

Théorie corpusculaire, théorie ondulatoire: deux visions complémentaires de la lumière

Pendant plus de trois siècles, la nature de la lumière fut au cœur des débats scientifiques : deux théories, dont chacune se fondait sur des résultats empiriques, s'affrontèrent pour finalement donner naissance à la physique moderne

"Si nous savions ce qu'est un rayon de lumière, nous saurions beaucoup de choses". Louis de Broglie

A) Historique des théories ondulatoire et corpusculaire de la lumière



Pendant plus de deux siècles, deux conceptions sur la nature de la lumière allaient se développer et s'affronter : la théorie corpusculaire et la théorie ondulatoire.

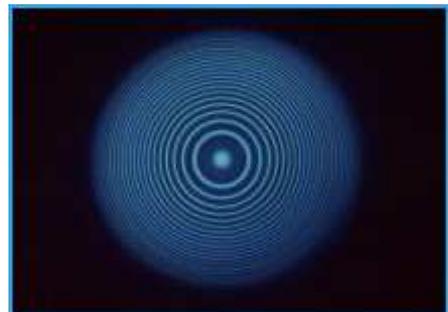
La première sera défendue par **Isaac Newton** pour qui la lumière est composée de particules dont les masses différentes provoquent sur notre rétine des sensations distinctes : les couleurs. La propagation rectiligne de la lumière et la réflexion découlent tout logiquement de ce concept. Quant à la réfraction, son explication est plus délicate : elle fait appel à la masse des

particules et à une action attractive qu'exerce un corps transparent sur les corpuscules de lumière qui le traverse. L'autorité de Newton imposera cette conception bien longtemps encore après sa mort survenue en 1727.

Un groupe d'hommes, au cours de ces deux siècles, prendront le parti de la théorie ondulatoire. Ils ont un point commun: une liberté d'esprit indispensable pour affronter le prestige du grand Newton. Le premier, **Christian Huygens**, imagine la lumière comme une vibration se transmettant de proche en proche dans milieu: l'éther. Cette approche lui permet notamment de rendre compte de la diffraction. Plus tard, **Thomas Young** et **Augustin Fresnel** apportèrent leurs contributions. Le premier en découvrant, en 1801, un phénomène interférentiel inédit et en mesurant les longueurs d'ondes de la lumière. Le second en découvrant, en 1819, la nature transversale des ondes lumineuses et, grâce à celle-ci, en expliquant de façon convaincante tous les phénomènes de polarisation. Un pas décisif est accompli en 1849, lorsqu'Hippolyte Fizeau, puis quelque temps plus tard Léon Foucault mesurent la vitesse de la lumière dans l'eau et montrent qu'elle est plus faible que dans l'air.

C'était la vérification d'une prédiction de la théorie ondulatoire (elle s'opposait à la théorie corpusculaire qui affirmait exactement le contraire). La cause était entendue, la théorie ondulatoire triomphait.

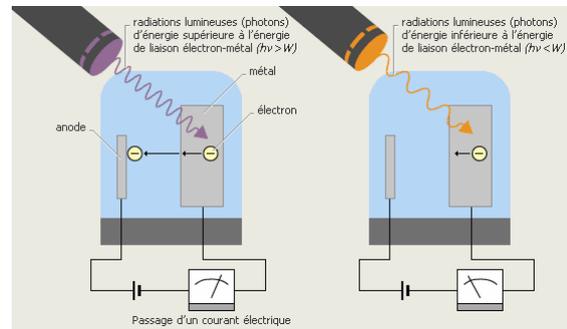
James Clark Maxwell, en 1865 puis en 1873, précisera la nature électromagnétique de cette onde. Cela faisait de la lumière un membre parmi d'autres de la grande famille des ondes électromagnétiques.



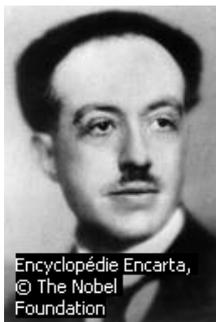
B) L'effet photoélectrique, la pièce maîtresse du débat

L'effet photoélectrique (émission d'électrons par un métal sous l'action de radiations lumineuses) fut découvert en 1887 par **Heinrich Hertz**, lors de ses travaux sur l'électromagnétisme. En 1900, le physicien allemand Lenard montra que seules les radiations de faible longueur d'onde peuvent provoquer la photoémission, quelle que soit l'intensité du rayonnement incident. Cette caractéristique du phénomène ne pouvait s'expliquer à la lumière de la physique classique, qui considère le rayonnement

électromagnétique comme une onde. Mais en 1905, **Einstein** parvint à interpréter ces résultats grâce à la théorie des quanta, formulée quelques années plus tôt par Planck. Il proposa en effet de concevoir la lumière comme un flux de particules (les photons), dotées d'une énergie dépendant de la longueur d'onde du rayonnement, et non de son intensité. Ainsi, chaque photon possède une énergie **E**, telle que **E = hn**, où h est la constante de Planck et n la fréquence du rayonnement. Einstein comprit que l'effet photoélectrique se traduit par l'absorption de certains photons par le métal : si l'énergie d'un photon est supérieure à l'énergie liant un électron à un atome du métal, cet électron peut alors quitter son orbitale atomique, acquérant une énergie cinétique et créant un courant électrique. Grâce à ses travaux sur l'effet photoélectrique, Einstein reçut le prix Nobel de physique en 1921 et contribua fortement, par ses explications, au développement de la théorie quantique.



C) La mécanique quantique : une révolution dans le monde de la physique



Encyclopédie Encarta,
© The Nobel
Foundation

En fait, les deux théories sont complémentaires : la théorie quantique a montré que la lumière agit comme un ensemble de particules et comme une onde : c'est la dualité onde-particule.

Cette théorie, introduite en mécanique quantique par Louis de Broglie en 1923, associe une onde à toute particule. Par analogie avec le photon, Louis de Broglie associa ainsi à chaque particule libre d'énergie E et d'impulsion p une fréquence ν et une longueur d'onde λ :

$$\begin{cases} E = h\nu \\ p = h/\lambda \end{cases}$$

En 1926, Erwin Schrödinger formula l'équation que doit vérifier l'onde associée à une particule et généralise ainsi l'approche de Broglie ci-dessus aux particules en présence d'un potentiel, dont l'énergie totale est :

$$E = \frac{p^2}{2m} + V(r)$$

Ainsi, par exemple, le photon est associé à une onde électromagnétique, la lumière. Ce principe fondamental de la théorie quantique signifie que toute particule se comporte comme une onde et réciproquement.

L'interprétation de l'effet photoélectrique des phénomènes de diffraction et d'interférences a conduit à cette dualité. Dans les expériences d'interférences, on envoie, d'une même source, des électrons ou des photons un par un sur une barrière infranchissable percée de deux fentes étroites et parallèles. De l'autre côté de la barrière, un écran permet de visualiser le comportement des particules qui sont passées à travers les fentes. On observe alors des franges d'interférence. Ces franges ne s'expliquent que par la présence d'ondes interférant entre elles. L'aspect ondulatoire de la matière, autrement dit la dualité onde-particule, a des conséquences qui sont formulées dans les relations de Heisenberg, appelées aussi principe d'incertitude ou encore relations d'indétermination. Ces relations, qui font intervenir l'énergie d'une particule, sa quantité de mouvement, sa localisation spatiale et temporelle, exprime que, en mécanique quantique, contrairement à ce qui est admis en mécanique classique, ces quatre grandeurs physiques ne peuvent être déterminées simultanément : il existe une incertitude sur ces grandeurs.