

## 3D et couleur

Emanuel Aldea <[emanuel.aldea@u-psud.fr](mailto:emanuel.aldea@u-psud.fr)>  
<http://hebergement.u-psud.fr/emi>

Vision robotique - Master 2 E3A

# Représentation des points 3D

Dans l'espace 3D :

$$\underbrace{\mathbf{p} = (X, Y, Z)^T = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}}_{\text{point initial}} \quad \underbrace{\mathbf{p}' = (X', Y', Z')^T = \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix}}_{\text{point transformé}}$$

- ▶ six degrés de liberté (trois rotations, trois translations)
- ▶ on abandonne les  $\sim$  pour simplifier les notations, mais les variables sont homogènes

# Représentation des points 3D

Dans l'espace 3D :

$$\underbrace{\mathbf{p} = (X, Y, Z)^T = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}}_{\text{point initial}} \quad \underbrace{\mathbf{p}' = (X', Y', Z')^T = \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix}}_{\text{point transformé}}$$

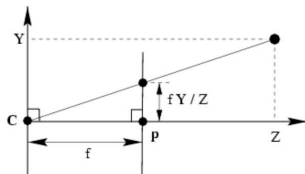
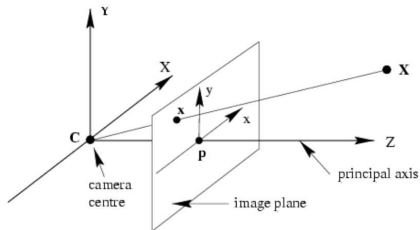
Une transformation Euclidienne avec les versions homogènes :

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

ou bien  $\mathbf{p}' = \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix} \mathbf{p}$ , avec  $\mathbf{R}^T \mathbf{R} = \mathbf{I}$ ,  $\det \mathbf{R} = 1$

- ▶ six degrés de liberté (trois rotations, trois translations)
- ▶ on abandonne les ~ pour simplifier les notations, mais les variables sont homogènes

# Le modèle de camera pinhole



## Projection 3D $\Rightarrow$ 2D par une projection centrale

- ▶ Dans le plan focal 3D :  $(X, Y, Z)^T \Rightarrow (fX/Z, fY/Z, f)^T$
- ▶ Dans le plan 2D de l'image :  $(X, Y, Z)^T \Rightarrow (fX/Z, fY/Z) = (x, y)$

# Le modèle de camera pinhole

La projection dans le plan image ( $fX/Z, fY/Z$ ) en coordonnées homogènes donne :

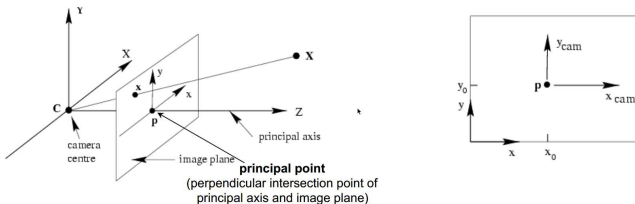
$$\begin{bmatrix} fX \\ fY \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & & \\ & f & \\ & & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & & 0 \\ & 1 & 0 \\ & & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \text{diag}(f, f, 1) [\mathbf{I} | \mathbf{0}] \mathbf{X}$$

# Le modèle de camera pinhole

La projection dans le plan image ( $fX/Z, fY/Z$ ) en coordonnées homogènes donne :

$$\begin{bmatrix} fX \\ fY \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & & \\ & f & \\ & & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ & 1 & 0 \\ & & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \text{diag}(f, f, 1) [I | \mathbf{0}] \mathbf{X}$$

La référence choisie dans le plan image n'est pas la projection de l'axe optique :



Dans le système de référence qu'on utilise habituellement :

$$(X, Y, Z) \Rightarrow (fX/Z + p_x, fY/Z + p_y)$$

# Le modèle de camera pinhole

La projection dans le plan image ( $fX/Z, fY/Z$ ) en coordonnées homogènes donne :

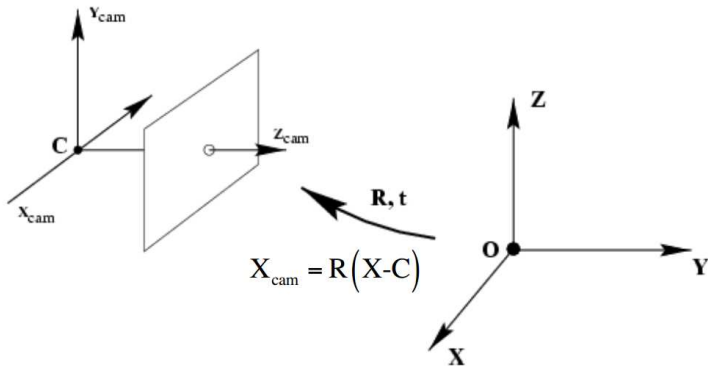
$$\begin{bmatrix} fX \\ fY \\ Z \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} f & & p_x \\ & f & p_y \\ & & 1 \end{bmatrix}}_{\mathbf{K}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & & 0 \\ & 1 & 0 \\ & & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \text{diag}(f, f, 1)[\mathbf{I}|\mathbf{0}]\mathbf{X}$$

**K** - matrice de calibration intrinsèque

- ▶ constante tant que l'optique de la camera n'est pas ajustée
- ▶ nécessaire pour faire le passage  $2D \Leftrightarrow 3D$
- ▶ habituellement, estimée en utilisant des objets (mires) de calibration

# Passage dans un repère inertiel (fixe)

Dernière étape de la modélisation : on exprime les variables dans un repère qui n'est pas solidaire de la camera et qui est fixe (typiquement pour la robotique mobile) :





## Passage dans un repère inertiel (fixe)

Dernière étape de la modélisation : on exprime les variables dans un repère qui n'est pas solidaire de la camera et qui est fixe (typiquement pour la robotique mobile) : En notant par  $\mathbf{C}$  le centre de la camera en coordonnées "world", le passage monde vers camera s'écrit

$$\mathbf{X}_{cam} = \mathbf{R}(\mathbf{X} - \mathbf{C}) = \begin{bmatrix} \mathbf{R} & -\mathbf{R}\mathbf{C} \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix} \tilde{\mathbf{X}}$$

et donc à la place de la projection des coordonnées camera vers le plan image :

$$\mathbf{x} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \mathbf{X}_{cam}$$

on utilise la projection des coordonnées world vers le plan image :

$$\mathbf{x} = \mathbf{K}\mathbf{R} \begin{bmatrix} \mathbf{I} & -\mathbf{C} \end{bmatrix} \mathbf{X}$$

# Qu'est-ce qu'on peut déterminer là-dedans ?

Il y a d'autres problèmes à régler concernant la projection 3D  $\Rightarrow$  2D :



FIGURE – FOV étroit

# Qu'est-ce qu'on peut déterminer là-dedans ?

Il y a d'autres problèmes à régler concernant la projection 3D  $\Rightarrow$  2D :



FIGURE – FOV moyen

# Qu'est-ce qu'on peut déterminer là-dedans ?

Il y a d'autres problèmes à régler concernant la projection 3D  $\Rightarrow$  2D :



FIGURE – FOV large

# Qu'est-ce qu'on peut déterminer là-dedans ?

Distorsions : visibles surtout pour des optique a FOV large, doivent être corrigées en s'appuyant sur des modèles de distorsion.

Stratégies pour déterminer les paramètres de la projection

# Qu'est-ce qu'on peut déterminer là-dedans ?

Distorsions : visibles surtout pour des optique a FOV large, doivent être corrigées en s'appuyant sur des modèles de distorsion.

## Stratégies pour déterminer les paramètres de la projection

- ▶ On utilise des objets avec des configurations connues, et on minimise une erreur de projection sur un nombre suffisant d'exemples :



# Qu'est-ce qu'on peut déterminer là-dedans ?

Distorsions : visibles surtout pour des optique a FOV large, doivent être corrigées en s'appuyant sur des modèles de distorsion.

## Stratégies pour déterminer les paramètres de la projection

- ▶ On utilise des objets avec des configurations connues, et on minimise une erreur de projection sur un nombre suffisant d'exemples :
- ▶ On peut utiliser directement la scène (auto-calibration)
- ▶ Z. Zhang, *A flexible new technique for camera calibration*, PAMI, 2000
- ▶ M Pollefeys, R Koch, L Van Gool, *Self-calibration and metric reconstruction inspite of varying and unknown intrinsic camera parameters*, IJCV, 1999
- ▶ A. Fusiello, *Uncalibrated Euclidean reconstruction : a review*, Image and Vision Computing , 2000

# Stéréo

- ▶ Avec la projection, on perd l'information de profondeur.



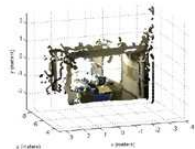
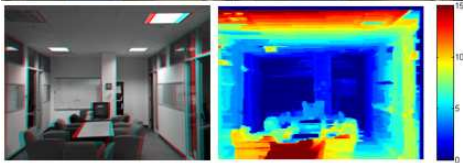
# Stéréo

- ▶ Avec la projection, on perd l'information de profondeur.
- ▶ Mais avec deux vues, on peut remonter à la valeur de  $Z$



# Stéréo

- ▶ Avec la projection, on perd l'information de profondeur.
- ▶ Mais avec deux vues, on peut remonter à la valeur de  $Z$



# Stéréo

- ▶ Avec la projection, on perd l'information de profondeur.
- ▶ Mais avec deux vues, on peut remonter à la valeur de  $Z$

Pour simplifier, supposons que la rotation entre les deux cameras est nulle, et que la translation est purement latérale. En prenant  $b$  comme la distance entre les cameras, on obtient rapidement :

$$x_1 = \frac{fX_1}{Z}; \quad y_1 = \frac{fY_1}{Z}; \quad x_2 = \frac{fX_2}{Z}; \quad y_2 = \frac{fY_2}{Z}; \quad Y_1 = Y_2; \quad X_1 = X_2 + b$$

D'ici, on obtient deux résultats fondamentaux :  $y_1 = y_2$  (les points 3D de la scène se projettent sur des lignes correspondantes) et en notant  $d = x_2 - x_1$  la **disparité** :

$$d = \frac{fb}{Z} \Leftrightarrow Z = \frac{fb}{d}$$

# Estimation de l'imprécision

Un calcul de propagation de l'erreur de disparité  $\epsilon_d$  nous montre que :

$$\epsilon_Z \approx \frac{Z^2}{bf} \cdot \epsilon_d$$

# Estimation de l'imprécision

Un calcul de propagation de l'erreur de disparité  $\epsilon_d$  nous montre que :

$$\epsilon_Z \approx \frac{Z^2}{bf} \cdot \epsilon_d$$

Problème : la fonction d'erreur d'estimation de  $Z$  est quadratique en  $Z$ . Par exemple, si on veut faire de la reconstruction avec un dispositif de la taille d'un téléphone :

- ▶  $b = 8cm$ ,  $f = 750px$ ,  $\epsilon_d \approx 2px$
- ▶ on obtient  $\epsilon_Z \approx 13cm$  pour  $Z = 2m$  et  $\epsilon_Z \approx 83cm$  pour  $Z = 5m$

Solutions rapides pour un gain limité en précision :

# Estimation de l'imprécision

Un calcul de propagation de l'erreur de disparité  $\epsilon_d$  nous montre que :

$$\epsilon_Z \approx \frac{Z^2}{bf} \cdot \epsilon_d$$

Problème : la fonction d'erreur d'estimation de  $Z$  est quadratique en  $Z$ . Par exemple, si on veut faire de la reconstruction avec un dispositif de la taille d'un téléphone :

- ▶  $b = 8cm$ ,  $f = 750px$ ,  $\epsilon_d \approx 2px$
- ▶ on obtient  $\epsilon_Z \approx 13cm$  pour  $Z = 2m$  et  $\epsilon_Z \approx 83cm$  pour  $Z = 5m$

Solutions rapides pour un gain limité en précision :

- ▶ augmenter  $f$  ... mais on réduit le FOV de travail ; en pratique en navigation robotique on fait exactement le contraire ( $FOV \geq 135 \text{ deg}$ )

# Estimation de l'imprécision

Un calcul de propagation de l'erreur de disparité  $\epsilon_d$  nous montre que :

$$\epsilon_Z \approx \frac{Z^2}{bf} \cdot \epsilon_d$$

Problème : la fonction d'erreur d'estimation de  $Z$  est quadratique en  $Z$ . Par exemple, si on veut faire de la reconstruction avec un dispositif de la taille d'un téléphone :

- ▶  $b = 8cm$ ,  $f = 750px$ ,  $\epsilon_d \approx 2px$
- ▶ on obtient  $\epsilon_Z \approx 13cm$  pour  $Z = 2m$  et  $\epsilon_Z \approx 83cm$  pour  $Z = 5m$

Solutions rapides pour un gain limité en précision :

- ▶ augmenter  $f$  ... mais on réduit le FOV de travail ; en pratique en navigation robotique on fait exactement le contraire ( $FOV \geq 135 \text{ deg}$ )
- ▶ augmenter  $b$  ... mais c'est peu pratique au delà d'une certaine valeur (10cm pour un outil de poche, 1m pour une voiture etc.) et cela réduit le FOV commun à de petites distances

# Les données d'entrée

On a besoin de  $\epsilon_d$  en entrée de l'algorithme, mais cette disparité peut être estimée directement uniquement pour des points d'intérêt :

- ▶ on peut faire de la reconstruction 3D sparse



# Les données d'entrée

On a besoin de  $\epsilon_d$  en entrée de l'algorithme, mais cette disparité peut être estimée directement uniquement pour des points d'intérêt :

- ▶ on peut faire de la reconstruction 3D sparse
- ▶ on peut utiliser des méthodes d'optimisation pour associer tous les pixels d'une image à l'autre en minimisant la différence de couleur entre les pixels correspondants et en régularisant le champ de disparité résultant

Voir <http://vision.middlebury.edu/stereo/eval/> pour une comparaison très large des méthodes existantes

# Les données d'entrée

On a besoin de  $\epsilon_d$  en entrée de l'algorithme, mais cette disparité peut être estimée directement uniquement pour des points d'intérêt :

- ▶ on peut faire de la reconstruction 3D sparse
- ▶ on peut utiliser des méthodes d'optimisation pour associer tous les pixels d'une image à l'autre en minimisant la différence de couleur entre les pixels correspondants et en régularisant le champ de disparité résultant
- ▶ mais l'imprécision sera supérieure aux valeurs vues précédemment, et les points qui sont aux bords des objets peuvent ne pas avoir des correspondants

# Les données d'entrée

On a besoin de  $\epsilon_d$  en entrée de l'algorithme, mais cette disparité peut être estimée directement uniquement pour des points d'intérêt :

- ▶ on peut faire de la reconstruction 3D sparse
- ▶ on peut utiliser des méthodes d'optimisation pour associer tous les pixels d'une image à l'autre en minimisant la différence de couleur entre les pixels correspondants et en régularisant le champ de disparité résultant
- ▶ mais l'imprécision sera supérieure aux valeurs vues précédemment, et les points qui sont aux bords des objets peuvent ne pas avoir des correspondants

On a également besoin de  $b$ . En pratique, pour des paires stéréo, on estime précisément  $\mathbf{C}$  et  $\mathbf{R}$ , qui sont proches d'un vecteur aligné à l'axe  $X$  et l'identité respectivement, mais pas identiques.

# Les données d'entrée

On a besoin de  $\epsilon_d$  en entrée de l'algorithme, mais cette disparité peut être estimée directement uniquement pour des points d'intérêt :

- ▶ on peut faire de la reconstruction 3D sparse
- ▶ on peut utiliser des méthodes d'optimisation pour associer tous les pixels d'une image à l'autre en minimisant la différence de couleur entre les pixels correspondants et en régularisant le champ de disparité résultant
- ▶ mais l'imprécision sera supérieure aux valeurs vues précédemment, et les points qui sont aux bords des objets peuvent ne pas avoir des correspondants

On a également besoin de  $b$ . En pratique, pour des paires stéréo, on estime précisément  $\mathbf{C}$  et  $\mathbf{R}$ , qui sont proches d'un vecteur aligné à l'axe  $X$  et l'identité respectivement, mais pas identiques.

Nouveau problème : dans ce cas, les rayons qui remontent au point 3D par ses deux projections ne s'intersectent pas forcément  $\Rightarrow$  on utilise des algorithmes de triangulation qui cherchent une solution optimale par rapport à un certain critère, i.e. le point en 3D se trouvant à mi-chemin entre les deux rayons.

# Les données d'entrée

On a besoin de  $\epsilon_d$  en entrée de l'algorithme, mais cette disparité peut être estimée directement uniquement pour des points d'intérêt :

- ▶ on peut faire de la reconstruction 3D sparse
- ▶ on peut utiliser des méthodes d'optimisation pour associer tous les pixels d'une image à l'autre en minimisant la différence de couleur entre les pixels correspondants et en régularisant le champ de disparité résultant
- ▶ mais l'imprécision sera supérieure aux valeurs vues précédemment, et les points qui sont aux bords des objets peuvent ne pas avoir des correspondants

On a également besoin de  $b$ . En pratique, pour des paires stéréo, on estime précisément  $\mathbf{C}$  et  $\mathbf{R}$ , qui sont proches d'un vecteur aligné à l'axe  $X$  et l'identité respectivement, mais pas identiques.

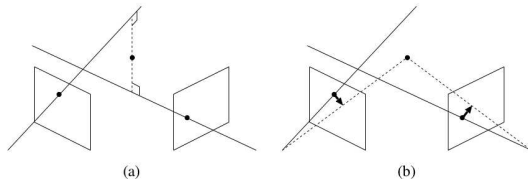


Figure 1: Triangulation. (a) The mid-point method. (b) Optimal correction.

# Les données d'entrée

On a besoin de  $\epsilon_d$  en entrée de l'algorithme, mais cette disparité peut être estimée directement uniquement pour des points d'intérêt :

- ▶ on peut faire de la reconstruction 3D sparse
- ▶ on peut utiliser des méthodes d'optimisation pour associer tous les pixels d'une image à l'autre en minimisant la différence de couleur entre les pixels correspondants et en régularisant le champ de disparité résultant
- ▶ mais l'imprécision sera supérieure aux valeurs vues précédemment, et les points qui sont aux bords des objets peuvent ne pas avoir des correspondants

On a également besoin de  $b$ . En pratique, pour des paires stéréo, on estime précisément  $\mathbf{C}$  et  $\mathbf{R}$ , qui sont proches d'un vecteur aligné à l'axe  $X$  et l'identité respectivement, mais pas identiques.

- ▶ Richard I. Hartley, and Peter F. Sturm., *Triangulation*, CVIU, 1997
- ▶ Kenichi Kanatani, Yasuyuki Sugaya and Hirotaka Niitsuma, *Triangulation from Two Views Revisited : Hartley-Sturm vs. Optimal Correction*, BMVC, 2008

# Les descripteurs

## Caractéristiques

- ▶ dépendant du type de primitives choisies
- ▶ attributs classiques :
  - ▶ colorimétriques
  - ▶ calculés sur un voisinage : texture, courbure, spectre de forme etc.
- ▶ attributs spécialisés :
  - ▶ images de visages : distance entre les yeux

# Les descripteurs

## Pourquoi ?

- ▶ recalage (alignement d'images : homographies, imagerie médicale etc.)
- ▶ reconstruction 3D
- ▶ suivi du mouvement
- ▶ reconnaissance d'objets
- ▶ indexation et recherche
- ▶ navigation (robotique)
- ▶ classification
- ▶ etc.



# Les descripteurs couleur

## Applications



- . Extraction pelouse
- . Choix des plans couleur les + discriminants
- . Classification
- . Segmentation



Segmentation de vidéos



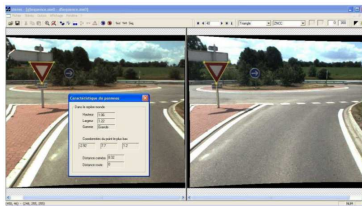
Détection de visages

# Les descripteurs couleur

## Applications



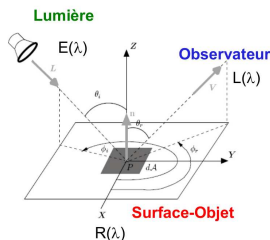
Détection défauts



Détection de panneaux

# Les descripteurs couleur

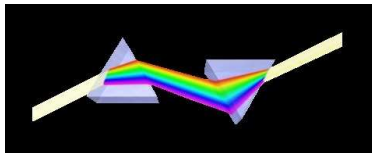
## L'information lumineuse



- ▶ provient de phénomènes physiques complexes
- ▶ interaction lumière-matière
- ▶ vision :
  - ▶ interprétation subjective de l'environnement
  - ▶ interaction lumière-matière-observateur
  - ▶ idem pour les cameras (sensibilités variées)

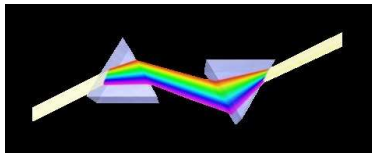
# Newton (Opticks, 1704)

Le blanc se décompose et se recompose :



# Newton (Opticks, 1704)

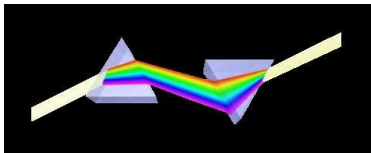
Le blanc se décompose et se recompose :



Ses sept composantes sont les couleurs primaires. Le blanc et le noir n'en sont pas.

# Newton (Opticks, 1704)

Le blanc se décompose et se recompose :



Ses sept composantes sont les couleurs primaires. Le blanc et le noir n'en sont pas. Principe de mesure de la couleur par moyenne pondérée de primaires.



# Aperçu historique

## Questions en débat au XIXe siècle

Combien de primaires :

- ▶ 7, c'est trop (cf. métamérisme)
- ▶ Combien : 3, 4, 5 ?

Relations entre primaires et couleurs spectrales :

- ▶ propriétés de la lumière
- ▶ propriétés de l'œil

# Aperçu historique

## Questions en débat au XIXe siècle

Combien de primaires :

- ▶ 7, c'est trop (cf. métamérisme)
- ▶ Combien : 3, 4, 5 ?

Relations entre primaires et couleurs spectrales :

- ▶ propriétés de la lumière
- ▶ propriétés de l'œil

## Premières réponses

- ▶ **Young**(1801) propose la bonne réponse : 3 sortes de récepteurs
- ▶ **Young** et **Herschel** (cca. 1830) tirent argument du cas de John Dalton, insensible au rouge



# Aperçu historique)

D'autres réponses au XIXe siècle

**Helmholtz** (1852) :

- ▶ jaune + bleu  $\neq$  vert !
- ▶ distinguer synthèse *additive* (Newton) et synthèse *soustractive* (peinture)

# Aperçu historique)

## D'autres réponses au XIXe siècle

**Helmholtz** (1852) :

- ▶ jaune + bleu  $\neq$  vert !
- ▶ distinguer synthèse *additive* (Newton) et synthèse *soustractive* (peinture)

## Les lois de la colorimétrie

**Grassmann** (1853) :

- ▶ La plupart des couleurs s'obtiennent en superposant 3 primaires arbitraires, le rouge, le vert et le bleu étant les mieux adaptés.
- ▶ Le phénomène est linéaire :

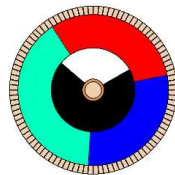
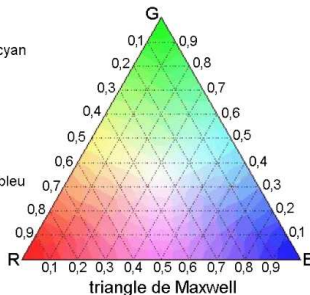
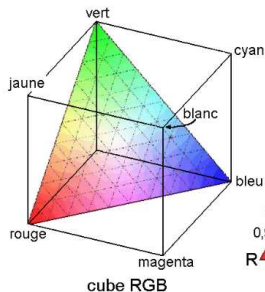
$$(R_1, V_1, B_1) + (R_2, V_2, B_2) = (R_1 + R_2, V_1 + V_2, B_1 + B_2)$$

- ▶ algèbre linéaire dans un espace à 3 dimensions (changement d'espace)
- ▶ paramétrisation possible avec teinte, saturation et luminance

# Aperçu historique

## Maxwell(1855)

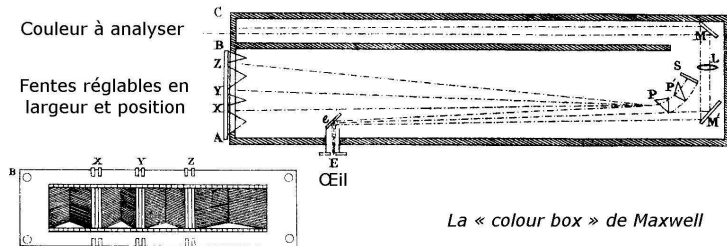
- ▶ développe ces idées et valide expérimentalement la théorie de Young des 3 récepteurs au moyen d'un rotateur des couleurs
- ▶ propose un triangle des couleurs



# Aperçu historique

## Maxwell(1855)

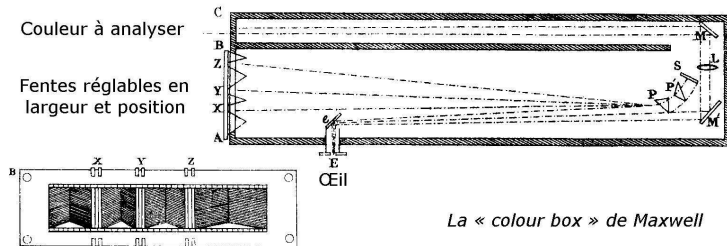
- ▶ construit une “boîte à couleurs” pour mélanger des lumières spectrales au lieu de couleurs peintes
- ▶ s'en sert pour réaliser la première photographie en couleurs (1861)



# Aperçu historique

## Maxwell(1855)

- ▶ construit une “boîte à couleurs” pour mélanger des lumières spectrales au lieu de couleurs peintes
- ▶ s'en sert pour réaliser la première photographie en couleurs (1861)



# Aperçu historique

De 1861 à 1931 :

- ▶ Développement des systèmes d'éclairage
- ▶ Révolution industrielle → besoin de donner à la colorimétrie un caractère scientifique
- ▶ 1931 : Commission Internationale de l'Eclairage adopte le premier système colorimétrique

# Généralités

## La représentation des couleurs

- ▶ L'œil est capable de discerner plus de 350.000 couleurs différentes

# Généralités

## La représentation des couleurs

- ▶ L'œil est capable de discerner plus de 350.000 couleurs différentes
- ▶ Pour caractériser de manière simple et efficace les couleurs, il est nécessaire d'effectuer un classement qui s'affranchisse de l'œil humain et de ses imperfections et autres défauts



# Généralités

## La représentation des couleurs

- ▶ L'œil est capable de discerner plus de 350.000 couleurs différentes
- ▶ Pour caractériser de manière simple et efficace les couleurs, il est nécessaire d'effectuer un classement qui s'affranchisse de l'œil humain et de ses imperfections et autres défauts
- ▶ Il existe trois manières de classer les couleurs

# Généralités

## La représentation des couleurs

- ▶ L'œil est capable de discerner plus de 350.000 couleurs différentes
- ▶ Pour caractériser de manière simple et efficace les couleurs, il est nécessaire d'effectuer un classement qui s'affranchisse de l'œil humain et de ses imperfections et autres défauts
- ▶ Il existe trois manières de classer les couleurs
- ▶ Selon une approche purement visuelle : **Chevreul, Munsell, Ostwald**

# Généralités

## La représentation des couleurs

- ▶ L'œil est capable de discerner plus de 350.000 couleurs différentes
- ▶ Pour caractériser de manière simple et efficace les couleurs, il est nécessaire d'effectuer un classement qui s'affranchisse de l'œil humain et de ses imperfections et autres défauts
- ▶ Il existe trois manières de classer les couleurs
- ▶ Selon une approche purement visuelle : **Chevreul, Munsell, Ostwald**
- ▶ Selon une approche purement physique : **CIE RGB, CIE XYZ**

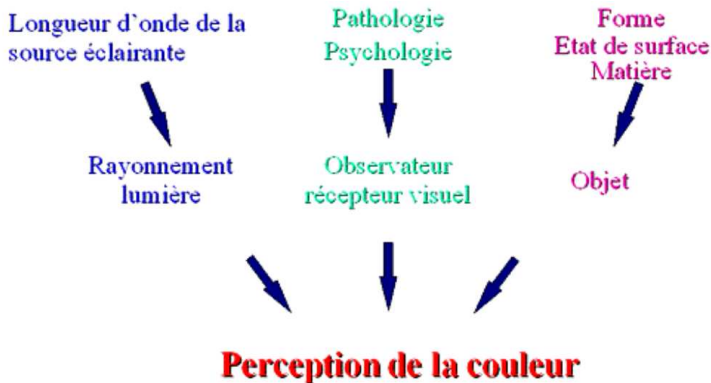
# Généralités

## La représentation des couleurs

- ▶ L'œil est capable de discerner plus de 350.000 couleurs différentes
- ▶ Pour caractériser de manière simple et efficace les couleurs, il est nécessaire d'effectuer un classement qui s'affranchisse de l'œil humain et de ses imperfections et autres défauts
- ▶ Il existe trois manières de classer les couleurs
- ▶ Selon une approche purement visuelle : **Chevreul, Munsell, Ostwald**
- ▶ Selon une approche purement physique : **CIE RGB, CIE XYZ**
- ▶ Selon une approche physique, mais corrigée par les données de la psychométrie : **CIELAB, CIELUV**

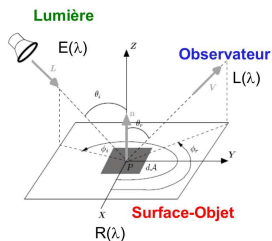
# Généralités

La perception de la couleur : un processus complexe



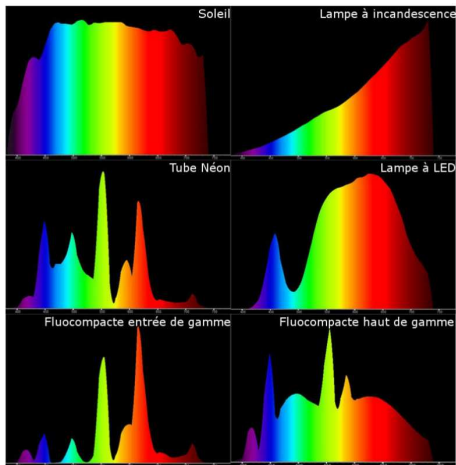
# Les descripteurs couleur

## L'information lumineuse



- ▶  $E(\lambda)$  : irradiance
- ▶  $R(\lambda)$  : reflectance du matériau
- ▶  $L(\lambda)$  : radiance

# Les descripteurs couleur



- ▶ lumière caractérisée de manière spectrale
- ▶ grande variété de spectres d'émission

# Généralités

Sources **blanches** couramment utilisées en photométrie :

- ▶ Illuminant A : lampes à incandescence 2856 K
- ▶ Illuminant B : soleil direct 4874K
- ▶ Illuminant C : jour moyen avec émission d'UV (6504K)
- ▶ Illuminant D65 : moyenne des lumières du jour sans UV (6774K)
- ▶ Illuminant W : blanc de référence, spectre constant.

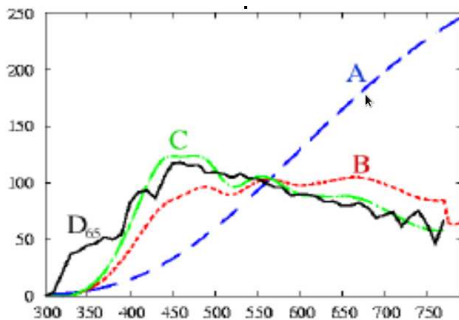


FIGURE – Luminance énergétique en  $\text{mWatts/sr/m}^2$   
3D et couleur (Vision robotique)



# Généralités

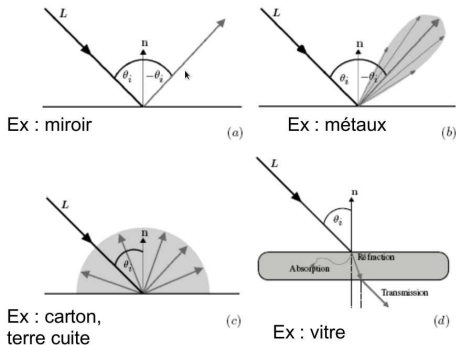
Sources **blanches** couramment utilisées en photométrie :

- ▶ Illuminant A : lampes à incandescence 2856 K
- ▶ Illuminant B : soleil direct 4874K
- ▶ Illuminant C : jour moyen avec émission d'UV (6504K)
- ▶ Illuminant D65 : moyenne des lumières du jour sans UV (6774K)
- ▶ Illuminant W : blanc de référence, spectre constant.



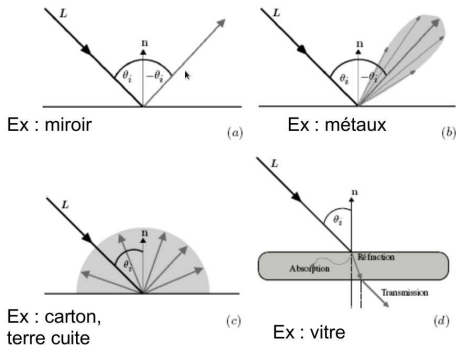
Il est très important de connaître l'illuminant : par exemple pour le compenser (constance chromatique)

# Les descripteurs couleur



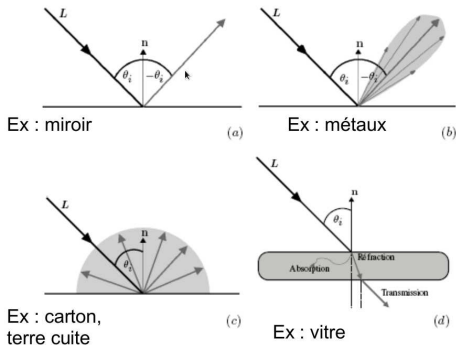
- ▶ a) réflexion spéculaire idéale
- ▶ b) réflexion spéculaire réelle (lobe)
- ▶ c) réflexion diffuse
- ▶ d) absorption, réfraction, transmission

# Les descripteurs couleur



- ▶ reflectance : rapport de la radiance spectrale  $L(\lambda)$  émise par un échantillon de surface sur l'irradiance  $E(\lambda)$
- ▶ plusieurs modélisations : Phong, Nayar, Torrance Sparrow etc.

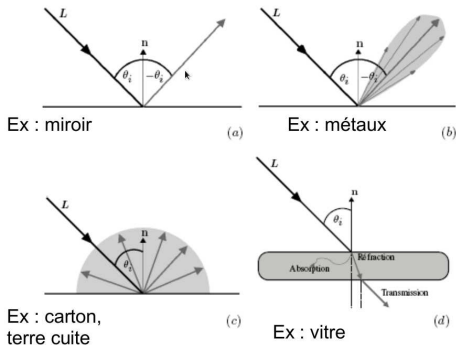
# Les descripteurs couleur



► le modèle Lambertien :

$$L(\lambda, P) = E(\lambda, P)R(\lambda, P) \cos \theta(P)$$

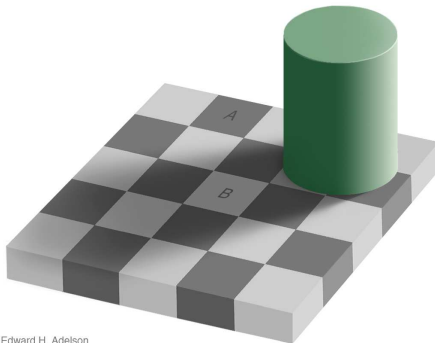
# Les descripteurs couleur



► le modèle de Phong :

$$L(\lambda, P) = E(\lambda, P)R(\lambda, P) \cos \theta(P) + K_s(\lambda, P) \cos^n(\rho) + K_a(\lambda, P)$$

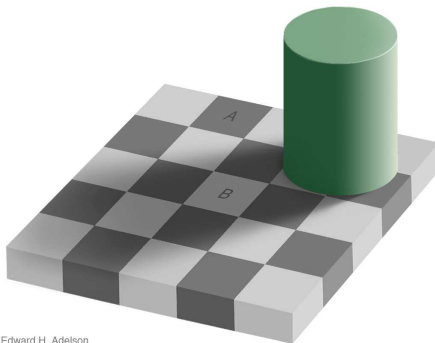
# Les descripteurs couleur



Edward H. Adelson

- ▶ le cerveau se force à visualiser les carrés tels qu'ils devraient être
- ▶ l'important n'est pas ce qui compose l'environnement mais la manière dont on le perçoit

# Les descripteurs couleur



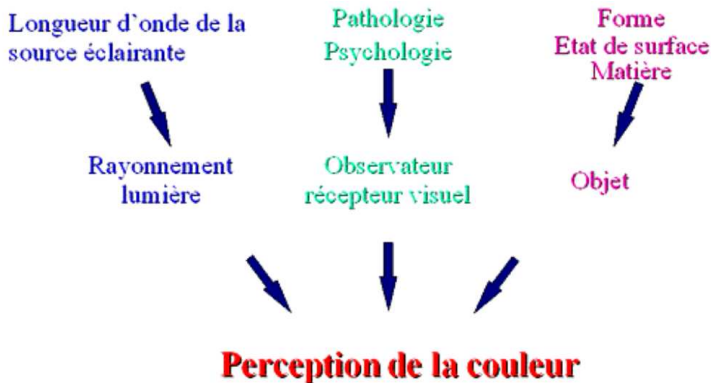
Edward H. Adelson

- ▶ le cerveau se force à visualiser les carrés tels qu'ils devraient être
- ▶ l'important n'est pas ce qui compose l'environnement mais la manière dont on le perçoit
- ▶ à méditer ...



# Généralités

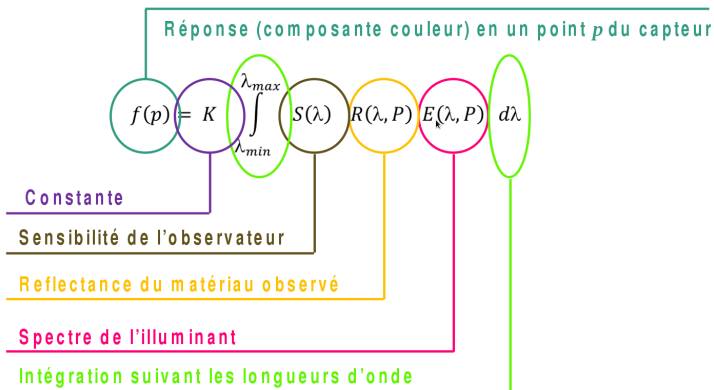
La perception de la couleur : un processus complexe





# Généralités

La perception de la couleur : un processus complexe



# Généralités

## Modèle physique

$$f(p) = K \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} S(\lambda) R(\lambda, P) E(\lambda, P) d\lambda$$

- $f(p)$  : réponse couleur (Trois intégrations). CIE : choix de trois primaires

# Généralités

## Modèle physique

$$f(p) = K \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} S(\lambda) R(\lambda, P) E(\lambda, P) d\lambda$$

- ▶  $f(p)$  : réponse couleur (Trois intégrations). CIE : choix de trois primaires
- ▶  $S(\lambda)$  : spectre de réponse de l'observateur (i.e. capteur). CIE : Observateur standard, 3 courbes de réponse spectrale

# Généralités

## Modèle physique

$$f(p) = K \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} S(\lambda) R(\lambda, P) E(\lambda, P) d\lambda$$

- ▶  $f(p)$  : réponse couleur (Trois intégrations). CIE : choix de trois primaires
- ▶  $S(\lambda)$  : spectre de réponse de l'observateur (i.e. capteur). CIE : Observateur standard, 3 courbes de réponse spectrale
- ▶  $R(\lambda, P)$  : spectre de réflectance de l'objet. CIE : modèles (Lambert), mesures (BRDF)

# Généralités

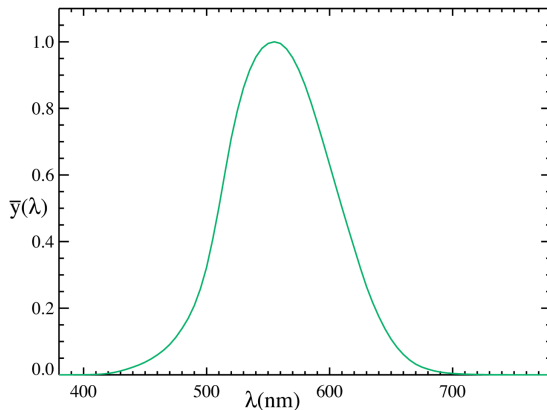
## Modèle physique

$$f(p) = K \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} S(\lambda) R(\lambda, P) E(\lambda, P) d\lambda$$

- ▶  $f(p)$  : réponse couleur (Trois intégrations). CIE : choix de trois primaires
- ▶  $S(\lambda)$  : spectre de réponse de l'observateur (i.e. capteur). CIE : Observateur standard, 3 courbes de réponse spectrale
- ▶  $R(\lambda, P)$  : spectre de réflectance de l'objet. CIE : modèles (Lambert), mesures (BRDF)
- ▶  $E(\lambda, P)$  : spectre de l'illuminant. CIE : A - incandescence, B - lumière directe soleil, D65 - lumière du jour moyenne

# Sensibilité spectrale

$V(\lambda)$  - la sensibilité moyenne de la perception visuelle humaine de l'intensité lumineuse



# Vision des couleurs

- ▶ vision colorée → absorption sélective des cônes  $\rho, \gamma, \beta$

# Vision des couleurs

- ▶ vision colorée  $\rightarrow$  absorption sélective des cônes  $\rho, \gamma, \beta$
- ▶ idée : remplacer la sensibilité spectrale globale  $V(\lambda)$  par la sensibilité des trois types de cônes  $\bar{\rho}(\lambda), \bar{\gamma}(\lambda), \bar{\beta}(\lambda)$



# Vision des couleurs

- ▶ vision colorée → absorption sélective des cônes  $\rho, \gamma, \beta$
- ▶ idée : remplacer la sensibilité spectrale globale  $V(\lambda)$  par la sensibilité des trois types de cônes  $\bar{\rho}(\lambda), \bar{\gamma}(\lambda), \bar{\beta}(\lambda)$
- ▶ les signaux délivrés par les différents types de cônes :

$$S_{\rho} = K \int l_{\lambda}^e \bar{\rho}(\lambda) d\lambda$$

$$S_{\gamma} = K \int l_{\lambda}^e \bar{\gamma}(\lambda) d\lambda$$

$$S_{\beta} = K \int l_{\lambda}^e \bar{\beta}(\lambda) d\lambda$$

# Vision des couleurs

- ▶ vision colorée → absorption sélective des cônes  $\rho, \gamma, \beta$
- ▶ idée : remplacer la sensibilité spectrale globale  $V(\lambda)$  par la sensibilité des trois types de cônes  $\bar{\rho}(\lambda), \bar{\gamma}(\lambda), \bar{\beta}(\lambda)$
- ▶ les signaux délivrés par les différents types de cônes :

$$S_{\rho} = K \int l_{\lambda}^e \bar{\rho}(\lambda) d\lambda$$

$$S_{\gamma} = K \int l_{\lambda}^e \bar{\gamma}(\lambda) d\lambda$$

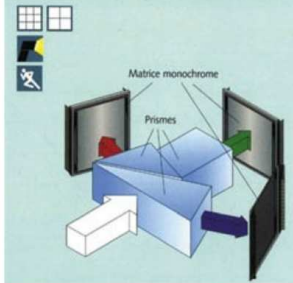
$$S_{\beta} = K \int l_{\lambda}^e \bar{\beta}(\lambda) d\lambda$$

- ▶ ces trois fonctions ne seront pas utilisées par la suite puisqu'aucun système colorimétrique n'est fondé sur la réponse réelle de l'œil. Mais nous rencontrerons des **fonctions colorimétriques**

# De la lumière à la couleur

## Caméra tri-CCD

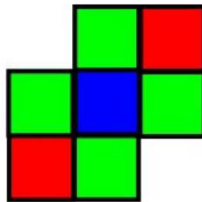
Trois matrices CCD, un seul passage



## Caméra mono-CCD

Un seul capteur

Une mosaïque de filtres

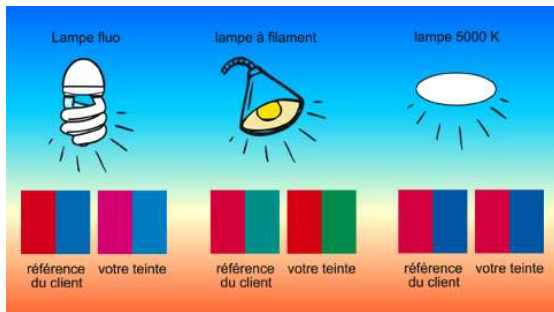


Filtre de Bayer:  
plus de poids au Vert (le  
SVH est plus sensible au  
vert)

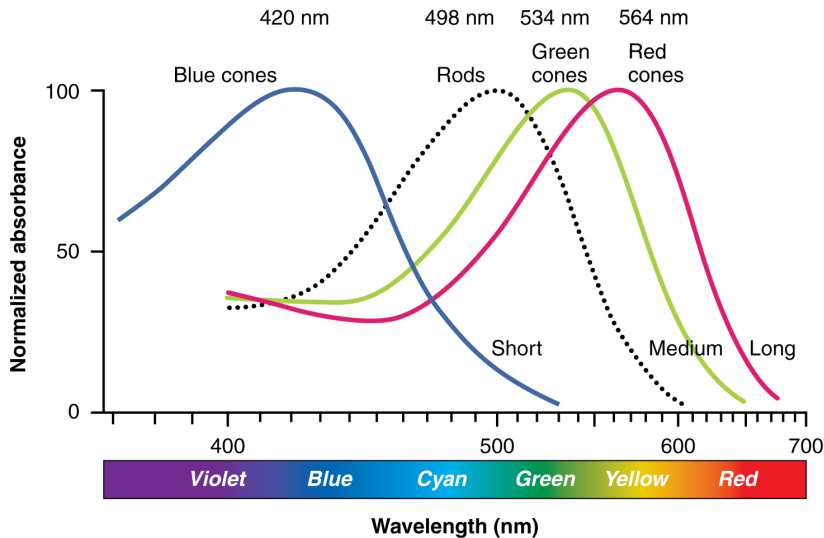
# Généralités

Métamérisme - les variations de couleur que subit un objet en fonction des différentes sources lumineuses qui l'éclairent.

- ▶ deux couleurs absolument identiques sous un éclairage seront vues différentes sous un autre type d'éclairage.
- ▶ deux couleurs nettement différentes sous un éclairage seront vues identiques sous un autre type d'éclairage.

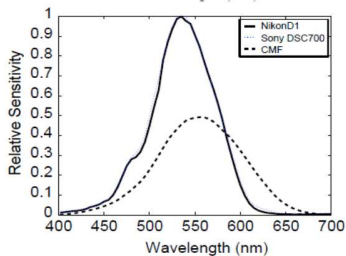


# Sensibilité de l'observateur

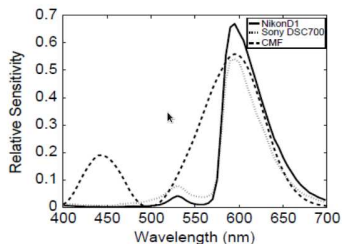


# Capteurs d'appareils photo

M  
(Medium)



L  
(Long)



# Capteurs et filtres



Pour comparaison: photo en couleurs sans filtre



Photo sans filtre

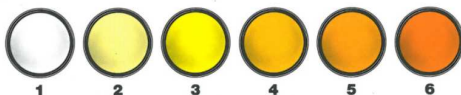


Avec filtre B+W 081 bleu **4**



Avec filtre B+W 090 rouge clair **5**

# Capteurs - filtres passe haut successifs



## 1 Filtre UV 010 B+W

Même avec des films noir et blanc, les rayons UV ont des effets indésirables. Lorsque la lumière présente une importante quantité d'UV (bords de mer, haute montagne), les photos obtenues risquent d'être fades et sans contraste. Le filtre anti-UV incolore évite ce phénomène et peut être monté en permanence sur l'objectif pour protéger la lentille frontale. Il n'entraîne pas de prolongation du temps d'exposition.

## 2 Filtre jaune clair 021 B+W

Le filtre 021 accentue le contraste des sujets clairs et bruneux en réhaussant légèrement les tons jaunes, oranges et rouges. Il est donc particulièrement indiqué pour les portraits d'enfants. Facteur de prolongation de l'exposition de x 1,5 environ.

## 3 Filtre jaune moyen 022 B+W

Le filtre 022 est particulièrement indiqué pour les prises de vues de paysages et de végétaux. En portrait en lumière du jour, il estompe les rougeurs de la peau, procure un rendu de l'épiderme légèrement chaud et accentue le contraste des cheveux blonds. Facteur de prolongation de l'exposition de x 2 environ.

## 4 Filtre jaune foncé 023 B+W

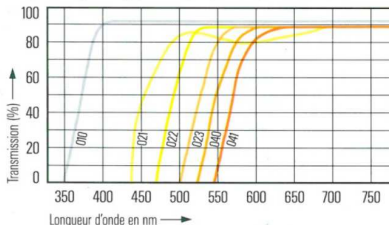
Le filtre 023 donne un rendu amélioré des fines structures (par exemple sable ou neige). En portrait sous lumière artificielle, il estompe efficacement les rougeurs et les petites imperfections de la peau. Cependant, les yeux sont restitués en tons plus foncés et les lèvres en tons plus clairs. Facteur de prolongation de l'exposition de x 3 environ.

## 5 Filtre jaune orangé 040 B+W

Le filtre 040 jaune orangé assombrit le bleu et le violet sans agir sur le vert et le jaune vert. Il se révèle donc indispensable pour toutes les prises des vues de paysage et d'architecture nécessitant une restitution nette des contours et du relief. Il intensifie la densité du ciel et fait ressortir les nuages. Le filtre 040 est également apprécié en nu en extérieur. Facteur de prolongation de l'exposition de x 4 environ.

## 6 Filtre rouge orangé 041 B+W

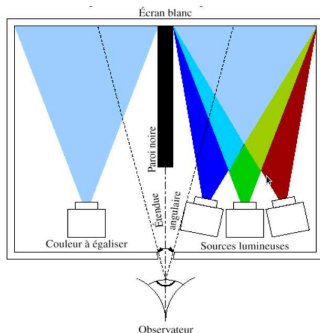
Le filtre 041 produit une montée des contrastes à effet dramatisant; assombrissement marqué du ciel, très fort relief des nuages, zones sombres très fortement accentuées. Ce filtre orange foncé est particulièrement indiqué pour une séparation franche des tons en photo d'objets (il éclaircit le jaune, l'orange et le rouge). Facteur de prolongation de l'exposition de x 4 environ.





# Expérience fondamentale

Dispositif expérimental :



On demande à l'observateur de dire quand les deux plages qu'il voit sont de même luminance et de même couleur (métamérisme).

Avec ce dispositif, l'œil est utilisé comme "détecteur de zéro", zéro se rapportant au contraste de luminance **et** au contraste de couleur.

On échappe à la question insoluble de savoir si deux observateurs différents ont la même sensation.

# Expérience fondamentale

## La colorimétrie

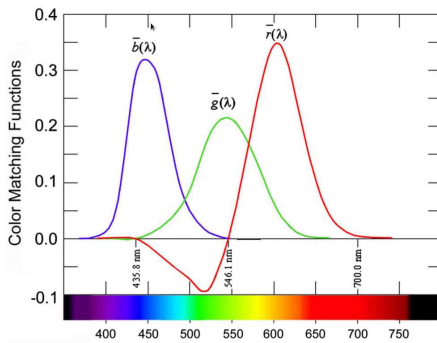
Objectif : spécifier la couleur des sources lumineuses ainsi que celles des matériaux transparents ou diffusants à partir des égalisations visuelles où l'œil de l'observateur est assimilé à un **dispositif d'appréciation de zéro** pour juger de l'identité de deux stimuli colorés.

Le dispositif permet d'écrire des équations, de nature subjective, du type :

$$\text{plage gauche} = \text{plage droite}$$

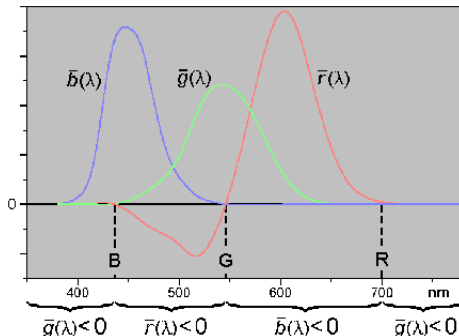
# Le système RGB

- ▶ On cherche quelle combinaison des trois lampes R, G et B permet d'égaliser un stimulus spectralement **pur**  $C_S$ , de luminance **énergétique** unité
- ▶ On répète l'opération pour "toutes" les longueurs d'onde  $\lambda_i$  du spectre visible, et on peut obtenir les trois fonctions colorimétriques



# Le système RGB

- ▶ On cherche quelle combinaison des trois lampes R, G et B permet d'égaliser un stimulus spectralement **pur**  $C_S$ , de luminance **énergétique** unité
- ▶ On répète l'opération pour "toutes" les longueurs d'onde  $\lambda_i$  du spectre visible, et on peut obtenir les trois fonctions colorimétriques

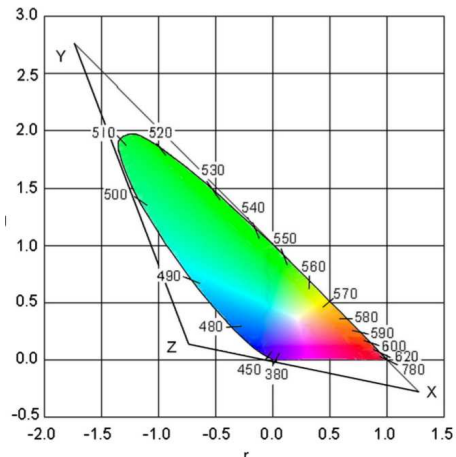


# Le système RGB

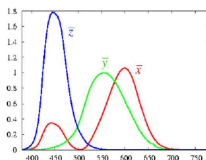
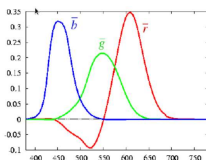
Wavelength (nm)	$\bar{r}(\lambda)$	$\bar{g}(\lambda)$	$\bar{b}(\lambda)$	Wavelength (nm)	$\bar{r}(\lambda)$	$\bar{g}(\lambda)$	$\bar{b}(\lambda)$
380	0.00003	-0.00001	0.00117	585	0.27989	0.11686	-0.00093
385	0.00005	-0.00002	0.00189	590	0.30928	0.09754	-0.00079
390	0.00010	-0.00004	0.00359	595	0.33184	0.07909	-0.00063
395	0.00017	-0.00007	0.00647	600	0.34429	0.06246	-0.00049
400	0.00030	-0.00014	0.01214	605	0.34756	0.04776	-0.00038
405	0.00047	-0.00022	0.01969	610	0.33971	0.03557	-0.00030
410	0.00084	-0.00041	0.03707	615	0.32265	0.02583	-0.00022
415	0.00139	-0.00070	0.06637	620	0.29708	0.01828	-0.00015
420	0.00211	-0.00110	0.11541	625	0.26348	0.01253	-0.00011
425	0.00266	-0.00143	0.18575	630	0.22677	0.00833	-0.00008
430	0.00218	-0.00119	0.24769	635	0.19233	0.00537	-0.00005
435	0.00036	-0.00021	0.29012	640	0.15968	0.00334	-0.00003
440	-0.00261	0.00149	0.31228	645	0.12905	0.00199	-0.00002
445	-0.00673	0.00379	0.31860	650	0.10167	0.00116	-0.00001
450	-0.01213	0.00678	0.31670	655	0.07857	0.00066	-0.00001
455	-0.01874	0.01046	0.31166	660	0.05932	0.00037	0.00000
460	-0.02608	0.01485	0.29821	665	0.04366	0.00021	0.00000
465	-0.03324	0.01977	0.27295	670	0.03149	0.00011	0.00000
470	-0.03933	0.02538	0.22991	675	0.02294	0.00006	0.00000
475	-0.04471	0.03183	0.18592	680	0.01687	0.00003	0.00000
480	-0.04939	0.03914	0.14494	685	0.01187	0.00001	0.00000
485	-0.05364	0.04713	0.10968	690	0.00819	0.00000	0.00000
490	-0.05814	0.05689	0.08257	695	0.00572	0.00000	0.00000
495	-0.06414	0.06948	0.06246	700	0.00410	0.00000	0.00000
500	-0.07173	0.08536	0.04776	705	0.00291	0.00000	0.00000
505	-0.08120	0.10593	0.03688	710	0.00210	0.00000	0.00000
510	-0.08901	0.12860	0.02698	715	0.00148	0.00000	0.00000
515	-0.09356	0.15262	0.01842	720	0.00105	0.00000	0.00000
520	-0.09264	0.17468	0.01221	725	0.00074	0.00000	0.00000
525	-0.08473	0.19113	0.00830	730	0.00052	0.00000	0.00000
530	-0.07101	0.20317	0.00549	735	0.00036	0.00000	0.00000
535	-0.05316	0.21083	0.00320	740	0.00025	0.00000	0.00000
540	-0.03152	0.21466	0.00146	745	0.00017	0.00000	0.00000
545	-0.00613	0.21487	0.00023	750	0.00012	0.00000	0.00000
550	0.02279	0.21178	-0.00058	755	0.00008	0.00000	0.00000
555	0.05514	0.20588	-0.00105	760	0.00006	0.00000	0.00000
560	0.09060	0.19702	-0.00130	765	0.00004	0.00000	0.00000
565	0.12840	0.18522	-0.00138	770	0.00003	0.00000	0.00000
570	0.16768	0.17087	-0.00135	775	0.00001	0.00000	0.00000
575	0.20715	0.15429	-0.00123	780	0.00000	0.00000	0.00000
580	0.24526	0.13610	-0.00108				

# Le système RGB

Diagramme  $r$  versus  $g$  :



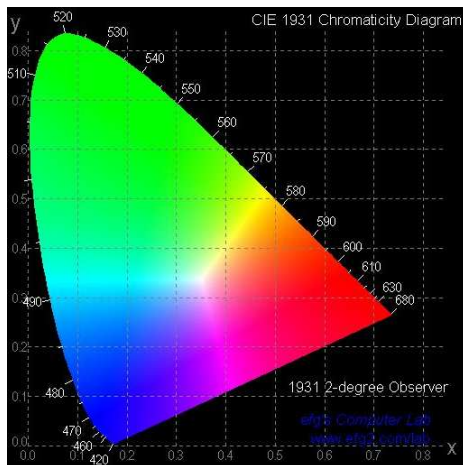
# Les descripteurs couleur



- ▶ trichromie : 3 couleurs primaires permettent de reproduire la quasi-totalité des couleurs
- ▶ l'observateur standard (r,g,b) 1931 : partie négative de la composante rouge à l'encontre de la théorie additive (il faut rajouter une quantité de rayonnement rouge au stimulus à égaliser)
- ▶ remplacement par l'observateur standard CIE 1931 :

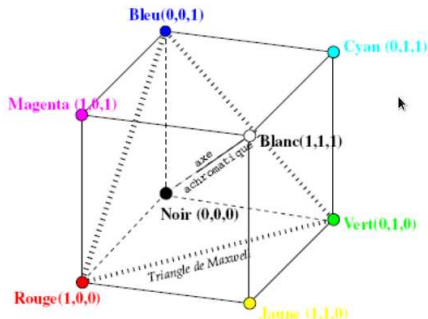
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \frac{1}{b_{21}} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \frac{1}{0.17697} \begin{bmatrix} 0.49 & 0.31 & 0.20 \\ 0.17697 & 0.81240 & 0.01063 \\ 0.00 & 0.01 & 0.99 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

# Le système XYZ



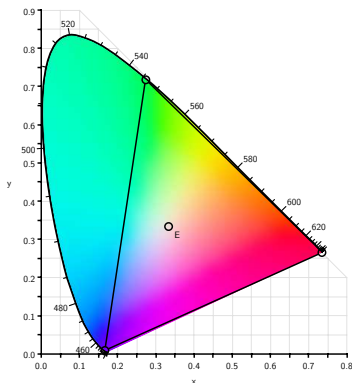


# Les descripteurs couleur



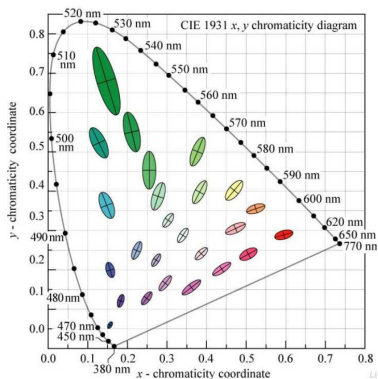
- ▶ triangle de Maxwell : espace couleur dont les sommets sont R, V et B
- ▶ couleur référencée par ses coordonnées réduites ( $R/I$ ,  $G/I$ ,  $B/I$ ) avec  $I = R+G+B$

# Les descripteurs couleur



- ▶ seule la chrominance des couleurs est représentée
- ▶ triangle XYZ : couleurs reproductibles par synthèse additive des trois primaires XYZ
- ▶ diagramme : domaine des couleurs du visible
- ▶ triangle de Maxwell : domaine des couleurs reproductibles par synthèse additive des primaires RGB

# Les descripteurs couleur



- ▶ problème : espace non uniforme perceptuellement
- ▶ expériences de psycho-sensibilité : ellipses de tailles différentes (plus petites dans le bleu)
- ▶ transformation non linéaire nécessaire : ellipsoïdes en sphères

# Les descripteurs couleur

$$\begin{aligned}L^* &= 116 \left[ f \left( \frac{Y}{Y_n} \right) - \frac{16}{116} \right] \\a^* &= 500 \left[ f \left( \frac{X}{X_n} \right) - f \left( \frac{Y}{Y_n} \right) \right] \\b^* &= 200 \left[ f \left( \frac{Y}{Y_n} \right) - f \left( \frac{Z}{Z_n} \right) \right] \\f(w) &= \begin{cases} w^{1/3} & \text{if } w > 0.008856 \\ 7.787w + \frac{16}{116} & \text{otherwise} \end{cases}\end{aligned}$$

- ▶ solution : espaces perceptuellement uniformes
  - ▶  $L^*a^*b^*$ ,
  - ▶  $L^*u^*v^*$
  - ▶  $u^*v^*w^*$
- ▶ et finalement deux autres espaces qui méritent d'être évoqués :
  - ▶ HSV (Hue Saturation Value), bonne compatibilité avec la perception humaine et sépare les valeurs chromatiques par rapport aux valeurs achromatiques, mais singularités
  - ▶ espace de Otha  $l_1l_2l_3$  ; principe : trouver par apprentissage la meilleure représentation pour la discrimination à partir d'une base d'images naturelles

# Pour conclure

Référence	Espaces comparés	Espace(s) choisi(s)
[OPR78]	$(R, V, B), (Y, I, Q), (I, S, T)$	$T$
[OKS80]	$(R, V, B), (X, Y, Z), (Y, I, Q), (L^*, a^*, b^*), (U^*, V^*, W^*), (I, r, g), (I, S, T), (I1, I2, I3)$	$(I1, I2, I3)$
[LL90]	$(R, V, B), (X, Y, Z), (Y, I, Q), (U, V, W), (I1, I2, I3)$	$(I1, I2, I3), (R, V, B)$
[GH92]	$(R, V, B), (Y, I, Q), (L^*, a^*, b^*), (L, C, H)$	$(L^*, a^*, b^*), (L, C, H)$
[AR96]	$(R, V, B), (r, v, b), (I, S, T)$	$(I, S, T)$ ✱
[LR97]	$(R, V, B), (Y, u, v), (Y, Q_{RG}, Q_{RB})$	$(R, V, B)$
[BMB <sup>+</sup> 92]	$(R, V, B), (Y, I, Q), (L^*, a^*, b^*), (L^*, u^*, v^*), (I, r, g), (I, S, T), (I1, I2, I3)$	$(L^*, a^*, b^*), (L^*, u^*, v^*)$
[LY94]	$(R, V, B), (X, Y, Z), (Y, I, Q), (L^*, a^*, b^*), (I, S, T), (I1, I2, I3)$	$(I1, I2, I3)$
[LCK94]	$(R, V, B), (X, Y, Z), (Y, I, Q), (L^*, a^*, b^*), (U^*, V^*, W^*), (I, r, g), (I, S, T), (I1, I2, I3), (v_1, v_2, v_3)$	$(v_1, v_2, v_3), (I, r, g)$
[PR02]	$(R, V, B), (L^*, a^*, b^*), (L, C, H), (I, S, T), (I1, I2, I3), (i_1, i_2, i_3)$	$(I1, I2, I3), (i_1, i_2, i_3)$
[Muk02]	$(R, V, B), (Y, I, Q), (L^*, a^*, b^*), (U, V, W), (I1, I2, I3)$	$(I1, I2, I3)$
[DS05]	$(R, V, B), (r, v, b), (Y, Cb, Cr), (L^*, a^*, b^*), (I, S, T), (I1, I2, I3)$	dépend de l'algorithme
[PBC05]	$(R, V, B), (Y, Cb, Cr), (L^*, a^*, b^*), (I, S, T)$	Tous les espaces sont jugés équivalents.

# Exemple



# Exemple



R



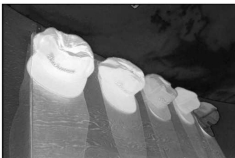
G



B



H



S



V

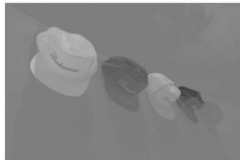
# Exemple



I1



I2



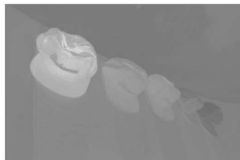
I3



L



a



b



# Teinte vs. luminance



Changement  
d'intensité

Hue

Luminance



# Schéma de traitement

Intérêt de la couleur en traitement d'images :

- ▶ Information discriminante et décisive pour certains traitements : segmentation, indexation, reconnaissance.

Options traitement :

# Schéma de traitement

Intérêt de la couleur en traitement d'images :

- ▶ Information discriminante et décisive pour certains traitements : segmentation, indexation, reconnaissance.
- ▶ Possibilité de robustesse / variations d'illumination par utilisation d'invariants couleur.

Options traitement :

# Schéma de traitement

Intérêt de la couleur en traitement d'images :

- ▶ Information discriminante et décisive pour certains traitements : segmentation, indexation, reconnaissance.
- ▶ Possibilité de robustesse / variations d'illumination par utilisation d'invariants couleur.
- ▶ Inconvénient évident : 3 plans couleur à traiter, plus coûteux en temps de calcul.

Options traitement :

# Schéma de traitement

Intérêt de la couleur en traitement d'images :

- ▶ Information discriminante et décisive pour certains traitements : segmentation, indexation, reconnaissance.
- ▶ Possibilité de robustesse / variations d'illumination par utilisation d'invariants couleur.
- ▶ Inconvénient évident : 3 plans couleur à traiter, plus coûteux en temps de calcul.

Options traitement :

- ▶ fusion des trois résultats marginaux

# Schéma de traitement

Intérêt de la couleur en traitement d'images :

- ▶ Information discriminante et décisive pour certains traitements : segmentation, indexation, reconnaissance.
- ▶ Possibilité de robustesse / variations d'illumination par utilisation d'invariants couleur.
- ▶ Inconvénient évident : 3 plans couleur à traiter, plus coûteux en temps de calcul.

Options traitement :

- ▶ fusion des trois résultats marginaux
- ▶ méthodes vectorielles (multi-composantes)

# Schéma de traitement

Intérêt de la couleur en traitement d'images :

- ▶ Information discriminante et décisive pour certains traitements : segmentation, indexation, reconnaissance.
- ▶ Possibilité de robustesse / variations d'illumination par utilisation d'invariants couleur.
- ▶ Inconvénient évident : 3 plans couleur à traiter, plus coûteux en temps de calcul.

Options traitement :

- ▶ fusion des trois résultats marginaux
- ▶ méthodes vectorielles (multi-composantes)
- ▶ choix du système de représentation (pour faciliter les traitements / pour mesurer des écarts couleur)

# Schéma de traitement

Intérêt de la couleur en traitement d'images :

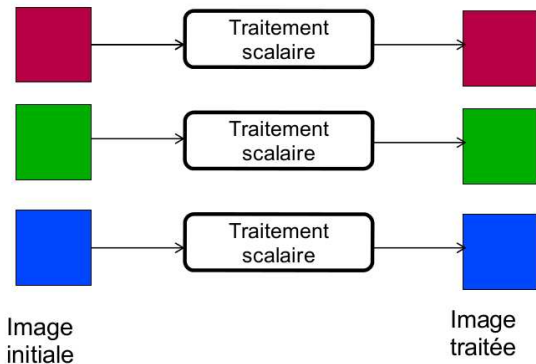
- ▶ Information discriminante et décisive pour certains traitements : segmentation, indexation, reconnaissance.
- ▶ Possibilité de robustesse / variations d'illumination par utilisation d'invariants couleur.
- ▶ Inconvénient évident : 3 plans couleur à traiter, plus coûteux en temps de calcul.

Options traitement :

- ▶ fusion des trois résultats marginaux
- ▶ méthodes vectorielles (multi-composantes)
- ▶ choix du système de représentation (pour faciliter les traitements / pour mesurer des écarts couleur)
- ▶ attention à l'introduction d'aberrations / création de fausses couleurs

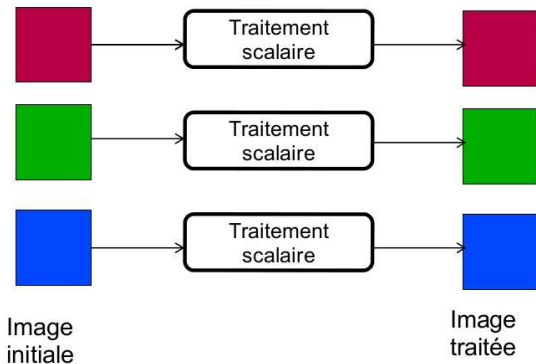


# Traitement scalaire



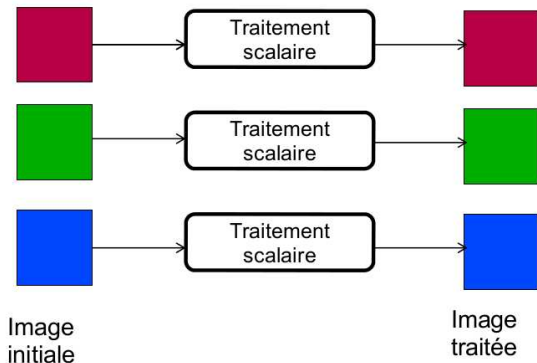
- Traitements monocomposantes issus de l'imagerie monochrome

# Traitement scalaire



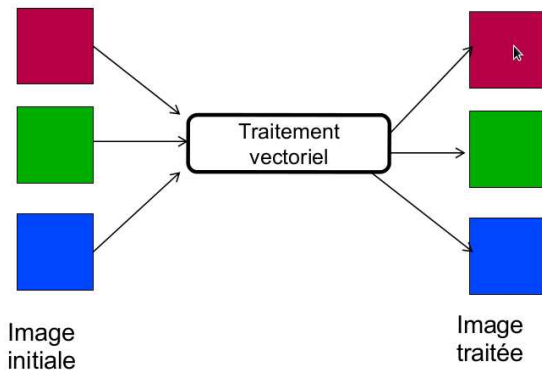
- ▶ Traitements monocomposantes issus de l'imagerie monochrome
- ▶ Non prise en compte de la corrélation pouvant exister entre les composantes.

# Traitement scalaire



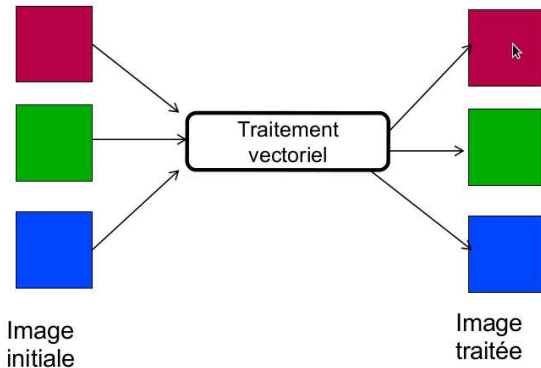
- ▶ Traitements monocomposantes issus de l'imagerie monochrome
- ▶ Non prise en compte de la corrélation pouvant exister entre les composantes.
- ▶ Autant de traitements que de composantes : coûteux en temps de calcul (mais possibilité de parallélisme de tâches)

# Traitement vectoriel



- Méthode a priori plus satisfaisante par prise en compte de l'aspect multicomposantes.

# Traitement vectoriel



- ▶ Méthode a priori plus satisfaisante par prise en compte de l'aspect multicomposantes.
- ▶ Un seul traitement, mais celui-ci peut être plus coûteux en terme de temps de calcul.

# Choix d'un espace couleur

Problèmes de l'espace RGB :

- ▶ Interprétation difficile

Solutions :

# Choix d'un espace couleur

Problèmes de l'espace RGB :

- ▶ Interprétation difficile
- ▶ La différence perçue entre deux couleurs ne coïncide pas avec leur distance dans RGB.

Solutions :

# Choix d'un espace couleur

Problèmes de l'espace RGB :

- ▶ Interprétation difficile
- ▶ La différence perçue entre deux couleurs ne coïncide pas avec leur distance dans RGB.

Solutions :

- ▶ Recherche d'une base pour laquelle les composantes sont décorréées.  
Utilisation de méthodes d'analyse statistique dépendantes des données (PCA, ICA)



# Choix d'un espace couleur

Problèmes de l'espace RGB :

- ▶ Interprétation difficile
- ▶ La différence perçue entre deux couleurs ne coïncide pas avec leur distance dans RGB.

Solutions :

- ▶ Recherche d'une base pour laquelle les composantes sont décorréélées.  
Utilisation de méthodes d'analyse statistique dépendantes des données (PCA, ICA)
- ▶ Espace de Luminance-Teinte-Saturation (plus facile à interpréter)

# Choix d'un espace couleur

Problèmes de l'espace RGB :

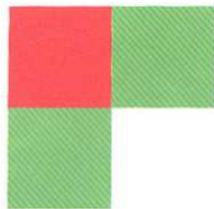
- ▶ Interprétation difficile
- ▶ La différence perçue entre deux couleurs ne coïncide pas avec leur distance dans RGB.

Solutions :

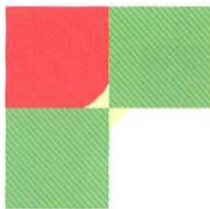
- ▶ Recherche d'une base pour laquelle les composantes sont décorréélées.  
Utilisation de méthodes d'analyse statistique dépendantes des données (PCA, ICA)
- ▶ Espace de Luminance-Teinte-Saturation (plus facile à interpréter)
- ▶ Espaces perceptuellement uniformes (pour les applications de comparaison de qualité).

# Apparition de fausses couleurs

Exemple : filtre médian



(a) image initiale



(b) médian marginal



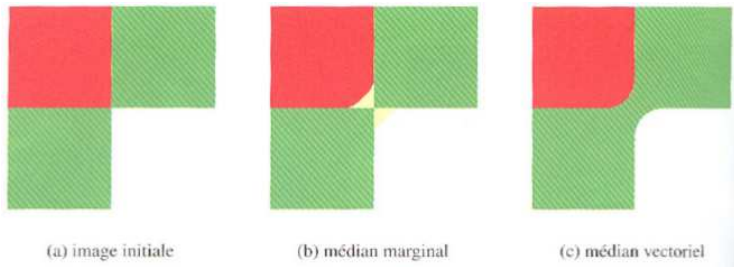
(c) médian vectoriel

Le filtre médian marginal :

- Introduction de fausses couleurs : peuvent gêner les traitements qui suivent le filtrage.

# Apparition de fausses couleurs

Exemple : filtre médian

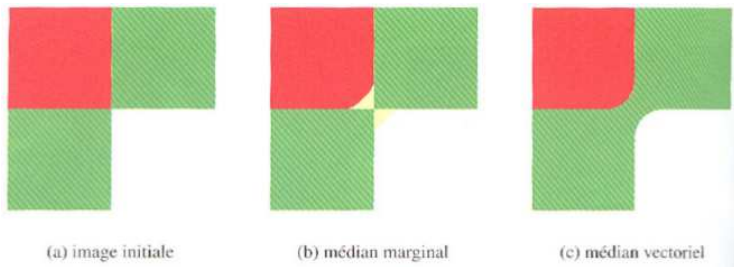


Le filtre médian marginal :

- ▶ Introduction de fausses couleurs : peuvent gêner les traitements qui suivent le filtrage.
- ▶ Mais effet de lissage en général plus important

# Apparition de fausses couleurs

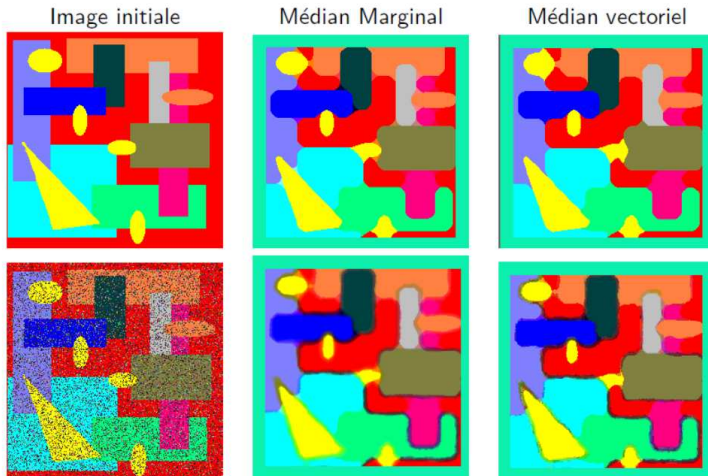
Exemple : filtre médian



Le filtre médian marginal :

- ▶ Introduction de fausses couleurs : peuvent gêner les traitements qui suivent le filtrage.
- ▶ Mais effet de lissage en général plus important
- ▶ Difficulté pour choisir l'ordre de tri (canonique, suivant une composante, lexicographique, distance par rapport à un vecteur de référence etc.)

# Exemple : filtre médian



## Exemple : filtre médian

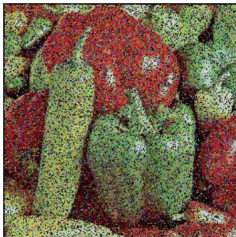


Image bruitée



Filtrage médian  
marginal



Filtrage médian  
vectoriel