

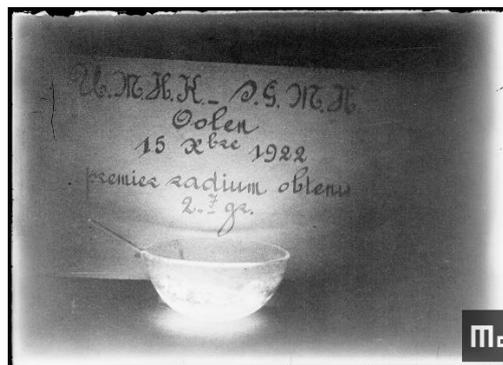
La lumière

1) Le phénomène- les sources primaires et secondaires

Le phénomène lumière se révèle à l'oeil humain. Il peut être généré par un objet très fortement chauffé comme le soleil au cœur duquel des réactions nucléaires de fusion font monter sa température à des millions de degrés, ou bien une barre de fer que l'on plonge dans un foyer ardent, ou bien un filament de tungstène dans lequel on fait passer un courant électrique (ancien mode de production de lumière avec des ampoules à filaments). Dans ce cas l'émetteur de lumière est appelé **source primaire**. Mais il peut encore être généré par un objet réémettant une partie de la lumière qu'il reçoit d'une source primaire. L'émetteur est alors qualifié de **source secondaire**. Il n'émet pas de lumière (tout au moins visible) sans être éclairé. Enfin, il existe une source primaire de lumière un peu particulière comme le polonium ou le radium isolés par Marie Curie. Ces éléments irradient de la lumière sans pour autant être éclairés, ni chauffés, ni impliqués dans des réactions chimiques. Cette émission de lumière est associée à une émission de rayonnements non visibles et très pénétrants formant ce que l'on appelle la radioactivité (rayons alpha, X et gamma).



Fer chauffé à blanc (la partie la plus chaude émet une lumière blanche, la moins chaude, une lumière rouge)

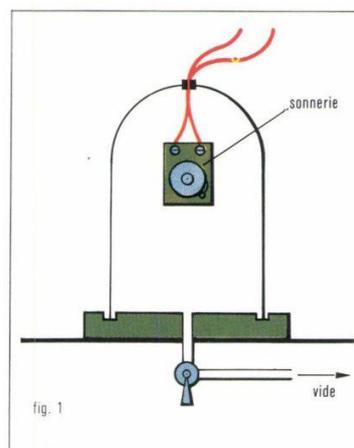


Emission spontanée de lumière par deux décigrammes de radium

La lumière est un **phénomène qui se propage**. On perçoit l'image d'un objet, bien qu'étant très éloigné de lui, par la lumière qu'il émet. Ainsi voit on des planètes, des étoiles et des galaxies situées à des année-lumière de nous.

Expérience :

On place sous une cloche en verre une source sonore qui émet un son continu. La cloche est reliée à une pompe à vide. Lorsqu'il y a de l'air sous la cloche on entend distinctement le son de la source mais au fur et à mesure qu'on y fait le vide, le son diminue d'intensité pour l'observateur extérieur jusqu'à disparaître quasi totalement, car la pompe ne permet pas de faire un vide total. En revanche l'observateur ne note aucune modification dans la perception de l'image de la source sonore.



Conclusion de l'expérience : **La lumière peut se propager dans le vide. Des mesures ont permis d'établir que sa vitesse est alors d'environ 300 000 km/s et plus précisément :**

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$

Un milieu dans lequel la lumière peut se propager est appelé **milieu transparent**. Si en plus, il est homogène et isotrope (mêmes propriétés dans toutes les directions) alors l'expérience montre que la lumière s'y propage moins vite que dans le vide

2) Définition de la lumière

Il est très difficile de donner une définition précise de la lumière. Ses propriétés comme la **réflexion**, la **réfraction** et la **diffraction** l'ont fait d'abord voir comme une onde se propageant dans un milieu hypothétique appelé **éther**. Puis l'effet photoélectrique est venu contrarier cette vision et a conduit Albert Einstein à définir une notion de **photon**, ce qui rendait la lumière plus proche d'un modèle de particule. En outre, James Clerk Maxwell, ayant unifié fin XIX les lois de l'électricité et du magnétisme dans un jeu d'équations, avait trouvé comme solution mathématique possible une onde se propageant

à la vitesse de la lumière, ce qui l'avait amené à postuler que la lumière était une onde électromagnétique et avait conduit une décennie plus tard à découvrir d'autres ondes électromagnétiques : les ondes radios (expérience de Hertz). Bref, la lumière revêt plusieurs habits dans une modélisation qui porte les apparences d'une contradiction et que l'on appelle **dualité onde-corpuscule**.

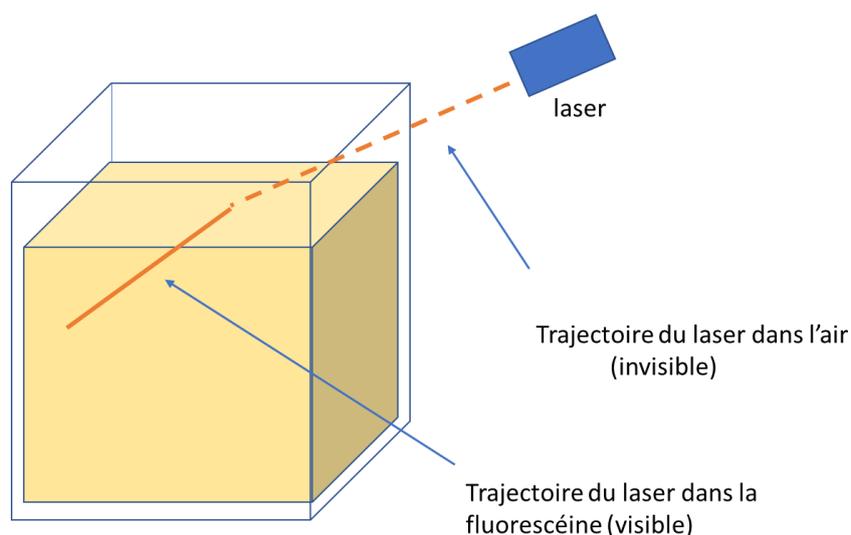
La lumière est une onde électromagnétique qui se propage dans le vide et dans les milieux transparents (comme l'air, le verre, le plexiglas, l'eau). Elle interagit avec la matière en étant soit absorbée, soit émise dans une quantité d'énergie (quantum) appelée photon.

3) Mode de propagation de la lumière dans un milieu transparent homogène isotrope

Pour observer la propagation de la lumière dans un milieu transparent, une difficulté apparaît. Prenons le cas du vide et imaginons cette expérience faite dans l'espace avec 3 spatonautes qu'on supposera dans une relative obscurité.

Un spatonaute allume une lampe de poche face à un second, qui voit parfaitement que la lampe est allumée. Un troisième spatonaute placé à côté du premier ne voit que la tache que fait la lumière émise par la lampe sur la combinaison du second mais il n'en voit pas la propagation.

Un moyen de lever cet obstacle consiste à mettre sur la trajectoire de la lumière une substance susceptible d'absorber une partie de cette lumière et de la rediffuser tout autour notamment aux yeux d'un observateur qui ne serait pas sur le trajet de cette lumière. Une substance qui fait cela est la fluorescéine. L'expérience consiste alors à diriger le faisceau d'un laser monochromatique (d'une seule couleur, rouge par exemple) sur la surface d'une solution de fluorescéine contenue dans un béccher

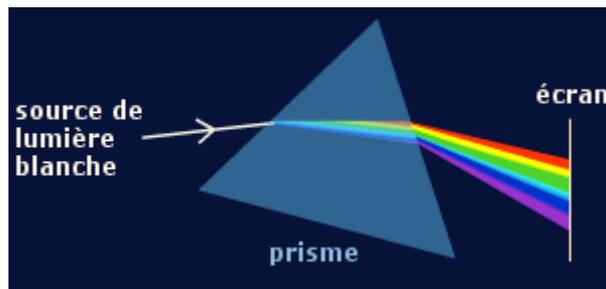


Conclusion de l'expérience :

Dans un milieu transparent homogène et isotrope (comme l'eau, l'air, le vide) la lumière se propage en ligne droite.

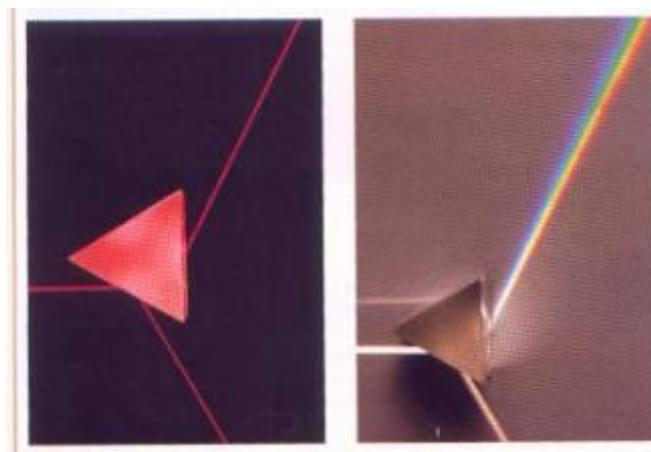
4) Réfraction et dispersion de la lumière

Expérience 1 : Sur le trajet d'un faisceau de lumière blanche, on dispose un prisme en plexiglas. On voit alors le faisceau se décomposer à la sortie du prisme en un panel de couleurs correspondant à celles d'un arc en ciel : violet, bleu, vert, jaune, orangé, rouge.



Expérience 2 : En disposant une fente à la sortie du prisme afin d'isoler une couleur et en disposant un second prisme sur son trajet, on constate que le rayon monochromatique est dévié par ce prisme mais pas décomposé. Une variante de cette expérience est d'utiliser un laser monochromatique et de le diriger sur un prisme pour observer le même effet.

Une manière commode de visualiser les trajectoires des rayons lumineux est de disposer le prisme sur un papier blanc. Ce dernier se colore sur la trajectoire des rayons. Les figures ci-dessous montrent l'expérience. À noter la présence d'un rayon réfléchi dans chaque cas. Et à noter que plus la couleur du rayon est proche du violet, plus il est dévié.



Interprétation de l'expérience 1 :

La lumière blanche (comme celle du soleil ou d'une lampe) peut être décomposée à l'aide d'un prisme en un arc en ciel. C'est le phénomène de dispersion

La lumière change de direction de propagation à l'interface entre deux milieux transparents de caractéristiques différentes (exemple : air et plexiglas). Ce phénomène s'appelle la réfraction. La déviation que subit un rayon monochromatique dépend de sa couleur. Plus la couleur du rayon est proche du violet, plus il est dévié. La réfraction est donc à l'origine de la dispersion si on considère un rayon de lumière blanche comme constitué d'une superposition de rayons monochromatiques.

5) Lumière monochromatique et lumière complexe

Une lumière monochromatique est une lumière qui n'est pas décomposable en tout ou partie des couleurs de l'arc en ciel. Une lumière complexe est une lumière qui n'est pas monochromatique.

Les lasers sont des sources intenses de lumière monochromatique. Les diodes émettent une lumière proche de celle d'une lumière monochromatique.

La lumière monochromatique est l'analogie du son pur et la lumière complexe du son complexe.

6) Analyse et caractérisation d'une lumière-Diffraction

La diffraction est un phénomène caractéristique des ondes. Elle apparaît en éclairant un fil de diamètre très fin (cheveu par exemple) avec un laser. On voit alors apparaître sur un écran, non pas l'ombre du cheveu comme attendu, mais un ensemble de taches distribuées sur une ligne horizontale avec une tache centrale plus lumineuse et plus large. L'analyse mathématique des ondes sinusoïdales permet de prévoir ce phénomène et de déduire que la largeur de la tache centrale est proportionnelle à la longueur d'onde à position du laser fixée, donc dépend de la couleur de cette lumière.

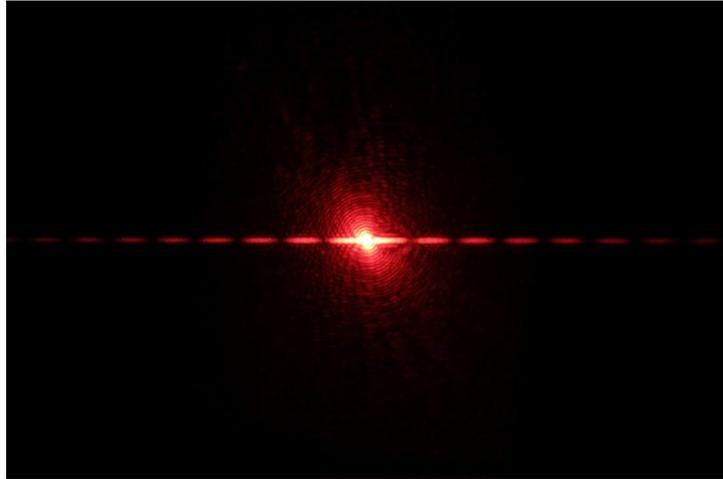
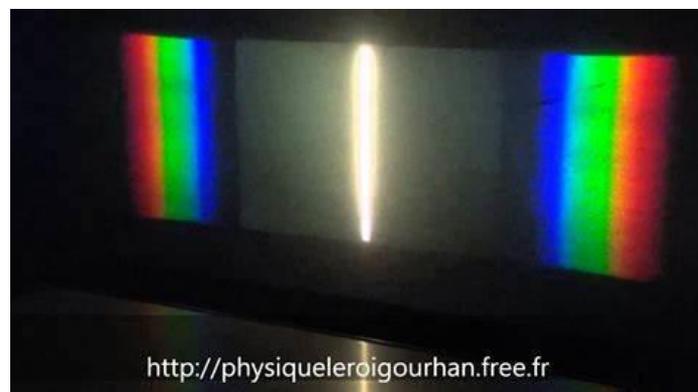


Figure de diffraction obtenue en intercalant un cheveu entre un laser rouge et un écran blanc.

La dispersion d'une lumière complexe en ses différentes couleurs peut être réalisée par un autre système que le prisme appelé **réseau de diffraction**.

Un réseau de diffraction fait apparaître non seulement les différentes couleurs composant la lumière complexe mais également une caractéristique de chacune de ces couleurs : leur longueur d'onde dans le vide.



7) Synthèse des couleurs

La synthèse des couleurs est un procédé qui permet de générer tout un panel de couleurs à partir de couleurs de référence, qualifiées de primaires. Il existe deux types de synthèse : la synthèse additive et la synthèse soustractive.

a) La synthèse additive

C'est le procédé utilisé pour recréer des millions de couleur sur un écran d'ordinateur. Un écran est constitué de cellules très petites mais visibles à l'œil nu appelées **pixels**. Chaque pixel contient trois sources de lumière quasi monochromatique : une rouge, une verte, une bleue. Afin de voir comment fonctionne le procédé, nous pouvons faire une expérience avec un dispositif équipé de trois diodes quasi monochromatiques, une rouge, une verte, une bleue, le dispositif s'apparentant à une sorte de pixel mais à une échelle fortement augmentée.



L'avantage de ce dispositif est de permettre de visualiser sur un fond blanc la couleur que percevrait l'œil d'un observateur s'il recevait au même endroit de sa rétine simultanément deux lumières monochromatiques choisies parmi rouge, vert et bleu. Voici ce que donne l'expérience :

- Diodes bleu et rouge allumées, verte éteinte



On observe à travers un trou sur l'écran blanc deux disques, dont l'intersection fait apparaître une nouvelle couleur appelée **magenta**

- Diodes bleu et verte allumées, rouge éteinte



On observe, en plus des couleurs verte et bleu des diodes, une nouvelle couleur appelée **cyan**

- Diodes verte et rouge allumées, bleu éteinte



On observe, en plus des couleurs verte et rouge des diodes, une nouvelle couleur **jaune**

- Enfin, si les trois sont allumées en même temps :



On observe, en plus des couleurs verte, rouge et bleu des diodes, les trois nouvelles couleurs précédentes, magenta, cyan et jaune et au centre, comme superposition des couleurs émises par les trois diodes, du blanc

Interprétation :

Les couleurs Rouge, Vert , Bleu forment les couleurs primaires de la synthèse additive. Leur superposition en intensités égales donne de nouvelles couleurs selon les règles :

Bleu + Rouge = Magenta

Bleu + Vert = Cyan

Vert + Rouge = Jaune

Bleu+Vert+Rouge = Blanc

En faisant varier les intensités de chaque diode on peut obtenir tout le panel de couleurs observables par l'œil humain. C'est ce qui est exploité dans un ordinateur. Les couleurs y sont codées en système hexadécimal sous la forme de cet exemple : #FF23A5. Voyons ce qui se cache sous ce sigle :

Tout d'abord on utilise un système de comptage à 16 chiffres qui sont :

0, 1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F

Ensuite chaque chiffre est traduit en une suite de 0 et de 1 selon la correspondance :

0 -> 0 0 0 0

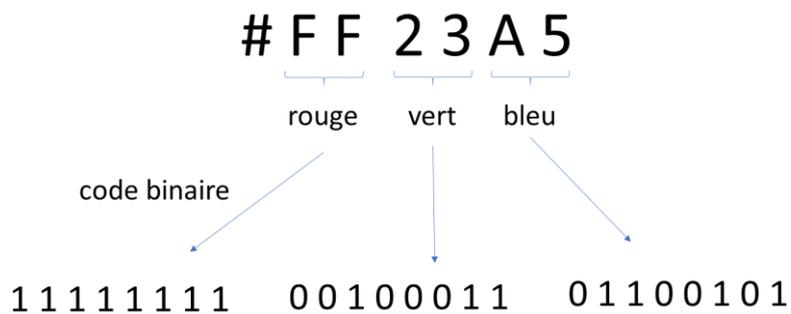
1 -> 0 0 0 1

2 -> 0 0 1 0

3 -> 0 0 1 1

4 -> 0 1 0 0
5 -> 0 1 0 1
6 -> 0 1 1 0
7 -> 0 1 1 1
8 -> 1 0 0 0
9 -> 1 0 0 1
A -> 1 0 1 0
B -> 1 0 1 1
C -> 1 1 0 0
D -> 1 1 0 1
E -> 1 1 1 0
F -> 1 1 1 1

Voilà comment s'interprètent la suite des 6 chiffres hexadécimaux utilisés pour coder une couleur



On peut ainsi coder $2^8 = 256$ niveaux d'intensité différents pour chaque couleur, ce qui conduit à coder $256 \times 256 \times 256 = 16\,777\,216$ couleurs différentes soit des millions de couleurs.

Voici quelques exemples :

Blanc : #FFFFFF

Gris clair : #AAAAAA

Gris foncé : #555555

Noir : #000000

Rouge intense : #FF0000

Vert intense : #00FF00

Bleu intense : #0000FF

Magenta : #FF00FF

Cyan : #00FFFF

Jaune : #FFFF00

b) La synthèse soustractive

C'est le procédé utilisé en peinture pour obtenir à partir de pigments colorés de références appelés couleurs primaires tout un panel de couleur, mais le principe diffère de celui de la synthèse additive. Voyons en quoi.

Les couleurs primaires de la synthèse soustractive sont les couleurs secondaires de la synthèse additive, à savoir, Magenta, Jaune et Cyan et vice versa. Prenons deux pots de peinture dont les couleurs sont choisies parmi ces dernières et fabriquons par mélange en mêmes proportions un nouveau pot. Voici les résultats obtenus :

- Pot Magenta + Pot Jaune -> Pot rouge

Explication :

Dans le pot magenta il y a des pigments qui émettent en intensités sensiblement égales dans le bleu et dans le rouge. Dans le pot Jaune, il y a des pigments qui émettent dans le rouge et dans le vert. Lorsque on fabrique un nouveau pot par mélange le rouge se trouve émis plus intensément (environ doublement) que le vert et le bleu. Il en résulte une perception de couleur rouge. Le même raisonnement explique les autres cas.

- Pot Magenta + Pot Cyan -> Pot bleu
- Pot Cyan + Pot Jaune -> Pot vert

Ainsi, dans une synthèse soustractive, l'action du mélange de deux peintures conduit à renforcer la composante commune, ce qui a pour effet de soustraire les autres à l'observation. Elles sont présentes mais non perçues car de trop faible intensité.

Si on mélange les trois pots, on obtient du noir.