



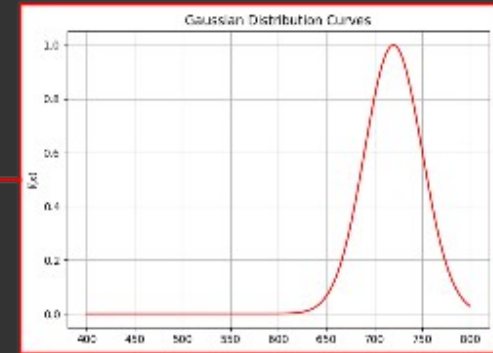
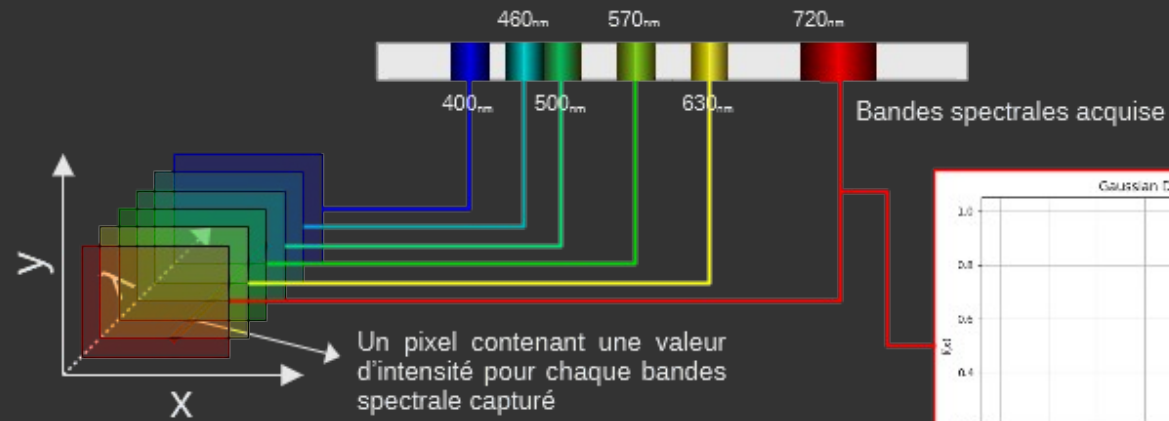
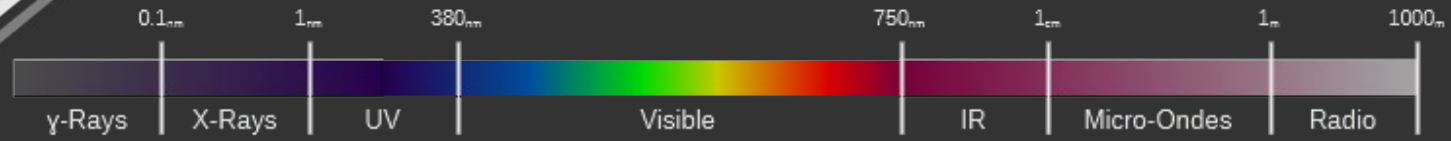
Antony MADALENO, Étudiant M2-IIA

Caractérisation de Filtre / LED et Reconstruction d'images

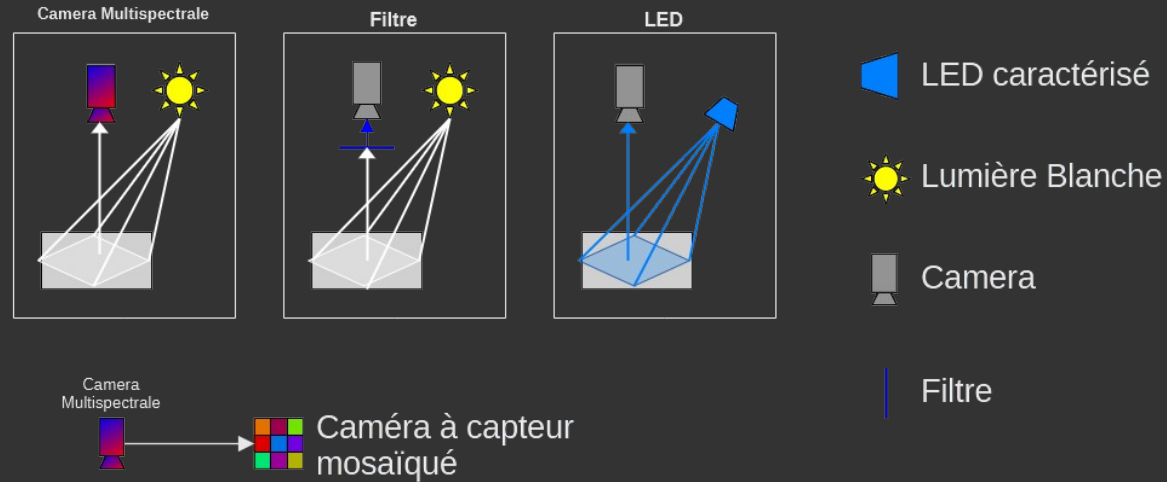
Hermine CHATOUX, Enseignant-Chercheur, Laboratoire imVIA, Encadrante

- ◆ Rappels imagerie multispectrale
- ◆ Caractérisation de Filtres et LED
- ◆ Reconstruction RGB Naïve
- ◆ Estimation de Spectre
- ◆ Reconstruction Spectre vers RGB
- ◆ Les espaces RGB

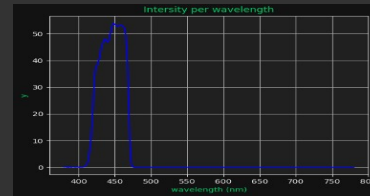
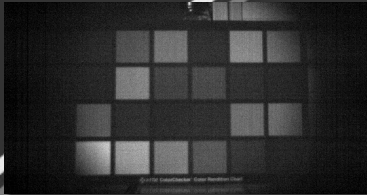
- ◆ Rappels imagerie multispectrale
- ◆ Caractérisation de Filtres et LED
- ◆ Reconstruction RGB Naïve
- ◆ Estimation de Spectre
- ◆ Reconstruction Spectre vers RGB
- ◆ Les espaces RGB



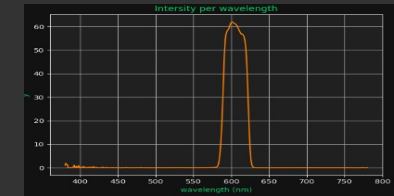
Caractérisation de Filtre / LED et Reconstruction d'images



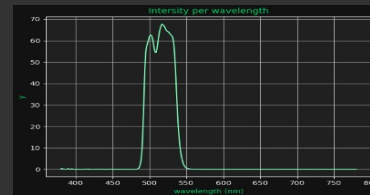
	Capteur mosaïqué	Filtre	LED
Temps acquisition	Instantané	Lent	Très lent
Resolution Spatiale	Limité	Fine	Fine
Resolution Spectrale	Limité	Fine	Fine



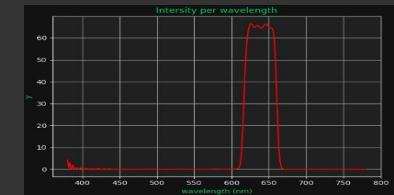
Bande 1 et Caractérisation Filtre Bande 1



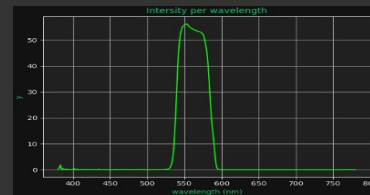
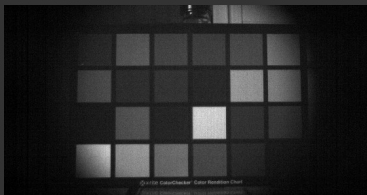
Bande 4 et Caractérisation Filtre Bande 4



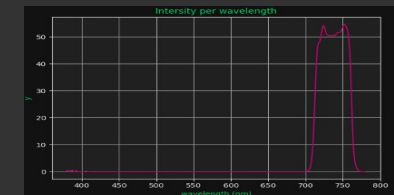
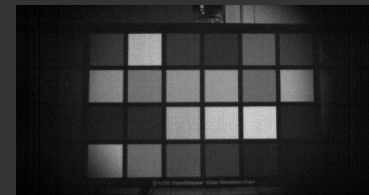
Bande 2 et Caractérisation Filtre Bande 2



Bande 5 et Caractérisation Filtre Bande 5



Bande 3 et Caractérisation Filtre Bande 3

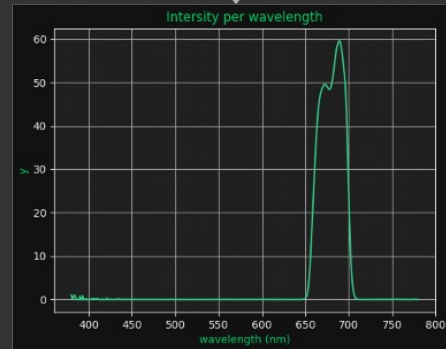
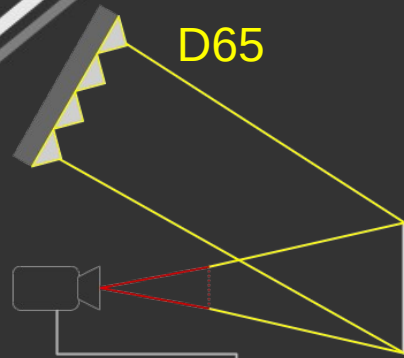


Bande 6 et Caractérisation Filtre Bande 6

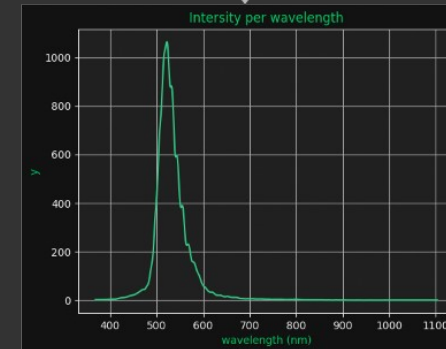
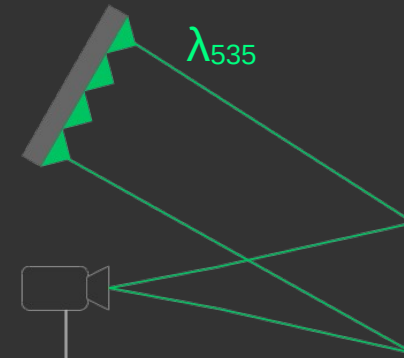
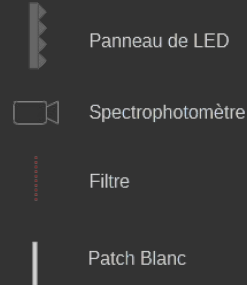
* Les images afficher sont normalisé pour une meilleur visualisation

Rappels imagerie multispectrale

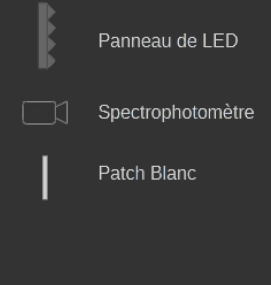
- ◆ Rappels imagerie multispectrale
- ◆ Caractérisation de Filtres et LED
- ◆ Reconstruction RGB Naïve
- ◆ Estimation de Spectre
- ◆ Reconstruction Spectre vers RGB
- ◆ Les espaces RGB



Caractérisation de filtre à l'aide d'un spectrophotomètre



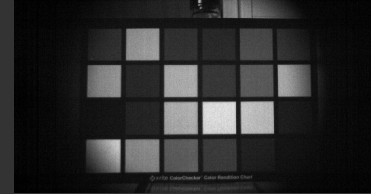
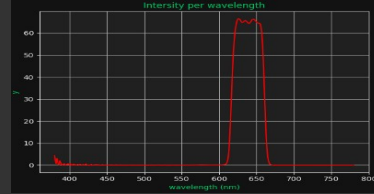
Caractérisation de LED à l'aide d'un spectrophotomètre



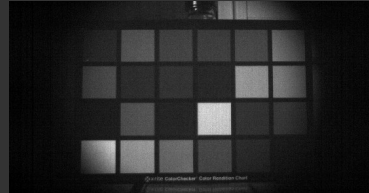
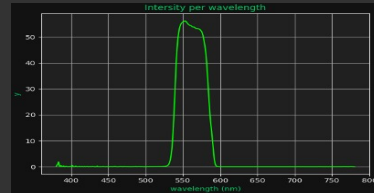
Mettre photo du montage mis en place pour faire
l'acquisition des caractéristique spectrale des LED

- ◆ Rappels imagerie multispectrale
- ◆ Caractérisation de Filtres et LED
- ◆ Reconstruction RGB Naïve
- ◆ Estimation de Spectre
- ◆ Reconstruction Spectre vers RGB
- ◆ Les espaces RGB

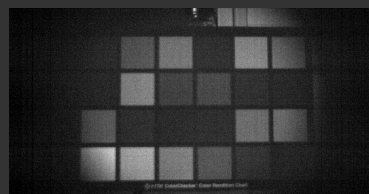
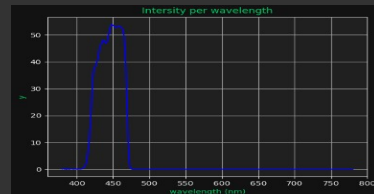
Mettre photo du montage pour l'acquisition de images avec
filtres



Caractérisation Filtre Bande 5 et Bande 5



Caractérisation Filtre Bande 3 et Bande 3

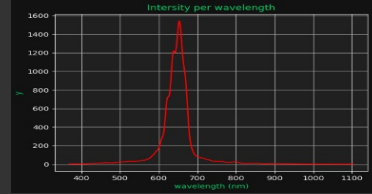


Caractérisation Filtre Bande 1 et Bande 1

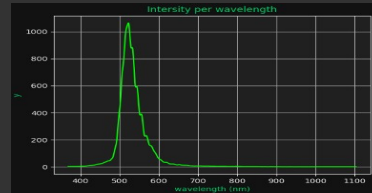




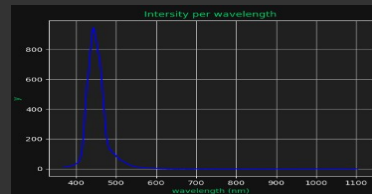
Montage pour capture à caméra monochromatique et LED contrôlables



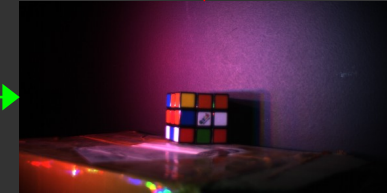
Caractérisation LED 660_{nm} et Bande 660_{nm}



Caractérisation LED 535_{nm} et Bande 535_{nm}

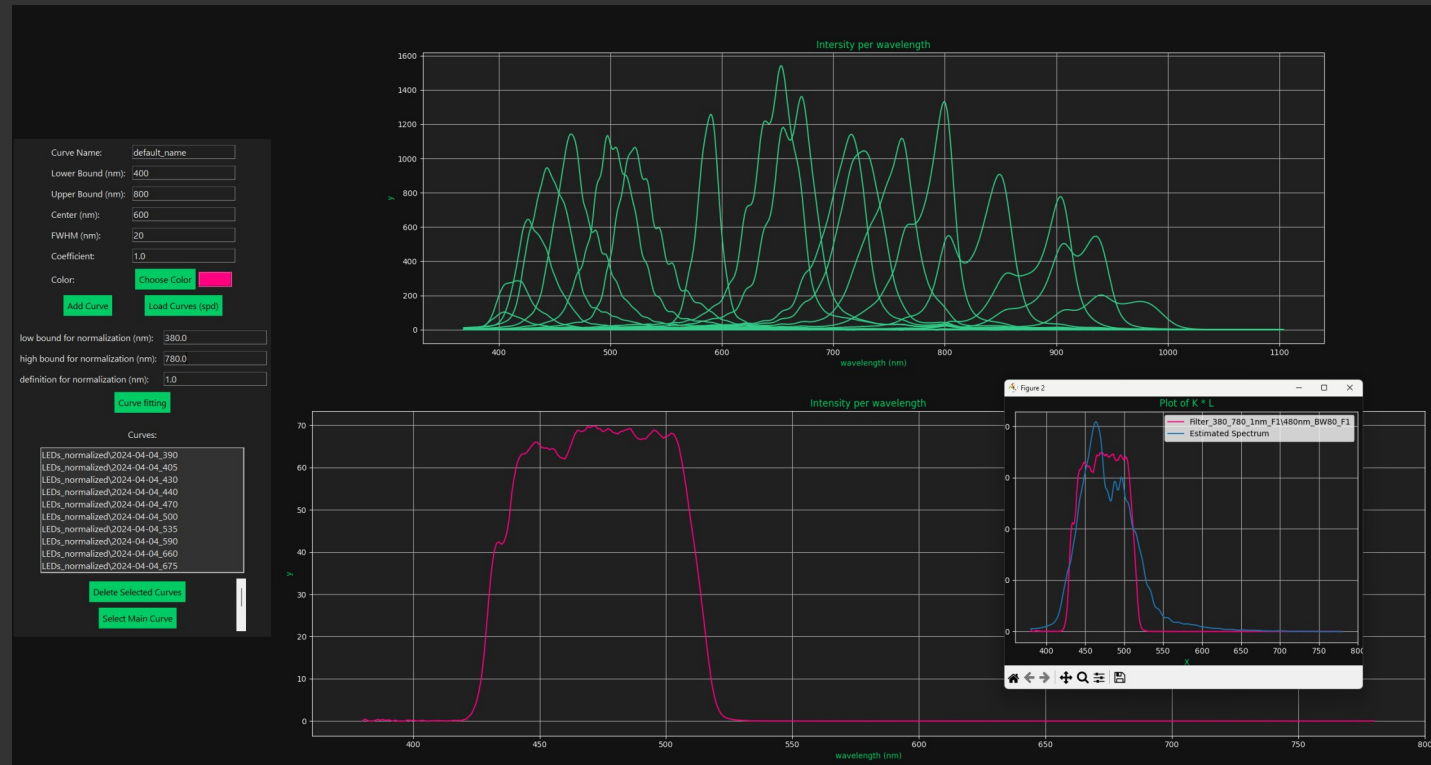


Caractérisation LED 440_{nm} et Bande 440_{nm}



- ◆ Rappels imagerie multispectrale
- ◆ Caractérisation de Filtres et LED
- ◆ Reconstruction RGB Naïve
- ◆ Estimation de Spectre
- ◆ Reconstruction Spectre vers RGB
- ◆ Les espaces RGB

Application d'estimation spectrale

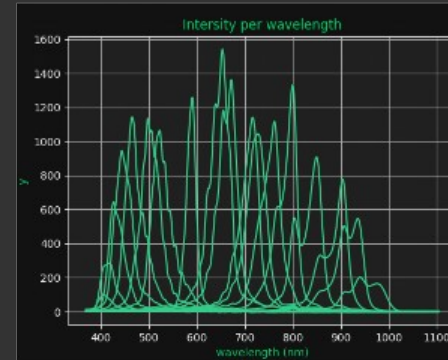


Nous cherchons à approcher le spectre cible à partir d'une somme de spectre mesurer

$$S_{cible} = \sum_{i=0}^n K_i \times S_i$$

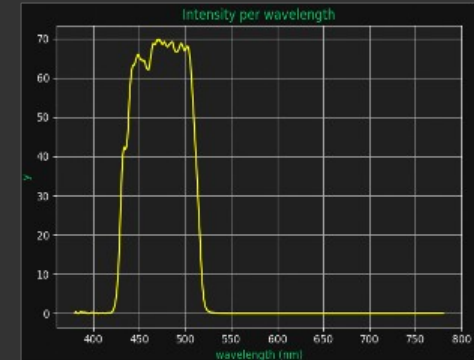
- S_{cible} : spectre cible
- S_i : $i^{\text{ème}}$ spectre de capture
- N : le nombre de spectre de capture
- K_i : $i^{\text{ème}}$ coefficient, ces termes sont à calculer

Spectres de capture



N vecteurs comportant les intensités échantillonnées de nos LED sur un intervalle de longueurs d'ondes

Spectre Cible



1 vecteurs d'intensité échantillonné sur un intervalle de longueurs d'ondes

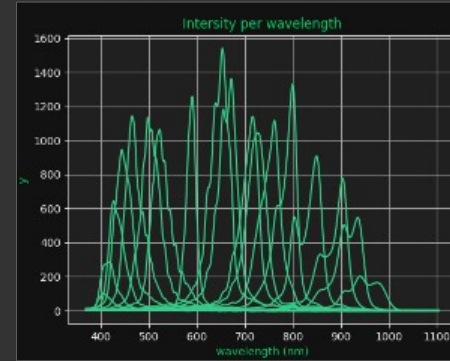
$$S_{cible} = \sum_{i=0}^n K_i \times S_i$$

$$\begin{pmatrix} L_0 & L_1 & L_{..} & L_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_0 \\ K_1 \\ \dots \\ K_n \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} I_{00} & I_{10} & I_{..0} & I_{m0} \\ I_{01} & I_{11} & I_{..1} & I_{m1} \\ I_{0.} & I_{1.} & I_{..} & I_{m.} \\ I_{0n} & I_{1n} & I_{.n} & I_{mn} \end{pmatrix}$$

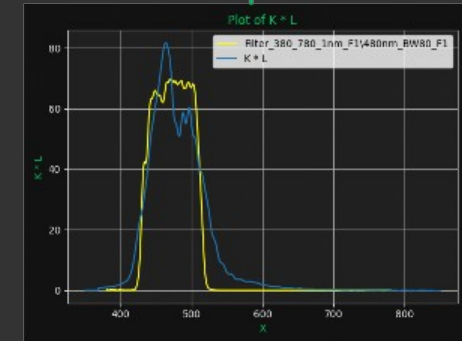
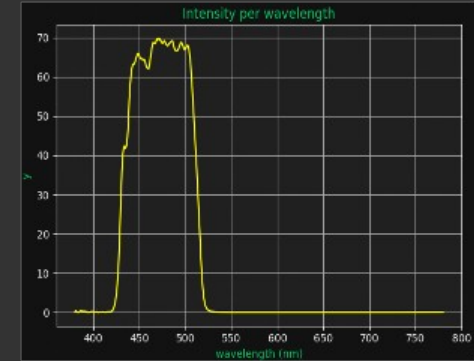
$$\begin{pmatrix} K_0 \\ K_1 \\ \dots \\ K_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L_0 & L_1 & L_{..} & L_n \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} I_{00} & I_{10} & I_{..0} & I_{m0} \\ I_{01} & I_{11} & I_{..1} & I_{m1} \\ I_{0.} & I_{1.} & I_{..} & I_{m.} \\ I_{0n} & I_{1n} & I_{.n} & I_{mn} \end{pmatrix}^{-1}$$

* Dans notre cas nous utilisons une méthode de résolution au moindre carré non nuls (non nulle least square)

Spectres de capture



Spectre Cible

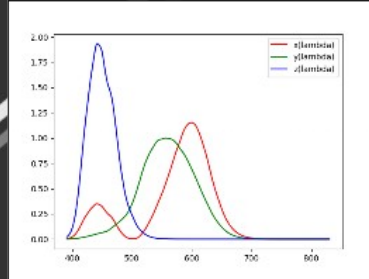


Résultat de l'estimation

Estimation de spectre

- ◆ Rappels imagerie multispectrale
- ◆ Caractérisation de Filtres et LED
- ◆ Reconstruction RGB Naïve
- ◆ Estimation de Spectre
- ◆ Reconstruction Spectre vers RGB
- ◆ Les espaces RGB

Fonctions XYZ

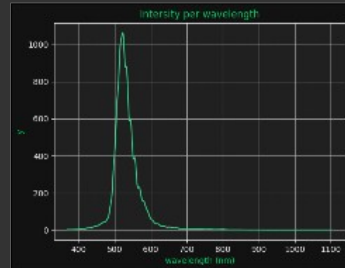


$$X = \int_{\lambda} x(\lambda) \times P(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int_{\lambda} y(\lambda) \times P(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_{\lambda} z(\lambda) \times P(\lambda) d\lambda$$

$P(\lambda)$

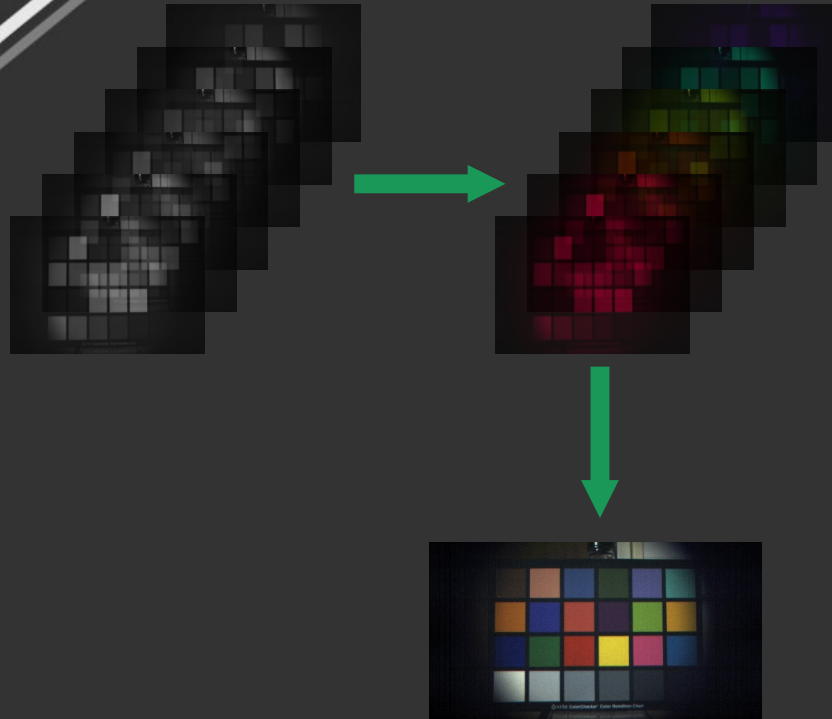


$$\begin{pmatrix} R & G & B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X & Y & Z \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 2.041 & -0.564 & -0.344 \\ -0.969 & 1.876 & 0.041 \\ 0.013 & -0.118 & 1.015 \end{pmatrix}$$

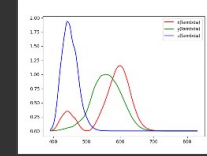
Matrice de conversion
XYZ vers Adobe RGB

Spectre vers XYZ

XYZ vers RGB



Fonctions XYZ

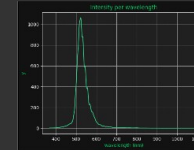


$$X = \int_{\lambda} x(\lambda) \times P(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int_{\lambda} y(\lambda) \times P(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_{\lambda} z(\lambda) \times P(\lambda) d\lambda$$

$P(\lambda)$



$$\begin{pmatrix} R & G & B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X & Y & Z \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 2.041 & -0.564 & -0.344 \\ -0.969 & 1.876 & 0.041 \\ 0.013 & -0.118 & 1.015 \end{pmatrix}$$

Matrice de conversion
XYZ vers Adobe RGB

Spectre vers XYZ

XYZ vers RGB

Ce passage de spectre vers un espace RGB nous permet à partir de LED / Filtre caractérisé de faire de la reconstruction couleur.

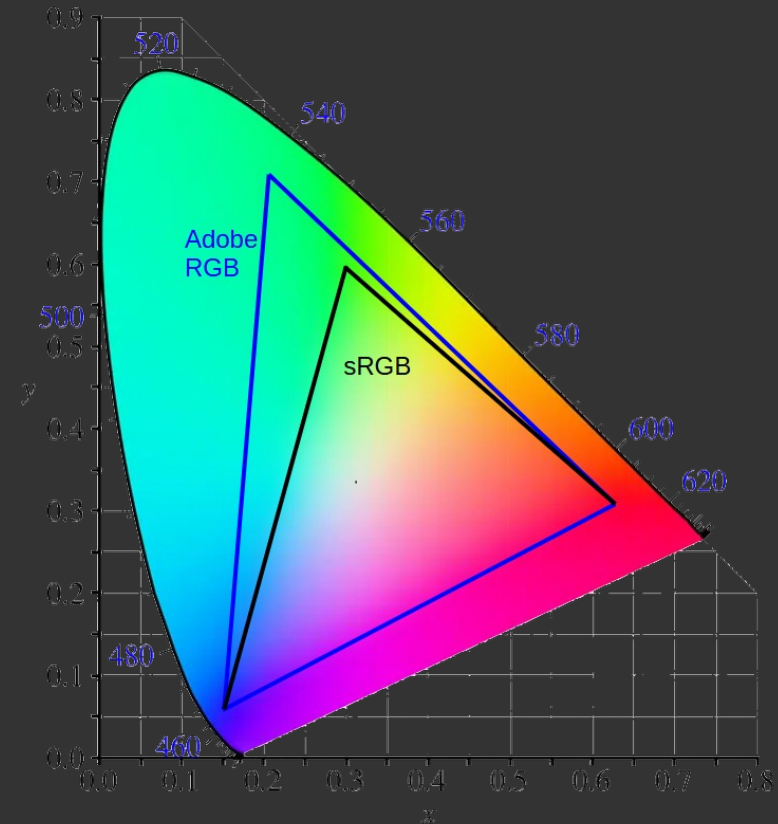
- ◆ Rappels imagerie multispectrale
- ◆ Caractérisation de Filtres et LED
- ◆ Reconstruction RGB Naïve
- ◆ Estimation de Spectre
- ◆ Reconstruction Spectre vers RGB
- ◆ Les espaces RGB

Adobe RGB

Primaire Rouge = (0.640 , 0.330)
Primaire Vert = (0.215 , 0.710)
Primaire Bleu = (0.150 , 0.060)

sRGB

Primaire Rouge = (0.640 , 0.330)
Primaire Vert = (0.300 , 0.600)
Primaire Bleu = (0.150 , 0.060)



Gamut sRGB et
Adobe RGB

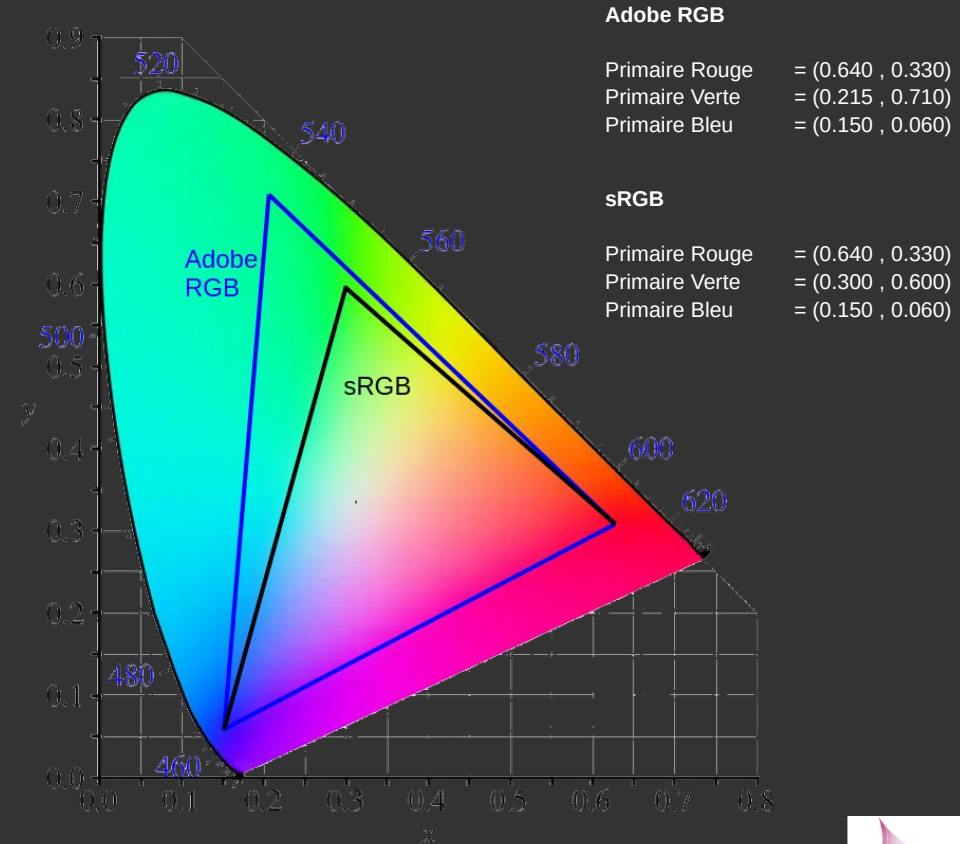
Espaces RGB

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = M \times \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad \text{où} \quad M = \begin{pmatrix} S_r X_r & S_g X_g & S_b X_b \\ S_r Y_r & S_g Y_g & S_b Y_b \\ S_r Z_r & S_g Z_g & S_b Z_b \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} X_r &= x_r / y_r & X_g &= x_g / y_g & X_b &= x_b / y_b \\ Y_r &= 1 & Y_g &= 1 & Y_b &= 1 \\ Z_r &= \frac{(1 - x_r - y_r)}{y_r} & Z_g &= \frac{(1 - x_g - y_g)}{y_g} & Z_b &= \frac{(1 - x_b - y_b)}{y_b} \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} S_r \\ S_g \\ S_b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_r & X_g & X_b \\ Y_r & Y_g & Y_b \\ Z_r & Z_g & Z_b \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{pmatrix}$$

Où X_w, Y_w, Z_w correspondent au blanc de référence de l'espace liés à l'illuminant de celui-ci



Gamut sRGB et Adobe RGB

Espaces RGB

Passage de RGB vers coordonnée de chromaticité

RGB : [120, 255, 50]

$$M_{sRGB} = \begin{pmatrix} 0.412 & 0.358 & 0.180 \\ 0.213 & 0.715 & 0.072 \\ 0.019 & 0.119 & 0.950 \end{pmatrix}$$



$$\begin{pmatrix} 149.73 \\ 211.48 \\ 80.12 \end{pmatrix} = M_{sRGB} * \begin{pmatrix} 120 \\ 255 \\ 50 \end{pmatrix}$$



$$0.34 = \frac{149.73}{149.73 + 211.48 + 80.12}$$

$$0.50 = \frac{211.48}{149.73 + 211.48 + 80.12}$$

$$M_{adobe} = \begin{pmatrix} 0.577 & 0.186 & 0.188 \\ 0.297 & 0.627 & 0.075 \\ 0.027 & 0.070 & 0.991 \end{pmatrix}$$

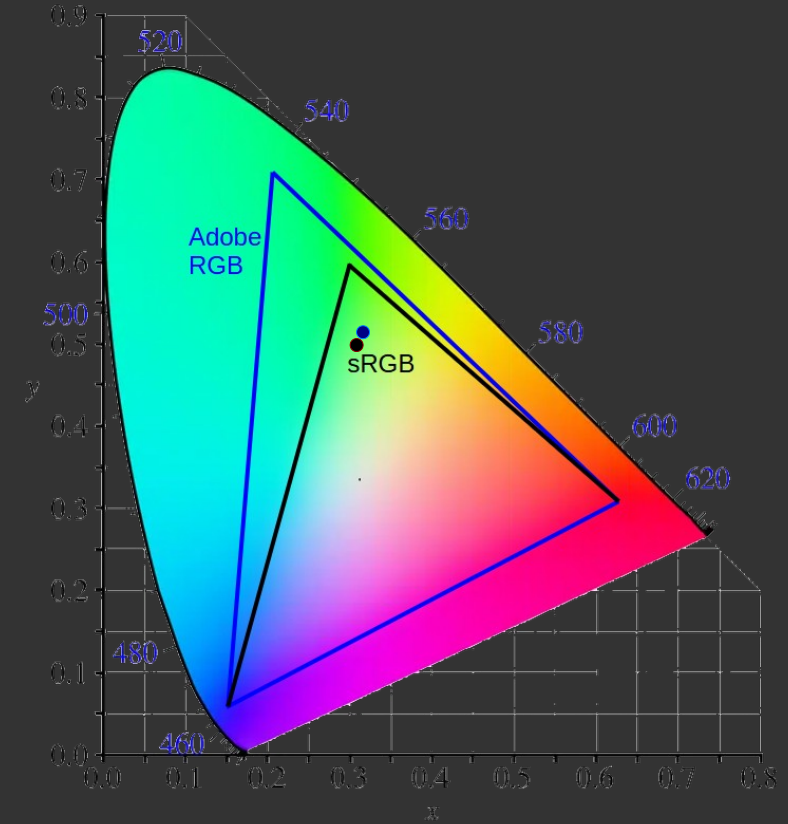


$$\begin{pmatrix} 126.07 \\ 199.27 \\ 70.64 \end{pmatrix} = M_{adobe} * \begin{pmatrix} 120 \\ 255 \\ 50 \end{pmatrix}$$



$$0.32 = \frac{126.07}{126.07 + 199.27 + 70.64}$$

$$0.48 = \frac{199.27}{126.07 + 199.27 + 70.64}$$



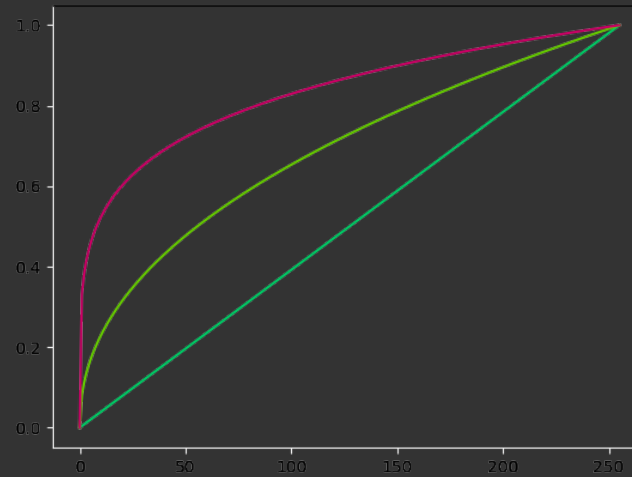
Gamut sRGB et
Adobe RGB

Espaces RGB

$\gamma = 1.0$

$\gamma = 2.2$

$\gamma = 5.0$



Courbe Gamma

La correction gamma est effectuée lors du passage de l'espace colorimétrique XYZ à l'espace RGB pour compenser les différences de réponse non linéaires entre les écrans d'ordinateur et la vision humaine.



$\gamma = 1.0$



$\gamma = 2.2$



$\gamma = 5.0$

Table rappel des coordonnées des primaires de différents espaces RGB (Bruce Lindbloom)

Name	Gamma	Reference White	Red Primary			Green Primary			Blue Primary			Volume (ΔE^3)	Lab Gamut Efficiency %	Coding Efficiency %
			x	y	Y	x	y	Y	x	y	Y			
Lab Gamut	-	D50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,381,085	97.0	35.1
Adobe RGB (1998)	2.2	D65	0.6400	0.3300	0.297361	0.2100	0.7100	0.627355	0.1500	0.0600	0.075285	1,208,631	50.6	100.0
Apple RGB	1.8	D65	0.6250	0.3400	0.244634	0.2800	0.5950	0.672034	0.1550	0.0700	0.083332	798,403	33.5	100.0
Best RGB	2.2	D50	0.7347	0.2653	0.228457	0.2150	0.7750	0.737352	0.1300	0.0350	0.034191	2,050,725	77.6	96.5
Beta RGB	2.2	D50	0.6888	0.3112	0.303273	0.1986	0.7551	0.663786	0.1265	0.0352	0.032941	1,717,450	69.3	99.0
Bruce RGB	2.2	D65	0.6400	0.3300	0.240995	0.2800	0.6500	0.683554	0.1500	0.0600	0.075452	988,939	41.5	100.0
CIE RGB	2.2	E	0.7350	0.2650	0.176204	0.2740	0.7170	0.812985	0.1670	0.0090	0.010811	1,725,261	64.3	96.1
ColorMatch RGB	1.8	D50	0.6300	0.3400	0.274884	0.2950	0.6050	0.658132	0.1500	0.0750	0.066985	836,975	35.2	100.0
Don RGB 4	2.2	D50	0.6960	0.3000	0.278350	0.2150	0.7650	0.687970	0.1300	0.0350	0.033680	1,802,358	72.1	98.8
ECI RGB v2	L*	D50	0.6700	0.3300	0.320250	0.2100	0.7100	0.602071	0.1400	0.0800	0.077679	1,331,362	55.3	99.7
Ekta Space PS5	2.2	D50	0.6950	0.3050	0.260629	0.2600	0.7000	0.734946	0.1100	0.0050	0.004425	1,623,899	65.7	99.5
NTSC RGB	2.2	C	0.6700	0.3300	0.298839	0.2100	0.7100	0.586811	0.1400	0.0800	0.114350	1,300,252	54.2	99.9
PAL/SECAM RGB	2.2	D65	0.6400	0.3300	0.222021	0.2900	0.6000	0.706645	0.1500	0.0600	0.071334	849,831	35.7	100.0
ProPhoto RGB	1.8	D50	0.7347	0.2653	0.288040	0.1596	0.8404	0.711874	0.0366	0.0001	0.000086	2,879,568	91.2	87.3
SMPTE-C RGB	2.2	D65	0.6300	0.3400	0.212395	0.3100	0.5950	0.701049	0.1550	0.0700	0.086556	758,857	31.9	100.0
sRGB	≈ 2.2	D65	0.6400	0.3300	0.212656	0.3000	0.6000	0.715158	0.1500	0.0600	0.072186	832,870	35.0	100.0
Wide Gamut RGB	2.2	D50	0.7350	0.2650	0.258187	0.1150	0.8260	0.724938	0.1570	0.0180	0.016875	2,164,221	77.6	91.9