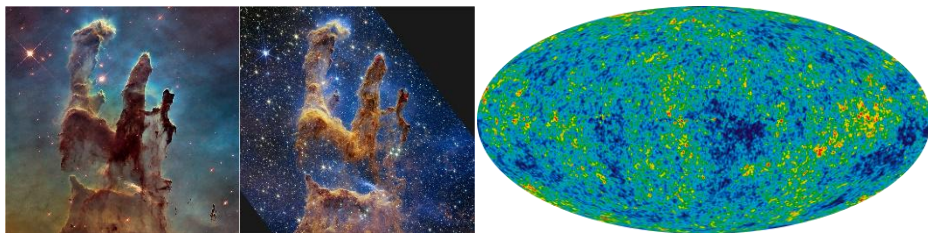


LA LUMIERE

LA LUMIERE, C'EST QUOI ?

En termes techniques, la lumière visible est une « onde électromagnétique », tout comme les rayons X, qui nous servent pour faire les radiographies médicales, les micro-ondes, qui permettent de réchauffer l'eau dans les fours du même nom, ou encore les ondes radio, pour écouter la radio. Les scientifiques s'en servent également pour produire différentes sortes d'images avec les télescopes.



Credits: NASA, ESA, CSA, STScI; Joseph DePasquale (STScI), Anton M. Koekemoer (STScI), Alyssa Pagan (STScI).

A gauche, deux photographies des « piliers de la création », un nuage de poussière interstellaire, prises par le télescope spatial Hubble dans le domaine visible (à gauche) et par son successeur le télescope James Webb dans le domaine infrarouge (au milieu), ce qui permet d'observer d'autres détails. A droite, une représentation du « fond diffus cosmologique », mesuré dans domaine des micro-ondes, qui est la toute première lumière qui a pu se propager dans l'univers après le Big Bang.

Ces différentes sortes d'ondes électromagnétiques sont appelés « domaines » (on parle du « domaine des ondes radio ») et sont distinguées par leur énergie. Par exemple, les rayons X ont une énergie plus élevée que la lumière visible, qui elle-même a une énergie plus élevée que les infra-rouges. Et tous les appareils ne sont pas capables de capter tous les domaines. Par exemple, nos yeux perçoivent la lumière visible.

Mais une onde, c'est quoi ?

On apprend en cours de physique au lycée que « une onde est un transport d'énergie sans transport de matière ». Cela signifie que de l'énergie se déplace (on dit que l'onde se propage), et ce sous la forme d'une vibration de ce qu'elle traverse. Cela prend la forme d'une vague, on parle d'oscillation : des creux et des bosses qui se succèdent de façon régulière, on dit qu'elle est périodique. La taille du motif qui se répète s'appelle la longueur d'onde et celle-ci est d'autant plus courte que l'énergie de l'onde est élevée.

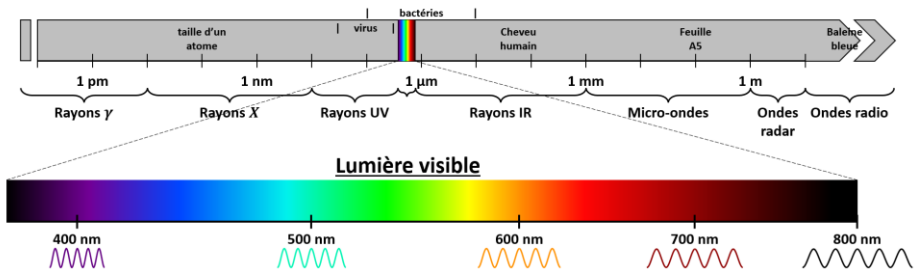
Comme il s'agit d'un phénomène qui se déplace, si l'on regarde à un endroit donné, le motif se répète aussi dans le temps : la durée qui s'écoule pour faire passer une vague est appelée période (on précise parfois *temporelle*, car la longueur d'onde est mathématiquement une *période spatiale*, car l'onde se déplace dans une certaine direction de l'espace, par exemple vers le haut, ou horizontalement, ou en biais...)

La lumière visible

La lumière visible a une longueur d'onde comprise entre 380 et 780 nanomètres. Il s'agit d'une subdivision du mètre, qui vaut un milliardième de mètres et s'écrit *nm*, c'est-à-dire qu'il y a un milliard de nanomètres dans un mètre. Par exemple, ce feuillet déplié est au format A4 : il mesure donc 21 centimètres (on note 21 cm) de large, ce qui correspond à 210 millimètres (210 millièmes de mètres), ou à 210 millions de nanomètres (210 000 000). Mais en général, on utilise la division du mètre la plus adaptée, on ne donne pas la taille d'une feuille de papier en km ou la longueur d'une route en mm.

Anecdote : la longueur totale de l'ADN dans une cellule humaine est de 2 mètres, soit plus grande qu'un humain moyen. Et si on mettait bout à bout tout l'ADN d'une personne adulte, cela serait comparable au diamètre du système solaire !

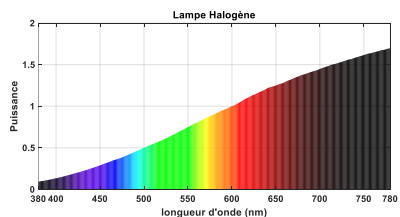
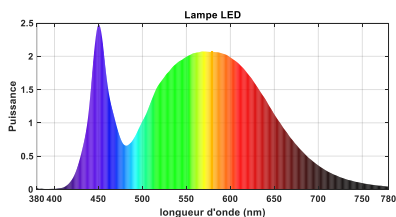
L'image ci-dessous illustre les domaines des ondes électromagnétiques en fonction de leur longueur d'onde. La lumière visible n'en représente qu'une toute petite partie et est entourée des domaines ultraviolet (ou UV), qui causent les coups de soleil, et infrarouge (ou IR), qui sont utilisés par exemple pour les caméras nocturnes ou les caméras infrarouges.



Voici une représentation classique des domaines électromagnétiques. L'axe horizontal représente les longueurs d'ondes dans une échelle logarithmique : lorsqu'on avance d'une graduation, on multiplie par 10 la taille, il faut 3 graduations pour passer de 1 mm à 1 m. Cela s'oppose aux échelles linéaires où chaque graduation ajoute une certaine quantité, comme dans les spectres qui sont illustrés plus bas, où chaque graduation ajoute 100 nm.

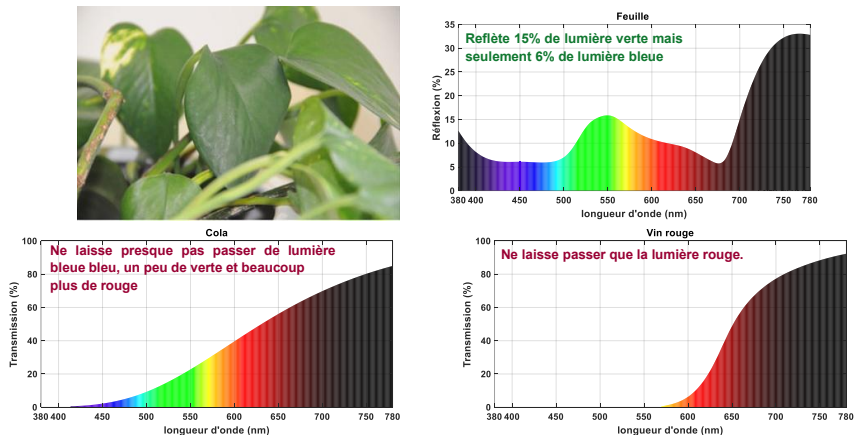
« Spectre » lumineux

Il existe différentes sources de lumière (= objets qui émettent de la lumière). Un LASER émet de la lumière qui a pour caractéristique de n'avoir qu'une seule longueur d'onde, tandis que les lampes de maison émettent un mélange d'ondes de différentes longueurs d'ondes, on appelle cela un spectre d'émission lumineux. L'illustration ci-dessous montre ainsi les spectres d'émission d'une LED (diode électro-luminescente) et d'une lampe halogène :



Comment lire un spectre ? C'est simple : la direction horizontale correspond à la longueur d'onde qui est émise ou non, et la direction verticale correspond à la quantité de lumière qui est émise avec cette longueur d'onde. Par exemple, à la longueur d'onde de 425 nm, la courbe de la LED est beaucoup plus élevée qu'à 400 nm, cela signifie qu'il y a plus de lumière à 425 nm dans le mélange d'ondes émis par la LED. Également, on remarque que la lampe halogène émet de la lumière qui n'est pas visible, puisque la courbe de son spectre d'émission n'est pas nulle (c'est-à-dire égale à 0) au-delà de 780 nm.

Un objet qui n'émet pas sa propre lumière peut en revanche en réfléter, en absorber ou en transmettre (en laisser passer). On va ainsi parler de spectres de réflexion, d'absorption et de transmission, qui leurs sont propres mais qui se lisent un peu différemment : ce sont des pourcentages de la lumière qui arrive sur l'objet. Par exemple, le verre d'une vitre laisse presque tout passer – il absorbe très peu – sinon il serait sombre comme des lunettes de soleil. L'illustration ci-dessous montre les spectres de transmission de d'un cola et du vin rouge, et le spectre de réflexion d'une feuille. La couleur de l'objet va donc dépendre de quelle lumière lui arrive dessus et de son spectre de réflexion ou de transmission.



Mangold, Klaus & Shaw, Joseph & Vollmer, Michael. (2013). The physics of near-infrared photography. European Journal of Physics. 34. 51-. 10.1088/0143-0807/34/6/S51.

LA COULEUR, C'EST QUOI ?

Nous avons vu jusqu'ici que la lumière visible était similaire à plein d'autres sortes d'ondes électromagnétiques que l'on ne peut pas percevoir, mais que nous sommes capables de capter par différents appareils (téléscope, caméra, récepteur radio, téléphone portable, ...). Chez l'être humain, les appareils servant à capter la lumière visible sont les yeux.

Une « lumière rouge », c'est une lumière ou un mélange de lumières dont les longueurs d'onde sont au-delà de 600 nm, qui est captée par notre œil et que notre cerveau va interpréter comme du rouge.

Le saviez-vous ? Tous les animaux n'ont pas les mêmes sortes d'yeux. Certains distinguent moins de couleurs que nous, comme les chiens et les chats, et certains autres peuvent percevoir les rayons UV ou infrarouges.

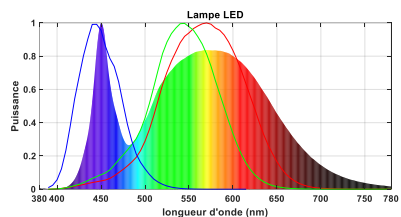
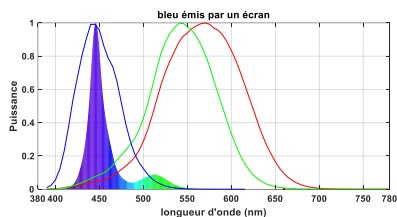
Comment voit-on les couleurs ?

La lumière entre dans l'œil en passant par la cornée et le cristallin – qui sont des lentilles comme les loupes – et arrive sur la rétine. C'est un organe complexe composé de différentes couches de cellules parmi lesquelles certaines sont appelées « photoréceptrices » (*photo-* pour la lumière) servent à capter la lumière grâce à différentes molécules appelées opsines.

Dans cette couche se trouvent les bâtonnets et les cônes. Les bâtonnets sont situés partout sur la rétine et sont responsables de la vision de nuit (dite scotopique) ; elles ne discriminent pas les couleurs. Les cônes, quant à eux, sont situés surtout proche du centre de notre vision et existent sous 3 sortes, chacune sensible à une partie différente du spectre visible. On dit en général qu'ils sont sensibles au rouge, au vert et au bleu même si c'est une simplification. On parle de « vision trichromatique ».

La vision trichromatique et les caméras

Comme il y a 3 types de cônes, un spectre de lumière est transformé par notre œil en une sorte de « code de référence » de 3 valeurs. Par exemple, En regardant le ciel, le cône sensible au bleu va capter beaucoup de lumière, mais les cônes sensibles au vert et au rouge. Dans l'illustration ci-dessous sont affichés les spectres de deux lampes ainsi que les 3 zones de sensibilité des cônes, sous la forme de lignes rouge, verte et bleue.



Source : CIE 2006, CIE 2006 LMS cone fundamentals for 2° field size in terms of energy, International Commission on Illumination (CIE), Vienna, Austria, DOI: 10.25039/CIE.DS.tijdesg

Dans les 2 cas, le cône sensible au bleu captera beaucoup de lumière. Mais dans le cas du bleu émis par un écran, il n'y a presque rien sous les courbes des cônes sensibles au rouge et au vert. La couleur sera donc interprétée par le cerveau comme « beaucoup de bleu, presque pas de vert, encore moins de rouge ». En revanche, dans le spectre de la Lampe LED, il y a beaucoup de signal pour chacun des trois types de cônes. Lorsque les 3 cônes captent une quantité de lumière similaire, nous percevons du blanc.

C'est grâce à ce « code de référence » que nous pouvons reproduire une couleur avec un écran. L'écran émet un mélange de rouge, de vert et de bleu très fines, mais qui suffisent pour reproduire une couleur perçue. C'est également sur ce principe que fonctionnent les caméras, qui possèdent des filtres qui fonctionnent comme les cônes humains et permettent d'enregistrer chaque couleur sous la forme d'un code de 3 valeurs.

Note : Rappelez-vous les images obtenues grâce à des télescopes montrées en première page. Elles ont été prises en photo dans des domaines non-visibles mais pourtant sont affichées en couleurs. Il y a donc eu une étape de « transformation » de la photographie en une image que nous sommes capables d'interpréter : on appelle cela des images en fausses couleurs.