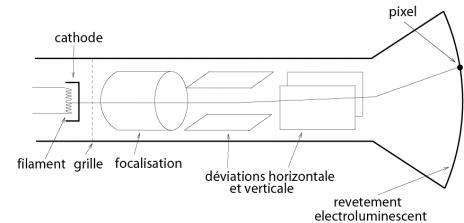


## Couleurs

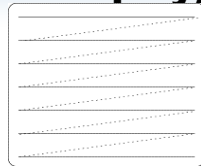
### Matériel : Tubes à rayons cathodiques

- Tubes à rayons cathodiques : électrons sont accéléré, focalisé touchent un revêtement phosphorescent sur l'écran
- Pixel : « picture element » c'est la plus petite surface excitable
- Résolution : nombre max. de pixels (*horizontal x vertical*)



### Écrans graphiques matricielles (raster display)

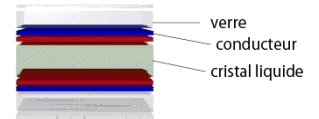
- Balayage récurrent de l'écran (similaire à la TV)
- Nécessite une fréquence >30Hz pour éviter le scintillement
- L'image est stockée dans une mémoire (frame buffer)
- Système bitmap...



- Désavantages :
  - Coût mémoire importante (1024x1024x32bits = 4Mo)
  - Discrétisation (aliasing) provoque des artefacts
  - Scintillement (animations)

### Écrans LCD (Liquid Crystal Display)

- Un champ électrique appliqué entre les couches conductrices en chaque élément (pixel) de la matrice contrôle l'opacité du cristal localement



- Avantages :
  - Écrans plats
  - Consommation de courant faible
- Désavantages :
  - Angles de vue
  - Temps de réponse

### Écrans « Stéréo ou 3D »

- But est de projeter des images différentes dans chaque œil. On peut utiliser différentes techniques :
  - Lunettes Rouge/Vert
  - Lunettes Polarisé
  - Prismes...



<http://www.stereo3d.com/news.htm>



© Research Group 3D Display

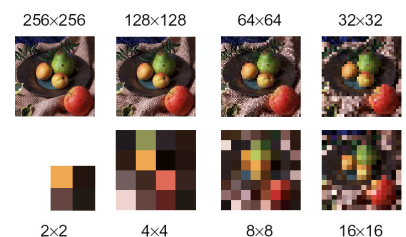
<http://www.stereo3d.com/d4d.jpg>

### Qu'est-ce qu'une image ?

Une image réelle : fonction à 2 variables donnant une intensité ou une couleur.

Une image numérique : tableau de pixels (picture element).

=> échantillonnage



Les informations d'une image sont :

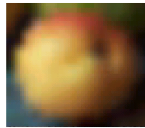
- nombre de lignes,
- nombre de colonnes,
- format des pixels (bits, niveaux de gris, niveaux de couleurs),
- compression éventuelle.

La résolution du media de visualisation est donnée en dpi (pixel per inch) : 100 pour un moniteur, 300-1200 pour une imprimante.

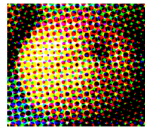
Suivant les cas on utilisera diverses méthodes d'affichage :



Nearest-neighbour



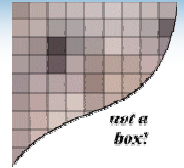
Gaussian



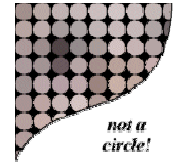
Half-toning

## Qu'est ce qu'un pixel ?

- Un pixel n'est pas :
  - une boîte
  - un disque
  - une petite lumière



- Un pixel c'est un point :
  - Il n'a pas de dimension
  - Pas de aire
  - Il peut avoir des coordonnées

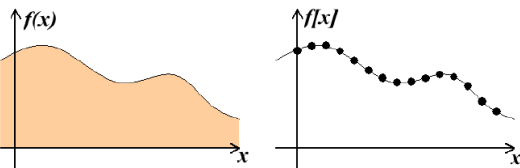


- Un pixel c'est plus qu'un point, c'est un échantillon

©2003, Durand and Cutler

## Plus d'échantillonnage

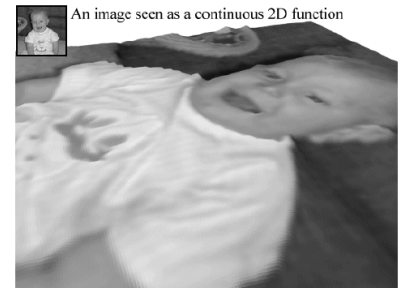
- En réalité presque tout est continue,
- Dans l'ordinateur tout est discrète.
- Fonction continue vers discrète: *échantillonnage*
- Pour représenter une image dans un ordinateur il faut qu'on *échantillonne* ...



©2003, Durand and Cutler

## Une image c'est une fonction 2D

- L'image: fonction  $I(x,y)$  d'intensités
- En général  $I(x,y)$  pas continue ou analytique
- Une image peut être représentée comme champs d'hauteur



©2003, Durand and Cutler

## Grille d'échantillonnage

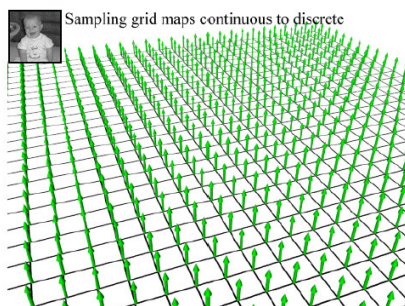
- On peut générer une tableau de valeurs en multipliant la fonction continuée d'une image par une grille d'échantillonnage de fonctions deltas de Kronecker

The definition of the 2-D Kronecker delta is:

$$\delta(x, y) = \begin{cases} 1, & (x, y) = (0, 0) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

And a 2-D sampling grid:

$$\sum_{j=0}^{h-1} \sum_{i=0}^{w-1} \delta(u-i, v-j)$$

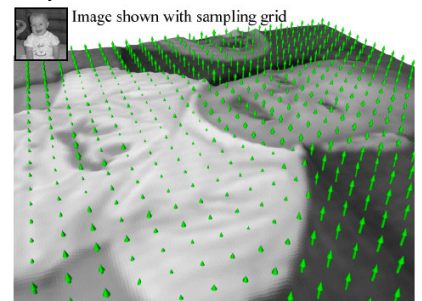
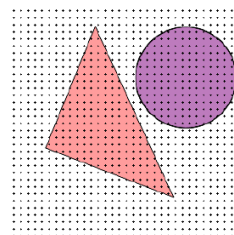


©2003, Durand and Cutler

## Échantillonnage de l'image :

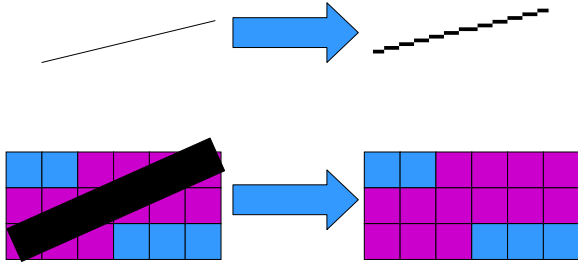
- Le résultat est un ensemble d'échantillons ou pixels !

The same analysis can be applied to geometric objects:



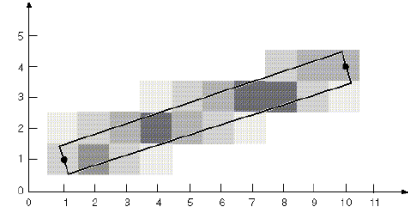
©2003, Durand and Cutler

## Echantillon grille reguliere



## Pre-Filtrage

- Filtrer les primitives continuées
- Traite chaque pixel comme un aire
- Calculer somme pondérée autour objet
- Quelle fonction doit-on utiliser ?

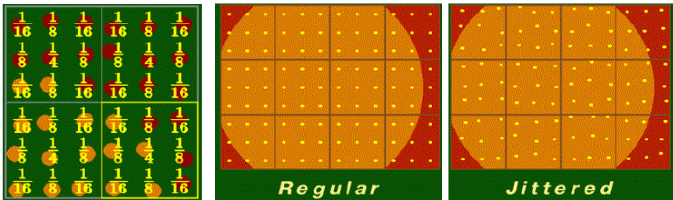


Source: Foley, VanDam, Feiner, Hughes - Computer Graphics, Second Edition, Addison Wesley

©2003, Durand and Cutler

## Post-Filtrage

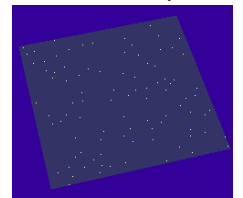
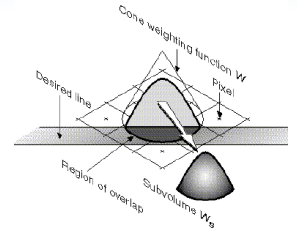
- Filtrer les échantillons
- Échantillonnage régulier ou "décalé" (mieux)



©2003, Durand and Cutler

## Reconstruction Filters

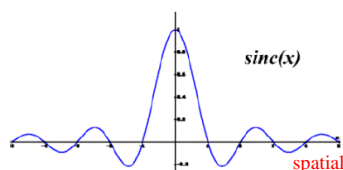
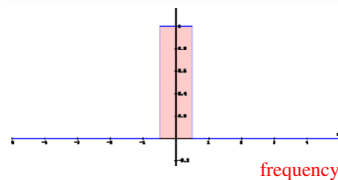
- Weighting function
- Area of influence often bigger than "pixel"
- Sum of weights = 1
  - Each pixel contributes the same total to image
  - Constant brightness as object moves across the screen.
- No negative weights/colors (optional)



©2003, Durand and Cutler

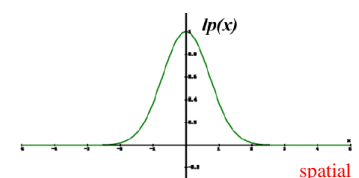
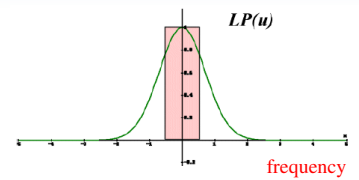
## Filtre de reconstruction idéal

- Malheureusement il a un étendu infini
- Chère et impossible à calculer



## Filtre de Reconstruction Gaussien

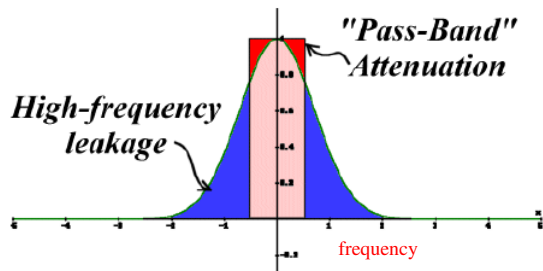
- L'écran le fait gratuitement !



©2003, Durand and Cutler

## Problèmes avec les filtres de reconstruction

- artefacts à cause de la mauvaise reconstruction
- peut donner des images floues



©2003, Durand and Cutler

## Compression

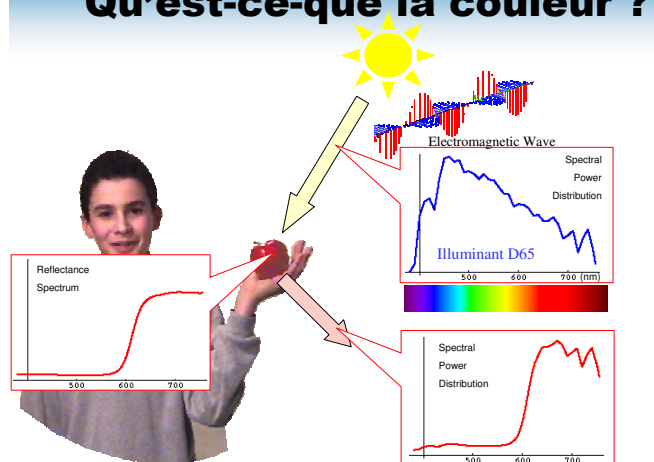


©2003, Durand and Cutler

## Qu'est-ce-que la couleur ?

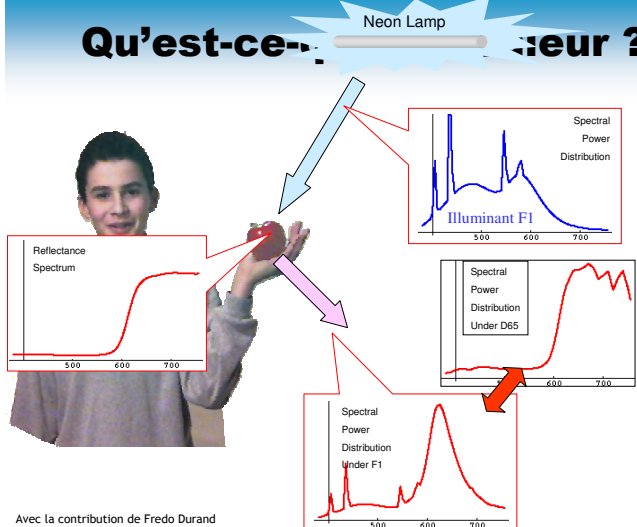
- Qu'est-ce qu'une couleur ? Définitions
  - Artistiques
    - Teinte, saturation, luminance
  - Physiques/biologiques
    - Spectre, stimulus
    - Espaces perceptuellement uniformes
  - Informatiques
    - RGB, CMYK, HSV...

## Qu'est-ce-que la couleur ?



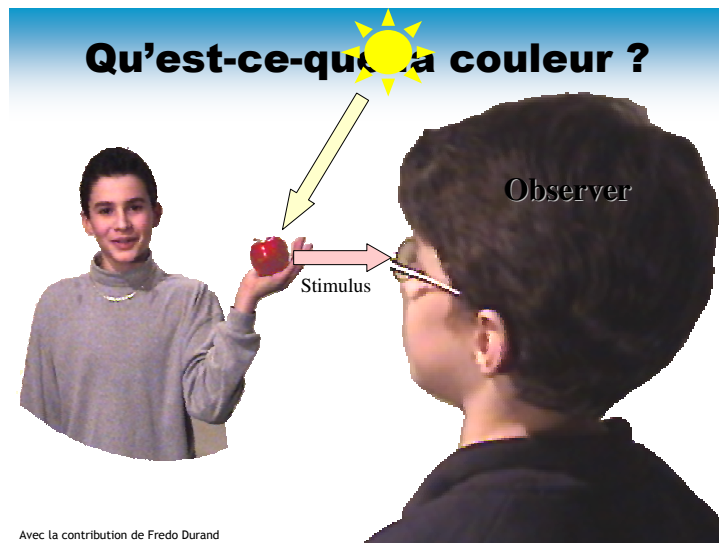
Avec la contribution de Fredo Durand

## Qu'est-ce-que la couleur ?



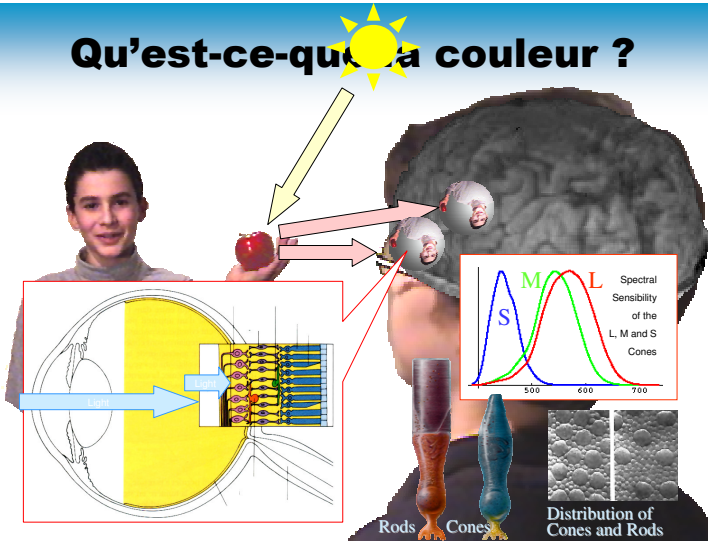
Avec la contribution de Fredo Durand

## Qu'est-ce-que la couleur ?



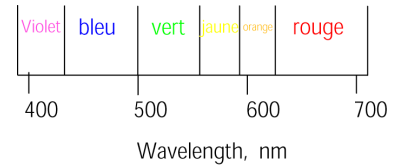
Avec la contribution de Fredo Durand

## Qu'est-ce-que la couleur ?



## Définition spectrale

- Échantillonnage de la couleur entre 380 nm (violet) et 720 nm (rouge)
- Longueurs d'onde visibles
  - En dessous de 380 nm : ultra-violet
  - Au dessus de 720 nm : infra-rouge



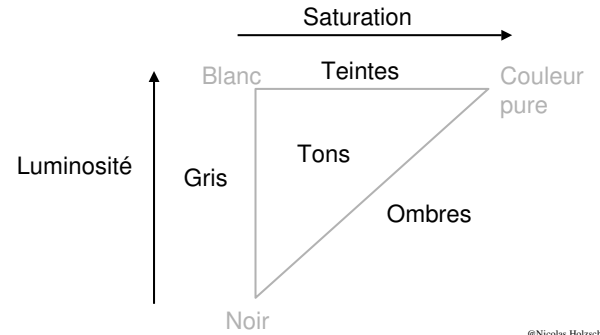
@Nicolas Holzschuch

## Couleur aperçu :

- La couleur aperçu dépend de:
  - Distribution spectral
  - Structure d'environnement autour
  - État d'adaptation du système visuel
  - Expérience antérieur dans situations similaires

## Définitions du peintre

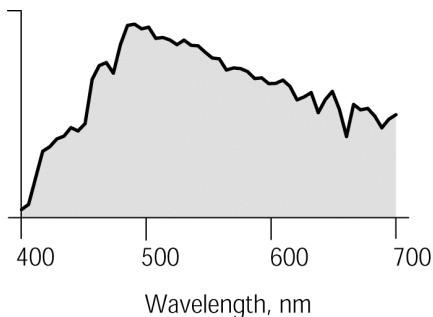
- Définitions basées sur le mélange des peintures
- Vocabulaire habituel de la couleur



@Nicolas Holzschuch

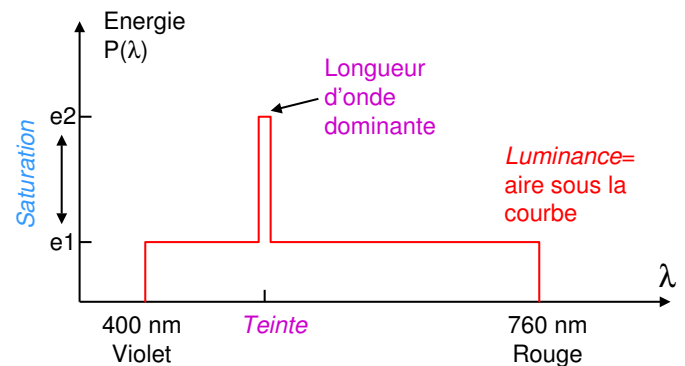
## Définition physique

- Une couleur = un spectre



@Nicolas Holzschuch

## Exemple simplifié



@Nicolas Holzschuch

## Perception de la couleur

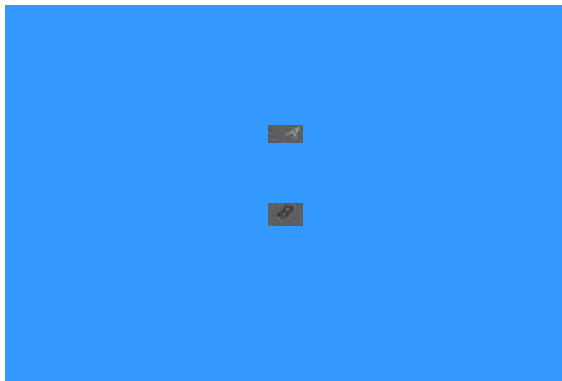
- Définition physique liée au spectre :
  - Teinte = longueur d'onde dominante
  - Saturation = pureté de l'excitation
  - Luminance = quantité de lumière
  - Couleur pure = une seule longueur d'onde

@Nicolas Holzschuch

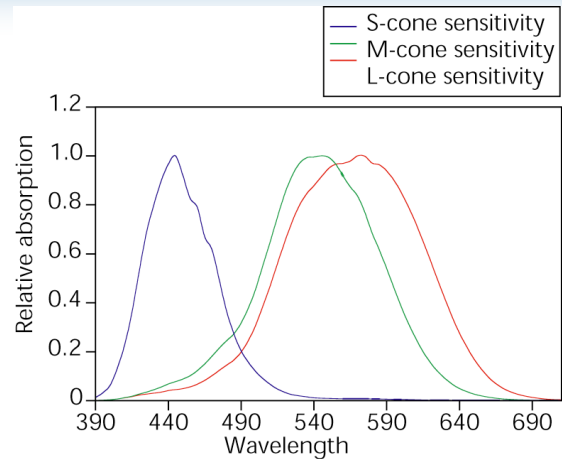
- La rétine :
  - Cônes
  - Bâtonnets
- Bâtonnets :
  - Perception achromatique
  - Lumière atténuée
- Cônes :
  - Perception chromatique (3 types)
  - Concentrés au centre de la rétine

@Nicolas Holzschuch

## perception $\neq$ physique

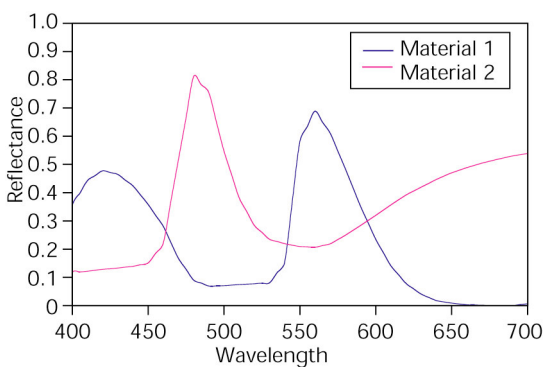


## 3 sortes de cônes



@Nicolas Holzschuch

## 3 sortes de cônes : conséquence



Spectres différents, couleurs perçues comme identiques : *métamères*

@Nicolas Holzschuch

## Représentation des couleurs

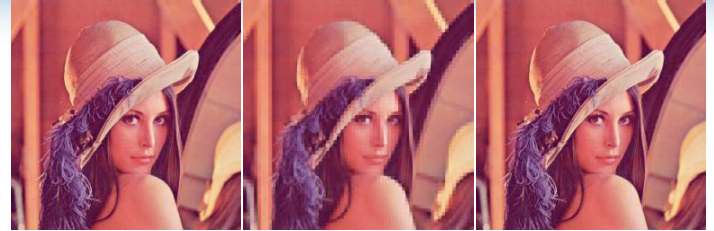
- La représentation spectrale est trop riche
  - Par rapport à la vision
  - En coût mémoire
- La vision humaine n'a que trois fonctions de base
- Il doit exister une représentation compacte
  - Pourquoi pas les couleurs primaires ?
    - Rouge, vert, bleu

@Nicolas Holzschuch

## RVB

- Simple
- Correspondance avec cônes
- Pas toutes les couleurs
- Pas basé sur la perception

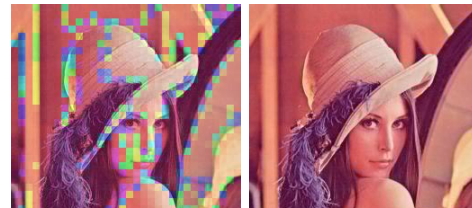
## RVB - Compression



subsampling R

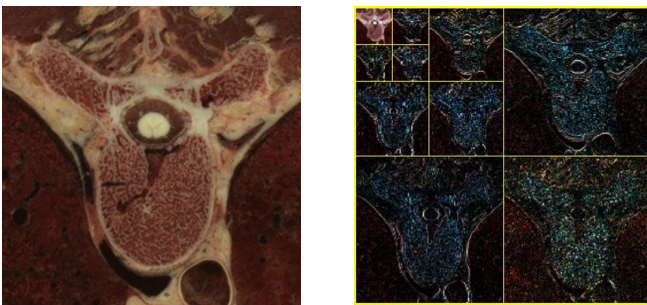
subsampling G

subsampling B



3 fois plus de subsampling dans un meilleur espace

## Compression

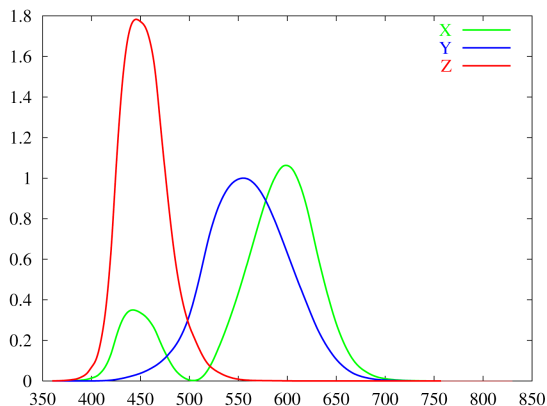


## Une nouvelle fonction de base

- Besoin de nouvelles fonctions de base
  - Couvrant tout le visible
  - Avec des coordonnées positives
  - Linéaires par rapport à RVB
- Commission Internationale de l'Éclairage
  - [www.cie.co.at](http://www.cie.co.at)
  - 1931

@Nicolas Holzschuch

## CIE XYZ



@Nicolas Holzschuch

## CIE XYZ

- Y = luminance (perçue par la vision humaine)
- X, Y, Z : représentation de la couleur
- Conversion vers RVB : linéaire
  - Matrice 3x3 de conversion
- Chromaticité :
  - XYZ représente *toutes* les couleurs
  - Besoin de pouvoir séparer la luminance de la chromaticité
  - « le même rouge, mais en plus sombre »

@Nicolas Holzschuch

## Chromaticité

• On introduit  $(x,y)$  :

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

• Parfois, on donne  $(x,y,Y)$  au lieu de  $(X,Y,Z)$

– Plus facile à mesurer

– Conversion :

$$X = \frac{xY}{y}$$

$$Z = \frac{1-x-y}{y} Y$$

## Diagramme de chromaticité

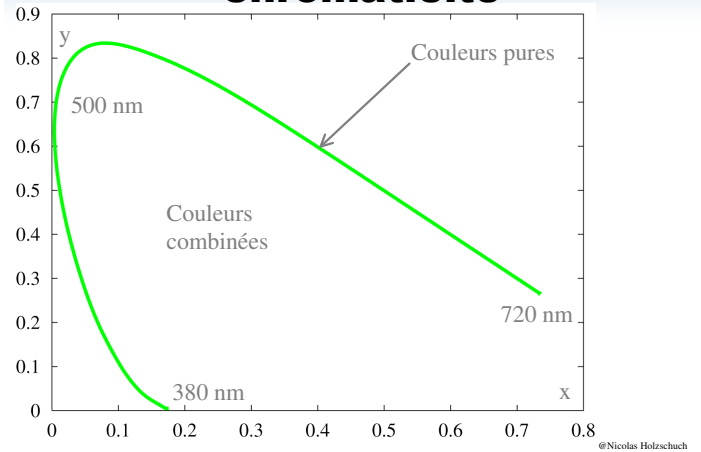
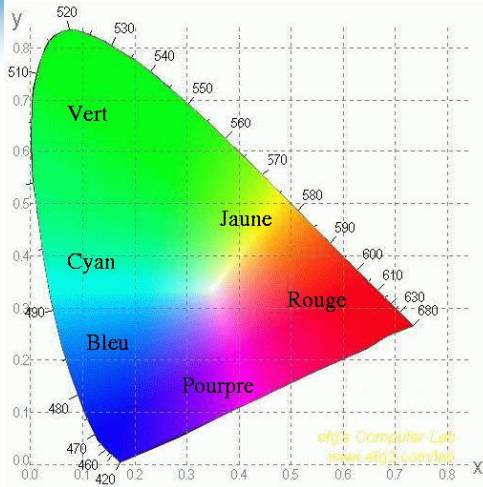
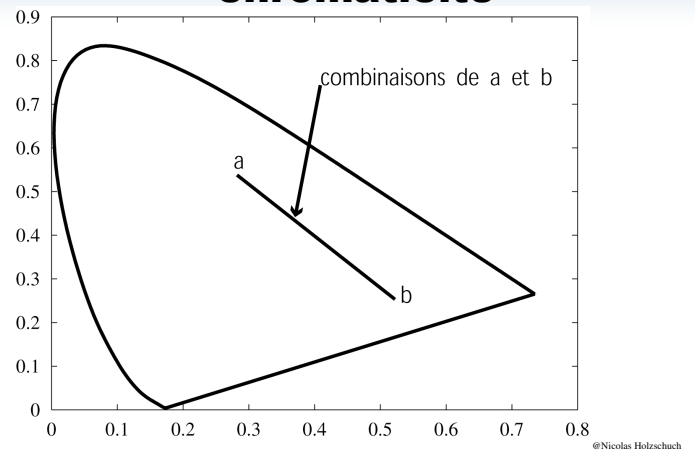


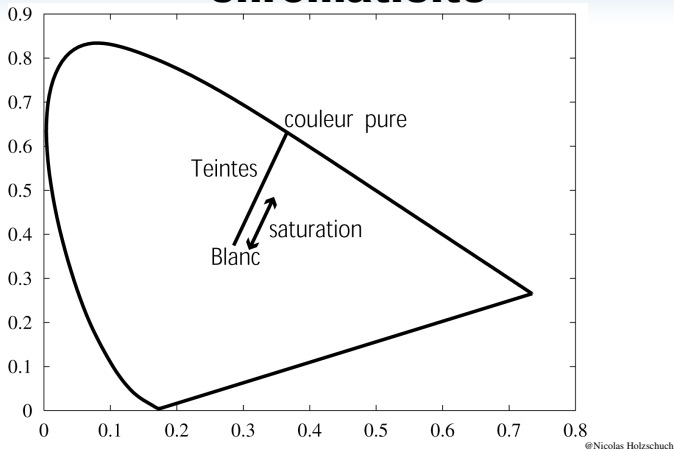
Diagramme de chromaticité de la CIE (1931)



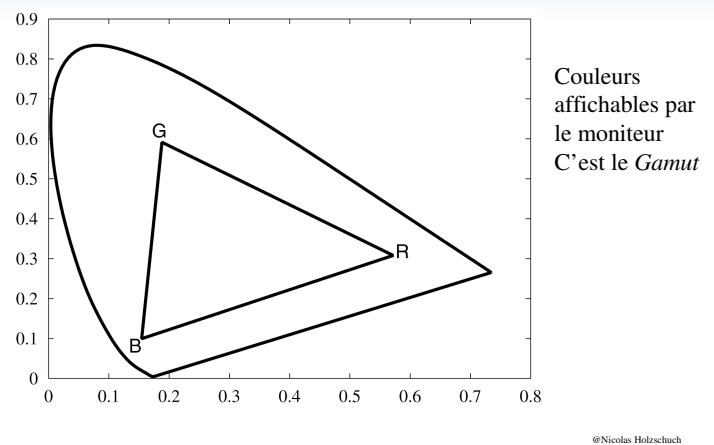
## Diagramme de chromaticité



## Diagramme de chromaticité

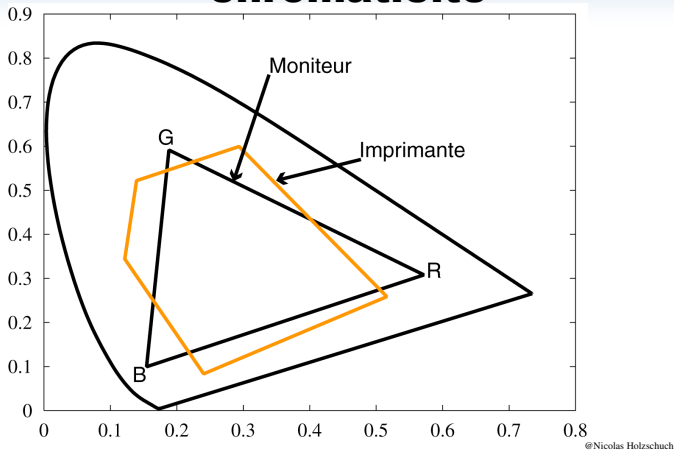


## Diagramme de chromaticité





## Diagramme de chromaticité

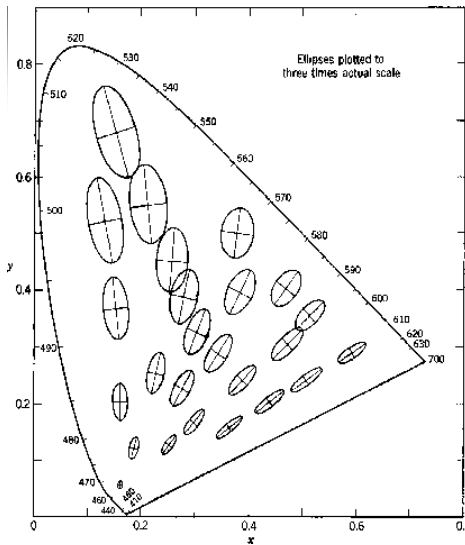


©Nicolas Holzschuch

## Perception des couleurs

- Distance entre deux couleurs?
- Idéalement, il y a un lien entre les deux
- Espace des couleurs *perceptuellement uniforme*
  - Lien constant, indépendant de la couleur
- Différences juste perceptibles :
  - Plus petite distance entre deux couleurs perçues comme différentes

©Nicolas Holzschuch



Différences juste perceptibles dans l'espace xy

©Nicolas Holzschuch

## Espaces perceptuellement uniformes

- CIE, 1976
- $L^*a^*b^*$  et  $L^*u^*v^*$

$$L^* = 116 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad \text{si } \frac{Y}{Y_n} > 0.008856$$

$$L^* = 903.3 \left( \frac{Y}{Y_n} \right) \sin \theta$$

$$a^* = 500 \left[ \left( \frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$b^* = 200 \left[ \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$u^* = 13L^* \frac{(u' - u'_n)}{v' - v'_n}$$

$$v^* = 13L^* \frac{(v' - v'_n)}{v' - v'_n}$$

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z}$$

$$v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z}$$

- $A_n$  : coordonnée d'un blanc de référence

©Nicolas Holzschuch

## $L^*a^*b^*$ et $L^*u^*v^*$

- Perceptuellement uniformes tous les deux
  - Par construction
- $L^*$  : luminance, perceptuellement uniforme
- $L^*a^*b^*$  :
  - Orthonormal
- $L^*u^*v^*$  :
  - Conversion facile avec XYZ et donc RGB
  - Simple projection

©Nicolas Holzschuch

## Représentation informatique

- Comment on définit une couleur ?
  - Ensemble de coordonnées dans un espace de couleurs
- Plusieurs fonctions de base possibles
- Fidélité des couleurs
- Relation avec l'interface
  - Bleu pour le froid, rouge pour le chaud

©Nicolas Holzschuch

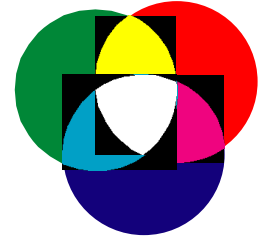
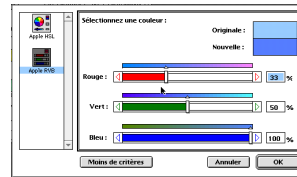
## Fonctions de base

- Basées sur l'outil d'affichage :
  - RGB, CMYK, YCbCr
- Basées sur l'interface homme-machine
  - HSV
- Conversion entre eux ?
- Conversion vers un espace indépendant (par exemple XYZ) ?

@Nicolas Holzschuch

## Rouge-Vert-Bleu

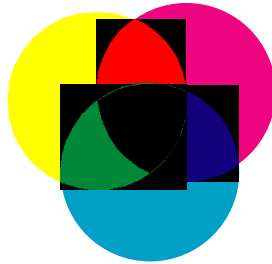
- Le plus connu des systèmes
  - utilisé (en interne) dans tous les moniteurs
  - additif



@Nicolas Holzschuch

## Cyan-Magenta-Jaune

- Utilisé dans les imprimantes couleurs
- Soustractif



@Nicolas Holzschuch

## Conversion CMJ-RVB

- En théorie :
  - $C=1-R$
  - $M=1-V$
  - $J=1-B$
- En pratique :
  - Conversion non-linéaire
  - Contraintes physiques
    - Ordre des couches d'encre, mélange...
    - Réaction du papier
    - ...

@Nicolas Holzschuch

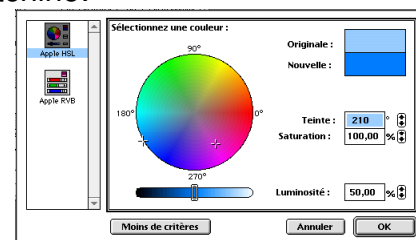
## CMYK

- K pour black
- Économie :
  - L'encre noire est moins chère que les encres de couleur
- Plusieurs possibilités :
  - Par exemple :
    - $K = \min(C, M, Y)$
    - $C = C - K$
    - $M = M - K$
    - $Y = Y - K$
  - Suppose que le noir se mélange parfaitement à toutes les autres couleurs
  - En pratique, conversion non-linéaire, basée sur l'expérience, l'ordre des couches...

@Nicolas Holzschuch

## Teinte-Saturation-Luminance

- Hue-Saturation-Value (ou Luminance) :
  - HSV, HSL
- Pratique pour l'interface homme-machine:



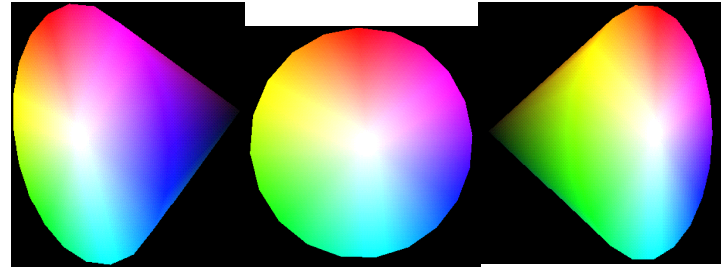
@Nicolas Holzschuch

## TSL, HSV, HSL

- Pratique pour les interpolations
  - Interpoler entre rouge et vert
  - Rampe de couleur
- Effets de couleur pour la visualisation
  - Varier la saturation, à teinte constante
  - Varier la teinte, à saturation constante
    - Carte d'altitude, par exemple

©Nicolas Holzschuch

## Le cone HSV



©Nicolas Holzschuch

## Espaces de couleur

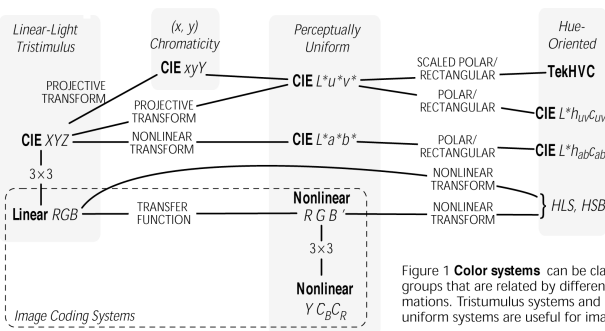


Figure 1 Color systems can be classified into four groups that are related by different kinds of transformations. Tristimulus systems and perceptually-uniform systems are useful for image coding.

## Fidélité des couleurs

- Problème : conserver la même couleur quand on change l'outil de visualisation
- Solution : passer dans un espace indépendant
  - Échantillonner les phosphores RVB
  - Convertir en XYZ :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_r & X_g & X_b \\ Y_r & Y_g & Y_b \\ Z_r & Z_g & Z_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

## Fidélité des couleurs (2)

- Description du moniteur disponible sur le site du fabricant
  - On extrait  $X_r, X_g, X_b...$
- Pour d'autres sorties (imprimantes, par ex.) :
  - Tables de conversion multi-dimensionnelles
- « Profil » de chaque outil, disponible ([www.icc.org](http://www.icc.org))
- Chaîne de conversion d'un outil à un autre
  - RVB outil 1 vers XYZ
  - XYZ vers Lab
  - Lab vers CMYK outil 2

## En pratique...

- Ça se dégrade avec l'âge :
  - Les phosphores, le canon à électrons s'usent
  - Plus efficace de mesurer directement le profil du moniteur, de l'imprimante
    - Mais plus cher (caméra spéciale, logiciel)
  - Ou mesurer directement la chaîne de conversion
    - Scanner-moniteur-imprimante

## Gamma-Correction

- La perception humaine est logarithmique
- Intensité perçue,  $L^*$ 
  - Définie comme une racine cubique de l'intensité émise,  $Y$
  - En fait, à cause de l'offset et de l'échelle, presque un  $Y$  puissance 0.4

## Gamma correction (2)

- Le canon à électron du moniteur n'est pas linéaire non plus
  - Luminance produite liée au voltage appliqué, à la puissance 2.5
- Théoriquement, les deux s'annulent
  - (Pure coïncidence)
- Mais en fait...
  - Les caméras vidéo font la conversion inverse
  - Plus pratique de stocker un RVB non linéaire (sur 8 bits)

## Gamma correction

- Correction effectuée par la carte, avant le moniteur
  - Pour compenser le comportement du canon à électrons
- Paramétrable
  - Une cause de bugs intéressante
    - Surtout si mal paramétré (valeurs  $<1$  ou  $>4$ )
  - Unix  $\approx 1.45$ , Mac  $\approx 1.8$ , NTSC & PC  $\approx 2.2$ , PAL  $\approx 2.9$ ...

## High-dynamic-range (HDR) images

- CG Images



- Multiple exposure photo [Debevec & Malik 1997]



Recover response curve

HDR value for each pixel

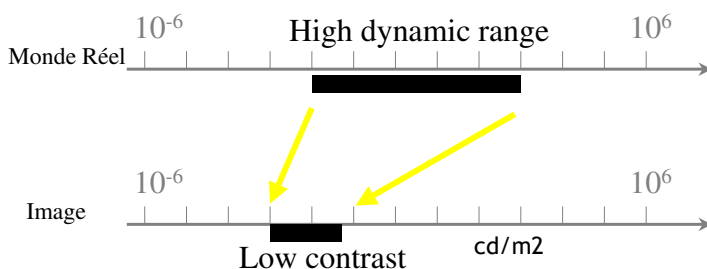
- HDR sensors



2002 © Frédo Durand

## Réduction de contraste

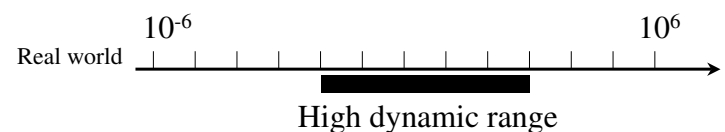
- Approcher le contraste limité du moyen
- Préserver les détails



2002 © Frédo Durand

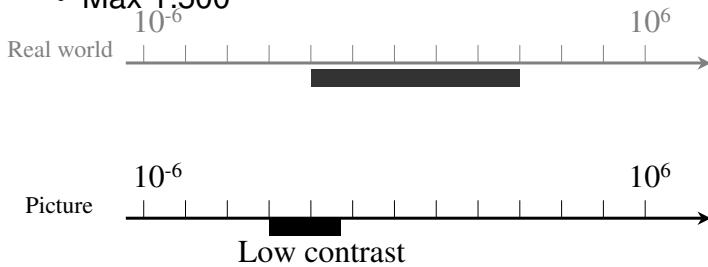
## Dynamic range : Monde Réel

- $\sim 10^{-6}$  à  $10^6$   $\text{cd/m}^2$
- Souvent 1 : 100,000 dans une scène



## Dynamic range : Image

- Typiquement 1:50  
– Noir est ~ 50x plus sombre que blanc
- Max 1:500



## Une photo typique

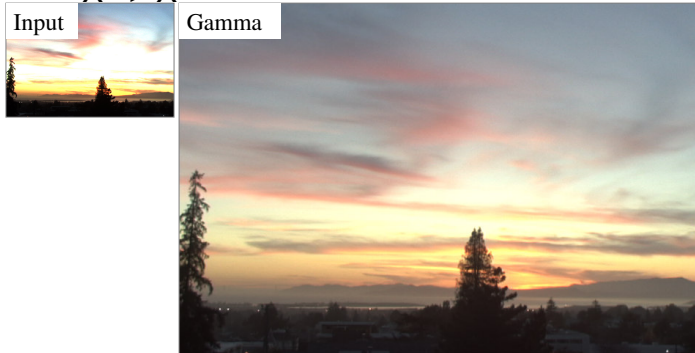
- Le soleil est surexposé
- Avant-plan est sous-exposé



2002 © Frédo Durand

## Compression de Gamma

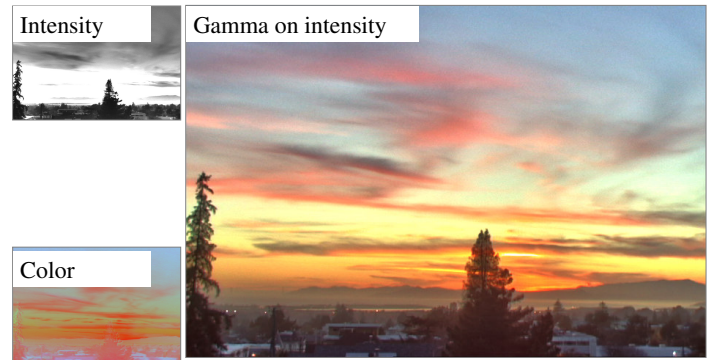
- $X \rightarrow X^\gamma$



2002 © Frédo Durand

## Compression de Gamma sur l'intensité

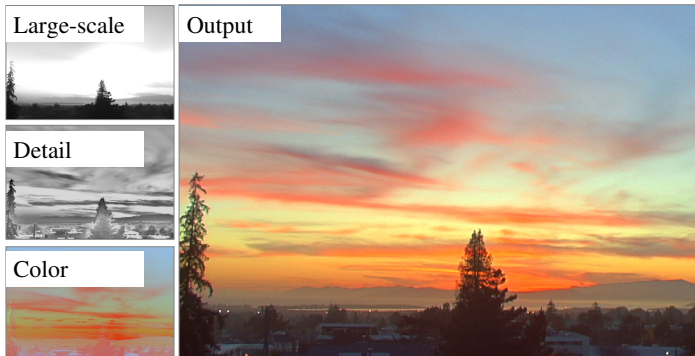
- Couleurs OK, mais les détails sont floués



2002 © Frédo Durand

## Propositions : Durand Siggraph 2002

- Attention aux discontinuités
- Filtrage non linéaire

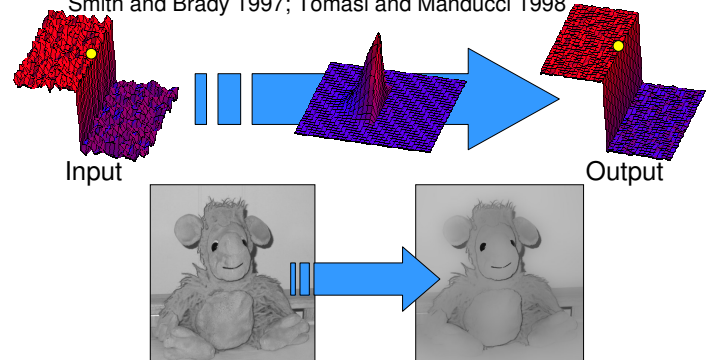


2002 © Frédo Durand

## Large-scale Layer

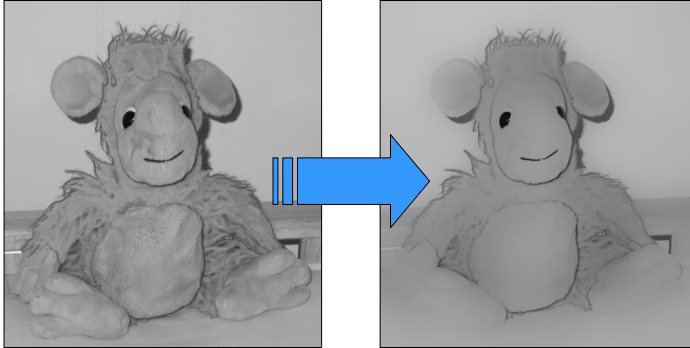
- **Bilateral filter** – edge preserving filter

Smith and Brady 1997; Tomasi and Manducci 1998



## Large-scale Layer

- Bilateral filter



## FIN

- TP le vendredi...probablement il s'agitera de traitement basique d'images...
- La présentation sera sur le web demain

<http://artis.imag.fr/Membres/Elmar.Eisemann/>

## Slides

- Contributions de:

- Briceno, H., Notes du cours SI, UFRIMA
- Boyer, E., Notes du cours SI, UFRIMA
- Holzschuch, N., « Notes du cours DEA-IVR, ENSIMAG, Création d'Images Virtuelles ». 2005-2006

- Images taken from various sources:

**IF ANY IMAGE IN THIS PRESENTATION IS NOT ALLOWED TO BE USED, PLEASE CONTACT ME AND I WILL DELETE IT!**

TO MY BEST KNOWLEDGE ALL IMAGES CAN BE USED FOR UNIVERSITY COURSES.