

# Codage Couleurs

E. Jeandel

## La lumière

- La lumière est une onde. Cette lumière peut se décomposer en plusieurs composantes (son spectre) chacune ayant une longueur d'onde donnée, et une intensité donnée

$$\omega = \sum \alpha_\lambda \lambda$$

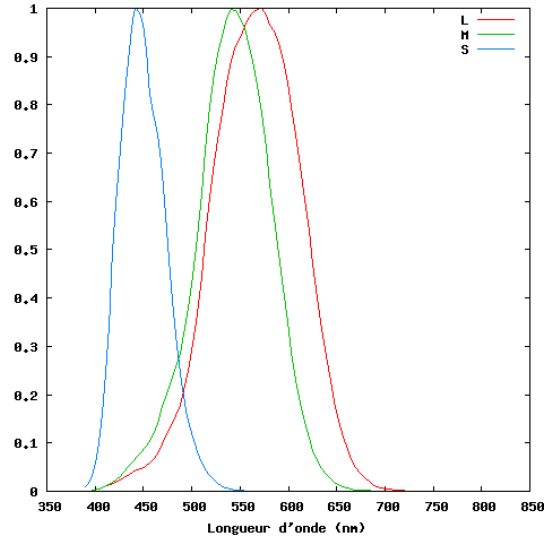
- Chaque longueur d'onde correspond à une “couleur” qui lui est propre.

## L'oeil

- L'oeil humain contient trois capteurs, chacun sensible à différentes longueurs d'ondes ;
- Chaque capteur transforme linéairement l'intensité qu'il reçoit
- Si on appelle  $c(\lambda)$  la réponse du capteur sur une longueur d'onde  $\lambda$  et d'intensité 1, la réponse du capteur sur toute la lumière s'écrira donc

$$R(\omega) = \sum_\lambda \alpha_\lambda c(\lambda)$$

## Capteur



### La couleur

- La seule information pertinente que reçoit l’œil est donc la donnée de trois quantités  $C_L(\omega)$ ,  $C_M(\omega)$ ,  $C_S(\omega)$ .
- La couleur peut donc être vue comme la projection d’un espace de dimension infinie (la lumière, découpée en son spectre) en un espace de dimension 3 (les trois quantités  $C_L$ ,  $C_M$ ,  $C_S$ )
- On peut (et on va) faire de l’algèbre linéaire

### Le blanc

- Pour voir les couleurs, la connaissance de  $C_L(\omega)$ ,  $C_M(\omega)$ ,  $C_S(\omega)$  n’est pas en fait totalement suffisante
- La connaissance de la source lumineuse (l’illuminant) est également nécessaire
- La vision s’ajuste en effet de sorte à ce que l’illuminant apparaisse blanc
- Un objet de couleur rouge n’apparaîtra pas de la même couleur sous la lumière du soleil, ou sous la lumière d’un halogène
- Un certain nombre d’illuminants ( $E$ ,  $D_{65}$ ,  $D_{50}$ ) existent.  $E$  correspond à la lumière uniforme  $\omega = \sum \lambda$

### La couleur

- On se donne trois longueurs d’ondes de base  $L$ ,  $M$ ,  $S$  telles que  $L$  ne fait réagir que le premier capteur ( $C_L(L) = 1$ ,  $C_M(L) = C_S(L) = 0$ ), etc
- Si  $\omega$  est une onde lumineuse, l’onde

$$\tilde{\omega} = C_L(\omega)L + C_M(\omega)M + C_S(\omega)S$$

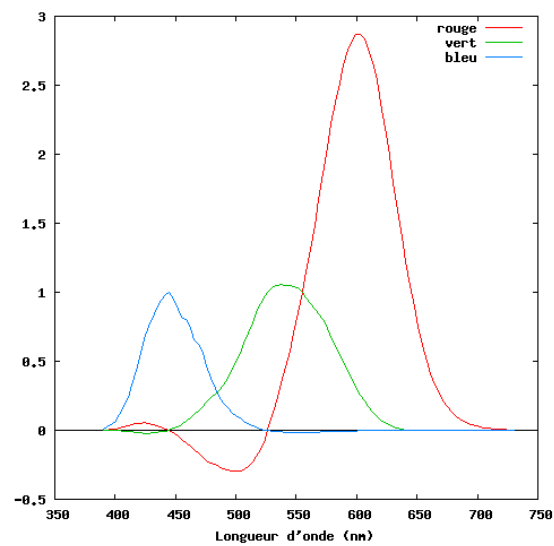
a la même couleur que  $\omega$ .

Ceci est un choix “idéal” pas forcément réalisable en pratique.

### Autre choix

- On pourrait effectuer un autre choix.
- Tout choix de trois couleurs "différentes" (c'est à dire de projections non colinéaires) peut être fait
- On peut décider de choisir les trois couleurs rouge, vert et bleu (645.16nm, 526.32nm, 444.44nm)
- Ce choix est pertinent.
- Seulement...

### Choix RVB

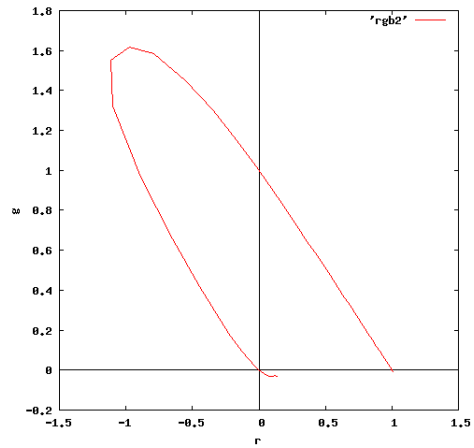


### Diagramme rg

- Pour mieux analyser le problème, on peut regarder le diagramme dans l'espace

$$r = \frac{R}{R + G + B} \quad g = \frac{G}{R + G + B}$$

(C'est à dire regarder ce qui se passe à intensité égale)



### Matrices

- Supposons donné un triplet de couleur (par exemple  $R, V, B$ ) et un autre triplet ( $L, M, S$ ).
- Pour pouvoir transformer un triplet exprimé dans la base  $(R, V, B)$  en un triplet  $L, M, S$ , il suffit de connaître, pour chaque élément de la base  $R, V, B$  leur représentation dans la base  $L, M, S$ .

$$\begin{aligned} R &= \alpha_1 L + \alpha_2 M + \alpha_3 S \\ V &= \alpha_4 L + \alpha_5 M + \alpha_6 S \\ B &= \alpha_7 L + \alpha_8 M + \alpha_9 S \end{aligned}$$

De sorte que  $\beta_R R + \beta_V V + \beta_B B = \gamma_L L + \gamma_M M + \gamma_S S$  sera représenté par

$$\begin{pmatrix} \gamma_L \\ \gamma_M \\ \gamma_S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_4 & \alpha_7 \\ \alpha_2 & \alpha_5 & \alpha_8 \\ \alpha_3 & \alpha_6 & \alpha_9 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_R \\ \beta_V \\ \beta_B \end{pmatrix}$$

### Autre choix

- Un bon choix serait un choix de trois grandeurs  $X, Y, Z$
- Tel que toute couleur s'écrit uniquement avec des coefficients positifs ;
  - Tel que les trois grandeurs  $X, Y, Z$  aient une signification physique

L'organisme CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) a défini un choix, qui s'appelle justement XYZ qui répond (un peu) à ses critères.

### Luminance

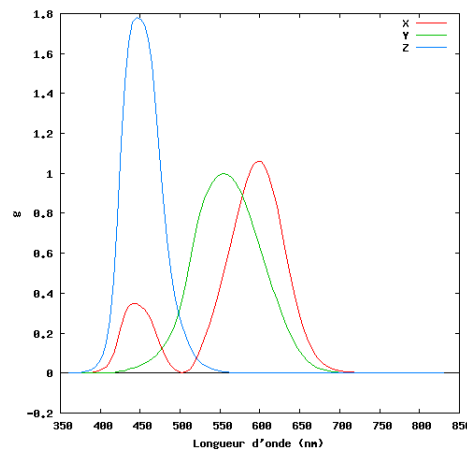
- La luminance est une grandeur indiquant intuitivement à quel point une couleur est lumineuse.
- Le vert apparaît, à intensité égale, plus lumineux que les autres couleurs.
- La luminance d'une couleur  $C = \alpha_R C_R + \alpha_V C_V + \alpha_B C_B$  exprimée dans la base  $(R, V, B)$  sera :

$$L_C = 0.2\alpha_R + 0.7\alpha_V + 0.1\alpha_B$$

- La luminance est une grandeur qui a une réalité physique, c'est la base de l'espace XYZ

### Espace XYZ

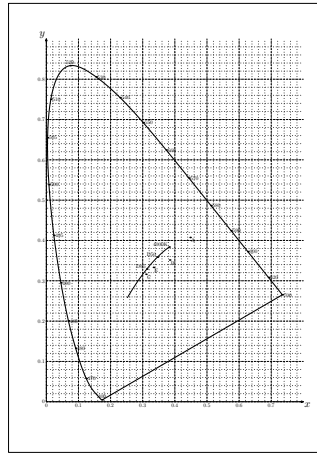
- L'espace XYZ est un espace de couleurs où  $Y$  représente la luminance.
- On voit sur le diagramme suivant les valeurs de  $X, Y, Z$  sur tout le spectre (qui sont bien toujours positives)



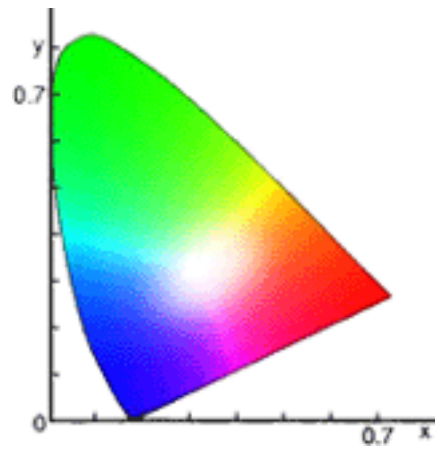
### Espace xy

- Regardons où se trouvent les longueurs d'ondes dans l'espace xy

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$



**Espace xy**



### Espace xy

Sur le diagramme

- La droite en bas s'appelle la droite des pourpres, elle ne correspond à aucune longueur d'onde.
- Les différents illuminants se retrouvent au centre de ce diagramme
- Pour connaître la couleur d'un mélange de (deux) longueurs d'onde, il suffit de regarder le point sur la droite reliant ces deux points.
- En particulier pour trouver la "vraie" couleur, il faut considérer la droite reliant le point à l'illuminant de la scène

### Notion d'espace colorimétrique

Chaque périphérique (scanner, appareil photo, moniteur) a des caractéristiques différentes : la "gamme" des couleurs qu'il peut représenter. Souvent, les couleurs sont représentées par trois composantes, rouge, verte et bleue.

Cependant

- Il faut connaître exactement les couleurs utilisées
- Il faut connaître l'illuminant utilisé

Ces informations constituent l'espace colorimétrique. On appelle gamut l'ensemble des couleurs qu'on peut obtenir avec un espace colorimétrique

### Espace colorimétrique

- Un espace colorimétrique (tout au moins les RGB) correspond, dans le diagramme  $xy$ , à un triangle de couleurs, un point spécial représentant l'illuminant
- Tous les périphériques ont différents espace colorimétriques.
- Comment transformer l'image d'un périphérique à l'autre ?

### Conversion - Problèmes

- Les triangles se superposent mal ;
- Les "échelles" ne sont pas les mêmes ;
- Le point blanc n'est pas le même ;

### Espace non linéaires : $L^*a^*b^*$

- La réponse de l'oeil aux couleurs n'est pas linéaire ;
- L'espace  $L^*a^*b^*$  est un espace dans lequel (on veut que) toute augmentation d'une couleur provoque un changement de la perception du même ordre de grandeur.

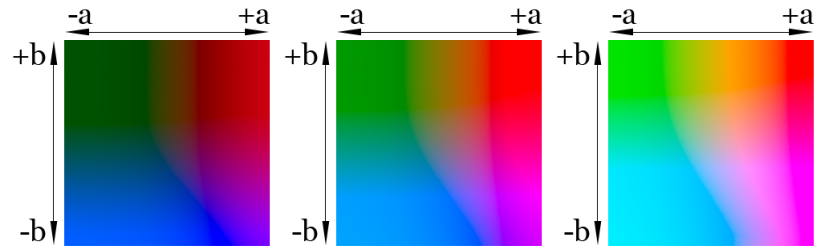
-

$$\begin{aligned}L^* &= af(Y/Y_n) + b \\a^* &= c(f(X/X_n) - f(Y/Y_n)) \\b^* &= d(f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n))\end{aligned}$$

$X_n, Y_n, Z_n$  repère le point blanc.

$$f(x) = \begin{cases} \sqrt[3]{x} & \text{si } x > \epsilon \\ ex + f & \text{sinon} \end{cases}$$

### Espace $L^*a^*b^*$



### Espace non linéaires : $\gamma$

- La réponse de l'oeil aux couleurs n'est pas linéaire mais logarithmique ;
- Les écrans, avant d'afficher une image lui font subir une correction  $\gamma$  : Un pixel d'intensité  $I$  sera en fait affiché avec une intensité  $I^\gamma$ .

### Télévisions

- Les télévisions utilisent des modèles du style  $cdY$ , le plus connu étant  $YUV$ .
- Pour quelle raison utiliser  $Y$  comme composante ?

### Imprimantes

- Les imprimantes ne suivant pas le même modèle
- La couleur d'une surface est en effet fonction des ondes qu'elles n'absorbent pas
- Ajouter plusieurs encres diminue donc le nombre d'ondes non absorbées
- Synthèse soustractive

### CMYK

- L'espace de couleur d'une imprimante est un espace CMYK (cyan, magenta, jaune et K (clé))
- On ajoute du noir car le noir obtenu autrement n'est pas terrible
- On n'obtient pas un triangle (mélanger des encres ne marche pas si bien)