

CHAPITRE I

Le spectre visible

La simple observation d'un arc-en-ciel nous renseigne sur la composition de la lumière solaire. La succession des couleurs pour un œil humain s'étale du violet au rouge.

Arcs en ciel (clichés : m. coué)



fig. 1

La physique a montré que la nature de la lumière revêt un caractère corpusculaire (photon) mais aussi ondulatoire. C'est à dire que l'on peut considérer la lumière comme constituée d'un ensemble de radiations lumineuses auxquelles sont associées des ondes transversales à la direction de propagation, pseudo périodiques et de nature électromagnétique.

Les figures ci-dessous représentent la variation du champ électrique dans la direction de propagation de deux ondes lumineuses monochromatiques dans le vide à un instant t fixé et, pour la partie inférieure, les raies spectrales correspondantes positionnées, ici, dans le domaine du visible.

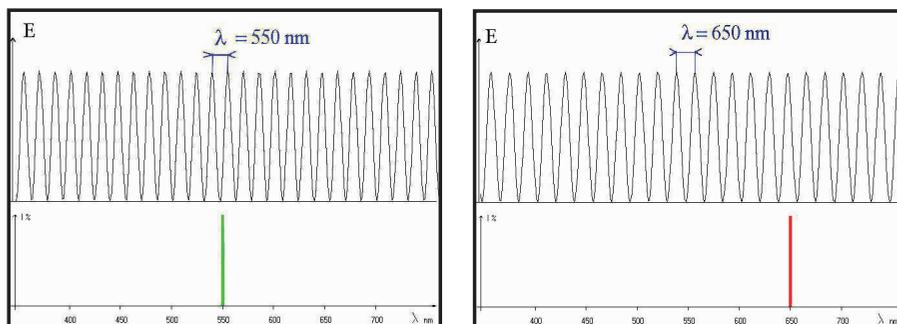


fig. 2

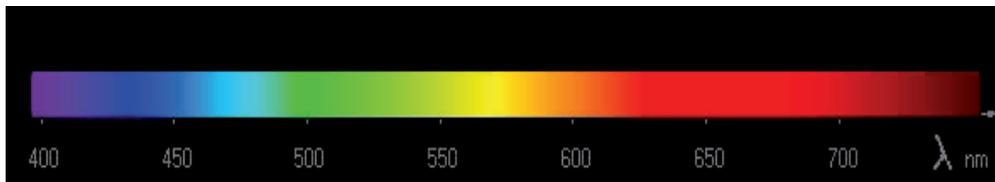
On peut aisément constater que pour une raie spectrale, choisie dans le spectre et isolée, la perturbation de la grandeur physique se reproduit à l'identique en des points régulièrement espacés. La distance qui sépare 2 points consécutifs dans le même état vibratoire est appelée longueur d'onde et on la note fréquemment λ .

La valeur instantanée de l'amplitude du champ électrique peut s'écrire sous la forme $E = E_0 \cos 2\pi (v.t + x/\lambda)$ où v représente la fréquence de l'onde et λ sa période spatiale. Dans cet exemple, la raie de couleur verte présente une longueur d'onde de 550 nm alors que celle de couleur rouge possède une longueur d'onde plus importante de 650 nm

Le nanomètre (nm) correspond au millionième de millimètre $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$.

Pour le spectre visible, la gamme des longueurs d'onde s'étend de 380 nm pour le violet à 780 nm pour le rouge le plus extrême. En deçà et au-delà de ces valeurs, pour les domaines de l'ultraviolet et de l'infrarouge, l'être humain ne perçoit plus les radiations lumineuses. Pour le physicien, la relation entre couleur et longueur d'onde d'une radiation lumineuse est des plus simple et peut-être facilement visualisée dans le domaine du visible.

fig.3



Ce spectre continu représente l'étalement des longueurs d'onde étudié scientifiquement pour la première fois par *Isaac Newton (1643-1727)*. Un simple dispositif à prisme ou à réseau de diffraction, associé à une fente ou à une faible ouverture permet l'observation de ce phénomène de dispersion de la lumière blanche.

Montage spectrographique

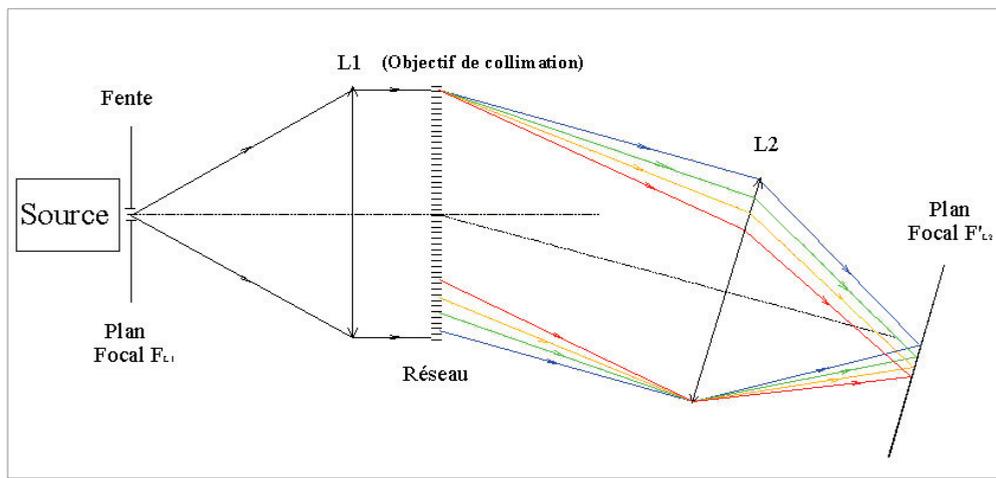


fig.4

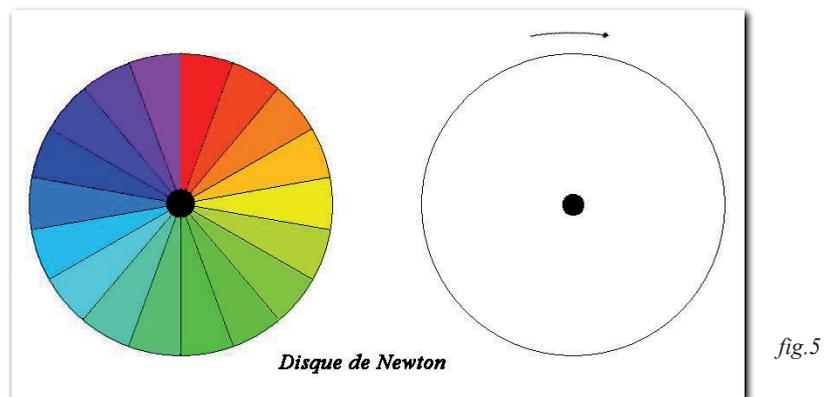
En positionnant une ouverture étroite, généralement une fente, dans le plan focal image de l'objectif F'_{L2} , on sélectionne une partie limitée du spectre visible, ce qui se traduit par l'observation d'un champ coloré. Le déplacement de cette ouverture, dans le plan F'_{L2} permet de sélectionner une autre bande spectrale et donc de faire varier la teinte en sortie du dispositif. Ainsi l'association d'une couleur et d'une longueur d'onde apparaît, en première approche, comme évidente.

CHAPITRE II

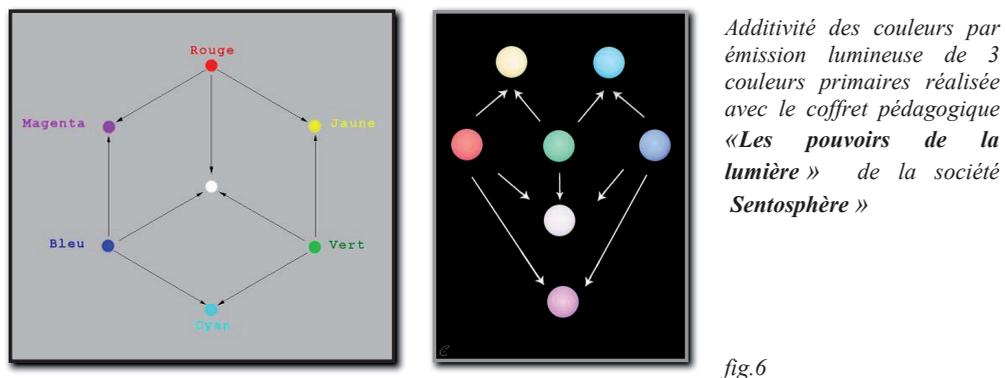
La synthèse des couleurs

1 La synthèse additive

Dès l'obtention de la première figure de dispersion se posa la question de la réciprocity : que se passe-t-il lors d'un mélange de couleurs formé à partir de différentes zones du spectre visible ? Newton répondit en partie à cette question en présentant un dispositif matérialisé par un disque en rotation comportant de multiples secteurs angulaires présentant différentes teintes. Le résultat démontra que la synthèse visuelle de l'ensemble de ces teintes produit une sensation colorée se rapprochant du blanc.



Une analyse plus fine, liée à des observations pertinentes, démontra que l'on pouvait définir 3 couleurs primaires : le Rouge, le Vert et le Bleu. A partir de ces 3 couleurs primaires, en les associant et en maîtrisant leurs proportions, il est alors possible de reconstituer l'ensemble des couleurs perceptibles.



Additivité des couleurs par émission lumineuse de 3 couleurs primaires réalisée avec le coffret pédagogique «Les pouvoirs de la lumière» de la société Sentosphère »

Aujourd'hui, de nombreuses applications basées sur ce principe existent : les tubes cathodiques couleurs, les écrans de nos ordinateurs, les appareils photographiques numériques et les vidéoprojecteurs en sont des exemples significatifs.

Agrandissements de fonds d'écran uniformes d'un moniteur LCD

Blanc R=255 G=255 B=255 Rouge R=255 G=0 B=0 Vert R=0 G=255 B=0 Bleu R=0 G=0 B=255

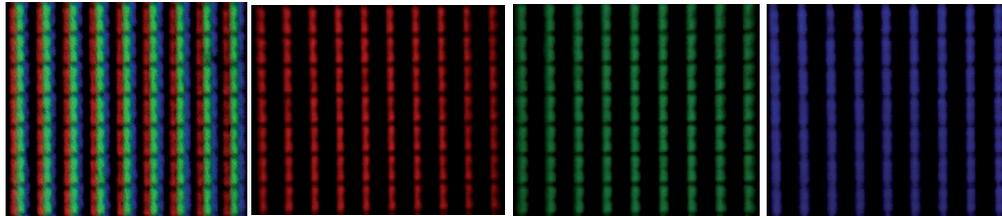
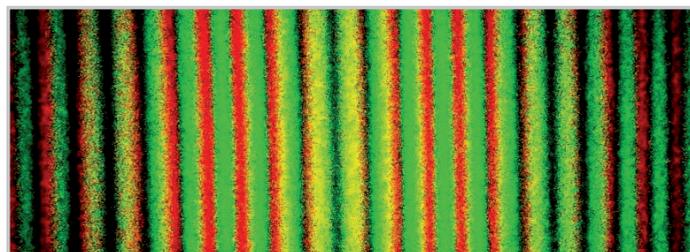


fig.7

Chaque pixel de l'écran (ou élément d'image) est constitué de 3 éléments émissifs bleu, vert et rouge. L'intensité de la lumière associée à chaque élément produit une teinte par synthèse additive pour l'œil. Le codage numérique le plus classique consiste à affecter 256 possibilités d'intensité d'émission par élément soit une production théorique de 256^3 soit plus de 16 millions de couleurs.

Une autre expérimentation effectuée avec un interféromètre de Michelson (1852-1931) et utilisant le mélange de 2 radiations laser hélium-néon d'émission rouge $\lambda_1 = 632,8$ nm et verte $\lambda_2 = 543,5$ nm démontre l'obtention d'une teinte jaune conformément aux observations précédentes.



Superposition de 2 interférogrammes obtenus par multiplexage de 2 radiations Laser rouge et verte

fig.8

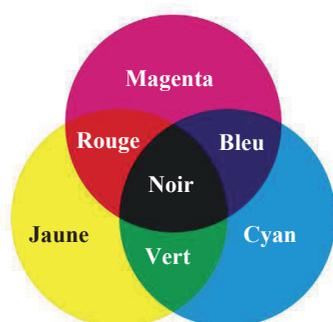
Dans cet exemple, l'observateur interprète la superposition d'une frange rouge et d'une frange verte par une frange d'aspect jaune : ce qui ne correspond absolument pas à la présence d'une radiation lumineuse possédant une longueur d'onde associée au jaune (au sens physique). Ceci démontre que le phénomène de perception des couleurs n'est pas lié exclusivement à la nature physique de la source utilisée pour produire une couleur, mais doit également tenir compte de l'observateur qui est subjectif dans son évaluation des sensations colorées.

2 La synthèse soustractive

La sensation colorée n'est pas seulement observable à partir d'une source lumineuse si complexe soit-elle. En effet, nombre d'objets présentent des teintes colorées lorsqu'ils sont éclairés par une lumière blanche. Cette simple observation nous indique qu'une modification physique intervient au niveau de l'objet éclairé.

Qui ne se remémore pas ses propres expériences colorimétriques effectuées à partir des mélanges de tubes de gouache de sa scolarité ? Chacun se souvient sans mal d'un mélange bleu-jaune produisant du vert ou encore du mélange bleu-rouge produisant du violet.

Ainsi l'obtention de toutes les teintes, à partir du mélange de 3 autres couleurs est possible en considérant les couleurs primaires soustractives : cyan, magenta et jaune.



Tout ceci en apparence contradiction avec ce que nous avons découvert précédemment ! Mais attention, il ne s'agit pas du même phénomène physique : la sensation colorée résulte dans le premier cas, d'un mélange de lumières émises alors que dans ce second cas, il s'agit d'une réémission de lumière reçue suite à divers mécanismes physiques liés à l'objet observé : Principalement l'absorption spécifique aux pigments.

fig.9

L'imprimerie utilise ce modèle depuis de nombreuses années : Naissance de l'impression couleur en France en 1731 (Jacques Christophe Le Blon)



fig.10

Le portrait en couleur de Louis XV est ici le résultat de la synthèse soustractive des 3 images imprimées sur une feuille blanche et utilisant les primaires cyan, magenta et jaune.

Les imprimantes de nos ordinateurs utilisent toujours ce procédé et travaillent donc en synthèse soustractive.

CHAPITRE III

Propriétés optiques des objets colorés

Examinons à présent les différents objets colorés qui nous entourent et notons leurs propriétés optiques. Que constatons-nous ?

En premier lieu, certains objets sont transparents : gélatine colorée, liquide vaisselle, sodas, vins, vitraux des cathédrales, encres. En revanche d'autres ne le sont pas : papier peint, peinture, briques, bois.

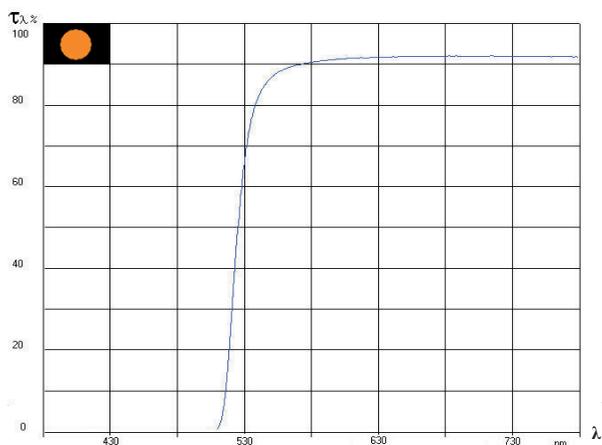
En second lieu d'autres objets réfléchissent la lumière : miroir coloré, bulles de savon, film mince d'huile sur l'eau et plusieurs composants optiques ayant reçu des dépôts de couches-minces. D'autres au contraire possèdent un aspect mat : papier journal, craies de tableau, moquette et de nombreux tissus. A chacune de ces propriétés, le physicien associe des grandeurs photométriques et des mécanismes physiques particuliers qui vont modifier la distribution spectrale de la lumière.

1 La transmission

La transmission est une propriété optique qui caractérise la capacité d'une surface, d'un composant ou d'un système optique à transmettre le rayonnement incident. Le coefficient de transmission τ exprime le pourcentage de lumière transmise sous une incidence précise et pour une longueur d'onde donnée. $\tau(\lambda)$ représente alors l'ensemble des valeurs de τ sur le domaine des longueurs d'onde.

Un objet transparent présentant un aspect coloré devra être étudié en considérant son coefficient de transmission sur l'ensemble du domaine spectral visible et idéalement suivant une gamme d'incidences adaptée. Ce coefficient de transmission évolue suivant les longueurs d'onde en présentant des zones plus atténuées que d'autres.

Coefficient de transmission sous incidence nulle $\tau(\lambda)$ d'un verre jaune-orangé



Cette courbe présente une atténuation très importante des longueurs d'onde correspondant aux zones violette et bleue du spectre visible, en revanche une partie du vert et la totalité des zones spectrales correspondant au jaune, à l'orangé et au rouge sont transmises.

fig.11

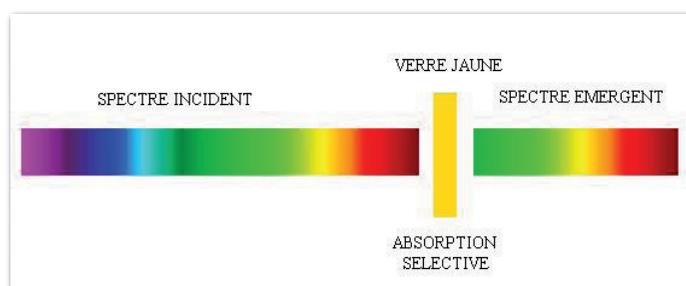


fig.12

Pour l'observation de la couleur de ce verre, la grandeur photométrique à considérer est ici la transmission et c'est l'absorption propre aux éléments le constituant (des ions présents dans le verre, dans ce cas) qui est responsable de l'absence des radiations lumineuses situées dans le bas du spectre. Il est à remarquer que ce verre ne présente un aspect coloré que si l'on observe au travers mais il ne possède aucune teinte particulière si l'on considère la réflexion d'un faisceau de lumière blanche sur ses faces polies : dans ce cas, l'aspect colorimétrique est neutre et il s'agit d'une simple réflexion vitreuse comme chacun peut en observer à la surface d'une vitre ou d'un liquide par exemple.

1.1 Filtres colorés

Dans de nombreux instruments d'optique et de systèmes d'éclairage spécifiques, le recours à des filtres colorés est souvent indispensable. Les filtres employés peuvent être constitués de verres absorbants, de polymères teintés dans la masse ou superficiellement mais aussi produits par un procédé plus complexe comme le dépôt de couches minces sous vide condensées sur un substrat transparent. Mais quelle que soit la nature du filtre, la connaissance de sa réponse spectrophotométrique en transmission est nécessaire pour prévoir ou analyser le fonctionnement d'un dispositif l'intégrant.

Filtres de couleurs



fig.13

Verres Schott

Polymères Rosco

Examinons quelques réponses spectrophotométriques, sous incidence normale, de filtres de couleur classiquement utilisés et observons les spectres visuels transmis.

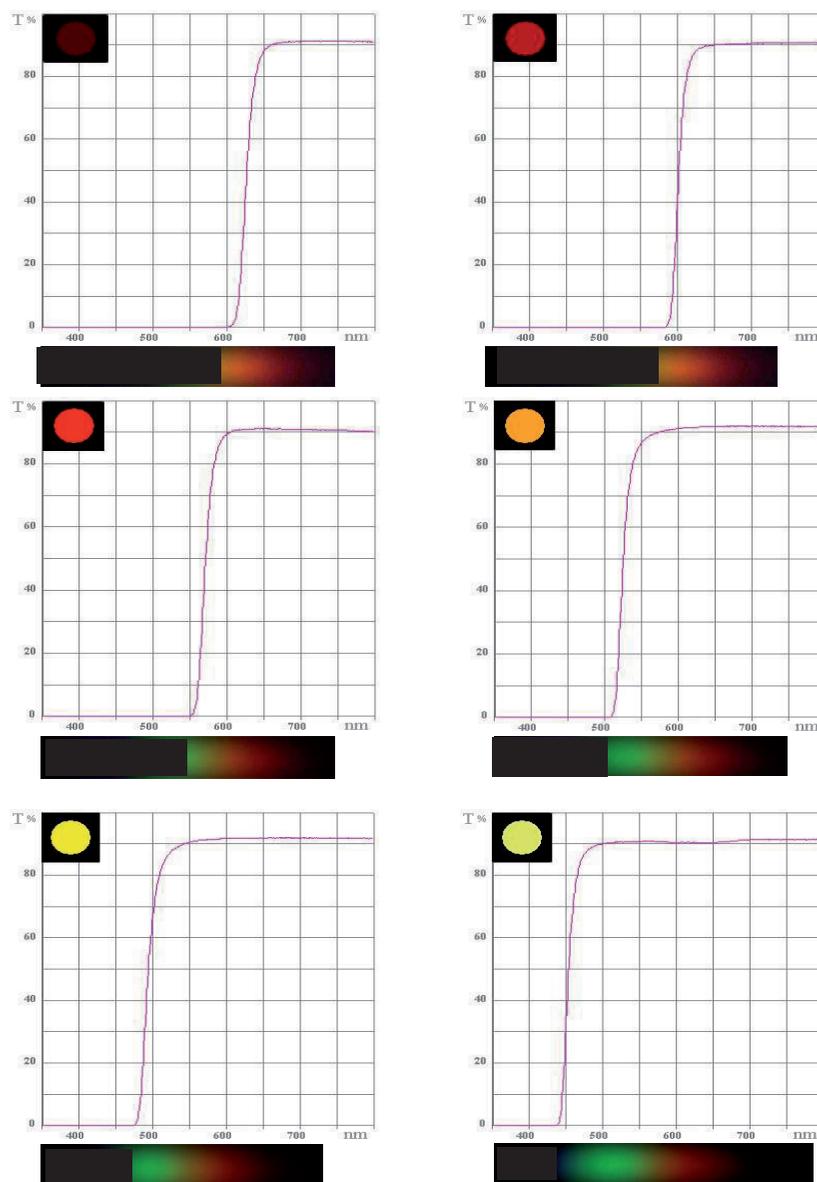


fig.14

Pour cette première série de filtres s'étendant du rouge sombre au jaune pâle on constate une similitude d'aspect du spectre mesuré. Les courbes présentent un fort pourcentage de transmission dans la partie élevée du spectre et ne transmettent pas dans la partie basse.

On nomme ce type de filtres « Passe-haut ».