

# Colorimétrie

## 1 Introduction

La perception de la couleur est un phénomène complexe qui fait intervenir des données objectives (spectre de la lumière, réponse spectrale de l'oeil etc.) et des données subjectives (traitement du signal reçu des nerfs optiques par le cerveau).

Les différentes longueurs d'onde du domaine visible correspondent à des couleurs, mais une couleur n'est pas nécessairement une lumière monochromatique. Par exemple, l'oeil distingue le brun de l'orange (le brun est un orange peu intense) et le rose du rouge (le rose est du rouge auquel on a ajouté du blanc).

L'analyse et la reproduction des couleurs sont importantes pour la conception d'écrans, de projecteurs, d'imprimantes, de capteurs d'images en couleurs.

## 2 L'oeil

### 2.1 Cellules photosensibles de l'oeil

L'oeil forme l'image des objets regardés sur la rétine. Celle-ci contient des cellules photosensibles de deux types : des bâtonnets et des cônes. Les bâtonnets interviennent dans la vision nocturne (scotopique) et sont très sensibles à la lumière, mais insensibles à la couleur (ils donnent une sensation de lumière ou d'obscurité, d'où le dicton "La nuit tous les chats sont gris").

Les cônes interviennent dans la vision diurne (photopique) et sont moins sensibles à la lumière que les bâtonnets. Il y a trois sortes de cônes, sensibles respectivement au rouge, au vert et au bleu. C'est le traitement par le cerveau du signal que ces cônes envoient au nerf optique qui donne la sensation de couleur.

Comme il y a trois sortes de cônes, on peut mesurer ou représenter une couleur à l'aide de trois paramètres, par exemple trois luminances dans le rouge, le vert et le bleu.

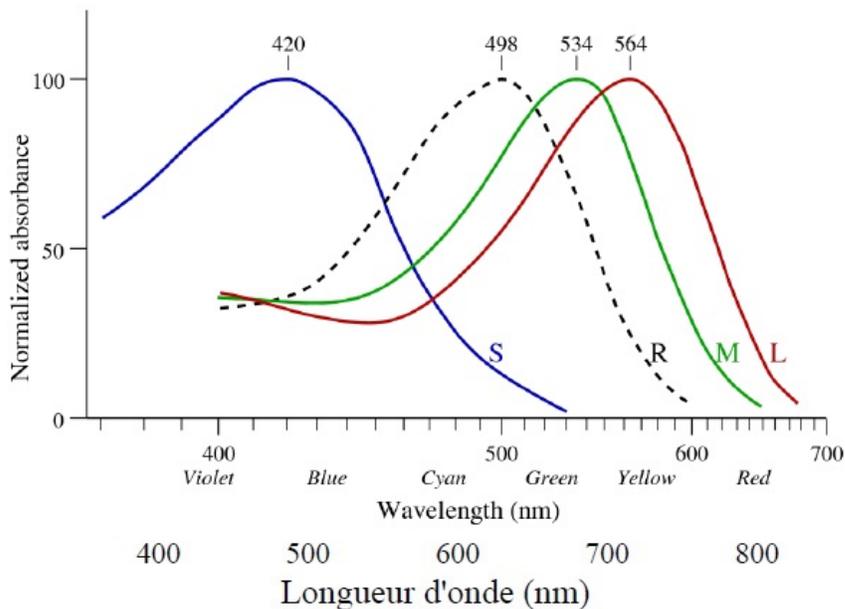


Figure 1: Courbes normalisées de sensibilité des cônes (trois couleurs, traits pleins) et des bâtonnets (vision scotopique, sans couleurs, en pointillés). Source : cours IOGS de M. Hébert

### 2.2 Vision photopique et vision scotopique

La différence de sensibilité de l'oeil en vision scotopique et en vision photopique est indiquée sur la figure 2. Ces courbes sont à prendre à compte lorsqu'on souhaite exprimer un flux lumineux (ou puissance) en unités visuelles (lumens).

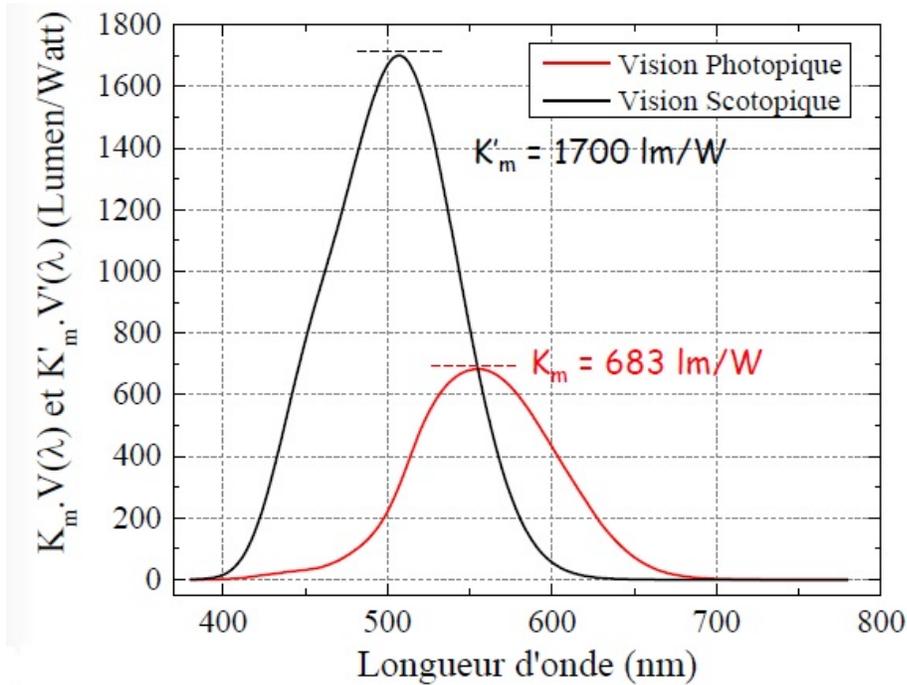


Figure 2: Sensibilités de l’œil en vision photopique (diurne) et scotopique (nocturne). Source : cours IOGS de J. Moreau.

	Luminance (Cd/m <sup>2</sup> )
Ciel de nuit noir	0,0004
Ciel bleu	5 000
Lampes économiques	1.10 <sup>4</sup>
Neige au soleil	1.10 <sup>4</sup>
LED de puissance	2.10 <sup>7</sup>
Disque Solaire	1,6 10 <sup>9</sup>

Figure 3: Exemples de luminances visuelles en vision nocturne et diurne. Source : cours IOGS de J. Moreau.

La figure 3 donne quelques exemples de luminances visuelles en vision scotopique (ciel nocturne) et en vision photopique (les autres exemples).

### 2.3 Classification des couleurs

Nous avons déjà vu qu’il fallait trois paramètres pour déterminer une couleur. Une classification souvent utilisée en physique est celle de utilisant la teinte, la saturation et la luminosité.

La teinte, ou tonalité chromatique, est déterminée par la dominante spectrale, c’est à dire le barycentre de la courbe spectrale.

La saturation, ou pureté spectrale, est donnée par le rapport de l’énergie rayonnée par la vibration associée à la teinte sur celle rayonnée par l’ensemble du spectre.

La luminosité est directement reliée à la luminance totale.

En anglais, on utilise le mot "hue" pour teinte, "saturation" pour saturation et "brightness" pour luminosité.

## 3 Représentations des couleurs

Nous allons décrire ici deux systèmes colorimétriques : RGB et CIE XYZ, qui sont à la base des autres systèmes utilisés.

### 3.1 Système RGB

Le système RGB, qui signifie Red, Green, Blue, c'est à dire rouge, vert, bleu en anglais, est basé sur les trois couleurs auxquelles sont sensibles les cônes de la rétine. Il est possible de représenter une couleur quelconque par une combinaison des trois couleurs rouge, vert, bleu dans des proportions convenables.

On choisit une longueur d'onde dans le rouge, une autre dans le vert et une troisième dans le bleu : les composantes R, G et B de la couleur sont proportionnelles aux luminances à ces longueurs d'onde. Les coefficients de proportionnalité dépendent de la longueur d'onde afin que si  $R=G=B$ , on voie du blanc.

### 3.2 Système CIE XYZ

En 1931, la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) adopta une représentation basée sur la courbe de sensibilité des cônes : on représente une couleur par son poids X en cône rouge, Y en cône vert et Z en cône bleu (en toute rigueur, les courbes de sensibilité choisies par la CIE étaient conventionnelles et proches de celles des cônes mais pas exactement identiques). Ces poids sont en fait les luminances associées.

Ce système est relié aux grandeurs RGB par des relations linéaires.

On utilise aussi le système CIE Lxy, où L est la luminance totale,  $x = X/(X + Y + Z)$  et  $y = Y/(X + Y + Z)$ . La donnée de  $z = Z/(X + Y + Z)$  est inutile car  $z = 1 - x - y$  (on retrouve que trois paramètres sont suffisants pour décrire une couleur).

## 4 Synthèses additive et soustractive des couleurs

### 4.1 Couleur des corps éclairés

Considérons un objet éclairé en lumière blanche (toutes les radiations visibles sont présentes). Cet objet absorbe sélectivement certaines radiations, et diffuse les autres. Il en résulte un aspect coloré dû à la superposition des radiations diffusées qui parviennent jusqu'à l'œil.

Si un objet absorbe toutes les radiations, sauf le rouge qu'il diffuse, il paraît rouge (c'est le cas d'un verre coloré rouge). Par contre, s'il absorbe uniquement le rouge, sa couleur est cyan.

Remarquons que si la lumière éclairant l'objet ne contient pas la seule radiation qu'il est capable de diffuser, cet objet paraît noir. Ainsi une pomme rouge paraît noire si elle est éclairée en lumière verte. La couleur n'est donc pas une propriété intrinsèque de l'objet.

Si un objet absorbe du même facteur toutes les radiations du spectre, il paraît gris. S'il les absorbe complètement, il est noir. Si son facteur d'absorption est très faible, quelle que soit la radiation, il paraît soit blanc (diffusion non négligeable pour toutes les radiations), soit transparent et donc incolore si la diffusion est négligeable pour toutes les radiations (c'est le cas de l'eau).

### 4.2 Reproduction des couleurs par synthèse

On reproduit généralement les couleurs de deux façons, soit par addition de trois couleurs dont la somme donne du blanc, par exemple le rouge, le vert et le bleu ; soit par addition des trois couleurs complémentaires des précédentes : cyan, magenta et jaune dont la somme donne du noir. Dans le premier cas, la synthèse est dite additive ; dans le second cas elle est dite soustractive.

La synthèse additive est par exemple utilisée dans les écrans d'ordinateur, ou dans les vidéoprojecteurs.

La synthèse soustractive est utilisée par les imprimantes.