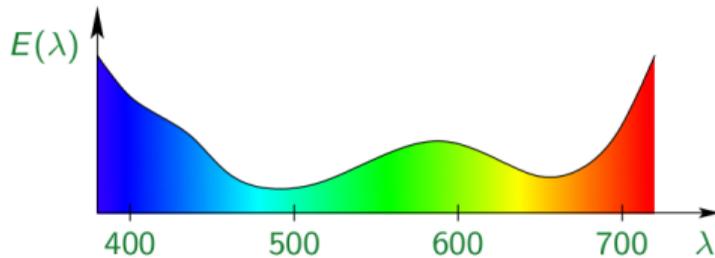
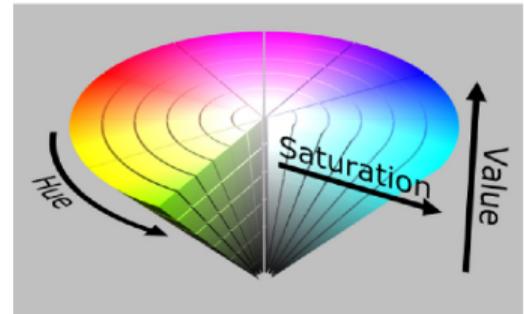


## Partie A — thème 3

# Modélisation et représentation des couleurs

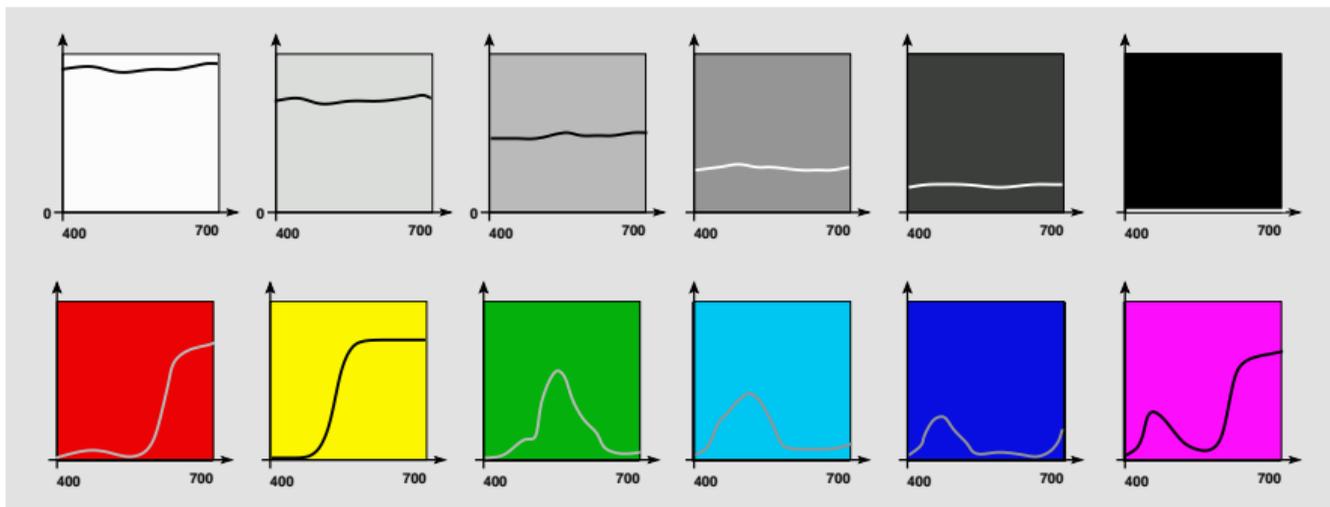


- Normaliser le calcul de la couleur d'une DSE
- Modéliser les couleurs perçues par le SVH
- Choisir le système de couleur adapté à un traitement



# 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 :  $E(\lambda) \rightarrow (I_L, I_M, I_S)$

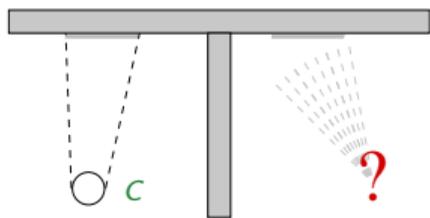
## 1.2. Expérience de mise en correspondance des couleurs

### ○ 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

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

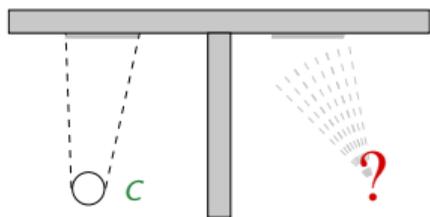
## 1.2. Expérience de mise en correspondance des couleurs

### ○ 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

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

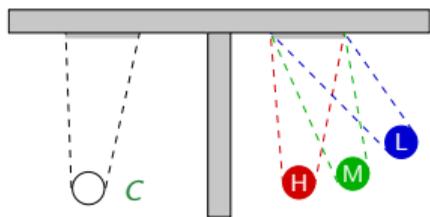
## 1.2. Expérience de mise en correspondance des couleurs

### ○ 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

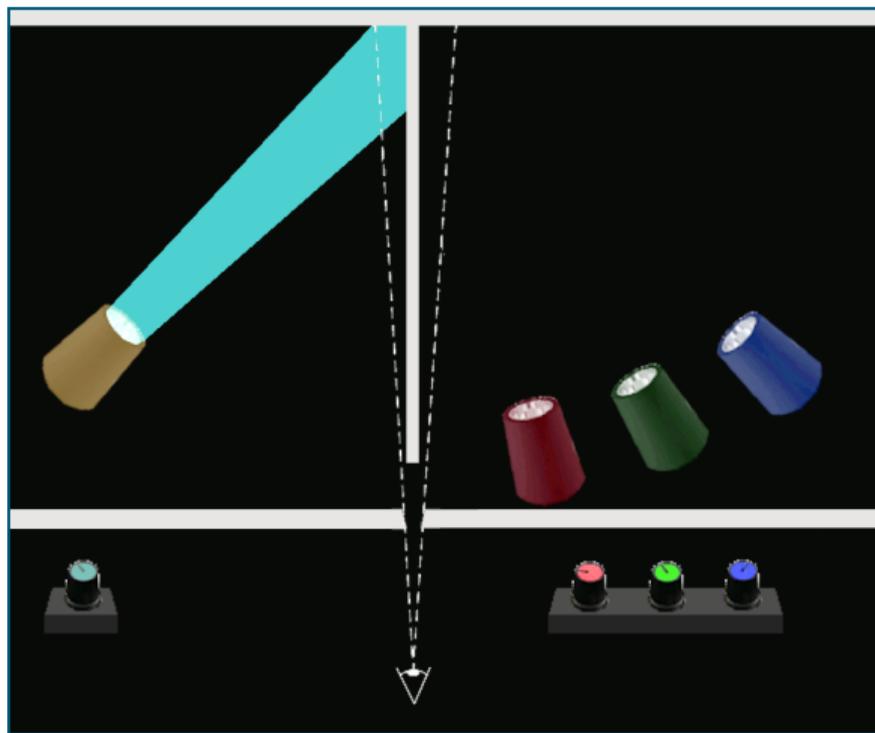
$$\alpha_1\lambda_L + \alpha_2\lambda_M + \alpha_3\lambda_S$$

○ **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 une seconde longueur d'onde...
- ▶ ... dont on diminue progressivement la contribution...
- ▶ ... jusqu'à atteindre la limite de la correspondance réalisable

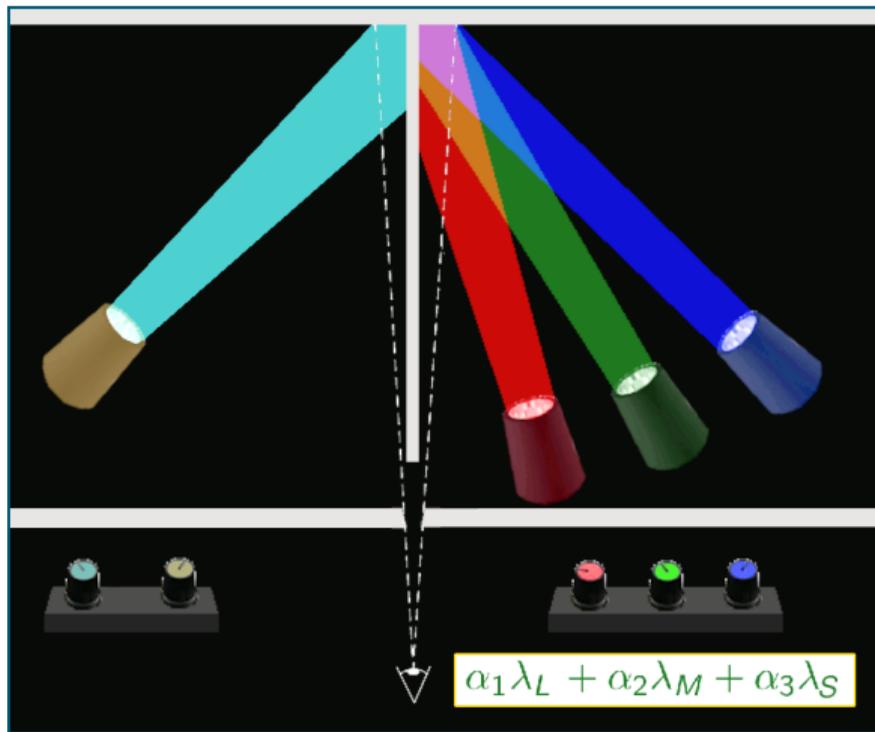


○ **Stratégie** : rechercher  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  pour chaque longueur d'onde

- ▶ 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 une seconde longueur d'onde...
- ▶ ... dont on diminue progressivement la contribution...
- ▶ ... jusqu'à atteindre la limite de la correspondance réalisable

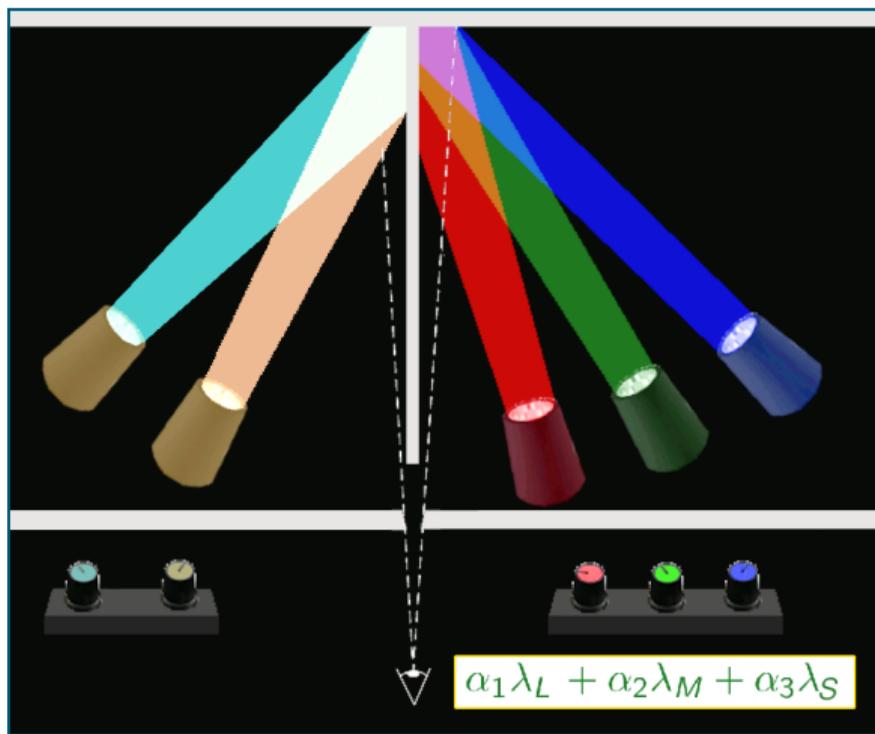


○ **Stratégie** : rechercher  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  pour chaque longueur d'onde

- ▶ 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 une seconde longueur d'onde...
- ▶ ... dont on diminue progressivement la contribution...
- ▶ ... jusqu'à atteindre la limite de la correspondance réalisable

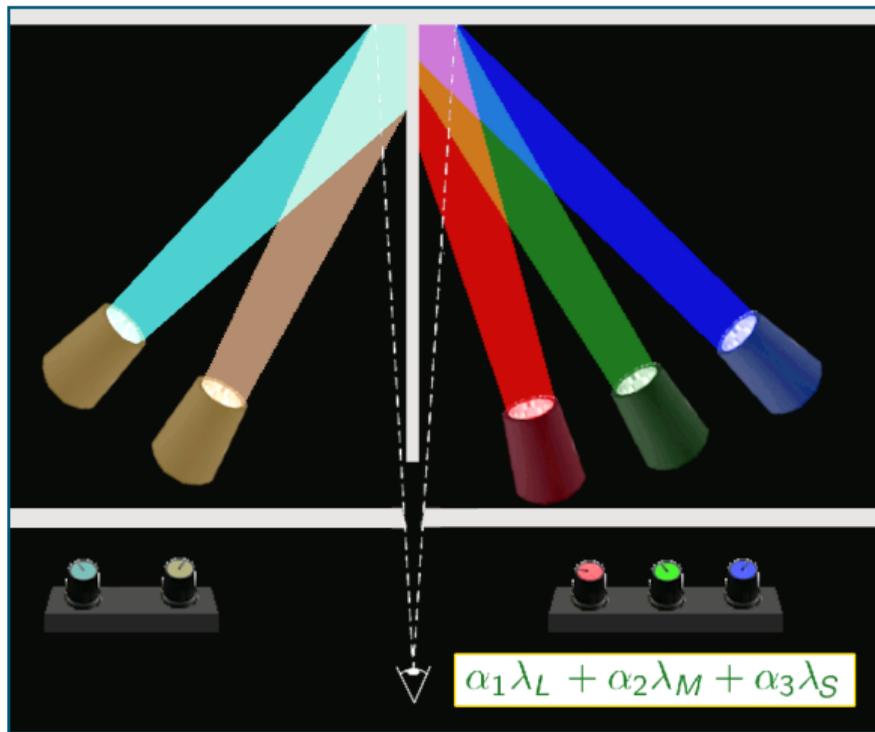


○ **Stratégie** : rechercher  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  pour chaque longueur d'onde

- ▶ 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 une seconde longueur d'onde...
- ▶ ... dont on diminue progressivement la contribution...
- ▶ ... jusqu'à atteindre la limite de la correspondance réalisable

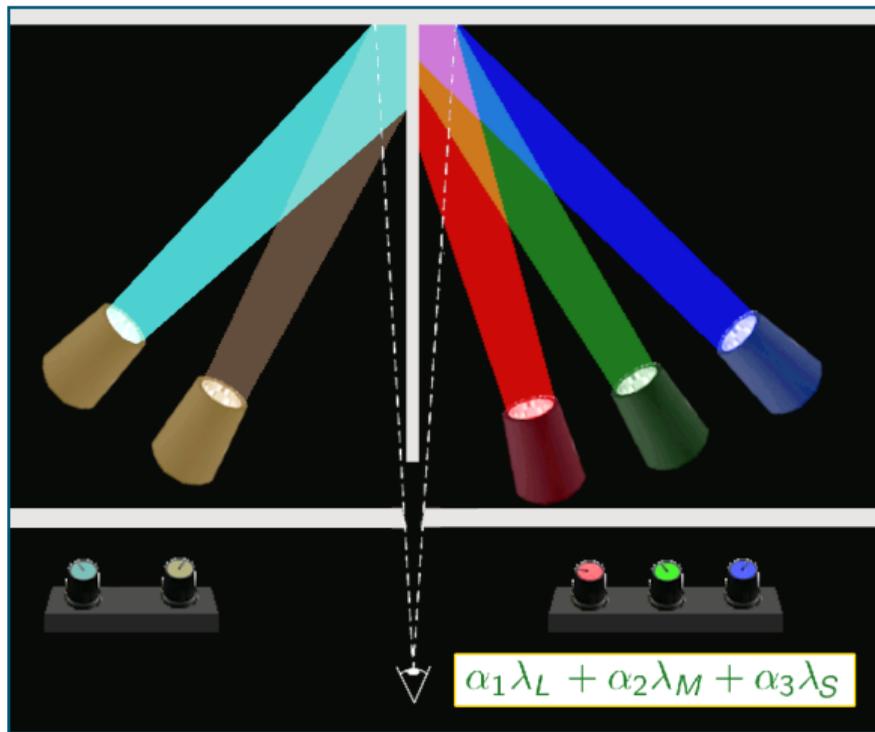


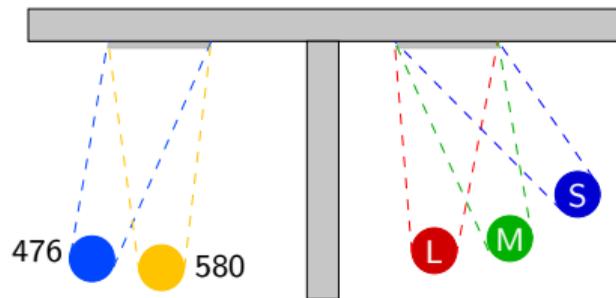
○ **Stratégie** : rechercher  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  pour chaque longueur d'onde

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

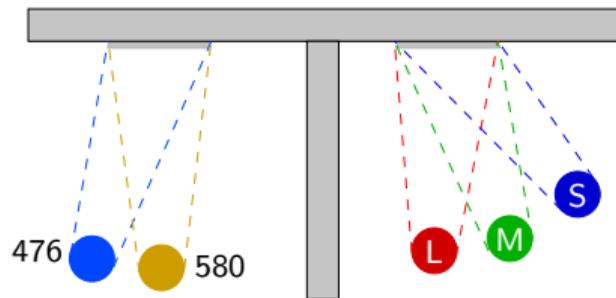
$$\mathcal{C}(\lambda) = \mathcal{C}(\alpha_1\lambda_L + \alpha_2\lambda_M + \alpha_3\lambda_S)$$

- ▶ impossible d'ajuster une couleur pure (une seule longueur d'onde)
- ▶ on ajoute une seconde longueur d'onde...
- ▶ ... dont on diminue progressivement la contribution...
- ▶ ... jusqu'à atteindre la limite de la correspondance réalisable

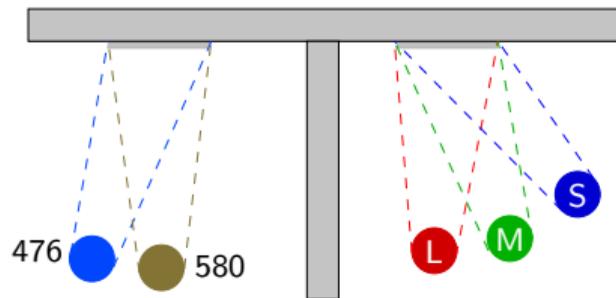




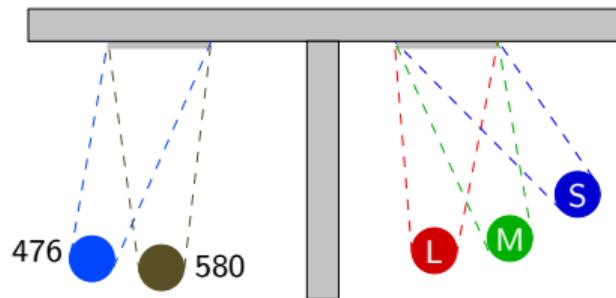
476 nm	580 nm	$\lambda_L = 645nm$	$\lambda_M = 526nm$	$\lambda_S = 444nm$
100	100	210	84	53.4
100	75			
100	50			
100	25			
100	0			



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			
100	25			
100	0			

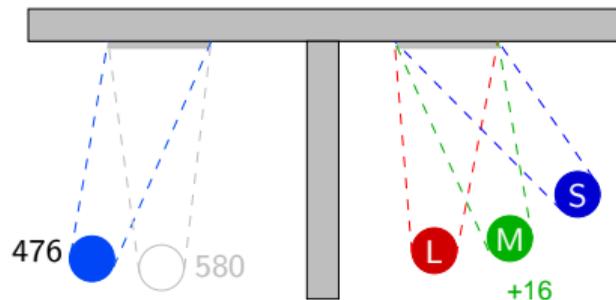


476 nm	580 nm	$\lambda_L = 645nm$	$\lambda_M = 526nm$	$\lambda_S = 444nm$
100	100	210	84	53.4
100	75	152	67	53.9
100	50	94	50	54.4
100	25			
100	0			



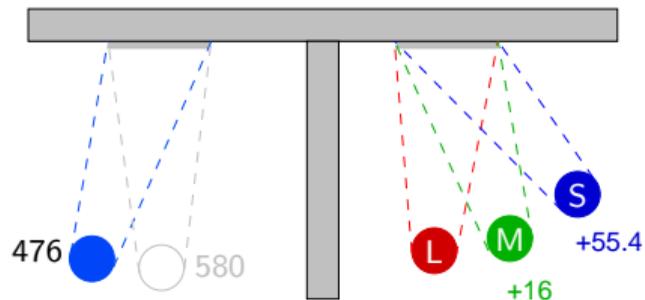
476 nm	580 nm	$\lambda_L = 645nm$	$\lambda_M = 526nm$	$\lambda_S = 444nm$
100	100	210	84	53.4
100	75	152	67	53.9
100	50	94	50	54.4
100	25	36	33	54.9
100	0		?	

$$67 - 84 = 50 - 67 = 33 - 50 = -17$$



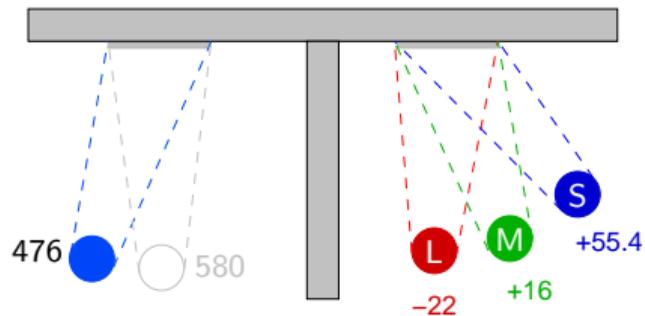
476 nm	580 nm	$\lambda_L = 645nm$	$\lambda_M = 526nm$	$\lambda_S = 444nm$
100	100	210	84	53.4
100	75	152	67	53.9
100	50	94	50	54.4
100	25	36	33	54.9
100	0		16	?

$$53.4 - 53.9 = 53.9 - 54.4 = 54.4 - 54.9 = +0.5$$



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	?	16	55.4

$$152 - 210 = 94 - 152 = 36 - 94 = -58$$



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

$$152 - 210 = 94 - 152 = 36 - 94 = -58$$

► par extrapolation :  $476 nm \rightarrow (-22, 16, 55.4)$

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

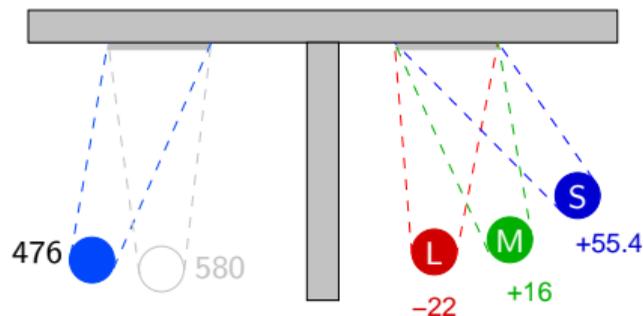
$$\left. \begin{array}{l} \mathcal{C}(E_1) = \mathcal{C}(E_2) \\ \mathcal{C}(E_3) = \mathcal{C}(E_4) \end{array} \right\} \Leftrightarrow \mathcal{C}(E_1 + E_3) = \mathcal{C}(E_2 + E_4)$$

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

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

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

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



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

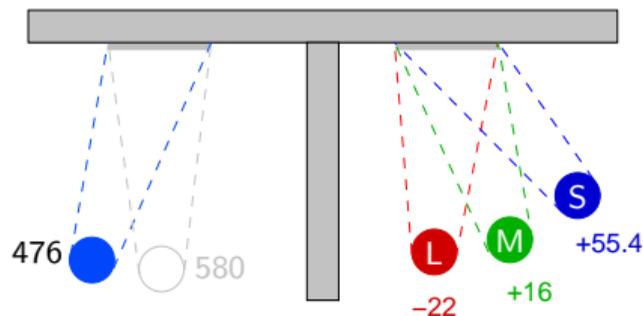
$$\left. \begin{array}{l} \mathcal{C}(E_1) = \mathcal{C}(E_2) \\ \mathcal{C}(E_3) = \mathcal{C}(E_4) \end{array} \right\} \Leftrightarrow \mathcal{C}(E_1 + E_3) = \mathcal{C}(E_2 + E_4)$$

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

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

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

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



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

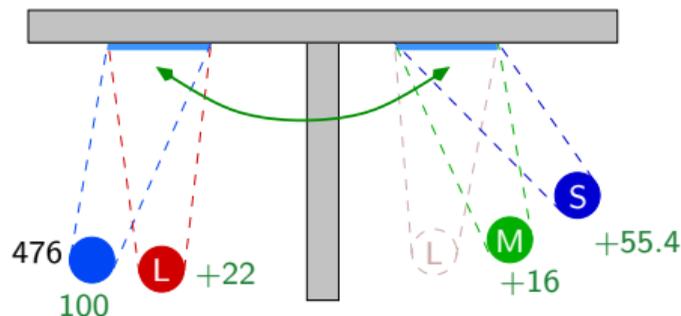
$$\left. \begin{array}{l} \mathcal{C}(E_1) = \mathcal{C}(E_2) \\ \mathcal{C}(E_3) = \mathcal{C}(E_4) \end{array} \right\} \Leftrightarrow \mathcal{C}(E_1 + E_3) = \mathcal{C}(E_2 + E_4)$$

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

► 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 :

$$\begin{array}{rcc} & \bar{r} & \bar{g} & \bar{b} \\ \lambda_1 & \rightarrow & (R_1, G_1, B_1) \\ \lambda_2 & \rightarrow & (R_2, G_2, B_2) \\ & \vdots & & \\ \lambda_n & \rightarrow & (R_n, G_n, B_n) \end{array}$$

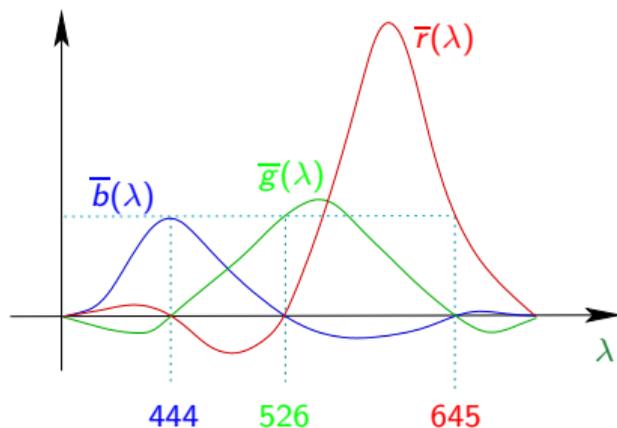
⇒ définition point par point de trois fonctions notées  $\bar{r}(\lambda)$ ,  $\bar{g}(\lambda)$  et  $\bar{b}(\lambda)$  :

$$\lambda \rightarrow \begin{pmatrix} \bar{r}(\lambda) \\ \bar{g}(\lambda) \\ \bar{b}(\lambda) \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} R_\lambda \\ G_\lambda \\ B_\lambda \end{pmatrix}$$

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

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

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



$$\lambda \rightarrow \begin{pmatrix} \bar{r}(\lambda) \\ \bar{g}(\lambda) \\ \bar{b}(\lambda) \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} R_\lambda \\ G_\lambda \\ B_\lambda \end{pmatrix}$$

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

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

$$R_E = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda$$

$$G_E = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E(\lambda) \bar{g}(\lambda) d\lambda$$

$$B_E = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda$$

- ▶ système CIE-RGB

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

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

- ▶ 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

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

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

$$R_E = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E(\lambda) \bar{r}(\lambda) d\lambda$$

$$G_E = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E(\lambda) \bar{g}(\lambda) d\lambda$$

$$B_E = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E(\lambda) \bar{b}(\lambda) d\lambda$$

- ▶ système CIE-RGB

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

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

- ▶ 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

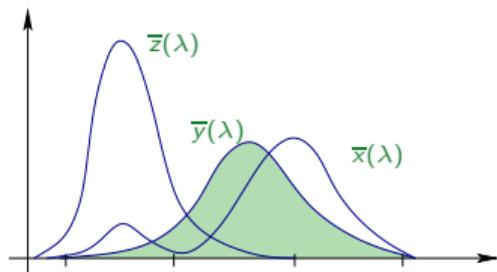
### 1.3. Système de référence CIE-XYZ

► 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](http://www.rit.edu/cos/colorscience/rc_useful_data.php)
- [fr.wikiversity.org/wiki/Colorim%C3%A9trie/Annexe/Fonctions\\_colorim%C3%A9triques\\_normalis%C3%A9es](http://fr.wikiversity.org/wiki/Colorim%C3%A9trie/Annexe/Fonctions_colorim%C3%A9triques_normalis%C3%A9es)

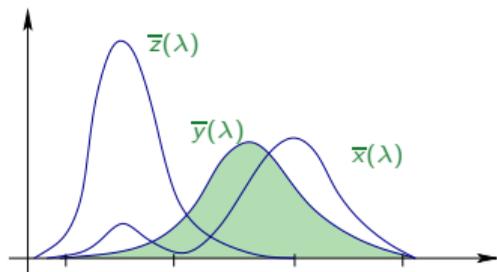
### 1.3. Système de référence CIE-XYZ

► 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](http://www.rit.edu/cos/colorscience/rc_useful_data.php)
- [fr.wikiversity.org/wiki/Colorim%C3%A9trie/Annexe/Fonctions\\_colorim%C3%A9triques\\_normalis%C3%A9es](http://fr.wikiversity.org/wiki/Colorim%C3%A9trie/Annexe/Fonctions_colorim%C3%A9triques_normalis%C3%A9es)

## ★ Coordonnées CIE-XYZ d'une DSE

On considère deux DSE  $E_1$  et  $E_2$  vérifiant les égalités :

$$\int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E_1(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E_2(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$
$$\int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E_1(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E_2(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$
$$\int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E_1(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E_2(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

Les couleurs de  $E_1$  et  $E_2$  perçues par le SVH sont :

**A**

proches

**C**

identiques sauf si  $E_1$  ou  $E_2$  est une longueur d'onde pure

**B**

généralement identiques

**D**

toujours identiques

## ★ Coordonnées CIE-XYZ d'une DSE

On considère deux DSE  $E_1$  et  $E_2$  vérifiant les égalités :

$$\int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E_1(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E_2(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$
$$\int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E_1(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E_2(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$
$$\int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E_1(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} E_2(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

Les couleurs de  $E_1$  et  $E_2$  perçues par le SVH sont :

**A** proches

**B** généralement identiques

**C**

identiques sauf si  $E_1$  ou  $E_2$  est une longueur d'onde pure

**D**

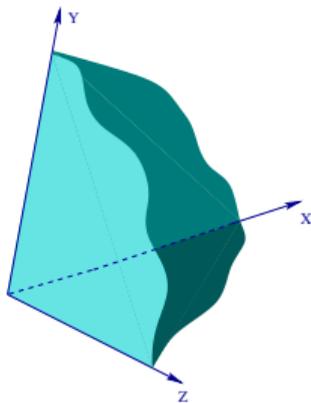
toujours identiques

## 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  $\alpha, \beta$  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

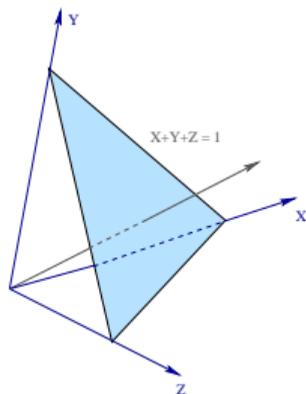
## 2.2. Système CIE-xyY : diagramme chromatique

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

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

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

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$



▶  $z = 1 - x - y$

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

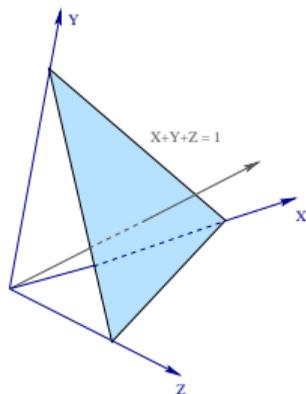
## 2.2. Système CIE-xyY : diagramme chromatique

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

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

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

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

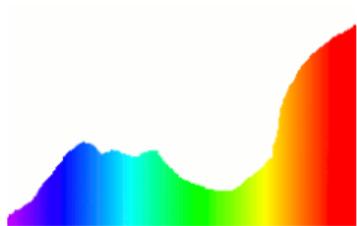


- ▶  $z = 1 - x - y$
- ▶ système CIE-xyY :  $\begin{cases} x, y : \text{chrominance} \\ Y : \text{luminance} \end{cases}$

## ○ Diagramme chromatique

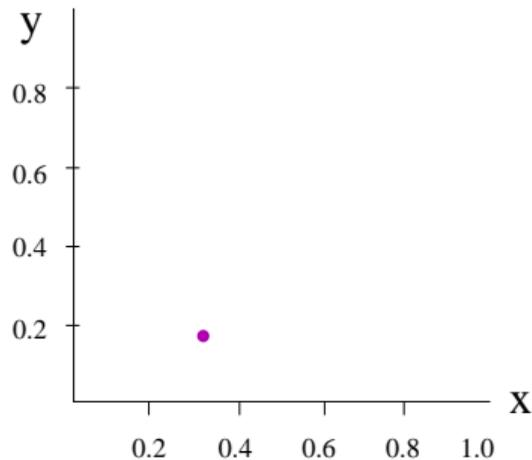
- ▶ représentation des couleurs visibles dans le plan chromatique  $xy$

$$\forall E(\lambda), E(\lambda) \longrightarrow (x, y)$$



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

$$\begin{cases} x = \frac{X}{X+Y+Z} \\ y = \frac{Y}{X+Y+Z} \end{cases}$$

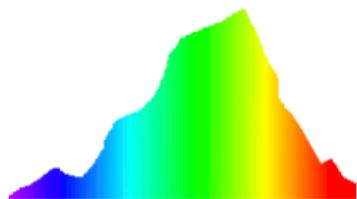


- ▶  $(x, y)$  ne dépend pas du coefficient de normalisation  $K$
- ▶ dans le plan d'iso-luminance les couleurs visibles sont à l'intérieur d'une région convexe limitée par la courbe des longueurs d'ondes pures
- ▶ frontière du diagramme :  $(x_\lambda, y_\lambda)$  + ligne des pourpres

## ○ Diagramme chromatique

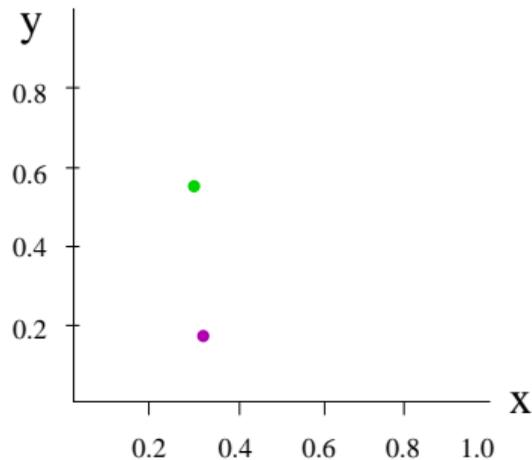
- ▶ représentation des couleurs visibles dans le plan chromatique  $xy$

$$\forall E(\lambda), E(\lambda) \longrightarrow (x, y)$$



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

$$\begin{cases} x = \frac{X}{X+Y+Z} \\ y = \frac{Y}{X+Y+Z} \end{cases}$$

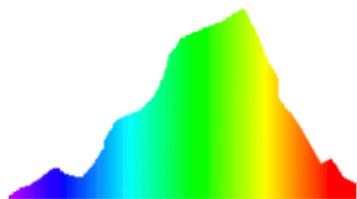


- ▶  $(x, y)$  ne dépend pas du coefficient de normalisation  $K$
- ▶ dans le plan d'iso-luminance les couleurs visibles sont à l'intérieur d'une région convexe limitée par la courbe des longueurs d'ondes pures
- ▶ frontière du diagramme :  $(x_\lambda, y_\lambda)$  + ligne des pourpres

## ○ Diagramme chromatique

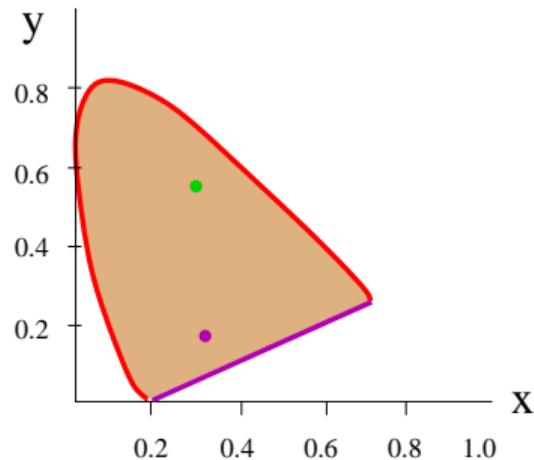
- ▶ représentation des couleurs visibles dans le plan chromatique  $xy$

$$\forall E(\lambda), E(\lambda) \longrightarrow (x, y)$$



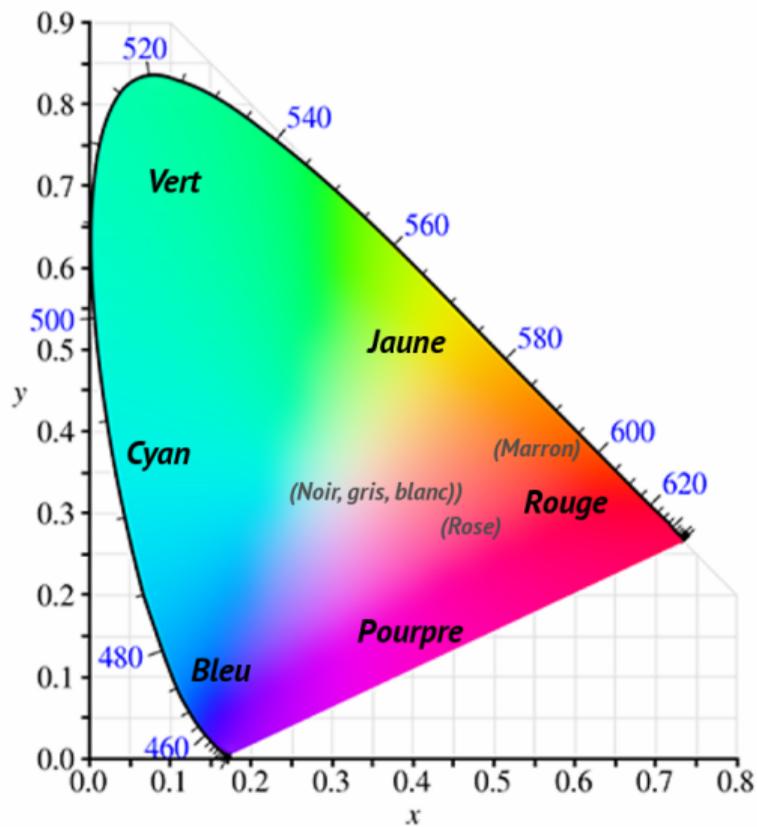
$$\begin{cases} X = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} E(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ Y = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} E(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ Z = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} E(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = \frac{X}{X+Y+Z} \\ y = \frac{Y}{X+Y+Z} \end{cases}$$



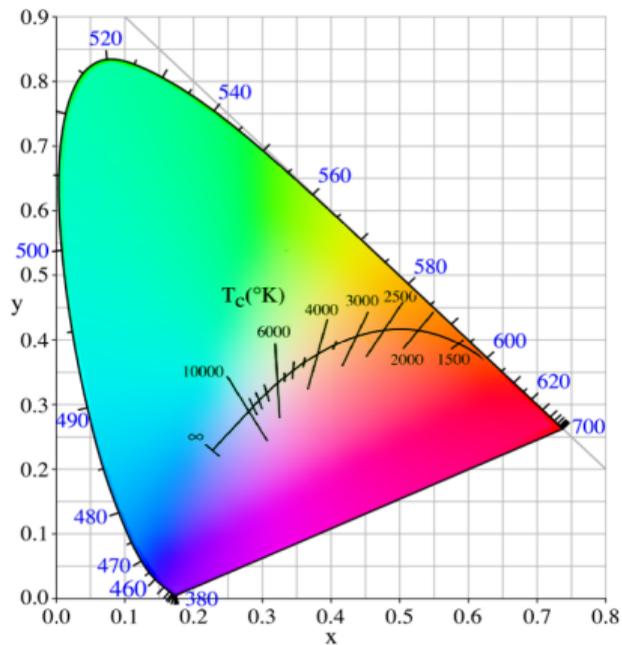
- ▶  $(x, y)$  ne dépend pas du coefficient de normalisation  $K$
- ▶ dans le plan d'iso-luminance les couleurs visibles sont à l'intérieur d'une région convexe limitée par la courbe des longueurs d'ondes pures
- ▶ frontière du diagramme :  $(x_\lambda, y_\lambda)$  + ligne des pourpres

○ Disposition des couleurs dans le diagramme



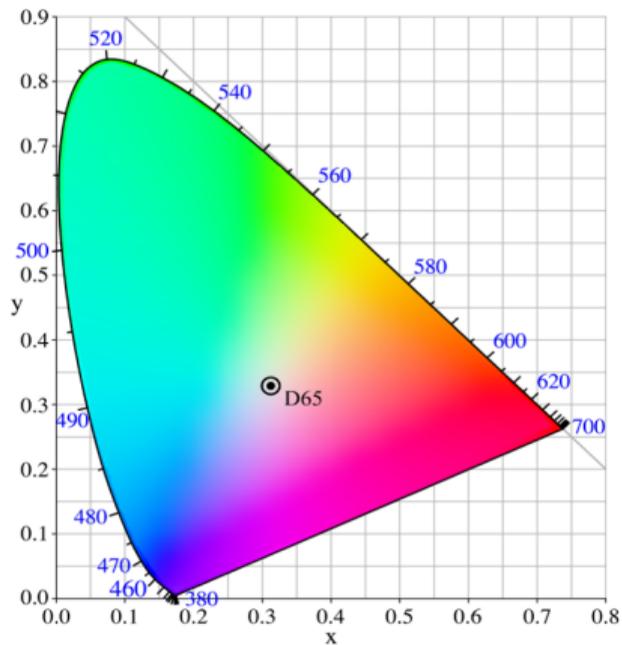
## ○ Localisation des grandeurs colorimétriques

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



## ○ Localisation des grandeurs colorimétriques

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

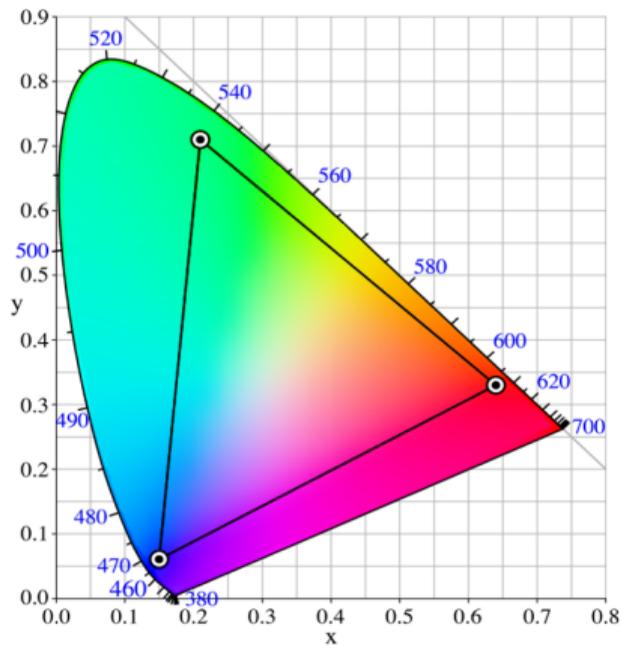


## o Gammes de couleurs

### ▶ gamme de couleurs (*color gamut*)

▶ ensemble des couleurs réalisables au moyen d'un système

▶ gamme d'un écran RGB : ensemble des points du triangle  $((x_r, y_r), (x_g, y_g), (x_b, y_b))$



# ★ Diagramme chromatique

La figure ci-contre représente un diagramme chromatique sur laquelle ont été placées les coordonnées chromatiques  $R$ ,  $G$  et  $B$  de trois couleurs de base d'un écran couleur  $E$ .



$R_2 \cup R_3$  : couleurs visibles  
 $R_3$  : couleurs correspondant à une seule DSE



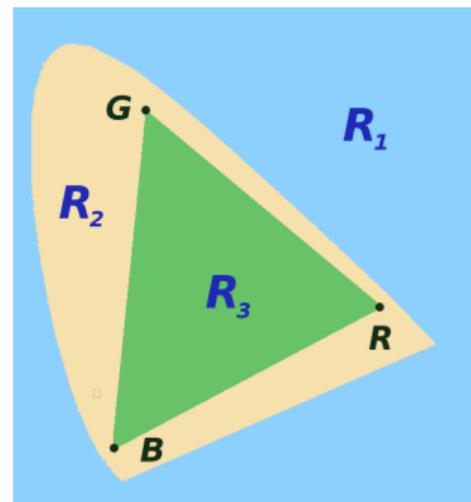
$R_2 \cup R_3$  : couleurs visibles  
 $R_3$  : couleurs reproductibles sur l'écran  $E$



$R_2 \cup R_3$  : couleurs théoriquement reproductibles (pour chaque couleur, on peut « théoriquement » construire au moins un écran capable de la reproduire)  
 $R_3$  : couleurs reproductibles sur l'écran  $E$

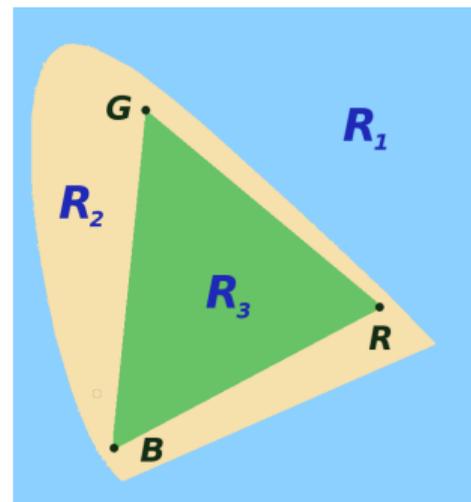


$R_1$  : couleurs visibles hors du système CIE-XYZ  
 $R_2 \cup R_3$  : couleurs visibles dans le système CIE-XYZ  
 $R_3$  : couleurs reproductibles sur l'écran  $E$



# ★ Diagramme chromatique

La figure ci-contre représente un diagramme chromatique sur laquelle ont été placées les coordonnées chromatiques  $R$ ,  $G$  et  $B$  de trois couleurs de base d'un écran couleur  $E$ .



---

**A**  $R_2 \cup R_3$  : couleurs visibles  
 $R_3$  : couleurs correspondant à une seule DSE

---

**B**  $R_2 \cup R_3$  : couleurs visibles  
 $R_3$  : couleurs reproductibles sur l'écran  $E$

---

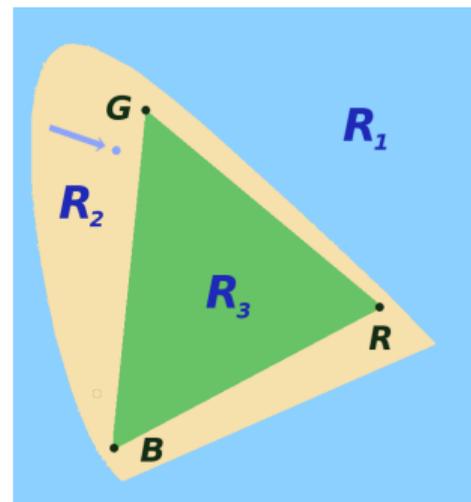
**C**  $R_2 \cup R_3$  : couleurs théoriquement reproductibles (pour chaque couleur, on peut « théoriquement » construire au moins un écran capable de la reproduire)  
 $R_3$  : couleurs reproductibles sur l'écran  $E$

---

**D**  $R_1$  : couleurs visibles hors du système CIE-XYZ  
 $R_2 \cup R_3$  : couleurs visibles dans le système CIE-XYZ  
 $R_3$  : couleurs reproductibles sur l'écran  $E$

# ★ Diagramme chromatique

La figure ci-contre représente un diagramme chromatique sur laquelle ont été placées les coordonnées chromatiques  $R$ ,  $G$  et  $B$  de trois couleurs de base d'un écran couleur  $E$ .



---

**A**  $R_2 \cup R_3$  : couleurs visibles  
 $R_3$  : couleurs correspondant à une seule DSE

---

**B**  $R_2 \cup R_3$  : couleurs visibles  
 $R_3$  : couleurs reproductibles sur l'écran  $E$

---

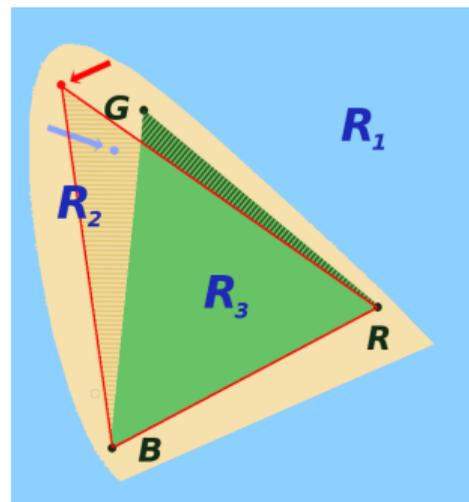
**C**  $R_2 \cup R_3$  : couleurs **théoriquement reproductibles** (pour chaque couleur, on peut « théoriquement » construire au moins un écran capable de la reproduire)  
 $R_3$  : couleurs reproductibles sur l'écran  $E$

---

**D**  $R_1$  : couleurs visibles hors du système CIE-XYZ  
 $R_2 \cup R_3$  : couleurs visibles dans le système CIE-XYZ  
 $R_3$  : couleurs reproductibles sur l'écran  $E$

## ★ Diagramme chromatique

La figure ci-contre représente un diagramme chromatique sur laquelle ont été placées les coordonnées chromatiques  $R$ ,  $G$  et  $B$  de trois couleurs de base d'un écran couleur  $E$ .



---

**A**  $R_2 \cup R_3$  : couleurs visibles  
 $R_3$  : couleurs correspondant à une seule DSE

---

**B**  $R_2 \cup R_3$  : couleurs visibles  
 $R_3$  : couleurs reproductibles sur l'écran  $E$

---

**C**  $R_2 \cup R_3$  : couleurs **théoriquement reproductibles** (pour chaque couleur, on peut « théoriquement » construire au moins un écran capable de la reproduire)  
 $R_3$  : couleurs reproductibles sur l'écran  $E$

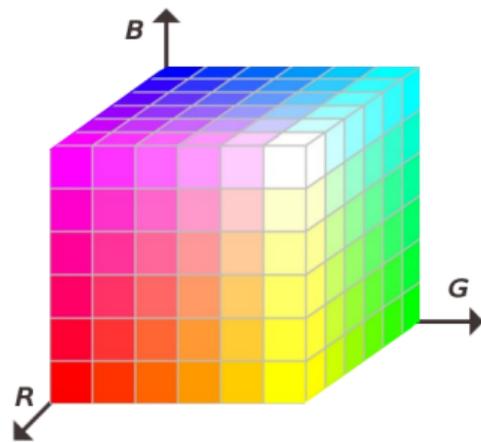
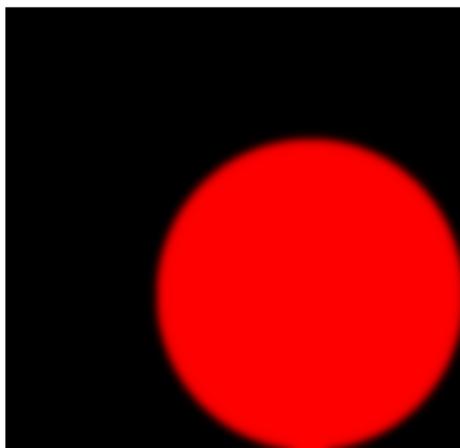
---

**D**  $R_1$  : couleurs visibles hors du système CIE-XYZ  
 $R_2 \cup R_3$  : couleurs visibles dans le système CIE-XYZ  
 $R_3$  : couleurs reproductibles sur l'écran  $E$

### 3. Systèmes orientés matériel

#### 3.1. Modèle RGB : synthèse additive (écran, vidéoprojecteur, etc.)

- ▶ superposition de trois lumières monochromatiques choisies relativement au SVH

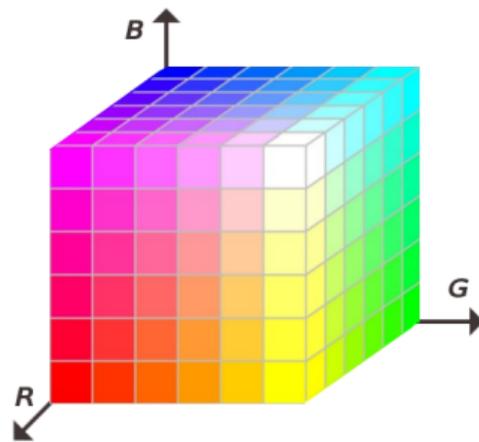
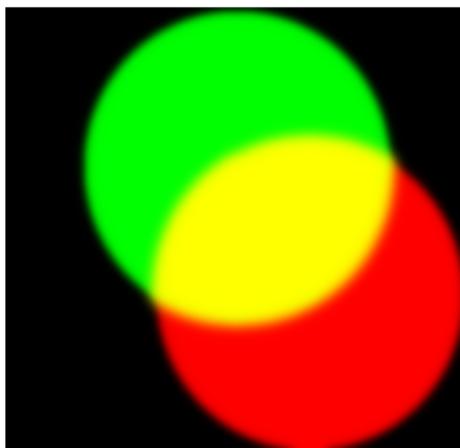


- ▶ organisation des couleurs : cube correspondant aux axes R, G et B
  - + permet l'expression des couleurs relativement aux dispositifs matériels
  - peu intuitif, dépendant du matériel

### 3. Systèmes orientés matériel

#### 3.1. Modèle RGB : synthèse additive (écran, vidéoprojecteur, etc.)

- ▶ superposition de trois lumières monochromatiques choisies relativement au SVH

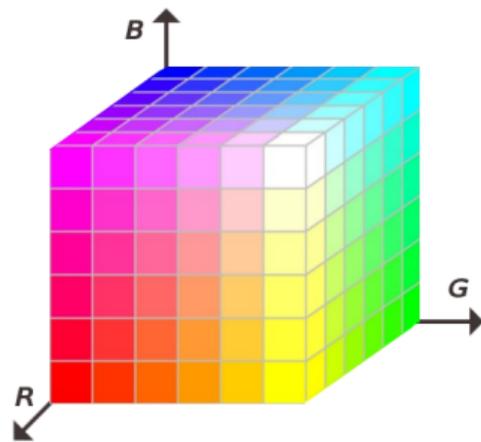
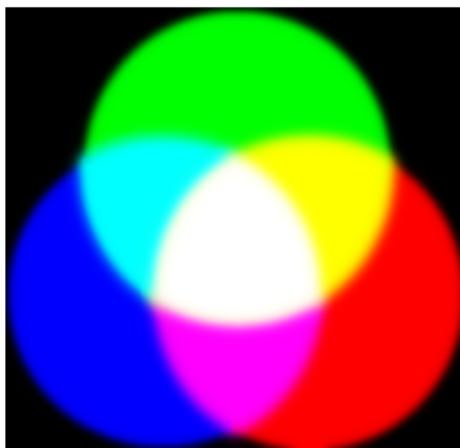


- ▶ organisation des couleurs : cube correspondant aux axes R, G et B
  - + permet l'expression des couleurs relativement aux dispositifs matériels
  - peu intuitif, dépendant du matériel

### 3. Systèmes orientés matériel

#### 3.1. Modèle RGB : synthèse additive (écran, vidéoprojecteur, etc.)

- ▶ superposition de trois lumières monochromatiques choisies relativement au SVH

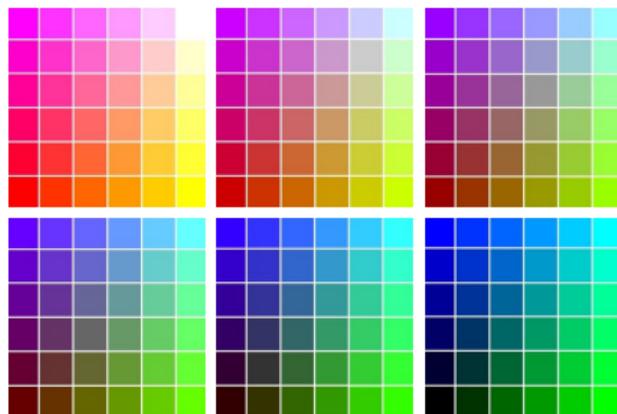
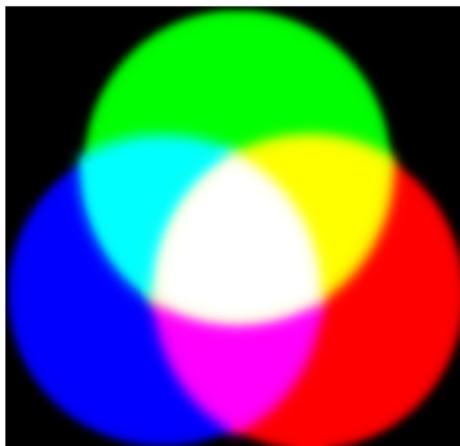


- ▶ organisation des couleurs : cube correspondant aux axes R, G et B
  - + permet l'expression les couleurs relativement aux dispositifs matériels
  - peu intuitif, dépendant du matériel

### 3. Systèmes orientés matériel

#### 3.1. Modèle RGB : synthèse additive (écran, vidéoprojecteur, etc.)

- ▶ 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

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

- ▶ matrice de passage *RGB*  $\mapsto$  *XYZ*

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_R & X_G & X_B \\ Y_R & Y_G & Y_B \\ Z_R & Z_G & Z_B \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix}$$

- ▶ 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*

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

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

- ▶ matrice de passage *RGB*  $\mapsto$  *XYZ*

$$\begin{pmatrix} X_R \\ Y_R \\ Z_R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_R & X_G & X_B \\ Y_R & Y_G & Y_B \\ Z_R & Z_G & Z_B \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

- ▶ 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*

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

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

- ▶ matrice de passage *RGB*  $\mapsto$  *XYZ*

$$\begin{pmatrix} X_R \\ Y_R \\ Z_R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_R & X_G & X_B \\ Y_R & Y_G & Y_B \\ Z_R & Z_G & Z_B \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

- ▶ 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*

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

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

- ▶ matrice de passage *RGB*  $\mapsto$  *XYZ*

$$\begin{pmatrix} X_R \\ Y_R \\ Z_R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_R & X_G & X_B \\ Y_R & Y_G & Y_B \\ Z_R & Z_G & Z_B \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

- ▶ 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*

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

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

- ▶ matrice de passage *RGB*  $\mapsto$  *XYZ*

$$\begin{pmatrix} X_R \\ Y_R \\ Z_R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_R & X_G & X_B \\ Y_R & Y_G & Y_B \\ Z_R & Z_G & Z_B \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

- ▶ 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. Modèle CMY : synthèse soustractive (impression, peinture, etc.)

### ○ Principe du **mélange de pigments**

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

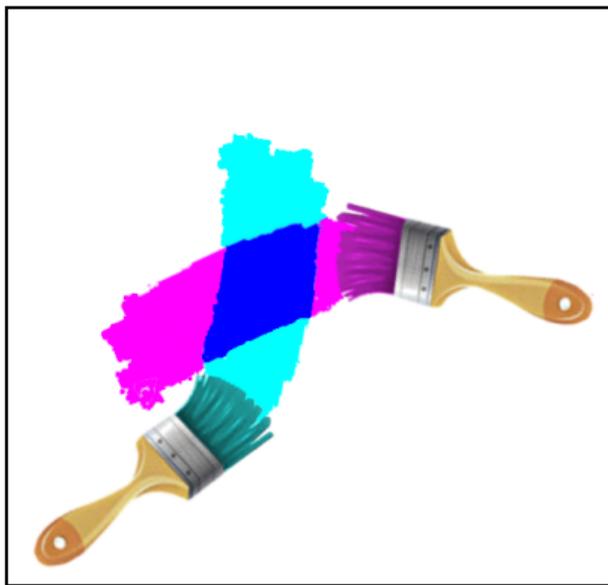


$$\left\{ \begin{array}{l} C = 1 - R \\ M = 1 - G \\ Y = 1 - B \end{array} \right.$$

## 3.2. Modèle CMY : synthèse soustractive (impression, peinture, etc.)

### ○ Principe du mélange de pigments

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

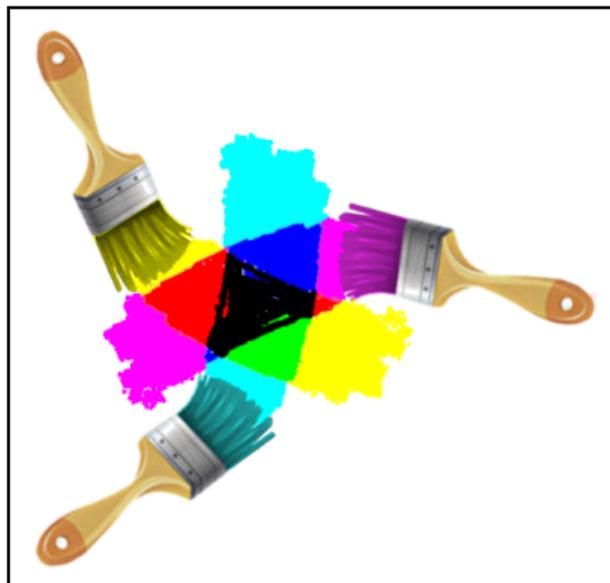


$$\left\{ \begin{array}{l} C = 1 - R \\ M = 1 - G \\ Y = 1 - B \end{array} \right.$$

## 3.2. Modèle CMY : synthèse soustractive (impression, peinture, etc.)

### ○ Principe du mélange de pigments

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



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



C



M



Y



C



M



Y



$$1 - C = R$$



$$1 - M = G$$

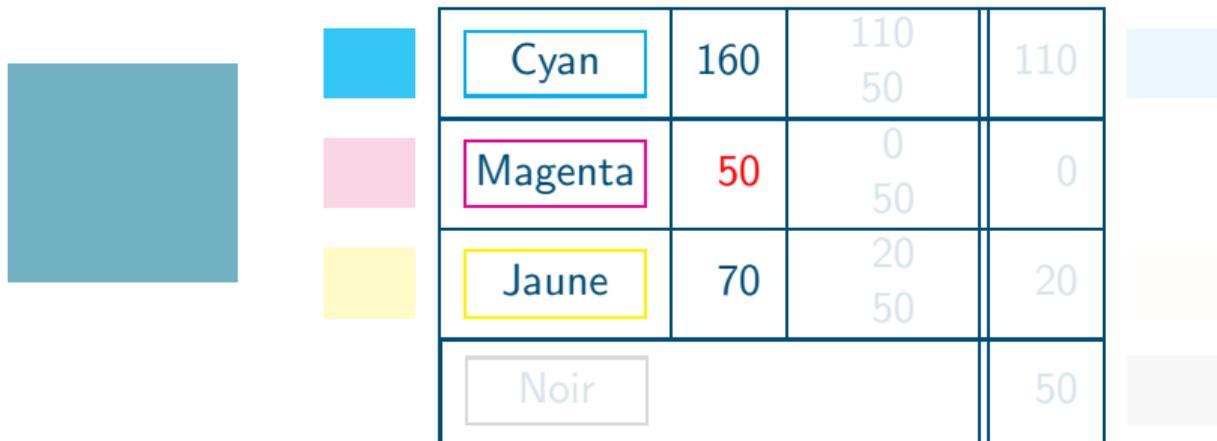


$$1 - Y = B$$

○ **Quadrichromie : optimisation du rendu des neutres par impression**

- ▶ difficile d'obtenir des gris neutres et des noirs par superposition d'encre  $C$ ,  $M$  et  $Y$
- ▶ ajout d'une **composante noire** (notée  $K$ ) aux composante  $C$ ,  $M$  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

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

○ **Quadrichromie : optimisation du rendu des neutres par impression**

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

exemple :

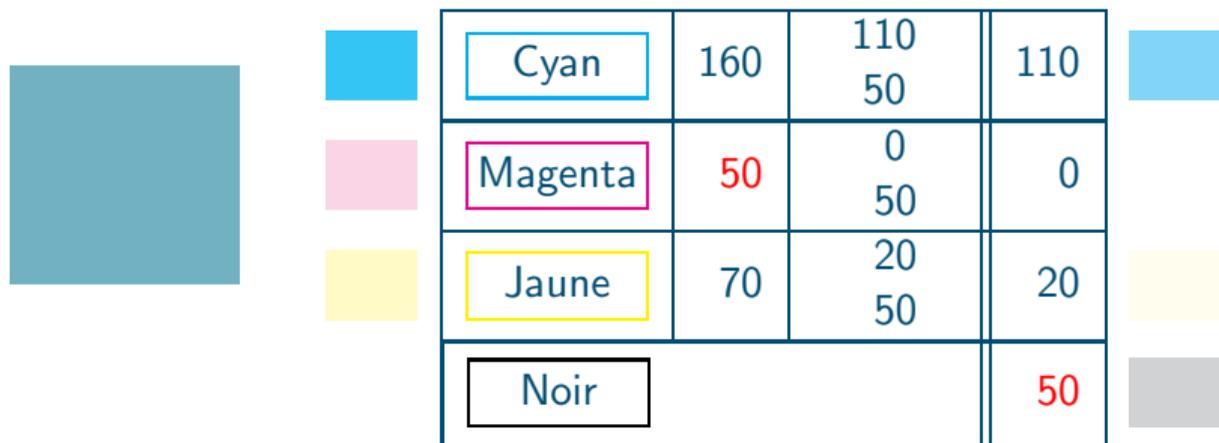
Cyan	160	110 50	110
Magenta	50	0 50	0
Jaune	70	20 50	20
Noir			50

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

○ **Quadrichromie : optimisation du rendu des neutres par impression**

- ▶ difficile d'obtenir des gris neutres et des noirs par superposition d'encre  $C$ ,  $M$  et  $Y$
- ▶ ajout d'une **composante noire** (notée  $K$ ) aux composante  $C$ ,  $M$  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

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



C



M



Y



$$K = \min(C, M, Y)$$



C



M



Y



$$K = \min(C, M, Y)$$



$$C' = C - K$$



$$M' = M - K$$



$$Y' = Y - K$$



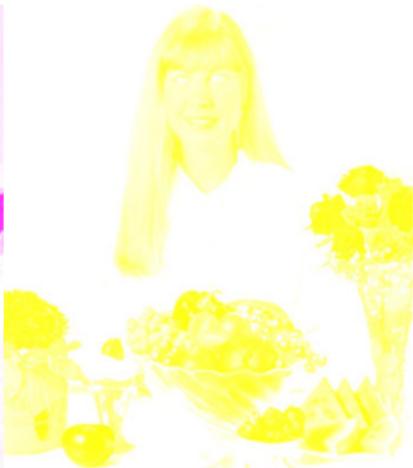
$C'M'Y'$



$C' = C - K$



$M' = M - K$



$Y' = Y - K$



*C'M'Y'*



*K*



*C'M'Y'K*

**A**

J'obtiens du jaune en combinant du rouge et du vert

**B**

J'obtiens du vert en combinant du jaune et du bleu

**C**

Dans les deux affirmations précédentes, le verbe « combiner » possède des significations différentes

**A**

J'obtiens du jaune en combinant du rouge et du vert

**B**

J'obtiens du vert en combinant du jaune et du bleu

**C**

Dans les deux affirmations précédentes, le verbe « combiner » possède des significations différentes

**A**

J'obtiens du jaune en combinant du rouge et du vert

**B**

J'obtiens du vert en combinant du jaune et du bleu

**C**

Dans les deux affirmations précédentes, le verbe « combiner » possède des significations différentes

**A**

J'obtiens du jaune en combinant du rouge et du vert

**B**

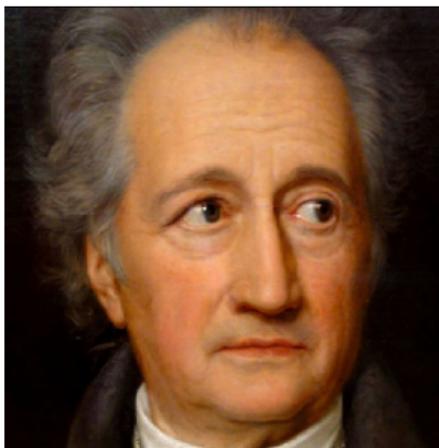
J'obtiens du vert en combinant du jaune et du bleu

**C**

Dans les deux affirmations précédentes, le verbe « combiner » possède des significations différentes

### 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

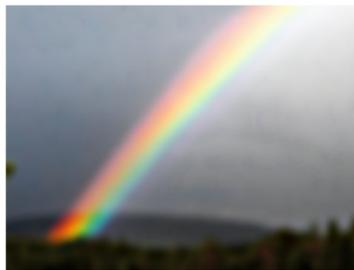
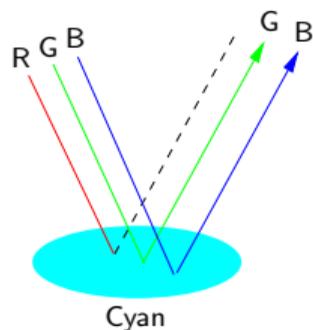
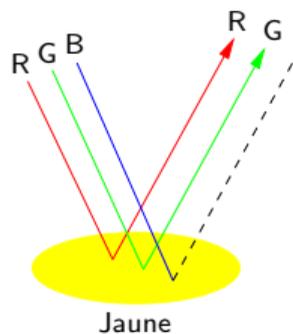


Newton

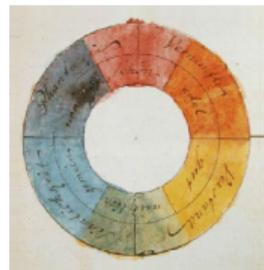
Newton : la lumière blanche est la **superposition de lumières** colorées monochromatiques

Goethe : la couleur est un **obscurcissement de la lumière**

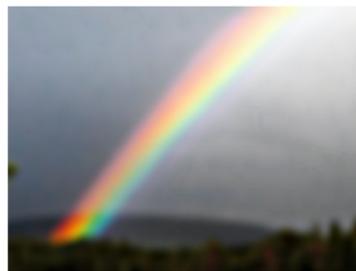
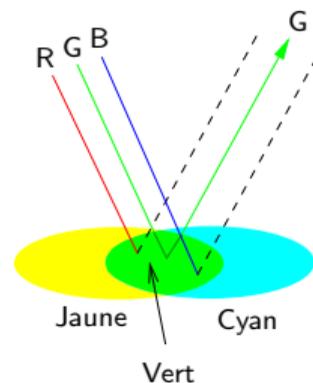
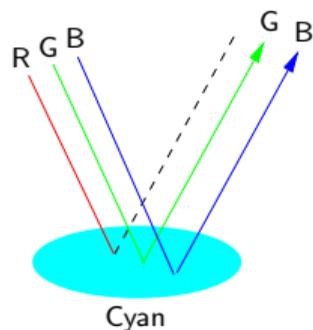
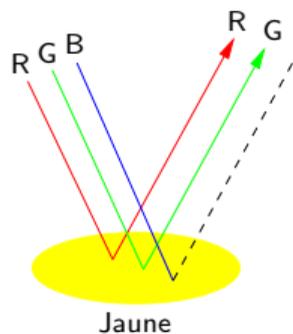
Qui a raison ? Les deux...



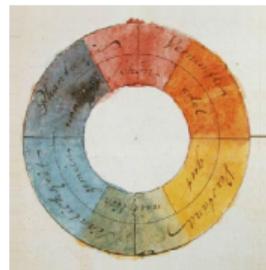
La théorie de Newton initie la recherche sur la physique des couleurs et celle de Goethe sur la perception des couleurs.



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

### 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 ( $c_\alpha = (1 - \alpha)c_1 + \alpha c_2$ )



$RGB$

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

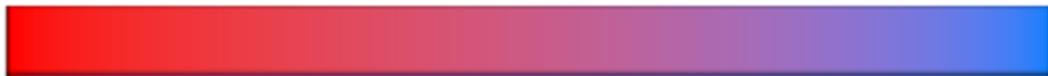
### 3.4. Systèmes uniformes

- 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 ( $c_\alpha = (1 - \alpha)c_1 + \alpha c_2$ )

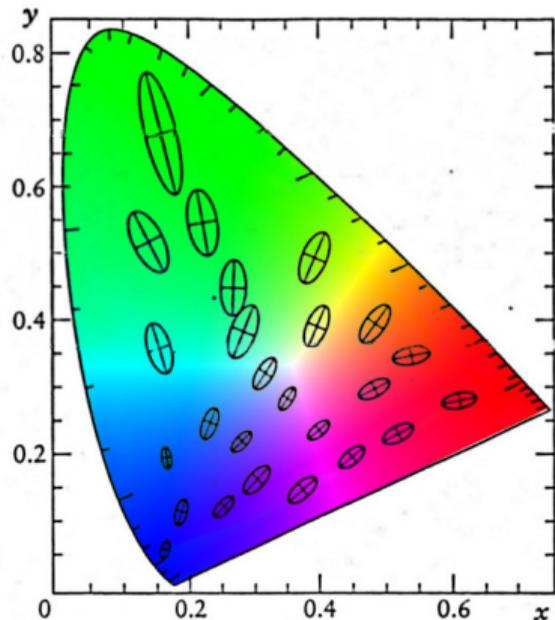


*Uniforme*

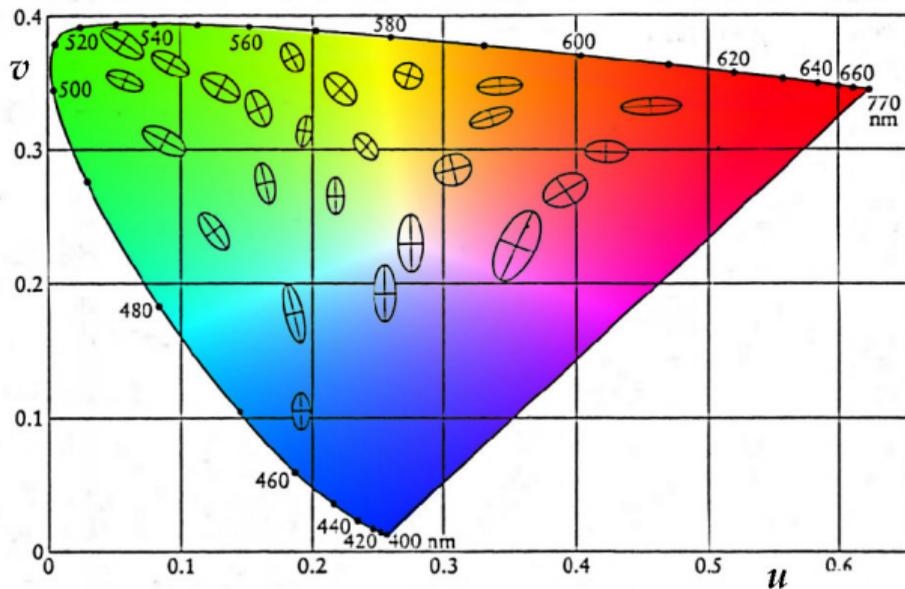
- ▶ espace uniforme : espace dans lequel la distance euclidienne est proche de la distance psychovisuelle

○ **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

o **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

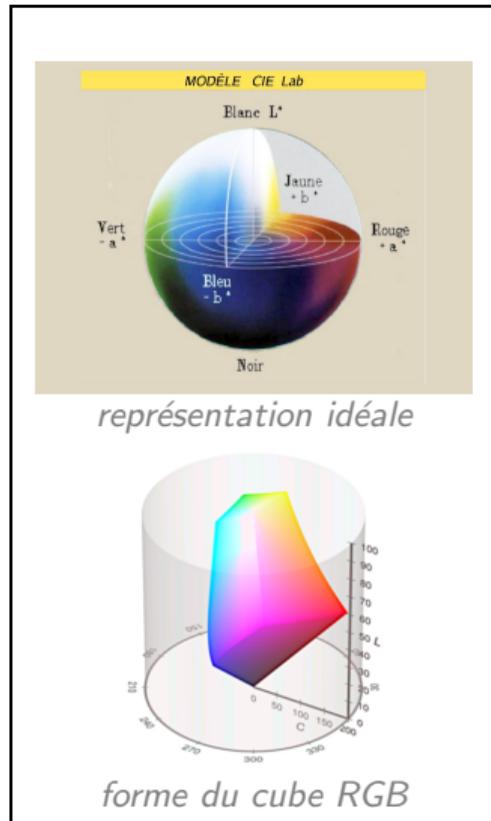
▶ luminosité  $L$  : axe vertical des neutres ( $\sim Y^{\frac{1}{3}}$ )

▶ plan chromatique

▶ axe  $a$  : vert/rouge

▶ axe  $b$  : bleu/jaune

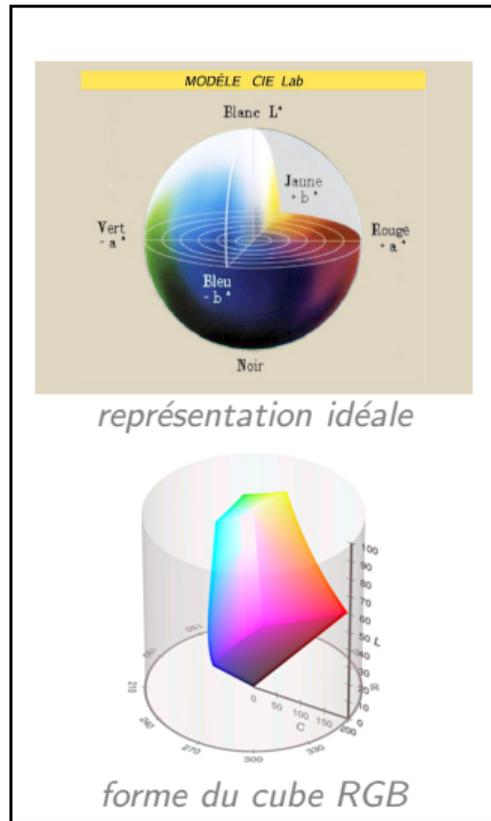
▶ voir annexe B



Représentations de l'espace CIE Lab

## o 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



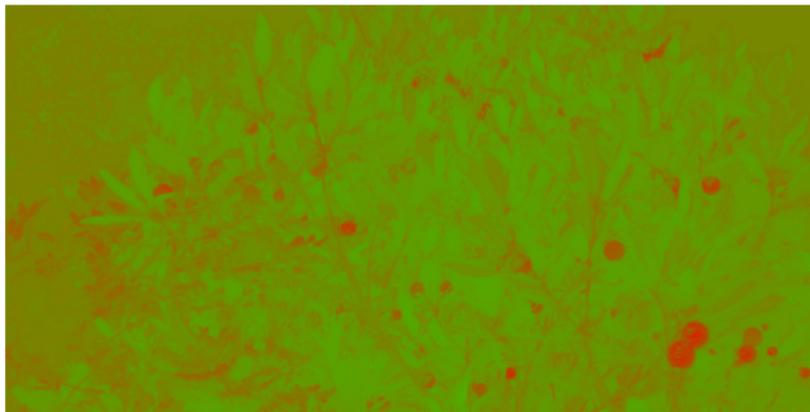
Représentations de l'espace CIE Lab



image RGB



canal L



canal a



canal b



image RGB



canaux a et b



canaux L et a



canaux L et b

## ★ Espaces uniformes et distance psychovisuelle



Les deux dégradés ont été construit par interpolation linéaire entre les mêmes couleurs extrêmes, l'un dans l'espace RGB et l'autre dans l'espace CIE-Lab. Quel est cet espace pour chacun des deux dégradés ?

	1	2
A	RGB	CIE-Lab
B	CIE-Lab	RGB

## ★ Espaces uniformes et distance psychovisuelle



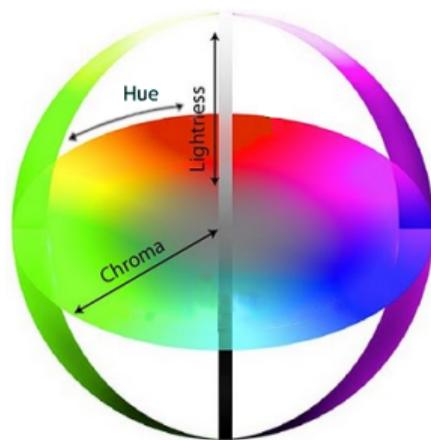
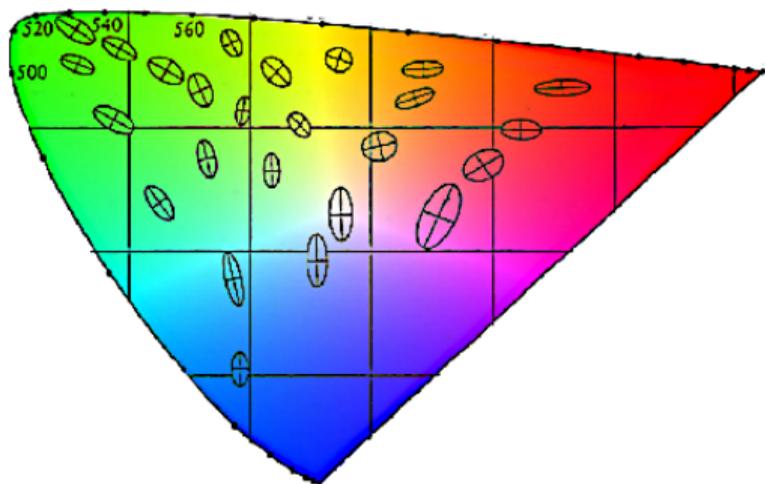
Les deux dégradés ont été construit par interpolation linéaire entre les mêmes couleurs extrêmes, l'un dans l'espace RGB et l'autre dans l'espace CIE-Lab. Quel est cet espace pour chacun des deux dégradés ?

	1	2
A	RGB	CIE-Lab
B	CIE-Lab	RGB

## 4. Systèmes perceptuels

### 4.1. Système perceptuel colorimétrique : CIE-Lch ou LCHab

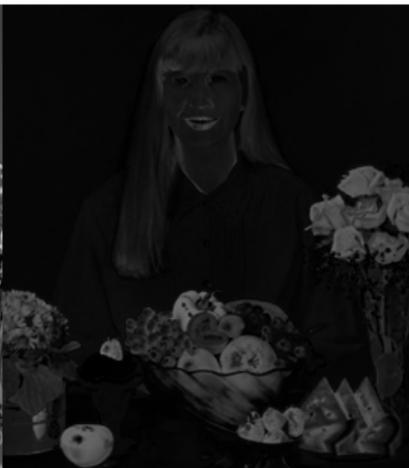
- ▶ définition {teinte, saturation (chroma), clarté} à partir de l'espace *Lab* (2003)
- ▶ clarté : luminosité *L*
- ▶ définition de la chrominance dans le plan *a, b*



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



L



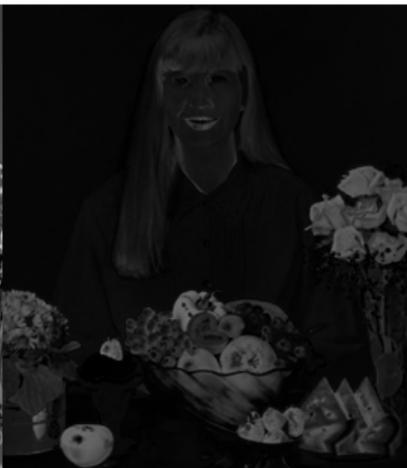
C



H



*L*

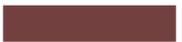


*C*

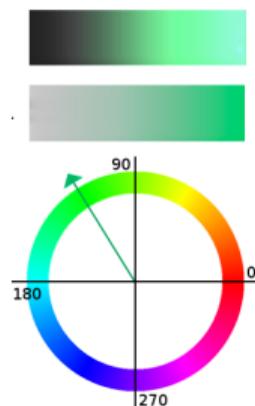


*H*

# ★ Coordonnées d'une couleur dans le système CIELch

Lilas	
Brun	
Rose	
Ocre	

	L	C	H
1	32.8	25.8	24.9°
2	62.3	40.1	323.8°
3	59.0	74.2	75.6°
4	83.4	24.1	22.0°



Quelle est la bonne correspondance entre couleurs et coordonnées Lch ?

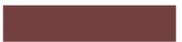
**A**  $\left\{ \begin{array}{l} L \leftrightarrow 2 \\ B \leftrightarrow 3 \\ R \leftrightarrow 4 \\ O \leftrightarrow 1 \end{array} \right.$

**B**  $\left\{ \begin{array}{l} L \leftrightarrow 2 \\ B \leftrightarrow 4 \\ R \leftrightarrow 1 \\ O \leftrightarrow 3 \end{array} \right.$

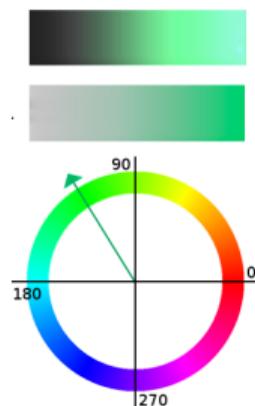
**C**  $\left\{ \begin{array}{l} L \leftrightarrow 1 \\ B \leftrightarrow 4 \\ R \leftrightarrow 3 \\ O \leftrightarrow 2 \end{array} \right.$

**D**  $\left\{ \begin{array}{l} L \leftrightarrow 2 \\ B \leftrightarrow 1 \\ R \leftrightarrow 4 \\ O \leftrightarrow 3 \end{array} \right.$

# ★ Coordonnées d'une couleur dans le système CIELch

Lilas	
Brun	
Rose	
Ocre	

	L	C	H
1	32.8	25.8	24.9°
2	62.3	40.1	323.8°
3	59.0	74.2	75.6°
4	83.4	24.1	22.0°



Quelle est la bonne correspondance entre couleurs et coordonnées Lch ?

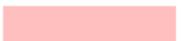
$$\mathbf{A} \begin{cases} L \leftrightarrow 2 \\ B \leftrightarrow 3 \\ R \leftrightarrow 4 \\ O \leftrightarrow 1 \end{cases}$$

$$\mathbf{B} \begin{cases} L \leftrightarrow 2 \\ B \leftrightarrow 4 \\ R \leftrightarrow 1 \\ O \leftrightarrow 3 \end{cases}$$

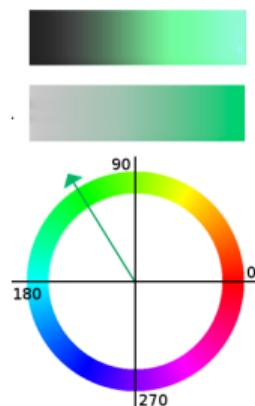
$$\mathbf{C} \begin{cases} L \leftrightarrow 1 \\ B \leftrightarrow 4 \\ R \leftrightarrow 3 \\ O \leftrightarrow 2 \end{cases}$$

$$\mathbf{D} \begin{cases} L \leftrightarrow 2 \\ B \leftrightarrow 1 \\ R \leftrightarrow 4 \\ O \leftrightarrow 3 \end{cases}$$

# ★ Coordonnées d'une couleur dans le système CIELch

Lilas	
Brun	
Rose	
Ocre	

	L	C	H
2	62.3	40.1	323.8°
1	32.8	25.8	24.9°
4	83.4	24.1	22.0°
3	59.0	74.2	75.6°



Quelle est la bonne correspondance entre couleurs et coordonnées Lch ?

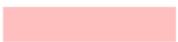
$$\mathbf{A} \begin{cases} L \leftrightarrow 2 \\ B \leftrightarrow 3 \\ R \leftrightarrow 4 \\ O \leftrightarrow 1 \end{cases}$$

$$\mathbf{B} \begin{cases} L \leftrightarrow 2 \\ B \leftrightarrow 4 \\ R \leftrightarrow 1 \\ O \leftrightarrow 3 \end{cases}$$

$$\mathbf{C} \begin{cases} L \leftrightarrow 1 \\ B \leftrightarrow 4 \\ R \leftrightarrow 3 \\ O \leftrightarrow 2 \end{cases}$$

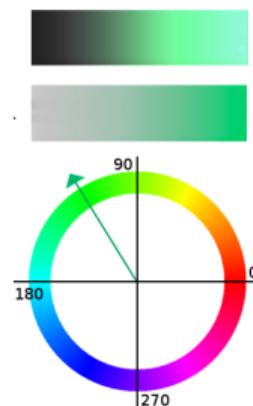
$$\mathbf{D} \begin{cases} L \leftrightarrow 2 \\ B \leftrightarrow 1 \\ R \leftrightarrow 4 \\ O \leftrightarrow 3 \end{cases}$$

# ★ Coordonnées d'une couleur dans le système CIELch

Lilas	
Brun	
Rose	
Ocre	

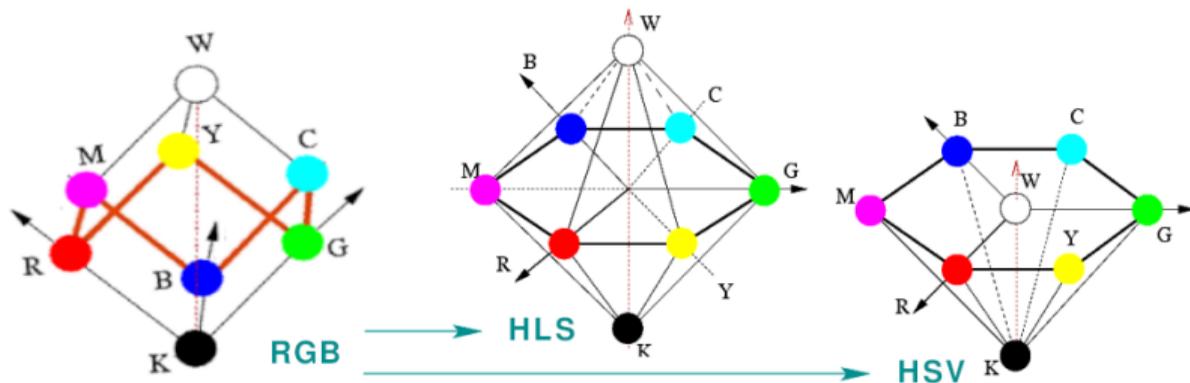
	L	C	H
2	62.3	40.1	323.8°
1	32.8	25.8	24.9°
4	83.4	24.1	22.0°
3	59.0	74.2	75.6°

	rouge	vert	bleu
4	0.75	0.50	0.75
1	0.5	0.25	0.25
3	1.0	0.75	0.75
2	0.75	0.50	0.0



## 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*

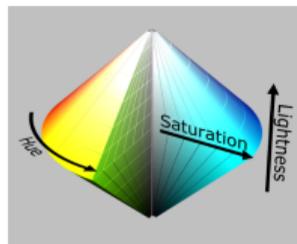


- ▶ composante clarté

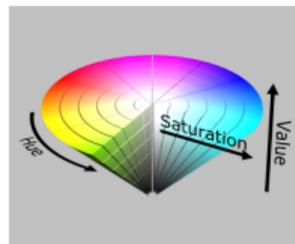
- ▶ luminosité  $L = \frac{\max(R,G,B) + \min(R,G,B)}{2}$
- ▶ valeur  $V = \max(R, G, B)$

- ▶ 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*

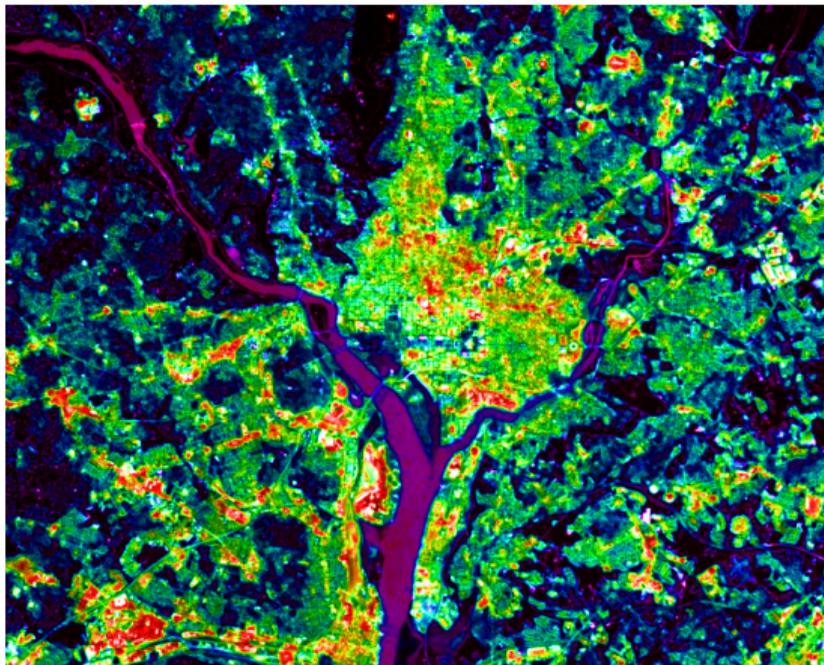


*S(HLS)*



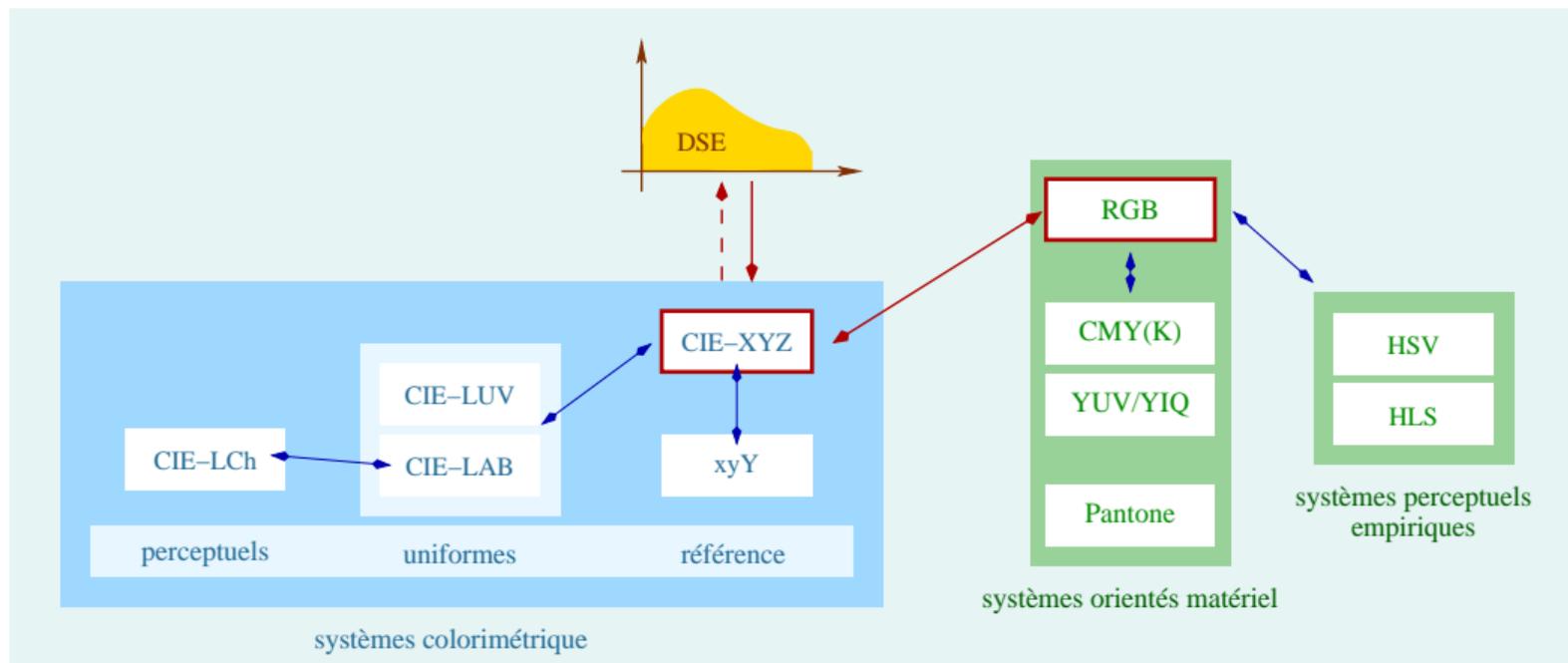
*L*

- ▶ 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

## o 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  $\rightarrow$  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  $\rightarrow$  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)

## o 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  $\rightarrow$  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  $\rightarrow$  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)

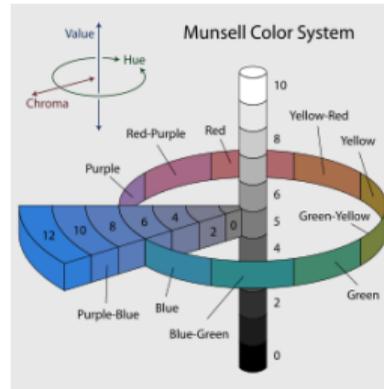
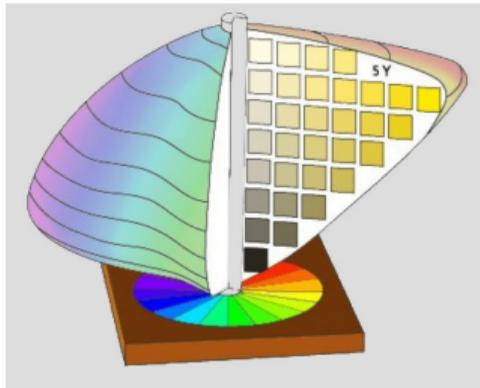
○ **Modèle d'imprimerie : système Pantone**

- ▶ 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** →  $a^* b^*$ .

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

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

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

○  $a^* b^*$  → **XYZ**.

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

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

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

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

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

○ Transformations XYZ — Luv

○ XYZ  $\rightarrow u^* v^*$ .

$$d = X + 15Y + 3Z$$

$$u' = \frac{4X}{d}$$

$$v' = \frac{9Y}{d}$$

$$d_N = X_N + 15Y_N + 3Z_N$$

$$u'_N = \frac{4X_N}{d_N}$$

$$v'_N = \frac{9Y_N}{d_N}$$

$$u^* = 13L^*(u' - u'_N)$$

$$v^* = 13L^*(v' - v'_N)$$

○  $u^* v^* \rightarrow$  XYZ.

$$d_N = X_N + 15Y_N + 3Z_N$$

$$u'_N = \frac{4X_N}{d_N}$$

$$v'_N = \frac{9Y_N}{d_N}$$

$$u' = u'_N + \frac{u^*}{13L^*}$$

$$v' = v'_N + \frac{v^*}{13L^*}$$

$$X = \frac{9u'}{4v'} Y$$

$$Z = \begin{cases} \frac{1}{3} \left( \frac{4X}{u'} - X - 15Y \right) \\ -\frac{X}{3} - 5Y + \frac{3Y}{v'} \end{cases}$$

## ○ 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 =  $\frac{\Delta}{V}$ 
    si (R == V)
        H =  $\frac{G - B}{\Delta}$ 
    sinon si (G == V)
        h = 2 +  $\frac{(B - R)}{\Delta}$ 
    sinon
        h = 4 +  $\frac{(R - G)}{\Delta}$ 
    H = 60 * H
    if (H < 0)
        H = H + 360
}
```

► RGB/HLS

$$M = \max(R, G, B)$$

$$m = \min(R, G, B)$$

$$\Delta = M - m$$

$$L = \frac{M + m}{2}$$

si  $(M - m < \epsilon)$

$S = 0, H = \text{indéfini}$

sinon

{

$$S = (L \leq \frac{1}{2}) ? \frac{\Delta}{M + m} : \frac{\Delta}{2 - M - m}$$

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 ( $[0..360] \times [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1] \times [0, 1] \times [0, 1]$ )

$$H = \frac{H}{60}$$

$$i = \lfloor H \rfloor$$

$$f = H - i$$

$$m = V(1 - S)$$

$$n = V(1 - S \times f)$$

$$p = V(1 - (S(1 - f)))$$

$$(R, G, B) =$$

$$\text{si } (i == 0) \text{ alors } (V, p, m)$$

$$\text{si } (i == 1) \text{ alors } (n, V, m)$$

$$\text{si } (i == 2) \text{ alors } (m, V, p)$$

$$\text{si } (i == 3) \text{ alors } (m, n, V)$$

$$\text{si } (i == 4) \text{ alors } (p, n, V)$$

$$\text{si } (i == 5) \text{ alors } (V, m, n)$$

► 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 ≤ 1/2)
    V = L(1 + S)
  sinon
    V = L + (1 - L)S

  H = H/60
  i = [H]
  m = 2*1 - V;
  t = (H - i)(V - m)
  n = V - t
  p = m + t

  comme HSV → RGB
}
```

# ANNEXE C

## Color naming system

- **Système 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*

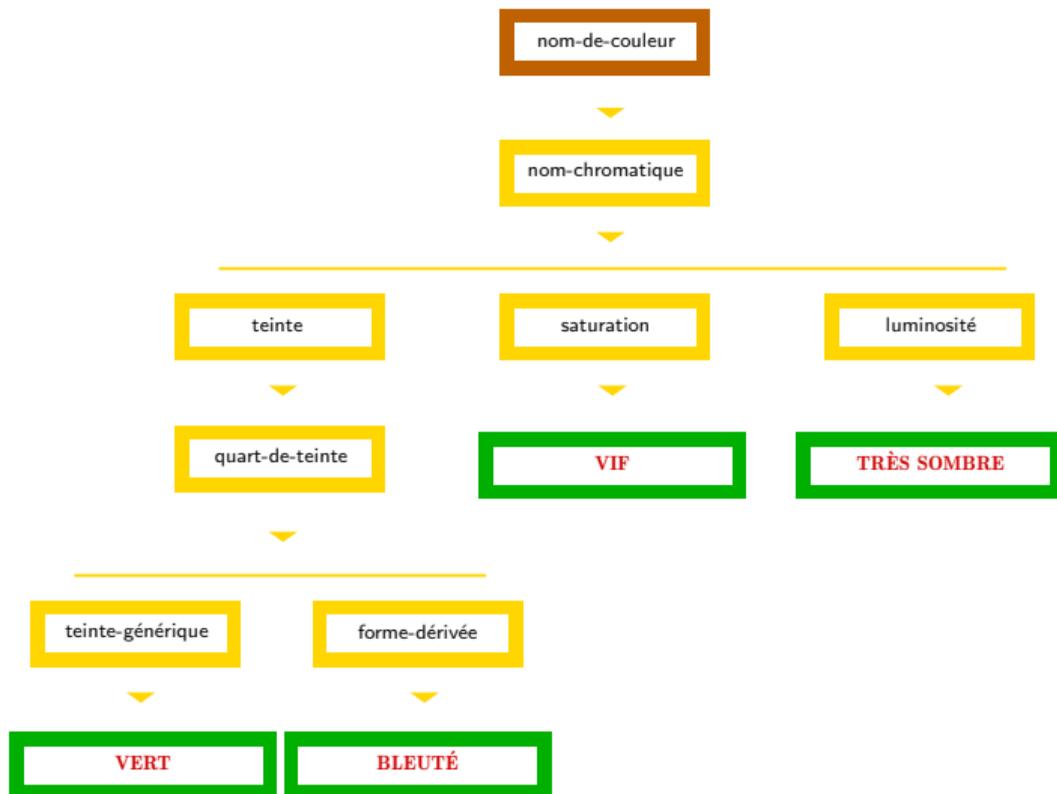
*quart-de-teinte* ::= *teinte-générique forme-dérivée*

*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



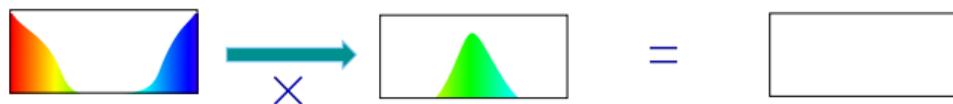
▶ utilisation des DSE des couleurs de base du moniteur

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

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

○ Comment construire une DSE à partir d'une couleur ?

▶ motivation



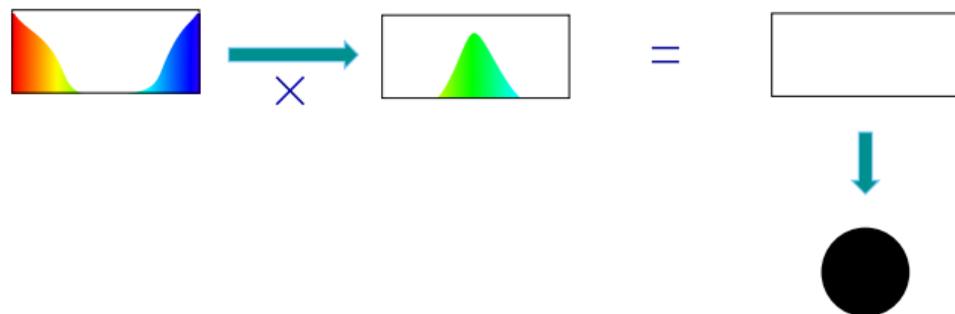
▶ utilisation des DSE des couleurs de base du moniteur

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

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

○ Comment construire une DSE à partir d'une couleur ?

▶ motivation



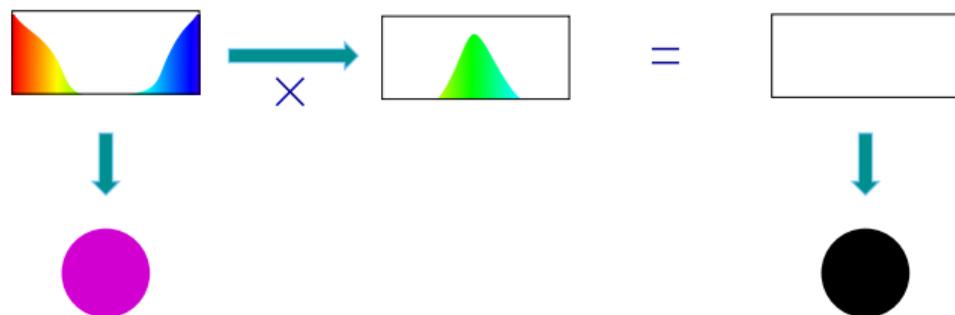
▶ utilisation des DSE des couleurs de base du moniteur

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

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

○ Comment construire une DSE à partir d'une couleur ?

▶ motivation



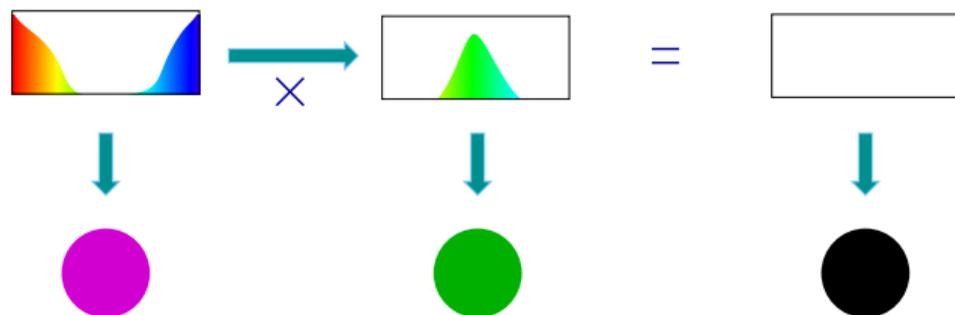
▶ utilisation des DSE des couleurs de base du moniteur

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

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

○ Comment construire une DSE à partir d'une couleur ?

▶ motivation



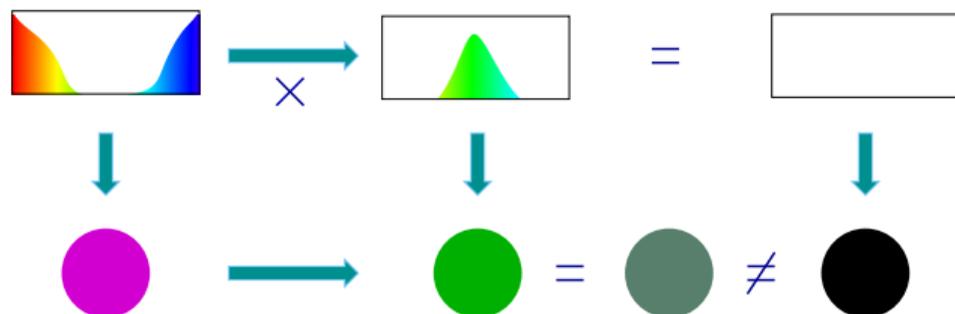
▶ utilisation des DSE des couleurs de base du moniteur

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

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

o Comment construire une DSE à partir d'une couleur ?

▶ motivation



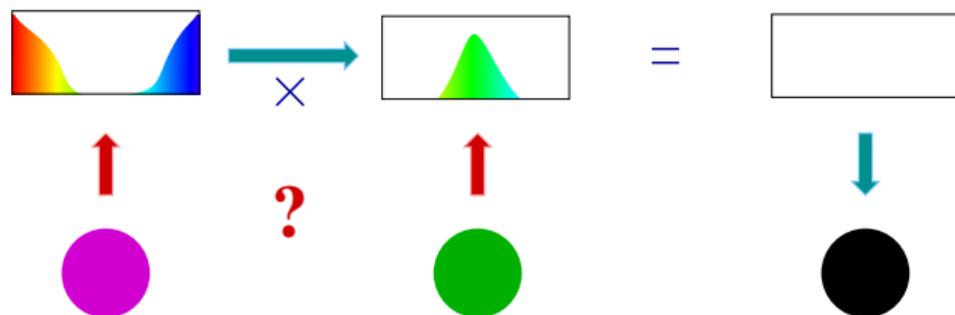
▶ utilisation des DSE des couleurs de base du moniteur

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

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

○ Comment construire une DSE à partir d'une couleur ?

▶ motivation



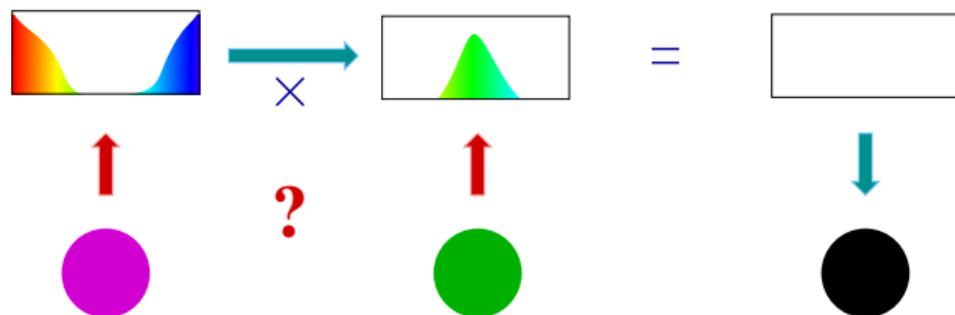
▶ utilisation des DSE des couleurs de base du moniteur

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

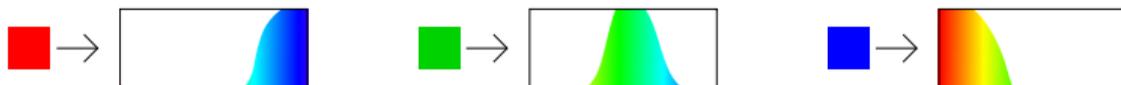
$$\mathcal{C}(E(\lambda)) = (X, Y, Z) \quad (1)$$

○ Comment construire une DSE à partir d'une couleur ?

▶ motivation



▶ utilisation des DSE des couleurs de base du moniteur

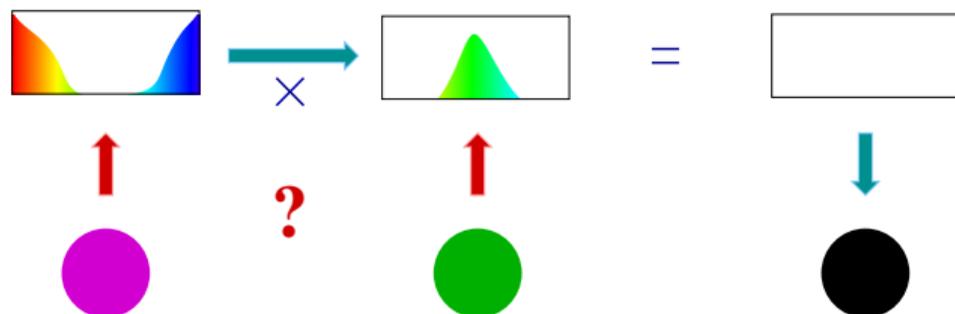


▶ inférence de DSE : étant donnée une couleur  $(X, Y, Z)$ , trouver une DSE  $E(\lambda)$  telle que :

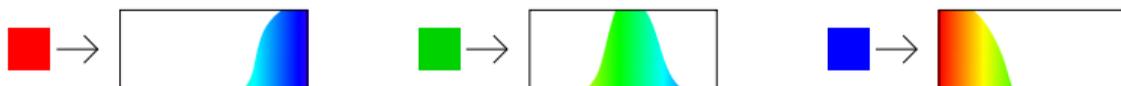
$$C(E(\lambda)) = (X, Y, Z) \quad (1)$$

○ 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 :

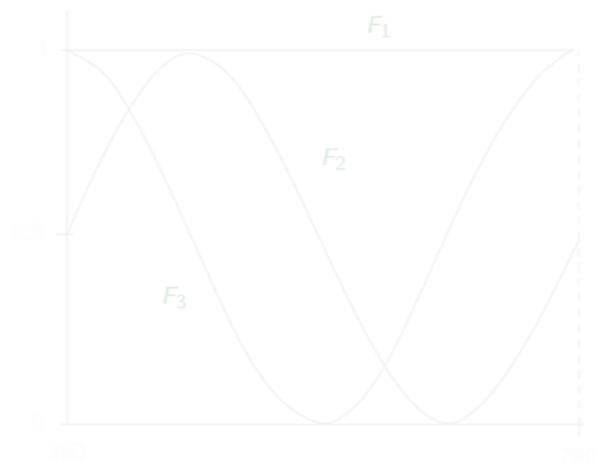
$$C(E(\lambda)) = (X, Y, Z) \quad (1)$$

► 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  $F_3$  :



$$F_1(\lambda) = 1.0$$

$$F_2(\lambda) = \frac{1}{2} \left( 1 + \sin 2\pi \frac{\lambda - 380}{400} \right)$$

$$F_3(\lambda) = \frac{1}{2} \left( 1 + \cos 2\pi \frac{\lambda - 380}{400} \right)$$

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

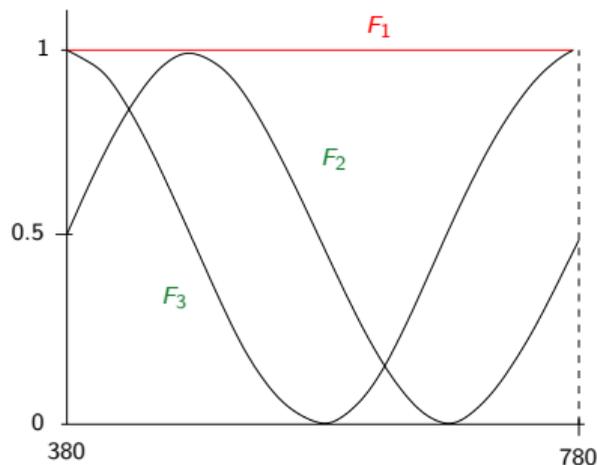
$$\mathcal{C}(E(\lambda)) = \mathcal{C}(\alpha_1 F_1(\lambda) + \alpha_2 F_2(\lambda) + \alpha_3 F_3(\lambda)) = (X, Y, Z) \quad (2)$$

► 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  $F_3$  :



$$F_1(\lambda) = 1.0$$

$$F_2(\lambda) = \frac{1}{2} \left( 1 + \sin 2\pi \frac{\lambda - 380}{400} \right)$$

$$F_3(\lambda) = \frac{1}{2} \left( 1 + \cos 2\pi \frac{\lambda - 380}{400} \right)$$

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

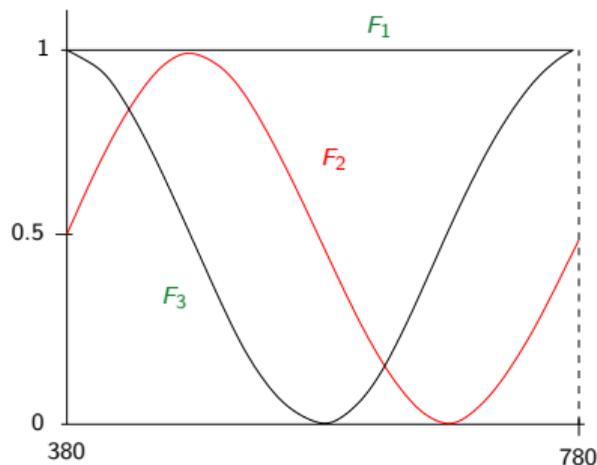
$$\mathcal{C}(E(\lambda)) = \mathcal{C}(\alpha_1 F_1(\lambda) + \alpha_2 F_2(\lambda) + \alpha_3 F_3(\lambda)) = (X, Y, Z) \quad (2)$$

► 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  $F_3$  :



$$F_1(\lambda) = 1.0$$

$$F_2(\lambda) = \frac{1}{2} \left( 1 + \sin 2\pi \frac{\lambda - 380}{400} \right)$$

$$F_3(\lambda) = \frac{1}{2} \left( 1 + \cos 2\pi \frac{\lambda - 380}{400} \right)$$

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

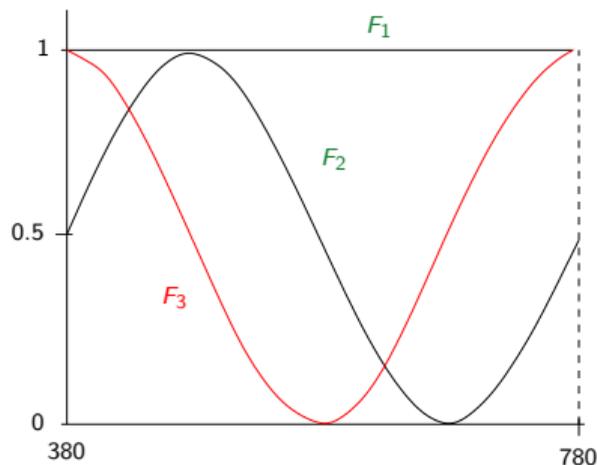
$$\mathcal{C}(E(\lambda)) = \mathcal{C}(\alpha_1 F_1(\lambda) + \alpha_2 F_2(\lambda) + \alpha_3 F_3(\lambda)) = (X, Y, Z) \quad (2)$$

► 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  $F_3$  :



$$F_1(\lambda) = 1.0$$

$$F_2(\lambda) = \frac{1}{2} \left( 1 + \sin 2\pi \frac{\lambda - 380}{400} \right)$$

$$F_3(\lambda) = \frac{1}{2} \left( 1 + \cos 2\pi \frac{\lambda - 380}{400} \right)$$

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

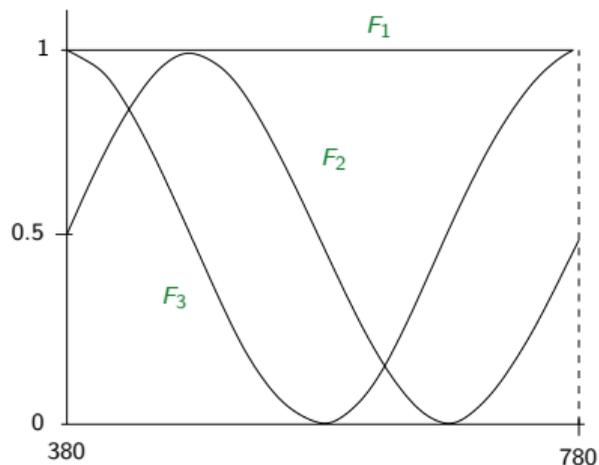
$$\mathcal{C}(E(\lambda)) = \mathcal{C}(\alpha_1 F_1(\lambda) + \alpha_2 F_2(\lambda) + \alpha_3 F_3(\lambda)) = (X, Y, Z) \quad (2)$$

► 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  $F_3$  :



$$F_1(\lambda) = 1.0$$

$$F_2(\lambda) = \frac{1}{2} \left( 1 + \sin 2\pi \frac{\lambda - 380}{400} \right)$$

$$F_3(\lambda) = \frac{1}{2} \left( 1 + \cos 2\pi \frac{\lambda - 380}{400} \right)$$

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

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

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

$$M = \begin{pmatrix} k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{pmatrix}$$

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

$$\begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

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

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

$$M = \begin{pmatrix} k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{pmatrix}$$

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

$$\begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

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

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

$$M = \begin{pmatrix} k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{pmatrix}$$

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

$$\begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

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

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

$$M = \begin{pmatrix} k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{pmatrix}$$

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

$$\begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

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

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

$$M = \begin{pmatrix} k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{pmatrix}$$

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

$$\begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

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

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

$$M = \begin{pmatrix} k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{pmatrix}$$

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

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

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

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

$$M = \begin{pmatrix} k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \\ k \int_{\lambda=380}^{780} F_1(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_2(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda & k \int_{\lambda=380}^{780} F_3(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{pmatrix}$$

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

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

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

## 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  $X_\alpha$  et  $Z_\alpha$  :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{x_R Y_R}{Y_R} + \frac{x_G Y_G}{Y_G} + \frac{x_B Y_B}{Y_B} = \frac{x_N}{Y_N} \\ Y_R + Y_G + Y_B = 1 \\ \frac{z_R Y_R}{Y_R} + \frac{z_G Y_G}{Y_G} + \frac{z_B Y_B}{Y_B} = \frac{z_N}{Y_N} \end{array} \right.$$

on obtient :

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

avec :

$$K_R = \frac{x_G(y_B - y_N) - x_B(y_G - y_N) + x_N(y_G - y_B)}{x_R(y_G - y_B) - x_G(y_R - y_B) + x_B(y_R - y_G)}$$

$$K_G = \frac{x_R(y_B - y_N) - x_B(y_R - y_N) + x_N(y_R - y_B)}{x_R(y_G - y_B) - x_G(y_R - y_B) + x_B(y_R - y_G)}$$

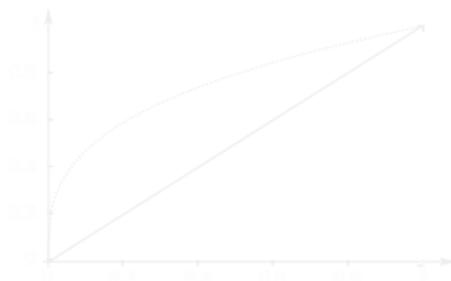
$$K_B = \frac{x_R(y_G - y_N) - x_G(y_R - y_N) + x_N(y_R - y_G)}{x_R(y_G - y_B) - x_G(y_R - y_B) + x_B(y_R - y_G)}$$

- ▶ 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.

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



- ▶ 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.

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

