

Les Prismes 234 av Mal Leclerc 34000 Montpellier Tel (67) 92 32 04
Feuille n° E E auteur Pierre Glafkides

Dans cet exposé sommaire des principes généraux de la colorimétrie, on verra quels sont les moyens qui nous permettent de repérer les couleurs et de les comparer entre elles. Sous une apparente simplicité se cachent des problèmes pratiques assez complexes. Celui qui les connaît peut, du moins, juger les résultats, obtenus dans le domaine de la photographie des couleurs, avec toute l'indulgence désirable.

La Colorimétrie

DANS un article précédent, nous avons expliqué le processus de la vision des couleurs, énuméré ses apparentes anomalies et dit pourquoi l'appréciation d'une image colorée est capricieuse et difficilement contrôlable. C'est en effet une opération subordonnée à de nombreuses interférences aussi bien extérieures que personnelles. Nous avons insisté sur le fait que les sensations colorées, bien que provoquées par des vibrations électromagnétiques appelées lumineuses, réelles d'ailleurs, sont des créations imaginaires de notre cerveau. Les sensations colorées n'ont pas d'existence matérielle, pas plus que la douleur n'existe dans les objets qui nous heurtent. En dehors d'un observateur, l'univers est plongé dans une obscurité absolue, bien qu'environné de radiations. Cet observateur ne fait qu'interpréter en sensations colorées les ondes que lui réfléchissent les objets ou que lui envoient directement les sources thermiques, électriques ou chimiques. D'un aveugle ou d'un voyant, celui qui se rapproche le plus de l'état physique réel de l'univers, c'est l'aveugle. Car la lumière est uniquement en nous.

Nos sensations lumineuses sont réglées par les doses d'excitant que nous envoient les objets, et cet excitant est sous la dépendance de la nature chimique de ces objets qui absorbent et sélectionnent certaines ondes, par un effet de résonance électronique. Tout se passe comme si les objets étaient eux-mêmes colorés d'une façon particulière liée à leur structure chimique. Quand nous parlerons de leurs couleurs ce sera une simple convention de langage. C'est pour définir ces couleurs et les repérer que l'on a créé une science qui s'appelle la colorimétrie, mais qui n'a rien à voir avec le mécanisme de la sensation colorée, phénomène purement psychique.

Nous avons souligné, dans l'article précédent, cette constatation importante que toute couleur réelle complexe a un ton résultant apparent, ou dominante, qui correspond à une radiation monochromatique du spectre visible. Par exemple, un colorant qui émet du vert et du rouge apparaît jaune. Ce jaune est une bande monochromatique étroite, réelle ou fictive, située au centre géométrique de son spectre de transmission. Inversement, on peut toujours imiter une couleur complexe avec une radiation monochromatique. D'où la possibilité très simple de repérer une couleur par la longueur d'onde de sa dominante. C'est

le système monochromatique. Pour des raisons pratiques plus ou moins justi-

fiées, on a préféré baser la colorimétrie sur le système trichromatique.

SYSTÈME TRICHROMATIQUE.

Depuis Newton, on sait que l'on peut imiter les couleurs à l'aide de trois variables primaires ; bleu, vert et rouge. Ceci est un fait d'expérience indiscutable puisque tous les procédés de reproduction sont basés là-dessus. Mais la trichromie fut érigée, au début du XIX^e siècle, en théorie de la vision des couleurs par Young qui lui donna une origine rétinienne. Cinquante ans plus tard, Maxwell en fit une étude systématique, aussi bien physique que mathématique, et l'établit expérimentalement avec un colorimètre à trois lumières additives appelé « colour box ». Et en 1853, Grassmann, soulignant le caractère linéaire des équations de Maxwell, concernant les trois variables fondamentales, résuma les principes de la théorie trichrome, sous forme de trois énoncés précis. L'œil n'analyse pas les couleurs comme fait l'oreille vis-à-vis des sons, il ne reconnaît pas les différentes radiations qui les composent. Il ne voit que le résultat global. C'est pourquoi :

1^o Deux compositions spectrales très différentes peuvent produire des sensations colorées identiques ;

2^o Ce qui compte c'est l'aspect coloré et non la composition réelle ;

3^o Toutes les couleurs peuvent être reproduites par addition de trois lumières colorées indépendantes (c'est-à-dire ne pouvant être formées à partir des deux autres).

Soulignons que, dans ces limites, chaque composante fondamentale peut être arbitrairement choisie, avec une distribution spectrale quelconque. D'autre part, deux surfaces qui nous envoient deux rayonnements différents, mais de sensations identiques, paraissent différentes quand elles sont éclairées par une autre source.

En résumé, un système trichromatique a pour but de produire des imitations de couleurs, à l'aide d'équivalents physiologiques produisant les mêmes sensations colorées, mais ce n'est pas une étude de ces sensations mêmes.

Valeur physiologique de la théorie trichrome. La trivariance des couleurs est considérée comme étant d'origine rétinienne. Mais la certitude n'est pas absolue. L'hypothèse de Young, reprise par Helmholtz, dit que notre rétine possède trois résonateurs sensibles à trois grou-

pes de radiations différentes. Von Staudnitz a assuré être parvenu à isoler, des cellules de la rétine, trois pigments ayant les maximums de transmission à 465 mμ dans le bleu, 560 mμ dans le vert, et 660 mμ dans l'orange. D'autre part, Granit aurait recueilli parmi les fibres de la rétine de grenouille, la réponse d'une seule fibre isolée : des fibres différentes auraient ainsi fourni trois courbes d'excitation correspondant aux trois couleurs primaires.

Système trichromatique R.C.B.

Les composantes fondamentales du système R.C.B. (Red, Green, Blue) sont des radiations monochromatiques. La raie bleue du mercure de 436 mμ, la raie verte du mercure de 546 mμ, et le rouge de 700 mμ. Le blanc est l'étalon équivalent énergétique fictif d'apparence pourpre.

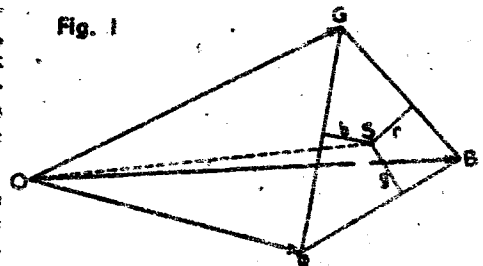
Avec ces trois radiations primaires mélangées en proportions diverses, on peut reproduire une couleur complexe quelconque.

Les trois variables (ou paramètres) R, G et B sont représentées dans l'espace sur trois axes obliques suivant les trois arêtes d'une pyramide triangulaire (fig. 1). Si la couleur à reproduire est S, on doit avoir :

$$S = R + G + B$$

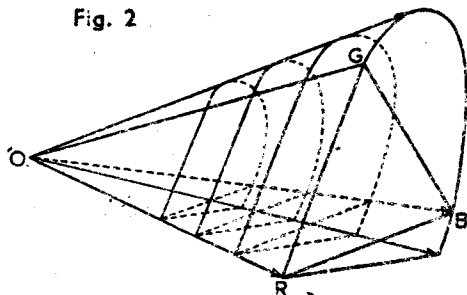
Deux plages de même couleur mais de luminances différentes seront représentées à l'intérieur de cette pyramide ou angle trièdre, par deux points situés sur une droite passant par le sommet.

Fig. 1



Faisons dans cette pyramide une section perpendiculaire à son axe. Cette section est un triangle équilatéral dans lequel chaque point représente un ton différent mais de même luminance. On retrouve le triangle de Maxwell. Un ton déterminé est représenté par les distances r, g et b aux trois côtés du triangle dans lequel :

Fig. 2



$$r + g + b = 1$$

$$\text{et } r = \frac{R}{S} \quad g = \frac{G}{S} \quad b = \frac{B}{S}$$

Cependant, il n'est pas possible, à l'aide de trois couleurs fondamentales additionnées, de reproduire fidèlement toutes les sensations colorées. On ne peut imiter ni les couleurs monochromatiques vertes et bleues du spectre ni les pourpres purs. Dans ce cas, quand on veut rechercher les composantes trichromes d'une couleur non reproductible, on opère par déduction : à la couleur à étudier M, on ajoute une couleur N telle que la résultante S soit reproductible par un mélange R_x, G_x et B_x. D'où :

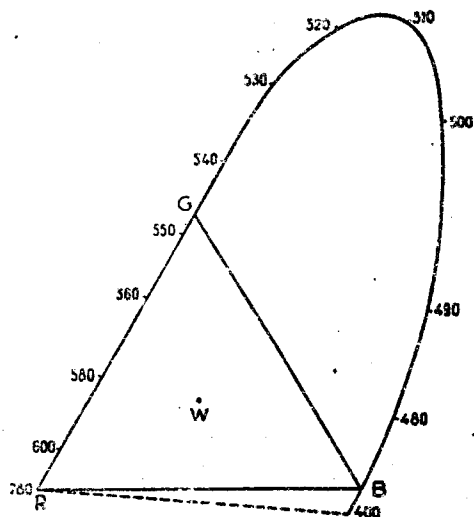
$$R_x = R_s - R_N \quad G_x = G_s - G_N$$

$$B_x = B_s - B_N$$

C'est la méthode dite « de désaturation ».

Alors comment allons-nous représenter, sur notre graphique, ces couleurs impossibles à imiter ? Eh bien, ces couleurs monochromes et pourpres seront situées en dehors du trièdre (fig. 2). La pyramide triangulaire devient un cône irrégulier dont la surface est le lieu spectral des lumières monochromatiques. Une partie plane de ce cône reçoit les pourpres. Vu en section, le dessin représentatif est un triangle équilatéral, prolongé par un tracé extérieur curviligne joignant les sommets G et B (fig. 3). On voit que les rouges et les vert-jaunes sont situés sur le côté RG du triangle équilatéral ; ils sont donc reproductibles. Mais les verts de moins de 545 mμ,

Fig. 3



les bleus et les violets, très éloignés du triangle, ne pourront jamais être égalisés. Quant aux pourpres saturés, ils s'échelonnent sur une droite située au-dessous de la base RB du triangle.

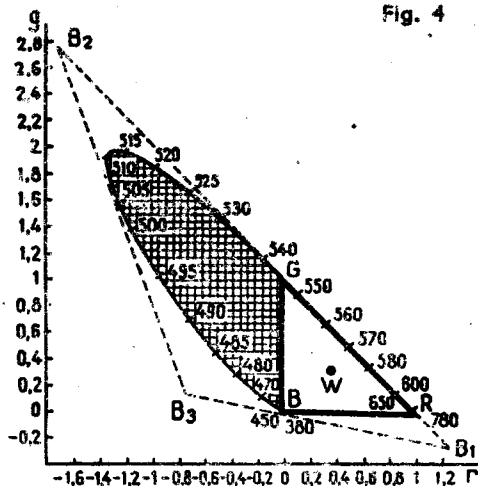
En pratique, on utilise deux axes de coordonnées rectangulaires formant triangle rectangle : le rouge est porté en abscisses et le vert en ordonnées. Le bleu se déduit, puisque $r + g + b = 1$ (fig. 4).

On peut voir facilement que les coordonnées peuvent être négatives et que les régions unitonales rouge et violette, où l'œil ne différencie plus les tons, sont très resserrées.

Système trichromatique XYZ.

Le système RGB a l'inconvénient d'utiliser des coordonnées trichromes qui

Fig. 4



liser des coordonnées trichromes qui peuvent être négatives. Pour remédier à cela, la Commission Internationale de l'Éclairage a choisi trois fondamentales nouvelles ayant un spectre complexe, qui permettent de faire des opérations et les comparaisons avec des nombres toujours positifs. Ces trois primaires X, Y et Z sont représentées par les spectres de la figure 5. Elles sont non seulement arbitraires mais sans aucune signification physiologique.

Alors que dans le système précédent RGB, les primaires sont bien réelles et compréhensibles, ici c'est de la pure fantaisie. On remarque, en effet, que la composante rouge X présente un second maximum dans le bleu-violet et que la composante verte Y reproduit la courbe de visibilité de Gibson et Tyndall — cela pour permettre de déterminer en même temps la luminosité de la lumière étudiée.

Dans le système XYZ, l'aire des couleurs est entièrement placée dans un triangle rectangle (fig. 6) car le lieu spectral des radiations monochromes y est inscrit. Les coefficients x, y et z sont mesurés par les trois hauteurs du triangle, en partant de chaque base.

Donc toute couleur complexe est caractérisée par x, y et z. Le centre W du triangle représente la lumière blanche équiénergétique. Toute ligne passant par W joint deux complémentaires. Soit, par exemple une couleur P. Joignons W à P. Le prolongement D de WP représente la dominante. Le degré de pureté ou de saturation de P est le rapport des segments PW/DW, rapport qui varie de 0 à 1.

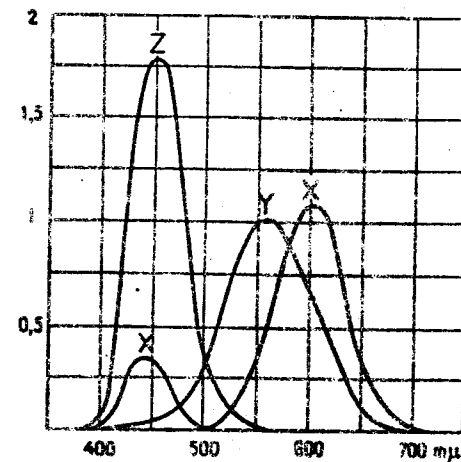


Fig. 5

Mesures trichromes. Ainsi qu'on l'a vu, il s'agit pour une couleur donnée de déterminer ses trois composantes x, y et z. On le fait à l'aide d'un spectrophotomètre, enregistreur de préférence.

Mesures trichromes.

Mais on ne trouve pas trois cellules photoélectriques répondant exactement aux trois courbes spectrales des primaires fictives. On peut cependant munir une cellule, de filtres judicieusement choisis. Et en remarquant que dans les courtes longueurs d'ondes X est proportionnel à Z il devient possible d'utiliser le même filtre pour les deux coordonnées. Pratiquement on emploie trois filtres bleu, vert et ambre. On mesure l'intensité de courant derrière chacun de ces filtres, puis rapporte aux intensités correspondant à l'étalon blanc. On a alors les relations empiriques :

$$x = 0,80 A + 0,18 B$$

$$y = 1,00 G$$

$$z = 1,18 B$$

à partir desquelles on déduit x, y et z par le calcul.

Fig. 6

