

Qu'est-ce que la lumière ?

Depuis l'antiquité les philosophes et les scientifiques font de la lumière soit une particule, soit une onde. C'est à dire qu'ils la comparent soit à des grains de matière, des sortes de balles qui se propagent en ligne droite, rebondissent, etc., soit à une perturbation qui se propage dans un milieu.

Parfois les deux aspects se retrouvent dans une même théorie : c'est une onde pour Descartes (17^eS) mais avec des "aspects" corpusculaires ; c'est une particule pour Newton (début 18^eS), et à sa suite tous les scientifiques du 18^e siècle, mais une particule qui provoque des vibrations.

Huygens (fin 17^eS), Euler (18^eS) puis Young et Fresnel (19^eS) sont les grands jalons de la théorie ondulatoire qui finit par s'imposer au 19^e siècle.

Qu'est-ce qu'une onde ?

Une onde est la propagation d'une perturbation produisant sur son passage une variation réversible des propriétés physiques locales du milieu (wikipedia).

L'analogie du caillou jeté dans l'eau peut aider à comprendre cette définition :

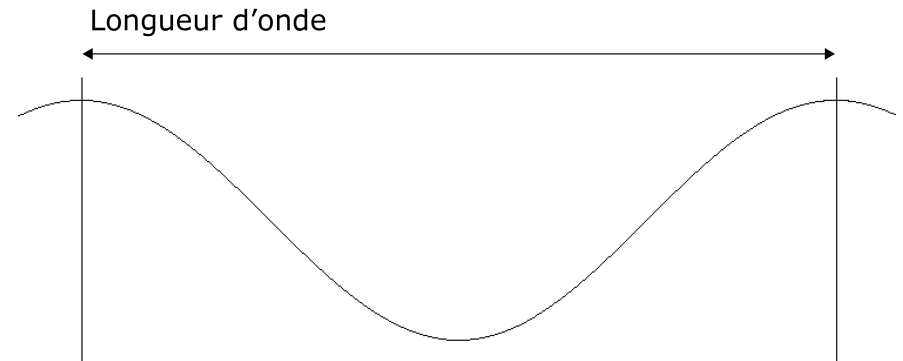
*Quand il arrive dans l'eau, un caillou provoque l'apparition de rides circulaires qui progressent du centre vers la périphérie : on appelle **ondes** les suites de crêtes ou de creux qui se propagent. Si un bouchon flotte à la surface, il s'élève ou descend au passage de l'onde sans être entraîné par elle : le bouchon est porté par les particules d'eau dont il figure le mouvement, il entre en **vibration**. Il existe donc une différence fondamentale entre les mouvements de l'onde et de l'eau : le mouvement de l'onde est celui du lieu des points se trouvant dans un même état vibratoire (par exemple la crête des vaguelettes) **c'est donc le mouvement d'un état de la matière et non celui de la matière elle-même**, le mouvement des particules d'eau (le mouvement de la matière) étant la vibration de haut en bas, de part et d'autre de la position d'équilibre.*

Bernard Maitte, *La lumière*, éd. Du seuil, coll. Points Sciences, 1981, p. 152-153.

Une onde, en gif animé:

http://casocouleur.be/notes/media/Simple_harmonic_motion_animation.gif

On peut alors définir la longueur d'onde comme étant la distance entre deux points identiques de l'onde (entre deux crêtes par exemple, pour reprendre l'analogie du caillou et de l'eau).



Le symbole usuel de la longueur d'onde est la lettre grecque λ (lambda).

Ces physiciens ont besoin d'une lumière-onde tant pour expliquer les aspects les plus basiques de la lumière (le fait par exemple que deux faisceaux de lumière peuvent se croiser sans "s'entrechoquer" comme ça serait forcément le cas entre particules) que pour expliquer les expériences les plus complexes (la plus célèbre étant celle de la *double fente* dans laquelle Young produit des franges dues aux *interférences*).

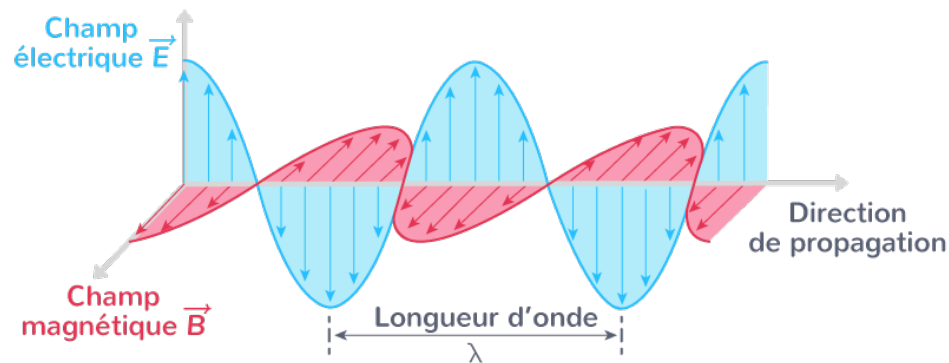
Mais si la lumière est une onde, il lui faut un milieu dans lequel se propager. La théorie ondulatoire est obligée d'introduire (d'inventer) un milieu, l'**éther**, remplissant tout l'espace, un milieu indétectable, sans masse, aux propriétés étranges : solide, élastique, très peu visqueux, n'offrant aucune résistance au mouvement des objets, ...

Vers le milieu du 19^e siècle, un scientifique écossais, Maxwell (dont une des premières recherches scientifiques concerne la perception et la reproduction des couleurs - on aura l'occasion d'en reparler) s'intéresse à l'électromagnétisme.

Après Faraday, il se rend compte qu'en électromagnétisme aussi l'introduction d'un éther est indispensable. Maxwell met au point un modèle complexe d'éther qui lui sert essentiellement de support intellectuel à l'analyse. Ce modèle d'éther le conduit aux quatre équations devenues célèbres sous le nom d'équations de Maxwell.

Il en vient aussi à considérer que cet éther sert de milieu de propagation à une *onde électromagnétique* (une vibration électrique*, perpendiculaire à une vibration magnétique*, toutes les deux perpendiculaires à la direction de propagation de l'onde).

* appelés aujourd'hui *vecteur champ électrique* et *vecteur champ magnétique*.



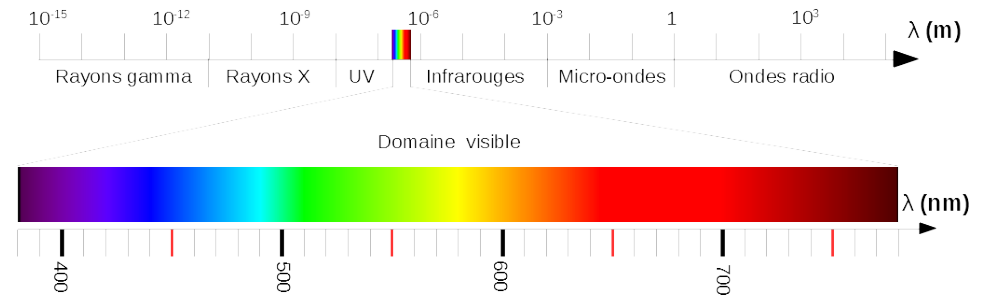
Maxwell se rend compte que tous les effets électromagnétiques qu'il déduit de ses équations s'accordent aussi à ceux de la lumière. Par exemple, la vitesse de propagation de l'onde électromagnétique qu'il calcule correspond à celle de la lumière (environ 300 000 km/s), vitesse que vient de mesurer expérimentalement un physicien du nom de Fizeau.

Les nombreuses analogies entre les deux domaines (lumière et électromagnétisme) conduisent donc Maxwell à la conclusion suivante : **La lumière est une onde électromagnétique.**

A la fin du 19^e siècle, Hertz produit des ondes électromagnétiques (ondes radio ou "hertziennes" d'une longueur d'onde de l'ordre du mètre) avec son *oscillateur* et montre qu'elles ont les mêmes propriétés que la lumière (réflexion, réfraction, ...). Puis Röntgen découvre les rayons X d'une longueur d'onde de l'ordre du 0,000000001 m ou 10^{-10} m.

La lumière n'est plus qu'une petite partie des ondes électromagnétiques. Elle correspond à la plage des longueurs d'onde à laquelle l'œil humain est sensible (de 380nm à 780nm (1 nm = nanomètre cad 0,000000001m ou 10^{-9} m)

Quelques exemples d'ondes par ordre croissant de longueur d'onde : les rayons gamma, les rayons X, les ultraviolets, la lumière, les infrarouges, les micro-ondes, les ondes radio.



Mais d'autres difficultés théoriques et expérimentales surgissent dès le début du 20^e siècle (*vent d'éther, corps noir, effet photoélectrique, ...*). Elles conduiront à la théorie de la relativité et à la physique quantique. La lumière (re)devient alors une particule, le **photon**, dont la probabilité de présence à un certain endroit est décrit par sa *fonction d'onde*, et dont les propriétés sont encore plus étranges que celles de l'éther du 19^e siècle.

Toutefois, dans le domaine de la couleur, ou même de la colorimétrie, on s'en tient généralement à une physique "classique" (non quantique), où la lumière est une onde électromagnétique.

Qu'est qu'un spectre ?

En préambule :

Si une lumière est composée d'une seule longueur d'onde, on l'appelle une lumière **monochromatique**.

Si une lumière composée de plusieurs longueurs d'onde différentes, on l'appelle une lumière **polychromatique**.

Dans le dispositif que vous avez observé, la lumière blanche produite par la lampe d'expérimentation est une lumière polychromatique.

Elle est envoyée sur le **réseau**, perpendiculairement à celui-ci.

Sur le réseau, sont gravés 1000 traits verticaux par millimètre. Le réseau est un miroir, mais il ne réfléchit la lumière que dans les zones entre les traits. On a donc, sur sa surface, une alternance très fine de réfléchissant/non-réfléchissant*.

Lorsque une lumière blanche polychromatique est réfléchi par le réseau, elle est décomposée**. C'est-à-dire que chaque longueur d'onde la composant est réfléchi dans un angle différent. Les plus courtes sont réfléchies avec un angle plus proche de la *normale* (la perpendiculaire) au réseau.

Le réseau décompose donc une lumière polychromatique en un grand nombre de lumières monochromatiques rangées côte à côte (sur le mur blanc) par longueur d'onde (de 380nm du côté violet à 780nm du côté rouge). Chacune de ces lumières monochromatiques correspond spatialement à un rectangle vertical infiniment fin. Le rectangle horizontal allongé formé de tous ces rectangles verticaux infiniment fins est appelé un spectre.

* Il s'agit ici d'un réseau dit "par réflexion". Il existe aussi des réseaux "par transmission", présentant une alternance très fine de transparent/opaque.

** Pour caractériser le type d'interaction lumière/matière en jeu dans la décomposition obtenue avec un réseau on parle de *diffraction*. Lorsque la décomposition est obtenue avec un prisme de verre (comme Newton par exemple) ou des gouttes de pluie (l'arc en ciel) on parle de *réfraction*.

Comment décrire un spectre ?

Exercice compliqué mais intéressant : comment décrire avec précision un spectre ? Que faut-il mentionner ?

On peut signaler que les couleurs le composant sont toutes chromatiques, très vives (saturées). Que le centre du spectre semble plus clair (lumineux) que le reste du spectre. Qu'il y a d'ailleurs une diminution radicale de la luminosité (un "fondu au noir", une "disparition") aux deux extrémités.

Il faut ensuite parler de l'ordonnance des teintes. Il ne suffit pas de dire qu'il s'agit d'un dégradé, d'une transition, de violet à rouge. Les teintes rouge-bleu qu'on s'attend à voir entre violet et rouge dans un dégradé ne sont d'ailleurs pas présentes dans le spectre*.

Il faut préciser qu'on "passe par" bleu, vert et jaune (en s'en tenant aux teintes élémentaires). Newton distinguait l'indigo, le bleu, le vert, le jaune, l'orange, ce qui, avec le violet et le rouge, lui en faisait 7, chiffre symbolique.

Le changement de teinte que l'on voit lorsqu'on parcourt le spectre de violet à rouge est continu. Ce qui ne veut pas dire qu'il est constant. On voit des transitions plus abruptes, des changements plus "rapides", à certains endroits qu'à d'autres. Ce qui fait que l'on voit entre ces transitions abruptes, là où les changements sont plus lents, des zones qui semblent approximativement de la même teinte. Certaines plus larges (une zone violette, une vert-jaune, une rouge), certaines plus étroites (une zone bleue, une jaune). Certaines teintes (le vert, l'orange) ne forment pas vraiment de zone assez définie que pour être perçue comme une zone, car se fondant plus graduellement dans une des zones la jouxtant (l'orange dans le rouge, le vert dans le vert-jaune).

* On parle pour les rouge-bleu de teintes *non-spectrales*.

Remarquez que rien dans les caractéristiques physiques du spectre (des longueurs d'onde qui s'échelonnent tranquillement de 380nm à 780nm) n'explique la complexité de cette description. Le pourquoi de tous ces aspects ne réside pas dans la physique de la lumière mais bien dans la physiologie de votre rétine et plus largement de le fonctionnement l'ensemble de votre système visuel (œil et cerveau).

Bien plus qu'une image de la lumière, **un spectre est une image du fonctionnement de votre système visuel** (ou du moins une image de la manière dont votre système visuel traduit la lumière).

Le spectre comme outils de caractérisation

Le spectre que vous avez observé (décrit ci-dessus dans ses grandes lignes) est celui d'une certaine lumière blanche polychromatique. Changeons la lumière envoyée sur le réseau (changeons d'ampoule, de technologie d'ampoule, ou intercalons un filtre entre la lampe et le réseau) et le spectre change : le spectre caractérise la lumière qui le produit.

La "**quantité**" (on parle en physique de la **puissance**) respective de chacune des longueurs d'onde est différente d'un spectre à un autre. (A l'extrême, la puissance d'une longueur d'onde peut être nulle ; cette longueur d'onde est alors complètement absente de ce spectre.)

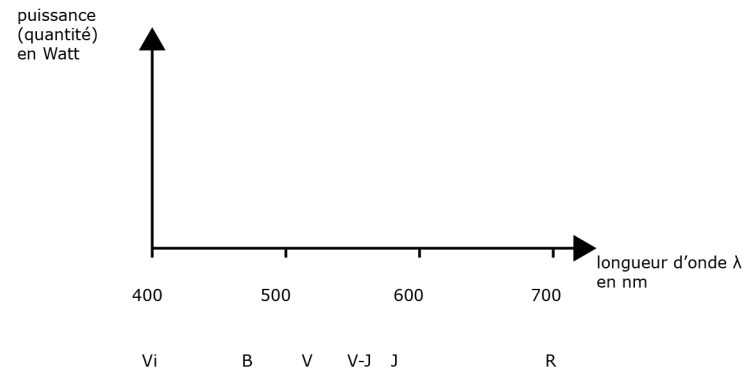
Visuellement, vous l'aurez compris, la longueur d'onde "donne" la teinte, la puissance de cette longueur d'onde "donne" la luminosité de cette teinte précise.

Courbe spectrale

Un spectre se représente généralement sous la forme d'une courbe spectrale.

Une courbe spectrale se construit dans un repère orthogonal où on trouve en abscisse les **longueurs d'onde** (ici dans une plage un peu réduite par rapport aux valeurs minimum et maximum du domaine visible et qui va **de 400nm à 700nm**) et en ordonnée la **puissance (en Watt)** de chacune de ces longueurs d'onde.

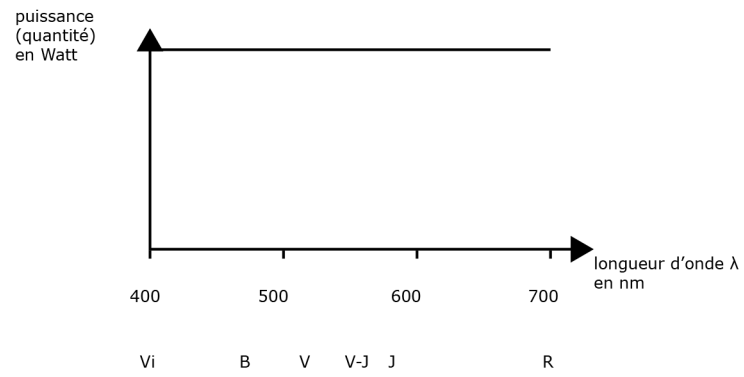
Dans le jargon scientifique, on dit que la courbe décrit la *répartition spectrale* d'une lumière (en W/nm).



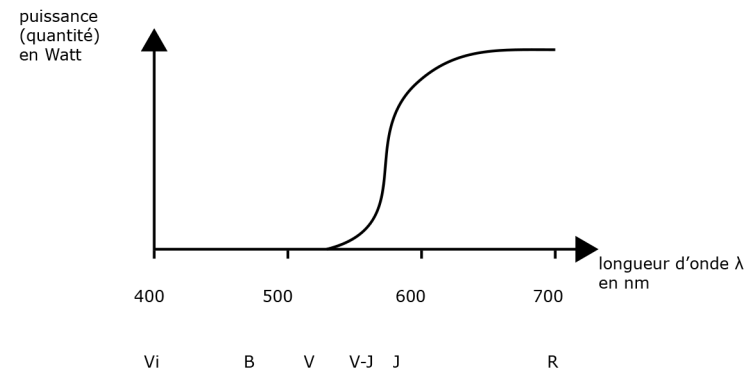
Une courbe spectrale est un moyen simple de représenter la composition d'une lumière.

Ci dessous quelques courbes spectrales, dessinées approximativement, d'après le spectre de ces lumières tel qu'observé avec le dispositif expérimental (réseau, filtres, et lampe d'expérimentation)

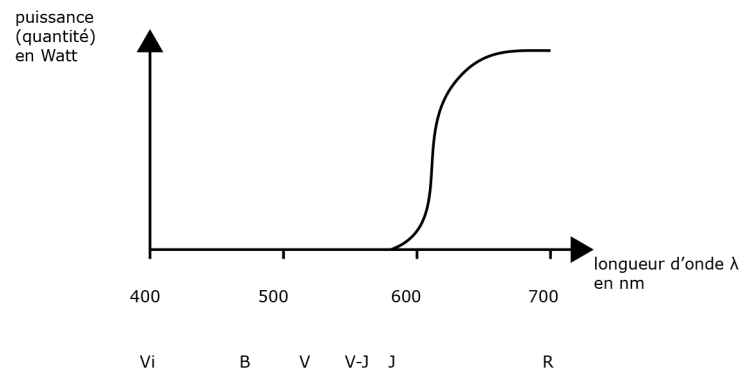
Courbe spectrale d'une lumière blanche :



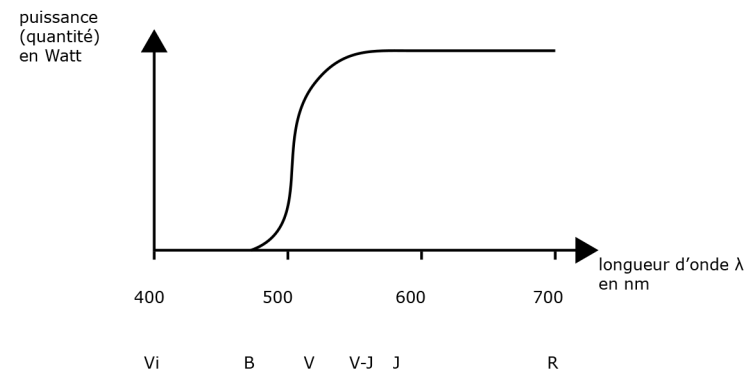
Courbe spectrale d'une lumière orange :



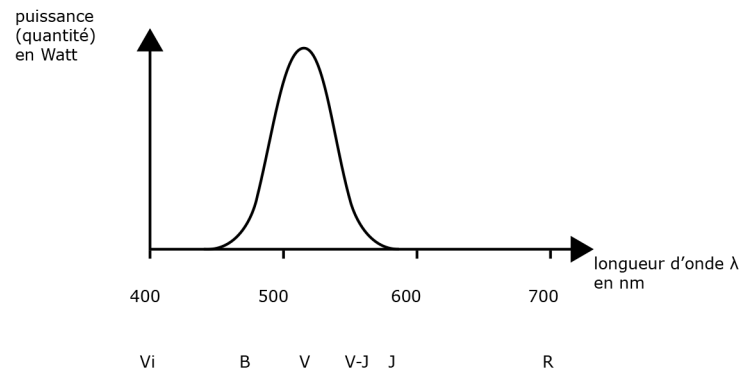
Courbe spectrale d'une lumière rouge :



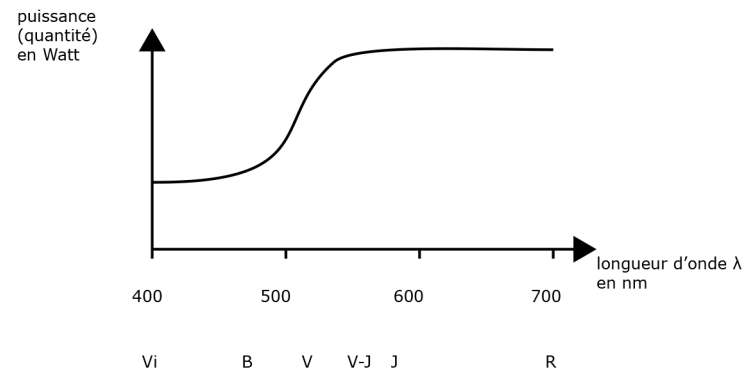
Courbe spectrale d'une lumière jaune :



Courbe spectrale d'une lumière verte :



Courbe spectrale d'une lumière jaune-blanc :



Courbe spectrale d'une lumière bleu :

