, le Soleil (le Père), dans un espace intermédiaire (le Saint Esprit), pour atteindre une surface sphérique qui représente le Fils. Mais la clarification des problèmes posés est considérable, l'optique va pouvoir se développer au sein de la « science moderne » et nous permettre de devenir, grâce aux prévisions qu'elle permet, « comme Maître et possesseur de la Nature<sup>(10)</sup> ».

### René Descartes et la loi de la réfraction, Fermat et son principe d'économie.

En 1637, René Descartes (1596-1650) publie son *Discours de la méthode..., plus la Dioptrique, plus les Météores, plus la Géométrie, qui sont une application de cette méthode*<sup>(11)</sup>, pour lui, le monde est unifié, infini, plein, empli de trois éléments, la terre, dont sont faits tous les corps et les planètes, l'*air subtil (éther)* analogue à des petites sphères au contact animées de mouvements circulaires et uniformes, qui s'insinue partout, emplit l'espace, se répartit en tourbillons dont chaque centre est une étoile, cause par entraînement le mouvement des planètes ; le *feu*, encore plus petit, passe entre les sphères de l'éther, se concentre aux coins des tourbillons.

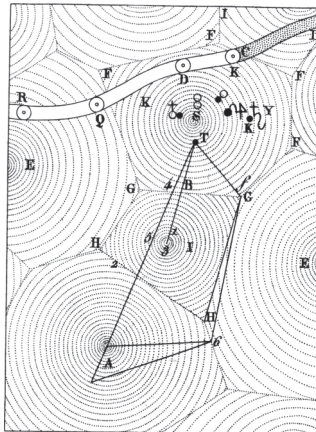


Figure 6 : Les tourbillons de Descartes.

*Le Monde ou le traité de la lumière*, R. Descartes, posthume, 1664.

(9) Johann Kepler, *Ad Vitellionem Paralipomena*, Francfort, 1604.

(10) L'expression est de René Descartes.

(11) René Descartes, *Discours de la méthode et essais*, in *Œuvres de Descartes*, publiées par C. Adam et P. Tannery, t. VI, Paris, Vrin, rééd. 1956.

La physique de Descartes est une mécanique faite de contacts, de chocs, d'entraînements ; elle s'appuie sur une géométrie et retient deux grandeurs pertinentes : l'étendue et le mouvement. Le monde est une immense horloge créée par Dieu : il se repose le septième jour et n'intervient plus dans la physique. La lumière est une pression instantanée qui se transmet par l'intermédiaire de l'éther aux yeux : nous voyons par contact, comme un aveugle sent au moyen de son bâton, les yeux forment une image optique sur la rétine, que le nerf optique transmet au cerveau, y formant une image mentale interprétée par l'âme.

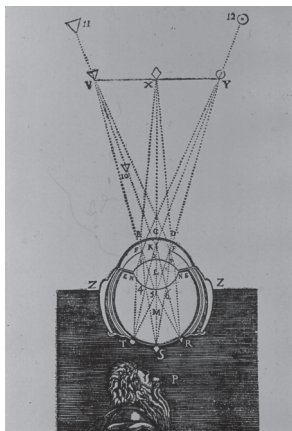


Figure 7 : La vision selon Descartes. *Dioptrique*, 1637.

Les schémas et les distinctions des trois étapes de la vision (physique, physiologique, cérébrale) sont reprises de Kepler « premier maître en optique », ici bien précisées.

La *Dioptrique* est un tout « mêlé de géométrie et de mathématiques », on n'y trouve pas de « géométrie abstraite qui ne sert qu'à exercer l'esprit », mais de la « géométrie concrète » appliquée à la nature, faisant intervenir la métaphysique. Descartes ne va pas « nous dire au vrai quelle est la nature » de la lumière et de ses effets « mais prendre quelques comparaisons, qui nous la feront sentir » : ne nous attendons donc pas à voir exprimée une théorie scientifique. La *Dioptrique* publie pour la première fois la loi de la réfraction : trouvée par Willebrord Snell (1581-1626), celui-ci était mort avant d'avoir terminé l'ouvrage qui l'exprimait. La loi permet à Descartes de tracer exactement le chemin des rayons lumineux dans l'œil, dans l'arc-en-ciel, de fournir une explication géométrique exacte de celui-ci. Mais il compare réflexion, réfraction, couleurs aux mouvements d'une balle qui rebondit sur une surface, traverse une toile, tourne après avoir « été frisée » par une raquette. Pour lui, la réfraction résulte d'une vitesse plus grande dans l'eau que dans l'air, ce qui peut paraître contradictoire avec la conception d'une transmission instantanée de la lumière, mais ce n'est qu'une comparaison...

Pierre de Fermat (1605 ?- 1665) ne souscrit pas à ces conclusions. Il écrit : « la description de la réfraction me semble un véritable paralogisme, premièrement parce que (Descartes) la fonde sur une comparaison et que la géométrie ne se pique guère

de ces figures... deuxièmement parce qu'il suppose que le mouvement de la lumière... dans l'air... est plus... lent que celui qui se fait dans l'eau... ce qui semble choquer le sens commun.<sup>(12)</sup> » et Fermat de chercher « l'explication de la réfraction dans cet unique principe que la nature agit toujours selon les voies les plus courtes », principe théologique : Dieu nous envoie sa grâce, la lumière, par le plus court chemin, aussi doit-elle décrire des chemins optiques tels que son passage se fasse selon un temps minimal. Et Fermat de démontrer géométriquement que pour passer de A dans l'air à B dans le verre, le temps est minimum si le trajet est AOB avec AO plus grand que AC dans le milieu le plus rapide (l'air) et OB plus petit que BC dans le milieu le plus lent (fig. 8).

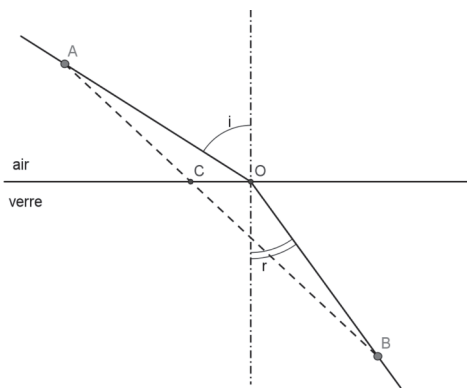


Figure 8 : Principe de Fermat. Schéma de l'auteur.

« Le résultat de mon travail a été le plus extraordinaire, le plus imprévu et le plus heureux qui fût jamais<sup>(13)</sup> » note Fermat : il trouve en effet que les lois de la réfraction de Descartes sont vérifiées si l'on admet que la vitesse de la lumière est inversement proportionnelle à l'indice de réfraction du milieu dans lequel elle se propage, ce que ne voudra jamais admettre Descartes.

Nous verrons que Christiaan Huygens (1629-1695) partagera avec Descartes sa conception du monde plein, emplî d'éther, s'opposera à ses « romans » et comparaisons, suivra Fermat quant à la vitesse de la lumière : avec ces prémisses, il pourra bâtir une théorie géométrique de la lumière qui permettra à l'optique de prendre une place de choix dans le développement de la science moderne. C'est ce que nous montrerons dans un second article.

### Pour aller plus loin :

- Bernard Maitte, *Une histoire de la lumière de Platon au photon*, Paris, Seuil, Science-ouverte, 2015, 392 pages.
- Bernard Maitte, *Histoire de l'arc-en-ciel*, Paris, Seuil, Science-Ouverte, 2005, 316 pages.

(12) P. de Fermat, *Lettre à un destinataire inconnu*, in *Varia opera mathematica D. Petri De Fermat*, Toulouse, 1679.

(13) P. de Fermat, *Lettre à C. de la Chambre*, 1er janvier 1662.