

Il y a cent cinquante ans, James Clerk Maxwell publiait son article phare sur l'électromagnétisme et perceait le secret de la lumière. La face du monde allait en être à tout jamais changée.

Les Echos 5 janvier 2015

Pour orner les murs de son bureau, Albert Einstein avait choisi les portraits des deux génies qui avaient selon lui le plus profondément bouleversé la physique de leur temps et notre vision du monde. L'un était celui de l'Anglais Isaac Newton, père de la loi sur la gravitation. L'autre, de l'Ecosse James Clerk Maxwell, qui légua à l'humanité la théorie de l'électromagnétisme avant de mourir à l'âge de quarante-huit ans en 1879 - l'année de naissance d'Einstein. Un joli symbole que cette coïncidence de date puisque la théorie de la relativité plonge justement ses racines dans celle de Maxwell, qui l'a précédée et préparée.

C'est dans le numéro du 1er janvier 1865 des « Philosophical Transactions » de la Royal Society que Maxwell publie son troisième et dernier article phare sur l'électromagnétisme, parachevant ainsi l'oeuvre commencée une dizaine d'années plus tôt, dès sa sortie du Trinity College de Cambridge. « *Depuis les années 1820-1830 et les travaux pionniers du physicien français André Marie Ampère et de son confrère d'outre-Manche Michael Faraday, les "savants" soupçonnaient l'existence d'un lien entre l'électricité et le magnétisme* », rappelle Michel Ney, professeur à l'Institut Mines-Télécom. De même qu'un courant électrique circulant dans un fil de cuivre engendre alentour un champ magnétique capable de faire bouger l'aiguille aimantée d'une boussole, de même, inversement, un aimant en mouvement engendre un champ électrique qui se traduit par l'apparition d'un courant dans un circuit placé à proximité. La découverte de ces deux phénomènes symétriques est à l'origine de la deuxième révolution industrielle, puisque le premier est à la base du fonctionnement du télégraphe mis au point par Samuel Morse mais aussi du moteur électrique, tandis que le second est exploité dans les génératrices électriques (lire ci-contre).

Quatre équations

Si l'existence d'un lien entre les champs électrique et magnétique était donc suspectée avant Maxwell, celui-ci a été le premier à comprendre que ces deux champs n'étaient en réalité que deux manifestations particulières d'un même champ plus général, le champ électromagnétique. Nous sommes alors en 1861-1862, et Maxwell réussit le tour de force de donner une formulation mathématique de l'ensemble des interactions entre ces champs électromagnétiques et les particules chargées : il en résulte un jeu de vingt équations, qui seront ramenées à quatre par un autre physicien, Oliver Heaviside, après la mort du génial Ecosse.

Mais l'apport de Maxwell à la physique ne s'arrête pas là. En 1864-1865, sur la base des équations établies quelques années plus tôt, il prédit l'existence d'ondes associées à ces champs électromagnétiques, semblables aux ondes acoustiques dans l'air ou aux vagues à la surface de l'eau, à ceci près que les ondes électromagnétiques se propagent dans l'espace vide, sans support matériel d'aucune sorte. Cette prédiction, qui se révélera juste, est un véritable éclair de génie car, à cette date, personne n'a encore la moindre idée de ce qu'une telle onde

électromagnétique pourrait être. Personne... sauf Maxwell lui-même, qui déduit de ses équations la vitesse théorique à laquelle elle est censée se propager.

Son calcul lui donne un résultat proche de 300.000 kilomètres par seconde, soit la même valeur que celle à laquelle avait abouti en 1849 un expérimentateur français du nom d'Hippolyte Fizeau quand il avait mesuré la vitesse de la lumière. *« Pour Maxwell, cette coïncidence ne pouvait être due au hasard : si les ondes électromagnétiques se propageaient à la même vitesse que la lumière, c'est que la lumière était une onde électromagnétique »*, indique Daniel Maystre, ancien directeur de recherche au CNRS. Mieux encore : outre la lumière, Maxwell avait supposé qu'il devait exister dans la nature d'autres ondes électromagnétiques. Neuf ans après sa mort, en 1888, les expériences du physicien Heinrich Hertz démontrant l'existence des ondes radio (aussi appelées ondes hertziennes) lui donnèrent une nouvelle fois raison.

Des étoiles aux cellules

Cent cinquante ans après sa formulation, et alors que l'Unesco, pour célébrer cet anniversaire, a déclaré 2015 « année internationale de la lumière », l'électromagnétisme reste une théorie bien vivante, utilisée dans toutes les disciplines scientifiques, de l'astronomie à la biologie. L'application des équations de Maxwell à l'optique, qui a ouvert un champ de recherches connu sous le nom d'optique électromagnétique, a permis de développer de nouveaux instruments de mesure devenus vite essentiels à la science moderne. A commencer par les spectromètres, dont la pièce maîtresse, le réseau de diffraction, est modélisée au micron près grâce aux équations de Maxwell. *« Les spectromètres servent à décomposer une lumière polychromatique en ses différentes couleurs, c'est-à-dire en ses longueurs d'onde. Le spectre électromagnétique ainsi obtenu permet aux astronomes et aux astrophysiciens d'en déduire la composition chimique du corps céleste étudié »*, explique Daniel Maystre.

Indispensables à l'exploration de l'infiniment grand, les équations de Maxwell le sont tout autant à celle de l'infiniment petit. Si les réseaux de diffraction doivent présenter des ondulations régulières d'une taille de quelques microns pour disperser correctement la lumière, les dispositifs mis au point en nanophotonique ont une taille encore mille fois plus petite.

Discipline récente, la nanophotonique (ou nano-optique) est l'étude de la lumière et de ses interactions avec la matière aux échelles nanométriques. Ce que l'on était incapable de faire jusqu'à peu. *« Les lentilles ne permettent pas de concentrer un faisceau lumineux monochromatique, tel un laser, en un point aussi petit que voulu. On se heurte à une certaine limite, correspondant grosso modo à la longueur d'onde du faisceau lumineux en question. Soit, s'agissant du spectre visible qui nous intéresse en optique, 500 nanomètres environ »*, explique Stefan Enoch, directeur de l'Institut Fresnel. Mais les nanoantennes et autres dispositifs nanophotoniques, dont la conception repose en grande partie sur la théorie maxwellienne, permettent de contourner cette limite imposée par les lois de la physique. *« De tels dispositifs sont notamment utilisés par les biologistes qui s'intéressent à de tout petits objets biologiques, comme la membrane des cellules »*, poursuit Stefan Enoch. De l'étude des étoiles à celle des cellules,

Maxwell serait sans doute fier de voir que ses chères équations, un siècle et demi après leur découverte, se sont insinuées à peu près partout !

En savoir plus sur https://www.lesechos.fr/05/01/2015/LesEchos/21848-044-ECH_maxwell---et-la-lumiere-fut--.htm#B2wszej4bzz1l05r.99