

## CHAPITRE 5

### Complément de cours : la controverse sur la nature de la lumière

Une **controverse** est une discussion virulente entre différents acteurs dont les points de vue divergent.

L'Histoire des sciences est jalonnée de grandes controverses, dont l'une des plus célèbres, intéressantes et durables concerne la nature de la lumière.

#### 1 17<sup>e</sup> siècle : début de la controverse

La théorie de l'**optique géométrique** a été développée au 17<sup>e</sup> siècle sous l'impulsion de René Descartes. Elle se fonde sur quelques lois simples qui décrivent la trajectoire empruntée par la lumière, modélisée par des **rayons lumineux**.

Cette théorie permet entre autres de prévoir la déviation des rayons lumineux par une lentille, et donc d'étudier les instruments d'optique. Elle fait consensus et est encore enseignée car elle a un cadre de validité assez large.

Ce qui a été sujet à controverse pendant des siècles est une question qui, de prime abord, relève plutôt de la philosophie : quelle est la nature de la lumière ? Autrement dit, qu'est-ce qui se déplace ou se propage le long des rayons lumineux ?

Deux points de vue s'affrontent :

- ▷ Pour les uns, dont Newton, la lumière est composée de corpuscules ;
- ▷ Pour les autres, dont Huygens, la lumière est une onde.



Si ces visions sont incompatibles, elles sont trop peu prédictives à l'époque pour être démenties par l'expérience. L'autorité de Newton fait que l'immense majorité des physiciens se rallie à sa cause.



FIGURE 1 – Descartes (1596-1650), Newton (1643-1727) et Huygens (1629-1695)

## 2 19<sup>e</sup> siècle : le triomphe du modèle ondulatoire

La diffraction de la lumière a été découverte en 1665 par Grimaldi, mais il a fallu attendre le 19<sup>e</sup> siècle pour réaliser qu'il s'agit d'une signature de sa nature ondulatoire. Le dispositif des fentes d'Young, décrit pour la première fois par Thomas Young en 1802, est une autre signature de ce caractère ondulatoire.

Les aspects mathématiques de la théorie de l'**optique ondulatoire** (ou optique physique) ont été développés par Fresnel.

Sa théorie prédit un résultat crucial mais contre-intuitif : lorsqu'on éclaire un fin obstacle circulaire avec de la lumière, on observe l'existence d'une tache lumineuse en plein centre de l'ombre géométrique, alors que cette zone devrait être complètement noire selon la théorie corpusculaire. Suite à la réalisation de cette expérience et son accord avec la théorie ondulatoire, la théorie corpusculaire sera abandonnée.

La nouvelle question qui se pose alors est celle de la nature de l'onde lumineuse : rétrospectivement, on peut affirmer qu'il ne s'agit visiblement pas d'une **onde mécanique**, car elle peut se propager dans le vide. Comme ce type d'onde est le seul connu à l'époque, on a considéré au départ que la lumière était une onde mécanique, mais que le vide contenait une substance matérielle appelée éther.

Dans les années 1860, l'écossais Maxwell développe une théorie qui englobe l'électricité et le magnétisme, et prédit l'existence d'**ondes électromagnétiques**. La célérité de ces ondes, qu'il calcule, est la même que celle de la lumière, mesurée par ses contemporains Foucault et Fizeau.

Il postule alors que la lumière est un type particulier d'onde électromagnétique. Des expériences menées par Hertz permettront de vérifier que c'est bien le cas. Il ne fait alors aucun doute que la lumière est une onde (électromagnétique). D'autres expériences menées par Michelson et Morley échouent à montrer l'existence de l'éther, concept alors abandonné.

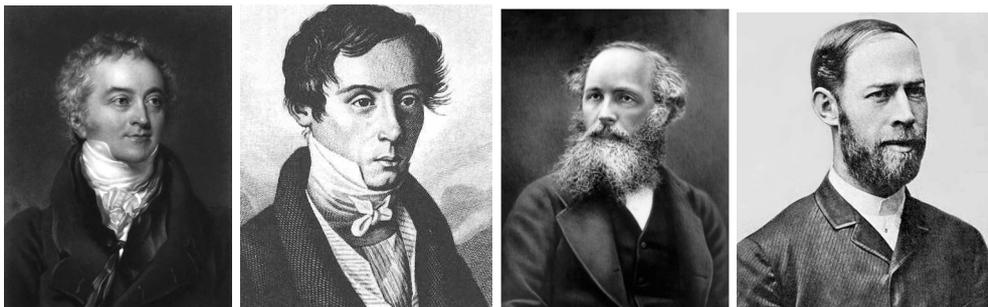
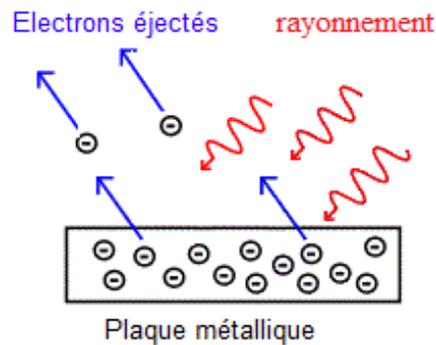


FIGURE 2 – Young (1773-1829), Fresnel (1788-1827), Maxwell (1831-1879) et Hertz (1857-1894)

## 3 20<sup>e</sup> siècle : retour du modèle corpusculaire ; dualité

Ironie du sort, Hertz met en évidence un phénomène appelé **effet photoélectrique**, que la théorie ondulatoire ne permet pas d'expliquer : lorsque de la lumière atteint une plaque métallique, des électrons sont éjectés seulement si la fréquence est supérieure

à un seuil, et ce indépendamment de l'intensité du faisceau lumineux.



La théorie ondulatoire échoue également à expliquer l'existence de raies dans les spectres d'émission, et le spectre du rayonnement du corps noir, qui modélise l'émission du Soleil ou des ampoules électriques à incandescence.

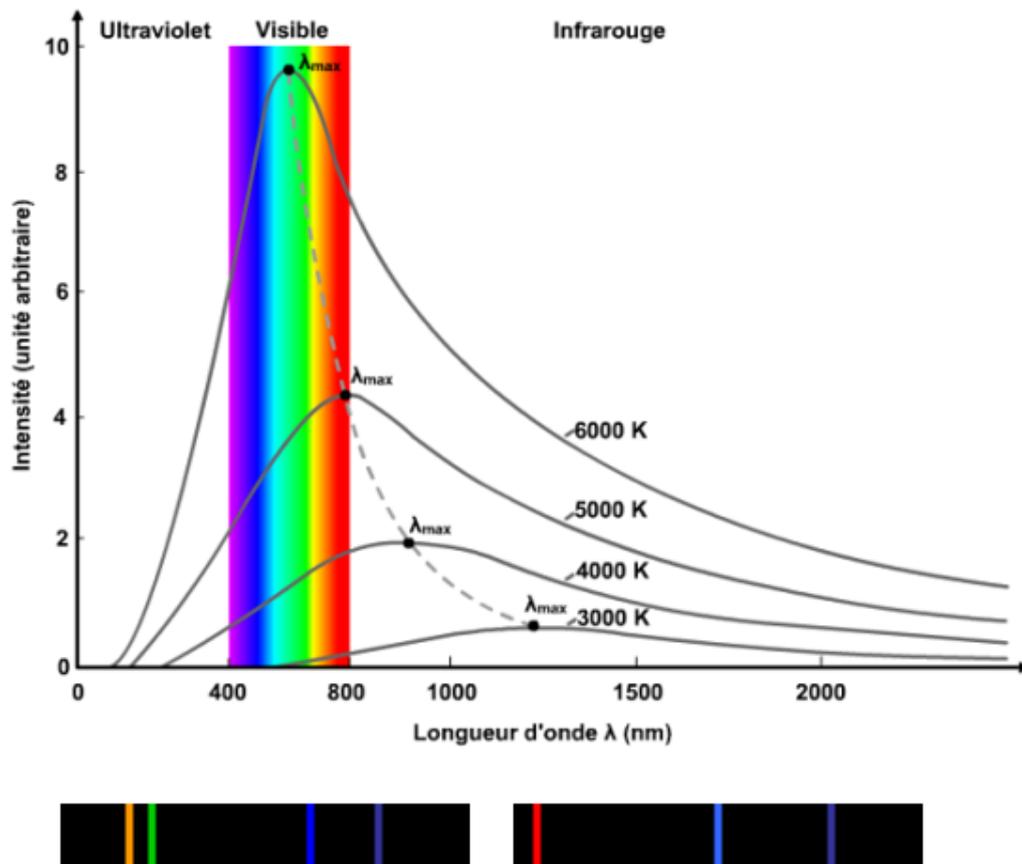


FIGURE 3 – Haut : spectre du corps noir (spectre continu) à différentes températures ; bas : spectres de raies d'émission, du mercure et de l'hydrogène respectivement

La résolution de ces problèmes a provoqué une révolution dans le domaine de la physique, à travers la théorie des quanta, devenue plus tard la **physique quantique**.

L'idée clé est la suivante : lorsque la lumière interagit avec la matière, elle se comporte dans certains cas comme une assemblée de corpuscules, selon des règles bien particulières. Avec cette hypothèse, Planck résout le problème du corps noir, Einstein

celui de l'effet photoélectrique et Bohr celui des spectres de raies.

Einstein a montré que la lumière peut être considérée suivant ces deux points de vue apparemment opposés, les phénomènes ondulatoires et particuliers étant plus ou moins prépondérants suivant le cas de figure. On parle de **dualité onde-particule**.

La théorie de l'électrodynamique quantique, développée dans les années 1960 par Feynman entre autres, permet de décrire les phénomènes d'interaction entre lumière et matière avec une précision exceptionnelle, les prédictions étant en accord avec l'expérience jusqu'à douze chiffres significatifs.



FIGURE 4 – Planck (1858-1947, PN 1918), Einstein (1879-1955, PN 1921) et Bohr (1885-1962, PN 1922)