

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

Partie C — thème 5

Traitements basés sur la perception

- rôle du cortex visuel
- adaptation chromatique et constance de couleur
- modèle et filtrage retinex

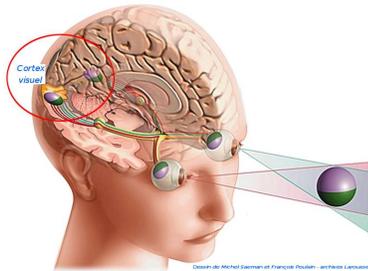


Escher (1960), d'après l'Escalier de Penrose (1958)

1 Traitement cérébral de l'information visuelle

1.1 Les rôle du cortex visuel

- **rétilne** : mesure/codage du flux d'information lumineuse



- cônes :

$$E(\lambda) \longrightarrow \{S, M, L\}$$

- cellules ganglionnaires (modèle de Hering) :

$$\{S, M, L\} \longrightarrow \{BW, GR, BY\}$$

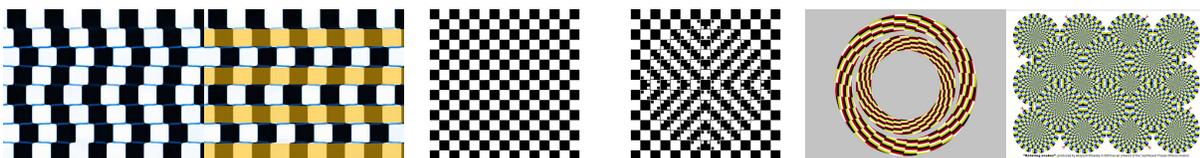
- cortex :

$$\{BW, GR, BY\} \longrightarrow \dots$$

- **cortex visuel** : traitement de l'information visuelle

- système cérébral le plus imposant ($\simeq 5$ milliards de neurones)
- traitement et analyse de l'information visuelle (*correction de couleur, détection de formes, perception du mouvement, etc.*)
- effets difficiles à appréhender (*psychovisuels*)

- **illusions d'optique** : mise en évidence du rôle du cortex visuel



Rétine ou cortex ?

— le cas de la rémanence visuelle : explication historique (Palmer, 1786) : fatigue rétinienne



— phénomène plus complexe lié aux facultés d'adaptation du SVH

- reconfiguration dynamique des processus de vision
- adaptation du SVH aux variations des conditions de formation des images

— adaptation chromatique

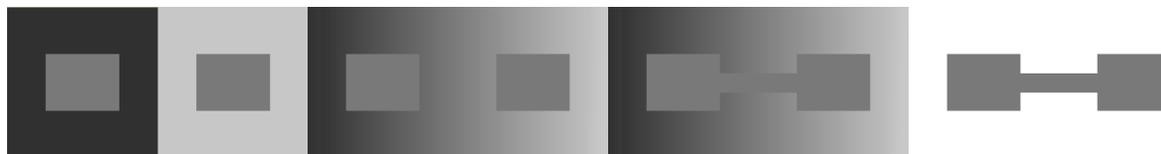
— adaptation au niveau de détail



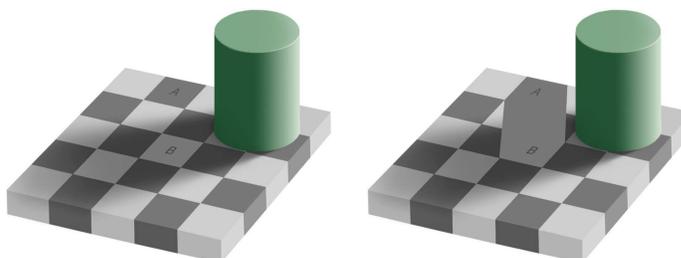
1.2 La perception de la clarté et des teintes est relative

— décalage de la clarté (ou luminosité) perçue d'une région

- vers le clair ou le sombre
- en fonction de celle du fond

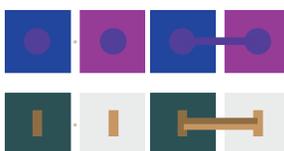


— échiquier d'Adelson : les cases A et B sont de même niveau de gris



1. Est-ce que vous le croyez ?
2. Est-ce que vous parvenez à les voir identiques ?

— décalage de la teinte perçue en fonction de celle du fond



1.3 Loi du contraste simultané



- travaux du chimiste Eugène Chevreul (1786–1889)
- vers 1830, alors directeur de la manufacture des Gobelins, il cherche à améliorer la qualité de teintes de tapisseries
- *plaintes de teinturiers : certaines teintures ne produisent pas les couleurs attendues*
- *cause physico-chimique : défaut de stabilité à la lumière*
- *cause psychovisuelle : interaction entre couleurs voisines*

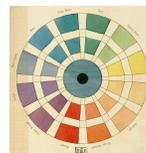
— 1839, publie l'un des livres les plus importants sur la couleur

« Lorsque l'œil perçoit en même temps deux couleurs avoisinantes, elles paraissent aussi dissemblables que possible, tant du point de vue de la composition optique que de leur valeur tonale. »



« C'est une modification qui se passe en nous »

— travaux qui influenceront de nombreux artistes peintres : impressionnistes (Delacroix, Seurat, Signac, Van Gogh), Albers, Matisse, Delaunay, Lohse, Klee...

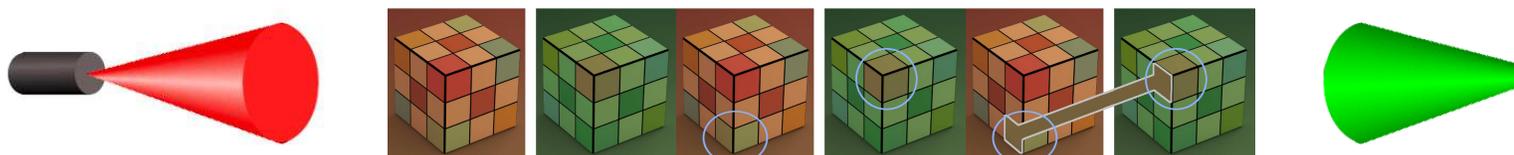


Paul Henry Paul Robert Signac Matisse Klee Delaunay

2 Constance de couleurs

2.1 Adaptation chromatique

- propriété de **contraste simultané** du SVH : manifestation de sa capacité à la **constance des couleurs**
- capacité du SVH à atténuer les variations d'éclairage : perception de chaque couleur **relativement à son environnement spatial**



2.2 Expérience des « Mondrians » (1950)

- phénomène œil/cerveau mis en évidence par Land
- description de l'expérience

- rectangle **bleu** de réflectance $R_b(\lambda)$ éclairé par S_1

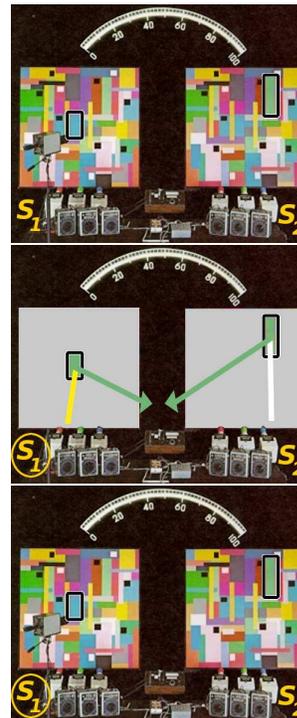
$$\rightarrow S_1(\lambda) \times R_b(\lambda)$$

- rectangle **vert** de réflectance $R_g(\lambda)$ éclairé par S_2

$$\rightarrow S_2(\lambda) \times R_g(\lambda)$$

- S_1 et S_2 : sources de lumière « blanche »

→ rectangle vert et rectangle bleu



- on ajuste S_1 de telle sorte que $S_1(\lambda) \times R_b(\lambda) = S_2(\lambda) \times R_g(\lambda)$ observés **isolément**, les deux rectangles sont perçus **verts**
- **dans son contexte**, le rectangle de **gauche** est toujours perçu **bleu**
- cette expérience conduira au modèle **retinex**

Edwin Land, *The Retinex Theory of Color Vision*, Scientific American 236(6), 108-128, Dec. 1977

2.3 Constance de couleurs : phénomène adaptatif complexe

- pas spécifique aux êtres humains (singes, poissons...)
- phénomène encore mal connu, probablement multiple
 - adaptation des photorécepteurs
 - retinex (contraste spatial)
 - mémoire des couleurs (banane = jaune)



- mécanisme imparfait : les variations d'éclairage demeurent perceptibles par le SVH
- très difficile à inhiber volontairement (CF exemples précédents)
 - « contre-exemple » : Monet et la série des cathédrales de Rouen



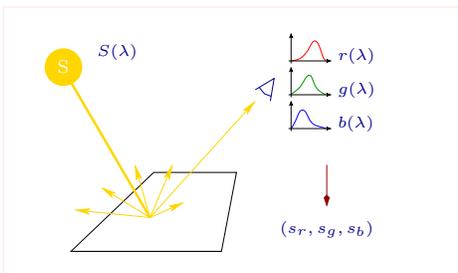
Problématique de la constance de couleur



- à la différence du SVH, les capteurs (argentiques, numériques) enregistrent l'information **telle qu'elle est**
- reconstruire une image de la scène **telle que la percevrait** le SVH
- approche physique
 - retrouver les caractéristiques de la source
 - reconstituer un éclairage neutre (par exemple 6500K)
- approche psychovisuelle
 - tirer partie des caractéristiques du SVH
 - reproduire les mécanismes d'adaptation chromatique

2.4 Le modèle diagonal

Estimation statistique de la source lumineuse



- **surface blanche** (lambertienne) éclairée par une **source** $S(\lambda)$
- capteur de caractéristiques $r(\lambda)$, $g(\lambda)$ et $b(\lambda)$
- (s_r, s_g, s_b) est la **couleur de la source**

$$\begin{aligned} s_r &= \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} S(\lambda)r(\lambda)d\lambda \\ s_g &= \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} S(\lambda)g(\lambda)d\lambda \\ s_b &= \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} S(\lambda)b(\lambda)d\lambda \end{aligned}$$

- on veut retrouver les couleurs qu'aurait l'image avec une **source neutre** (par exemple D_{65})
 - > couleur de la surface blanche : (n_r, n_g, n_b)
- corriger la couleur de la source se ramène à lui appliquer une transformation

$$(s_r, s_g, s_b) \rightarrow (n_r, n_g, n_b)$$
- proposition de transformation : **multiplier** par

$$\frac{n_r}{s_r}, \frac{n_g}{s_g}, \frac{n_b}{s_b}$$

- **modèle diagonal** : on répercute cette correction à toutes les couleurs de l'image

$$\begin{pmatrix} r' \\ g' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{n_r}{s_r} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{n_g}{s_g} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{n_b}{s_b} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \\ g \\ b \end{pmatrix}$$

- comment estimer (s_r, s_g, s_b) ?

L'hypothèse du monde gris

- avec une source neutre, la réflectance **moyenne** d'une scène est **supposée achromatique** pour le SVH
- approximation de la source par la **moyenne des pixels** de l'image

$$\begin{aligned}\mu_r &= \frac{\sum_{i,j} I_r(i,j)}{N} \\ \mu_g &= \frac{\sum_{i,j} I_g(i,j)}{N} \\ \mu_b &= \frac{\sum_{i,j} I_b(i,j)}{N}\end{aligned}$$

I_r, I_g et I_b : canaux R,G et B
 N : nombre de pixels

— transformation diagonale associée :
$$\begin{pmatrix} \frac{G_r}{\mu_r} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{G_g}{\mu_g} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{G_b}{\mu_b} \end{pmatrix}$$

où (G_r, G_g, G_b) est le gris moyen : $(0.5, 0.5, 0.5)$

L'hypothèse du max

- caractérisation de la source par le **maximum** de chaque canal
- associé au blanc de référence (W_r, W_g, W_b) – en principe $(1, 1, 1)$
- transformation diagonale :

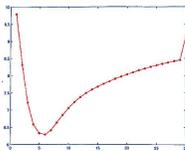
$$\begin{pmatrix} \frac{W_r}{r_{max}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{W_g}{g_{max}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{W_b}{b_{max}} \end{pmatrix}$$

- peu efficace s'il y a des points de l'image proches du blanc
 - *calculer le maximum de la moyenne sur un voisinage autour de chaque pixel*
 - *possibilité de prétraiter l'image par un lissage gaussien*

Utilisation de la norme de Minkowski

$$\mu_x = \left(\frac{\sum_{i,j} I_x(i,j)^p}{N} \right)^{\frac{1}{p}}$$

- $p = 1$: hypothèse du monde gris de base (moyenne usuelle)
- $p = \infty$: hypothèse du maximum
- expérimentalement : erreur minimale pour p proche de 6



Finlayson and Trezzi, 2004

- erreur angulaire entre deux couleurs c_1 et c_2 :

$$\arg \cos \left(\frac{\vec{c}_1 \cdot \vec{c}_2}{\|c_1\| \times \|c_2\|} \right)$$

- erreur angulaire médiane



monde gris



maximum maximum $\sigma = 4$ maximum $\sigma = 12$



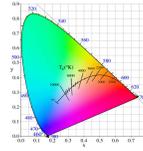
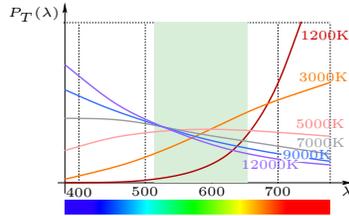
monde gris – Minkowski $n = 6$



auto level RGB

Stratégie de préservation du canal vert

- ces transformations sont définies à une normalisation d'intensité près
- préservation du canal vert



- normalisation de la transformation diagonale par rapport au vert
- exemple pour GW :

$$\frac{\mu_r q}{G_g} \times \begin{pmatrix} \frac{G_r}{\mu_r} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{G_g}{\mu_g} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{G_b}{\mu_b} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\mu_g}{\mu_r} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\mu_g}{\mu_b} \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{si } G_r = G_g = G_b = 0.5 \\ \text{alors } \frac{G_r}{G_g} = \frac{G_b}{G_g} = 1 \end{array}$$



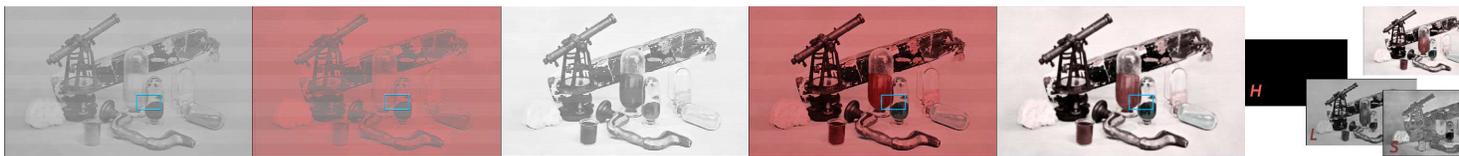
- ligne du haut : équilibrage des trois canaux
- ligne du bas : préservation du canal vert



3 Le modèle retinex

3.1 Historique

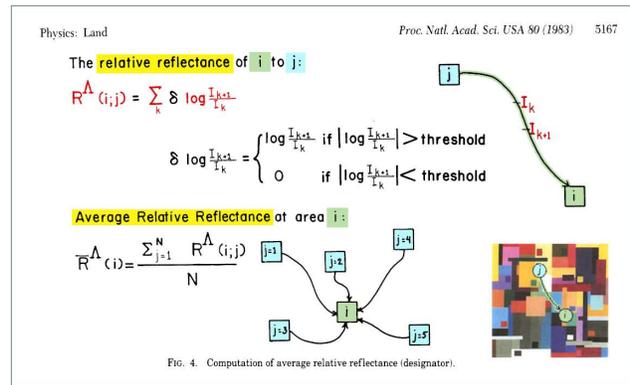
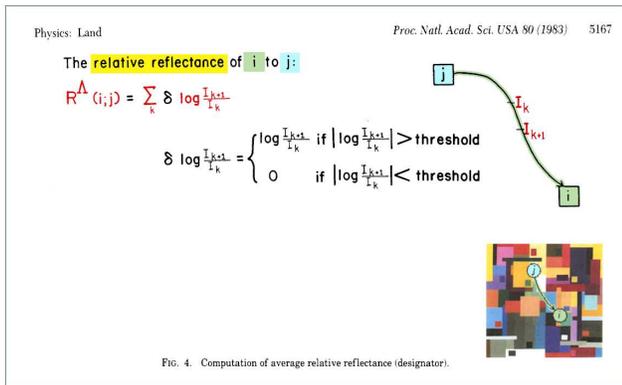
- 1958 (*Symposium of National Acadademy of Sciences*) : Edwin Herbert Land présente une expérience montrant que le SVH est capable de reconstituer des couleurs en l'absence de sources trichromatiques
- rouge + noir = couleurs



I_1 : Image + filtre rouge / une ligne sur deux (par ex. impaires)
 I_2 : Image + filtre vert / une ligne sur deux (par ex. paires)
 → canaux R, G et B
 Combinaison I_1 et I_2 lissage gaussien + rehaussement de contraste (auto-level)

- Durant les années 50 à 80, Land développe un modèle baptisé retinex (retina + cortex) pour expliquer le traitement des couleurs par le SVH
 - Land-1964 "The Retinex" *Am. Sci.* 52(2) : 247-64.
 - Land-1977, "The Retinex Theory of Color Vision", *Sci. Am.* 237 :108-28.
 - Land-1983, "Recent advances in retinex theory and some implications for cortical computations : Color vision and the natural images", *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 80 :5136-69.
 - Land-1986, "An alternative technique for the computation of the designator in the retinex theory of color vision," *Proc. Nat. Acad. Sci.*, vol. 83, pp. 3078–3080.

3.2 Le modèle de Land



- modélisation de plusieurs mécanismes du SVH
 - rehaussement de détails
 - masque de flou*
 - constance des couleurs
 - hypothèse du max*
 - rehaussement de contraste local (compression de dynamique)
 - filtre homomorphique*
- approximation par le modèle center-surround retinex
 - Z. Rahman, D. J. Jobson, and G. A. Woodell : Multiscale Retinex for Color Image Enhancement, 1996
- mise œuvre du « modèle des chemins »
 - Alessandro Rizzi, Carlo Gatta, Daniele Marini, 2002

3.3 Le modèle « center surround retinex »

Transformation de base

- transformation marginale : pour chaque canal $c \in \{R, G, B\}$

$$R_c(I(P)) = \log \left(\frac{I_c(P)}{I_c(\bar{P})} \right) = \log(I_c(P)) - \log(I_c(\bar{P}))$$

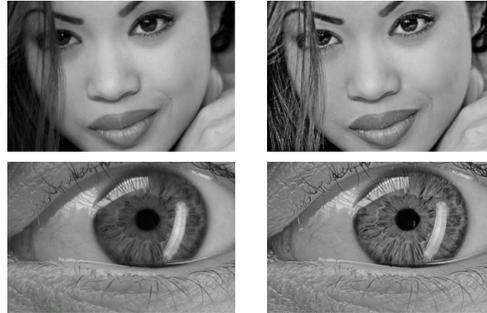
\bar{I}_c obtenue par lissage gaussien

$$\bar{I}_c = G_\sigma * I_c$$

- par conséquent

$$R_c(I) = \log(I_c(P)) - \log((G_\sigma * I_c)(P))$$

— le résultat doit être **renormalisé** ($\rightarrow [0..255]$)



Transformation multiéchelle

- sur les images couleur, l'effet obtenu varie avec la **taille du noyau** de lissage
 - pour des **petites valeurs** de σ :
 - + **détails et dynamique**
 - **rendu des couleurs**
 - pour des **grandes valeurs** de σ : résultat inverse.
- **moyenne pondérée** de n transformations à différentes échelles

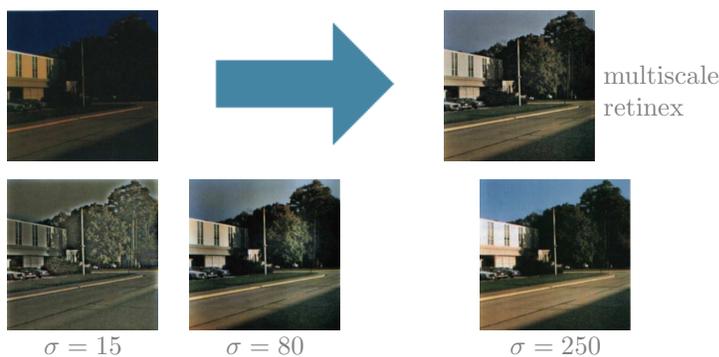
$$MSR_c = \sum_{k=1}^n w_k R_{c,k}$$

où $R_{c,k}$ est la transformation de base pour $\sigma = \sigma_k$

et w_k un coefficient **arbitraire** de pondération de l'échelle k

— paramétrage empirique :

$$n = 3, \quad w_1 = w_2 = w_3 = \frac{1}{3} \quad \text{et} \quad \begin{cases} \sigma_1 = 15 \\ \sigma_2 = 80 \\ \sigma_3 = 250 \end{cases}$$





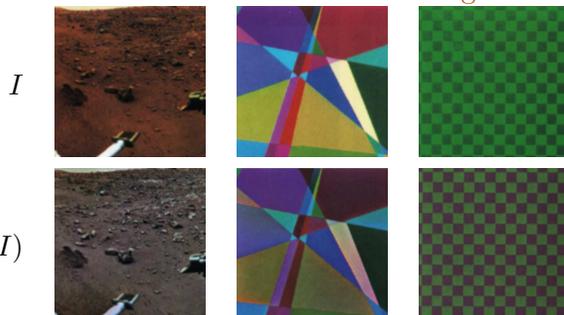
multiscale retinex



multiscale retinex

Transformation multiéchelle avec restitution de couleur

— transformation multiéchelle : tendance à **griser** les plages uniformes

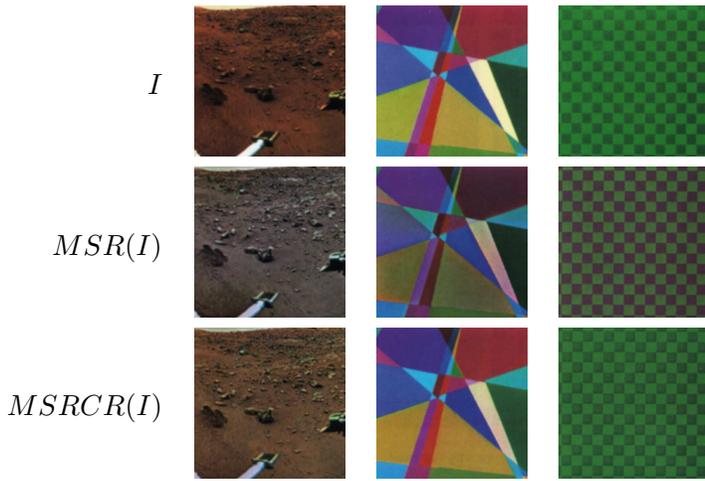


— ajout d'un paramètre de **correction de couleur** calculé en chaque point P et pour chaque canal c :

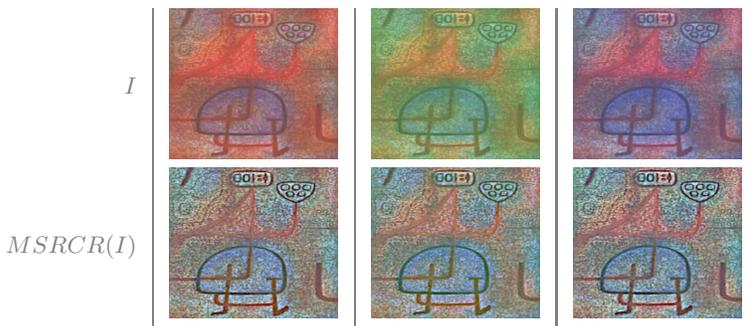
$$\alpha_c(P) = \log \left(\frac{I_c(P)}{I_R(P) + I_G(P) + I_B(P)} \right)$$

— *multiscale retinex with color restoration* : $I'_c = MSRCR_c(I)$

$$I'_c(P) = \alpha_c(P) \sum_k w_k \left(\log [I_c(P)] - \log [(G_k * I_c)(P)] \right)$$



— Exemple MSRCR : restauration de couleur



— Exemple MSRCR : correction de dynamique



— exemple obtenu avec le traitement MSRCR implémenté sous Gimp



— exemple obtenu avec le traitement MSRCR implémenté sous Gimp

