

Lumière et électromagnétisme au prisme de l'amitié entre Fresnel et Ampère

Edmond Amouyal (edmond.amouyal@polytechnique.edu)

Directeur de recherche émérite au CNRS

Laboratoire des Solides Irradiés (CEA/DRF/IRAMIS, CNRS, École polytechnique)

École polytechnique, Route de Saclay, 91128 Palaiseau Cedex

La théorie ondulatoire de la lumière d'Augustin Fresnel et celle de l'électrodynamique d'André-Marie Ampère sont les fruits d'une véritable collaboration – peu connue – entre deux savants, courageux face aux tenants des théories dominantes, fidèles en amitié et géniaux. Elles constituent deux des plus grandes découvertes scientifiques du XIX^e siècle, survenues durant l'*admirable tempus* 1815-1820.

Brève histoire de la lumière, une histoire millénaire

La lumière intrigue et fascine depuis la nuit des temps. Dès le VI^e siècle avant notre ère, les philosophes grecs se sont interrogés sur l'origine et la nature de la lumière. Leur première préoccupation a été d'expliquer le phénomène de la vision. Pythagore (vers 570 - vers 495) introduit le concept de rayon visuel : la lumière est émise par l'œil en ligne droite. Un siècle plus tard, Empédocle (490–435) considère que la vision est due à une interaction entre les rayons visuels émis par l'œil et les rayons lumineux provenant du soleil ou de tout autre source lumineuse. Pour Démocrite (vers 460-vers 370), selon qui toute la matière est constituée de petits corpuscules insécables, les *atomes*, « voir signifie recevoir un reflet de ce qui est vu ». Ce reflet constitué d'atomes, se détache de l'objet éclairé et se propage dans le vide jusqu'à l'œil. Aristote (vers 384-vers 322) rejette cette conception

corpusculaire et discontinue des atomistes, ainsi que le concept de rayon visuel. Il suppose l'existence d'un milieu intermédiaire transparent et continu entre l'objet et l'œil, le *diaphane*, une émanation de l'*éther*. Sous l'action de la lumière, le diaphane entre instantanément en mouvement et permet à l'objet éclairé de transmettre sa forme et sa couleur. C'est Euclide qui invente vers l'an 300 avant notre ère le mot « optique » et introduit le concept de cône visuel qui a l'œil pour sommet et l'objet pour base. Il est le premier à traiter mathématiquement un phénomène naturel, ce qui fait d'Euclide le précurseur de l'optique géométrique. Après le déclin des civilisations grecque et romaine, ce n'est qu'au début du XI^e siècle, qu'un savant arabo-persan, Alhazen (Ibn al-Haytham) rejette le concept de rayon visuel. Il considère que la lumière réfléchiée par l'objet se propage de l'objet à l'œil. La lumière se libère ainsi du phénomène de la vision et devient elle-même un sujet d'étude.

Au XVI^e siècle, l'Europe connaît un renouveau artistique et scientifique. D'importants travaux scientifiques vont suivre, en particulier ceux de Kepler (1571-1630), Galilée (1564-1642), Thomas Harriot (1560-1621), Willibrord Snell (1580-1626) et René Descartes (1596-1650). En 1611, Kepler montre que les rayons lumineux se focalisent sur la rétine de l'œil et non sur le cristallin comme l'avait avancé Alhazen, et que l'image de l'objet est inversée sur la rétine. Puis c'est Descartes qui énonce clairement en 1637 les lois de l'optique géométrique, ce qui en fait une science exacte. Il considère la lumière comme une « *tendance au mouvement* », sans transport de matière. Mais, pour expliquer la réflexion de la lumière, Descartes est amené – de même qu'Alhazen – à faire l'analogie avec une balle qui rebondit sur un plan, ce qui suggère que la lumière est de nature corpusculaire, comme le concevaient les atomistes grecs. Dans ses travaux publiés en 1665, après sa mort,



© Photo E. Amouyal

1. Buste d'Augustin Fresnel à Broglie, son village natal.

Francesco Maria Grimaldi (1618-1663) découvre la diffraction de la lumière, c'est-à-dire la déviation des rayons lumineux quand ils rasant le bord d'un obstacle opaque : la lumière contourne les obstacles ! Ses travaux et ceux de Christian Huygens (1629-1695) militent en faveur de la conception ondulatoire de la lumière. Pour expliquer la récente découverte de la double réfraction du spath d'Islande, Huygens considère, en 1678 (*Traité de la lumière*, publié en 1690), que la lumière émise par une source ponctuelle est une perturbation longitudinale d'un milieu élastique mal défini qu'il appelle éther — comme Aristote —, et qu'il suppose remplir tout l'espace. Dans les milieux homogènes et isotropes, la lumière s'étend de proche en proche « *par des surfaces et des ondes sphériques* ». Cette hypothèse lui permet de rendre compte de la propagation en ligne droite des rayons lumineux, d'expliquer les lois de la réflexion et de la réfraction de Descartes. Contrairement aux Grecs anciens, Huygens — en s'appuyant

sur « *l'ingénieuse démonstration* » d'Olaf Römer (1644-1710) — propose aussi que la lumière se déplace avec une vitesse finie et très élevée, comme le pressentait d'ailleurs Galilée. C'est la naissance de la théorie ondulatoire de la lumière.

À la même époque, Isaac Newton (1642-1727), s'oppose à cette théorie ondulatoire. Dans une expérience remarquable à l'aide de prismes, il montre que la lumière blanche du soleil comporte les sept couleurs de l'arc-en-ciel. Pour l'expliquer, il considère en 1704 que le rayon lumineux est constitué de sept petits corpuscules de différentes tailles et de différentes masses, qu'il attribue aux sept couleurs. Il explique non seulement la dispersion des couleurs par le prisme, mais aussi la propagation de la lumière, sa réflexion sur un plan et la réfraction, mais pas vraiment la diffraction découverte par Grimaldi. Pour rendre compte de la réfraction dans un milieu dense comme l'eau, contrairement aux conclusions de Huygens mais comme Descartes, il déduit de sa loi de

l'attraction universelle que la lumière se propage plus rapidement dans l'eau que dans l'air. L'aura de Newton est telle qu'il va imposer, durant plus d'un siècle, son approche mécaniste de la théorie corpusculaire de la lumière. Difficile de contester la superbe théorie de ce géant de la physique !

Mais l'hypothèse ondulatoire de la lumière renaît avec les expériences de Thomas Young (1773-1829). En 1801, Young observe par diffraction à travers deux fentes, ses fameuses franges d'interférences, alternance de franges brillantes et sombres. Cette observation lui permet alors d'expliquer très simplement les expériences de Grimaldi (diffraction par une seule fente) et celles de Newton (anneaux colorés) s'il considère uniquement que la lumière est de nature ondulatoire, mais Young ne le démontre pas ! C'est Augustin Fresnel qui, en 1815, publie la première démonstration rigoureuse, mathématique, de la théorie des ondes de lumière.

Augustin Fresnel (1788-1827) et André-Marie Ampère (1775-1836), deux amis

Augustin Fresnel (fig. 1) est né le 10 mai 1788 à Broglie (Eure) dans le château des ducs de Broglie. Sa mère, Augustine Mérimée, est la fille de l'intendant du maréchal Victor de Broglie. Son père, Jacques Fresnel, est un architecte renommé. À seize ans, Augustin intègre l'École polytechnique. En 1809, il est ingénieur des Ponts et Chaussées de département. Mais son

travail administratif l'ennuie, alors que les sciences l'attirent. En 1814, il adresse à son professeur à l'École polytechnique, André-Marie Ampère, son premier travail scientifique qu'il intitule « Réveries ». Ampère n'y prête pas attention. Fresnel se tourne alors vers François Arago (1786-1853), qui l'encourage à s'orienter vers l'optique. Mais, opposant de Napoléon, Fresnel est suspendu de ses fonctions d'ingénieur et assigné à résidence en 1815, pendant la période des Cent-Jours. Il mettra à profit cette période pour approfondir ses connaissances en optique et faire quelques expériences. Il retrouve ainsi

les résultats de Young (qu'il ne connaissait pas) et observe comme lui des franges de diffraction avec très peu de moyens : « *Je me suis servi d'un globule de miel déposé sur un petit trou fait à une feuille de cuivre* », pour obtenir une source ponctuelle de lumière. Une goutte de miel comme lentille ! De retour à Paris, Fresnel adresse à l'Académie des sciences, le 15 octobre 1815, son premier mémoire sur la diffraction de la lumière. Coup de génie ! Il émet l'hypothèse que la lumière est de nature ondulatoire, et il attaque d'emblée la théorie corpusculaire de Newton. Ampère, newtonien comme tous les savants de l'époque, est convaincu et séduit par la rigueur mathématique de la démonstration du jeune Fresnel. Il en est tout retourné. C'est de là que date leur amitié. C'était aussi — et c'est peu connu — une véritable collaboration scientifique entre eux,

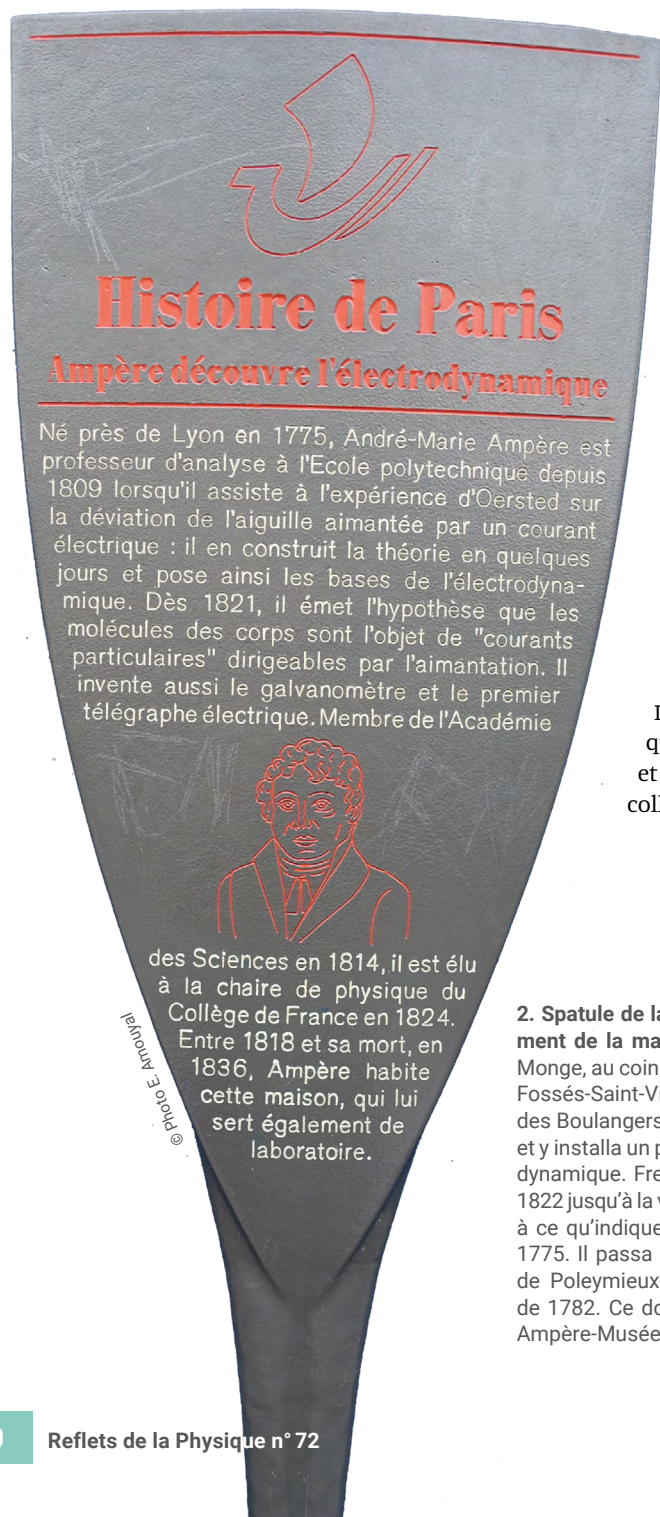
nourrie d'échanges d'idées et d'entraides dans leurs expériences. Ils partageaient cette amitié et cette complicité avec Arago, qui les soutiendra en maintes occasions.

Fresnel et Ampère étaient amis, alors que leurs caractères étaient très différents. Ampère était un homme simple et bon, bienveillant, naïf, hyperactif, polymathe, tourmenté, mystique, romantique, un amoureux fou, un poète, un étourdi dont la distraction était proverbiale. Fresnel était timide, modeste, très croyant, ingénieux, persévérant, de frêle constitution, c'était un « *honnête homme* ». Ce qui rapprochait Ampère et Fresnel, c'était leur foi profonde, leur inimitié vis-à-vis de Napoléon et surtout le besoin viscéral de la recherche scientifique. De plus, Fresnel devint le locataire de la maison qu'Ampère avait achetée en 1818, et dont l'emplacement (fig. 2) se situait au niveau actuel du 29 bis rue Monge à Paris, juste derrière l'ancien emplacement de l'École polytechnique. Ampère y aménagea un petit laboratoire, dans lequel il fera sa géniale découverte de l'électrodynamique.

Théorie ondulatoire de la lumière et lentilles de Fresnel

Ampère a été séduit par la théorie ondulatoire de la lumière de Fresnel, car Fresnel calcule mathématiquement les franges de diffraction et d'interférences et explique, dès 1815 dans une série mémorable d'articles, non seulement la diffraction et les interférences (non expliquées par la théorie de Newton), mais aussi la réflexion et la réfraction de la lumière. Pour la réfraction, il fait une hypothèse particulièrement intéressante : « *Je tire de cette théorie une conséquence absolument opposée à celle de Newton : c'est que la marche de la lumière est plus lente dans le verre que dans l'air, suivant le rapport du sinus de réfraction à celui d'incidence* ». Les expériences d'Hippolyte Fizeau (1819-1896) en 1849, et de Léon Foucault (1819-1868) en 1862, en déterminant une vitesse de la lumière de l'ordre de 300 000 km/s dans l'air plus grande que dans l'eau, confirmeront l'hypothèse de Fresnel. La théorie ondulatoire de Fresnel est cependant fortement contestée par les newtoniens, en premier lieu Pierre-Simon de

2. Spatule de la mairie de Paris indiquant l'emplacement de la maison d'Ampère à Paris, au 29 bis rue Monge, au coin de la rue du Cardinal-Lemoine (rue des Fossés-Saint-Victor à l'époque d'Ampère) et de la rue des Boulangers. Il y vécut de 1818 à sa mort en 1836, et y installa un petit laboratoire où il découvrit l'électrodynamique. Fresnel devint le locataire d'Ampère vers 1822 jusqu'à la veille de sa mort en 1827. Contrairement à ce qu'indique la spatule, Ampère est né à Lyon en 1775. Il passa son enfance dans le domaine familial de Poleymieux-au-Mont d'Or, près de Lyon, à partir de 1782. Ce domaine accueille aujourd'hui le Musée Ampère-Musée de l'Électricité (voir article p. 28).



Laplace (1749-1827) et Siméon-Denis Poisson (1781-1840). Ce dernier émet une objection embarrassante : d'après la théorie de Fresnel, les calculs des ondes diffractées par un disque opaque indiquent qu'il devrait exister une tache brillante au centre de l'ombre portée par le disque sur l'écran. Cela paraît impossible ! Pour confronter les deux théories, l'Académie des sciences lance en 1817 un concours sur la diffraction de la lumière. Ampère va pousser Fresnel à concourir. Et c'est Arago — avec l'aide de Fresnel et d'Ampère — qui fera l'expérience en 1819. La tache brillante prédite par Poisson apparaît. Fresnel et sa théorie l'emportent et ébranlent fortement la théorie corpusculaire de Newton. Son Mémoire, soumis le 29 juillet 1818, sera couronné par l'Académie des sciences.

Fresnel continue de mener de front ses recherches théoriques et son travail d'ingénieur des Ponts et Chaussées. Nommé en juin 1819 à la Commission des Phares où ses connaissances en optique et son génie font à nouveau merveille, il invente rapidement les lentilles à échelons pour équiper les phares. Ces fameuses lentilles de Fresnel sont constituées d'éléments annulaires de prismes de verre placés de façon concentrique et disposés en échelons, ce qui permet d'alléger grandement le poids du verre des lentilles et de mieux concentrer la lumière, tout en augmentant sa luminosité et sa portée. Le phare de Cordouan en sera le premier équipé en 1823. Sa luminosité est cinq fois plus grande et sa portée passe de 10 km à 50 km ! Ces lentilles — toujours utilisées dans le monde entier — ont permis de sauver de nombreuses vies en mer. Elles trouvent, encore aujourd'hui, bien des applications, en particulier dans les panneaux photovoltaïques et les centrales solaires pour concentrer les rayons du soleil, en microscopie X et en imagerie.

Théorie de Fresnel, la contribution d'Ampère

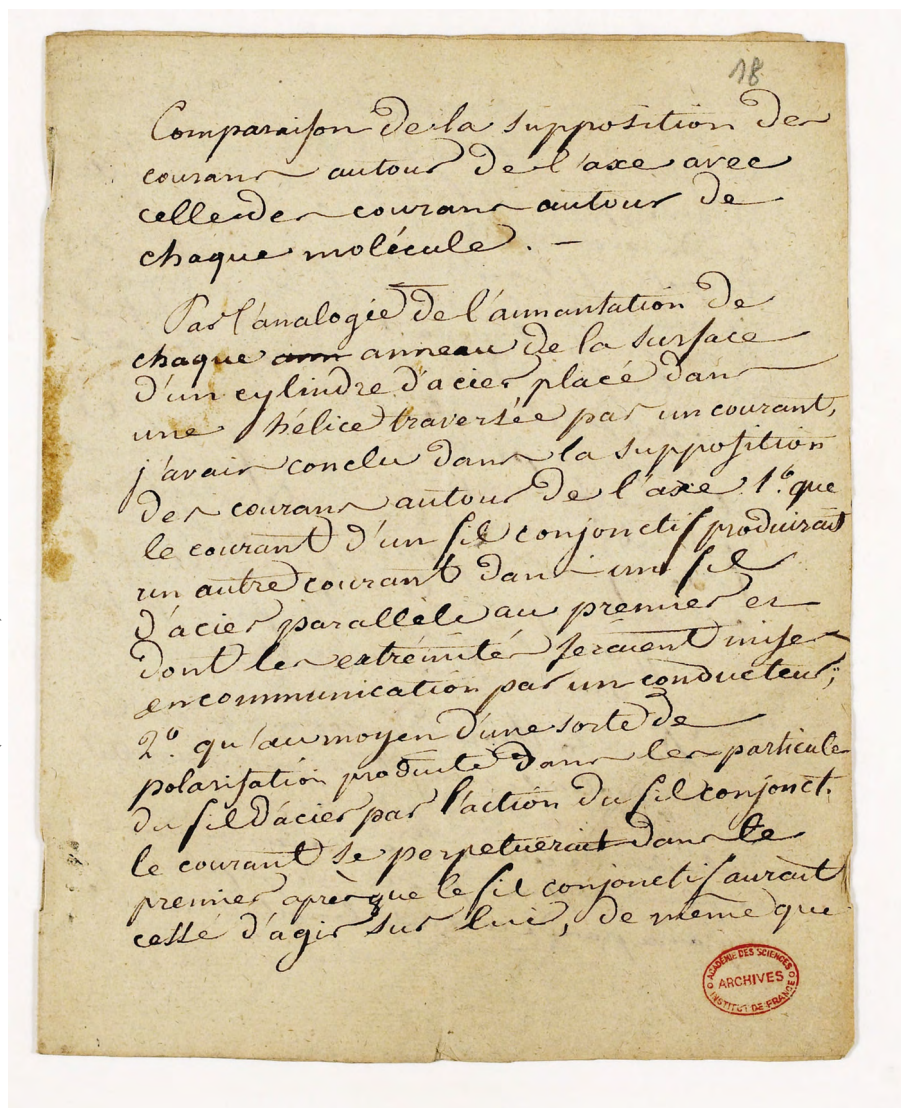
L'amitié et l'échange d'idées entre Fresnel et Ampère se confirment lorsque Fresnel s'attaque au problème de la polarisation de la lumière par réflexion, découverte en 1808 par Étienne-Louis Malus (1775-1812). La lumière naturelle n'est pas polarisée :

“ [Pour expliquer la polarisation de la lumière par réflexion, Ampère suggère à Fresnel] d'envisager une hypothèse révolutionnaire, celle d'une vibration lumineuse purement transversale. Tout s'éclaire ! ”

elle vibre dans toutes les directions le long de son chemin de propagation. Elle est polarisée lorsqu'elle vibre dans une direction fixe. Les explications de Malus et celles des autres newtoniens sont peu convaincantes. Fresnel applique alors sa théorie en faisant l'hypothèse d'une onde lumineuse longitudinale, donc vibrant dans le plan de propagation de la lumière. Cependant, il ajoute dans ses calculs théoriques une petite contribution de vibrations transversales perpendiculaires à la direction de propagation. Mais cela ne rend pas vraiment compte de ses résultats expérimentaux. Ampère lui suggère d'envisager une hypothèse révolutionnaire, celle d'une vibration lumineuse purement transversale. Tout s'éclaire ! Fresnel observe ainsi des franges d'interférence, avec deux ondes lumineuses polarisées dans des plans orthogonaux à la direction de propagation. Aucun savant de l'époque, y compris Arago, ne cautionne cette hypothèse de rupture. Fresnel publie en 1820 une revue complète de sa théorie ondulatoire de la lumière. Il nomme polarisation rectiligne ce phénomène pour le distinguer des phénomènes de polarisation circulaire et elliptique qu'il est le premier à expliquer. Dans son « Mémoire sur la double réfraction » de 1824, il tient à préciser : « on a cru utile d'insérer dans ce Mémoire une démonstration complète de la direction transversale des vibrations lumineuses, parce que c'est sur ce principe que repose la théorie de la polarisation et de la double réfraction ». C'est le triomphe de Fresnel et de sa théorie. Merci Ampère !

Ampère et l'électromagnétisme, la contribution de Fresnel

Ampère et Fresnel étaient deux amis, et leur collaboration scientifique n'était pas à sens unique. Fresnel aidera expérimentalement Ampère et lui fera des suggestions théoriques. Après que Arago — en présence d'Ampère — a reproduit l'expérience de Hans Christian Oersted (1777-1851) à l'Académie des sciences, qui suggère qu'il existe un lien entre les phénomènes électriques et magnétiques (déviation de l'aiguille aimantée d'une boussole, placée parallèlement à un fil conducteur rectiligne, dès que ce fil est parcouru par un flux électrique fourni par une pile de Volta), Ampère, dans un éclair de génie, en fournit l'explication sept jours plus tard, le 18 septembre 1820. Dans un continuel balancement entre expérience et interprétation théorique, Ampère crée en quelques mois l'électrodynamique pour la différencier de l'électrostatique, et jette les bases de l'électromagnétisme. Il montre que deux fils conducteurs parallèles se comportent comme des aimants : ils s'attirent ou se repoussent selon le sens du courant. Il part de l'idée simple qu'électricité et magnétisme sont la manifestation d'un même phénomène, et que le magnétisme est dû au phénomène électrique. Pour la première fois, il est démontré mathématiquement que deux phénomènes qu'on croyait indépendants sont liés. Il montre aussi que le phénomène est un flux électrique continu et non discontinu, contrairement aux convictions des



3. Note de Fresnel trouvée dans les documents d'Ampère, après la mort de ce dernier, en 1836.

newtoniens, et il est le premier à nommer ce flux « courant » électrique. Notons que, par une approche newtonienne, son concurrent Jean-Baptiste Biot (1774-1862) présentera le 30 octobre 1820 une loi donnant le champ magnétique créé par un fil électrique.

La plus importante suggestion de Fresnel porte sur la nature du courant électrique. Ampère pensait que les courants électriques sont macroscopiques et qu'ils circulent à la surface de l'aimant autour de son axe. Fresnel lui soumet l'idée de courants microscopiques, qui se manifestent à l'intérieur de l'aimant autour des particules métalliques de cet aimant. Ampère finira par adopter fin 1823 cette hypothèse révolutionnaire et visionnaire de Fresnel. On retrouvera

deux notes de Fresnel, dont l'une datée de juin 1821, dans les papiers d'Ampère après sa mort en 1836. La première note s'intitule : « Comparaison de la supposition de courant autour de l'axe avec celle de courant autour de chaque molécule » (fig. 3), et la seconde : « Deuxième note sur l'hypothèse des courants particuliers », c'est-à-dire de courants liés aux molécules de l'aimant et qui se manifestent au niveau intime de la molécule. On sait, depuis la théorie de Paul Langevin (1872-1946) en 1905, qu'il s'agit des électrons : « J'ai voulu montrer ici comment la théorie des électrons, si féconde par ailleurs, permet de préciser et d'unifier les conceptions relatives au magnétisme en donnant pour cause aux courants particuliers

d'Ampère les électrons en mouvement périodique à l'intérieur des molécules, qui peuvent, suivant les éléments de symétrie qu'elles possèdent, avoir un moment magnétique résultant nul ou différent de zéro. » Ampère, en observant la « production de courant électrique par influence » en 1822 avec Auguste de la Rive (1801-1873), aurait pu découvrir le phénomène d'induction électromagnétique, mais il n'a pas persisté et c'est à Michael Faraday (1791-1867) que revient la gloire de cette magnifique découverte en 1831.

Lumière et électromagnétisme après Fresnel et Ampère

Fresnel et Ampère ont semé des graines de lumière et de matière qui ont porté de nombreux fruits, dont la théorie de James Clerk Maxwell (1831-1879) qui unifie l'électricité, le magnétisme et... la lumière, géniale intuition d'Ampère présentée à Lyon, en décembre 1801, lors d'une réunion de la Consulte de la République Cisalpine. Maxwell conclut, en effet, que la lumière est une onde électromagnétique dans laquelle le vecteur champ électrique et le vecteur champ magnétique oscillent à la même fréquence et se propagent à la vitesse de la lumière le long de l'axe de propagation, tout en restant perpendiculaires entre eux. En 1886, les travaux d'Heinrich Hertz (1857-1894) vont étendre le spectre visible de la lumière au-delà de l'infra-rouge, et ceux de Wilhelm Röntgen (1845-1923) en 1895 au-delà de l'ultraviolet.

Jusqu'à la fin du XIX^e siècle, la nature d'onde électromagnétique de la lumière était largement acceptée. Mais, en 1900, Max Planck réintroduit l'aspect corpusculaire en physique théorique, en considérant qu'à l'échelle atomique, l'énergie prend des valeurs multiples d'une quantité minimale qu'il appelle *quantum d'énergie*. Cette hypothèse géniale n'est pas acceptée par le monde scientifique de l'époque, sauf par un expert du Bureau fédéral suisse des brevets de Berne, Albert Einstein (1879-1955). En 1905, Einstein publie cinq articles qui vont révolutionner la science et marquer la naissance de la physique quantique. Dans le premier, Einstein va s'inspirer de l'hypothèse de Planck en avançant le concept de quantum d'énergie associé aux ondes

électromagnétiques de la lumière, le *quantum de lumière*, et il l'applique pour interpréter trois phénomènes : l'ionisation des gaz, la photoluminescence et l'effet photoélectrique. Ce dernier effet, inexpliqué par la théorie ondulatoire de la lumière, avait été observé initialement en 1839 par Edmond Becquerel (1820-1891), puis en 1887 par Hertz. Il rend compte du fait que la lumière, au-dessus d'une certaine fréquence seuil, peut extraire des électrons d'une surface métallique pour générer un courant électrique. En 1926, G. N. Lewis nommera *photon* le quantum de lumière. Il est intéressant de noter que dans son quatrième article intitulé "Zur Elektrodynamik bewegter Körper", Einstein s'est fortement inspiré des travaux de Maxwell sur les ondes électromagnétiques et leur propagation. Dans cet article, il tente de concilier l'électromagnétisme et la mécanique pour jeter les bases de la théorie de la relativité restreinte. Il en déduit, entre autres résultats surprenants, que la vitesse de la lumière dans le vide est une constante fondamentale, et qu'on ne peut la dépasser.

Ainsi, certains phénomènes, comme l'effet photoélectrique, ne peuvent s'expliquer que par la théorie corpusculaire de la lumière, tandis que d'autres, comme la diffraction et les interférences, ne peuvent s'interpréter que si la lumière est de nature ondulatoire. Pour Einstein, les deux concepts coexistent : la lumière est duale, onde et particule en même temps. C'est seulement en 1977 que J. Kimble, M. Dagenais et L. Mandel prouveront expérimentalement et sans ambiguïté que le photon est une particule, résultat confirmé élégamment par Alain Aspect et Philippe Grangier en 1986 en utilisant des sources de photons uniques. Elle leur a permis d'observer des franges d'interférences, apportant ainsi la preuve expérimentale de la dualité onde-particule de la lumière pour un photon unique. Rappelons aussi qu'auparavant, en 1982, par une expérience remarquable, la même équipe a mis à profit l'intrication quantique de deux photons corrélés pour un test fondamental de la mécanique quantique.

Entretemps, en 1924, Louis de Broglie, dans sa thèse de doctorat, reprend l'idée de dualité d'Einstein et fait l'hypothèse révolutionnaire de la nature ondulatoire de l'électron, et il étendra cette idée à toute la matière. Surprenant clin d'œil de l'histoire des sciences, un siècle après la publication de la théorie — toujours valable — des ondes de lumière par Augustin Fresnel qui, rappelons-le, est né dans le château des ducs de Broglie, c'est Louis de Broglie, descendant de cette famille, qui étendra cette théorie ondulatoire à toute la matière.

Rêveries

Ampère et Fresnel, ces géants de deux des plus grandes découvertes du XIX^e siècle, durant l'*admirable tempus* 1815-1820, ont incarné toute leur vie la curiosité scientifique et le goût de l'innovation. Ils ont dû, l'un et l'autre, faire face aux préjugés et au scepticisme des partisans de la théorie de Newton. C'est leur amitié, leur complicité et leur véritable collaboration scientifique qui les ont aidés à surmonter ces difficultés. La tuberculose qui a emporté prématurément Fresnel en 1827, à 39 ans, a interrompu la collaboration exceptionnelle de ces deux génies. Que de choses ils auraient pu accomplir encore et ensemble ! Comme un dernier hommage à Fresnel, Ampère publiera en 1828, un mémoire intitulé « *Démonstration d'un théorème dû à M. Fresnel pour déterminer la vitesse de la lumière suivant les rayons vecteurs de la surface de l'onde* ». Curieusement, en cette année fatale de 1827, l'état de santé d'Ampère va également se dégrader, et une infection pulmonaire finira par l'emporter en 1836.

Malgré les avancées scientifiques extraordinaires du XX^e siècle, avec les théories de la relativité, les théories quantiques, dont l'électrodynamique quantique c'est-à-dire la théorie de l'interaction électromagnétique de la lumière avec les charges électriques, l'histoire de la lumière, de l'électricité et de l'électromagnétisme n'est pas terminée ! Si Ampère et Fresnel étaient parmi nous aujourd'hui, ils pourraient rêver et s'exclamer avec Hubert Curien : « *Je voudrais revenir sur Terre un instant, dans mille ans, juste le temps de voir ce que trente générations de savants auront su découvrir, et entendre ce que des hommes de science seront alors en humeur de dire.* » ■

“ Ampère et Fresnel, ces géants de deux des plus grandes découvertes du XIX^e siècle..., ont incarné toute leur vie la curiosité scientifique et le goût de l'innovation.”



- 1• A. Fresnel, *Œuvres complètes*, publiées par H. de Senarmont, E. Verdet et L. Fresnel (Eds), Imprimerie impériale, Paris (1866-1870), 3 volumes.
- 2• E. Amouyal, "Ampère and Fresnel: shedding light on two geniuses with shared destinies", dans *Impressionism between art and science. Light through the prism of Augustin Fresnel (from 1790 to 1900)*, G. Mourou, M. Menu, M. Preti and E. Amouyal (Eds), Hermann, Paris (2020) 53-79.
- 3• R. Locqueneux, *Ampère, encyclopédiste et métaphysicien*, EDP Sciences, Les Ulis (2008).
- 4• S. Haroche, *La Lumière révélée. De la lunette de Galilée à l'étrangeté quantique*, Odile Jacob, Paris (2020).
- 5• A. Aspect, "John Bell and the second quantum revolution", in J.S. Bell, *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*, Cambridge University Press, seconde édition (2004).
- 6• A. Kastler, « Ampère et les lois de l'électrodynamique », *Revue d'histoire des sciences* 30 (1977) 143-157. Voir d'autres articles sur Ampère, publiés par cette revue en 1977 et 1978.
- 7• « Centenaire d'Augustin Fresnel », *Revue d'optique théorique et instrumentale* 12 (1927). Numéro entièrement consacré, à cette occasion, aux manifestations organisées en octobre 1927 par la Société française de Physique, présidée alors par Louis Lumière. Voir les conférences de C. Fabry, 12 (1927) 517-533 ; P. Zeeman, 12 (1927) 541-551 ; L. de Broglie, 12 (1927) 552-569.
- 8• C. Brezinski, *Ampère, Arago et Fresnel. Trois hommes, trois savants, trois amis : 1775-1853*, Hermann, Paris (2008).