

COMPOSITION ET DECOMPOSITION DES COULEURS

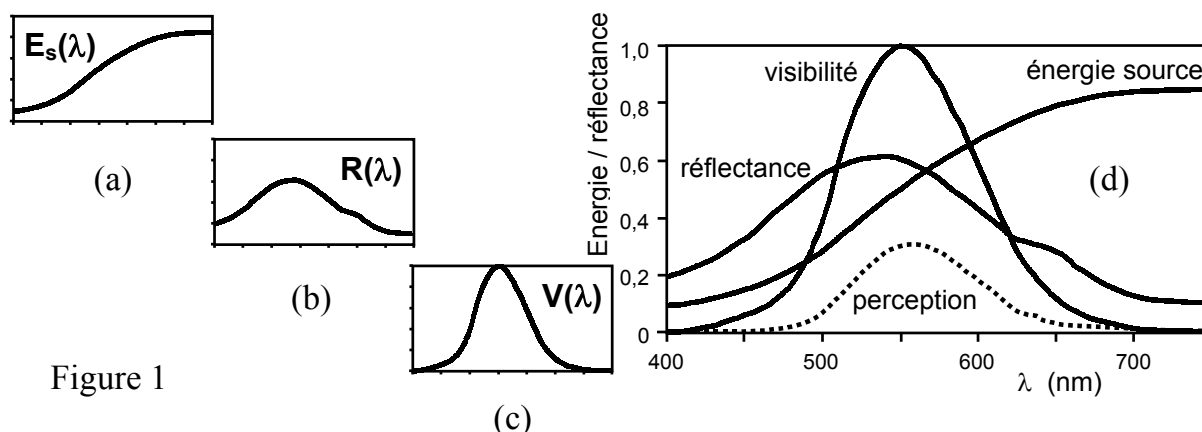
La couleur est une composante importante de notre perception visuelle mais il est très difficile de la définir avec précision, toute description étant basée sur des termes subjectifs. Disons simplement que c'est la sensation qui résulte de l'interaction de la lumière visible avec les cellules de notre œil. A chaque longueur d'onde est associée une sensation physiologique différente que l'on qualifie de "couleur" : le violet vers $0,4 \mu\text{m}$, le vert vers $0,5 \mu\text{m}$, le jaune autour de $0,55 \mu\text{m}$ et le rouge au-delà de $0,6 \mu\text{m}$.

Une couleur est définie par trois paramètres :

- **tonalité chromatique ou teinte** : définissant la nature de la couleur (jaune, vert, rouge...), elle est liée à la longueur d'onde dominante.
- **pureté** : définie par la proportion d'énergie émise à la longueur d'onde de tonalité, par rapport à l'ensemble de l'énergie émise, elle varie de 1 (couleur très pure à spectre pointu) à 0 (blanc) ; entre ces deux extrêmes existe une gamme de couleurs plus ou moins "pastel".
- **intensité ou luminosité** : définie par la quantité totale d'énergie du spectre de la couleur, elle décroît de 1 pour le blanc à 0 pour le noir.

La perception colorée d'un objet est liée à différentes composantes physiques, physiologiques et psychologiques : (illustration sur les spectres de la figure 1) :

- la composition spectrale $E_S(\lambda)$ de la lumière éclairant le corps coloré (a),
 - la réflectance spectrale $R(\lambda)$ ou communément la couleur de l'objet observé (b),
 - la perception physiologique via la courbe $V(\lambda)$ de visibilité moyenne de l'œil humain (c),
- Ainsi la perception spectrale $p(\lambda)$ d'un objet coloré peut s'exprimer : $p(\lambda) = V(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot E_S(\lambda)$, comme le montre la figure 1 (d).

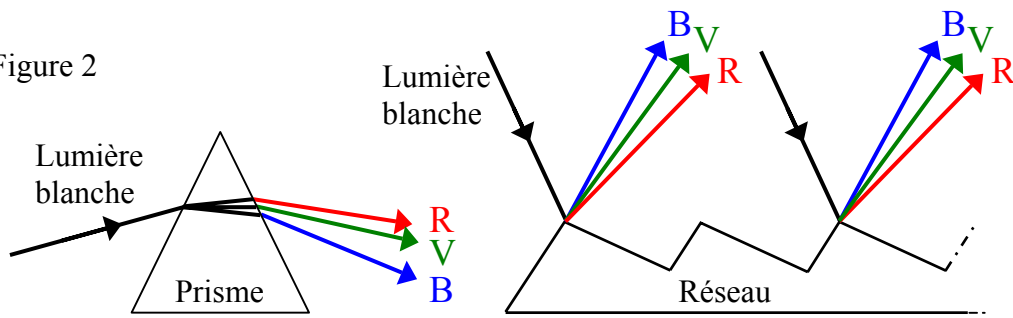


DECOMPOSITION DE LA LUMIERE

En 1666, I. Newton observa, en éclairant un prisme de verre avec la lumière provenant du soleil, sur un écran placé sur le trajet des rayons réfractés une bande allongée et multicolore reproduisant la répartition colorée de l'arc-en-ciel, avec ses sept couleurs (violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé et rouge). Il essaya ensuite de décomposer, suivant le même principe cette bande multicolore, sans succès. Chacune des couleurs de la bande est indivisible.

De nos jours, à l'aide d'un spectrocolorimètre équipé d'un prisme ou d'un réseau gravé, il est aisé d'analyser tout rayonnement qu'il provienne d'une source ou qu'il soit réfléchi ou diffusé par un matériau quelconque (voir schéma ci-après).

Figure 2



COMPOSITION DE LA LUMIERE

Il était connu depuis longtemps (par les peintres notamment) que les couleurs de surface pouvaient être reproduites par mélange d'un nombre limité de matières colorantes (pigments).
 35 Newton, dans sa vision de la blancheur de la lumière solaire résultant de toutes les couleurs primitives mêlées dans de justes proportions, ne réussit pas à montrer que l'association de deux couleurs seulement (paires rouge/bleu-vert ou jaune/bleu-violet) permettrait d'obtenir du blanc. Young (au début du 19^{ème} siècle) montra que la lumière blanche n'est pas un objet physique unique et pressentit la trivariance de la perception des couleurs due à la présence dans la rétine de trois
 40 types de détecteurs (voir le document annexe sur "l'œil et la vision des couleurs").

Synthèse additive des couleurs

C'est à Maxwell (fin du XIX^{ème}) que l'on doit la démonstration expérimentale : presque toutes les sensations visuelles créées par des lumières colorées peuvent être obtenues à l'aide d'un montage
 45 (voir figure 3a) par superposition de trois lumières (stimulus de couleur de référence) appelées primaires additives et dénommées R (rouge), G (vert) et B (bleu). Deux paramètres caractérisent chacun de ces stimulus : leur longueur d'onde ($\lambda_R = 700$ nm, $\lambda_G = 546,1$ nm, $\lambda_B = 455,8$ nm) ainsi que leur luminance (resp. L_R , L_G et L_B).

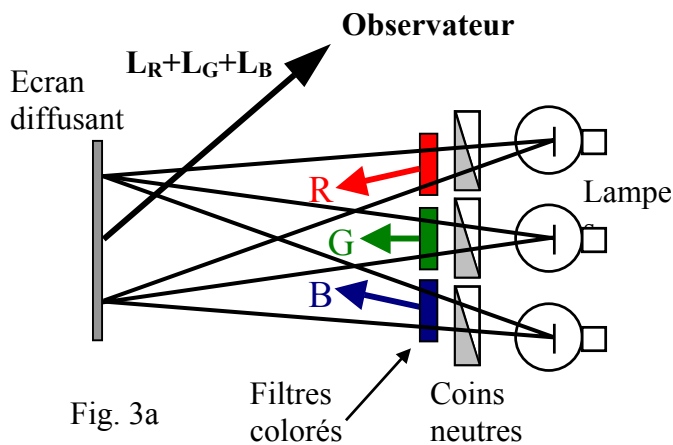


Fig. 3a

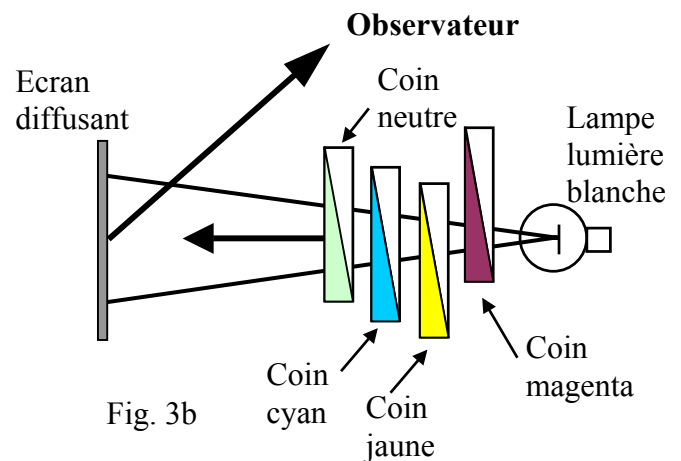


Fig. 3b

A partir de la connaissance des profils spectraux des luminances $L(\lambda)$ des trois couleurs primaires (qui correspondent d'ailleurs au profils de transmission $F(\lambda)$ de filtres optiques centrés sur les trois couleurs R, G et B) reproduits sur la figure 4,

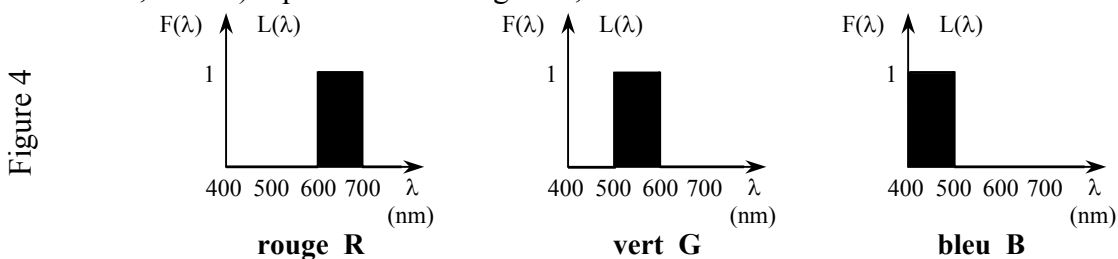
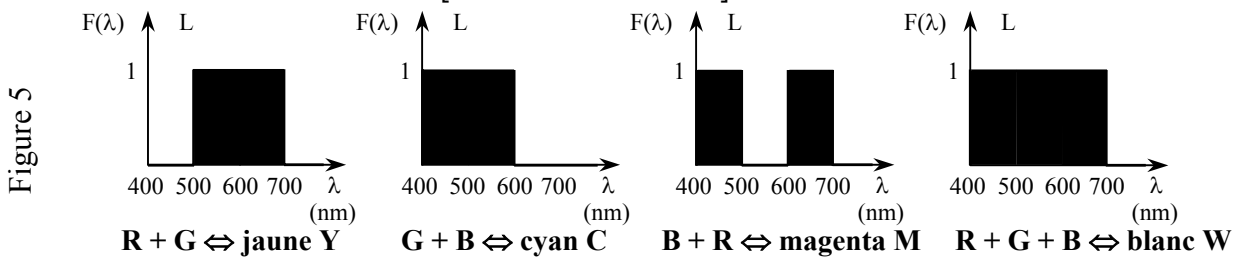


Figure 4

il est alors possible de représenter le résultat des combinaisons de ces couleurs deux à deux puis en ajoutant les trois, du type : $E(\lambda) = [F_R(\lambda) + F_G(\lambda) + F_B(\lambda)] E_S(\lambda)$ comme le montre la figure 5 :

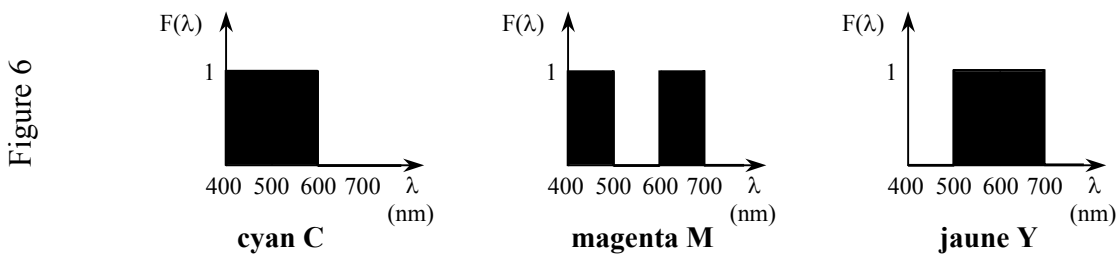


50 Cette technique est utilisée pour la reproduction de la couleur sur les écrans vidéo. Le faisceau électronique excite de petites cellules phosphorescentes (luminophores) rouges, vertes et bleues. L'œil ne peut pas les séparer et ne perçoit que la lumière résultant de la combinaison additive des trois sources (l'image élémentaire est formée de points élémentaires appelés pixels).

Synthèse soustractive des couleurs

55 Afin d'obtenir une couleur souhaitée, il est également possible de réduire de manière graduée les différentes régions spectrales d'une lumière blanche, par l'interposition de filtres colorés tels que les filtres cyan (C), magenta (M) et jaune (Y) qui constituent le système CMY.

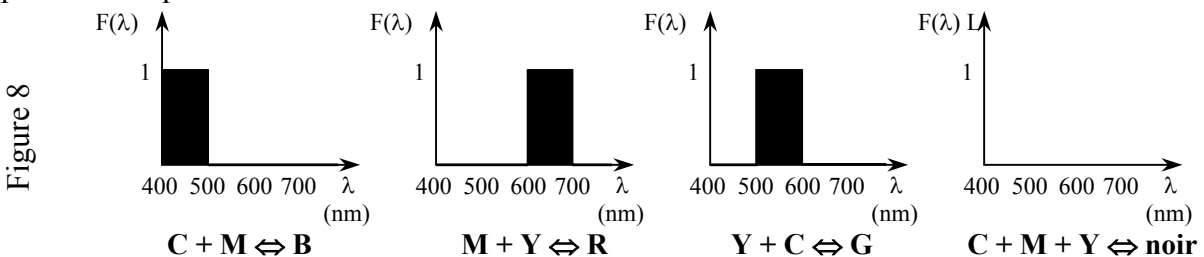
A partir de la connaissance des profils de transmission de filtres optiques centrés sur les trois couleurs C, M et Y reproduits sur la figure 6 ci-dessous :



60 A l'aide d'un montage approprié, comparable au précédent (fig 3b), il est aisé de réaliser cette synthèse soustractive ; il est alors possible d'écrire des relations du type :

$$C = 1 - R \quad M = 1 - G \quad Y = 1 - B$$

L'analyse spectrale de ces combinaisons multiples de deux et même des trois filtres, avec une relation générale du type : $E(\lambda) = F_C(\lambda) \cdot F_M(\lambda) \cdot F_J(\lambda) \cdot E_S(\lambda)$, montre (figure 8) l'étendue des possibilités qui sont offertes :



70 Cette technique est utilisée pour produire la couleur en imprimerie. Chacun des trois colorants de base cyan, magenta et jaune (appelés primaires soustractifs) absorbe les ondes d'une primaire additive (R, G ou B) et réfléchit les ondes des deux autres. Dès lors le mélange des trois pigments de base permet d'obtenir la plupart des couleurs. En particulier, pour obtenir une primaire additive, il suffit de combiner les deux pigments qui ne l'absorbent pas.

En fait les primaires soustractives sont en réalité quatre. Devant la difficulté de produire des pigments C, M et Y purs, la combinaison des trois fournit du brun foncé à défaut d'obtenir du noir (figure 8). Il convient alors d'utiliser une quatrième primaire : le noir K pour black (procédé d'impression quadrichromique et système CMYK).

Métrie des couleurs

Grassman en 1853 énonça une série de lois mettant en évidence le caractère additif de la perception humaine des couleurs. Si on ajoute une même quantité de lumière à deux plages produisant la même impression colorée sur l'œil, l'égalité des teintes perçues par l'œil subsiste (additivité). L'égalité persiste si la luminance des deux plages est multipliée par un même nombre (multiplicativité). L'équilibre colorimétrique ne se modifie pas en remplaçant le mélange de plusieurs couleurs par une couleur de même aspect (associativité). Si deux lumières colorées sont identiques à une troisième, elles sont toutes les trois identiques entre elles (transitivité).

Hypothèse de proportionnalité (Maxwell)

La vision humaine étant impropre à évaluer quantitativement les couleurs mais étant plus sensible aux différences entre teintes colorées, la mesure de couleur est faisable à condition de procéder par comparaison avec une teinte de référence (égalisation colorimétrique).

Si un observateur reproduit la sensation de luminance et de couleur donnés par un stimulus chromatique $C(\lambda)$ en additionnant trois stimulus de couleur de référence R, G, B, il réalise une égalité colorimétrique représentée par l'équation chromatique : $C(\lambda) \Leftrightarrow \alpha_R L_R + \alpha_G L_G + \alpha_B L_B$ où L_R, L_G, L_B représentent les luminances des stimulus primaires permettant de réaliser l'égalisation et $\alpha_R, \alpha_G, \alpha_B$, les intensités des projecteurs rouge, vert, bleu. Le signe \Leftrightarrow ne traduit pas une opération de calcul mais une égalisation visuelle de couleur et de luminance. Afin d'éviter toute confusion avec les luminances énergétiques et les problèmes d'unités, il est autorisé d'écrire R pour L_R, \dots et ainsi : $C(\lambda) \Leftrightarrow \alpha_R R + \alpha_G G + \alpha_B B$.

Les composantes trichromatiques R, G, B sont définies à partir des fonctions colorimétriques $\bar{r}(\lambda), \bar{g}(\lambda), \bar{b}(\lambda)$ des trois sources, avec par exemple pour le rouge [d'intensité spectrale $S(\lambda) = R(\lambda) \cdot E_s(\lambda)$] : $R = \int S(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda$ (intégrale réalisée sur le domaine visible).

Si l'équation chromatique : $k C(\lambda) \Leftrightarrow k \alpha_R R + k \alpha_G G + k \alpha_B B$ maintient l'égalité de luminance et de couleur, k étant un facteur quelconque, l'hypothèse de proportionnalité est vérifiée.

Dans le cas où des teintes resteraient inaccessibles, on pourrait superposer la lumière d'un des projecteurs à $C(\lambda)$, avant de reprendre la procédure d'égalisation ; alors par exemple :

$$C(\lambda) + |\alpha_B| B \Leftrightarrow \alpha_R R + \alpha_G G, \text{ la composante } \alpha_B \text{ étant négative.}$$

Un blanc qualifié d'"équiénergie" (noté E ou bien W pour white) est obtenu en combinant une unité de chacun des projecteurs : $R_W = G_W = B_W = 1$.

Espace chromatique

Dans l'espace chromatique (R,G,B) décrit par la figure 9a, les points représentatifs de tous les stimulus qui ont une même composition spectrale relative sont sur une droite OC passant par O. Il est alors possible de séparer les variables luminances (longueur du segment OC) et couleur (deux angles définissant la direction OC).

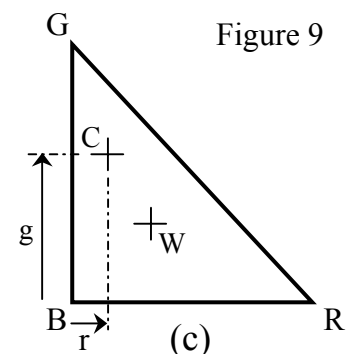
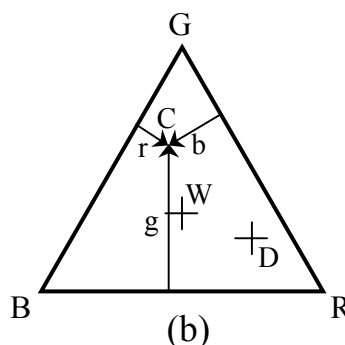
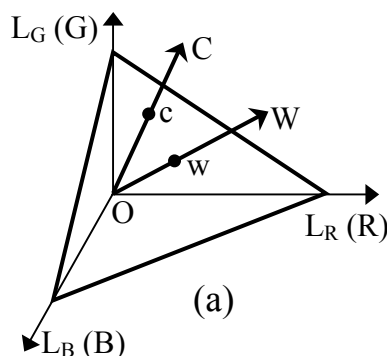


Figure 9

110 **Système métrique RGB**

Afin de quantifier cette mesure de couleur, Maxwell introduisit le triangle des couleurs : triangle dont les sommets sont sur les axes de coordonnées ; la trace de OC dans ce plan est un point c dont les deux coordonnées, indépendantes du niveau de luminance, fournissent l'information de chromaticité. Dans ce triangle les coordonnées trichromatiques (r,g,b) de tout point c peuvent être
 115 déduites des trois composantes trichromatiques R, G, B par les relations :

$$r = \frac{R}{R+G+B} \quad g = \frac{G}{R+G+B} \quad b = \frac{B}{R+G+B}, \quad [R1]$$

ces coordonnées étant liées par la relation : $r + g + b = 1$. Il suffit donc de deux termes, r et g par exemple, pour localiser le point. Ce triangle peut être choisi équilatéral ou rectangle isocèle (figures 9b et 9c).

120 Ce mode de description des couleurs a été normalisé en 1931 par la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage). Les primaires comprennent une lampe rouge ($\lambda = 700$ nm), une verte ($\lambda = 546$ nm) , une bleue ($\lambda = 436$ nm). Les puissances de ces lampes ont été ajustées à un facteur multiplicatif près de telle sorte que la sensation colorée soit, par addition, celle d'un blanc équiénergie de densité spectrale constante. En choisissant une lampe rouge de 1 lumen, la verte doit
 125 produire une sensation de 4,59 lumen et la bleue de 0,06 lumen (en termes de puissance - en watts - la lampe rouge est 72,1 fois plus puissante que la bleue et la verte 1,38 fois plus puissante que la bleue).

Ces possibilités de représentation des opérations colorimétriques dans le plan du triangle des couleurs ont conduit à la notion de diagramme de chromaticité tel que celui représenté sur la figure
 130 10, où les trois couleurs de base sont les sommets du triangle rectangle (1,0) pour R, (0,1) pour G et (0,0) pour B. Le blanc "équiénergie" occupe le point (1/3,1/3) du diagramme. Les couleurs spectrales, monochromatiques, de longueur d'onde λ peuvent y être représentées par le contour d'équations paramétriques : $r = r(\lambda)$ et $g = g(\lambda)$ (représenté figure 10).

Diagramme CIE XYZ et diagramme CIE 1931

135 La CIE en 1931 adopta le système XYZ proposé par F. Judd. La procédure expérimentale reste la même que pour le système RGB précédemment étudié, les coordonnées X,Y,Z étant simplement obtenues par une transformation projective, linéaire, des coordonnées R,G,B précédentes (évolution dictée par le désir d'éliminer les coefficients négatifs).

Les nouvelles coordonnées s'expriment en fonction des anciennes par la relation matricielle :

$$140 \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,4185 & -0,1587 & -0,0828 \\ -0,0912 & 0,2524 & 0,0157 \\ 0,0009 & -0,0026 & 0,1786 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad [R2]$$

On peut ensuite normaliser les coordonnées X,Y,Z pour définir la seule couleur (abstraction des luminances) dans un diagramme plan à deux coordonnées x,y :

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} = \frac{0,20+0,29 r+0,11 g}{1,201-0,534 r-0,068 g} \quad , \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} = \frac{0,01+0,166 r+0,802 g}{1,201-0,534 r-0,068 g} \quad [R3]$$

145 De la sorte le paramètre y n'est plus directement proportionnel à la luminance, par contre les coordonnées restent toujours positives. Ce diagramme est représenté sur la figure 11. On y retrouve le contour des couleurs spectrales et entre les points représentant les primaires rouge et bleue, la droite dite des pourpres. Le point E de coordonnées (1/3,1/3) y représente le blanc équiénergie ou blanc idéal. La couleur complémentaire de la couleur spectrale A est la couleur A'.

150 Cet espace chromatique est la base scientifique de la colorimétrie moderne, couramment utilisée aujourd'hui pour le repérage et la comparaison des couleurs mais qui demeure un "outil" en adaptation permanente.

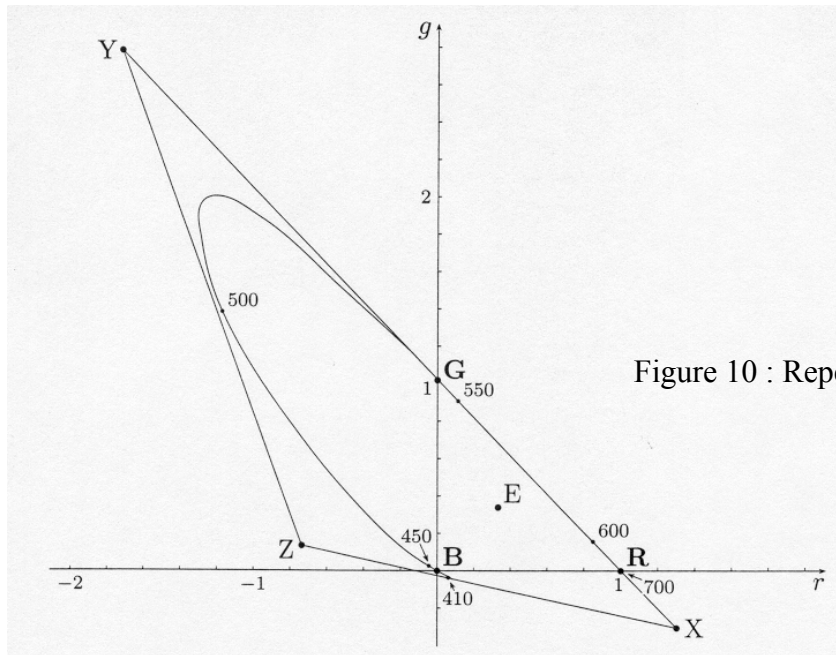


Figure 10 : Repère RGB

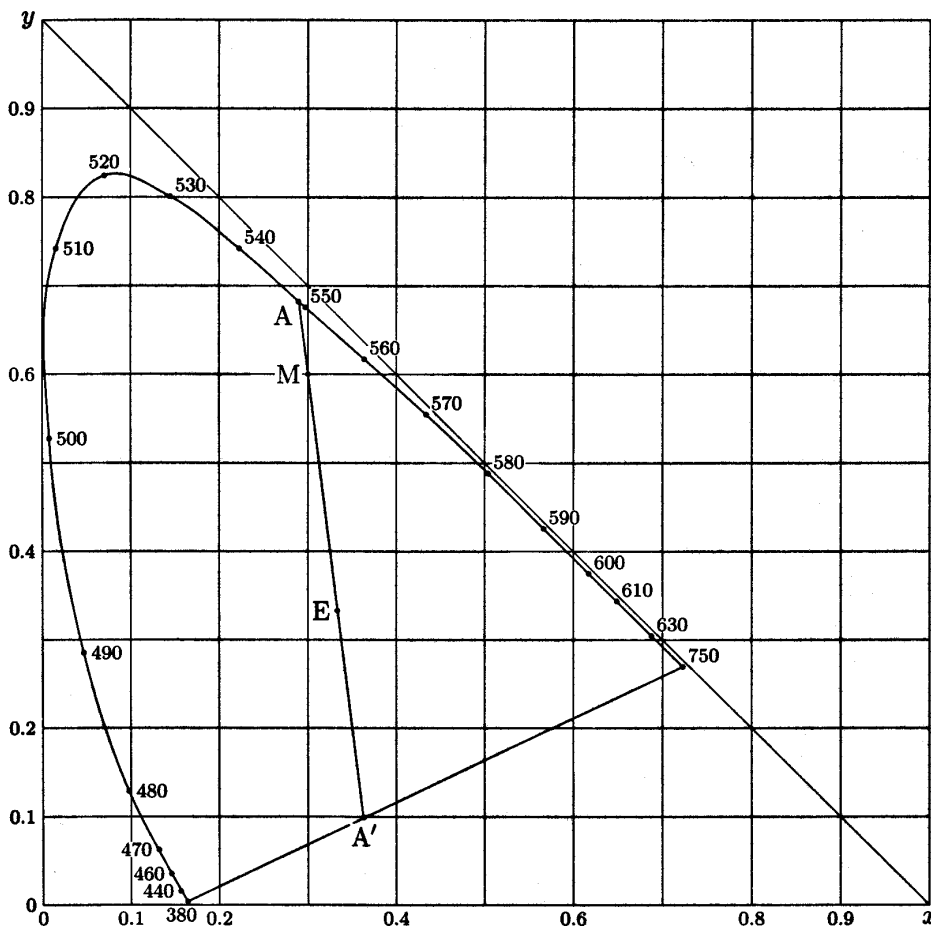


Figure 11 : Repère CIE (1931)

MODELE D'ABSORPTION-DIFFUSION DE KUBELKA-MUNK (PSI)

155 La qualité d'une peinture se manifeste par son pouvoir couvrant, l'idéal étant qu'en une seule couche de moins d'un millimètre d'épaisseur, la surface que l'on veut peindre disparaisse sous la nouvelle couleur. La quantité de pigment en suspension dans le liant doit être suffisante, sans pour autant faire perdre à ce dernier son élasticité, ni son adhérence.

Pour saisir la difficulté de ce problème, réfléchissons aux deux cas limites suivants :

- celui de la peinture blanche idéale qui n'absorbe aucune lumière (la propagation de la lumière procédant par diffusions successives)
- 160 • celui de la peinture noire idéale qui absorbe toute la lumière sans en diffuser aucune.

Ces deux exemples montrent pourquoi, dans tous les cas réels, il est nécessaire de traiter à la fois le canal de l'absorption et celui de la diffusion.

Canal de l'absorption - Loi de Bouguer-Lambert-Beer

165 Considérons un milieu purement absorbant vis à vis de la lumière de longueur d'onde λ . A la traversée d'une couche d'épaisseur infinitésimale dx , un flux lumineux J_λ se propageant dans la direction $x > 0$, subit une variation : $dJ_\lambda = -K(\lambda) J_\lambda dx$ [R4]

où $K(\lambda)$ est le coefficient d'absorption spectral du milieu.

170 Etendons ce calcul au cas d'une couche de peinture d'épaisseur L , déposée sur un substrat (figure 12) dont la surface ($x=0$) réfléchit la lumière de longueur d'onde λ avec un coefficient de réflexion (énergétique) R_S . Scindons le faisceau lumineux en deux parties : le flux J_+ réfléchi qui "remonte" du substrat vers la surface peinture-air, et le flux J_- (négatif) qui descend vers le substrat. La condition de réflexion sur le substrat s'écrit :

$$-\frac{J_+(0)}{J_-(0)} = R_S \quad [R5]$$

175 Appliquée indépendamment aux deux flux, la loi de Beer-Lambert donne :

$$J_+(x) = J_+(0) \exp(-Kx) \text{ et } J_-(x) = J_-(0) \exp(+Kx).$$

Il est aisé d'en déduire le facteur de réflexion $R(L)$ à l'interface peinture-air :

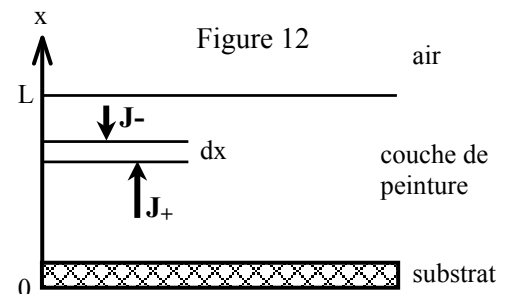
$$R(L) = -\frac{J_+(L)}{J_-(L)} = R_S \exp(-2KL) \quad [R6]$$

180 Ainsi si le substrat a un coefficient de réflexion important pour une certaine longueur d'onde λ , l'épaisseur de peinture qui permet de cacher le substrat vis à vis des lumières de cette longueur d'onde serait simplement (avec ce modèle simpliste) de quelques $1/2K(\lambda)$.

185 En réalité, la peinture est un milieu inhomogène et granulaire, et même lorsque l'absorption est forte, la diffusion par les hétérogénéités qu'elle renferme joue le rôle majeur dans sa réponse optique.

Canal de la diffusion - Transfert radiatif

190 L'étude de la diffusion dans des milieux dilués (comme l'atmosphère) a permis d'assimiler la réponse optique de ces milieux désordonnés à celle d'un centre diffusant unique de Rayleigh (ou de Mie). Avec la peinture, milieu nettement plus dense, il faudra considérer la diffusion multiple d'un même photon par plusieurs centres diffusants et tenter d'établir un bilan radiatif dans des couches de milieu désordonné à travers lesquelles la lumière se fraye un chemin.



195 Afin d'analyser le transfert radiatif de flux lumineux, exprimons la variation de flux subie lors de la traversée d'une tranche d'épaisseur infinitésimale. Le milieu étant absorbant et diffusant à la fois, l'atténuation du flux $\Phi(\theta, \phi, \lambda)$ (en introduisant les variables angulaires θ et ϕ puisque la diffusion adopte une symétrie sphérique) met en jeu l'absorption $K(\lambda)$ ainsi que le rapport $\beta(\theta, \phi, \lambda)$ entre l'intensité diffusée dans la direction (θ, ϕ) et l'intensité de l'onde incidente. Dans le cas d'une sphère gazeuse, β présente une dépendance angulaire importante. Pour un milieu dense, le rayonnement finit par être diffusé dans toutes les directions, si bien que la diffusion y est quasi-isotrope, avec $\beta(\theta, \phi) = \beta$ (loi de Lambert).

200 Dans un milieu purement diffusant en couche, reprenons le modèle à deux flux, l'un montant vers le haut flux J_+ et l'autre descendant vers le substrat J_- . Dans une tranche d'épaisseur dx , ces flux produisent un afflux total de photons, $J_+ - J_-$, dont la fraction $2\beta (J_+ - J_-)$ est diffusée, pour moitié vers le haut, nourrissant J_+ et pour moitié vers le substrat, nourrissant J_- . Les deux variations de flux s'écrivent :

$$\frac{dJ_+(x)}{dx} = -\beta [J_+(x) + J_-(x)] \quad \text{et} \quad \frac{dJ_-(x)}{dx} = \beta [J_+(x) + J_-(x)] \quad [R7]$$

205 Leur intégration montre que la somme $J_+(x) + J_-(x)$ demeure constante et que les deux flux varient linéairement en fonction de x . L'introduction des coefficients de réflexion du substrat : $J_+(0)/J_-(0) = -R_S$ et de l'interface peinture-air : $J_+(L)/J_-(L) = -R(L)$ permet d'établir :

$$\frac{R(L)}{1-R(L)} = \frac{R_S}{1-R_S} + \beta L \quad [R8]$$

210 *Si la couche de peinture blanche, purement diffusante, est suffisamment épaisse, le coefficient de réflexion par la surface $R(L)$ est toujours égal à l'unité. Pour un substrat noir, parfaitement absorbant, l'épaisseur de peinture cherchée qui cache ce substrat est de l'ordre de $1/\beta$.*

Modèle de Kubelka-Munk

215 *Pour tenir compte à la fois de l'absorption et de la diffusion, il convient de définir correctement le coefficient d'absorption K . Quand le milieu est purement absorbant, ce coefficient se réfère à des photons traversant en ligne droite la tranche d'épaisseur dx . Dans un milieu où la diffusion est essentielle, la trajectoire des photons s'écarte de la ligne droite ; le calcul (basé sur une évaluation de probabilité de diffusion selon la direction de diffusion) montre, que pour traverser une tranche dx , les photons parcourent en moyenne, $2dx$ (ce qui revient à prendre un coefficient d'absorption effectif : $K_e = 2K$).*

220 Dans ces conditions, Kubelka et Munk ont introduit les équations couplées absorption-diffusion suivantes :

$$\frac{dJ_+(x)}{dx} = -2K J_+(x) - \beta [J_+(x) + J_-(x)] \quad \frac{dJ_-(x)}{dx} = 2K J_-(x) + \beta [J_+(x) + J_-(x)] \quad [R9]$$

L'évolution du coefficient de réflexion, $R(x) = -J_+(x)/J_-(x)$, à la profondeur x vaut :

$$\frac{dR(x)}{R(x)} = \frac{dJ_+}{J_+} - \frac{dJ_-}{J_-} = \beta dx \left[R(x) + \frac{1}{R(x)} - 2 \left(1 + \frac{2K}{\beta} \right) \right] \quad [R10]$$

Ainsi, les variables étant séparables, l'intégration est immédiate : (on posera $(1 + 2K/\beta) = a$)

225 $\int_{R_S}^{R(L)} \frac{dX}{X^2 - 2aX + 1} = \beta \int_0^L dx$, ce qui donne :

$$\frac{1}{2\sqrt{a^2 - 1}} \ln \left[\frac{R(L) - a - \sqrt{a^2 - 1}}{R_S - a + \sqrt{a^2 - 1}} \right] \left[\frac{R_S - a + \sqrt{a^2 - 1}}{R(L) - a + \sqrt{a^2 - 1}} \right] = \beta L \quad [R11]$$

Lorsque l'épaisseur L devient grande, le coefficient de réflexion $R(L)$ tend vers la valeur :

$$R_\infty = a - \sqrt{a^2 - 1} \quad [R12]$$

Cette valeur, qui ne dépend pas du coefficient de réflexion R_S du substrat, nous permet de déterminer le rapport K/β entre absorption et diffusion dans le milieu :

$$230 \quad \frac{2K}{\beta} = \frac{(1-R_\infty^2)}{2 R_\infty} \quad [R13]$$

Ainsi, la mesure du facteur de réflexion R_∞ d'une couche très épaisse permet, de prédire le facteur de réflexion de n'importe quelle couche d'épaisseur L déposée sur un substrat de coefficient de réflexion R_S :

$$R(L) = \frac{(1/R_\infty)(R_S - R_\infty) - R_\infty (R_S - 1/R_\infty) \exp[\beta L (1/R_\infty - R_\infty)]}{(R_S - R_\infty) - (R_S - 1/R_\infty) \exp[\beta L (1/R_\infty - R_\infty)]} \quad [R14]$$

235 (rappelons à toutes fins utiles que toutes ces expressions sont valables pour une longueur d'onde λ donnée, et que R_∞ dépend de λ par l'intermédiaire des coefficients d'absorption et de diffusion)

Appliquons ce modèle au cas d'une peinture renfermant un pigment très absorbant et très concentré de sorte que : $2K/\beta \gg 1$. Les relations [R12] et [R14] fournissent :

$$R_\infty \approx \frac{\beta}{4K} \ll 1 \quad \text{et} \quad R(L) \approx \frac{\beta}{4K} [1 - \exp(-4KL)].$$

240 Cette couche de peinture réfléchit donc bien peu de lumière colorée, malgré la qualité et la concentration de son pigment. Pour lui donner davantage de couleur, donc la rendre plus lumineuse, il faudra mélanger au pigment une charge de particules transparentes dont le rôle est d'augmenter le coefficient β/K , c'est à dire rendre plus efficaces les processus de diffusion.

245 Cette méthode de calcul peut être étendue à un nombre quelconque de flux. Ainsi à partir de la mesure de la distribution spectrale de son facteur de réflexion $R(L, \lambda)$, il est possible de déterminer la couleur d'une couche diffusante renfermant plusieurs pigments ou colorants. Inversement, à partir des variations de concentrations des pigments, une couleur originale ou une teinte recherchée peut être restituée. Après une détermination préalable des coefficients d'absorption k_i et de diffusion β_i pour diverses concentrations c_i , il est aisé de calculer les coefficients

250 $K = \sum_i c_i k_i$ et $\beta = \sum_i c_i \beta_i$ puis, par méthode d'ajustement des concentrations, de réaliser l'accord entre la valeur R_∞ mesurée et l'expression [R13].