

Formation et Analyse d'Images

James L. Crowley

ENSIMAG 3

Premier Bimestre 2006/2007

Séance 4

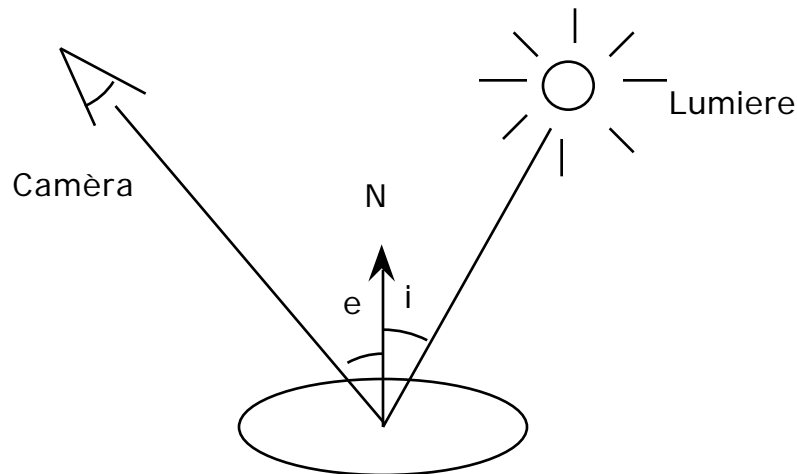
13 Octobre 2006

Lumière, Couleur et Reflectance

Plan de la Séance :

La Lumière.....	2
La Spectre.....	2
La Direction d'un rayon.....	3
Reflectance.....	4
Les fonctions de Reflectance.....	5
Le modèle di-chromatique.....	6
Les Espaces de la Couleur.....	7
La Perception de la couleur.....	7
l'espace RVB.....	12
l'espace CMY.....	12
L'espace YIQ.....	12
L'espace TLS.....	14
Analyse d'image au niveau pixels.....	16
L'histogramme de la chrominance.....	17
Détection par ratio d'histogramme.....	18

La Lumière



Angles entre :

- e : Caméra et Normale
- i : Rayon incident (entre source et normale)
- g : Caméra et Source

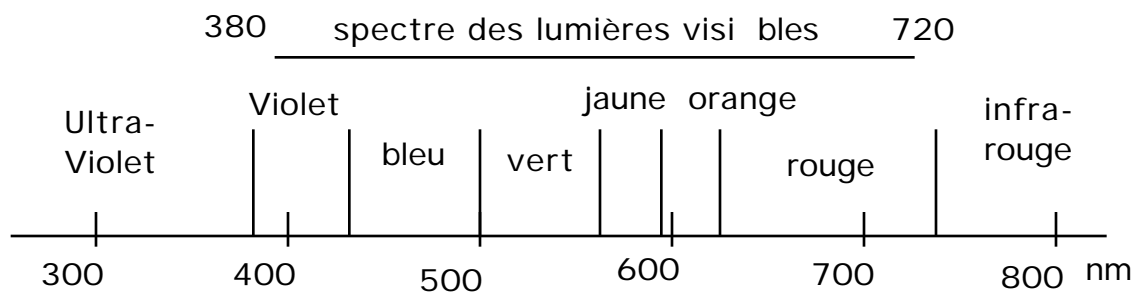
La Spectre

Une source lumière est caractérisé par une spectre :

Il s'agit de l'amplitude (quantité de photons en moyenne) pour chaque fréquence. La fréquence est décrit par sa longueur d'onde $= \frac{1}{f}$

Les hommes peuvent percevoir les photons entre 380 nm et 720 nm.

Les caméras disposant d'une rétine en silicium peuvent percevoir d'une spectre de photons plus large.

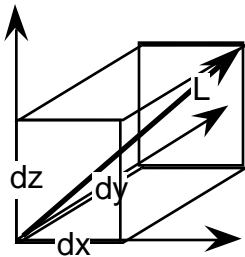


La Direction d'un rayon

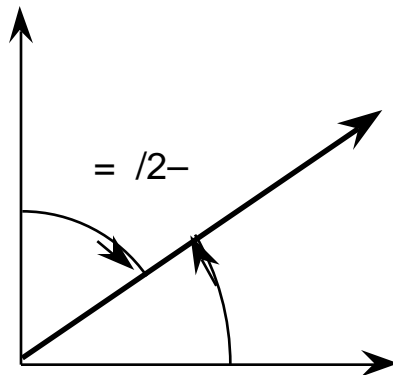
La direction d'une rayone de lumière est définit par une vecteur directeur composé de cosines d'angles.

$$D = \begin{pmatrix} \cos(\theta_x) \\ \cos(\theta_y) \\ \cos(\theta_z) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x/L \\ y/L \\ z/L \end{pmatrix}$$

Les cosines de la direction sont la projection de la rayon sur 3 axes, normalisé à une longuer de unité.



Par exemple, en 2D

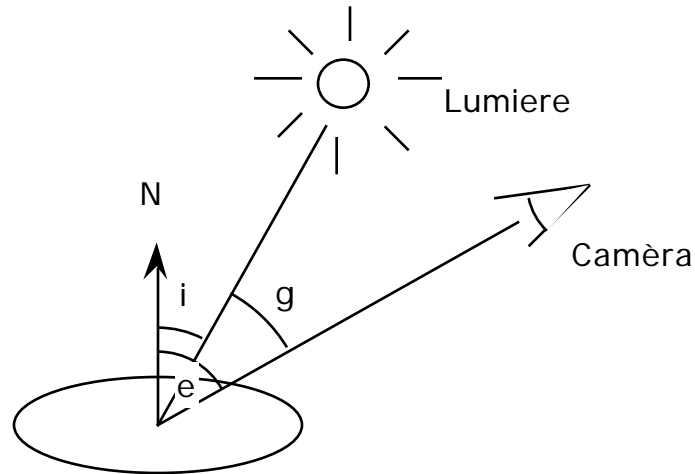


$$D = \begin{pmatrix} x/L \\ y/L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) \\ \cos(\pi/2 - \theta) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) \\ \sin(\theta) \end{pmatrix}$$

Réflexion

L'Albédo d'une Surface

Albédo : propriété de réflectance d'une surface



Angles entre :

e : Caméra et Normale

i : Rayon incident (entre source et normale)

g : Caméra et Source

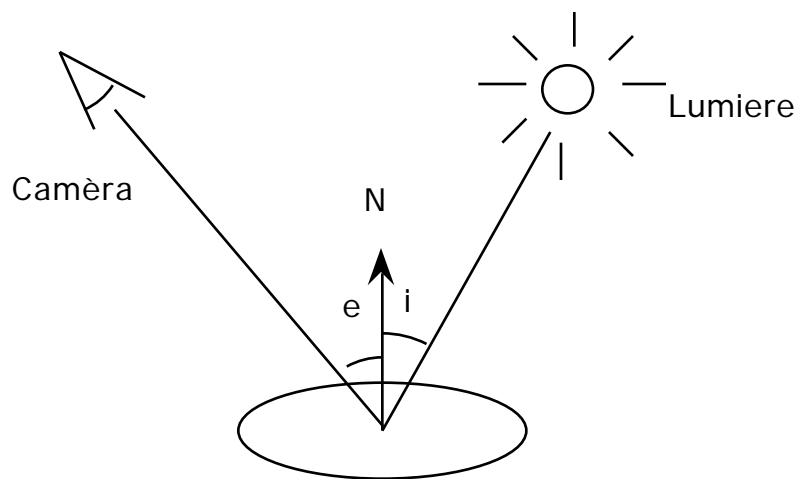
Les angles sont mesuré en degrés ou en rayons (sur π).

Carte de Réflectance : Ratio

$$R(i, e, g) = \frac{\text{Radiance}}{\text{Irradiance}} = \frac{\text{lumière émise}}{\text{lumière reçue}}$$

Les fonctions de reflectionRéflexion spéculaire (la cas d'un miroir)

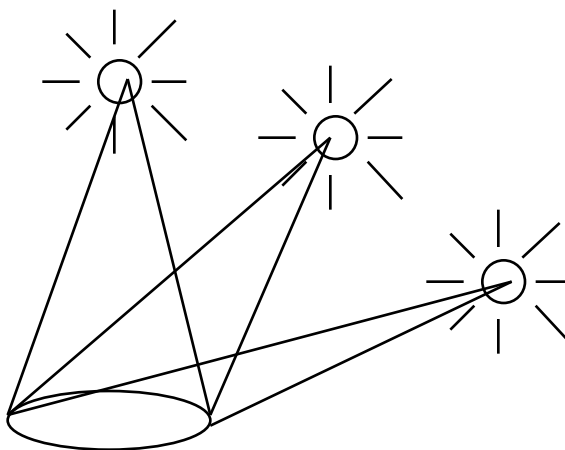
$$R(i, e, g) = \begin{cases} 1 & \text{Si } i=e \text{ et } i+e = g \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$



v

Réflexion Lambertienne (exemples : neige, papier)

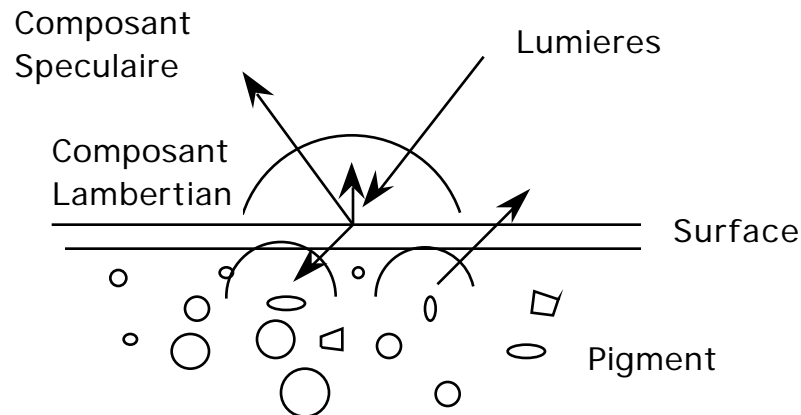
$$R(i, e, g) = \text{Cos}(i) \quad (\text{ - facteur de réflectance})$$



Le Modèle de réflexion di-chromatique

L'albédo d'un objet non-métallique peut être approximé par la composition d'une réflexion "spéculaire" et d'une réflexion "lambertienne".

$$R(i, e, g) = \rho_s R_s(i, e, g) + \rho_l R_l(i, e, g)$$

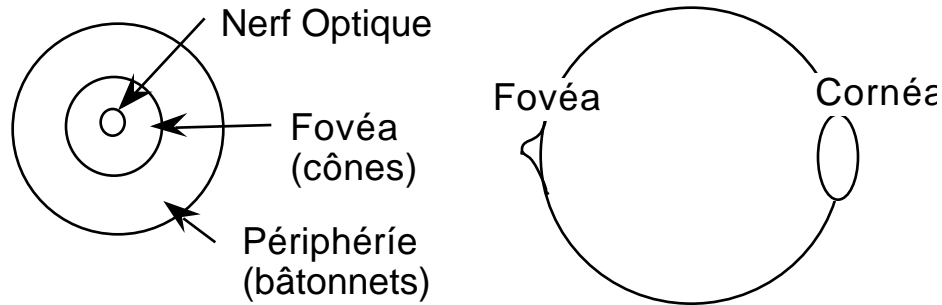


La composante "spéculaire" a le même spectre que la source de la lumière. $S(\lambda)$.
 La composante "lambertienne" est "filtrée" par les pigments de la matière $S(\lambda) P(\lambda)$

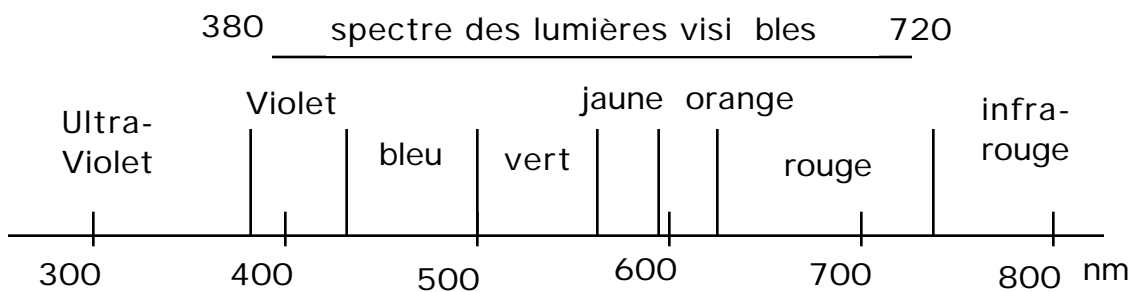
La composante "luminant" est déterminé par l'orientation de la surface.

La composante "chrominant" est déterminé par la composition de la spectre de la source et le spectre d'absorption des pigments de la surfaces.

La Perception de la couleur



Spectre de la lumière visible pour l'homme :



Le système humain est composé de bâtonnets et de cônes.

Les bâtonnets sont responsables de la perception achromatique et des lumières atténuées.

Ils sont formés d'une pigmentation, la rhodopsine, sensible à tout le spectre, avec un sensibilité maximum de 510 nm (vert).

Ils sont dans la périphérie de la rétine, et donnent une perception de plus faible résolution.

Les cônes sont responsables de notre vision chromatique.

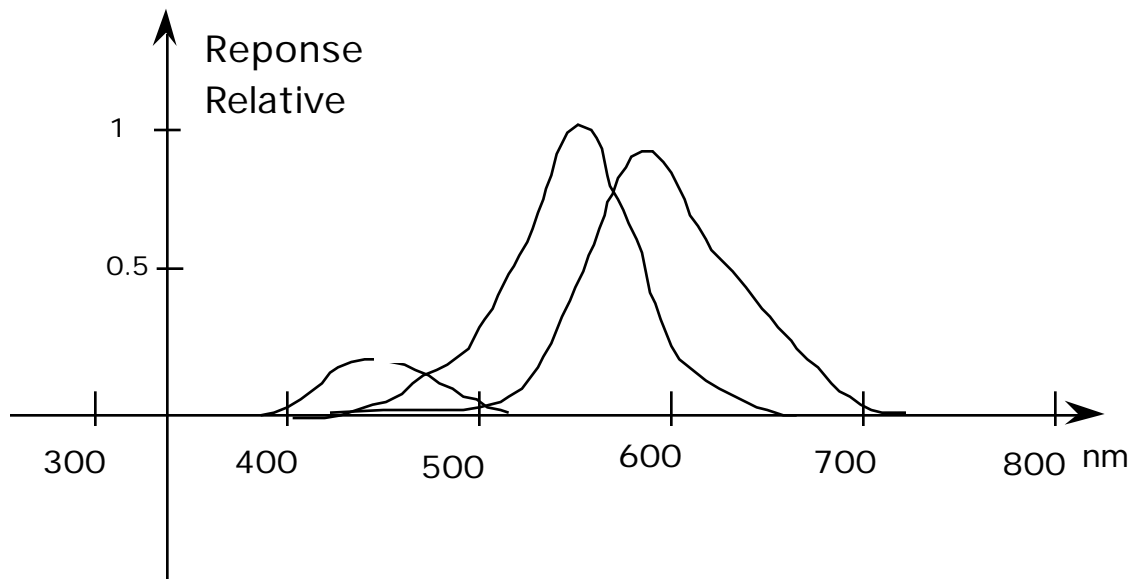
Ils sont concentrés dans une zone appelée la fovéa.

Il y a trois sortes de cônes, distingués par leurs pigments :

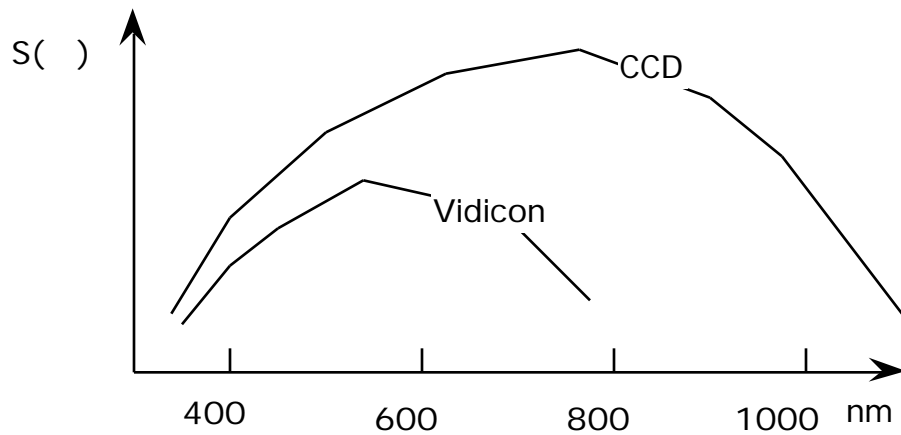
cyanolabe (445 nm),

chlorolabe (535 nm), et

erythrolabe (570 nm)



La transformation entre stimuli de cônes et perception de couleur est un phénomène perceptuel qui n'est pas encore bien modélisé.

La sensibilité des caméras

Intensité de lumière perçue :

elle dépend :

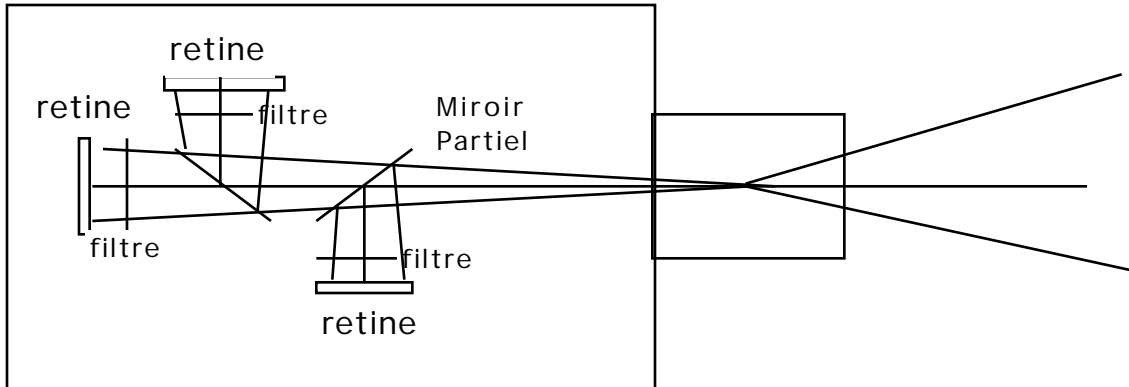
du spectre de la source : $S(\lambda)$

de la réflectance d'un point i, j de la scène vue : $P(i, j, \lambda)$

et du spectre de réceptivité de la caméra, $c(\lambda)$

$$p(i, j) = p_0 \int P(i, j, \lambda) S(\lambda) c(\lambda) d\lambda$$

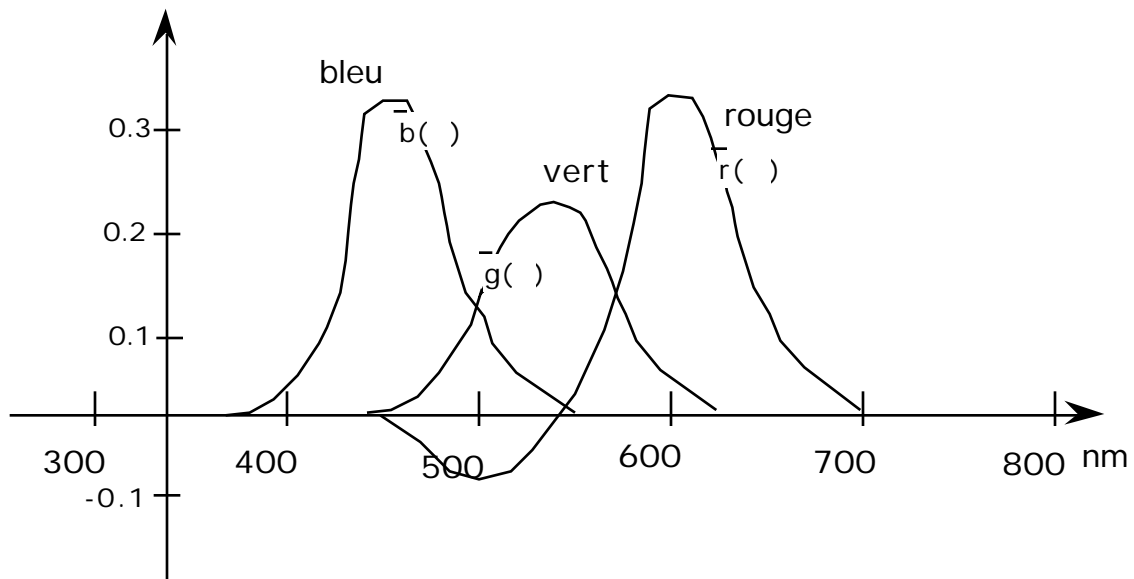
p_0 est le Gain. $P(i, j, \lambda)$ est le cône "vue" par le pixel i, j .

Caméra couleur "classique" :

Les filtres suivent un standard défini par la IIC (International Illumination Commission).

Ils sont des fonctions de λ : $b(\lambda)$, $g(\lambda)$, et $r(\lambda)$.

Note : ils sont composés d'un autre ensemble de fonctions, $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$. Ceci permet la valeur négative de $r(\lambda)$.



Un pixel "couleur" est défini par :

$$P(i,j) = \begin{pmatrix} R(i,j) \\ V(i,j) \\ B(i,j) \end{pmatrix}$$

où :

$$R(i,j) = r_0 \int_0^{\lambda} P(i,j, \lambda) S(\lambda) r(\lambda) d\lambda$$

$$V(i,j) = g_0 \int_0^{\lambda} P(i,j, \lambda) S(\lambda) g(\lambda) d\lambda$$

$$B(i,j) = b_0 \int_0^{\lambda} P(i,j, \lambda) S(\lambda) b(\lambda) d\lambda$$

ou bien :

$$R = r_0 \int_0^{\lambda} S(\lambda) r(\lambda) d\lambda$$

$$V = g_0 \int_0^{\lambda} S(\lambda) g(\lambda) d\lambda$$

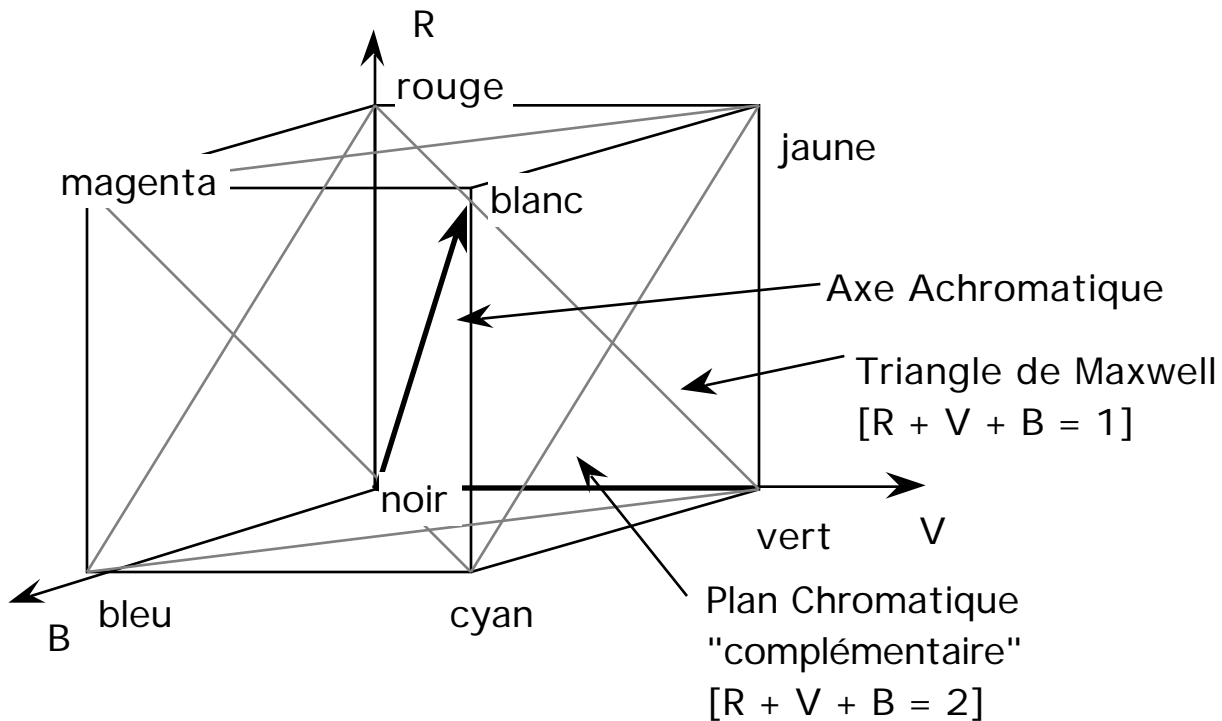
$$B = b_0 \int_0^{\lambda} S(\lambda) b(\lambda) d\lambda$$

Donc, la couleur est une projection de la spectre sur les spectres des récepteurs.
On ne peut pas percevoir la spectre d'une manière directe.

Les Espaces de la Couleur

L'espace RVB

Les signaux d'une caméra vidéo nous donnent un espace RVB.
RVB est un espace ADDITIF.



L'axe achromatique est $R = V = B$

L'espace CMY

Une page est imprimé avec les pigments.
Les pigments sont "soustractifs". Ils absorbent les photons.

On utilise l'espace : CMY : "Cyan-Magenta-Yellow".

$$\begin{array}{l} C \\ M \\ Y \end{array} = \begin{array}{l} R_{\max} \\ V_{\max} \\ B_{\max} \end{array} - \begin{array}{l} R \\ V \\ B \end{array}$$

CMYK est une variation de CMY dans lequel on ajoute du noir (k).

L'espace YIQ

Le norme TV NTSC des États-Unis utilise l'encodage Y I Q :

$$\begin{array}{rcccc} Y & 0.30 & 0.59 & 0.11 & R \\ I & = & 0.60 & -0.28 & -0.32 & G \\ Q & & 0.21 & -0.52 & -0.31 & B \end{array}$$

Approximation de :

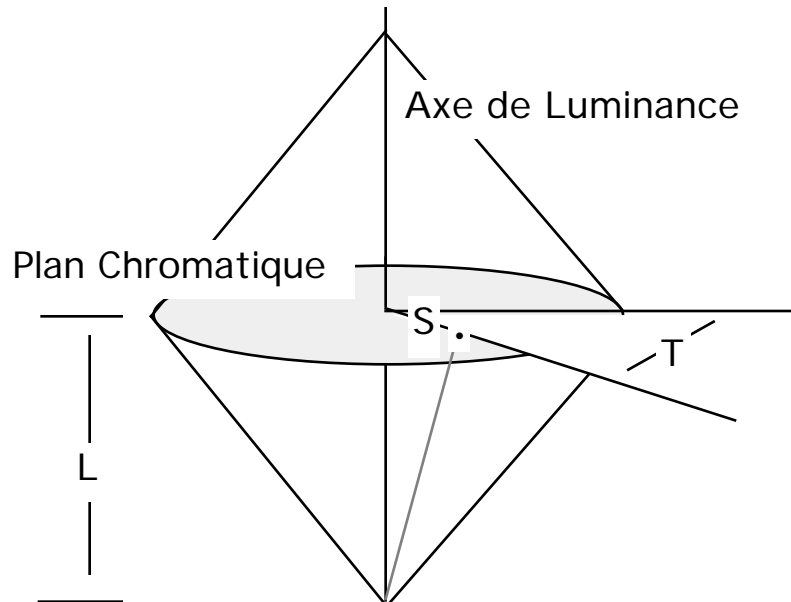
$$\begin{array}{l} Y = \text{Luminance} \\ I = \text{rouge - cyan} \\ Q = \text{magenta - vert} \end{array}$$

Les téléviseurs noir et blanc n'affiche que Y.

L'espace TLS

(en anglais Hue Luminance Saturation - HLS)

Pour mieux modéliser la perception de la couleur, nous pouvons transformer l'espace RVB dans l'espace TLS, composé de teinte, luminance, et saturation :



luminance : $L = (R + V + B)$

Normalisation des couleurs :

$$r = R / L$$

$$v = V / L$$

$$b = B / L$$

saturation : $1 - 3 * \min(R, G, B) / L$

teinte :
$$x = \text{Cos}^{-1} \frac{\frac{1}{2} [(R-V) + (R-B)]}{\sqrt{(R-V)^2 + (R-B)(V-B)}}$$

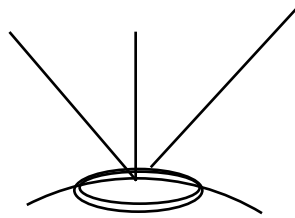
puis si $b < v$ alors $T = x$
 si $b > v$ alors $T = 2 - x$

La Distribution de la Couleur d'une Surface

Qu'est-ce que la couleur d'un reflet ?

Réponse : la couleur de la source.

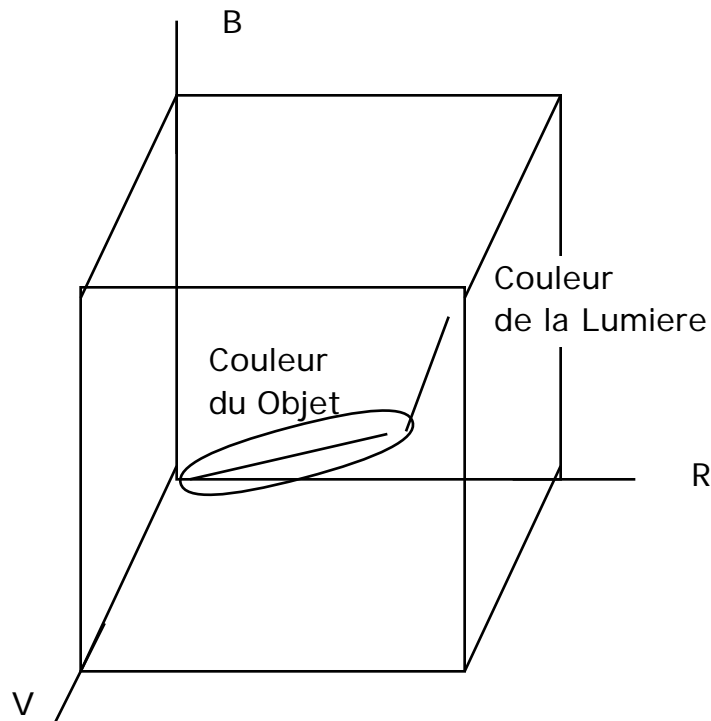
Qu'est-ce qui fait la frontière d'un reflet ?



Le corps d'une surface a la couleur de ses pigments.

Le reflet a la couleur de la source.

La frontière donne une transition :



On peut détecter les deux axes à partir d'une histogramme de couleur.

Une histogramme de couleur est un tableau listant la fréquence d'occurrence pour chaque triple (R, G, B) dans l'image.

On alloue un tableau 3D de taille N_h (exemple $32 \times 32 \times 32 = 32 \text{ K}$ cellules :

$h(R, V, B)$. Pour chaque pixel $C = c(i, j) = \begin{matrix} R(i, j) \\ V(i, j) \\ B(i, j) \end{matrix}$, on incrémente la cellule de

l'histogramme qui correspond à (R, V, B)

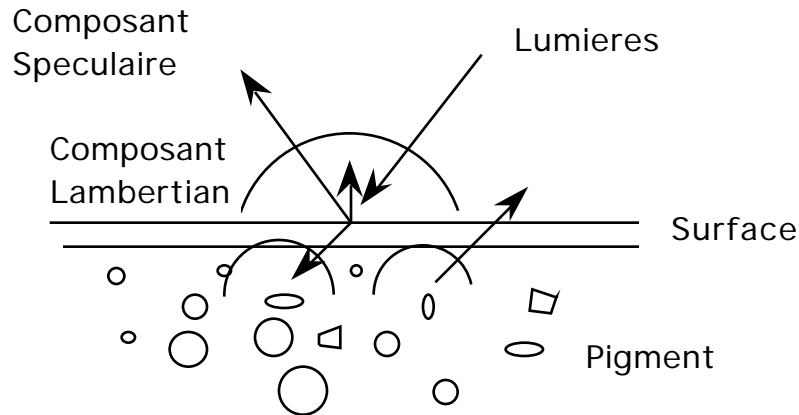
$$h(R, V, B) := h(R, V, B) + 1$$

Analyse d'image au niveau pixels

Rappelons que l'albédo d'un objet non-métallique peut être approximé par la composition d'une réflexion "spéculaire" et d'une réflexion "lambertienne".

$$R(i, e, g) = \rho_s R_S(i, e, g) + \rho_l(i) R_L(i, e, g)$$

ou l



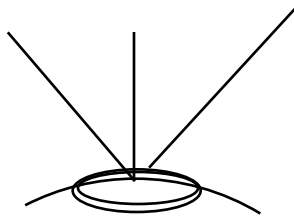
Le composant "luminance" est déterminé par l'orientation de la surface.
Le composant lambertien dépend de l'angle entre la normale et la source.

$$R(i, e, g) = \cos(i)$$

Le composant "chrominance" est déterminé par la composition du spectre de la source et le spectre d'absorption des pigments de la surface. Si le spectre de la source est constant, la chrominance indique l'identité de l'objet

L'histogramme de la chrominance

$$R(i, e, g, \lambda) = \rho_s R_s(i, e, g, \lambda) + \rho_l(\lambda) R_l(i, e, g, \lambda)$$



L'amplitude du composant lambertien dépend de l'angle entre la normale et la source.

$$R_l(i, e, g, \lambda) = \cos(i)$$

L'axe achromatique définit la luminance, L

$$L = R + V + B$$

Le spectre $\rho_l(\lambda)$ dépend du pigment.

Normalisation par la luminance laisse deux axes chromatiques : r, v

$$r = \frac{R}{R+V+B} \quad v = \frac{V}{R+V+B}$$

Le chrominance est une signature pour l'objet disponible à chaque pixel.

On peut apprendre et détecter cette

Un histogramme de couleur peut fournir une estimation de la densité de probabilité pour les couleurs. Ceci permet de détecter les pixels qui sont les images d'un objet, par exemple, la peau humaine.

On alloue un tableau 2D de taille N_h (exemple $32 \times 32 = 1024$ cellules : $h(r, v)$).

Pour chaque pixel $\mathbf{C} = c(i, j) = \begin{pmatrix} r(i, j) \\ v(i, j) \end{pmatrix}$, on incrémente la cellule de l'histogramme qui correspond à (r, v)

$$h(r, v) := h(r, v) + 1$$

Un histogramme des couleurs, $h(\mathbf{C})$, de N pixels donne une approximation de la probabilité de chaque couleur

$$p(\mathbf{C}) = \lim_N \left\{ \frac{1}{N} h(\mathbf{C}) \right\}$$

Un histogramme des de couleurs, $h_{\text{tot}}(\mathbf{C})$, de les N_{tot} pixels dans une l'image donne une approximation de la probabilité de chaque couleur dans l'image.

$$p(\mathbf{C}) = \frac{1}{N_{\text{tot}}} h_{\text{tot}}(\mathbf{C})$$

Un histogramme des de couleurs d'un objet , $h_o(\mathbf{C})$, de les N_o pixels dans une région d'une image de l'objet, $w(i, j)$, donne une approximation de la probabilité de chaque couleur de l'objet.

$$p(\mathbf{C} | \text{objet}) = \frac{1}{N_o} h_o(\mathbf{C})$$

Détection par ratio d'histogramme

L histogramme permet d'utiliser la règle de Bayes afin de calculer la probabilité qu'un pixel corresponde à un objet.

Pour chaque pixel $\mathbf{C}(i, j)$ $p(\text{objet} | \mathbf{C}) = p(\mathbf{C} | \text{objet}) \frac{p(\text{objet})}{p(\mathbf{C})}$

Soit M images de N pixels. Ceci fait N_{tot} Pixels.

Soit $h_{\text{tot}}(r, v)$, l'histogramme de tous les N_{tot} pixels.

Soit $h_o(r, v)$, l'histogramme des N_o pixels de l'objet "o".

$$p(\text{objet}) = \frac{N_o}{N_{\text{tot}}} \quad p(\mathbf{C}) = \frac{1}{N_{\text{tot}}} h_{\text{tot}}(r, v)$$

$$p(\mathbf{C} | \text{objet}) = \frac{1}{N_o} h_o(\mathbf{C})$$

$$\text{Donc} \quad p(\text{objet} | \mathbf{C}) = p(\mathbf{C} | \text{objet}) \frac{p(\text{objet})}{p(\mathbf{C})} = \frac{1}{N_o} h_o(\mathbf{C}) \frac{\frac{N_o}{N_{\text{tot}}}}{\frac{1}{N_{\text{tot}}} h_{\text{tot}}(\mathbf{C})}$$

$$p(\text{objet} | \mathbf{C}) = \frac{h_o(\mathbf{C})}{h_{\text{tot}}(\mathbf{C})}$$

Cependant, il faut assurer que $h_{\text{tot}}(\mathbf{C}) \neq 0$!!

Pour cela il faut que $N_{\text{tot}} \gg N_h$ (nombre de cellules de l'histogramme.).

Ainsi, on peut créer une image de probabilité de l'objet.

En peut ensuite déterminer un seuil pour l'image de probabilité.

