

# LA LUMIERE

## I- Généralité :

La nature de la **lumière** a fait l'objet de discussions et de théories controversées depuis l'**Antiquité**. Bien qu'une théorie élémentaire de l'**optique géométrique** ait déjà été formulée dans l'Antiquité, ce n'est qu'au **XVIIe siècle** que deux théories, issues de résultats expérimentaux, furent proposées : la **théorie corpusculaire** de **I. Newton** et la **théorie ondulatoire** de **C. Huygens**.

La théorie de Newton peut être considérée comme une **sophistication** de celle proposée par les **atomistes** grecs : la lumière est un **agrégat** de **corpuscules** d'espèces variées (ce qui justifie la **diversité des couleurs**), projetés à une vitesse constante par les corps lumineux.

Huygens considérait que la lumière était due à une **vibration élastique** se propageant dans un **milieu** invisible (l'**éther**), de même que se propage le **son** dans l'**air**.

La théorie de Newton connut dans un premier temps plus de succès, non seulement du fait de la grande notoriété de son créateur, mais aussi à cause du manque de clarté (ou de simplicité) des explications mécaniques de la théorie ondulatoire.

Ce n'est qu'au début du **XIXe siècle**, à l'initiative de **T. Young** et de **A. Fresnel**, que les outils mathématiques et les dispositions expérimentaux permirent de mettre en évidence le caractère ondulatoire de la lumière, seul capable d'expliquer les phénomènes d'**interférence** et de **diffraction**.

La théorie prévoit, dans le cas idéal d'une **lumière monochromatique** (composée de vibrations d'une seule et même **fréquence**), qu'une particule donnée d'éther vibre de façon **sinusoïdale**, et qu'on peut lui appliquer toutes les notions qui servent à l'étude des **mouvements harmoniques** et de la **propagation des ondes** (**fréquence, longueur d'onde, vitesse de phase, etc.**).

La fréquence ou la longueur d'onde (qui sont liées à la **relation  $v = c / \lambda$** ,  $v$  étant la fréquence et  $\lambda$  la longueur d'onde), caractérisent la lumière du point de vue de la couleur : en passant du rouge au violet (domaine visible du **spectre électromagnétique**), la longueur d'onde passe de **0,8 à 0,4  $\mu\text{m}$** . En réalité, la lumière n'est jamais rigoureusement monochromatique, mais peut toujours être considérée comme une superposition d'un nombre infini d'ondes monochromatiques. La plupart des phénomènes optiques peuvent être interprétés en considérant que les vibrations sont indifféremment **longitudinales** (c'est-à-dire parallèles à la direction de propagation) ou **transversales** (perpendiculaires à la direction de propagation), exception faite des phénomènes de **polarisation** pour lesquels on doit considérer que les vibrations sont transversales.

## II- Vitesse de la lumière :

Une brillante confirmation de la théorie ondulatoire fut fournie par les premières mesures de la vitesse de la lumière (autour de  $3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ). En effet, pour expliquer le phénomène de **réfraction**, les tenants de la théorie ondulatoire devaient supposer que la lumière se propageait plus lentement dans les milieux d'indice de réfraction plus élevé, alors que la théorie corpusculaire prétendait le contraire.

Un premier pas fut franchi lorsque **O. Römer**, en comparant les périodes de révolutions des **satellites** de **Jupiter**, démontra le caractère fini de la vitesse de la lumière et en fixa une **valeur** approximative.

Mais la méthode de Römer ne concernait que la propagation de la lumière dans le vide, ce n'est qu'au milieu du **XIXe siècle** que **H. Fezeau** et **L. Foucault** réussirent à déterminer la vitesse de la lumière par des expériences en laboratoire, le premier en utilisant une **roue dentée**, le second en faisant appel à la **méthode du miroir tournant** (la méthode de Foucault permet de mesurer la vitesse de la lumière sur des parcours n'excédant pas quelques dizaines de mètres).

Dans les deux cas, il fut possible de comparer la vitesse de la lumière dans le vide et dans des milieux transparents, et de constater que la vitesse est inférieure dans les milieux plus **réfringents** (ayant un grand **indice n** de réfraction) suivant la formule  $n = c/v$ , où **c** et **v** sont respectivement les vitesses de la lumière dans le vide et dans un milieu d'**indice n**.

## III- Théorie mécanique :

La théorie de Fresnel (issue du principe fondamental de la théorie ondulatoire de Huygens) rendait compte quantitativement de tous les phénomènes de propagation connus à l'époque, en particulier les interférences et la diffraction ; mais ses fondements mécaniques (vibrations des particules d'éther) reposaient sur une conception contradictoire de l'éther.

On commença par se représenter l'éther comme un **fluide subtil** et **imperceptible** pouvant être traversé par des corps célestes sans la moindre résistance ; mais un fluide parfait est incapable de transmettre des vibrations purement transversales.

Pour attribuer à l'éther cette caractéristique, il faut l'assimiler à un corps solide **élastique** de très grande **rigidité**, propriété difficilement conciliable avec celles énoncées plus haut.

#### IV- Théorie électromagnétique :

**J. C. Maxwell** résolut le problème en introduisant une profonde modification des hypothèses fondamentales. Son point de départ est l'ensemble des équations du champ électromagnétique, dont l'unification permit à Maxwell de démontrer que le champ se propage comme une onde, et que sa vitesse de propagation dans le vide est égale au rapport entre les unités électromagnétique et électrostatique de charge électrique. Ce rapport coïncide numériquement avec la vitesse de la lumière mesurée expérimentalement ; Maxwell refusa d'attribuer cette coïncidence au hasard, et avança l'hypothèse que la lumière était assimilable à la vibration très rapide du champ électromagnétique, ce qui lui ôtait toute origine mécanique. En outre les vibrations des champs électrique et magnétique doivent être perpendiculaires entre elles et perpendiculaires à la direction de propagation (donc transversales).

Mais l'aspect peut être le plus intéressant de la théorie de Maxwell réside dans les nombreuses idées et applications nouvelles qu'elle a suscitées. La théorie de Maxwell pouvait être mise directement à l'épreuve puisqu'elle prévoyait la possibilité de générer de la lumière à l'aide d'oscillations provoquées dans un circuit électrique.

C'est ainsi que **H. Hertz**, peu après la disparition de Maxwell, réussit à construire des générateurs d'ondes électromagnétiques démontrant que ces dernières se comportent comme les ondes lumineuses.

La théorie de Maxwell en lui adjoignant la théorie électrique de **H. Lorentz**, permet également d'expliquer et de prévoir certains phénomènes relatifs à l'émission et à l'absorption d'énergie lumineuse. La théorie électromagnétique de la lumière constitue une des synthèses les plus importantes jamais effectuées, tant par le nombre de faits réunis dans un seul schéma rationnel, que par la concordance de ses prévisions avec les vérifications expérimentales.

#### V- Théorie quantique :

Cependant, une étude plus poussée des phénomènes d'interaction entre matière et rayonnement a mis en évidence les insuffisances de l'électromagnétisme. Ainsi, l'étude du **spectre du corps noir**, l'**effet photoélectrique** et d'autres phénomènes découverts ultérieurement ne peuvent s'expliquer qu'en considérant les ondes lumineuses comme discontinues. Une onde lumineuse se comporte, au niveau microscopique et dans son interaction avec la matière, comme un agrégat de particules, appelées **photons**, dont l'**énergie E** est liée à la **fréquence  $\nu$**  par la relation  **$E = h\nu$** , où **h** est la **constante de Planck**.

On semblait alors retourner à une conception corpusculaire de la lumière, bien que les photons ne puissent être identifiés avec des corpuscules tels que Newton les envisageait.

Un retour à une conception strictement corpusculaire est impensable, car les phénomènes qui avaient corroboré la théorie ondulatoire (**diffraction**, etc.) restaient inconciliables avec une théorie littéralement corpusculaire du rayonnement. D'où un difficile problème d'interprétation : les deux conceptions, corpusculaire et ondulatoire ne sont pas compatibles si on les accepte au sens strict, mais le deviennent si l'on renonce à localiser mécaniquement le photon et si l'on accepte de concevoir les ondes comme des vibrations d'une entité physique continue.

Par ailleurs, cette **dualité onde-corpuscule** s'applique à toutes les particules élémentaires. Les travaux de **L. de Broglie**, **E. Schrödinger**, **W. Heisenberg**, **N. Bohr** ont montré qu'une synthèse des théories corpusculaire et ondulatoire est nécessaire, non seulement pour la lumière, mais également pour la matière : un **faisceau** d'électrons rapides tombant sur un cristal crée des phénomènes d'interférences analogues à ceux produits par la lumière.