

La lumière

Céline LORY

u'est-ce que la lumière ? Quelle est sa nature ? Depuis l'antiquité, philosophes, mathématiciens, astronomes et physiciens se sont interrogés pour tenter d'expliquer les phénomènes naturels observés.

Considérée au départ comme des rayons (lumineux), la lumière a ensuite fait l'objet d'une première controverse qui a opposé, pendant deux siècles et demi, les partisans de la théorie ondulatoire, pour qui elle était une vibration qui se propage (onde), à ceux de la théorie corpusculaire, pour qui elle était un flot de particules (photons). Dans notre civilisation, très imprégnée du mode de raisonnement de René Descartes, un phénomène observé, pour être expliqué, doit se référer, par analogie, à un autre phénomène interprété ou à des concepts établis. Pour ces raisons, un fait en exclu souvent un autre, comme les notions d'ondes et de particules qui ne pouvaient coexister. Du XVI^e au XX^e siècle, un grand nombre d'expériences montre pourtant, que, selon son interaction avec la matière, la lumière nous apparaît sous ces deux formes. Née au début du XX^e siècle, la physique quantique va concilier les deux hypothèses et introduire la notion de dualité *ondes - particules*.

La vitesse de la lumière a, elle aussi, été controversée. Pour certains, la lumière se déplaçait instantanément (vitesse infinie), pour d'autres, sa vitesse avait

une valeur finie. En 1850, l'expérience décisive de Fizeau et Foucault permit de mesurer sa vitesse dans le vide : 300 000 km par seconde.

Ces représentations, phénomènes observés et grandeurs liées à la lumière se sont appuyés sur des outils mathématiques permettant de les comprendre, de les expliquer, de les mesurer ou de les prédire. Voici quelques notions, telles que la vision des couleurs, la réflexion, la réfraction, le comportement ondulatoire de la lumière, la diffraction ou encore la polarisation, racontées de façon mathématique.

La vision des couleurs : des additions, des soustractions

Le rouge, le vert et le bleu sont les 3 couleurs primaires de la lumière. Toutes les couleurs sont formées en les mélangeant dans différentes proportions (exemple, les pixels sur les écrans de télévision).

L'addition des sources lumineuses revient à éclaircir de plus en plus le rendu de la couleur finale pour tendre vers le blanc (mélange de toutes les couleurs visibles).



La lumière

Le cyan, le magenta et le rouge sont les trois couleurs primaires de la matière (peinture, par exemple). Toutes les couleurs sont formées en les mélangeant selon différentes proportions.

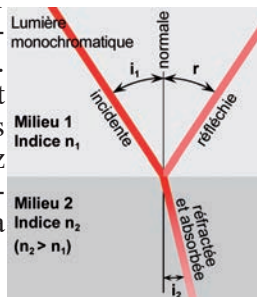
Le mélange de matières colorées comme l'addition de filtres ou de peinture, revient à soustraire ou absorber de plus en plus la lumière ré-émise par ces matières (sources secondaires) pour tendre vers le noir (absence de lumière).



Optique géométrique et angles

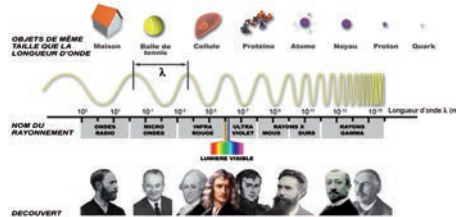
Lorsqu'un rayonnement arrive sur une surface de séparation entre deux milieux homogènes différents, par exemple l'air et l'eau, une partie de la lumière est réfléchiée dans le milieu dont elle provient (réflexion), l'autre partie est absorbée et déviée (réfraction) dans le milieu où elle pénètre. Les rayons réfléchis et réfractés restent dans le même plan d'incidence.

Un miroir réfléchit quasiment la totalité de la lumière reçue (réflexion totale). Les verres de nos lunettes utilisent la réfraction pour corriger les défauts de l'œil. Mettez également un bâton dans l'eau, vous verrez encore une manifestation de la réfraction.



Optique ondulatoire et fonctions sinusoïdales

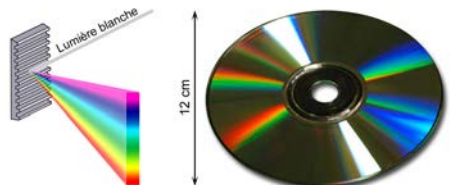
Presque trois siècles ont été nécessaires pour découvrir l'ensemble du rayonnement électromagnétique.



Scientifiques ayant participé à la découverte des ondes électromagnétiques (©Epsim)

Il a fallu inventer des instruments et des détecteurs ultra-sensibles afin de capter les lumières invisibles et de voir leurs effets. La lumière est devenue un outil d'exploration extrêmement puissant.

Notre œil ne perçoit qu'une infime partie du spectre : le domaine du visible. Nous pouvons apprécier les différentes couleurs qui composent la lumière blanche, au cours de sa décomposition par des gouttelettes d'eau, dans le cas d'un arc-en-ciel, ou par réflexion sur un CD.



Réseaux de diffraction dans le domaine visible (fonctionnement en réflexion)

Dans la théorie ondulatoire de la lumière, on peut utiliser l'image d'une onde qui se déplace à la surface de l'eau autour de l'impact d'un caillou. Le profil de



la surface de l'eau est une fonction sinusoïdale. La longueur d'onde λ , est la distance qui sépare les sommets de deux vaguelettes successives. Elle s'exprime en mètre. La fréquence ν , est le nombre de sommets qui passent en 1 seconde en un endroit précis de la surface de l'eau. Elle se mesure en Hertz.

A chaque couleur, correspond donc une longueur d'onde, ce qu'a mis en évidence Thomas Young en 1801.

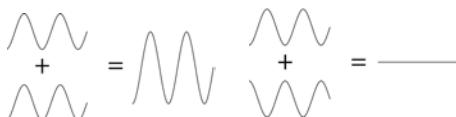
Dans la théorie corpusculaire, l'énergie associée à chaque photon (particule dite *quantique*) est directement liée à la longueur d'onde (ou à la fréquence) de l'onde électromagnétique par la relation :

$$E = h \cdot \nu \text{ ou encore : } E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

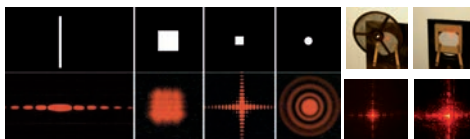
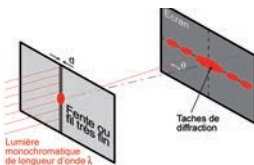
où h est la constante de Planck et c la vitesse de la lumière dans le vide.

Si Einstein est bien l'inventeur du concept du photon, ce n'est qu'en 1926 que Lewis introduisit son nom.

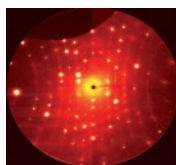
Principe d'interférences
entre 2 ondes monochromatiques



Chaque point du bord éclairé de la fente peut être considéré comme une source secondaire. Les ondes émises par chacune des sources, interfèrent entre elles pour former des figures de diffraction.



Des relations mathématiques (transformées de Fourier) permettent, à partir de l'objet (ci-dessus fente, trous carrés ou rond, filtre à café, ruban), de déterminer la figure de diffraction. Les transformées de Fourier inverses, quant à elles, permettent de connaître la structure d'un objet à partir de sa figure de diffraction.

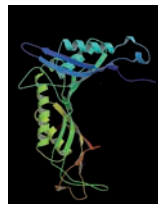


2-Cliché de diffraction

1-Cristal de protéine soumis aux Rayons X



3-Densité électronique calculée à partir des clichés



4-Structure 3D de la protéine

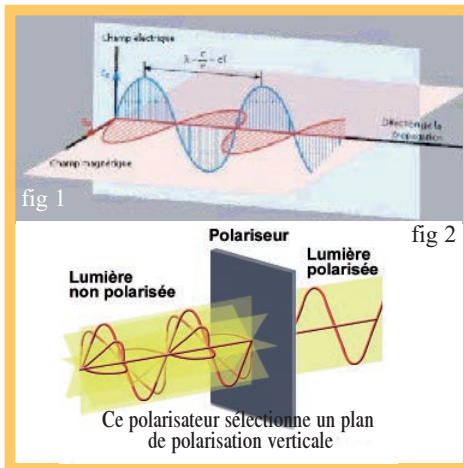
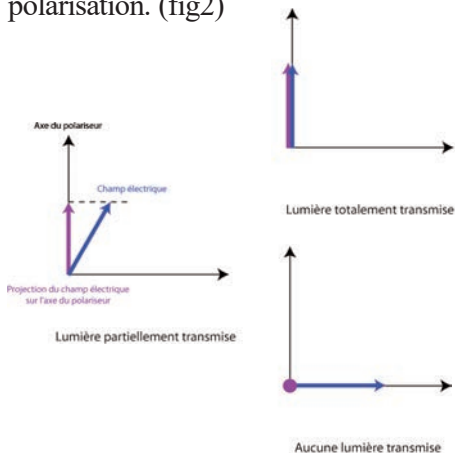
Reconstitution en 3D d'une protéine (enzyme urate oxydase) à partir des images de diffraction des rayons X.

Polarisation et projection

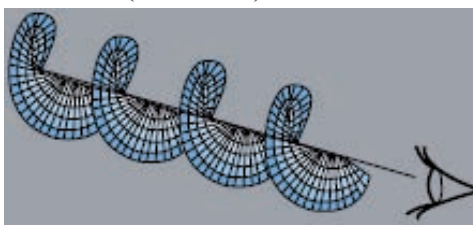
Depuis les travaux théoriques de Maxwell et les expériences de Hertz, à la fin du XIXe siècle, la lumière est décrite comme une onde électromagnétique, combinaison d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui vibrent en phase et se propagent ensemble dans l'espace.

Le champ électrique et le champ magnétique étant toujours perpendiculaires l'un à l'autre et à la direction de propagation, on ne représente généralement que le champ électrique (fig1, en bleu).

Des matériaux particuliers (polariseurs), peuvent privilégier une direction de vibration. Si le champ électrique d'une lumière vibre toujours sur un même axe, la lumière est dite polarisée linéairement ou rectilignement (ici verticalement). Le plan, ainsi formé par le champ électrique et la direction de propagation, est appelé plan de polarisation. (fig2)



La lumière peut être également polarisée circulairement droite ou gauche, onde avançant à l'image d'un tire-bouchon. (ci-dessous)



Certaines molécules, dépourvues d'éléments de symétrie, font tourner le plan de polarisation de la lumière lorsque celle-ci est polarisée rectilignement. Elles peuvent également absorber différemment une lumière polarisée circulairement gauche ou droite (dichroïsme circulaire). Les verres polarisés, ou polariseurs, permettent d'observer les contraintes mécaniques exercées sur un matériau au cours de sa fabrication ou de son utilisation parmi d'autres applications.

Céline LORY
Synchrotron SOLEIL

Pour en savoir plus :

www.synchrotron-soleil.fr