

L'histoire de l'optique et de la photonique

★ De l'Antiquité au XVIIIème siècle : l'optique géométrique

Elaborée dès l'Antiquité puis affinée au XVIIème siècle, l'optique géométrique propose une analyse mathématique de la lumière, fondée sur quelques principes simples : propagation rectiligne, réflexion, réfraction.

Cependant cette analyse ne suffit pas à expliquer certains phénomènes décelés au XVII ème siècle, comme les couleurs des lames minces ou les effets de la lumière tombant sur un cristal.

☞ *Vers 2.500 avant J.-C.* : Les miroirs de métal poli sont connus depuis longtemps déjà, et l'usage du verre commence à se répandre. Les peuples khmères, chinois et mayas, se livrent à des calculs et inventent des instruments d'observation astronomique des " lumières célestes " .

☞ *V ème siècle av. J.C.* : Selon Platon, les yeux sont de même nature que la lumière du jour : ils forment avec la lumière du jour une substance unique et homogène qui transmet les mouvements jusqu'à l'âme.

☞ *300 av. J.C.* : En Grèce, Empédocle et Euclide posent les fondements de la géométrie optique. Pour Épicure et les atomistes, les objets envoient de fines particules à l'image des objets - ou " simulacres " - qui viennent frapper les yeux. La lumière ne sert qu'à chasser l'obscurité qui fait obstacle à la transmission des simulacres.

☞ *Vers 140 après J.C.* : A Alexandrie, Ptolémée énonce les premières lois de l'optique géométrique (concernant la réflexion) et une ébauche de théorie des lois de la réfraction. Il introduit la notion d'axe visuel, autour duquel la vision se concentre.

☞ *Tournant du premier millénaire* : Héritiers des savoirs de l'Antiquité par la bibliothèque d'Alexandrie, les Arabes approfondissent les travaux de l'Antiquité en matière d'optique. Ibn al-Haytham, alias Alhazen, prend le contre-pied de la tradition : selon lui, le rayon visuel est reçu, et non émis, par l'œil.

☞ Son œuvre inspire, *au XIII ème siècle*, celle d'un moine polonais, Witelo, dit Vitellion.
1285 : Première utilisation de verres correcteurs en Italie.

☞ *1590* : Des opticiens italiens construisent une lunette d'approche.

☞ *Jusqu'au XVIème siècle* : L'optique se limite à des problèmes de géométrie simples, qui rendent compte du fonctionnement d'un certain nombre d'instruments d'optique.

☞ *XVII ème siècle* :

Lois de Snell-Descartes, principe de Fermat.

1604 : Dans son ouvrage *Ad Vitellionem paralipomena* (Paralipomènes à Vitellion), Kepler définit la lumière comme un flux, qui s'étend jusqu'à l'infini, selon des lignes droites nommées rayons. La théorie physique de la lumière fondée sur le concept de rayon lumineux va constituer l'optique géométrique, obéissant à des principes et à des lois mathématiques strictes.

1608 : Le hollandais Lippershey invente un tube optique qui sert de lunette astronomique. L'armée va rapidement se servir de cette invention pour observer les batailles et les mouvements de troupe, et les marins pour repérer la terre et les bateaux.

1609 : A Venise, l'astronome Galilée utilise et perfectionne cette lunette.

1621 : Galilée découvre dans le ciel des choses invisibles à l'œil nu. Snell van Royen et Descartes établissent, sans se concerter, la loi de la réfraction. Descartes publie son résultat en

1636 : En France, le Père Mersenne, ami de Descartes et grand savant, conçoit le télescope à réflexion (utilisant des miroirs et non des lentilles comme les précédents).

1665 : Le Père Grimaldi constate qu'au contour des obstacles ou au bord d'un trou la lumière subit une déformation, et appelle ce phénomène diffraction.

1669 : Un autre phénomène laisse les savants perplexes. Le Père Bartholin a rapporté d'Islande un cristal incolore, qui a la propriété de dédoubler la lumière qui le traverse : l'un des rayons se réfracte suivant la loi de Snell-Descartes, l'autre ne la suit pas. Huygens explique le phénomène en postulant que la lumière est une vibration de haute fréquence qui se propage. Descartes propose la formule de conjugaison des lentilles minces.

Pierre de Fermat énonce un principe essentiel : " Le trajet réellement suivi par la lumière pour se rendre d'un point A à un point B, correspond à un temps de parcours minimum ou, si l'on tient compte de la nature des différents milieux traversés, à un chemin optique minimum ".

Le principe de Fermat contient les postulats fondamentaux de l'optique géométrique et permet de retrouver le principe de propagation rectiligne, le principe de retour inverse et les lois de Snell-Descartes.

☞ XVIIIème siècle

1704 : Isaac Newton publie Optiks, traité d'optique expliquant les principes fondamentaux de la réflexion et de la réfraction. La physique de Newton, fondée sur une conception " mécaniste " de l'univers, raisonne sur des particules de matière, objets ponctuels localisés et discontinus.

*** XIXème et XXème siècle : de l'optique physique à la photonique**

☞ Début XIX ème siècle

1800 : En Angleterre, Thomas Young étudie les phénomènes d'interférences.

1807 : Malus découvre le phénomène de polarisation.

L'optique physique, apparue au XIX ème siècle, repose sur une conception " vibratoire " : elle définit la lumière comme une onde.

Ce modèle électromagnétique peut rendre compte des phénomènes d'interférence, de diffraction et de polarisation.

1818 : Augustin Fresnel explique l'éparpillement de la lumière (ou diffraction) par la nature ondulatoire de la lumière.

1820 : André-Marie Ampère établit les lois des actions réciproques des aimants et des courants.

☞ Fin XIX ème siècle : James Maxwell montre que la lumière est un faisceau d'ondes électromagnétiques se déplaçant dans le vide à la vitesse constante de 300.000 kilomètres par seconde : elle résulte d'une vibration du champ électrique et du champ magnétique en chaque point de l'espace.

Parallèlement (en 1887) : Hertz observe qu'une plaque métallique éclairée par une lumière de courte longueur d'onde émet de l'électricité négative. Cet effet photoélectrique est impossible à décrire dans le cadre d'une théorie ondulatoire.

L'avènement de la physique quantique au début du XX ème siècle et les théories d'Einstein sur le photon donnent un nouvel essor à l'optique.

Aujourd'hui, on considère que la lumière est, comme toute matière, à la fois onde et corpuscule. C'est la manipulation du photon qui donnera naissance, en 1960, au laser.

☞ *Première moitié du XX ème siècle : de la physique quantique au photon*

1900 : L'Allemand Max Planck suppose que l'énergie est " granuleuse ". Plus précisément, elle est " un multiple entier de h multiplié par ν " dans une onde de fréquence ν , ou " h " est la " constante de Planck ".

1905 : Einstein, âgé de 26 ans, va plus loin dans l'interprétation : choqué par la coexistence du continu et du discontinu au sein de la théorie physique, il soutient, dans un célèbre article, que " l'éther n'existe pas ", et que la lumière est composée de particules, quanta d'énergie (ou " photons ", de $\phi\acute{o}s$, la lumière en grec), dont chacune porte une énergie " $h\nu$ ". Ce modèle lui permet d'expliquer l'effet photoélectrique découvert par Hertz en 1887 : chaque électron absorbe un photon et son énergie. En étudiant les propriétés thermiques de la lumière, c'est-à-dire la couleur de la lumière émise par un corps chauffé, il démontre la nature corpusculaire de la lumière, que l'on croyait jusqu'alors d'une nature radicalement différente de celle des particules : tous les objets ont une nature commune. Cet article peut être considéré comme l'acte fondateur de la théorie quantique, même si par la suite Einstein n'en approuvera pas les développements.

1909 : Après avoir analysé les propriétés des fluctuations du rayonnement, Einstein avance l'idée que celui-ci est caractérisé par un " dualisme " de sa nature, à la fois corpusculaire et ondulatoire.

1917 : Einstein énonce la théorie de l'émission stimulée de radiations lumineuses (qui donnera naissance au laser).

1921 : Einstein reçoit le prix Nobel de physique.

1922 : Louis de Broglie énonce la dualité onde-corpuscule de la matière.

1923 : Les quanta de lumière prennent officiellement le nom de photons.

1925 : Naissance de la physique quantique moderne. Niels Bohr, Erwin Schrödinger, Paul Dirac en sont les principaux pères fondateurs. Renonçant à la loi classique de la continuité, la physique quantique affirme que les échanges d'énergie entre lumière et matière s'effectuent par paquets discontinus (les quanta, du latin quantum quantité). Chaque élément d'un rayonnement (lumière, ondes radios, rayons X...) est porteur d'un quantum d'énergie associé à sa fréquence. Tandis que la physique classique distingue deux entités fondamentales, les particules ou corpuscules, sortes de billes microscopiques, et les ondes, qui se propagent dans l'espace à l'image des vagues sur la mer, la physique quantique associe, paradoxalement, du continu (une onde) et du discontinu (une particule). En fait, pour la physique quantique, les objets ne sont ni des corpuscules, ni des ondes, mais " autre chose ".

1927 : Le tout jeune Paul Adrien Maurice Dirac énonce la théorie quantique complète de la lumière.

1929 : Broglie obtient le prix Nobel.

1933 : Dirac obtient le prix Nobel.

1950 : Alfred Kastler découvre le pompage optique, à la base du maser et du laser.

1954 : Le premier générateur de rayonnement mettant en œuvre " l'émission stimulée " est créé aux Etats-Unis par Townes. C'est un générateur micro-onde à ammoniac, dit maser.

☞ *Depuis 1960 : laser, fibre optique et photonique*

Puis, dans les années 70, apparaît la fibre optique.

La photonique est désormais omniprésente dans la recherche scientifique et dans la plupart des technologies.

1960 : Aux Etats-Unis, le physicien Theodore Maiman réussit à dompter l'incohérente lumière naturelle et crée le premier générateur de rayonnement optique cohérent ou laser : c'est une révolution dans la maîtrise de la lumière. Depuis, de nombreux lasers ont été conçus (voir Laser).
Début des années 60 : Charles K. Kao décrit les applications pratiques des communications fondées sur la fibre optique en remplacement des fils de cuivre en téléphonie.

1964 : Nicolay Basov, Aleksandr Prokhorov et Charles Townes obtiennent le prix Nobel pour l'invention du maser et du laser.

1966 : Alfred Kastler obtient le prix Nobel.

Années 1970 : Introduction des fibres optiques.

1970 : Robert D. Maurer et l'équipe de chercheurs de la société Corning conçoit et produit la première fibre optique industrielle.

1971 : Dennis Gabor lance l'holographie.

1974 : John B. Macchesney, avec ses collègues du Bell Laboratories d'AT&T, met au point un procédé qui permet de développer la production de masse de fibre optique.

1981 : Début de la spectroscopie par laser.

1991 : Fabrication du premier cristal photonique.

Début 1999 : Plus de 215 millions de kilomètres de fibre optique sont installés dans le monde, soit l'équivalent de 280 allers-retours de la Terre à la Lune.

1999 : Création d'Opticsvalley.

****XXIème siècle : siècle de la lumière, triomphe de l'optique***

La lumière, par l'entremise des technologies de l'optique, jouera un rôle encore plus déterminant dans tous les secteurs d'activités : technologies de l'information et de la communication, environnement, science biomédicale, procédés industriels, recherche scientifique.

Devenue l'une des pierres d'assise de la nouvelle économie, la photonique génère une grande activité, et l'on estime qu'elle sera la prochaine industrie à atteindre un trillion de dollars.

Le Laser

Apparu en 1960, mais préfiguré par Einstein au début du XXe siècle, le LASER (abréviation de l'anglais Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) désigne une amplification lumineuse puissante obtenue à partir d'une manipulation du photon.

Les lasers jouent un grand rôle dans les domaines de l'industrie, du commerce, des loisirs et de la médecine.

** Un peu d'histoire*

1905 : Einstein dégage l'existence du photon. C'est une énergie ou un rayonnement qui peut être excité dans certaines conditions. Aussitôt, les scientifiques pressentent que si l'on parvient à le maîtriser, on pourra se servir de ce rayonnement.

1917 : Einstein énonce la théorie de l'émission stimulée de radiations lumineuses.

1954 : Le premier générateur de rayonnement mettant en œuvre " l'émission stimulée " est créé aux Etats-Unis, par Charles Townes. C'est un générateur micro-onde, qui fonctionne au gaz ammoniac, dit maser (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation).

1957 : Gordon Gould invente le mot " laser " et le laser à gaz.

1960 : Le premier générateur de rayonnement optique cohérent ou laser est créé par Maiman. Constitué d'un barreau de rubis synthétique aux faces polies, entouré d'une lampe hélicoïdale, il suscite une lumière cohérente rouge. Après quelques années et l'intervention de fonds militaires, naissent les premières applications (perçage, découpage, soudage). Parallèlement se développent de nouveaux types de laser : laser Hélium-Néon, laser CO₂.

1967 : L'équipe du physicien Jacques Beaulieu met au point le laser le plus puissant du monde. Excitant les molécules de CO₂ par des électrodes situées non pas aux deux extrémités d'un long tube, comme on le faisait alors, mais de façon transversale, le laser de Valcartier pulvérise des records d'intensité, de longueur et d'efficacité.

1969 : Laser à rubis militaire, télémètre, mesure de la distance Terre-Lune.

Années 70 : Avec la découverte d'autres applications pour le laser comme l'holographie, le grand public prend conscience de sa puissance et de son intérêt. De nouveaux lasers apparaissent.

1972 : Laser designator, guerre du Viêtnam.

1983 : Premier missile équipé de laser.

1986 : Programme Guerre des Etoiles aux USA.

1987 : Gordon Gould fait breveter son laser à gaz, conçu en 1957.

1990 : Lancement du télescope Hubble. Lasers à impulsions ultra-brèves. Un procédé nouveau, appelé frittage sélectif au laser, est mis au point : ce système de "fabrication assistée par ordinateur" permet de produire des dessins de prototypes par une superposition rapide de couches de plastique ou de métal fondu à l'aide d'un rayon laser.