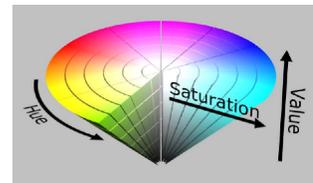
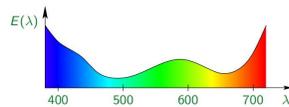


CES PAGES SONT DESTINÉES À FACILITER LA PRISE DE NOTES. ELLES SONT PRODUITES AUTOMATIQUEMENT À PARTIR DU SOURCE L^AT_EX/BEAMER DU DIAPORAMA SERVANT DE SUPPORT DE COURS. LA PRÉSENTATION ET LA MISE EN PAGE SONT PAR CONSÉQUENT APPROXIMATIVES.

Partie A — thème 3

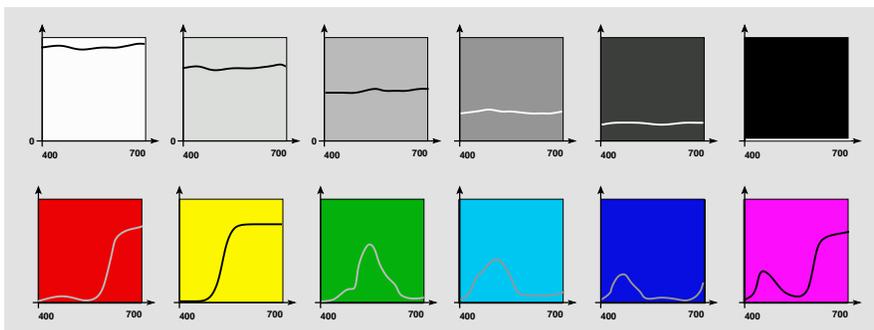
Modélisation et représentation des couleurs



- Normaliser le calcul de la couleur d'une DSE
- Modéliser les couleurs perçues par le SVH
- Choisir le système de couleur adapté à un traitement

1 Éléments de colorimétrie

1.1 Correspondance entre DSE et couleurs



- on note $\mathcal{C}(E)$ la couleur de la DSE E perçue par un SVH standard
- défi de la **colorimétrie** : caractériser quantitativement $\mathcal{C}(E)$
- capturer au sein d'un même modèle le phénomène physique et le fonctionnement des photorécepteurs de la rétine : $E(\lambda) \rightarrow (I_L, I_M, I_S)$

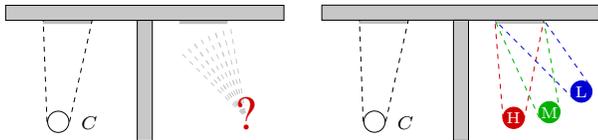
1.2 Expérience de mise en correspondance des couleurs

Construction par l'expérience de la représentation de la couleur d'une DSE

- Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) – 1931
- recherche d'une base de représentation des couleurs visibles
- principe : reproduire chaque longueur par combinaison de longueurs d'ondes de référence

$$\alpha_1 \lambda_1 + \alpha_2 \lambda_2 + \dots + \alpha_n \lambda_n$$

- combien ?



- une seule : reproduction des intensités
- deux : gain très faible

- gain important avec trois longueurs d'ondes suffisamment espacées $\lambda_L, \lambda_M, \lambda_S$
- à partir de quatre : redondance

$$\alpha_1 \lambda_L + \alpha_2 \lambda_M + \alpha_3 \lambda_S$$

Stratégie : rechercher $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ pour chaque longueur d'onde

- dispositif permettant d'ajuster $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ pour obtenir

$$\mathcal{C}(\lambda) = \mathcal{C}(\alpha_1 \lambda_L + \alpha_2 \lambda_M + \alpha_3 \lambda_S)$$

- impossible d'ajuster une couleur pure (une seule longueur d'onde)

— on ajoute d'onde...

ajoute

une

seconde long

— ...

dont

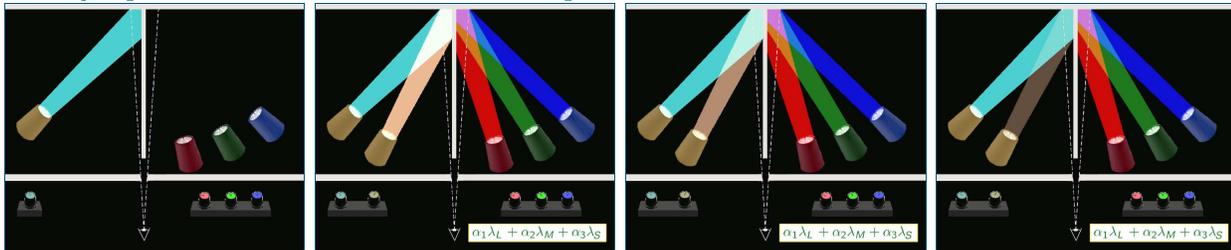
on

diminue

progressive-

ment la contribution...

- ... jusqu'à atteindre la limite de la correspondance réalisable



476 nm	580 nm	$\lambda_L = 645nm$	$\lambda_M = 526nm$	$\lambda_S = 444nm$
100	100	210	84	53.4
100	75	152	67	53.9
100	50	94	50	54.4
100	25	36	33	54.9
100	0	?-22	?16	?55.4

Pourquoi cette extrapolation est pertinente : Lois de Grassmann (1853)

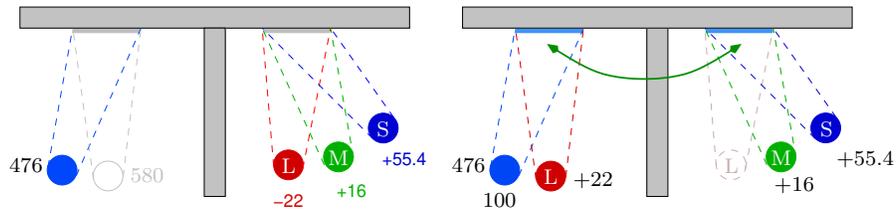
$$\left. \begin{aligned} \mathcal{C}(E_1) &= \mathcal{C}(E_2) \\ \mathcal{C}(E_3) &= \mathcal{C}(E_4) \end{aligned} \right\} \Leftrightarrow \mathcal{C}(E_1 + E_3) = \mathcal{C}(E_2 + E_4)$$

$$\mathcal{C}(E_1) = \mathcal{C}(E_2) \Leftrightarrow \mathcal{C}(\alpha E_1) = \mathcal{C}(\alpha E_2)$$

— vérification de la pertinence de l'extrapolation : ajout de $22\lambda_L$ de chaque côté

$$\mathcal{C}(100\lambda_{476}) = \mathcal{C}(-22\lambda_L + 16\lambda_M + 55.4\lambda_S) \quad (1)$$

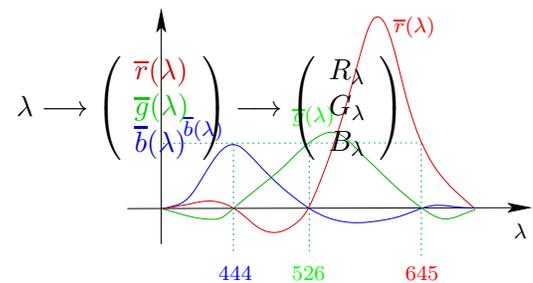
$$\mathcal{C}(100\lambda_{476} + 22\lambda_L) = \mathcal{C}(+22\lambda_L + 16\lambda_M + 55.4\lambda_S) \quad (2)$$



— on répète l'expérience pour un échantillonnage $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ du spectre visible tous les 5 nm :

$$\begin{array}{ccc} \bar{r} & \bar{g} & \bar{b} \\ \lambda_1 & \rightarrow & (R_1, G_1, B_1) \\ \lambda_2 & \rightarrow & (R_2, G_2, B_2) \\ & \vdots & \\ \lambda_n & \rightarrow & (R_N, G_N, B_N) \end{array}$$

\Rightarrow définition point par point de trois fonctions notées $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$ et $\bar{b}(\lambda)$:



— coordonnées (R_E, G_E, B_E) de la couleur d'une DSE E :

\rightarrow somme des contributions de chaque longueur d'onde $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$

$$R_E = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda \quad G_E = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E(\lambda) \bar{g}(\lambda) d\lambda \quad B_E = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda$$

— système CIE-RGB

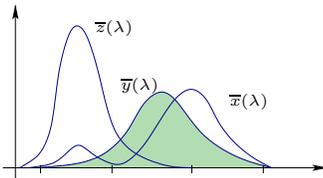
- projection des DSE sur un espace vectoriel de dimension 3
- capture des propriétés du SVH

$$\boxed{\mathcal{C}(E_1) = \mathcal{C}(E_2) \Leftrightarrow (R_{E_1}, G_{E_1}, B_{E_1}) = (R_{E_2}, G_{E_2}, B_{E_2})}$$

- mais... système de référence trop arbitraire car dépendant du choix des trois longueurs d'ondes utilisées pour l'expérience (444 nm, 526 nm et 645 nm)
- recherche d'un système plus universel

1.3 Système de référence CIE-XYZ

- modèle obtenu par **transformation géométrique** du système CIE-RGB
 - 1931, raffinées à 1 nm par interpolation en 1971
 - trois fonctions de base notées $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ et $\bar{z}(\lambda)$
- propriétés :
 - courbes **positives** et d'**aires** égales
 - $\bar{y}(\lambda)$: identique à la somme des courbes pondérées de sensibilité des cônes : **luminance**



$$E \longrightarrow (X, Y, Z) = \left(K \int E(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda, K \int E(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda, K \int E(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \right)$$

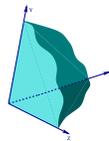
- données disponibles sur internet, par exemple :
 - | www.rit.edu/cos/colorscience/rc_useful_data.php
 - | fr.wikiversity.org/wiki/Colorim%C3%A9trie/Annexe/Fonctions_colorim%C3%A9triques_normalis%C3%A9es

2 Systèmes colorimétriques

2.1 Système CIE-XYZ

- représentation **indépendante des dispositifs matériels** (DSE / SVH)

$$\begin{aligned} X &= K \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y &= K \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z &= K \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned}$$

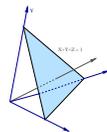


- couleurs **réalisables** : $\alpha X + \beta Y + \gamma Z$, avec α, β et $\gamma \geq 0$ (pas toutes visibles)
- **normalisation à 1** de Y_{max} : $K = \frac{1}{\int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda}$ ou $\frac{1}{Y_W}$ (coordonnée Y du blanc)
- référence pour les autres systèmes de couleur

2.2 Système CIE-xyY : diagramme chromatique

- **séparation** des caractéristiques luminance / chrominance du système CIE-XYZ
- plan **chromatique** (iso-luminance) de l'espace CIE-XYZ : $x + y + z = 1$

$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{X + Y + Z} \\ y &= \frac{Y}{X + Y + Z} \\ z &= \frac{Z}{X + Y + Z} \end{aligned}$$

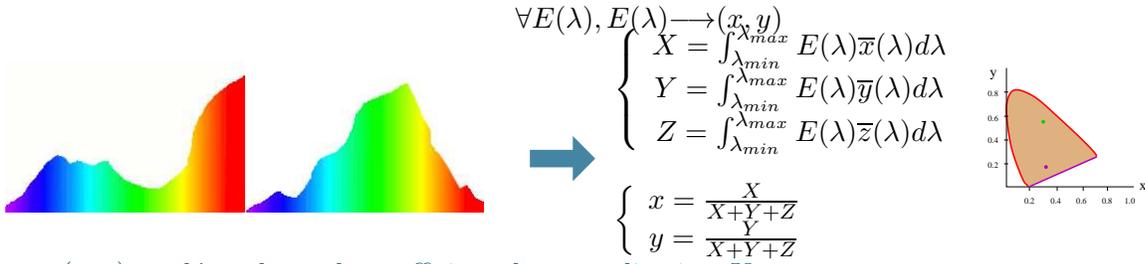


— $z = 1 - x - y$

— système CIE-xyY : $\begin{cases} x, y : \text{chrominance} \\ Y : \text{luminance} \end{cases}$

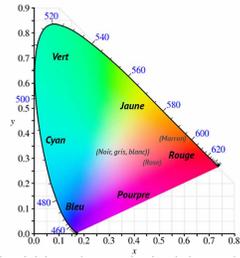
Diagramme chromatique

— représentation des couleurs visibles dans le plan chromatique xy



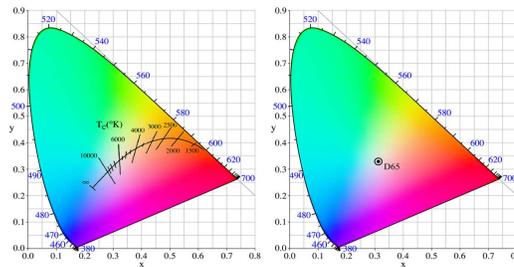
- (x, y) ne dépend pas du coefficient de normalisation K
- dans le plan d'iso-luminance les couleurs visibles sont à l'intérieur d'une région convexe limitée par la courbe des longueurs d'ondes pures
- frontière du diagramme : (x_λ, y_λ) + ligne des pourpres

Disposition des couleurs dans le diagramme



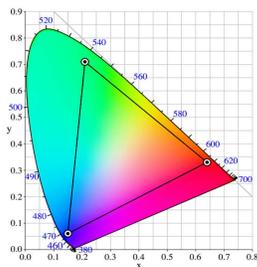
Localisation des grandeurs colorimétriques

- courbe des température de couleurs
- point neutre (par exemple illuminant standard)
 - $D50 = (0.34773, 0.35952)$
 - $D65 = (0.31382, 0.33100)$



Gammes de couleurs

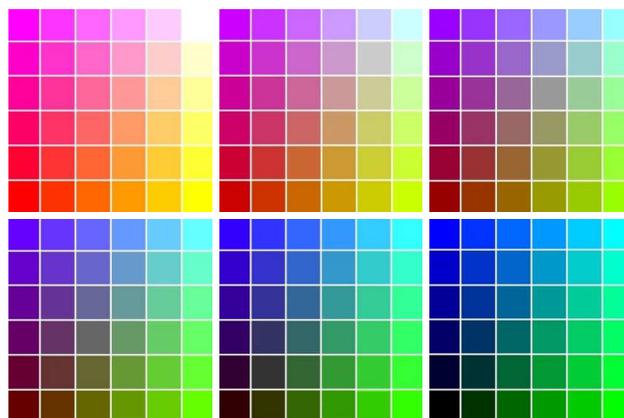
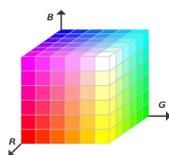
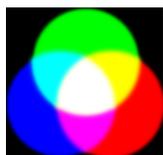
- **gamme** de couleurs (*color gammut*)
- ensemble des couleurs réalisables au moyen d'un système
- gamme d'un écran RGB : ensemble des points du triangle $((x_r, y_r), (x_g, y_g), (x_b, y_b))$



3 Systèmes orientés matériel

3.1 Synthèse additive : écran, vidéoprojecteur

- superposition de trois lumières monochromatiques choisies relativement au SVH



- organisation des couleurs : cube correspondant aux axes R, G et B
- + permet l'expression des couleurs relativement aux dispositifs matériels
- peu intuitif, dépendant du matériel

Expression de chaque système *RGB* par rapport au système *XYZ* : calibrage

- matrice de passage $RGB \mapsto XYZ$

$$\begin{pmatrix} xX_R \\ yY_R \\ zZ_R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_R & X_G & X_B \\ Y_R & Y_G & Y_B \\ Z_R & Z_G & Z_B \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} r1 \\ g0 \\ b0 \end{pmatrix}$$

- profil ICC : caractérisation du périphérique ou de l'image (PDF, PNG)
- recommandation CCIR REC-709 / ITU-R BT.709 / sRGB, avec l'illuminant D_{65} :

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.412453 & 0.357580 & 0.180423 \\ 0.212671 & 0.715160 & 0.072169 \\ 0.019334 & 0.119193 & 0.950227 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R_{709} \\ G_{709} \\ B_{709} \end{pmatrix}$$

- transformation réciproque $M^{-1} : XYZ \rightarrow RGB$

$$\begin{pmatrix} R_{709} \\ G_{709} \\ B_{709} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.240479 & -1.537150 & -0.498535 \\ -0.969256 & 1.875992 & 0.041556 \\ 0.055648 & -0.204043 & 1.057311 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

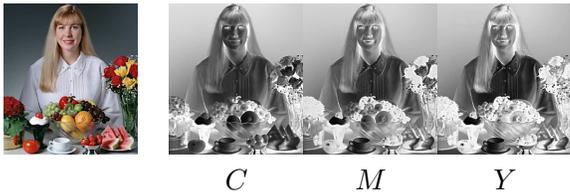
3.2 Synthèse soustractive : impression, peinture

Principe du mélange de pigments

- encres, peinture, etc.
- trois canaux : cyan, magenta et jaune
- complémentaires des canaux RGB



$$\begin{cases} C = 1 - R \\ M = 1 - G \\ Y = 1 - B \end{cases}$$



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

Quadrichromie : optimisation du rendu des neutres par impression

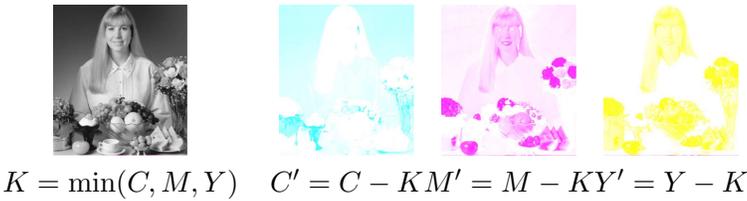
- difficile d'obtenir des gris neutres et des noirs par superposition d'encres C , M et Y
- ajout d'une **composante noire** (notée K) aux composantes C , M et Y : $CMYK$
- on soustrait pour cela le minimum de C , M et Y aux trois composantes

exemple :



	Cyan	160	110 50	110	
	Magenta	50	0 50	0	
	Jaune	70	20 50	20	
	Noir			50	

$$\begin{aligned}
 RGB \leftrightarrow CMYK : \quad K &= \min(1 - R, 1 - G, 1 - B) \\
 C &= 1 - R - K \\
 M &= 1 - G - K \\
 Y &= 1 - B - K
 \end{aligned}$$



3.3 Dualité systèmes additif et soustractif

- le peintre dit : « j'obtiens du vert en mélangeant du bleu et du jaune »
- l'électronicien dit : « j'obtiens du jaune en ajoutant du rouge et du vert »



Goethe

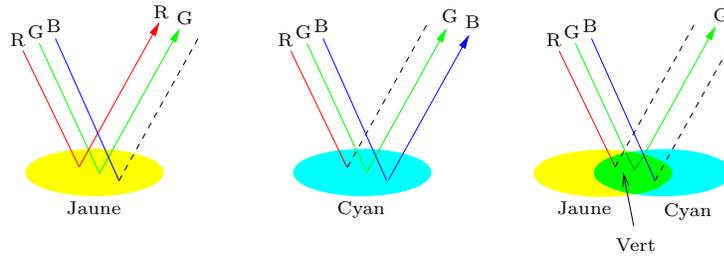
contre



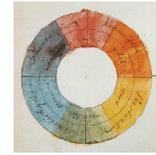
Newton

Newton : la lumière blanche est la **superposition de lumières** colorées monochromatiques
 Goethe : la couleur est un **obscurcissement de la lumière**

Qui a raison ? Les deux...



La théorie de Newton initie la recherche sur la physique des couleurs et celle de Goethe sur la perception des couleurs.



3.4 Systèmes uniformes

Prise en compte de la distance psychovisuelle

— distance euclidienne entre deux couleurs C_1 et C_2 de l'espace RGB :

$$\Delta_{RGB}(C_1, C_2) = \sqrt{(r_1 - r_2)^2 + (g_1 - g_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}$$

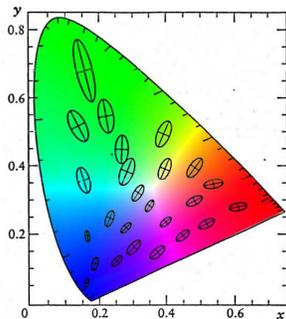
- ne traduit pas la distance psychovisuelle entre deux couleurs
- exemple : dégradé de couleurs ($c_\alpha = (1 - \alpha)c_1 + \alpha c_2$)



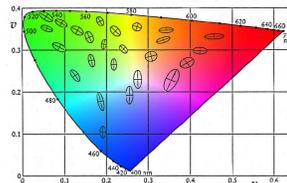
— espace uniforme : espace dans lequel la distance euclidienne est proche de la distance psychovisuelle

Expérience de MacAdam (1942)

— mesure des distances minimum perceptibles autour de différents points du diagramme et dans toutes les directions → ellipses



1 : représentation (agrandie) des isocouleurs pour le SVH

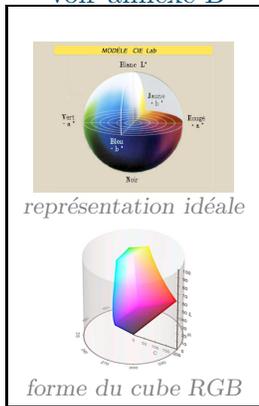


2 : déformation du diagramme pour faire tendre les ellipses vers des cercles de même taille

Espaces « uniformes »

- deux espaces proposés par la CIE (1976) à partir de l'expérience de MacAdam
 - Luv : plus adapté aux sources lumineuses, conservation des lignes droites
 - Lab : plus adapté aux surfaces réfléchissantes, applications industrielles

- aucun espace n'est idéal : Lab aujourd'hui majoritaire
- coordonnées CIE-XYZ et choix d'un point neutre (D65)
- coordonnées cylindriques
 - luminosité L : axe vertical des neutres ($\sim Y^{\frac{1}{3}}$)
 - plan chromatique
 - axe a : vert/rouge
 - axe b : bleu/jaune
- voir annexe B



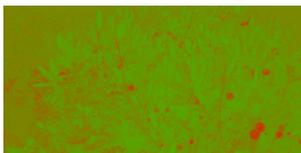
Représentations de l'espace CIELab



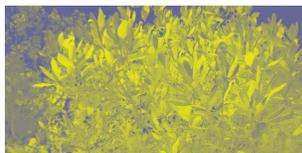
image RGB



canal L



canal a



canal b



image RGB



canaux a et b



canaux L et a

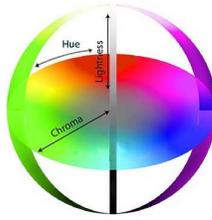
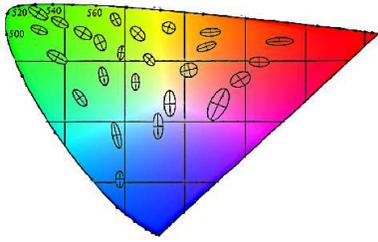


canaux L et b

4 Systèmes perceptuels

4.1 Système perceptuel colorimétrique : CIE-Lch ou LCHab

- définition {teinte, saturation (chroma), clarté} à partir de l'espace Lab (2003)
- clarté : luminosité L
- définition de la chrominance dans le plan a, b

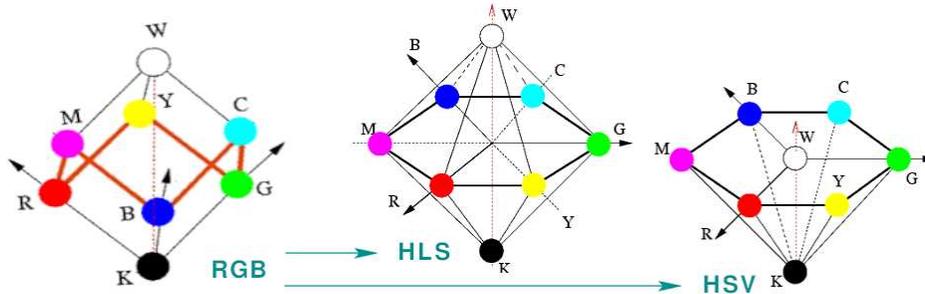


chroma : $c = \sqrt{a^2+b^2}$
 teinte : $h = \text{atan2}(b, a)$

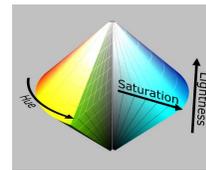


4.2 Systèmes perceptuels empiriques : HSV et HLS

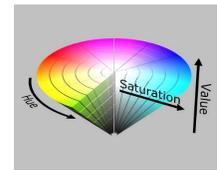
- fin des années 70 : manipulation interactive les couleurs (premiers écrans couleurs)
- transformation géométrique de l'espace *RGB*



- composante clarté
 - luminosité $L = \frac{\max(R,G,B)+\min(R,G,B)}{2}$
 - valeur $V = \max(R, G, B)$
- composantes chromatiques
 - teinte (hue) : H (angle à partir du rouge)
 - saturation : S (distance relative au neutre)



double cône HLS



cône HSV

- Canaux HSV et HLS



H



$S(HSV)$



V

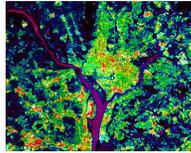


$S(HLS)$



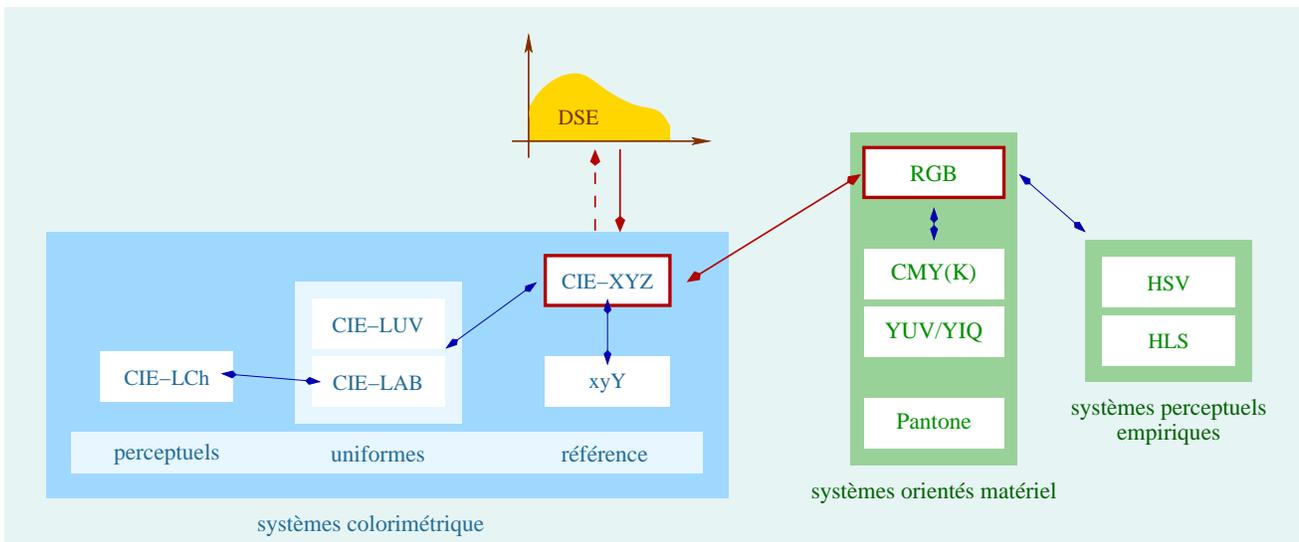
L

- exemple d'utilisation de HLS (voir thème A.1) :
 - H : inverse du canal infrarouge thermique
 - L : image monochrome
 - S : image blanche (saturation maximale)



5 Récapitulatif des principaux systèmes de couleurs

- systèmes colorimétrique de référence : CIE-XYZ, xyY – diagramme chromatique
- systèmes orientés matériel : RGB, CMY, CMYK, YUV/YIQ, nuanciers
- systèmes colorimétrique uniformes et perceptuels : CIE-Luv, CIE-Lab, CIE-LCh
- systèmes perceptuels empiriques : HLS, HSV



ANNEXE A

Autres modèles de couleurs

Modèles télévision : YUV (PAL) et YIQ (NTSC)

— construits pour faire coexister la transmissions d'émissions pour les TV N&B et couleur :

Y : composante monochrome

IQ ou UV : axes chromatique (rotation de 33° et inversion des axes)

— RGB → YIQ

$$\begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.528 & 0.311 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

RGB → YUV

$$\begin{pmatrix} Y \\ U \\ V \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.14713 & -0.28886 & 0.436 \\ 0.615 & -0.51498 & -0.10001 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

— parfois utilisés en imagerie en raison de la séparation chrominance/clarté : à éviter (préférer les espaces colorimétriques)

Modèle d'imprimerie : système Pantone

— imprimerie : 15 encres de référence

— nuancier de 800 teintes obtenues par combinaison de ces encres

— définitions intégrées aux systèmes de PAO

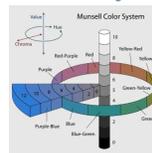
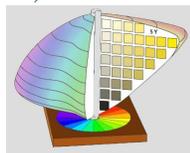


Classification de Munsell

— 1909 : approche empirique, continuité des travaux du chimiste Eugène Chevreul sur la perception des couleurs

— nuancier organisé en coordonnées sphériques : teinte (hue), clair/sombre (value), couleur forte/couleur faible (chroma)

— *The Munsell book of colors* (1976) : idem en coordonnées cylindriques (cohérent avec CIE-Lab)



ANNEXE B

Transformations entre espaces de couleurs

Transformations XYZ - espaces uniformes

- nécessité de fixer un **point neutre** : X_N, Y_N, Z_N
- point neutre du moniteur (x_b, y_b)
- illuminant standard, par exemple D65

$$(X_N, Y_N, Z_N) = (0.95047, 1, 1.08883)$$

- L^* commun à $L^*a^*b^*$ et $L^*u^*v^*$.

$$L^* = \begin{cases} 116 \left(\frac{Y}{Y_N} \right)^{\frac{1}{3}} - 16, & \text{si } \frac{Y}{Y_N} > 0.008856 \\ 903.3 \frac{Y}{Y_N} & \text{sinon.} \end{cases}$$

$$Y = \begin{cases} \left(\frac{L^* + 16}{116} \right)^3 Y_N, & \text{si } L^* > 7.99968 \\ \frac{L^* Y_N}{903.3} & \text{sinon.} \end{cases}$$

XYZ \rightarrow a^*b^* .

$$a^* = 500 \left(f \left(\frac{X}{X_N} \right) - f \left(\frac{Y}{Y_N} \right) \right)$$

$$b^* = 200 \left(f \left(\frac{Y}{Y_N} \right) - f \left(\frac{Z}{Z_N} \right) \right)$$

$$f(t) = \begin{cases} t^{\frac{1}{3}}, & \text{si } t > 0.008856 \\ 7.787t + \frac{16}{116} & \text{sinon.} \end{cases}$$

a^*b^* \rightarrow XYZ.

$$f_y = \frac{L^* + 16}{116}$$

$$f_x = f_y + \frac{a^*}{500}$$

$$f_z = f_y - \frac{b^*}{200}$$

$$X = \begin{cases} X_N f_x^3, & \text{si } f_x^3 > 0.008856 \\ \frac{1}{7.787} X_N \left(f_x - \frac{16}{116} \right) & \text{sinon.} \end{cases}$$

$$Z = \begin{cases} Z_N f_z^3, & \text{si } f_z^3 > 0.008856 \\ \frac{1}{7.787} Z_N \left(f_z - \frac{16}{116} \right) & \text{sinon.} \end{cases}$$

XYZ \rightarrow u^*v^* .

$$\begin{aligned}d &= X + 15Y + 3Z \\u' &= \frac{4X}{d} \\v' &= \frac{9Y}{d} \\d_N &= X_N + 15Y_N + 3Z_N \\u'_N &= \frac{4X_N}{d_N} \\v'_N &= \frac{9Y_N}{d_N} \\u^* &= 13L^*(u' - u'_N) \\v^* &= 13L^*(v' - v'_N)\end{aligned}$$

$u^*v^* \rightarrow$ **XYZ**.

$$\begin{aligned}d_N &= X_N + 15Y_N + 3Z_n \\u'_N &= \frac{4X_N}{d_N} \\v'_N &= \frac{9Y_N}{d_N} \\u' &= u'_N + \frac{u^*}{13L^*} \\v' &= v'_N + \frac{v^*}{13L^*} \\X &= \frac{9u'}{4v'}Y \\Z &= \begin{cases} \frac{1}{3}\left(\frac{4X}{u'} - X - 15Y\right) \\ -\frac{X}{3} - 5Y + \frac{3Y}{v'} \end{cases}\end{aligned}$$

Transformations RGB — HSV/HLS

— RGB/HSV

```
V = max(R, G, B)
m = min(R, G, B)
Δ = V - m
si (Δ < ε)
    S = 0, h = indéfini
sinon
{
    S = Δ / V
    si (R == V)
        H = (G - B) / Δ
    sinon si (G == V)
        h = 2 + (B - R) / Δ
    sinon
        h = 4 + (R - G) / Δ
    H = 60 * H
    if (H < 0)
        H = H + 360
}
```

— RGB/HLS

```
M = max(R, G, B)
m = min(R, G, B)
Δ = M - m
L =  $\frac{M + m}{2}$ 
si (M - m < ε)
    S = 0, H = indéfini
sinon
{
    S = (L ≤  $\frac{1}{2}$ ) ?  $\frac{\Delta}{M + m}$  :  $\frac{\Delta}{2 - M - m}$ 
    si (R == M)
        H =  $\frac{60(G - B)}{\Delta}$ 
    sinon si (G == M)
        H = 60(2 +  $\frac{(B - R)}{\Delta}$ )
    sinon
        H = 60(4 +  $\frac{(R - G)}{\Delta}$ )
    si (H < 0)
        H += 360
}
```

— HSV/RGB ($[0..360] \times [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1] \times [0, 1] \times [0, 1]$)

```
H =  $\frac{H}{60}$ 
i =  $\lfloor H \rfloor$ 
f = H - i
m = V(1 - S)
n = V(1 - S × f)
p = V(1 - (S(1 - f)))
(R, G, B) =
    si (i == 0) alors (V, p, m)
    si (i == 1) alors (n, V, m)
    si (i == 2) alors (m, V, p)
    si (i == 3) alors (m, n, V)
    si (i == 4) alors (p, n, V)
    si (i == 5) alors (V, m, n)
```

— HLS/RGB ($[0..360] \times [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1] \times [0, 1] \times [0, 1]$)

```
si (S < ε)
    R = G = B = L
sinon
{
    si (L ≤  $\frac{1}{2}$ )
        V = L(1 + S)
    sinon
        V = L + (1 - L)S

    H =  $\frac{H}{60}$ 
    i =  $\lfloor H \rfloor$ 
    m = 2 * 1 - V;
    t = (H - i)(V - m)
```

$$n = V - t$$

$$p = m + t$$

comme HSV \rightarrow RGB

}

ANNEXE C

Color naming system

Systeme de nommage : CNS (*color naming system*)

- langage de description décrit par une **grammaire algébrique**
- permet de dériver syntaxiquement **627** noms
- **480** sont réalisables (sémantiquement corrects)

*nom-de-couleur ::= nom-achromatique
::= nom-chromatique*

*nom-achromatique ::= valeur luminosité
::= valeur*

valeur ::= BLANC | GRIS | NOIR

*luminosité ::= TRÈS SOMBRE | SOMBRE | MOYEN
| CLAIR | TRÈS CLAIR*

*nom-chromatique ::= teinte luminosité saturation
::= teinte saturation luminosité
::= teinte saturation
::= teinte luminosité
::= teinte*

*teinte ::= teinte-générique
::= demi-teinte
::= quart-de-teinte*

demi-teinte ::= teinte-générique teinte-générique

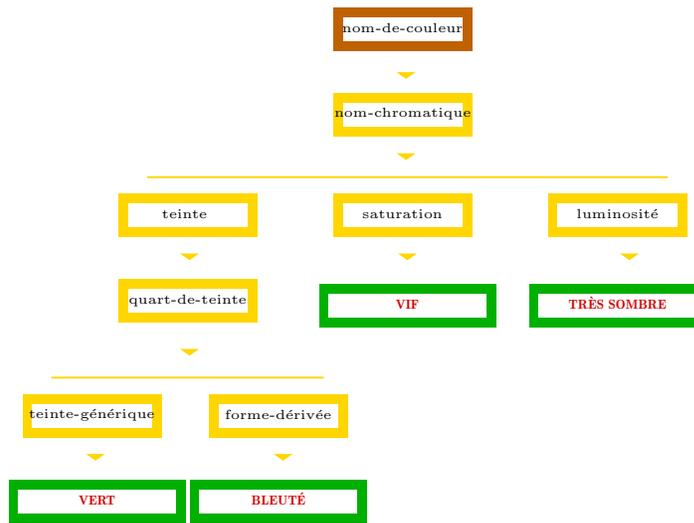
quart-de-teinte ::= teinte-générique forme-dérivée

saturation ::= GRISÂTRE | MODÉRÉ | SOUTENU | VIF

*teinte-générique ::= = ROUGE | ORANGE
MARRON | JAUNE
| VERT | BLEU | VIOLET*

*forme-dérivée ::= ROUGEÂTRE | ORANGÉ | JAUNÂTRE
| VERDÂTRE | BLEUTÉ | POURPRÉ*

Exemple :

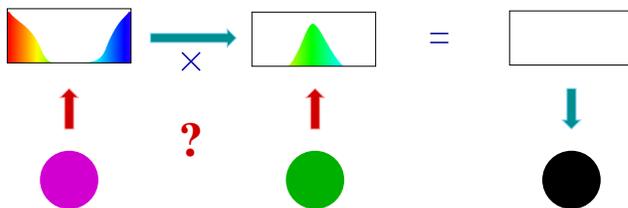
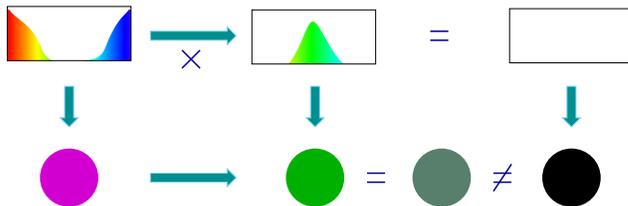


ANNEXE D

Construction d'une DSE à partir d'une couleur

Comment construire une DSE à partir d'une couleur ?

— motivation



— utilisation des DSE des couleurs de base du moniteur



— inférence de DSE : étant donnée une couleur (X, Y, Z) , trouver une DSE $E(\lambda)$ telle que :

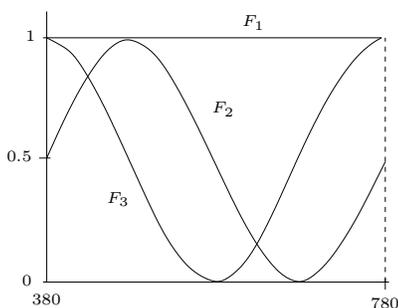
$$\mathcal{C}(E(\lambda)) = (X, Y, Z) \quad (1)$$

— méthode de Glassner

- simplification du problème par restriction de l'ensemble des solutions
- solution proposé : combinaison linéaire de trois fonctions de base

$$E(\lambda) = \alpha_1 F_1(\lambda) + \alpha_2 F_2(\lambda) + \alpha_3 F_3(\lambda)$$

— choix des trois fonctions F_1 , F_2 et F_3 :



$$\begin{aligned} F_1(\lambda) &= 1.0 \\ F_2(\lambda) &= \frac{1}{2} \left(1 + \sin 2\pi \frac{\lambda - 380}{400} \right) \\ F_3(\lambda) &= \frac{1}{2} \left(1 + \cos 2\pi \frac{\lambda - 380}{400} \right) \end{aligned}$$

— le problème devient : trouver un triplet $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)$ tel que

$$\mathcal{C}(E(\lambda)) = \mathcal{C}(\alpha_1 F_1(\lambda) + \alpha_2 F_2(\lambda) + \alpha_3 F_3(\lambda)) = (X, Y, Z) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} X &= k \int_{380}^{780} E(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ &= k \int_{380}^{780} (\alpha_1 F_1(\lambda) + \alpha_2 F_2(\lambda) + \alpha_3 F_3(\lambda)) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ &= k \int_{380}^{780} \alpha_1 F_1(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda + k \int_{380}^{780} \alpha_2 F_2(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda + k \int_{380}^{780} \alpha_3 F_3(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ &= \alpha_1 k \int_{380}^{780} F_1(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda + \alpha_2 k \int_{380}^{780} F_2(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda + \alpha_3 k \int_{380}^{780} F_3(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ M &= \begin{pmatrix} k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{pmatrix} \end{aligned}$$

— l'équation $\mathcal{C}(\alpha_1 F_1(\lambda) + \alpha_2 F_2(\lambda) + \alpha_3 F_3(\lambda)) = (X, Y, Z)$ devient :

$$M \times \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{pmatrix} = M^{-1} \times \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} E(\lambda) &= \alpha_1 F_1(\lambda) + \alpha_2 F_2(\lambda) + \alpha_3 F_3(\lambda) \\ &= (X, Y, Z) \end{aligned}$$

ANNEXE E

Construction de la matrice de calibrage d'un écran à partir des coordonnées chromatiques

On a : $x = \frac{X}{X+Y+Z}$ et $y = \frac{Y}{X+Y+Z} \Rightarrow X = x\frac{Y}{y}$

De même : $Z = z\frac{Y}{y}$

On pose :

$$\begin{pmatrix} X_R & X_G & X_B \\ Y_R & Y_G & Y_B \\ Z_R & Z_G & Z_B \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_N \\ Y_N \\ Z_N \end{pmatrix}$$

On fixe $Y_N = 1$ (normalisation de Y_N) et on substitue X_α et Z_α :

$$\begin{cases} \frac{x_R Y_R}{y_R} + \frac{x_G Y_G}{y_G} + \frac{x_B Y_B}{y_B} = \frac{x_N}{y_N} \\ Y_R + Y_G + Y_B = 1 \\ \frac{z_R Y_R}{y_R} + \frac{z_G Y_G}{y_G} + \frac{z_B Y_B}{y_B} = \frac{z_N}{y_N} \end{cases}$$

on obtient :

$$\begin{cases} X_R = \frac{x_R}{y_N} K_R \\ Y_R = \frac{y_R}{y_N} K_R \\ Z_R = \frac{1 - x_R - y_R}{y_N} K_R \end{cases} \begin{cases} X_G = -\frac{x_G}{y_N} K_G \\ Y_G = -\frac{y_G}{y_N} K_G \\ Z_G = -\frac{1 - x_G - y_G}{y_N} K_G \end{cases} \begin{cases} X_B = \frac{x_B}{y_N} K_B \\ Y_B = \frac{y_B}{y_N} K_B \\ Z_B = \frac{1 - x_B - y_B}{y_N} K_B \end{cases}$$

avec :

$$\begin{aligned} K_R &= \frac{x_G(y_B - y_N) - x_B(y_G - y_N) + x_N(y_G - y_B)}{x_R(y_G - y_B) - x_G(y_R - y_B) + x_B(y_R - y_G)} \\ K_G &= \frac{x_R(y_B - y_N) - x_B(y_R - y_N) + x_N(y_R - y_B)}{x_R(y_G - y_B) - x_G(y_R - y_B) + x_B(y_R - y_G)} \\ K_B &= \frac{x_R(y_G - y_N) - x_G(y_R - y_N) + x_N(y_R - y_G)}{x_R(y_G - y_B) - x_G(y_R - y_B) + x_B(y_R - y_G)} \end{aligned}$$

— fournit une définition quantitative de la **luminance** pour le SVH :

$$Y = K \int E(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

— choix de K : on normalise Y_{max} à 1 (luminance de la source)

— **luminosité** (*Lightness* — L) : sensibilité humaine à la luminance.

$$L \sim Y^{\frac{1}{3}}$$

