

idem

CHRISTIAAN HUYGENS

Traité
de la lumière

Présenté par Michel Blay

DUNOD

Une première édition de cet ouvrage présentée par
Isabelle Naddéo-Souriau a été publiée chez Dunod éditeur
hors collection.

Illustration de couverture : Clément Pinçon

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du

droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, 1992, 2015 pour la nouvelle édition

5 rue Laromiguière, 75005 Paris

www.dunod.com

ISBN 978-2-10-071680-7

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Présentation de Michel Blay

En 1629, il y a près de quatre siècles, naissait à La Haye aux Pays-Bas, Christiaan Huygens.

René Descartes (1596-1650), alors âgé de 33 ans, abandonne la rédaction de ses *Regulae ad directionem ingenii*⁽¹⁾ tout comme celle d'un traité de métaphysique qui deviendra en 1641 les *Meditationes de prima philosophiae*. En revanche il commence celles de sa *Dioptrique*, de ses *Météores*⁽²⁾ et *Le Monde ou Traité de la lumière*⁽³⁾. Galilée (1564-1642) est déjà dans sa 65^e année. Il vient de publier six ans auparavant à Rome le *Saggiatore*⁽⁴⁾ et s'apprête à rendre publics, en 1632, ses *Dialogo*⁽⁵⁾. Cette publication est suivie en 1633 par sa seconde condamnation (la première date de 1616) et en 1638, quatre ans avant sa mort, par la publication de son ouvrage le plus important, les *Discorsi*⁽⁶⁾.

En 1642, Huygens a 13 ans, Galilée meurt dans sa résidence surveillée de la côte de San Giorgio à Arcetri, Isaac Newton (1642-1727) naît à Woolsthorpe en Angleterre, et Descartes vient d'achever la rédaction en latin de ses *Principes de la Philosophie*⁽⁷⁾.

Ces quelques dates permettent immédiatement de situer Huygens dans son siècle. Ni pionnier, ni véritable fondateur comme Descartes ou Galilée, il est cependant celui qui, par la profondeur de ses recherches et la rigueur de ses écrits, a rendu possibles le développement et la constitution d'une véritable physique mathématique.

Deux traités rédigés sans précipitation et avec un souci exemplaire de leur organisation rationnelle marquent la carrière de ce savant dont l'œuvre est parfois quelque peu négligée : *L'Horologium oscillatorium* publié à Paris en 1673 et le *Traité de la lumière* publié à Leyde en 1690⁽⁸⁾.

Christiaan Huygens naît donc à La Haye le 14 avril 1629 et meurt dans cette même ville le 8 juillet 1695. Il est issu d'une des familles les plus importantes des Provinces Unies, très liée à la Maison d'Orange. Il reçoit une excellente éducation à laquelle participe activement son père Constantijn Huygens. Ce dernier, intéressé par la pensée baconienne et l'avènement de la nouvelle science, est aussi en relations épistolaires avec des hommes comme René Descartes ou Marin Mersenne (1588-1648) le célèbre « secrétaire de l'Europe savante »⁽⁹⁾.

L'aisance financière de la famille, associée à l'extrême compréhension et à l'aide intellectuelle de son père, permettent à Christiaan Huygens de se consacrer entièrement, dès l'âge de 20 ans, à la science. Sa carrière scientifique peut alors être divisée en trois grandes périodes de durées voisines correspondant à ses lieux de résidence successifs : à La Haye chez son père de 1650 à 1666, puis de 1666 à 1681 à Paris à la bibliothèque du roi où il participe activement aux travaux de la nouvelle Académie Royale des Sciences ; enfin, de 1681 à sa mort en 1695, de nouveau aux Pays-Bas entre La Haye et Hofwijck près de Voorburg où il met la dernière main à la rédaction de son *Traité de la lumière*.

La carrière scientifique de Christiaan Huygens

Si la première période de sa carrière scientifique se passe pour l'essentiel à La Haye, les relations de son père dans le milieu de la diplomatie lui permettent à plusieurs reprises de visiter Paris en 1655, 1660-1661 et 1663-1664, ainsi que Londres en 1661. Il y rencontre de nombreux savants comme Blaise Pascal (1623-1662), Ismaël Boulliau (1605-1694), Adrien Auzout (1622-1691), Gilles Personne de Roberval (1602-1675), Bernard Frenicle de Bessy (c. 1605-1675), John Wallis (1616-1703), Robert Boyle (1627-1691), Henry Oldenburg (1617/20-1677), et y constitue, en particulier à Paris, un efficace réseau d'amitiés qui jouera un rôle décisif lors de sa nomination en 1665-1666 à l'Académie Royale des Sciences.

Cette période est aussi la plus féconde de sa vie, celle où il jette sur le papier l'ébauche de ses futurs traités. Huygens, très attaché à donner à ses

découvertes une forme parfaitement achevée, à en rendre totalement raison, n'offre souvent ses résultats aux lecteurs qu'après de longues années de réflexion, voire plusieurs décennies. Par exemple, dès 1652, il s'interroge sur le bien fondé des lois cartésiennes du choc et, en 1656-1657, rédige sa propre théorie du choc élastique dans laquelle il fait un usage systématique du principe de relativité. Ce n'est cependant qu'une dizaine d'années plus tard, en 1669, que Huygens adresse à la Royal Society de Londres, qui avait lancé un concours sur les lois du mouvement, un mémoire en latin rassemblant ses principaux résultats. Il est publié en français dans le *Journal des sçavans* de la même année sous le titre : « Règles du mouvement dans la rencontre des corps ». Une édition définitive de son travail n'est cependant donnée que de façon posthume dans les *Opuscula Posthuma* de 1703⁽¹⁰⁾.

C'est au cours de ces mêmes années 1656-1659 que Huygens obtient ses résultats sur les chutes isochrones ainsi que sur les forces centrifuges⁽¹¹⁾. Sa maîtrise du traitement galiléen du problème des plans inclinés le conduit immédiatement à s'intéresser au mouvement suivant des trajectoires curvilignes. Un profil courbe peut être assimilé à une succession de petits segments rectilignes qui sont comme autant de petits plans inclinés, chacun possédant une inclinaison différente par rapport à une ligne horizontale ou verticale. Huygens parvient au mois de décembre 1659 à ses célèbres résultats sur l'isochronisme de la chute cycloïdale : le temps de chute d'un point matériel sur un arc quelconque de la cycloïde est constant lorsque le point part du repos et que tous les arcs, quelle que soit leur longueur, se terminent au sommet de la cycloïde. Huygens attache à ce résultat et à ses implications techniques la plus grande importance. C'est en effet, dans la construction des horloges, une forme cycloïdale qu'il faut donner aux lames courbes entre lesquelles doit osciller un pendule pour rendre la période des oscillations théoriquement indépendante de leur amplitude. Quant au travail sur la force centrifuge, contemporain des recherches précédentes, il s'inscrit dans le prolongement des analyses cartésiennes présentées publiquement en 1644 dans les *Principes de la Philosophie*⁽¹²⁾.

Huygens obtient alors dès 1659 l'expression quantitative de la force centrifuge. Les Propositions II et III méritent d'être données ici :

« Proposition II. Lorsque des mobiles égaux tournent dans les mêmes ou d'égales circonférences ou roues avec des vitesses différentes mais l'un et l'autre d'un mouvement uniforme, la force centrifuge du plus rapide sera à celle du plus lent dans un rapport égal à celui des carrés des vitesses.

C'est-à-dire si les fils par lesquels les mobiles sont retenus passent de haut en bas par le centre de la roue et qu'ils portent des poids par lesquels la force centrifuge des mobiles est tenue en échec et exactement équilibrée, ces poids seront entre eux comme les carrés des vitesses. »

« Proposition III. Lorsque deux mobiles égaux se meuvent avec la même vitesse suivant des circonférences inégales, leurs forces centrifuges seront inversement proportionnelles aux diamètres, de sorte que dans le cas de la plus petite circonférence la force nommée est la plus grande. »⁽¹³⁾

Ces résultats, comme d'ailleurs ceux sur les chutes isochrones ne sont, avec ceux sur sa théorie mathématique des développées ainsi que sur la période d'oscillation du pendule simple, soumis au public qu'en 1673 dans l'*Horologium oscillatorium*. Il faut encore remarquer qu'en ce qui concerne la force centrifuge, Huygens, dans cet ouvrage, se contente seulement d'énoncer 13 théorèmes relatifs à cette question sans en donner les démonstrations. La publication de ces dernières, remise à une date ultérieure, n'a finalement lieu que de façon posthume dans les *Opuscula Posthuma* de 1703 sous le titre : *De vi centrifuga*. Plus de quarante années séparent donc l'élaboration de la théorie et sa publication !⁽¹⁴⁾

Ce n'est pas tout. Cette première période de sa carrière scientifique voit également la rédaction d'une partie d'un traité de Dioptrique, novateur sur de nombreux points, mais qui, enrichi à de fréquentes reprises, ne sera pas publié de son vivant⁽¹⁵⁾. Ces recherches dans le domaine de la Dioptrique s'accompagnent de la construction d'instruments d'optique plus performants le conduisant à de nouvelles observations comme celle, par exemple, du satellite de Saturne appelé depuis Titan. C'est aussi, sur la base de ces observations, que Huygens résout le problème des « anses » de Saturne décrites par Galilée après 1610 (une représentation est donnée en 1623 dans *Le Saggiatore*, paragraphe 49) en affirmant, dans son *Systema Saturnium* (La Haye, 1659), qu'il s'agit bien plutôt d'un anneau entourant la planète. Cet ouvrage renferme aussi la première observation de la nébuleuse d'Orion et la première véritable détermination des dimensions du système solaire⁽¹⁶⁾. En 1657, Huygens publie également à Leyde un traité consacré à l'aspect mathématique des jeux de hasard : *Tractatus de ratiociniis in alae ludo* dans F. van Schooten, *Exercitationum mathematicarum libri quinque*⁽¹⁷⁾.

À l'occasion de son troisième voyage à Paris en 1663-1664, Huygens noue les relations les plus importantes pour préparer sa venue à l'Académie Royale des Sciences. Alors que la Royal Society de Londres a pris sa forme

définitive en 1660 avant d'être reconnue officiellement par deux chartes octroyées par le roi Charles II d'Angleterre en 1662 et 1663, c'est au cours de l'année 1666 que Colbert, agissant au nom du roi Louis XIV, choisit les premiers membres et élèves destinés à former l'Académie Royale des Sciences. La première séance officielle se tient à la bibliothèque du roi, siège de l'Académie, le 22 décembre 1666.

Huygens, logeant rue de Vivienne, à la bibliothèque du roi, au siècle même de l'Académie des Sciences, touchant le plus gros traitement parmi tous les académiciens, avait été appelé pour jouer dans cette nouvelle institution un rôle moteur. Son action ne fut sans doute pas exactement à la hauteur des espoirs placés en lui. Cependant, sa présence, ses compétences très diverses et sa grande activité contribuèrent à faire de Paris l'un des principaux pôles de la recherche scientifique du dernier quart du XVII^e siècle et à préparer la réussite scientifique française du XVIII^e siècle.

C'est au cours de cette période parisienne de 1666 à 1681, marquée seulement par deux séjours de convalescence aux Pays-Bas de septembre 1670 à juin 1671 et de juillet 1676 à juin 1678, que Huygens va trouver le temps d'élaborer ses œuvres les plus marquantes. Il met définitivement au point l'horloge à pendule et fait paraître à Paris en 1673, avec une dédicace au roi Louis XIV, son *Horologium Oscillatorium*⁽¹⁸⁾. Deux ans plus tard, il invente les montres à ressort spiral réglant. C'est également à Paris que les questions relatives à la théorie de la lumière retiennent son attention. Il dégage en 1677 son principe des ondes enveloppes et rédige la plus grande partie de son *Traité de la lumière*⁽¹⁹⁾. Nous reviendrons en détail sur ces questions dans la deuxième partie de cette introduction consacrée à la science de la lumière au XVII^e siècle.

Les programmes de recherches collectifs de l'Académie, qu'il a rédigés pour une large part, conduisent également Huygens à développer en 1669, à partir de sa théorie de la force centrifuge, un intéressant modèle mécanique de la pesanteur. Son contenu est publié en 1690 avec le *Traité de la lumière* sous le titre : « Discours de la cause de la pesanteur »⁽²⁰⁾. On trouve également à la fin de ce texte les recherches de Huygens sur le mouvement des projectiles dans les milieux résistants. Cette question, qui avait fait l'objet de divers écrits et expériences à l'Académie en 1676-1678 principalement, parvient avec Huygens à une remarquable élaboration théorique dans le cadre des procédures de la géométrie infinitésimale⁽²¹⁾. Huygens, s'appuyant sur les propriétés de la courbe logarithmique, résout, pour l'essentiel, les

problèmes dans les cas où la résistance du milieu est proportionnelle à la vitesse ou au carré de la vitesse du projectile. Cependant, dans le deuxième cas, il renonce à déterminer « la ligne du jet oblique » et note qu'« il est extrêmement difficile, sinon du tout impossible, de résoudre ce problème ». Il sera cependant résolu en mai 1719 par Jean Bernoulli, mais ce dernier dispose alors du nouvel algorithme différentiel leibnizien⁽²²⁾.

En 1681, Huygens regagne, pour des raisons de santé, les Pays-Bas⁽²³⁾. Il se trouve donc à La Haye au moment du changement de la politique française qui suit en 1683 la mort de Colbert. La révocation de l'Édit de Nantes en 1685 lui interdit définitivement de revenir à Paris et d'y poursuivre des recherches.

Huygens ne souhaitait d'ailleurs plus quitter les Pays-Bas. Il ne voyagera qu'une seule fois en 1689 pour se rendre à Londres où il rencontre Newton. Cependant, sa correspondance particulièrement importante et riche sur le plan scientifique souligne à quel point Huygens apparaît aux savants de l'époque comme un maître⁽²⁴⁾.

Au cours des dernières années de sa vie, il donne en 1690, à partir des manuscrits rapportés de Paris, les versions définitives de son *Traité de la lumière* et de son *Discours de la cause de la pesanteur*. Il prépare le manuscrit d'un volumineux traité de Dioptrique et d'un essai de système du monde intitulé *Cosmotheoros, sive de terris coelestibus, earumque ornatu, conjecturæ* qui ne fut publié à La Haye qu'après sa mort en 1698⁽²⁵⁾.

En 1695, le plus grand géomètre du siècle, celui que son père appelait « mon petit Archimède », meurt. Newton vient de publier à Londres en 1687 ses *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* et, en 1684, Leibniz a présenté en quelques pages dans les *Acta Eruditorum* son algorithme différentiel dans un article intitulé : « Nova methodus pro maximis et minimis, itemque tangentibus, quae nec fractas nec irrationales quantitates moratur et singulare pro illis calculis genus ». Une nouvelle période de la science commence⁽²⁶⁾.

Le Traité de la lumière au XVII^e siècle

Lorsque Johannes Képler (1571-1630), prolongeant les études d'Al Hazen (c. 965-1039), de Robert Grosseteste (1175-1253), de John Pecham (c. 1230-1292) et de Witelo ou Vitelion (c. 1230-c. 1285), publie en 1604 à Francfort ses *Paralipomènes à Vitelion*⁽²⁷⁾, les théories de la lumière entrent

dans une ère nouvelle. Dans cet ouvrage, Képler assimile définitivement l'œil à un dispositif optique conduisant à la formation d'une image réelle sur la rétine. L'optique physique acquiert son autonomie ; l'analyse de la lumière devient, en se libérant du problème de la sensation visuelle héritée des Anciens, un véritable objet de recherches⁽²⁸⁾.

Une nouvelle distribution du savoir se met alors en place avec bien sûr les écrits de Képler, mais aussi et surtout avec ceux de René Descartes. Trois champs d'investigation sont maintenant retenus : la nature physique de la lumière, la transmission de l'image rétinienne au cerveau (anatomie physiologie) et la représentation mentale. *Le Traité de la lumière* de Huygens, publié à Leyde en 1690 s'inscrit dans le développement, au xvii^e siècle, du premier champ d'investigation.

Le cadre de la mécanique

Le développement des théories physiques de la lumière au xvii^e siècle est associé à la construction de modèles mécaniques. Ces constructions ont pour objet de répondre à la question : comment expliquer à l'aide des seuls concepts de la physique mécaniste les propriétés connues de la lumière comme la propagation rectiligne, la réflexion, la réfraction ou la genèse des couleurs ?

Bien que le sens général de cette problématique apparaisse déjà dans une page célèbre du *Saggiatore* de Galilée⁽²⁹⁾, c'est avec Descartes d'abord dans *Le Monde ou Traité de la lumière*⁽³⁰⁾ puis dans *Les Principes de la Philosophie*⁽³¹⁾ qu'une approche de type mécaniste a été véritablement mise en place. Ainsi Descartes écrit-il dans *Le Monde* au début du chapitre VI intitulé « Description d'un nouveau Monde ; et des qualités de la matière dont il est composé » :

« Permettez donc pour un peu de temps à votre pensée de sortir hors de ce Monde pour en venir voir un autre tout nouveau que je ferai naître en sa présence dans les espaces imaginaires [...] Et ne pensons pas aussi d'autre côté qu'elle soit cette Matière première des Philosophes qu'on a si bien dépouillée de toutes ses formes et qualités qu'il n'y est rien demeuré de reste, qui puisse être clairement entendu. Mais concevons-la comme un vrai corps parfaitement solide qui remplit également toutes les longueurs, largeurs et profondeurs de ce grand espace au milieu duquel nous avons arrêté notre pensée ; en sorte que chacune de ses parties occupe toujours une partie de cet espace, tellement proportionnée à sa grandeur qu'elle n'en

saurait remplir une plus grande ni se resserrer en une moindre, ni souffrir que, pendant qu'elle y demeure, quelque autre y trouve place. Ajoutons à cela que cette matière peut être divisée en toutes les parties et selon toutes les figures que nous pouvons imaginer ; et que chacune de ses parties est capable de recevoir en soi tous les mouvements que nous pouvons aussi concevoir. Et supposons de plus que Dieu la divise véritablement en plusieurs telles parties, les unes plus grosses, les autres plus petites, les unes d'une figure, les autres d'une autre, telles qu'il nous plaira de les feindre. Non pas qu'il les sépare pour cela l'une de l'autre, en sorte qu'il y ait quelque vide entre deux : mais pensons que toute la distinction qu'il y met consiste dans la diversité des mouvements qu'il leur donne, faisant que, dès le premier instant qu'elles sont créées, les unes commencent à se mouvoir d'un côté, les autres d'un autre ; les unes plus vite, les autres plus lentement (ou même, si vous voulez, point du tout) et qu'elles continuent par après leur mouvement suivant les lois ordinaires de la Nature. Car Dieu a si merveilleusement établi ces Lois qu'encore que nous supposions qu'il ne crée rien de plus que ce que j'ai dit et même qu'il ne mette en ceci aucun ordre ni proportion, mais qu'il en compose un chaos le plus confus et le plus embrouillé que les Poètes puissent décrire ; elles sont suffisantes pour faire que les parties de ce chaos se démêlent d'elles-mêmes et se disposent en si bon ordre qu'elles auront la forme d'un Monde très parfait et dans lequel on pourra voir non seulement de la lumière, mais aussi toutes les autres choses, tant générales que particulières, qui paraissent dans ce vrai Monde. »⁽³²⁾

Pour Descartes, l'essence de la matière, comme il le stipule en 1644 dans *Les Principes de la Philosophie*, consiste « en cela seul qu'elle est une chose étendue en longueur, largeur et profondeur ». La matière n'étant alors autre chose que l'étendue au sens de la géométrie euclidienne, il ne peut y avoir de vide dans la nature. Cela étant, Descartes imagine, dans *Le Monde*, comme dans les *Principes*, que le monde visible est constitué de trois éléments principaux, à savoir le premier élément ou raclure dont les mouvements constituent ce que nous appelons lumière dans les corps lumineux, le deuxième formé de boules rondes ou globules dont le rôle est fondamental dans la transmission de la lumière, et le dernier dont sont constituées entre autres les planètes :

« 52. Qu'il y a trois principaux éléments du monde visible. Ainsi nous pouvons faire état d'avoir déjà trouvé deux diverses formes en la matière, qui peuvent être prises pour les formes des deux premiers éléments du