

Apparition de spectres

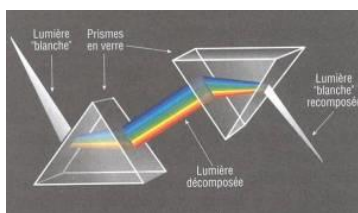
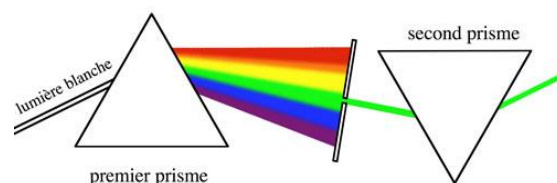
A l'époque de Newton (1642-1727), on sait depuis longtemps qu'un prisme de verre donne des couleurs à un rayon de soleil qui le traverse. L'explication repose sur les très vieilles idées d'Aristote : la lumière serait blanche et les couleurs naîtraient progressivement de son affaiblissement dans le prisme. Un rayon blanc traversant le prisme se colorerait de rouge du côté de l'arête et de bleu du côté de la base car les épaisseurs traversées sont différentes.

Newton réfléchit à tout cela et il raconte :

« Au début de l'année 1666, je me procurai un prisme de verre pour réaliser la célèbre expérience des couleurs. Ayant à cet effet obscurci ma chambre et fait un petit trou dans les volets, pour laisser entrer une quantité convenable de rayons de soleil, je plaçai mon prisme contre ce trou, pour réfracter les rayons sur le mur opposé. Ce fut d'abord très plaisant de contempler les couleurs vives et intenses ainsi produites ».

De fil en aiguille, Newton arrive bientôt à ce qu'il appelle l'expérience cruciale : à l'aide d'un trou dans une planchette, il isole la partie verte de la tache produite par le prisme et il envoie cette lumière verte sur un second prisme ; elle est déviée, certes, mais pas étalée.

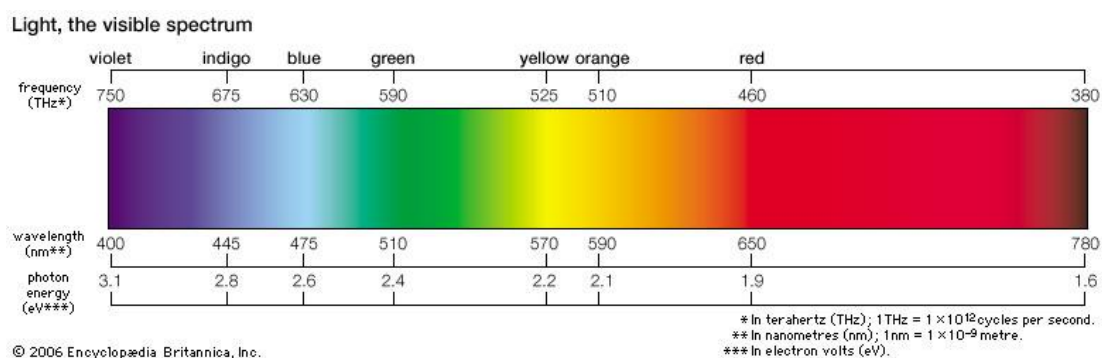
Cette fois, Newton en est sûr, la lumière blanche du soleil est un mélange de lumières de toutes les couleurs et le prisme dévie ces diverses lumières différemment.



Dès lors, il multiplie les expériences, montrant en particulier que l'on peut refaire de la lumière blanche en mélangeant des lumières de couleur ! C'est ce qu'illustre le schéma ci-contre.

Sur la nature de la lumière, en revanche, le savant britannique est un farouche défenseur des corpuscules lumineux, et cela imprimera les siècles suivants de son empreinte (on parle aujourd'hui de physique *newtonienne* ou *classique*).

Au XIX^{ème} siècle, un jeune savant écossais, James Clerk Maxwell, arrive à montrer que la lumière se comporte comme une onde dont la couleur est mieux décrite par la notion de *longueur d'onde* dans le vide, λ (lettre grecque *lambda*), exprimée en nanomètres pour la lumière visible.

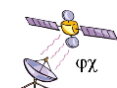


Aujourd'hui, les deux aspects – corpusculaire et ondulatoire – de la lumière cohabitent dans sa nature *duale*, à la fois onde et corpuscule.

Retour sur la réfraction

Comment comprendre le comportement de la lumière lors de son changement de milieu ? Pourquoi change-t-elle parfois de direction ?

Le problème peut être rapproché d'une situation qui semble pourtant très éloignée...



Alerte à Malibu !

En 1983, le génial professeur Feynman donne une série de conférences à l'UCLA dont voici un extrait.

« Il se trouve que la lumière se propage moins vite dans l'eau que dans l'air (...); de ce fait, un trajet dans l'eau "coûte plus cher" que le même trajet dans l'air. Il est facile de voir quel sera dans ces conditions le trajet de moindre temps. Imaginez que vous soyez un maître-nageur chargé de la sécurité d'une plage. Vous êtes en S et tout à coup, vous apercevez une jolie fille en train de se noyer en D (**Fig. 1**) [Cours de 1961-1962 : « imaginons qu'une jolie fille soit tombée d'un bateau, et qu'elle appelle au secours dans l'eau au point D. Nous sommes au point A sur la terre et nous voyons l'accident, or nous savons courir et également nager » : entre '61-62 et '83 le bateau a disparu et "nous" est devenu maître-nageur ; une chose demeure cependant : la fille, qui se doit d'être « jolie » pour donner une raison supplémentaire et égoïste au sauveteur de sauver et à l'auditeur mâle d'écouter]. Comment faire pour la sauver, sachant que vous courez plus vite sur le sable que vous ne nagez dans l'eau ?

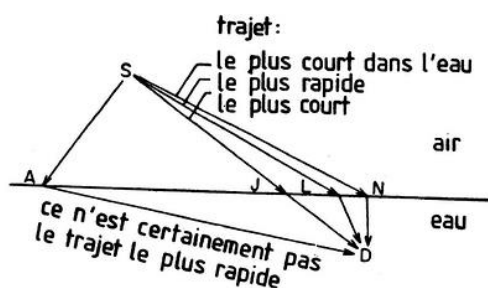
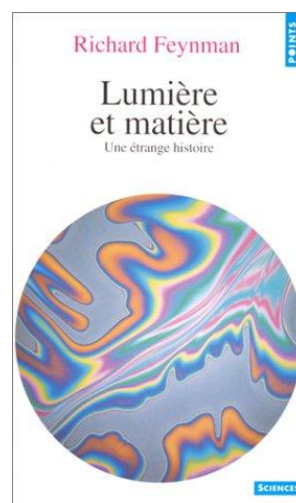


FIGURE 1. Trouver quel est le trajet de moindre temps pour la lumière revient à déterminer le trajet qui permettra au maître-nageur en faction sur la plage de sauver au plus vite une jeune fille en train de se noyer. Le trajet le plus court oblige à nager trop longtemps ; le trajet qui minimise la distance parcourue dans l'eau oblige à courir trop longtemps sur le sable. Le trajet de moindre temps réalise un compromis entre les deux.



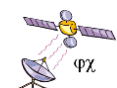
Le problème revient à déterminer l'endroit où vous devez entrer dans l'eau de manière à atteindre le plus tôt possible la malheureuse en train de se noyer. Il ne vous viendra évidemment pas à l'idée de vous précipiter au plus vite dans l'eau, en A, pour devoir ensuite nager comme un fou de A à D. Faut-il alors se diriger en ligne droite vers la victime, c'est-à-dire entrer dans l'eau en J ? Non ; ce chemin-là non plus n'est pas celui qui prend le moins de temps. Évidemment, on imagine mal qu'un sauveteur se mette à calculer le chemin de moindre temps avant de se porter au secours de la jeune fille. Cependant, il est possible, de fait, de calculer le point d'entrée dans l'eau qui rend le temps de parcours minimal. Ce trajet correspond à un compromis entre la ligne droite (passant par J) et le parcours qui rend minimale la distance dans l'eau (passant par N). Il en va ainsi pour la lumière : elle emprunte le trajet qui, la faisant entrer dans l'eau en un point, disons L, situé entre J et N, correspond au moindre temps.»



Pochette de l'album *Dark side of the Moon* de Pink Floyd
Cette figure (triangle des couleurs) est l'héritage des travaux de Goethe sur la couleur, en confrontation avec ceux de Newton.

Comment, maintenant, comprendre l'action du prisme de verre sur la lumière blanche ?

Regardez mieux la pochette de l'album *Dark side of the moon* de Pink Floyd pour tenter de répondre à cette question...



Document : Il y a spectre... et spectre !

Le mot spectre est utilisé dans la langue française pour désigner une apparition, un fantôme. Est-ce la même origine que le spectre de la lumière ? Apparemment, les deux notions semblent distinctes, mais la notion d'apparition est bien représentative de l'analyse d'une lumière. En effet, que ce soit la lumière colorée apparaissant sur un écran grâce à un prisme au laboratoire, ou que ce soit un arc-en-ciel apparaissant dans l'atmosphère grâce à la décomposition de la lumière du Soleil par la pluie, dans les deux cas, la notion d'apparition est présente, comme pour le fantôme. L'analogie peut être poussée plus loin puisque, dans la littérature, le spectre révèle des informations sur les défunts qui ne sont plus accessibles. L'exemple le plus célèbre est dans Hamlet, une des pièces les plus connues de William Shakespeare (1564-1616), quand le spectre du roi du Danemark assassiné vient révéler à son fils Hamlet le complot dont il a été victime deux mois auparavant.

De façon similaire, le spectre de la lumière émise informe sur la température ou la composition des étoiles qui, elles aussi, ne sont pas accessibles autrement...



Gertrude, Hamlet et le spectre du père d'Hamlet, par Johann Heinrich Füssli (1741-1825)

Mise au point

La perception des couleurs par l'œil et le cerveau humains procède suivant un mécanisme différent de celui de l'analyse spectrale. Si cette dernière consiste à séparer les différentes radiations constituant la lumière pour obtenir un spectre, le fond de l'œil humain est tapissé d'une multitude de récepteurs dont il existe trois types différents. Chaque type répond avec une intensité différente à la longueur d'onde de la radiation qui l'excite. La vision en couleurs est ensuite une interprétation par les neurones de la carte de ces récepteurs plus ou moins activés.

Le cerveau interprète l'ensemble des longueurs d'onde frappant un point de la rétine et produit la sensation d'une seule couleur en combinant les réponses des trois récepteurs. Ainsi, une lumière constituée de deux radiations, une rouge (630 nm) et une verte (528 nm), sera perçue jaune par un œil humain, mais constituera deux raies sur le spectre. Cependant, il est également possible de provoquer dans le cerveau la sensation « jaune » avec une seule longueur d'onde aux environs de 570 nm !



La Seine à Courbevoie, peinte par Georges Seurat (1859-1891) en 1885

Ce mécanisme de la vision en couleurs a été exploité par les peintres impressionnistes qui utilisaient de petites touches de couleurs. Le cerveau voit dans ces tableaux des couleurs que le peintre n'a pas utilisées !