

Partie C — thème 3

Traitements chromatiques

Caractéristiques psychovisuelles de chrominance : teinte, saturation

- ▶ critères d'appréciation du résultat principalement subjectifs
- ▶ dépendent de l'objectif recherché



Partie C — thème 3

Traitements chromatiques

Caractéristiques psychovisuelles de chrominance : teinte, saturation

- ▶ critères d'appréciation du résultat principalement subjectifs
- ▶ dépendent de l'objectif recherché



Une couleur peut être décomposée en deux informations psychovisuelles distinctes :

- ▶ *la luminance, reliée à l'énergie totale du rayon lumineux*
- ▶ *la chrominance, reliée aux contributions relatives des longueurs d'onde visibles*

Parmi les systèmes de représentation des couleurs suivants : xyY, RGB, Lch, Lab, HSV, quels sont ceux qui permettent d'exprimer séparément luminance et chrominance ?

A	tous	C	xyY, Lch, Lab et HSV
B	xyY, Lch et Lab	D	RGB et HSV

★ Luminance / chrominance

Une couleur peut être décomposée en deux informations psychovisuelles distinctes :

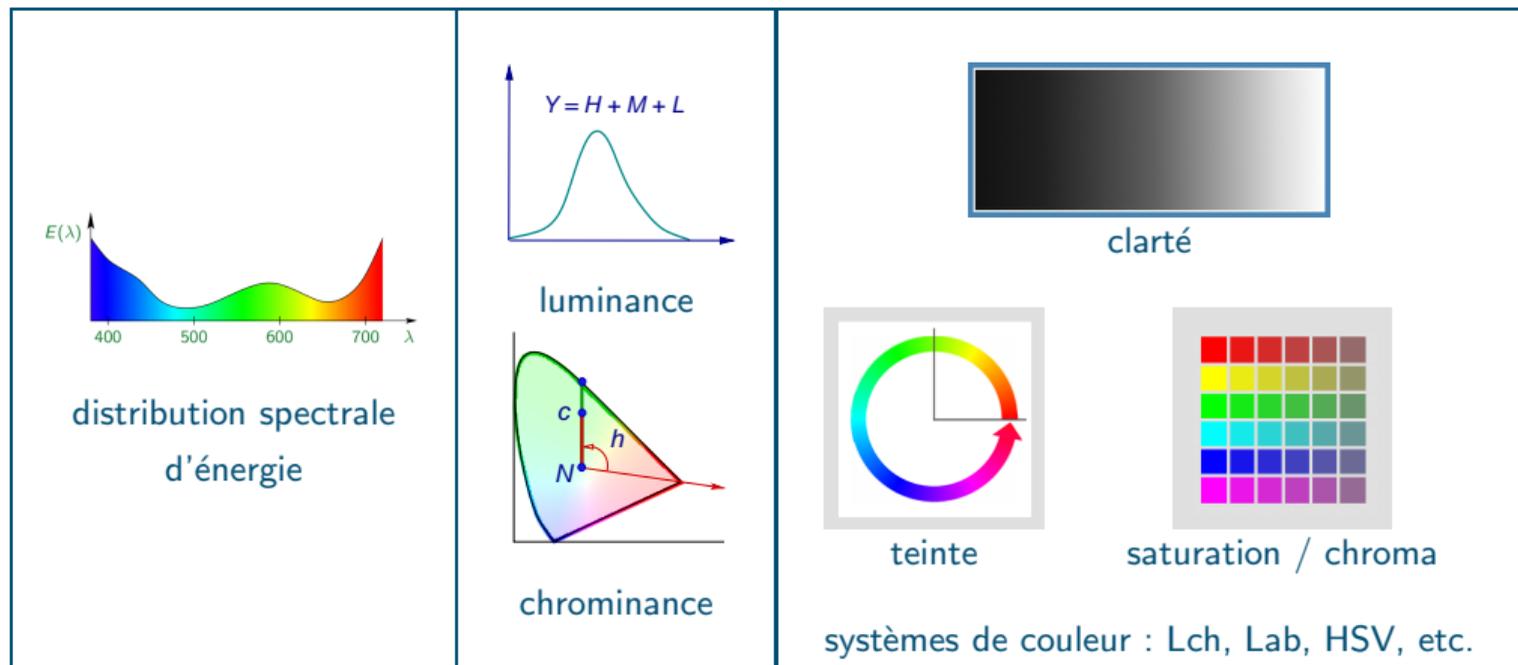
- ▶ *la luminance, reliée à l'énergie totale du rayon lumineux*
- ▶ *la chrominance, reliée aux contributions relatives des longueurs d'onde visibles*

Parmi les systèmes de représentation des couleurs suivants : xyY , RGB, Lch, Lab, HSV, quels sont ceux qui permettent d'exprimer séparément luminance et chrominance ?

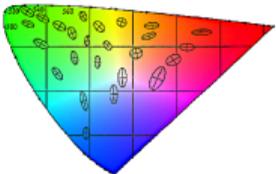
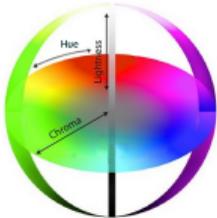
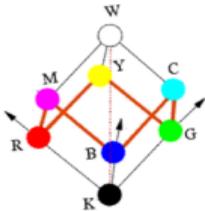
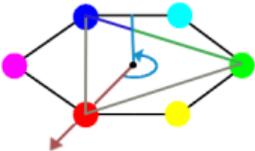
A	tous	C	xyY , Lch, Lab et HSV
B	xyY , Lch et Lab	D	RGB et HSV

1. Expression des caractéristiques chromatiques (rappel A.3)

- ▶ séparation luminance / chrominance



► caractéristiques chromatiques : approche colorimétrique vs approche empirique

		teinte	saturation / chroma		
Lab			$\text{atan2}(b, a)$	$\sqrt{a^2+b^2}$	Lch
RGB			approximation par la corde	$\frac{\max(r,g,b) - \min(r,g,b)}{\max(r,g,b)}$	HSV HSL

2. Désaturation d'une image couleur

- ▶ projection de $[0..M] \times [0..M] \times [0..M]$ dans $[0..M]$

$$c = (r, g, b) \longrightarrow (n_c, n_c, n_c) \quad \text{avec} \quad n_c = n(r, g, b)$$

- ▶ différentes possibilités pour choisir $n(r, g, b)$:

1. modèle **perceptuel empirique** : canal V de HSV ou L de HLS

valeur : $n(r, g, b) = \max(r, g, b)$

luminosité : $n(r, g, b) = \frac{\min(r, g, b) + \max(r, g, b)}{2}$

2. **moyenne arithmétique**

$$n(r, g, b) = \frac{r + g + b}{3}$$

3. **luminance** (moyenne colorimétrique) : Y de $CIE - XYZ$:

$$n(r, g, b) = Y_R r + Y_G g + Y_B b$$

- ▶ généralement REC 709/D65 :

$$\{Y_R, Y_G, Y_B\} \simeq \{0.213, 0.715, 0.072\}$$

2. Désaturation d'une image couleur

- ▶ projection de $[0..M] \times [0..M] \times [0..M]$ dans $[0..M]$

$$c = (r, g, b) \longrightarrow (n_c, n_c, n_c) \quad \text{avec} \quad n_c = n(r, g, b)$$

- ▶ différentes possibilités pour choisir $n(r, g, b)$:

1. modèle **perceptuel empirique** : canal V de HSV ou L de HLS

valeur : $n(r, g, b) = \max(r, g, b)$

luminosité : $n(r, g, b) = \frac{\min(r, g, b) + \max(r, g, b)}{2}$

2. **moyenne arithmétique**

$$n(r, g, b) = \frac{r + g + b}{3}$$

3. **luminance** (moyenne colorimétrique) : Y de $CIE - XYZ$:

$$n(r, g, b) = Y_R r + Y_G g + Y_B b$$

- ▶ généralement REC 709/D65 :

$$\{Y_R, Y_G, Y_B\} \simeq \{0.213, 0.715, 0.072\}$$

2. Désaturation d'une image couleur

- ▶ projection de $[0..M] \times [0..M] \times [0..M]$ dans $[0..M]$

$$c = (r, g, b) \longrightarrow (n_c, n_c, n_c) \quad \text{avec} \quad n_c = n(r, g, b)$$

- ▶ différentes possibilités pour choisir $n(r, g, b)$:

1. modèle **perceptuel empirique** : canal V de HSV ou L de HLS

valeur : $n(r, g, b) = \max(r, g, b)$

luminosité : $n(r, g, b) = \frac{\min(r, g, b) + \max(r, g, b)}{2}$

2. **moyenne arithmétique**

$$n(r, g, b) = \frac{r + g + b}{3}$$

3. **luminance** (moyenne colorimétrique) : Y de $CIE - XYZ$:

$$n(r, g, b) = Y_R r + Y_G g + Y_B b$$

- ▶ généralement REC 709/D65 :

$$\{Y_R, Y_G, Y_B\} \simeq \{0.213, 0.715, 0.072\}$$



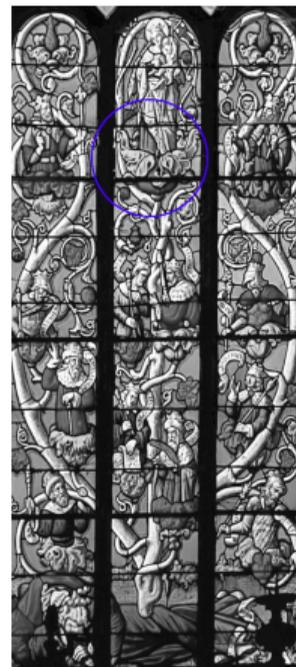
1 : V



2 : L



3 : moyenne



4 : Y

- ▶ pas de méthode idéale
- ▶ la méthode 4 est la plus proche de la perception visuelle
- ▶ mais des teintes distinctes de même luminance peuvent devenir indistinguables



1 : V



2 : L



3 : moyenne



4 : Y

- ▶ pas de méthode idéale
- ▶ la méthode 4 est la plus proche de la perception visuelle
- ▶ mais des teintes distinctes de même luminance peuvent devenir indistinguables

○ Exemple



– canal V du modèle HSV

○ Exemple



– canal *L* du modèle *HLS*

○ Exemple



– moyenne des coordonnées *RGB*

○ Exemple



– canal *Y* du modèle *CIEXYZ*

- ▶ différentes stratégies pour essayer de préserver les différences de teintes
 - ▶ optimisation d'un objectif (maximiser la distance visuelle perçue) [Gooch, Olsen, Tumblin. 2005], [Rasche, Geist, Westall. 2005]
 - ▶ équilibrage d'un système de particules (masse/ressort) [Kuhn, Oliveira, Fernandes. 2008]
 - ▶ calcul d'une luminosité relative sur un voisinage [Gimp 2.10]



1. Monet



2. Luminance (Y)



3. Gooch et al.



4. Rasche et al.



5. Kuhn et al.



6. Gimp 2.10

3. Modification des caractéristiques chromatiques

3.1. Modification de la teinte

○ Rotation de la teinte

- ▶ empirique : HSV

$$(r, g, b) \rightarrow (h, s, v) \rightarrow (h', s, v) \rightarrow (r', g', b')$$

- ▶ colorimétrique : CIE-Lch

$$(r, g, b) \rightarrow (l, c, h) \rightarrow (l, c, h') \rightarrow (r', g', b')$$

- ▶ exemple : $h' = h - \frac{3\pi}{4} \pmod{2\pi}$

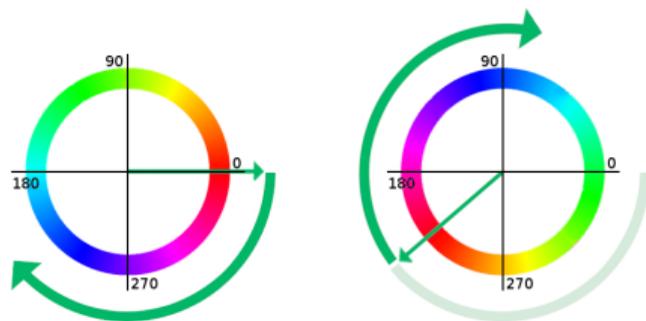


3. Modification des caractéristiques chromatiques

3.1. Modification de la teinte

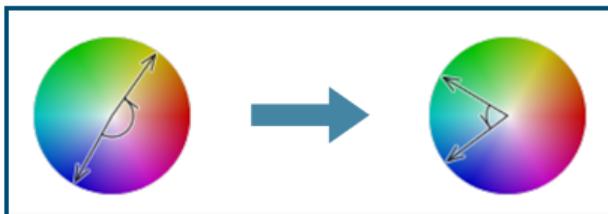
○ Rotation de la teinte

- ▶ empirique : HSV
 $(r, g, b) \rightarrow (h, s, v) \rightarrow (h', s, v) \rightarrow (r', g', b')$
- ▶ colorimétrique : CIE-Lch
 $(r, g, b) \rightarrow (l, c, h) \rightarrow (l, c, h') \rightarrow (r', g', b')$
- ▶ exemple : $h' = h - \frac{3\pi}{4} \pmod{2\pi}$

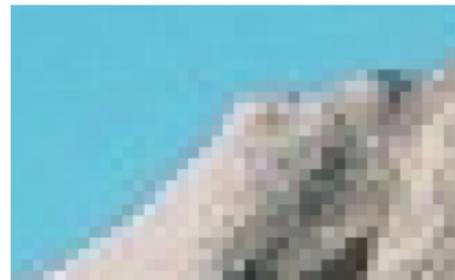
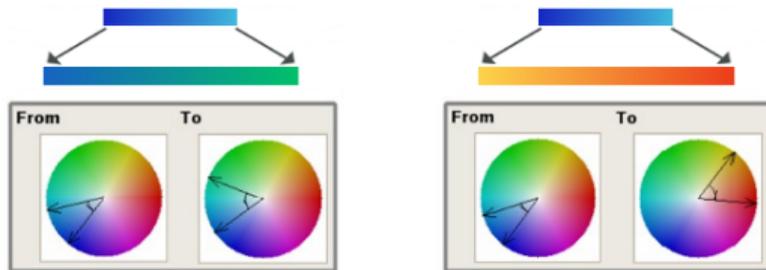


○ **Projection de teinte (hue mapping)**

- ▶ interpolation d'un intervalle de teintes $[h_1, h_2]$ sur $[h'_1, h'_2]$
- ▶ les autres teintes demeurent inchangées
- ▶ exemple :



► préservation de l'antialiasing sur les frontières



3.2. Modification de la saturation

- ▶ utilisation d'un modèle avec composante de saturation

- ▶ HLS (ou HSV) : $(r, g, b) \rightarrow (h, l, s) \rightarrow (h, l, \alpha \times s) \rightarrow (r', g', b')$

- ▶ CIE-Lch : $(r, g, b) \rightarrow (l, c, h) \rightarrow (l, \alpha \times c, h) \rightarrow (r', g', b')$

HLS



CIE-Lch



3.2. Modification de la saturation

- ▶ utilisation d'un modèle avec composante de saturation

- ▶ HLS (ou HSV) : $(r, g, b) \rightarrow (h, l, s) \rightarrow (h, l, \alpha \times s) \rightarrow (r', g', b')$

- ▶ CIE-Lch : $(r, g, b) \rightarrow (l, c, h) \rightarrow (l, \alpha \times c, h) \rightarrow (r', g', b')$

HLS



CIE-Lch



$\alpha = 1.25$

3.2. Modification de la saturation

- ▶ utilisation d'un modèle avec composante de saturation

- ▶ HLS (ou HSV) : $(r, g, b) \rightarrow (h, l, s) \rightarrow (h, l, \alpha \times s) \rightarrow (r', g', b')$

- ▶ CIE-Lch : $(r, g, b) \rightarrow (l, c, h) \rightarrow (l, \alpha \times c, h) \rightarrow (r', g', b')$

HLS



CIE-Lch



$\alpha = 1.5$

3.2. Modification de la saturation

- ▶ utilisation d'un modèle avec composante de saturation

- ▶ HLS (ou HSV) : $(r, g, b) \rightarrow (h, l, s) \rightarrow (h, l, \alpha \times s) \rightarrow (r', g', b')$

- ▶ CIE-Lch : $(r, g, b) \rightarrow (l, c, h) \rightarrow (l, \alpha \times c, h) \rightarrow (r', g', b')$

HLS



CIE-Lch



$\alpha = 1.75$

3.2. Modification de la saturation

- ▶ utilisation d'un modèle avec composante de saturation

- ▶ HLS (ou HSV) : $(r, g, b) \rightarrow (h, l, s) \rightarrow (h, l, \alpha \times s) \rightarrow (r', g', b')$

- ▶ CIE-Lch : $(r, g, b) \rightarrow (l, c, h) \rightarrow (l, \alpha \times c, h) \rightarrow (r', g', b')$

HLS



CIE-Lch



$\alpha = 2$

3.2. Modification de la saturation

- ▶ utilisation d'un modèle avec composante de saturation

- ▶ HLS (ou HSV) : $(r, g, b) \rightarrow (h, l, s) \rightarrow (h, l, \alpha \times s) \rightarrow (r', g', b')$

- ▶ CIE-Lch : $(r, g, b) \rightarrow (l, c, h) \rightarrow (l, \alpha \times c, h) \rightarrow (r', g', b')$

HLS



CIE-Lch



$\alpha = 0.75$

3.2. Modification de la saturation

- ▶ utilisation d'un modèle avec composante de saturation

- ▶ HLS (ou HSV) : $(r, g, b) \rightarrow (h, l, s) \rightarrow (h, l, \alpha \times s) \rightarrow (r', g', b')$

- ▶ CIE-Lch : $(r, g, b) \rightarrow (l, c, h) \rightarrow (l, \alpha \times c, h) \rightarrow (r', g', b')$

HLS



CIE-Lch



$\alpha = 0.50$

3.2. Modification de la saturation

- ▶ utilisation d'un modèle avec composante de saturation

- ▶ HLS (ou HSV) : $(r, g, b) \rightarrow (h, l, s) \rightarrow (h, l, \alpha \times s) \rightarrow (r', g', b')$

- ▶ CIE-Lch : $(r, g, b) \rightarrow (l, c, h) \rightarrow (l, \alpha \times c, h) \rightarrow (r', g', b')$

HLS



CIE-Lch



$\alpha = 0.25$

3.2. Modification de la saturation

- ▶ utilisation d'un modèle avec composante de saturation

- ▶ HLS (ou HSV) : $(r, g, b) \rightarrow (h, l, s) \rightarrow (h, l, \alpha \times s) \rightarrow (r', g', b')$

- ▶ CIE-Lch : $(r, g, b) \rightarrow (l, c, h) \rightarrow (l, \alpha \times c, h) \rightarrow (r', g', b')$

HLS



CIE-Lch



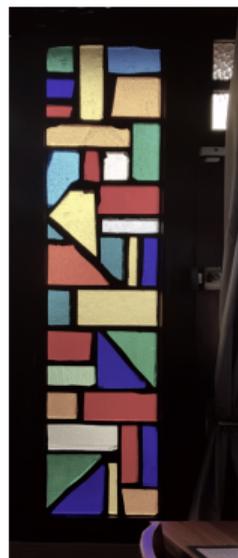
$\alpha = 0.00$

► utilisation du modèle *Lab* :

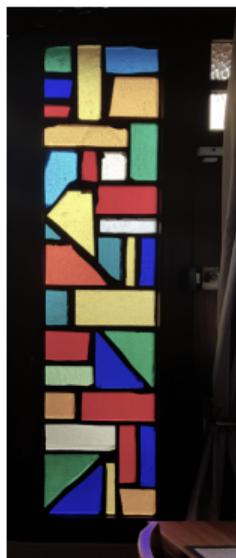
$$(L, a, b) \rightarrow (L, k \times a, k \times b)$$



$$(l, \frac{a}{2}, \frac{b}{2})$$



$$(l, \frac{3a}{4}, \frac{3b}{4})$$



$$(l, a, b)$$



$$(l, \frac{4a}{3}, \frac{4b}{3})$$



$$(l, 2a, 2b)$$

► utilisation du modèle *Lab* :

$$(L, a, b) \rightarrow (L, k \times a, k \times b)$$



$$\left(l, \frac{a}{2}, \frac{b}{2}\right)$$



$$\left(l, \frac{3a}{4}, \frac{3b}{4}\right)$$



$$(l, a, b)$$



$$\left(l, \frac{4a}{3}, \frac{4b}{3}\right)$$



$$(l, 2a, 2b)$$

► **modification de la saturation dans l'espace *RGB***

► *saturation / désaturation d'une couleur* : $c = (r, g, b)$

► *conversion de c en niveau de gris* : $c_n = (n, n, n)$

$$n = Y_R r + Y_G g + Y_B b$$

► *interpolation* entre c et c_n

$$c' = k \times c + (1 - k) \times c_n$$

► par exemple pour le canal r :

$$r' = kr + (1 - k)(Y_R r + Y_G g + Y_B b)$$

$$= \left((1 - k)Y_R + k \right) r + (1 - k)Y_G g + (1 - k)Y_B b$$

$$\begin{pmatrix} (1 - k)Y_R + k & (1 - k)Y_G & (1 - k)Y_B \\ (1 - k)Y_R & (1 - k)Y_G + k & (1 - k)Y_B \\ (1 - k)Y_R & (1 - k)Y_G & (1 - k)Y_B + k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix}$$

► **comportement de la transformation selon les valeurs de k :**

► $k = 0$: *désaturation complète* ($c' = c_n$)

► $0 < k < 1$: *désaturation progressive*

► $k = 1$: *couleur inchangée* ($c' = c$)

► $k > 1$: *saturation (troncature si dépassement)*

► **modification de la saturation dans l'espace *RGB***

► *saturation / désaturation d'une couleur : $c = (r, g, b)$*

► *conversion de c en niveau de gris : $c_n = (n, n, n)$*

$$n = Y_R r + Y_G g + Y_B b$$

► *interpolation entre c et c_n*

$$c' = k \times c + (1 - k) \times c_n$$

► **par exemple pour le canal r :**

$$r' = kr + (1 - k)(Y_R r + Y_G g + Y_B b)$$

$$= \left((1 - k)Y_R + k \right) r + (1 - k)Y_G g + (1 - k)Y_B b$$

$$\begin{pmatrix} (1 - k)Y_R + k & (1 - k)Y_G & (1 - k)Y_B \\ (1 - k)Y_R & (1 - k)Y_G + k & (1 - k)Y_B \\ (1 - k)Y_R & (1 - k)Y_G & (1 - k)Y_B + k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix}$$

► **comportement de la transformation selon les valeurs de k :**

► $k = 0$: *désaturation complète ($c' = c_n$)*

► $0 < k < 1$: *désaturation progressive*

► $k = 1$: *couleur inchangée ($c' = c$)*

► $k > 1$: *saturation (troncature si dépassement)*

► **modification de la saturation dans l'espace RGB**

► *saturation / désaturation d'une couleur : $c = (r, g, b)$*

► *conversion de c en niveau de gris : $c_n = (n, n, n)$*

$$n = Y_R r + Y_G g + Y_B b$$

► *interpolation entre c et c_n*

$$c' = k \times c + (1 - k) \times c_n$$

► **par exemple pour le canal r :**

$$r' = kr + (1 - k)(Y_R r + Y_G g + Y_B b)$$

$$= \left((1 - k)Y_R + k \right) r + (1 - k)Y_G g + (1 - k)Y_B b$$

$$\begin{pmatrix} (1 - k)Y_R + k & (1 - k)Y_G & (1 - k)Y_B \\ (1 - k)Y_R & (1 - k)Y_G + k & (1 - k)Y_B \\ (1 - k)Y_R & (1 - k)Y_G & (1 - k)Y_B + k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix}$$

► **comportement de la transformation selon les valeurs de k :**

► $k = 0$: *désaturation complète ($c' = c_n$)*

► $0 < k < 1$: *désaturation progressive*

► $k = 1$: *couleur inchangée ($c' = c$)*

► $k > 1$: *saturation (troncature si dépassement)*

- ▶ modification de la saturation dans l'espace RGB
 - ▶ saturation / désaturation d'une couleur : $c = (r, g, b)$
 - ▶ conversion de c en niveau de gris : $c_n = (n, n, n)$

$$n = Y_R r + Y_G g + Y_B b$$

- ▶ interpolation entre c et c_n

$$c' = k \times c + (1 - k) \times c_n$$

- ▶ par exemple pour le canal r :

$$r' = kr + (1 - k)(Y_R r + Y_G g + Y_B b)$$

$$= \left((1 - k)Y_R + k \right) r + (1 - k)Y_G g + (1 - k)Y_B b$$

$$\begin{pmatrix} (1 - k)Y_R + k & (1 - k)Y_G & (1 - k)Y_B \\ (1 - k)Y_R & (1 - k)Y_G + k & (1 - k)Y_B \\ (1 - k)Y_R & (1 - k)Y_G & (1 - k)Y_B + k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix}$$

- ▶ comportement de la transformation selon les valeurs de k :
 - ▶ $k = 0$: désaturation complète ($c' = c_n$)
 - ▶ $0 < k < 1$: désaturation progressive
 - ▶ $k = 1$: couleur inchangée ($c' = c$)
 - ▶ $k > 1$: saturation (troncature si dépassement)

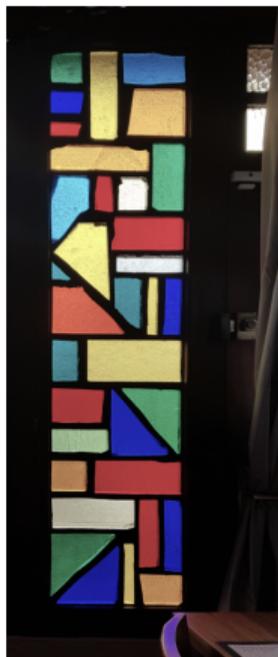
► exemples :



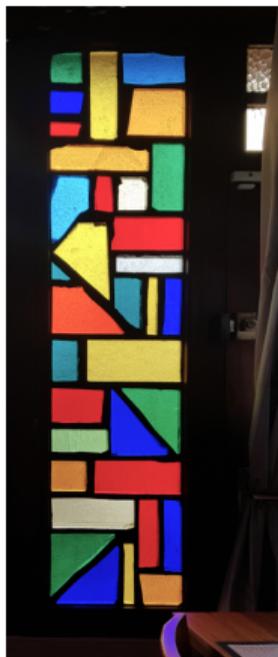
$k = 0$



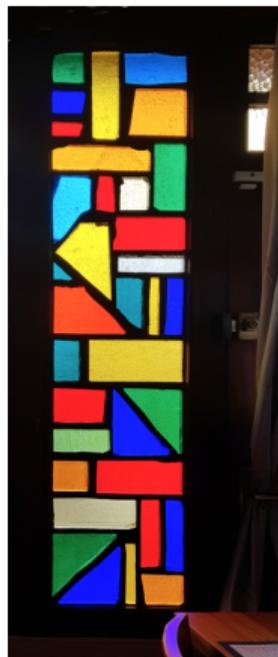
$k = 0.5$



$k = 1$



$k = 1.5$



$k = 2$



$k = 10$

★ Transformations ponctuelles marginales (1)



I



I_1



I_2



I_3

	I_1	I_2	I_3
A	$\mathcal{C}(S)$	$\mathcal{C}(V)$	$\mathcal{C}(H)$
B	$\mathcal{C}(H)$	$\mathcal{C}(V)$	$\mathcal{C}(S)$
C	$\mathcal{C}(V)$	$\mathcal{C}(S)$	$\mathcal{C}(H)$
D	$\mathcal{C}(H)$	$\mathcal{C}(S)$	$\mathcal{C}(V)$

On note \mathcal{C} la transformation ponctuelle marginale réalisant l'inversion d'un canal, que l'on applique à l'un des trois canaux H , S ou V de l'image I . Pour simplifier, on note $\mathcal{C}(H)$ l'image $(\mathcal{C}(H), S, V)$, et ainsi de suite pour les deux autres canaux.

★ Transformations ponctuelles marginales (1)



I



I_1



I_2



I_3

	I_1	I_2	I_3
A	$\mathcal{C}(S)$	$\mathcal{C}(V)$	$\mathcal{C}(H)$
B	$\mathcal{C}(H)$	$\mathcal{C}(V)$	$\mathcal{C}(S)$
C	$\mathcal{C}(V)$	$\mathcal{C}(S)$	$\mathcal{C}(H)$
D	$\mathcal{C}(H)$	$\mathcal{C}(S)$	$\mathcal{C}(V)$

On note \mathcal{C} la transformation ponctuelle marginale réalisant l'inversion d'un canal, que l'on applique à l'un des trois canaux H , S ou V de l'image I . Pour simplifier, on note $\mathcal{C}(H)$ l'image $(\mathcal{C}(H), S, V)$, et ainsi de suite pour les deux autres canaux.

★ Transformations ponctuelles marginales (2)

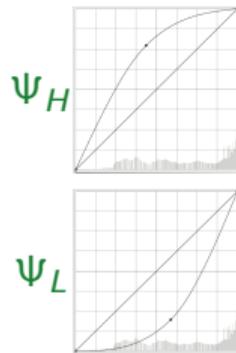


I_1

I_2

I_3

I_4



	I_1	I_2	I_3	I_4
A	$\Psi_L(S)$	$\Psi_L(V)$	$\Psi_H(V)$	$\Psi_H(S)$
B	$\Psi_L(S)$	$\Psi_L(V)$	$\Psi_H(S)$	$\Psi_H(V)$

	I_1	I_2	I_3	I_4
C	$\Psi_L(V)$	$\Psi_L(S)$	$\Psi_H(V)$	$\Psi_H(S)$
D	$\Psi_L(V)$	$\Psi_L(S)$	$\Psi_H(S)$	$\Psi_H(V)$

★ Transformations ponctuelles marginales (2)

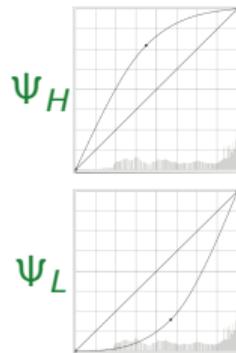


I_1

I_2

I_3

I_4



	I_1	I_2	I_3	I_4
A	$\Psi_L(S)$	$\Psi_L(V)$	$\Psi_H(V)$	$\Psi_H(S)$
B	$\Psi_L(S)$	$\Psi_L(V)$	$\Psi_H(S)$	$\Psi_H(V)$

	I_1	I_2	I_3	I_4
C	$\Psi_L(V)$	$\Psi_L(S)$	$\Psi_H(V)$	$\Psi_H(S)$
D	$\Psi_L(V)$	$\Psi_L(S)$	$\Psi_H(S)$	$\Psi_H(V)$

★ Transformations ponctuelles marginales (3)



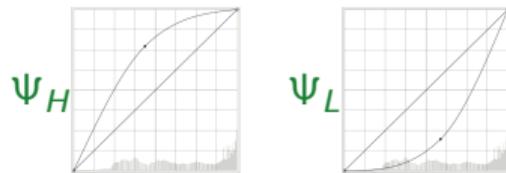
I



I_1



I_2



	I_1	I_2
A	$\Psi_L(H)$	$\Psi_H(H)$
B	$\Psi_H(H)$	$\Psi_L(H)$

★ Transformations ponctuelles marginales (3)



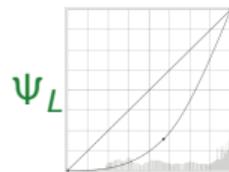
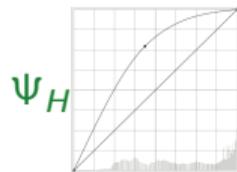
I



I_1



I_2



	I_1	I_2
A	$\Psi_L(H)$	$\Psi_H(H)$
B	$\Psi_H(H)$	$\Psi_L(H)$

4. Équilibrage des canaux R, G et B

4.1. Problématique

- ▶ modification des poids respectifs des canaux d'une image RGB



- ▶ modification de la couleur dominante
- ▶ correction de la source lumineuse (« balance des blancs »)
- ▶ ...

4. Équilibrage des canaux R, G et B

4.1. Problématique

- ▶ modification des poids respectifs des canaux d'une image RGB



- ▶ modification de la couleur dominante
- ▶ correction de la source lumineuse (« balance des blancs »)
- ▶ ...

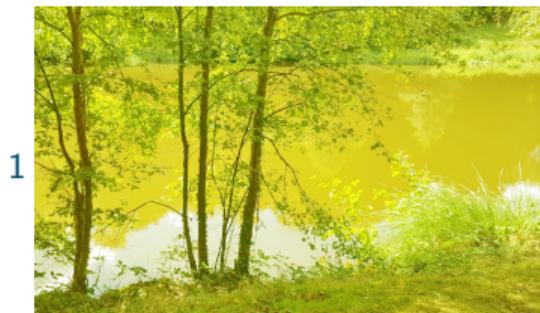
★ Modification de l'équilibre entre les canaux R, G et B



On applique différentes corrections par fonction de puissance $1/\gamma$, de manière indépendante, sur les canaux R, G et B de l'image ci-dessus.

Image 1			Image 2			Image 3		
γ_r	γ_g	γ_b	γ_r	γ_g	γ_b	γ_r	γ_g	γ_b

A	↑	↑	↑	-	↑	↑	-	↓	-
B	-	-	↓	-	↑	-	↑	-	-
C	↑	↑	-	↓	-	-	↑	-	↑



★ Modification de l'équilibre entre les canaux R, G et B



On applique différentes corrections par fonction de puissance $I^{\frac{1}{\gamma}}$, de manière indépendante, sur les canaux R, G et B de l'image ci-dessus.

	Image 1			Image 2			Image 3		
	γ_r	γ_g	γ_b	γ_r	γ_g	γ_b	γ_r	γ_g	γ_b
A	↑	↑	↑	-	↑	↑	-	↓	-
B	-	-	↓	-	↑	-	↑	-	-
C	↑	↑	-	↓	-	-	↑	-	↑



★ Modification de l'équilibre entre les canaux R, G et B



On applique différentes corrections par fonction de puissance $I^{\frac{1}{\gamma}}$, de manière indépendante, sur les canaux R, G et B de l'image ci-dessus.

Image 1			Image 2			Image 3		
γ_r	γ_g	γ_b	γ_r	γ_g	γ_b	γ_r	γ_g	γ_b

A	↑	↑	↑	-	↑	↑	-	↓	-
B	-	-	↓	-	↑	-	↑	-	-
C	↑	↑	-	↓	-	-	↑	-	↑



★ Modification de l'équilibre entre les canaux R, G et B



On applique différentes corrections par fonction de puissance $I^{\frac{1}{\gamma}}$, de manière indépendante, sur les canaux R, G et B de l'image ci-dessus.

	Image 1			Image 2			Image 3		
	γ_r	γ_g	γ_b	γ_r	γ_g	γ_b	γ_r	γ_g	γ_b
A	↑	↑	↑	-	↑	↑	-	↓	-
B	-	-	↓	-	↑	-	↑	-	-
C	↑	↑	-	↓	-	-	↑	-	↑



★ Modification de l'équilibre entre les canaux R, G et B



On applique différentes corrections par fonction de puissance $I^{\frac{1}{\gamma}}$, de manière indépendante, sur les canaux R, G et B de l'image ci-dessus.

Image 1			Image 2			Image 3		
γ_r	γ_g	γ_b	γ_r	γ_g	γ_b	γ_r	γ_g	γ_b

A	↑	↑	↑	-	↑	↑	-	↓	-
B	-	-	↓	-	↑	-	↑	-	-
C	↑	↑	-	↓	-	-	↑	-	↑



4.2. Équilibrage par sélection d'un point neutre

- ▶ sélection d'un pixel \bar{p} de couleur $(\bar{r}, \bar{g}, \bar{b})$ comme **pixel neutre** :

$$(\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}) \rightarrow (\bar{n}, \bar{n}, \bar{n})$$

avec

$$\bar{n} = Y_R \bar{r} + Y_G \bar{g} + Y_B \bar{b}$$

- ▶ détermination des valeurs γ_r, γ_g et γ_b qui neutralisent \bar{p}

$$\bar{r}^{\frac{1}{\gamma_r}} = \bar{g}^{\frac{1}{\gamma_g}} = \bar{b}^{\frac{1}{\gamma_b}} = \bar{n}$$

- ▶ application d'une fonction puissance avec le paramètre calculé sur chaque canal

$$(r, g, b) \longrightarrow (r^{\frac{1}{\gamma_r}}, g^{\frac{1}{\gamma_g}}, b^{\frac{1}{\gamma_b}})$$



4.2. Équilibrage par sélection d'un point neutre

- ▶ sélection d'un pixel \bar{p} de couleur $(\bar{r}, \bar{g}, \bar{b})$ comme **pixel neutre** :

$$(\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}) \rightarrow (\bar{n}, \bar{n}, \bar{n})$$

avec

$$\bar{n} = Y_R \bar{r} + Y_G \bar{g} + Y_B \bar{b}$$

- ▶ détermination des valeurs γ_r, γ_g et γ_b qui neutralisent \bar{p}

$$\bar{r}^{\frac{1}{\gamma_r}} = \bar{g}^{\frac{1}{\gamma_g}} = \bar{b}^{\frac{1}{\gamma_b}} = \bar{n}$$

- ▶ application d'une fonction puissance avec le paramètre calculé sur chaque canal

$$(r, g, b) \longrightarrow (r^{\frac{1}{\gamma_r}}, g^{\frac{1}{\gamma_g}}, b^{\frac{1}{\gamma_b}})$$



4.2. Équilibrage par sélection d'un point neutre

- ▶ sélection d'un pixel \bar{p} de couleur $(\bar{r}, \bar{g}, \bar{b})$ comme **pixel neutre** :

$$(\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}) \rightarrow (\bar{n}, \bar{n}, \bar{n})$$

avec

$$\bar{n} = Y_R \bar{r} + Y_G \bar{g} + Y_B \bar{b}$$

- ▶ détermination des valeurs γ_r , γ_g et γ_b qui neutralisent \bar{p}

$$\bar{r}^{\frac{1}{\gamma_r}} = \bar{g}^{\frac{1}{\gamma_g}} = \bar{b}^{\frac{1}{\gamma_b}} = \bar{n}$$

- ▶ application d'une fonction puissance avec le paramètre calculé sur chaque canal

$$(r, g, b) \longrightarrow (r^{\frac{1}{\gamma_r}}, g^{\frac{1}{\gamma_g}}, b^{\frac{1}{\gamma_b}})$$



4.2. Équilibrage par sélection d'un point neutre

- ▶ sélection d'un pixel \bar{p} de couleur $(\bar{r}, \bar{g}, \bar{b})$ comme **pixel neutre** :

$$(\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}) \rightarrow (\bar{n}, \bar{n}, \bar{n})$$

avec

$$\bar{n} = Y_R \bar{r} + Y_G \bar{g} + Y_B \bar{b}$$

- ▶ détermination des valeurs γ_r , γ_g et γ_b qui neutralisent \bar{p}

$$\bar{r}^{\frac{1}{\gamma_r}} = \bar{g}^{\frac{1}{\gamma_g}} = \bar{b}^{\frac{1}{\gamma_b}} = \bar{n}$$

- ▶ application d'une fonction puissance avec le paramètre calculé sur chaque canal

$$(r, g, b) \longrightarrow (r^{\frac{1}{\gamma_r}}, g^{\frac{1}{\gamma_g}}, b^{\frac{1}{\gamma_b}})$$



4.2. Équilibrage par sélection d'un point neutre

- ▶ sélection d'un pixel \bar{p} de couleur $(\bar{r}, \bar{g}, \bar{b})$ comme **pixel neutre** :

$$(\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}) \rightarrow (\bar{n}, \bar{n}, \bar{n})$$

avec

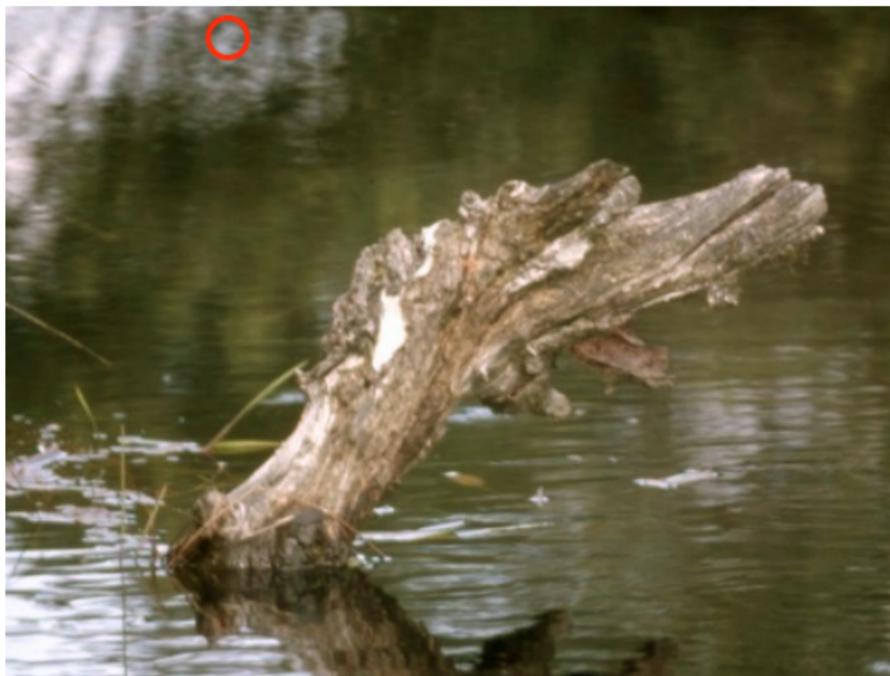
$$\bar{n} = Y_R \bar{r} + Y_G \bar{g} + Y_B \bar{b}$$

- ▶ détermination des valeurs γ_r, γ_g et γ_b qui neutralisent \bar{p}

$$\bar{r}^{\frac{1}{\gamma_r}} = \bar{g}^{\frac{1}{\gamma_g}} = \bar{b}^{\frac{1}{\gamma_b}} = \bar{n}$$

- ▶ application d'une fonction puissance avec le paramètre calculé sur chaque canal

$$(r, g, b) \longrightarrow (r^{\frac{1}{\gamma_r}}, g^{\frac{1}{\gamma_g}}, b^{\frac{1}{\gamma_b}})$$



4.2. Équilibrage par sélection d'un point neutre

- ▶ sélection d'un pixel \bar{p} de couleur $(\bar{r}, \bar{g}, \bar{b})$ comme **pixel neutre** :

$$(\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}) \rightarrow (\bar{n}, \bar{n}, \bar{n})$$

avec

$$\bar{n} = Y_R \bar{r} + Y_G \bar{g} + Y_B \bar{b}$$

- ▶ détermination des valeurs γ_r , γ_g et γ_b qui neutralisent \bar{p}

$$\bar{r}^{\frac{1}{\gamma_r}} = \bar{g}^{\frac{1}{\gamma_g}} = \bar{b}^{\frac{1}{\gamma_b}} = \bar{n}$$

- ▶ application d'une fonction puissance avec le paramètre calculé sur chaque canal

$$(r, g, b) \longrightarrow (r^{\frac{1}{\gamma_r}}, g^{\frac{1}{\gamma_g}}, b^{\frac{1}{\gamma_b}})$$



▶ trouver y tel que $x^y = n$

▶ rappel : $x^y = e^{y \log x}$

$$e^{y \log x} = n \Leftrightarrow \log(e^{y \log x}) = \log n$$

$$\Leftrightarrow y \log x = \log n$$

$$\Leftrightarrow \gamma = \frac{1}{y} = \frac{\log x}{\log n}$$

▶ algorithme d'équilibrage par rapport à un pixel \bar{p} :

▶ soit $(\bar{r}, \bar{g}, \bar{b})$ la couleur du pixel \bar{p}

▶ $n = Y_R \bar{r} + Y_G \bar{g} + Y_B \bar{b}$

▶ appliquer à toute l'image les fonctions corrections en loi de puissance :

$$\left\{ \begin{array}{l} r' = r^{\frac{1}{\gamma_r}} \\ g' = r^{\frac{1}{\gamma_g}} \\ b' = r^{\frac{1}{\gamma_b}} \end{array} \right.$$

avec

$$\gamma_r = \frac{\log \bar{r}}{\log n}$$

$$\gamma_g = \frac{\log \bar{g}}{\log n}$$

$$\gamma_b = \frac{\log \bar{b}}{\log n}$$

▶ trouver y tel que $x^y = n$

▶ rappel : $x^y = e^{y \log x}$

$$e^{y \log x} = n \Leftrightarrow \log (e^{y \log x}) = \log n$$

$$\Leftrightarrow y \log x = \log n$$

$$\Leftrightarrow \gamma = \frac{1}{y} = \frac{\log x}{\log n}$$

▶ algorithme d'équilibrage par rapport à un pixel \bar{p} :

▶ soit $(\bar{r}, \bar{g}, \bar{b})$ la couleur du pixel \bar{p}

▶ $n = Y_R \bar{r} + Y_G \bar{g} + Y_B \bar{b}$

▶ appliquer à toute l'image les fonctions corrections en loi de puissance :

$$\left\{ \begin{array}{l} r' = r^{\frac{1}{\gamma_r}} \\ g' = r^{\frac{1}{\gamma_g}} \\ b' = r^{\frac{1}{\gamma_b}} \end{array} \right.$$

avec

$$\gamma_r = \frac{\log \bar{r}}{\log n}$$

$$\gamma_g = \frac{\log \bar{g}}{\log n}$$

$$\gamma_b = \frac{\log \bar{b}}{\log n}$$

► trouver y tel que $x^y = n$

► rappel : $x^y = e^{y \log x}$

$$e^{y \log x} = n \Leftrightarrow \log (e^{y \log x}) = \log n$$

$$\Leftrightarrow y \log x = \log n$$

$$\Leftrightarrow \gamma = \frac{1}{y} = \frac{\log x}{\log n}$$

► algorithme d'équilibrage par rapport à un pixel \bar{p} :

► soit $(\bar{r}, \bar{g}, \bar{b})$ la couleur du pixel \bar{p}

► $n = Y_R \bar{r} + Y_G \bar{g} + Y_B \bar{b}$

► appliquer à toute l'image les fonctions corrections en loi de puissance :

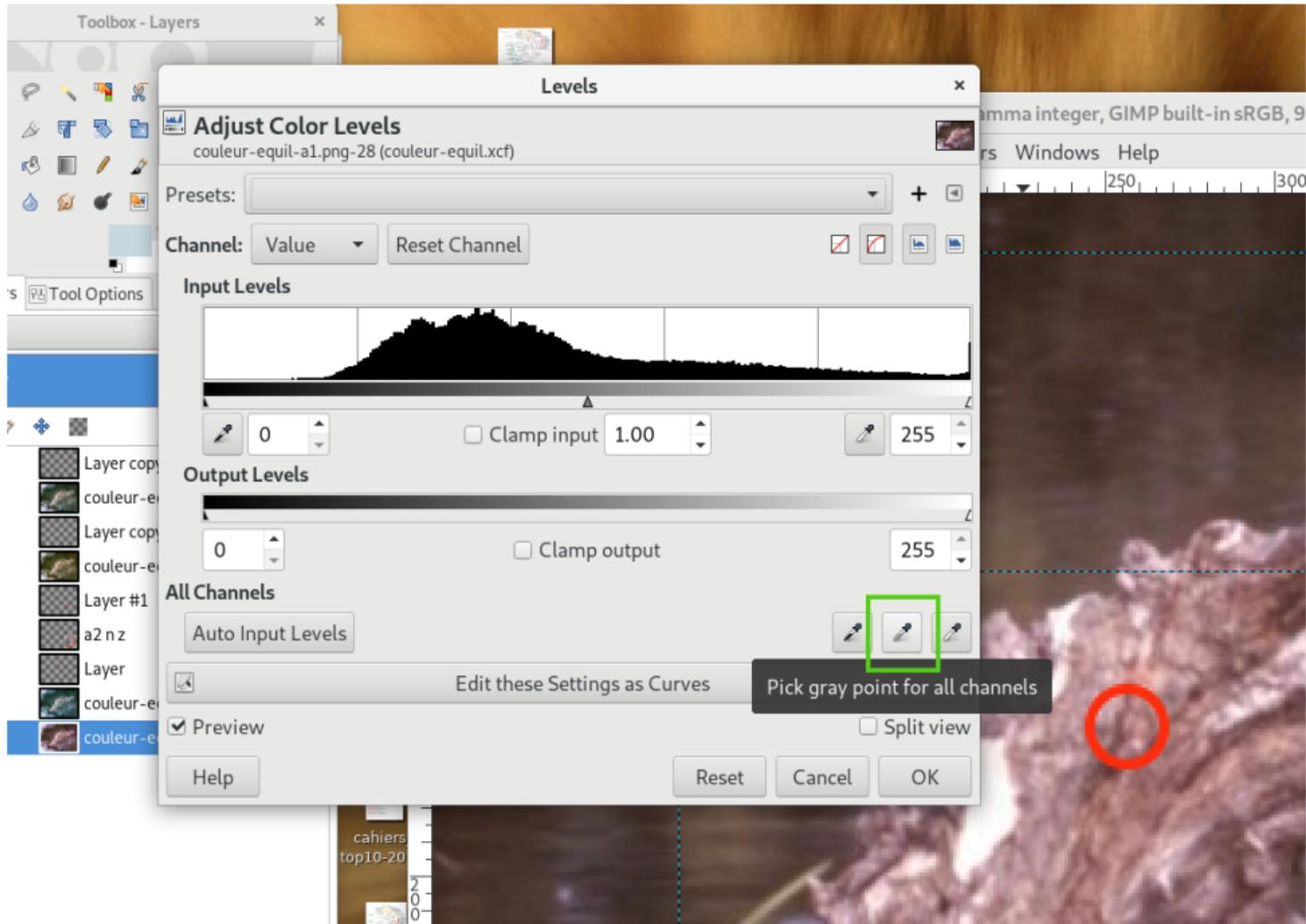
$$\left\{ \begin{array}{l} r' = r^{\frac{1}{\gamma_r}} \\ g' = r^{\frac{1}{\gamma_g}} \\ b' = r^{\frac{1}{\gamma_b}} \end{array} \right.$$

avec

$$\gamma_r = \frac{\log \bar{r}}{\log n}$$

$$\gamma_g = \frac{\log \bar{g}}{\log n}$$

$$\gamma_b = \frac{\log \bar{b}}{\log n}$$



★ Transformation chromatique avec changement d'espace

On transforme une image I en une image I' en appliquant à chaque couleur (r, g, b) le traitement suivant :

$$\begin{aligned}(r, g, b) &\rightarrow (l, c, h) && \text{coordonnées de } (r, g, b) \text{ dans le système Lch} \\ (k \times r, g, b) &\rightarrow (l', c', h') && \text{avec } 0 \leq k < 1 \\ (l, c', h') &\rightarrow (r', g', b')\end{aligned}$$

A	assombrit la composante rouge en préservant les autres composantes
B	désature la composante rouge en préservant les autres composantes
C	modifie la teinte de l'image vers le cyan et préserve la clarté
D	modifie la teinte de l'image vers le cyan et préserve la saturation

★ Transformation chromatique avec changement d'espace

On transforme une image I en une image I' en appliquant à chaque couleur (r, g, b) le traitement suivant :

$$\begin{aligned}(r, g, b) &\rightarrow (l, c, h) && \text{coordonnées de } (r, g, b) \text{ dans le système Lch} \\ (k \times r, g, b) &\rightarrow (l', c', h') && \text{avec } 0 \leq k < 1 \\ (l, c', h') &\rightarrow (r', g', b')\end{aligned}$$

A	assombrit la composante rouge en préservant les autres composantes
B	désature la composante rouge en préservant les autres composantes
C	modifie la teinte de l'image vers le cyan et préserve la clarté
D	modifie la teinte de l'image vers le cyan et préserve la saturation

★ Transformation chromatique avec changement d'espace



$$(r, g, b) \longleftrightarrow (l, c, h)$$

★ Transformation chromatique avec changement d'espace



$$(0.75 \times r, g, b) \longleftrightarrow (l', c', h')$$

★ Transformation chromatique avec changement d'espace



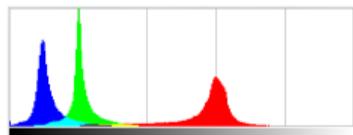
$$(r', g', b') \longleftrightarrow (l, c', h')$$

★ Transformation chromatique avec changement d'espace



$$(r', g', b') \longleftrightarrow (l, c', h')$$

★ Égalisation d'histogramme d'image couleur



1



2



3



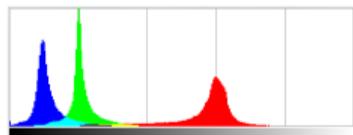
4



Les images 1 à 4 résultent d'une égalisation histogramme sur certains canaux de l'image ci-dessus. De quel canal ou quels canaux s'agit-il pour chaque image ?

	1	2	3	4		1	2	3	4
A	R	RB	V	RGB	C	R	RGB	RB	V
B	V	RB	RGB	R	D	R	RB	RGB	V

★ Égalisation d'histogramme d'image couleur



1



2



3



4



Les images 1 à 4 résultent d'une égalisation histogramme sur certains canaux de l'image ci-dessus. De quel canal ou quels canaux s'agit-il pour chaque image ?

	1	2	3	4		1	2	3	4
A	R	RB	V	RGB	C	R	RGB	RB	V
B	V	RB	RGB	R	D	R	RB	RGB	V

5. Rehaussement de contraste d'une image couleur

5.1. Extension de l'égalisation d'histogramme monochrome

- ▶ mise en œuvre **marginale** RGB de l'égalisation d'histogramme : *pour chaque canal*
 - ▶ construction de l'histogramme cumulé normalisé
 - ▶ application de la transformation

$$(r, g, b) \mapsto (EH_I^R(r), EH_I^G(g), EH_I^B(b))$$

- ▶ modifie l'équilibre des canaux

- ▶ *alternative : mise en œuvre dans sur un canal achromatique, par exemple H de HSV*
 - ▶ respecte mieux l'équilibre des canaux

$$(r, g, b) \mapsto (h, s, v) \mapsto (h, s, EH_I^V(v)) \mapsto (r', g', b')$$



5. Rehaussement de contraste d'une image couleur

5.1. Extension de l'égalisation d'histogramme monochrome

- ▶ mise en œuvre **marginale** RGB de l'égalisation d'histogramme : *pour chaque canal*
 - ▶ construction de l'histogramme cumulé normalisé
 - ▶ application de la transformation

$$(r, g, b) \mapsto (EH_I^R(r), EH_I^G(g), EH_I^B(b))$$

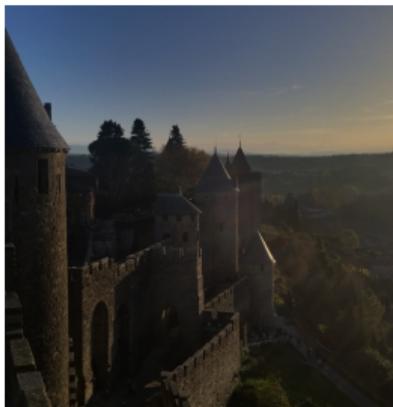
- ▶ modifie l'équilibre des canaux
- ▶ *alternative : mise en œuvre dans sur un canal achromatique, par exemple H de HSV*
 - ▶ respecte mieux l'équilibre des canaux

$$(r, g, b) \mapsto (h, s, v) \mapsto (h, s, EH_I^V(v)) \mapsto (r', g', b',)$$



○ Résultats instables

- ▶ dépendants de l'espace de couleurs utilisé
- ▶ dépendants des caractéristiques de chaque image



RGB : EH par canal



HSV : EH sur V



HLS : EH sur L



Lab : EH sur CIE-L

▶ autre exemple

- ▶ effets de saturation ou désaturation
- ▶ distorsions globales ou locales



RGB : EH par canal



HSV : EH sur V



HLS : EH sur L

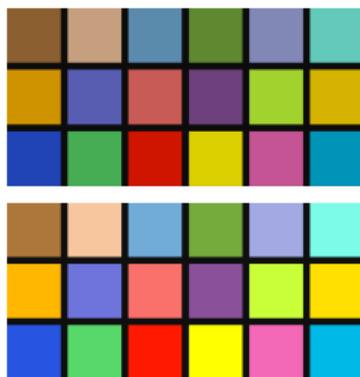
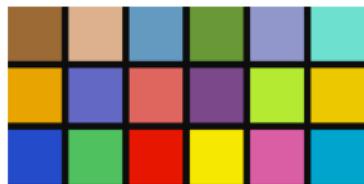


Lab : EH sur CIE-L

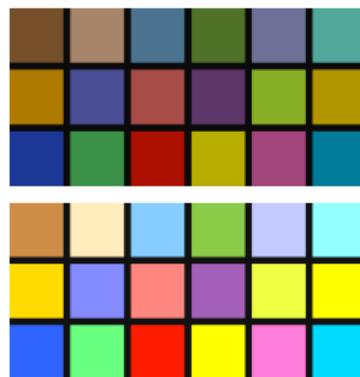
5.2. Recherche d'une solution vectorielle

- ▶ propriété préservant la corrélation entre les canaux
- ▶ solution simple, multiplier par un même facteur
- ▶ aux troncatures près (valeurs sortant de l'intervalle $[0..I_{max}]$), l'équilibre chromatique est préservé

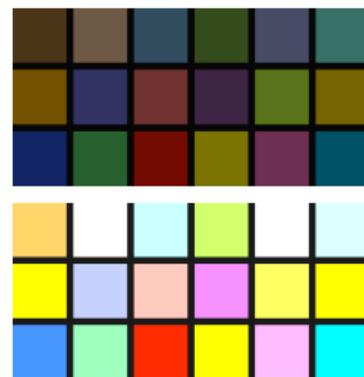
$$\forall p, \begin{pmatrix} r'_p \\ g'_p \\ b'_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_p \times r_p \\ a_p \times g_p \\ a_p \times b_p \end{pmatrix}$$



$a = 0.9$ et $1.111 \dots$

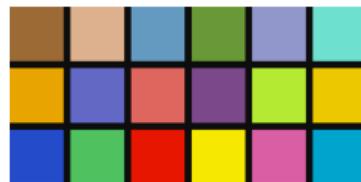


$a = 0.75$ et $1.333 \dots$



$a = 0.5$ et 2

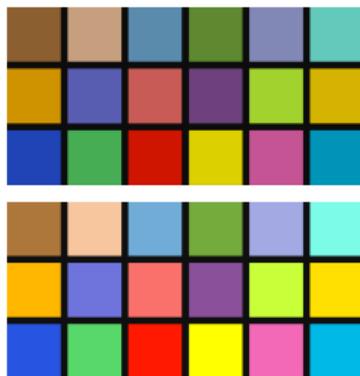
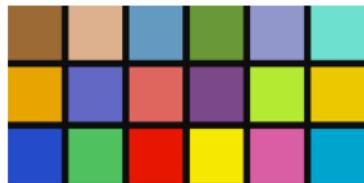
- ▶ couleurs modifiées selon une valeur de a en progression croissante pour chaque bande verticale



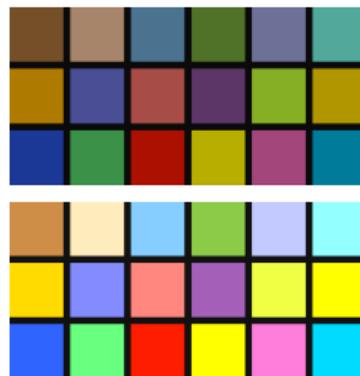
5.2. Recherche d'une solution vectorielle

- ▶ propriété préservant la corrélation entre les canaux
- ▶ solution simple, multiplier par un même facteur
- ▶ aux troncatures près (valeurs sortant de l'intervalle $[0..I_{max}]$), l'équilibre chromatique est préservé

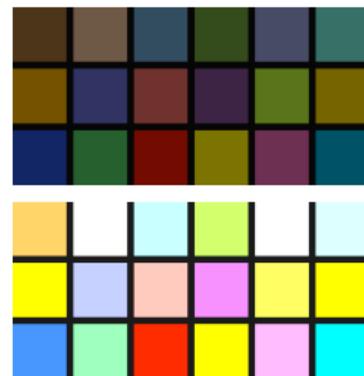
$$\forall p, \begin{pmatrix} r'_p \\ g'_p \\ b'_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_p \times r_p \\ a_p \times g_p \\ a_p \times b_p \end{pmatrix}$$



$a = 0.9$ et $1.111 \dots$

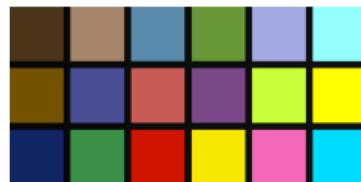


$a = 0.75$ et $1.333 \dots$



$a = 0.5$ et 2

- ▶ couleurs modifiées selon une valeur de a en progression croissante pour chaque bande verticale



► application à l'égalisation d'histogramme :

1. désaturation de l'image à rehausser : $I \longrightarrow I_N$
2. construction de EH_{I_N} , l'égalisation d'histogramme de I_N $(I'_N = EH_{I_N}(I_N))$
3. pour tout point p on note k_p le coefficient t.q. $I'_N(p) = k_p \times I_N(p)$

$$\forall p, k_p = \frac{EH(I_N(p))}{I_N(p)}$$

4. pour chaque point p de couleur (r_p, g_p, b_p) on applique k_p sur chaque canal :
 - $n_p = I_N(p)$ et $n'_p = EH_{I_N}(n_p)$
 - $k_p = \frac{n'_p}{n_p}$
 - $m_p = \max(r_p, g_p, b_p)$ (gestion des débordements)
 - si $(k_p m_p > 255)$ alors $k_p = \frac{255}{m_p}$
 - $p' = (k_p r_p, k_p g_p, k_p b_p)$

► application à l'égalisation d'histogramme :

1. désaturation de l'image à rehausser : $I \longrightarrow I_N$
2. construction de EH_{I_N} , l'égalisation d'histogramme de I_N $(I'_N = EH_{I_N}(I_N))$
3. pour tout point p on note k_p le coefficient t.q. $I'_N(p) = k_p \times I_N(p)$

$$\forall p, k_p = \frac{EH(I_N(p))}{I_N(p)}$$

4. pour chaque point p de couleur (r_p, g_p, b_p) on applique k_p sur chaque canal :
 - $n_p = I_N(p)$ et $n'_p = EH_{I_N}(n_p)$
 - $k_p = \frac{n'_p}{n_p}$
 - $m_p = \max(r_p, g_p, b_p)$ (gestion des débordements)
 - si $(k_p m_p > 255)$ alors $k_p = \frac{255}{m_p}$
 - $p' = (k_p r_p, k_p g_p, k_p b_p)$

► application à l'égalisation d'histogramme :

1. désaturation de l'image à rehausser : $I \longrightarrow I_N$
2. construction de EH_{I_N} , l'égalisation d'histogramme de I_N $(I'_N = EH_{I_N}(I_N))$
3. pour tout point p on note k_p le coefficient t.q. $I'_N(p) = k_p \times I_N(p)$

$$\forall p, k_p = \frac{EH(I_N(p))}{I_N(p)}$$

4. pour chaque point p de couleur (r_p, g_p, b_p) on applique k_p sur chaque canal :

► $n_p = I_n(p)$ et $n'_p = EH_{I_N}(n_p)$

► $k_p = \frac{n'_p}{n_p}$

► $m_p = \max(r_p, g_p, b_p)$ (gestion des débordements)

► si $(k_p m_p > 255)$ alors $k_p = \frac{255}{m_p}$

► $p' = (k_p r_p, k_p g_p, k_p b_p)$

► application à l'égalisation d'histogramme :

1. désaturation de l'image à rehausser : $I \longrightarrow I_N$
2. construction de EH_{I_N} , l'égalisation d'histogramme de I_N ($I'_N = EH_{I_N}(I_N)$)
3. pour tout point p on note k_p le coefficient t.q. $I'_N(p) = k_p \times I_N(p)$

$$\forall p, k_p = \frac{EH(I_N(p))}{I_N(p)}$$

4. pour chaque point p de couleur (r_p, g_p, b_p) on applique k_p sur chaque canal :

► $n_p = I_n(p)$ et $n'_p = EH_{I_N}(n_p)$

► $k_p = \frac{n'_p}{n_p}$

► $m_p = \max(r_p, g_p, b_p)$ (gestion des débordements)

► si $(k_p m_p > 255)$ alors $k_p = \frac{255}{m_p}$

► $p' = (k_p r_p, k_p g_p, k_p b_p)$

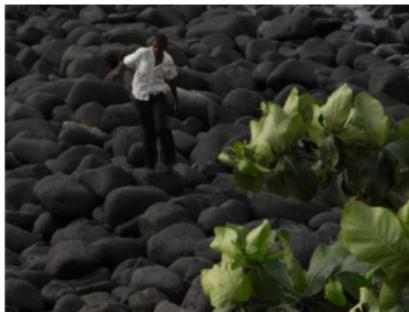
► application à l'égalisation d'histogramme :

1. désaturation de l'image à rehausser : $I \longrightarrow I_N$
2. construction de EH_{I_N} , l'égalisation d'histogramme de I_N ($I'_N = EH_{I_N}(I_N)$)
3. pour tout point p on note k_p le coefficient t.q. $I'_N(p) = k_p \times I_N(p)$

$$\forall p, k_p = \frac{EH(I_N(p))}{I_N(p)}$$

4. pour chaque point p de couleur (r_p, g_p, b_p) on applique k_p sur chaque canal :
 - $n_p = I_n(p)$ et $n'_p = EH_{I_N}(n_p)$
 - $k_p = \frac{n'_p}{n_p}$
 - $m_p = \max(r_p, g_p, b_p)$ (gestion des débordements)
 - si $(k_p m_p > 255)$ alors $k_p = \frac{255}{m_p}$
 - $p' = (k_p r_p, k_p g_p, k_p b_p)$

▶ exemples



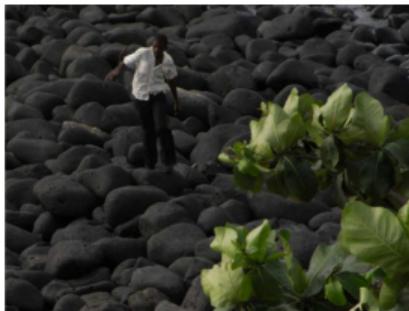
RGB



V



▶ exemples

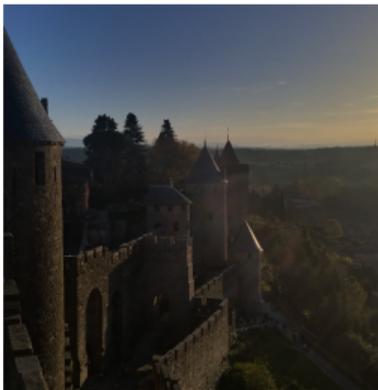


V



α_p





EH marginale RGB



EH marginale V (HSV)



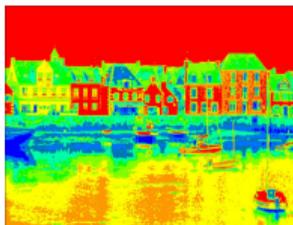
EH vectorielle



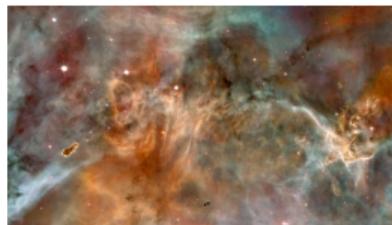
6. Colorisation

6.1. Problématique

- ▶ pseudo-couleurs : $[0, M] \rightarrow [0, M]^3$
- ▶ fausses couleurs : $[0, M] \times \dots \times [0, M] \rightarrow [0, M]^3$

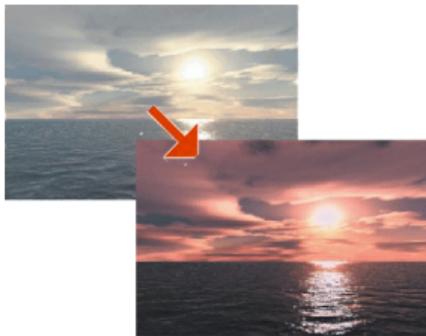


pseudo-couleurs



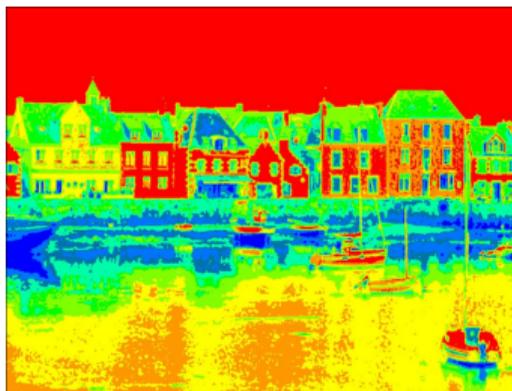
fausses couleurs

- ▶ transfert de couleurs



6.2. Visualisation en pseudo-couleur d'image monochrome

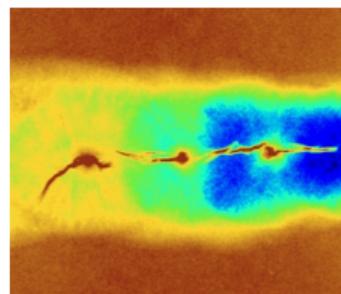
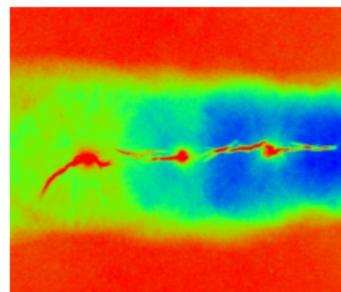
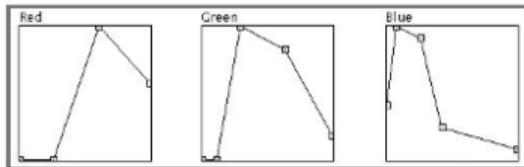
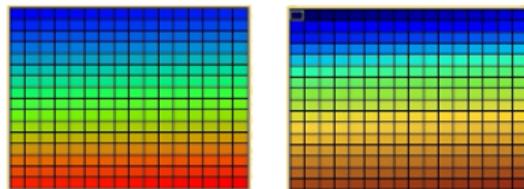
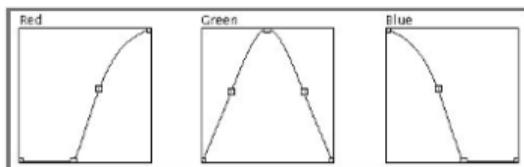
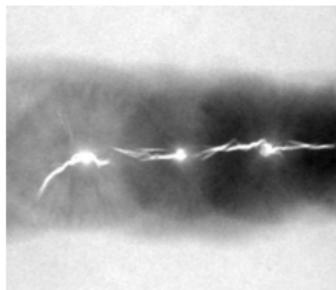
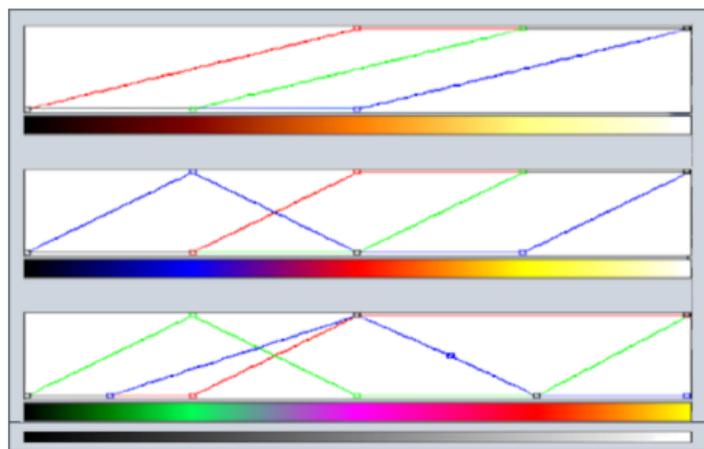
- ▶ niveau de gris \rightarrow couleur : $[0, M] \rightarrow [0, M] \times [0, M] \times [0, M]$



- ▶ la vision humaine distingue dans une image
 - ▶ une trentaine de niveaux de gris
 - ▶ plusieurs centaines de couleurs
- ▶ accentuation du contraste inter-régions au détriment du *gestalt*

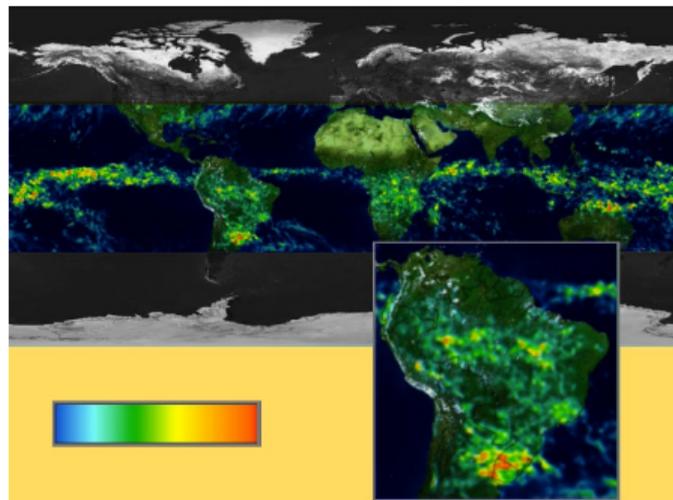
► transformations ponctuelles définies par canal

exemples de transformations utiles :



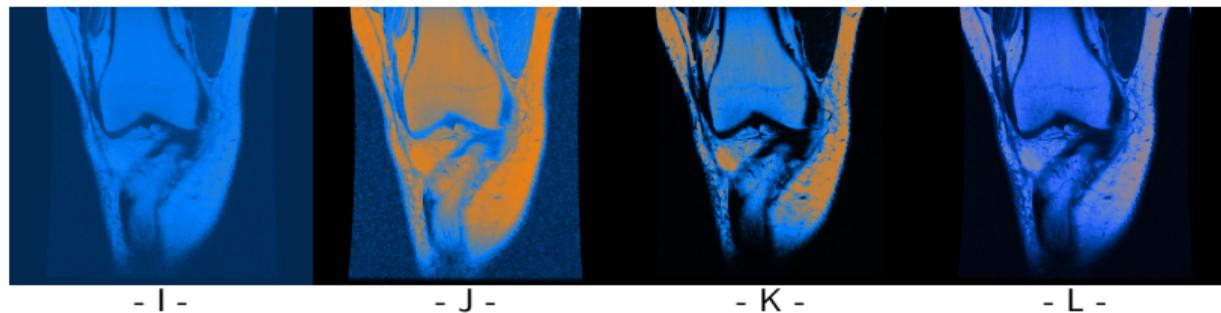
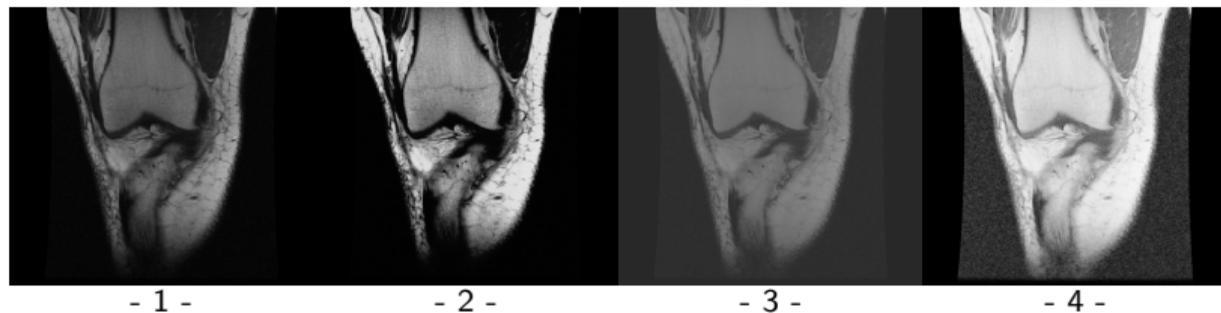
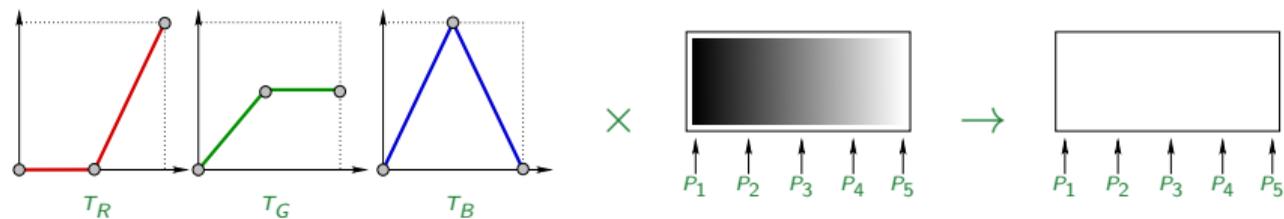
- ▶ palette dédiée : table d'indirection de couleur (LUT)

0 :	c_0
1 :	c_1
2 :	c_2
⋮	
$N - 2 :$	c_{N-2}
$N - 1 :$	c_{N-1}



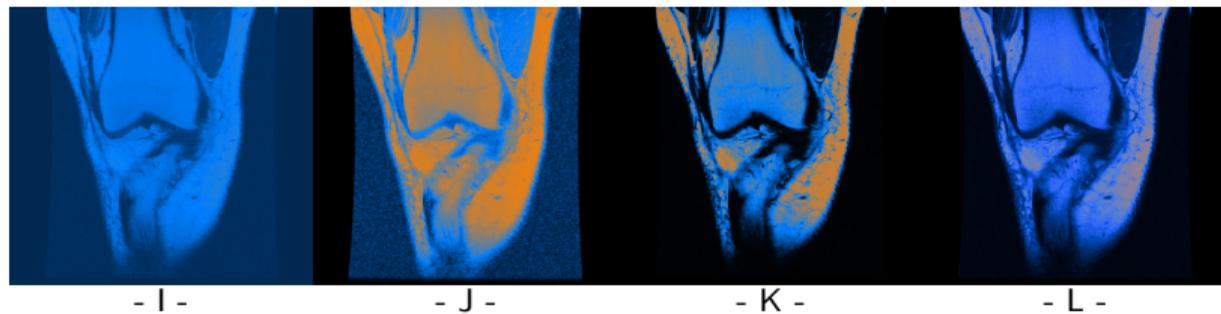
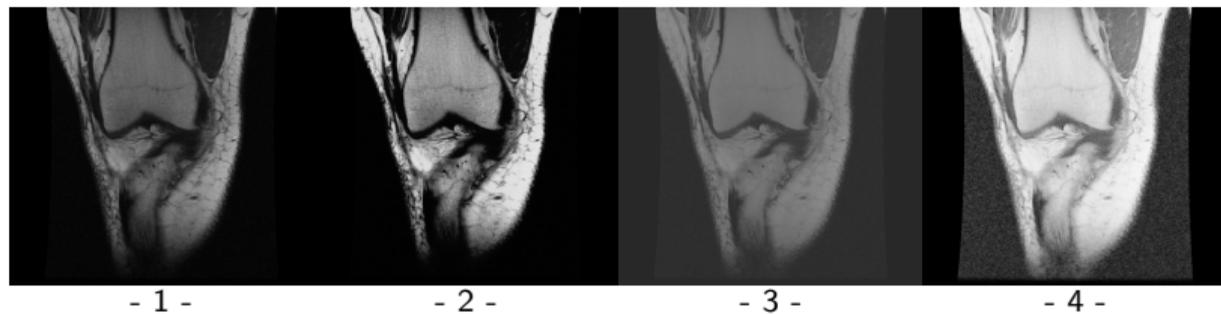
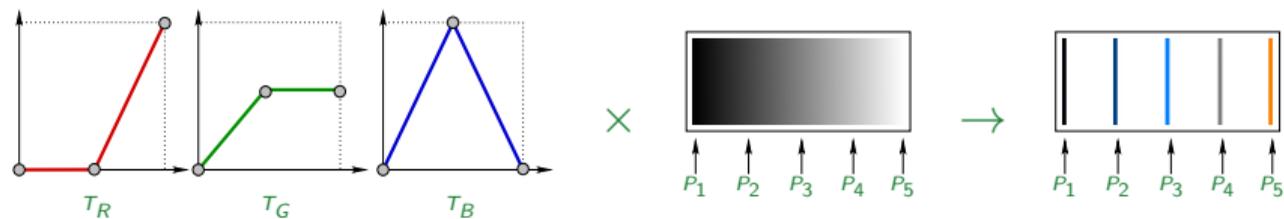
(données pluviométriques)

★ Fausses couleurs



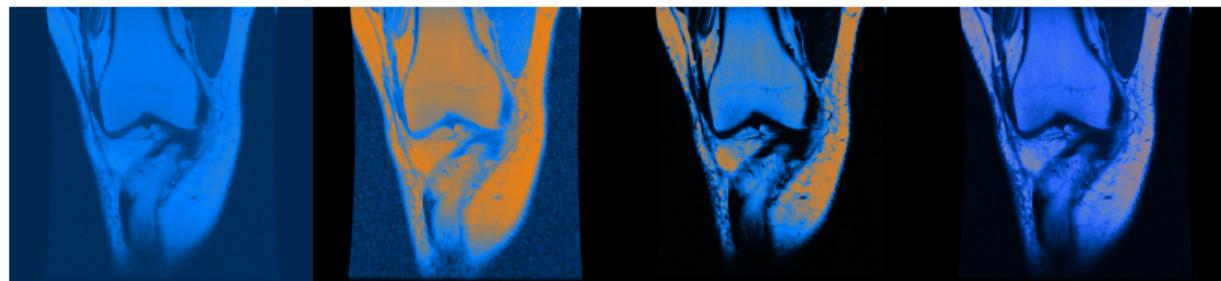
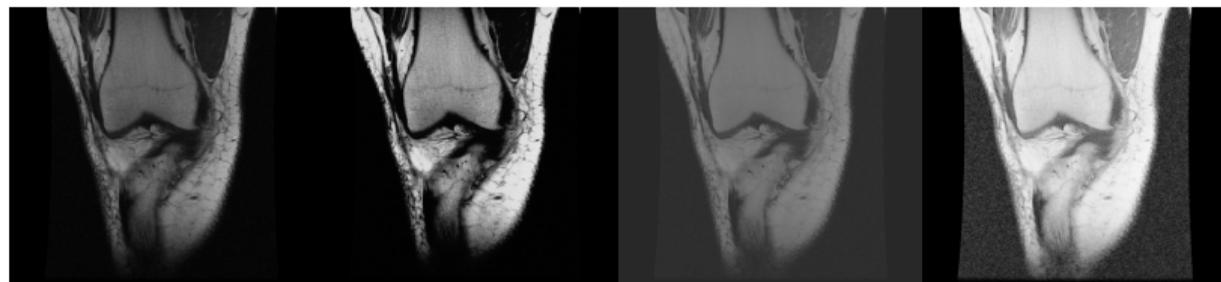
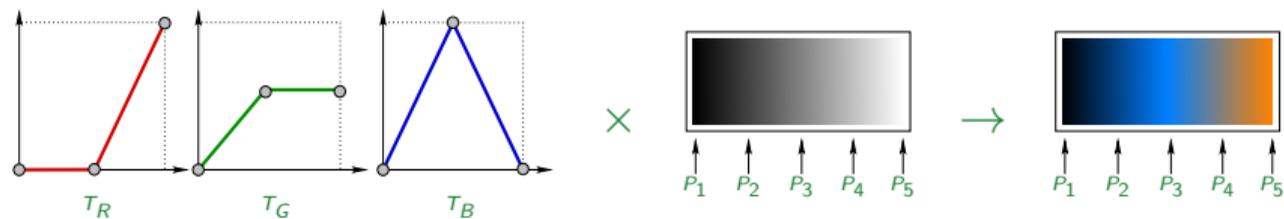
	1	2	3	4
A	L	J	I	K
B	J	L	I	K
C	L	K	I	J
D	K	I	L	J

★ Fausses couleurs



	1	2	3	4
A	L	J	I	K
B	J	L	I	K
C	L	K	I	J
D	K	I	L	J

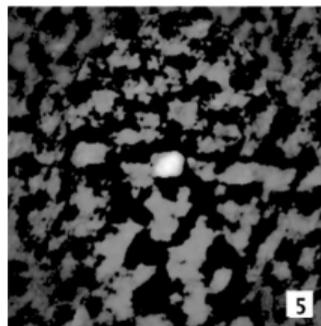
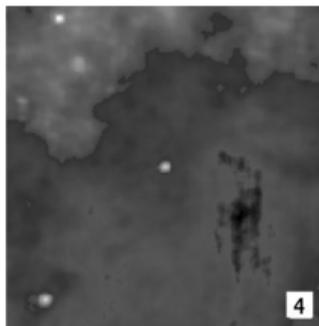
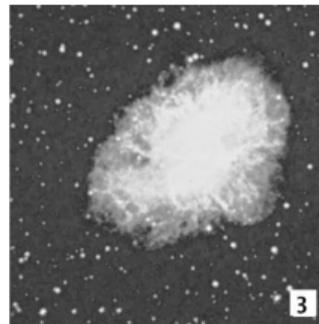
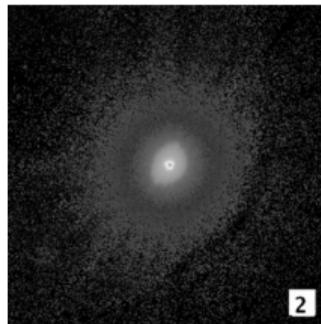
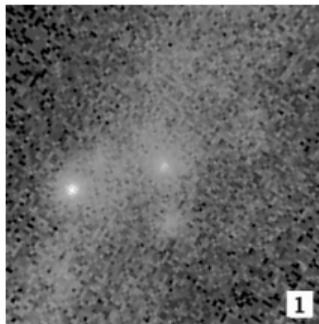
★ Fausses couleurs



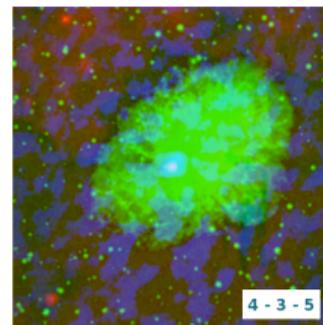
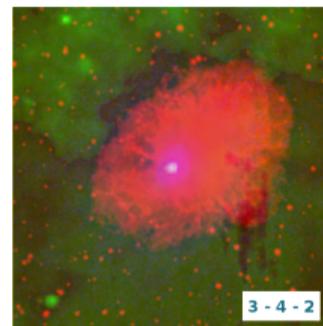
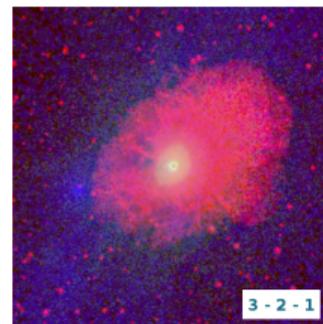
	1	2	3	4
A	L	J	I	K
B	J	L	I	K
C	L	K	I	J
D	K	I	L	J

6.3. Visualisation en fausses couleurs d'images multispectrales

- ▶ acquisition sur différentes bandes du spectre électromagnétique
- ▶ combinaison RGB de bandes spectrales



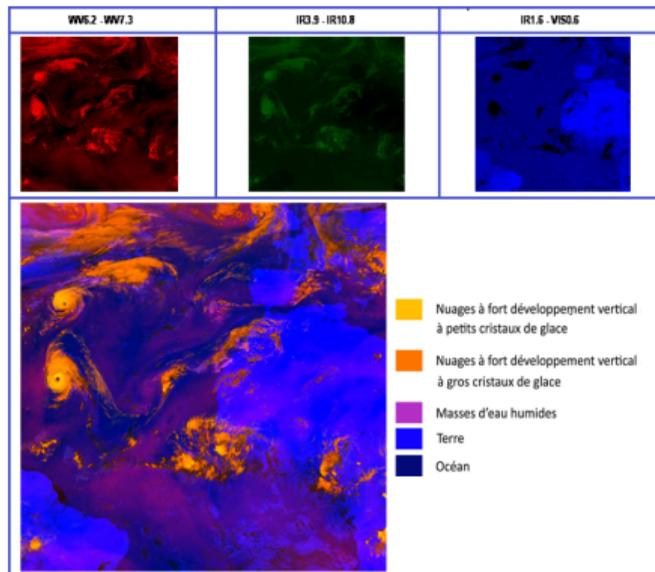
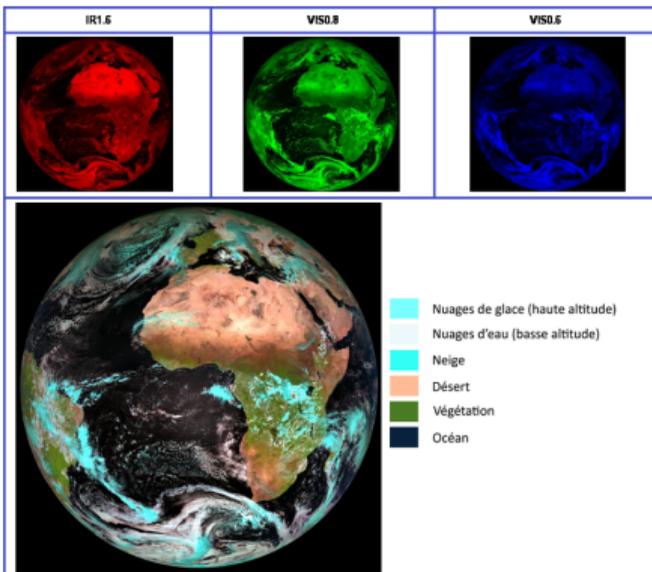
1	rayons gamma
2	rayons X
3	bande optique
4	infrarouge
5	ondes radio



○ Utilisation de palettes dédiées

▶ capteur Seviri du satellite géostationnaire Météosat MSG (ESA)

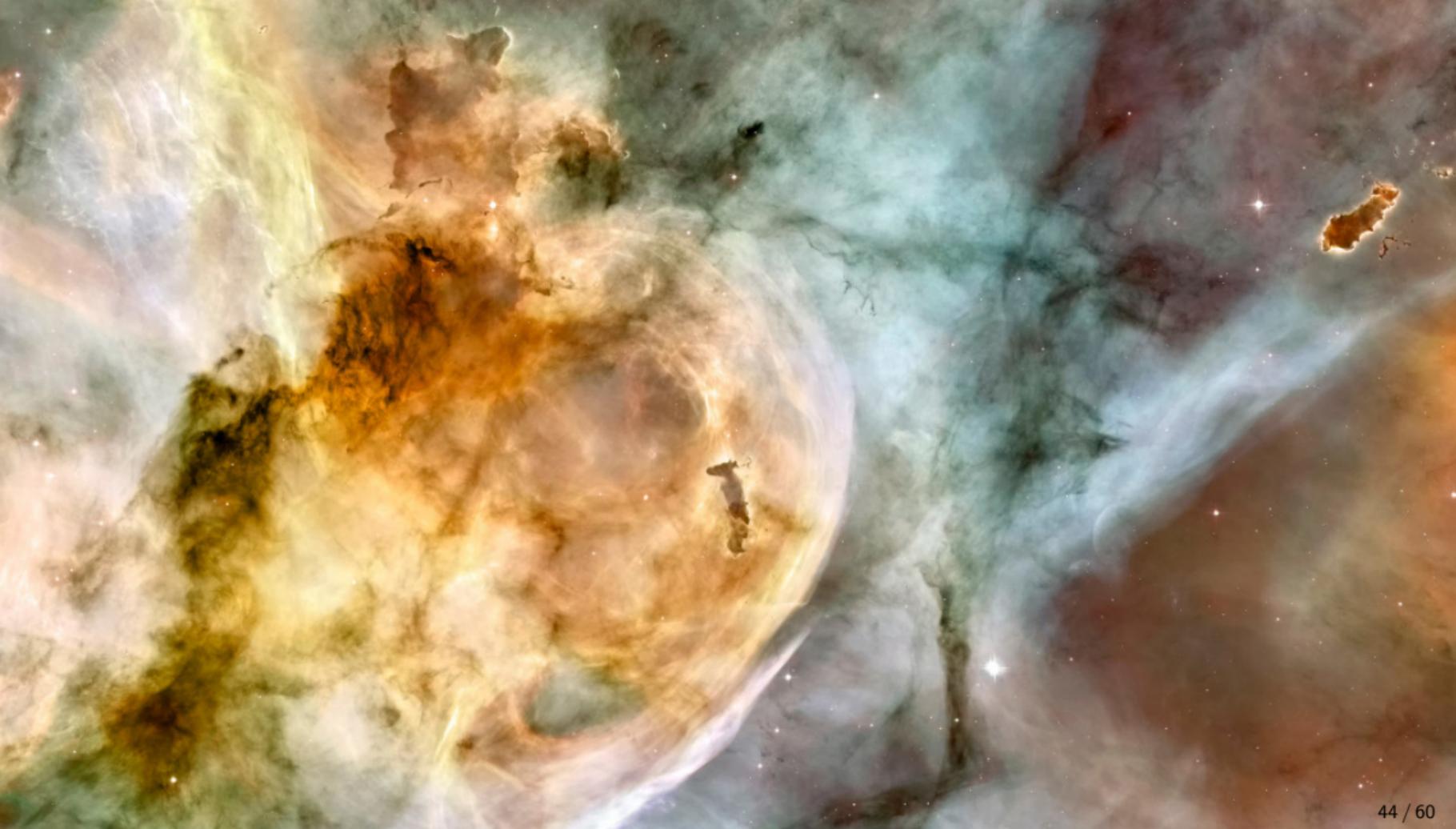
- ▶ *images de l'hémisphère terrestre toutes les trente minutes (météorologie)*
- ▶ *12 bandes spectrales du visible à l'infrarouge thermique*
- ▶ *palettes dédiées à l'interprétation des processus atmosphériques*



▶ télescope spatial Hubble (observation spatiale)

- ▶ *palette Hubble* : filtres sélectionnant des bandes correspondant aux émissions des principaux éléments chimiques de nébuleuses
- ▶ exemple : caméra ACS (2007) –spectre UV / proche infrarouge (image panoramique 29566 × 14321)









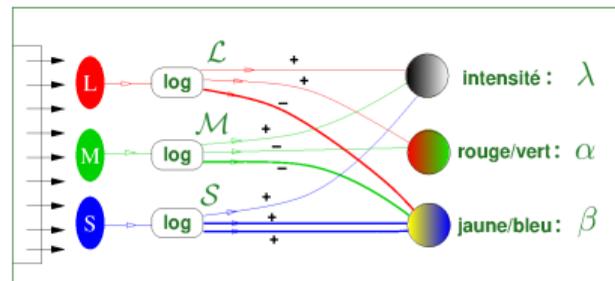


6.4. Transfert de couleurs entre deux images couleurs

- ▶ transfert des couleurs d'une image de référence I_{ref} sur une image I



- ▶ utilisation d'un espace de couleur noté $\lambda\alpha\beta$ reproduisant les caractéristiques du SVH
 - ▶ courbes de sensibilité de la rétine
 - ▶ correction logarithmique
 - ▶ traitement des cellules ganglionnaires
- ▶ transport sur I' des paramètres statistiques des axes λ , α et β de I_{ref}

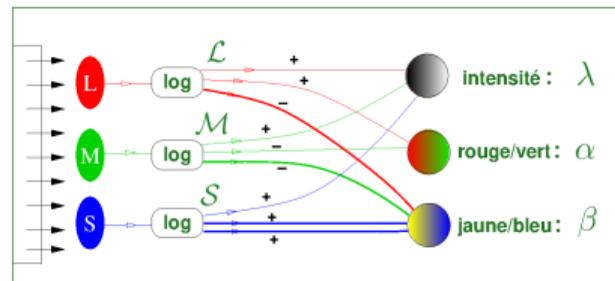


6.4. Transfert de couleurs entre deux images couleurs

- ▶ transfert des couleurs d'une image de référence I_{ref} sur une image I

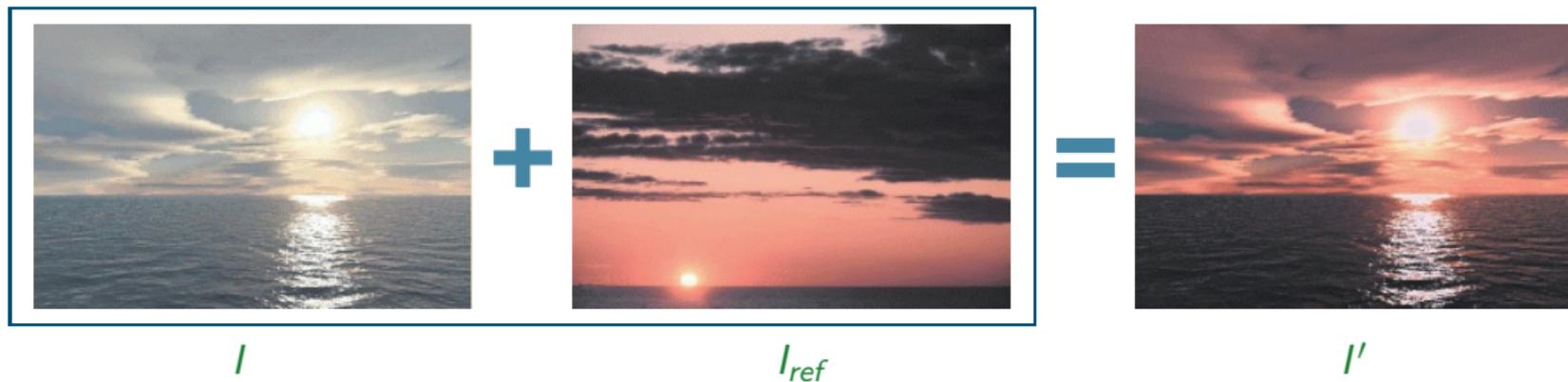


- ▶ utilisation d'un espace de couleur noté $\lambda\alpha\beta$ reproduisant les caractéristiques du SVH
 - ▶ courbes de sensibilité de la rétine
 - ▶ correction logarithmique
 - ▶ traitement des cellules ganglionnaires
- ▶ transport sur I' des paramètres statistiques des axes λ , α et β de I_{ref}

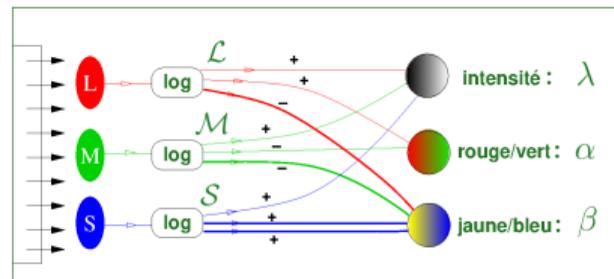


6.4. Transfert de couleurs entre deux images couleurs

- ▶ transfert des couleurs d'une image de référence I_{ref} sur une image I



- ▶ utilisation d'un espace de couleur noté $\lambda\alpha\beta$ reproduisant les **caractéristiques du SVH**
 - ▶ *courbes de sensibilité de la rétine*
 - ▶ *correction logarithmique*
 - ▶ *traitement des cellules ganglionnaires*
- ▶ transport sur I' des **paramètres statistiques** des axes λ , α et β de I_{ref}



– étape 1 : changement d'espace de couleurs

▶ espace (R, G, B) de référence \rightarrow espace (L, M, S) des cônes

$$\begin{pmatrix} L \\ M \\ S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.3811 & 0.5783 & 0.0402 \\ 0.1967 & 0.7244 & 0.0782 \\ 0.0241 & 0.1288 & 0.8444 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

▶ transformation logarithmique : $(L, M, S) \rightarrow (\mathcal{L}, \mathcal{M}, \mathcal{S})$

$$\mathcal{L} = \log L$$

$$\mathcal{M} = \log M$$

$$\mathcal{S} = \log S$$

▶ **décorrélation** (axes achromatique, opposition jaune/bleu, opposition rouge/vert)

$$\begin{pmatrix} \lambda \\ \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{2}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathcal{L} \\ \mathcal{M} \\ \mathcal{S} \end{pmatrix}$$

– étape 2 : transferts des couleurs de I_{ref}

▶ pour chaque canal, successivement λ , α et β

▶ calcul des paramètres statistiques de I_{ref}

moyenne : μ_{ref}

écart type : σ_{ref}

▶ calcul des paramètres statistiques de I

moyenne : μ

écart type : σ

▶ centrage et normalisation des valeurs du canal de I

$$(x - \mu) \frac{1}{\sigma}$$

▶ application des caractéristiques de I_{ref}

▶ *dénormalisation* (multiplication par σ_{ref})

▶ *décentrage* (ajout de μ_{ref})

$$x' = (x - \mu) \frac{\sigma_{ref}}{\sigma} + \mu_{ref}$$

– étape 3 : retour dans l'espace (R, G, B)

▶ $(\lambda, \alpha, \beta) \rightarrow (\mathcal{L}, \mathcal{M}, \mathcal{S})$

$$\begin{pmatrix} \mathcal{L} \\ \mathcal{M} \\ \mathcal{S} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{3} & \frac{\sqrt{6}}{6} & \frac{\sqrt{2}}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{3} & \frac{\sqrt{6}}{6} & -\frac{\sqrt{2}}{2} \\ \frac{\sqrt{3}}{3} & -2\frac{\sqrt{6}}{6} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda \\ \alpha \\ \beta \end{pmatrix}$$

▶ relinéarisation des données

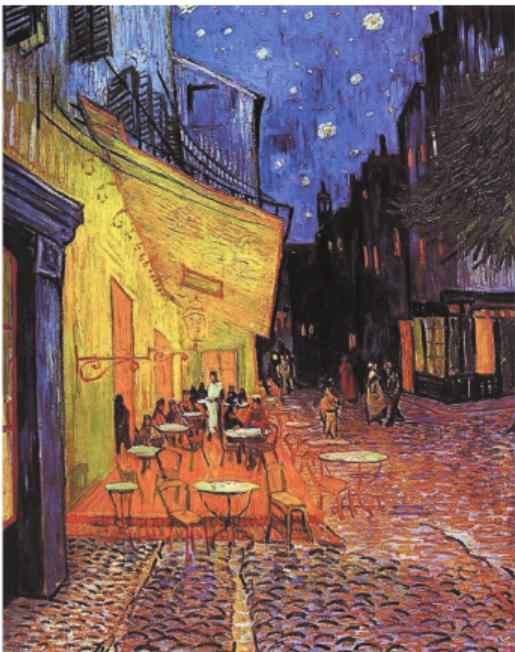
$$L = \exp(\mathcal{L})$$

$$M = \exp(\mathcal{M})$$

$$S = \exp(\mathcal{S})$$

▶ $(L, M, S) \rightarrow (R, G, B)$

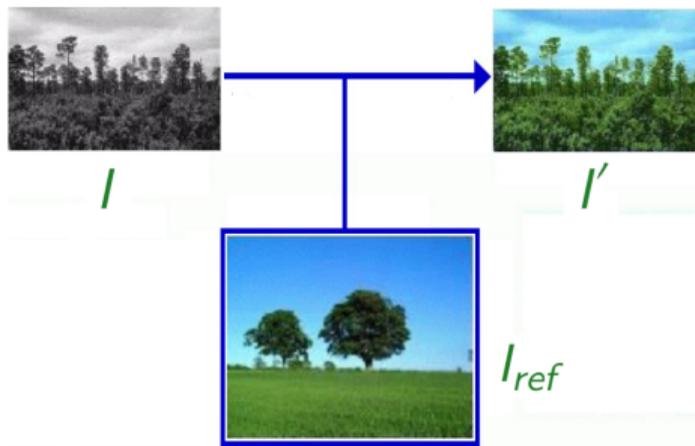
$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4.4679 & -3.5873 & 0.1193 \\ -1.2186 & 2.3809 & -0.1624 \\ 0.0497 & -0.2439 & 1.2045 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} L \\ M \\ S \end{pmatrix}$$



Reinhard, Ashikhmin, Gooch and Shirley, 2001

6.5. Application à la colorisation d'images monochromes

- ▶ application du modèle de transfert
 - ▶ I : image **monochrome** à coloriser
 - ▶ I_{ref} : image **couleur** de référence



- ▶ utilisation de l'espace $\lambda\alpha\beta$
- ▶ recherche de similarités entre l'image monochrome I et le canal λ de I_{ref}
- ▶ transport des composantes chromatiques (α et β) sur les points similaires

- ▶ fonction de **similarité** : écart de luminance et de contraste

$$E(p_1, p_2) = |\Lambda(p_1) - \Lambda(p_2)| + |\sigma(p_1) - \sigma(p_2)|$$

- luminance $\Lambda(p)$: canal λ de I_{ref} et canal (**monochrome**) de I
- contraste $\sigma(p)$: **écart type de luminance** calculé sur un voisinage de p (par exemple 5×5)

- ▶ pour tout pixel p de I

- ▶ chercher p_0 de I_{ref} minimisant $E(p, p_0)$
- ▶ affecter à p la **chrominance** de p_0

$$\begin{aligned}\alpha_p &= \alpha_0 \\ \beta_p &= \beta_0\end{aligned}$$

Remarque : pour accélérer l'algorithme :

- ▶ sélectionner aléatoirement un **échantillonnage** de pixels de référence
- ▶ **précalculer** les critères statistiques

- ▶ fonction de **similarité** : écart de luminance et de contraste

$$E(p_1, p_2) = |\Lambda(p_1) - \Lambda(p_2)| + |\sigma(p_1) - \sigma(p_2)|$$

- luminance $\Lambda(p)$: canal λ de I_{ref} et canal (**monochrome**) de I
- contraste $\sigma(p)$: **écart type de luminance** calculé sur un voisinage de p (par exemple 5×5)

- ▶ **pour tout pixel** p de I
 - ▶ chercher p_0 de I_{ref} minimisant $E(p, p_0)$
 - ▶ affecter à p la **chrominance** de p_0

$$\begin{aligned}\alpha_p &= \alpha_0 \\ \beta_p &= \beta_0\end{aligned}$$

Remarque : pour accélérer l'algorithme :

- ▶ sélectionner aléatoirement un **échantillonnage** de pixels de référence
- ▶ **précalculer** les critères statistiques



ANNEXE A

Colorisation d'images monochromes par appariement de régions

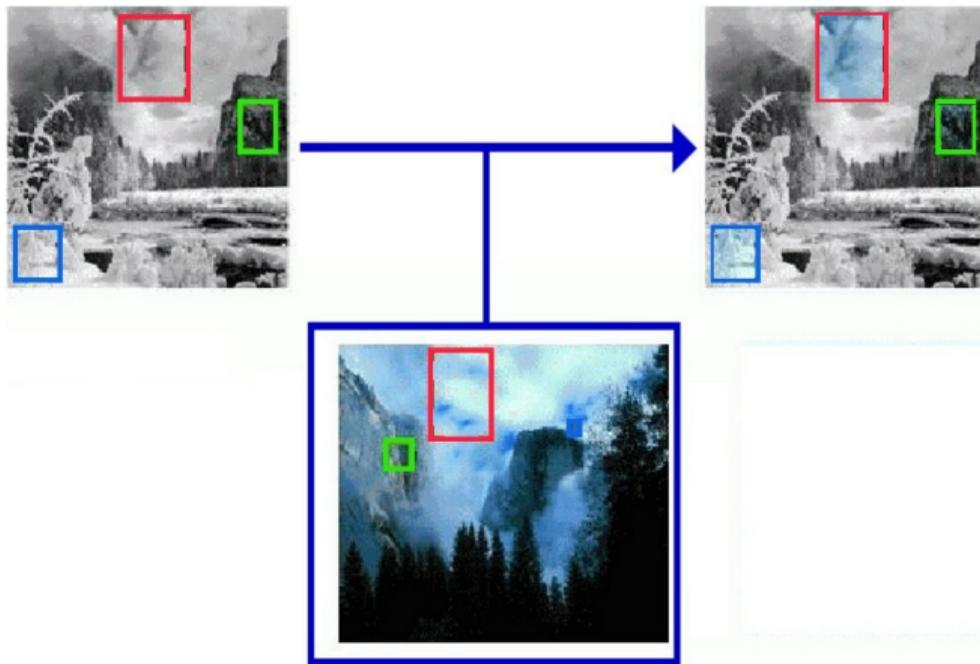
○ Colorisation d'images monochromes par appariement de régions

- ▶ sélection manuelle de paires de régions $r_i, r_{ref,i}$:

$$r_i \subset I$$

$$r_{ref,i} \subset I_{ref}$$

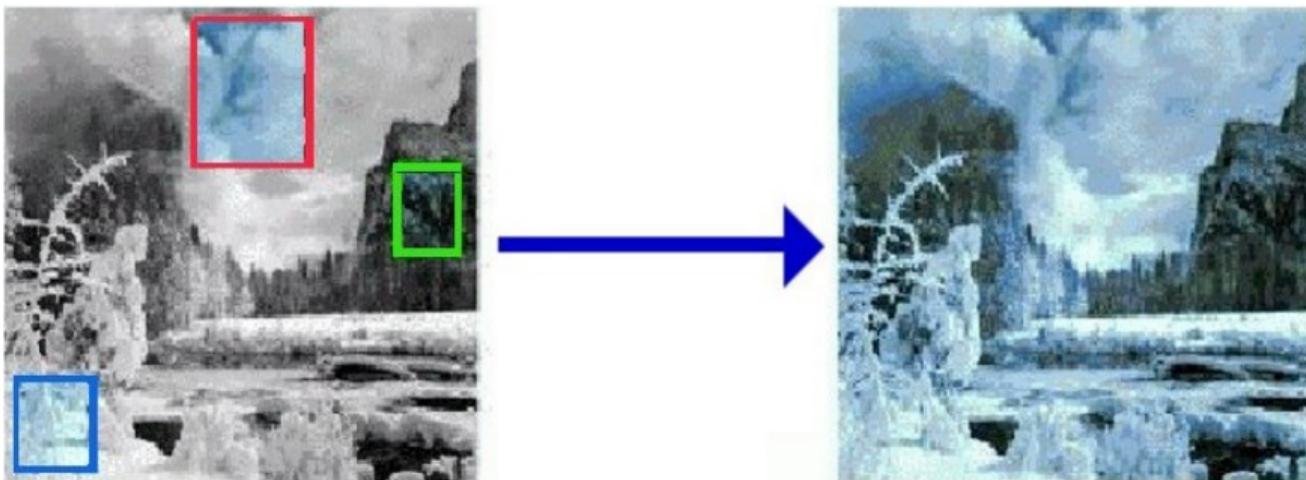
- ▶ colorisation de chaque région r_i par référence à $r_{ref,i}$

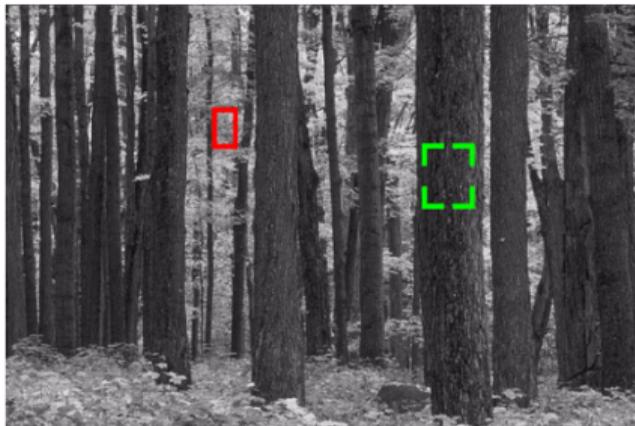


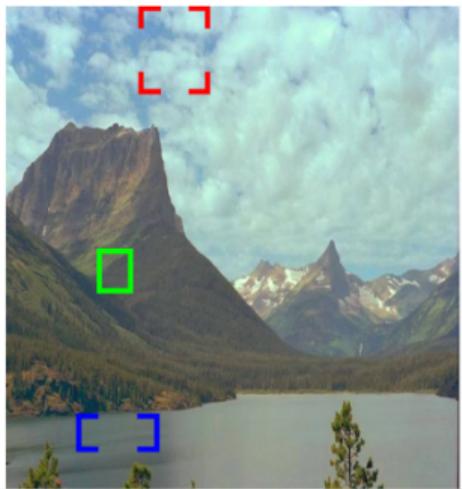
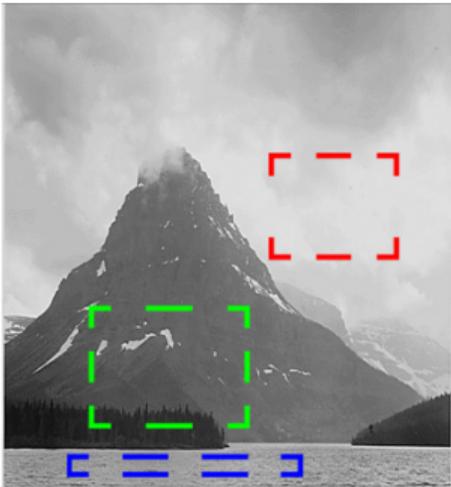
- ▶ construction d'un **échantillonnage des points colorisés de I**
- ▶ colorisation des points restants par référence aux échantillons
- ▶ similarité basé sur un **écart de luminosité moyen** entre points à coloriser et points de l'échantillonnage de référence (calculé sur un voisinage des pixels)

$$E(p, p_{ref}) = \sum_{\vec{q} \in V} \left(\Lambda(p + \vec{q}) - \Lambda(p_{ref} + \vec{q}) \right)^2$$

- V : voisinage défini par un ensemble de translations \vec{q} autour d'un point p





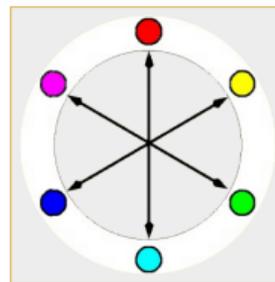


ANNEXE B

Rééquilibrage des canaux de couleur au moyen des axes
d'opposition RGB/CMY

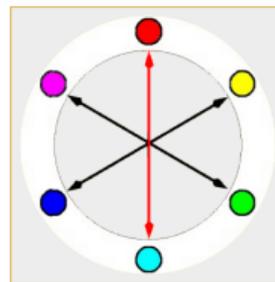
○ Utilisation des axes d'opposition RGB/CMY

- ▶ axes d'opposition couleurs primaires / couleurs complémentaires
- ▶ décalage des couleurs selon chaque axes
 - ▶ *cyan / rouge*
 - ▶ *magenta / vert*
 - ▶ *jaune / bleu*



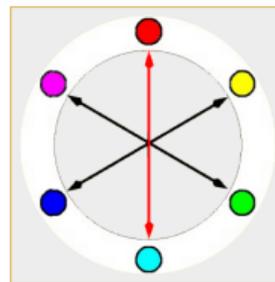
○ Utilisation des axes d'opposition RGB/CMY

- ▶ axes d'opposition couleurs primaires / couleurs complémentaires
- ▶ décalage des couleurs selon chaque axes
 - ▶ *cyan / rouge*
 - ▶ *magenta / vert*
 - ▶ *jaune / bleu*



○ Utilisation des axes d'opposition RGB/CMY

- ▶ axes d'opposition couleurs primaires / couleurs complémentaires
- ▶ décalage des couleurs selon chaque axes
 - ▶ *cyan / rouge*
 - ▶ *magenta / vert*
 - ▶ *jaune / bleu*



- ▶ méthode implémentée dans Gimp (version ≥ 2.0)
pour chaque canal $c = r, g, b$ (normalisés sur $[0, 1]$), un triplet de coefficients $\alpha_L^c, \alpha_M^c, \alpha_H^c$ (variant sur $[-1, 1]$) paramètre le **décalage** entre c et sa complémentaire, en **fonction de la luminosité** l_c de c (faible, moyenne ou élevée).

$$c' = \tau_{0,1} \left(c + \alpha_L^c * F_L(l_c) + \alpha_M^c * F_M(l_c) + \alpha_H^c * F_H(l_c) \right)$$

$$\forall x \in [0, 1], \quad F_L(x) + F_M(x) + F_H(x) = K$$

- ▶ fonctions de pondération par la luminosité :

$$F_L(x) = K \times \tau_{0,1} \left(-4 \left(x - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{2} \right)$$

$$F_H(x) = K \times \tau_{0,1} \left(4 \left(x - \frac{2}{3} \right) + \frac{1}{2} \right)$$

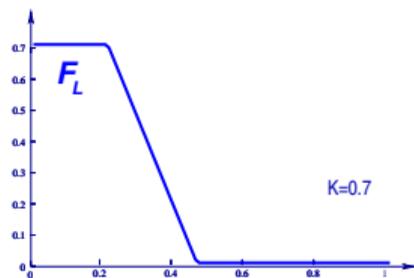
$$F_M(x) = K \times \tau_{0,1} \left(4 \left(x - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{2} \right) \times \tau_{0,1} \left(-4 \left(x - \frac{2}{3} \right) + \frac{1}{2} \right)$$

- ▶ méthode implémentée dans Gimp (version ≥ 2.0)
pour chaque canal $c = r, g, b$ (normalisés sur $[0, 1]$), un triplet de coefficients $\alpha_L^c, \alpha_M^c, \alpha_H^c$ (variant sur $[-1, 1]$) paramètre le **décalage** entre c et sa complémentaire, en **fonction de la luminosité** l_c de c (faible, moyenne ou élevée).

$$c' = \tau_{0,1} \left(c + \alpha_L^c * F_L(l_c) + \alpha_M^c * F_M(l_c) + \alpha_H^c * F_H(l_c) \right)$$

$$\forall x \in [0, 1], \quad F_L(x) + F_M(x) + F_H(x) = K$$

- ▶ fonctions de pondération par la luminosité :



$$F_L(x) = K \times \tau_{0,1} \left(-4 \left(x - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{2} \right)$$

$$F_H(x) = K \times \tau_{0,1} \left(4 \left(x - \frac{2}{3} \right) + \frac{1}{2} \right)$$

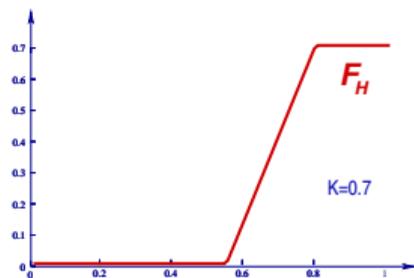
$$F_M(x) = K \times \tau_{0,1} \left(4 \left(x - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{2} \right) \times \tau_{0,1} \left(-4 \left(x - \frac{2}{3} \right) + \frac{1}{2} \right)$$

- ▶ méthode implémentée dans Gimp (version ≥ 2.0)
pour chaque canal $c = r, g, b$ (normalisés sur $[0, 1]$), un triplet de coefficients $\alpha_L^c, \alpha_M^c, \alpha_H^c$ (variant sur $[-1, 1]$) paramètre le **décalage** entre c et sa complémentaire, en **fonction de la luminosité** l_c de c (faible, moyenne ou élevée).

$$c' = \tau_{0,1} \left(c + \alpha_L^c * F_L(l_c) + \alpha_M^c * F_M(l_c) + \alpha_H^c * F_H(l_c) \right)$$

$$\forall x \in [0, 1], \quad F_L(x) + F_M(x) + F_H(x) = K$$

- ▶ fonctions de pondération par la luminosité :



$$F_L(x) = K \times \tau_{0,1} \left(-4 \left(x - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{2} \right)$$

$$F_H(x) = K \times \tau_{0,1} \left(4 \left(x - \frac{2}{3} \right) + \frac{1}{2} \right)$$

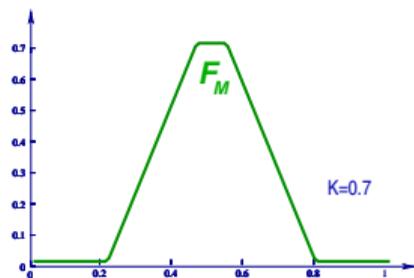
$$F_M(x) = K \times \tau_{0,1} \left(4 \left(x - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{2} \right) \times \tau_{0,1} \left(-4 \left(x - \frac{2}{3} \right) + \frac{1}{2} \right)$$

- ▶ méthode implémentée dans Gimp (version ≥ 2.0)
pour chaque canal $c = r, g, b$ (normalisés sur $[0, 1]$), un triplet de coefficients $\alpha_L^c, \alpha_M^c, \alpha_H^c$ (variant sur $[-1, 1]$) paramètre le **décalage** entre c et sa complémentaire, en **fonction de la luminosité** l_c de c (faible, moyenne ou élevée).

$$c' = \tau_{0,1} \left(c + \alpha_L^c * F_L(l_c) + \alpha_M^c * F_M(l_c) + \alpha_H^c * F_H(l_c) \right)$$

$$\forall x \in [0, 1], \quad F_L(x) + F_M(x) + F_H(x) = K$$

- ▶ fonctions de pondération par la luminosité :



$$F_L(x) = K \times \tau_{0,1} \left(-4 \left(x - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{2} \right)$$

$$F_H(x) = K \times \tau_{0,1} \left(4 \left(x - \frac{2}{3} \right) + \frac{1}{2} \right)$$

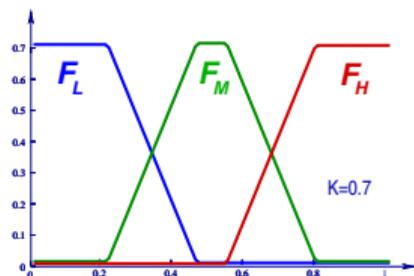
$$F_M(x) = K \times \tau_{0,1} \left(4 \left(x - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{2} \right) \times \tau_{0,1} \left(-4 \left(x - \frac{2}{3} \right) + \frac{1}{2} \right)$$

- ▶ méthode implémentée dans Gimp (version ≥ 2.0)
pour chaque canal $c = r, g, b$ (normalisés sur $[0, 1]$), un triplet de coefficients $\alpha_L^c, \alpha_M^c, \alpha_H^c$ (variant sur $[-1, 1]$) paramètre le **décalage** entre c et sa complémentaire, en **fonction de la luminosité** l_c de c (faible, moyenne ou élevée).

$$c' = \tau_{0,1} \left(c + \alpha_L^c * F_L(l_c) + \alpha_M^c * F_M(l_c) + \alpha_H^c * F_H(l_c) \right)$$

$$\forall x \in [0, 1], \quad F_L(x) + F_M(x) + F_H(x) = K$$

- ▶ fonctions de pondération par la luminosité :

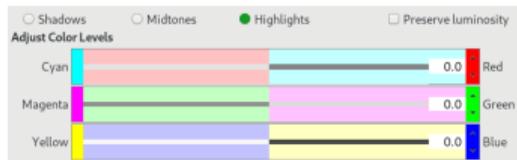


$$F_L(x) = K \times \tau_{0,1} \left(-4 \left(x - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{2} \right)$$

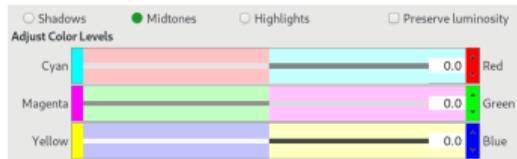
$$F_H(x) = K \times \tau_{0,1} \left(4 \left(x - \frac{2}{3} \right) + \frac{1}{2} \right)$$

$$F_M(x) = K \times \tau_{0,1} \left(4 \left(x - \frac{1}{3} \right) + \frac{1}{2} \right) \times \tau_{0,1} \left(-4 \left(x - \frac{2}{3} \right) + \frac{1}{2} \right)$$

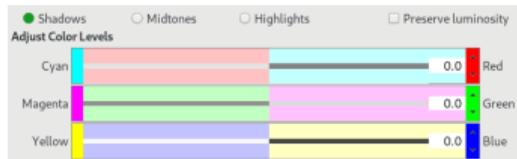
○ Exemples :



$$\alpha_H^r \rightarrow \alpha_H^g \rightarrow \alpha_H^b \rightarrow$$

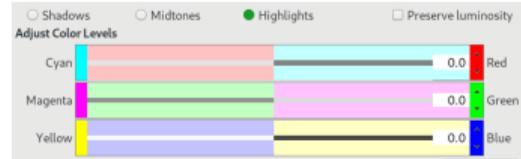


$$\alpha_M^r \rightarrow \alpha_M^g \rightarrow \alpha_M^b \rightarrow$$



$$\alpha_L^r \rightarrow \alpha_L^g \rightarrow \alpha_L^b \rightarrow$$

○ Exemples :



$$\alpha_H^r \rightarrow \quad \alpha_H^g \rightarrow \quad \alpha_H^b \rightarrow$$

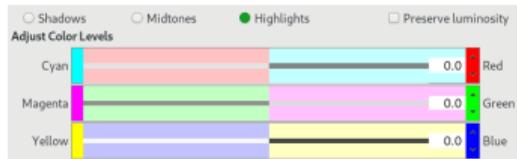
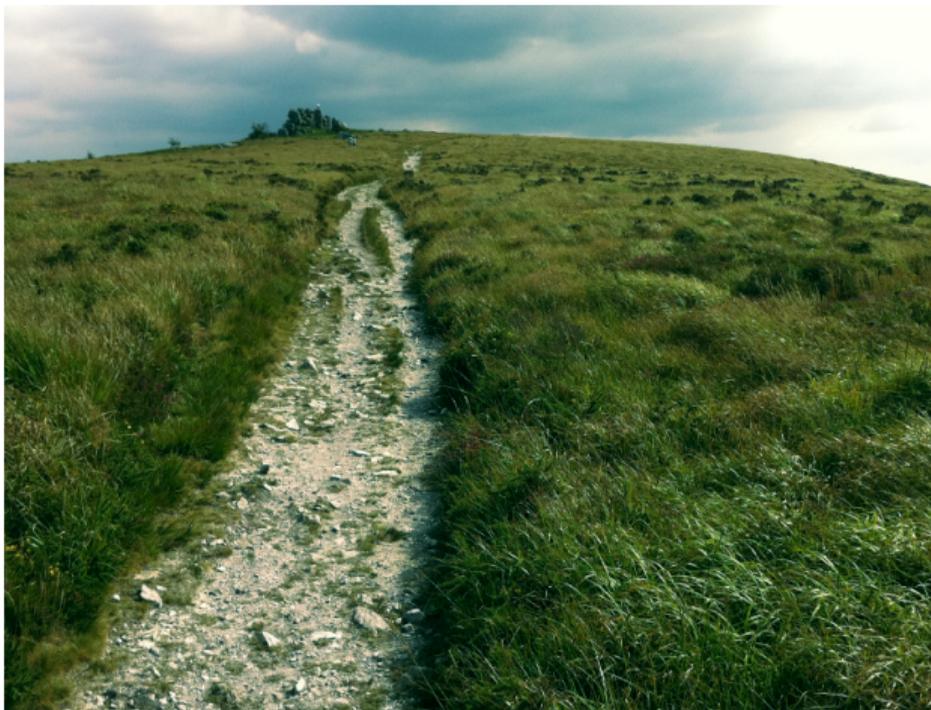


$$\alpha_M^r \uparrow \quad \alpha_M^g \rightarrow \quad \alpha_M^b \rightarrow$$

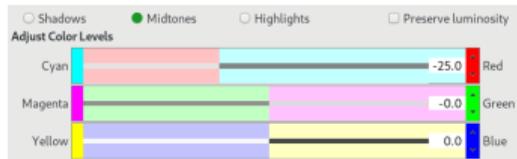


$$\alpha_L^r \uparrow \quad \alpha_L^g \rightarrow \quad \alpha_L^b \rightarrow$$

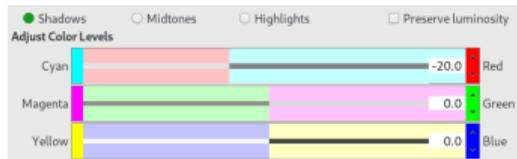
○ Exemples :



$$\alpha_H^r \rightarrow \alpha_H^g \rightarrow \alpha_H^b \rightarrow$$

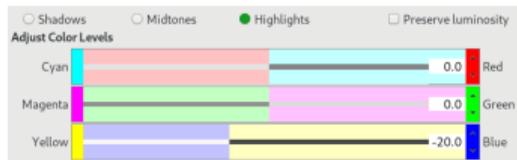


$$\alpha_M^r \downarrow \alpha_M^g \rightarrow \alpha_M^b \rightarrow$$

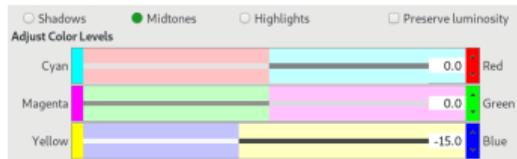


$$\alpha_L^r \downarrow \alpha_L^g \rightarrow \alpha_L^b \rightarrow$$

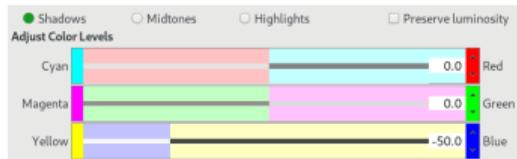
○ Exemples :



$$\alpha_H^r \rightarrow \alpha_H^g \rightarrow \alpha_H^b \downarrow$$

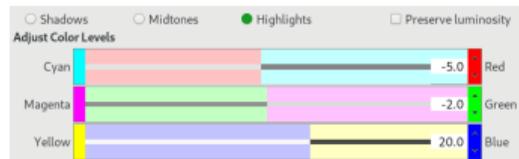


$$\alpha_M^r \rightarrow \alpha_M^g \rightarrow \alpha_M^b \downarrow$$



$$\alpha_L^r \rightarrow \alpha_L^g \rightarrow \alpha_L^b \downarrow$$

○ Exemples :



$$\alpha_H^r \downarrow \quad \alpha_H^g \downarrow \quad \alpha_H^b \uparrow$$



$$\alpha_M^r \rightarrow \quad \alpha_M^g \uparrow \quad \alpha_M^b \downarrow$$



$$\alpha_L^r \downarrow \quad \alpha_L^g \uparrow \quad \alpha_L^b \uparrow$$