

Introduction au Traitement d'Images.

Andrés Romero Mier y Terán

Laboratoire de Recherche en Informatique
Université Paris-Sud XI

andres.romero@lri.fr

September 8, 2013

Acquisition: Capteurs

Acquisition: principalement deux types de capteurs

- ▶ capteur CCD,
- ▶ capteur CMOS,

CCD

- ▶ Charge-Coupled Device (détecteurs à couplage de charge).
- ▶ Inventées en 1969.
- ▶ Un CCD **transforme les photons lumineux** qu'il reçoit en paires électron-trou par effet photoélectrique dans le substrat conducteur, puis collecte les électrons dans le puits de potentiel maintenu à chaque photo-site.
- ▶ Le nombre d'électrons collectés est proportionnel à la **quantité de lumière reçue** .

CCD diagramme

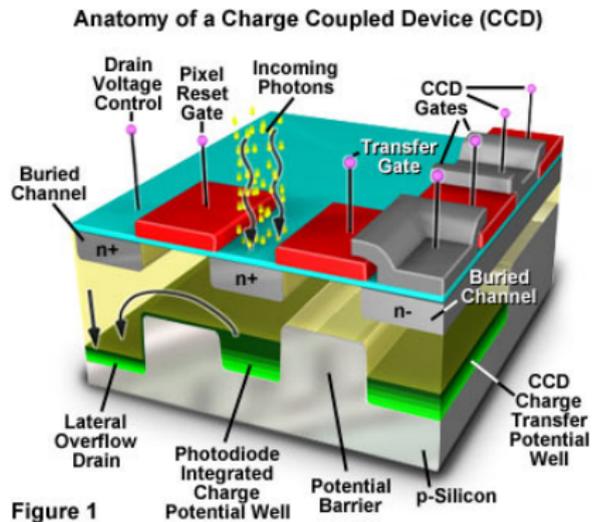


Figure: CCD diagramme.

CMOS

- ▶ Complementary metal oxide semi-conductor.
- ▶ Les capteurs CMOS sont apparus dans les années 1980, à la suite des matrices de photodiodes comme le résultat de l'intégration de cellule composée d'une photodiode et d'une logique d'amplification plus d'obturation.
- ▶ Ils sont **plus complexes à fabriquer** mais sont produits selon des techniques classiques de micro-électroniques et de ce fait **peuvent avoir des dimensions importantes** (14 mégapixels en 2003).

CCD vs. CMOS

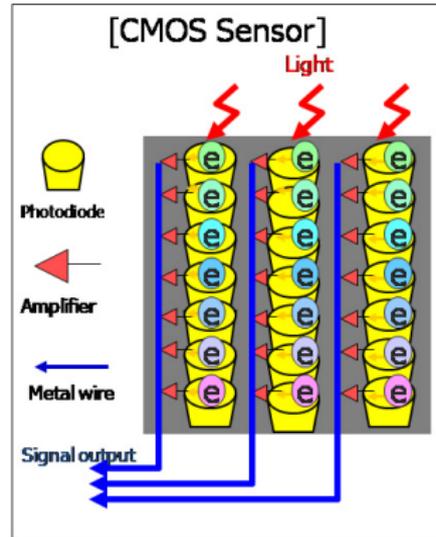
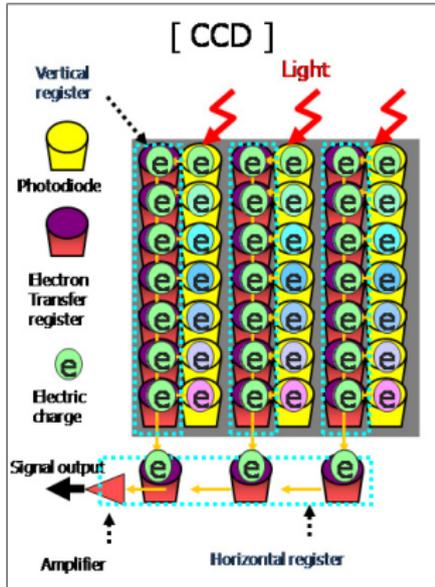


Figure: CCD vs CMOS diagramme.

Capteurs CMOS ou CCD

Jusqu'à récemment, les capteurs CCD étaient de loin les plus populaires.

Depuis 2004, les avantages intrinsèques des capteurs CMOS leur permettent de rivaliser:

- ▶ Progrès de la **finesse de gravure** profitent plus au CMOS, en synergie avec les productions de masse de circuits intégrés.
- ▶ Une **consommation électrique plus faible** .
- ▶ **Miniaturisation** des capteurs en dessous de 0,15 micromètre en 2005.
- ▶ Plus grande intégration: possibilité de **rajouter** facilement sur une puce CMOS de **fonctions complémentaires** .
- ▶ Rentabilisation des lignes de production des circuits intégrés silicium classiques, de moins en moins vrai avec la sophistication accrue.

Capteurs CMOS ou CCD

En plus:

- ▶ Meilleure vitesse de lecture (très important pour le cinéma, plus que pour la photo).
- ▶ Meilleure résistance à l'éblouissement et donc au rendu des hautes lumières et une dynamique plus étendue.
- ▶ Ils offrent également la possibilité d'une lecture très rapide d'un sous-ensemble du capteur (Region of Interest, RoI).

Capteurs CMOS ou CCD

Les capteurs CCD gardent des avantages:

- ▶ **Meilleure linéarité** car moins de dispersion dans les convertisseurs analogiques/numériques: les CMOS ont un convertisseur par pixel dont la dispersion augmente avec la miniaturisation.
- ▶ **Plus faible niveau de bruit** du fait du moins grand nombre d'éléments par capteur à définition égale.
- ▶ La surface participant à la capture de photons est proportionnellement plus élevée: les capteurs CMOS sont *encombrés* par trois à six transistors qui servent à l'amplification et logique d'obturation (shuttering) rapide.
- ▶ **Meilleure qualité des noirs et faibles lumières** .

Capteurs CMOS ou CCD

Et ses inconvénients:

- ▶ **L'électronique associé au CCD est plus complexe** : besoin d'horloges multiples pour piloter le transfert de charges et de tensions élevées (8V pour les horloges et même 40V pour l'obturation des CCD interligne)

Vision de la couleur

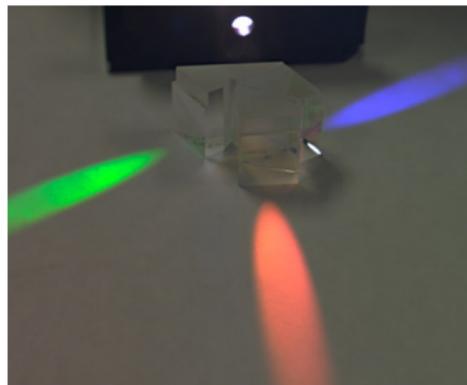
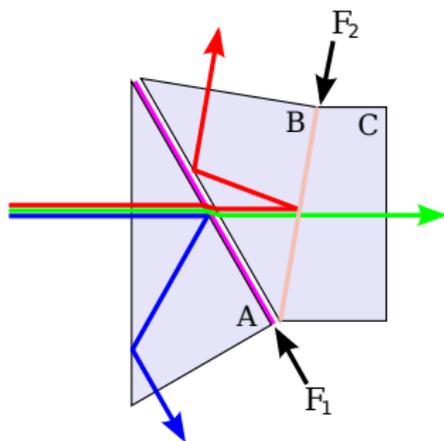
Capteurs qui voient la même chose que l'œil.

couleur		longueur d'onde (nm)	fréquence (THz)
infrarouge		> 740	> 405
rouge		625 - 740	480 - 405
orange		590 - 625	510 - 480
jaune		565 - 590	530 - 510
vert		520 - 565	580 - 530
bleu		446 - 520	690 - 580
violet		380 - 446	790 - 690
ultraviolet		< 380	> 790

Figure: Table de longueurs d'onde couleurs.

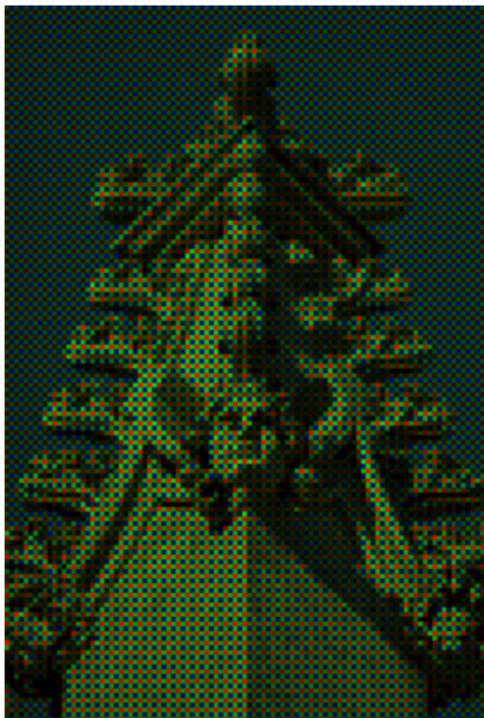
Acquisition couleur

- ▶ Prisme de séparation des couleurs.
- ▶ 3 capteurs CCD.
- ▶ Avantages:
 - ▶ Processus complément optique: pas d'interpolation.
 - ▶ Pas d'aliasing.
- ▶ Désavantage:
 - ▶ Prix (coût de production plus élevé).
 - ▶ Poids.



Acquisition: Bayer

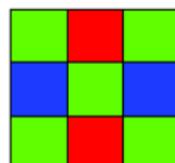
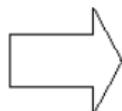
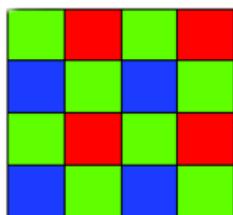
Problème : Comment reconstruire les composantes manquantes?



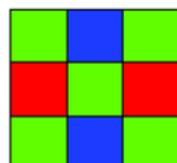
Solution : Utiliser des algorithmes d'interpolation *demosaicing*.

Demosaicing

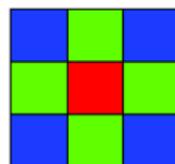
- ▶ Interpolation de R et B:
 - ▶ (a) et (b): moyenne des 2 voisins.
 - ▶ (c) et (d): moyenne des 4 voisins.



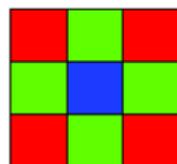
(a)



(b)



(c)

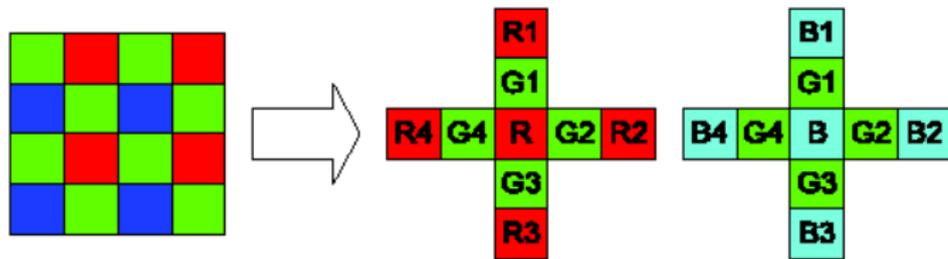


(d)

Demosaicing

Interpolation de G:

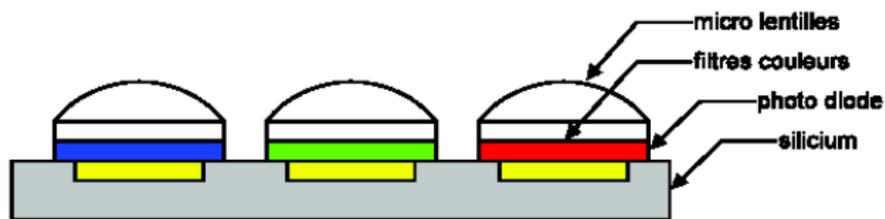
- ▶ $G(R) = (G1 + G3)/2$ si $|R1 - R3| < |R2 - R4|$.
- ▶ $G(R) = (G2 + G4)/2$ si $|R1 - R3| > |R2 - R4|$.
- ▶ $G(R) = (G1 + G2 + G3 + G4)/4$ si $|R1 - R3| > |R2 - R4|$.
- ▶ Idem pour $G(B)$.



Acquisition: micro-lentilles

But: augmenter le flux lumineux par photosite.

En **monochrome** comme en **couleur** .



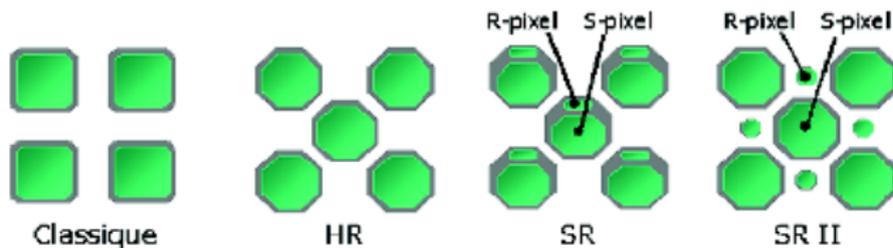
Acquisition: HDR

High dynamic range (HDR) : améliorer la réponse du capteur:

- ▶ dans les basses lumières (zones noires).
- ▶ dans les hautes lumières.

Solution économique:

- ▶ Plutôt que d'avoir un seul capteur avec une grande dynamique (> 10 bits).
- ▶ Avoir 2 capteurs.



Acquisition: HDR



Figure: 8-bit (256 valeurs possibles par composante de couleurs) est insuffisante pour observer certains détails dans les images.

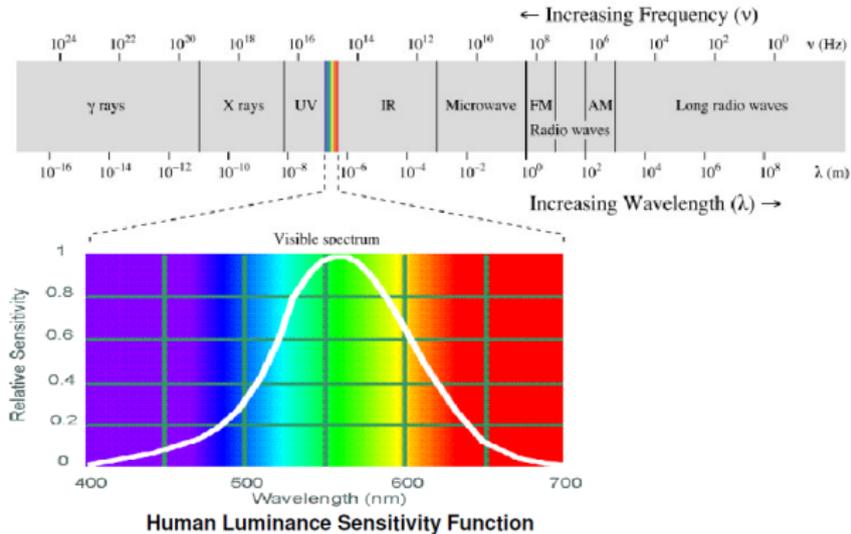
Espace couleurs

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

La couleur c'est le résultat de l'interaction entre la lumière, l'environnement et le système de perception visuel.



Spectre électromagnétique



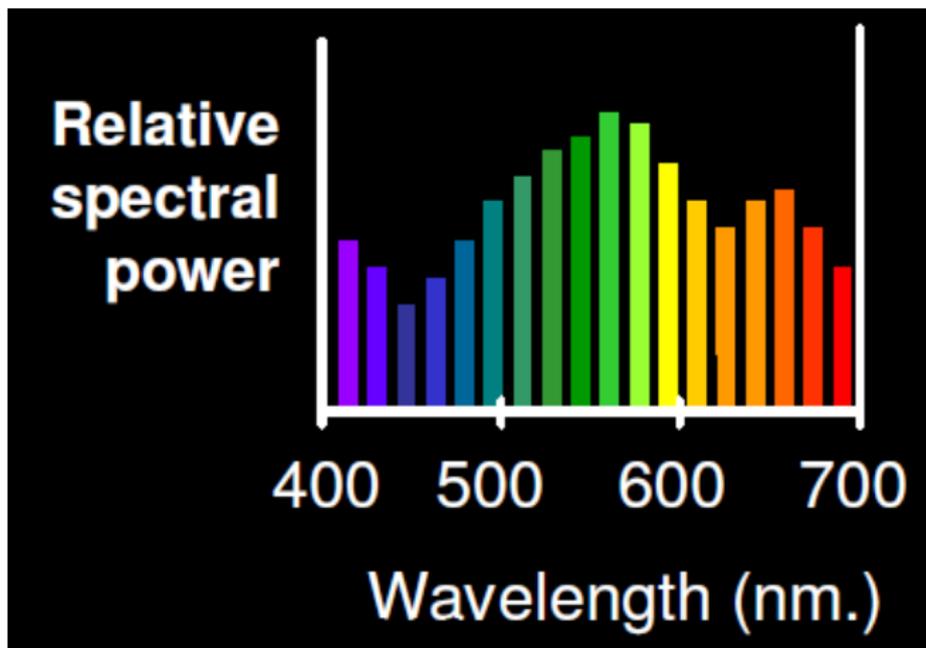
Pourquoi nôtres yeux fonctionnent uniquement dans cette petite bande?

R = C'est la bande de la lumière du soleil.

Physique de la lumière

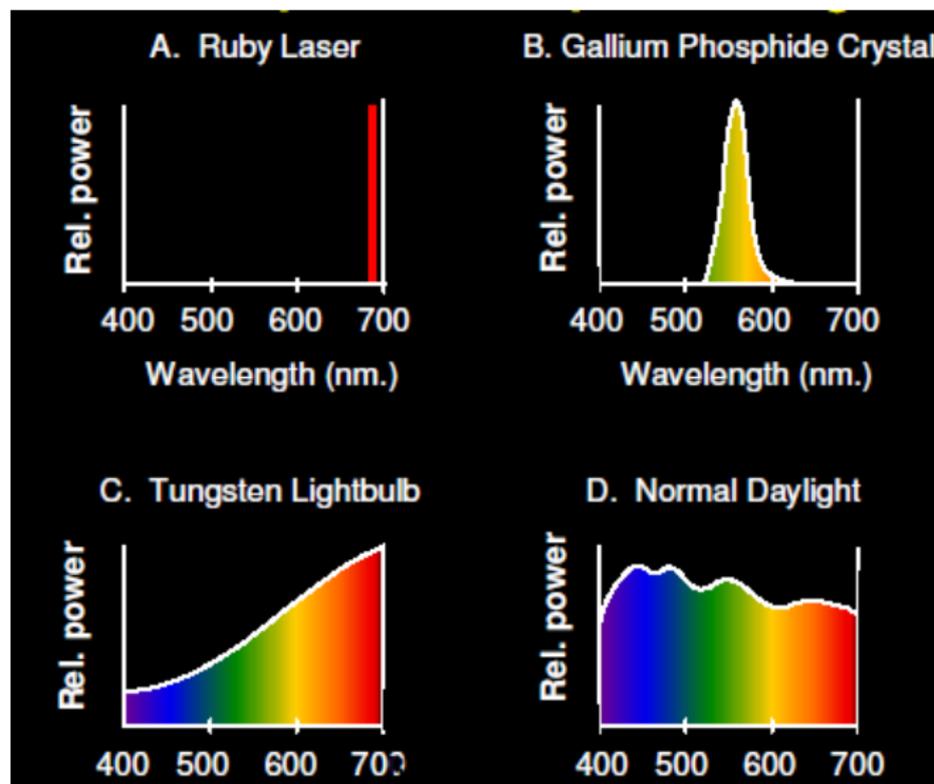
Toute source de lumière est complètement décrite par son spectre:

- ▶ La quantité de énergie (par unité de temps) émise à chaque longueur d'onde.



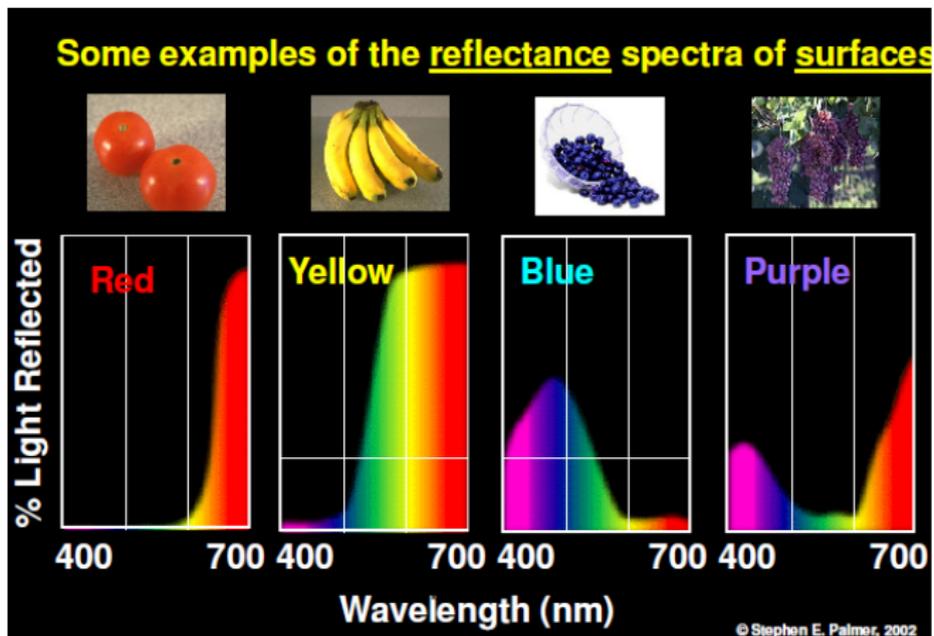
Physique de la lumière

Exemples :



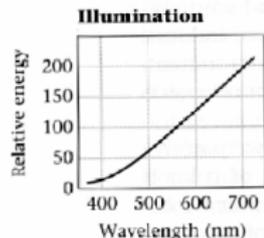
Physique de la lumière

Exemples :

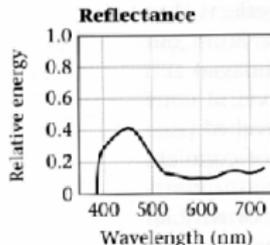


Interaction lumière et surfaces

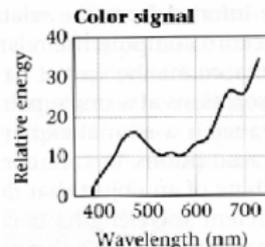
La couleur observée c'est le résultat de l'interaction entre le spectre de la lumière et la réflectance des surfaces.



*



=

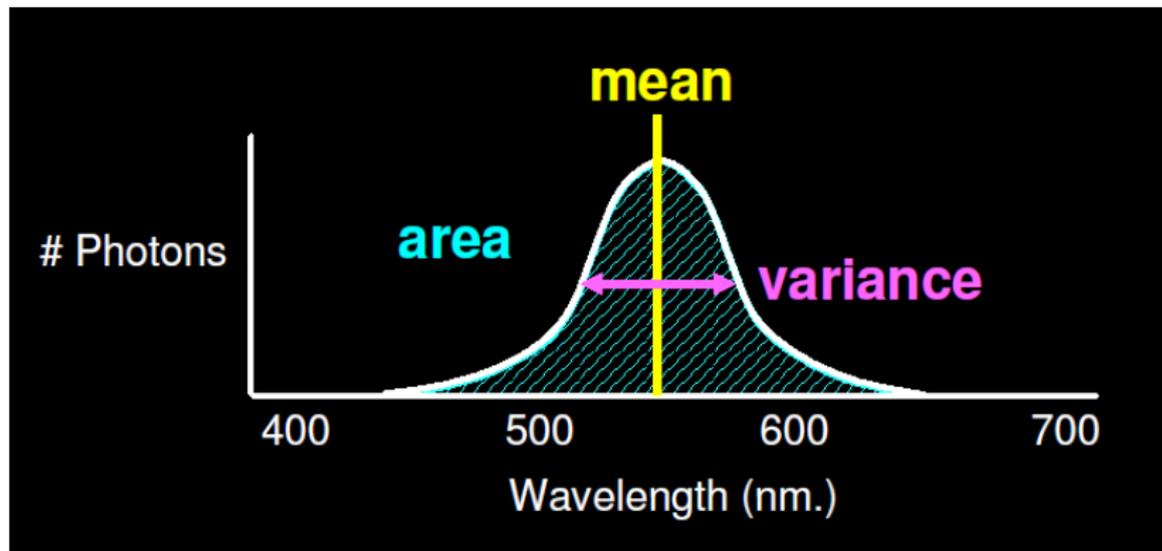


Slide credit: Svetlana Lazebnik

B. Leibe

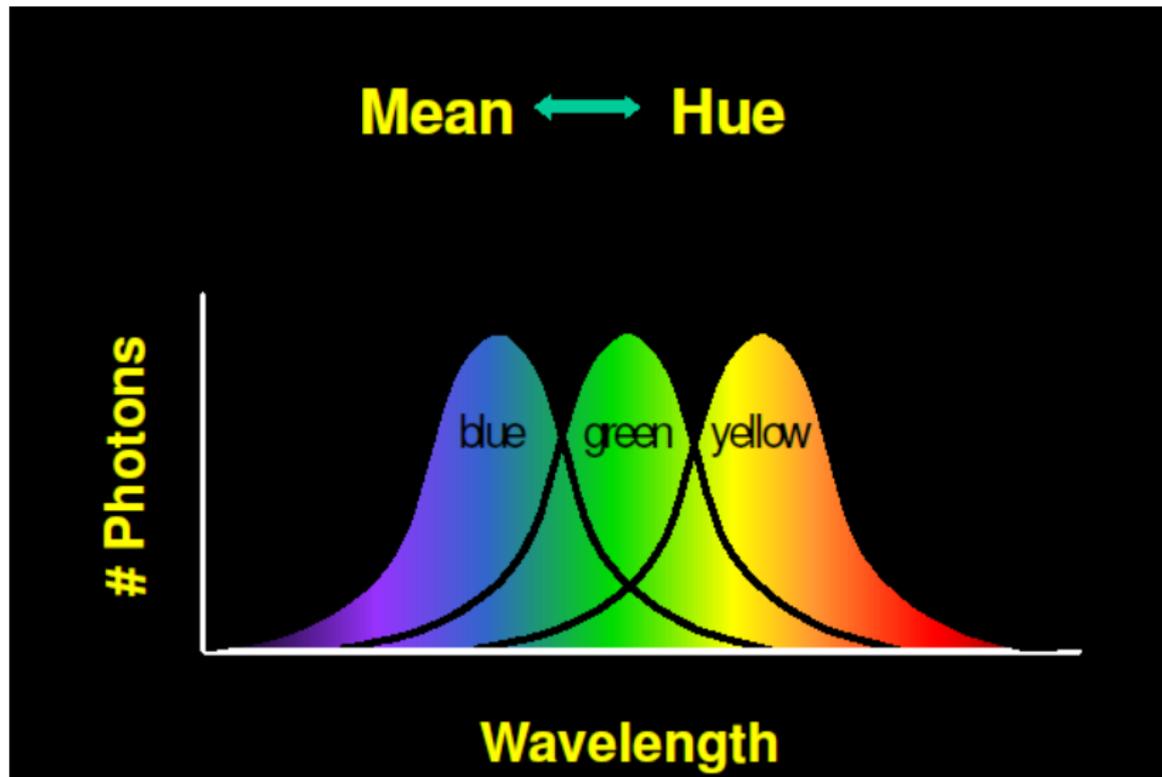
Description de la couleur

On peut décrire (approximativement) la couleur avec des distributions Gaussiennes:



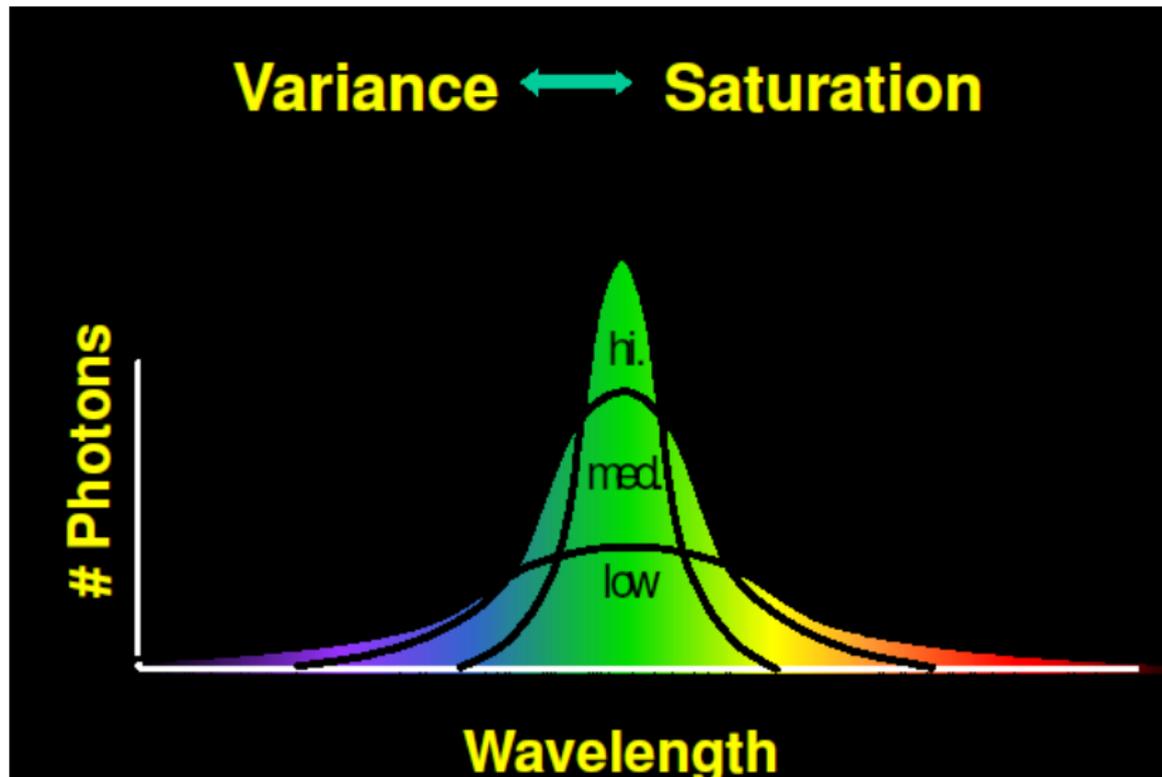
Description de la couleur

On peut décrire (approximativement) la couleur avec des distributions Gaussiennes:



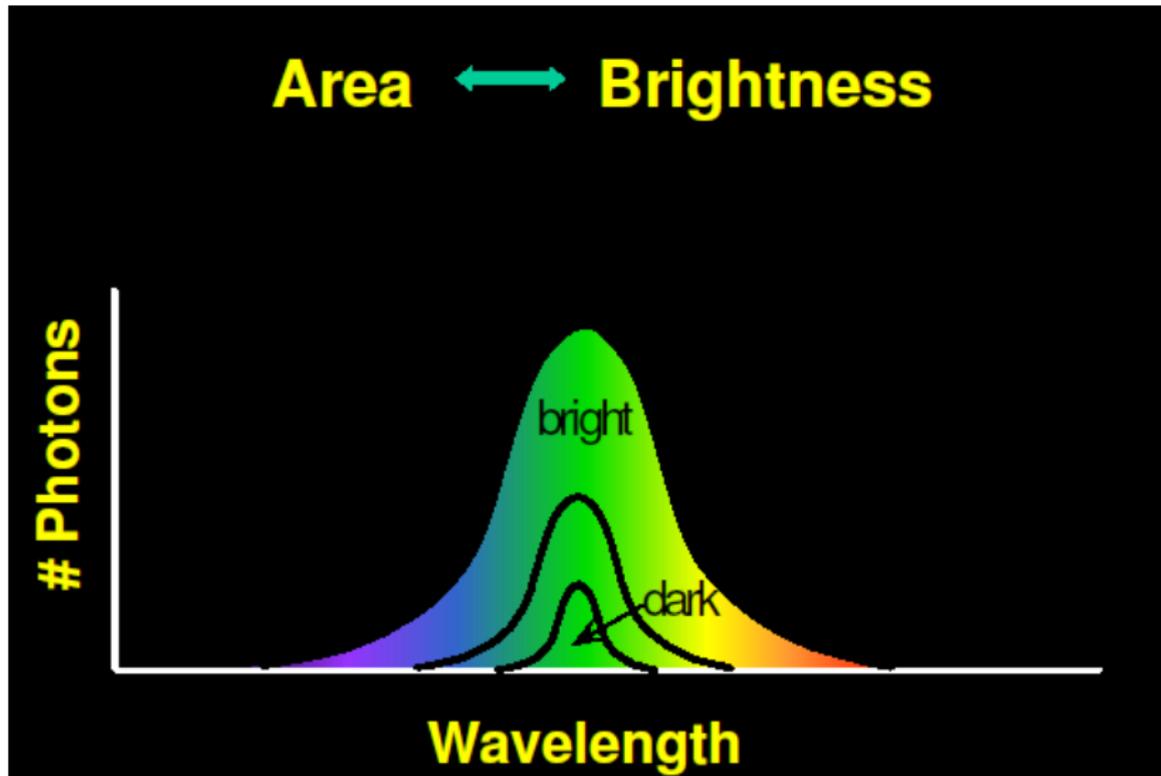
Description de la couleur

On peut décrire (approximativement) la couleur avec des distributions Gaussiennes:



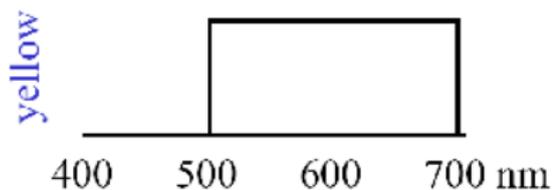
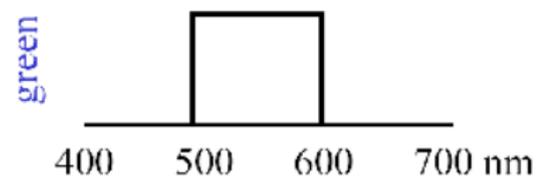
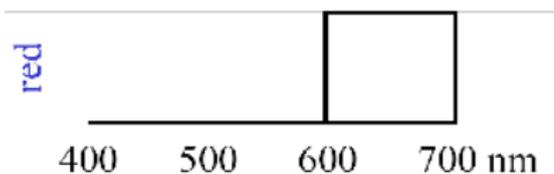
Description de la couleur

On peut décrire (approximativement) la couleur avec des distributions Gaussiennes:

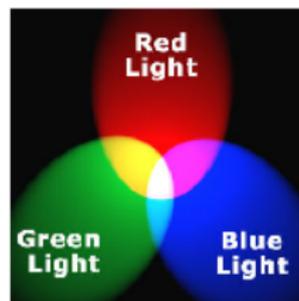


Mélanges des couleurs

Modèle additif :



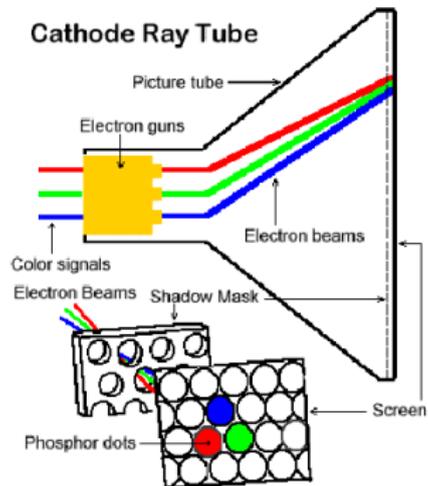
Colors combine by *adding* color spectra



Light *adds* to black.

Mélanges des couleurs

Exemples :



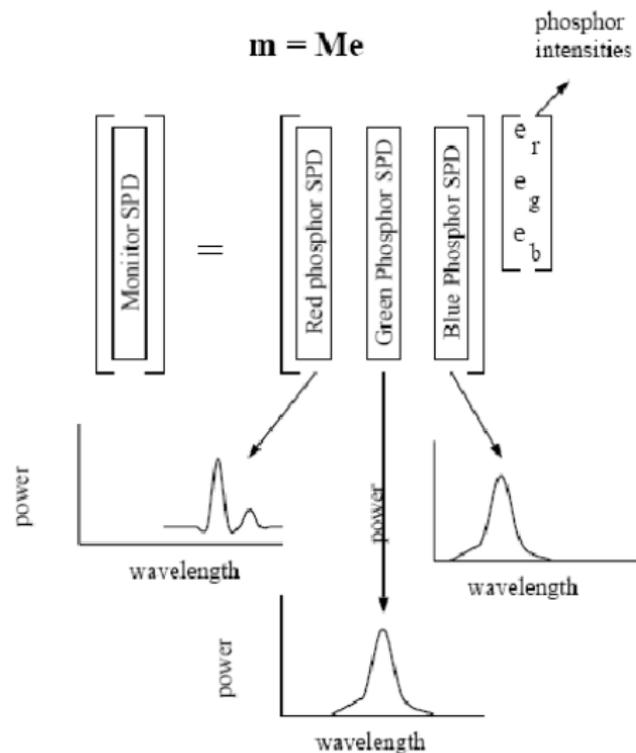
CRT phosphors



Multiple projectors

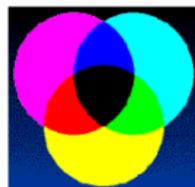
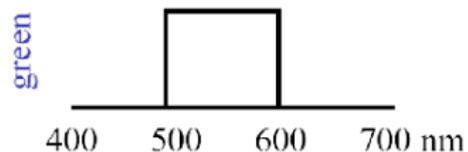
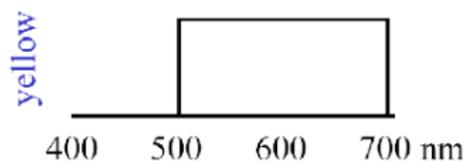
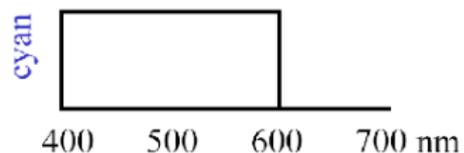
Mélanges des couleurs

Superposition des sources :



Pigments et modèles soustractifs

Produit des spectres :



Les pigments soustraient couleurs de la lumière incidente.

Pigments et modèles soustractifs

Exemples :

- ▶ Teintures des imprimants.
- ▶ Crayons.
- ▶ Film photographique.



L'œil humain

L'œil humain c'est une camera!

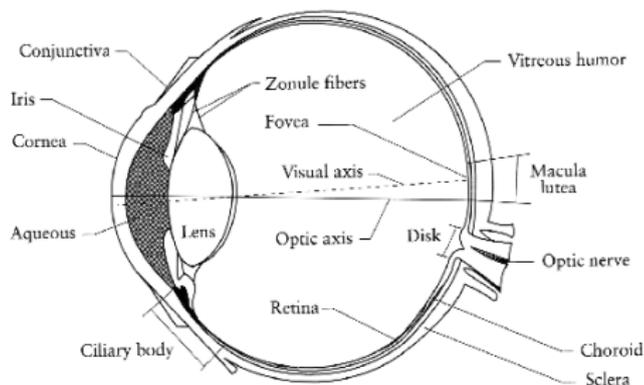
L'Iris muscles radiales.

Pupille ouverture contrôlée par l'iris.

Lens La forme est adaptée par les muscles ciliaires.

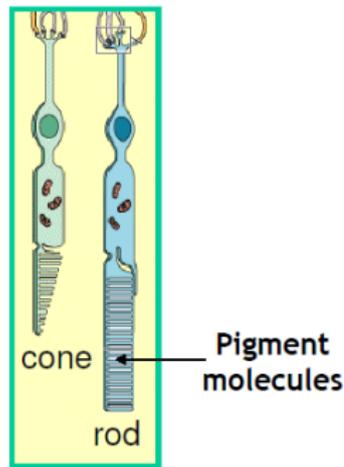
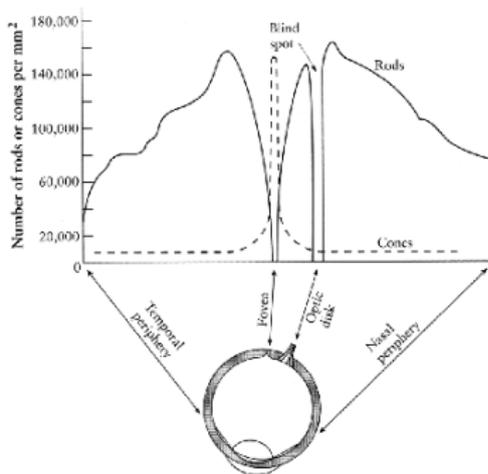
- ▶ le but c'est adapter le focus mieux pour visualiser différentes distances.

Qui est le *film*?



L'œil humain

L'œil humain c'est une camera!



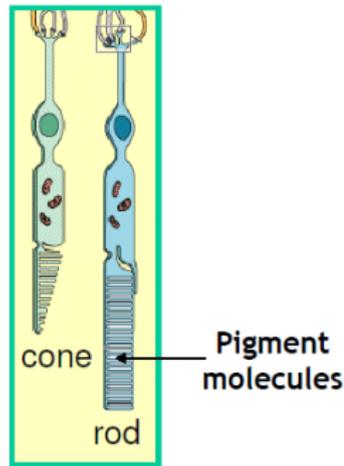
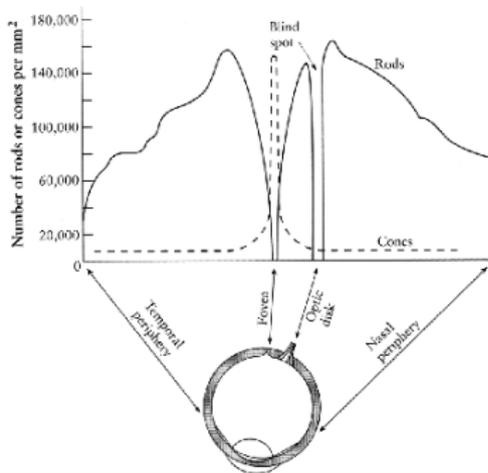
Bâtons ils sont les capteurs de l'intensité lumineuse.

Cônes responsables de la couleur.

Fovéa C'est une région petite (entre 1 et 2 degrés) au centre du champ visuel.

L'œil humain

L'œil humain c'est une camera!



Fovéa C'est une région petite (entre 1 et 2 degrés) au centre du champ visuel.

- ▶ la plus grande partie des cônes se concentrent ici (pas de bâtons).
- ▶ Acuité visuelle réduite dans la périphérie.

L'œil humain et la couleur

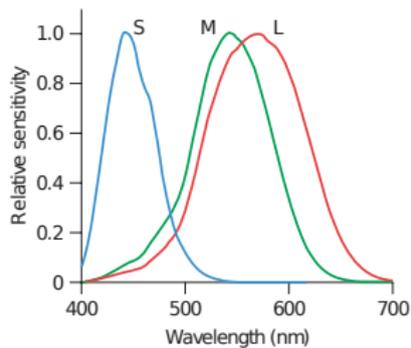
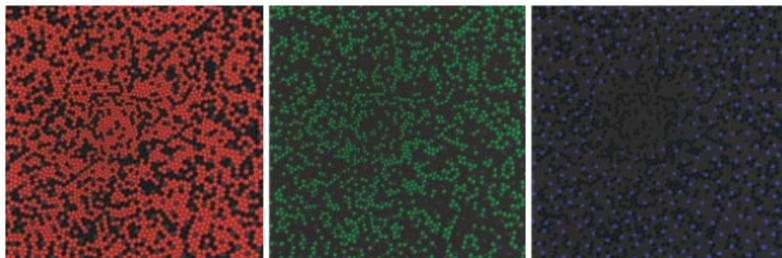
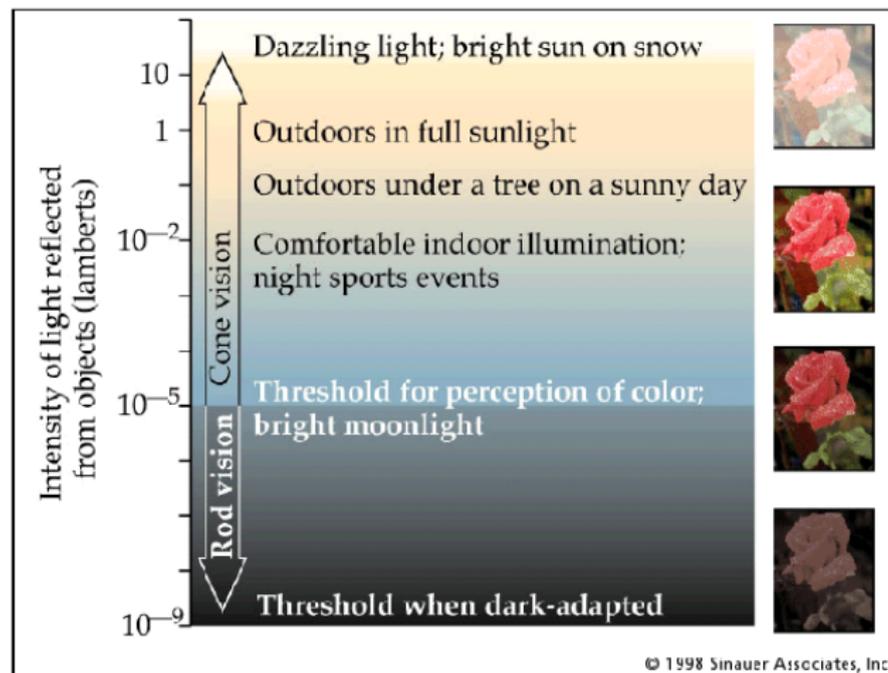


Figure: Réponse spectrale S, M et L cônes.

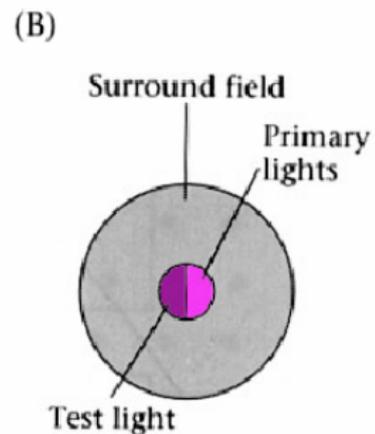
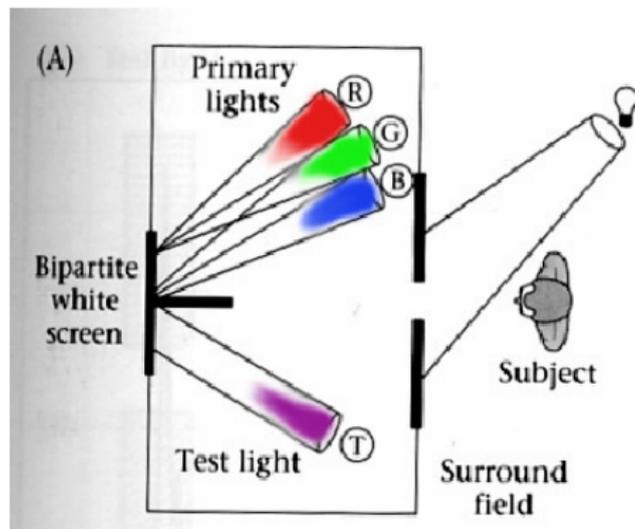
Réponse couleur de l'œil humain



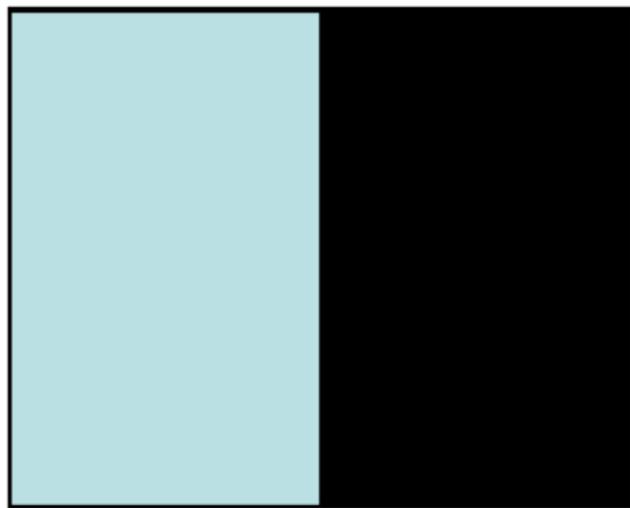
Dynamic range



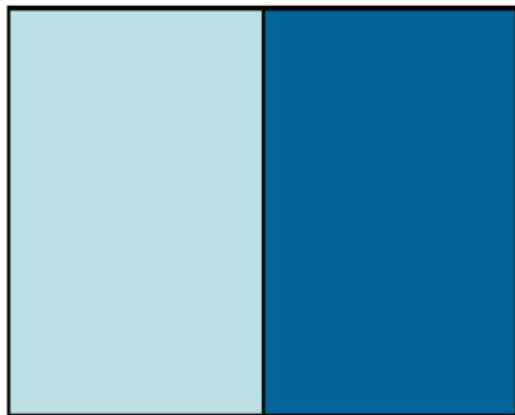
Réponse couleur de l'œil humain



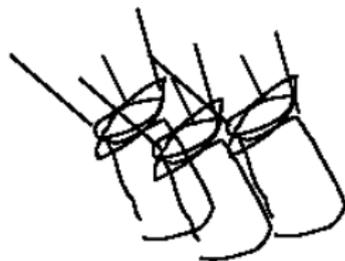
La correspondance des couleurs



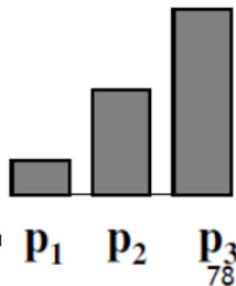
La correspondance des couleurs



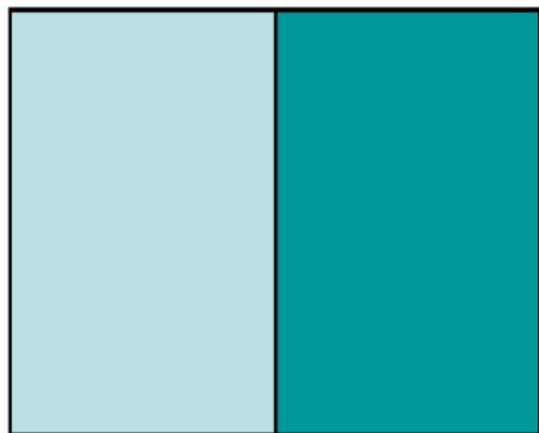
W. Freeman



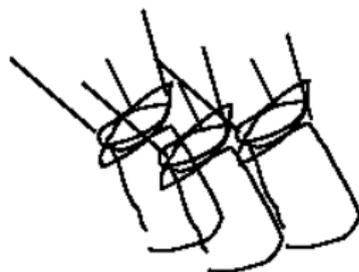
B. Leibe



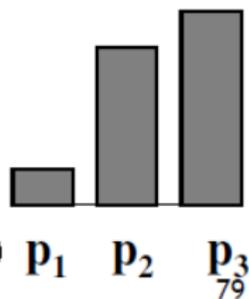
La correspondance des couleurs



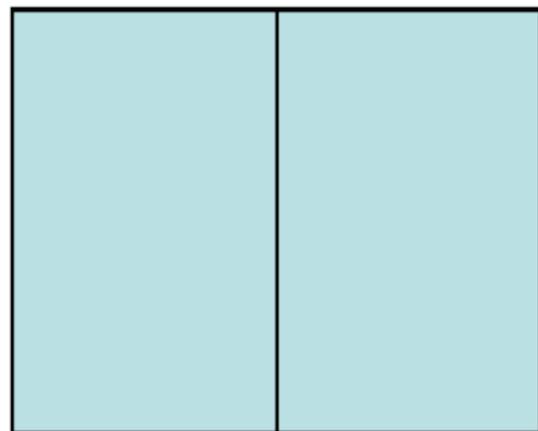
Freeman



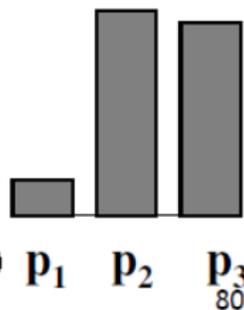
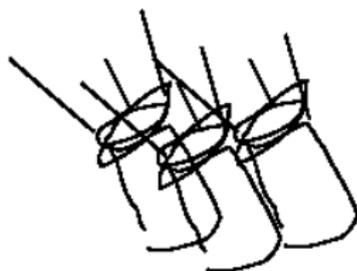
B. Leibe



La correspondance des couleurs

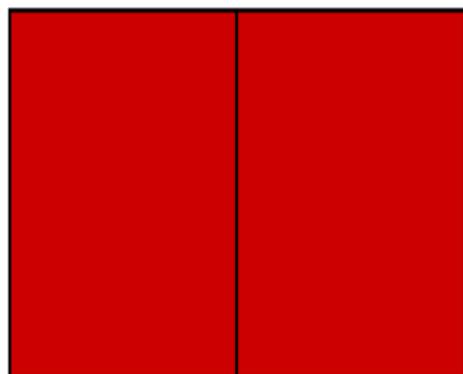


The primary
color amounts
needed for a
match

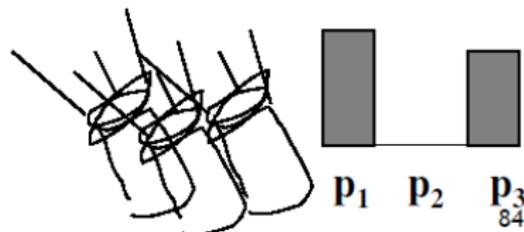
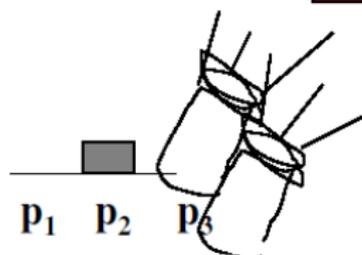
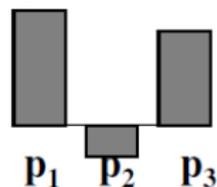


La correspondance des couleurs

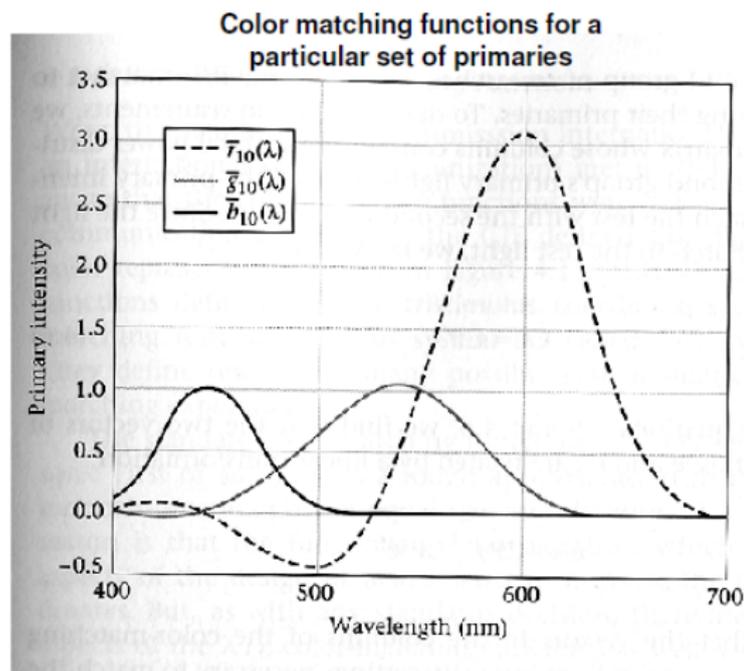
We say a “negative” amount of p_2 was needed to make the match, because we added it to the test color’s side.



The primary color amounts needed for a match:

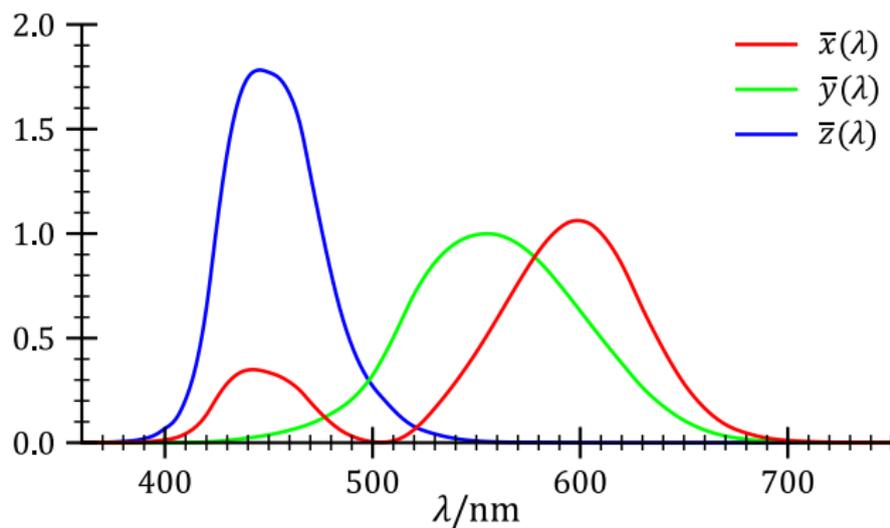


La correspondance des couleurs: espace RGB



-  $p_1 = 645.2 \text{ nm}$
-  $p_2 = 525.3 \text{ nm}$
-  $p_3 = 444.4 \text{ nm}$

Espace XYZ



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.49 & 0.31 & 0.20 \\ 0.17697 & 0.81240 & 0.01063 \\ 0.00 & 0.01 & 0.99 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

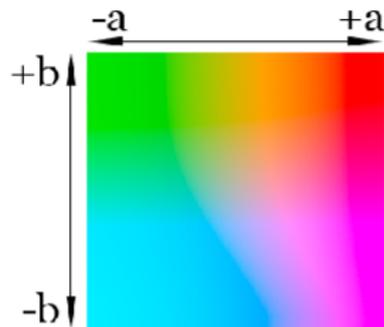
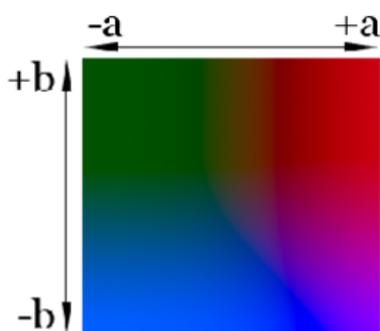
La correspondance des couleurs

- ▶ Pourquoi la solution à ce problème est utile?
 - ▶ Imprimantes.
 - ▶ Représenter correctement la couleur de la peau d'un personnage.
 - ▶ Gérer correctement les couleurs sur les écrans et formats d'impression.



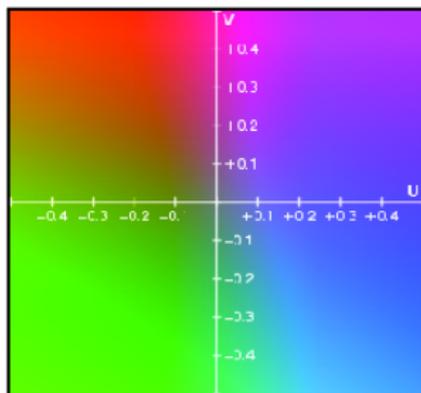
► Commission Internationale de l'Éclairage

- La combinaison L^* est la clarté, qui va de 0 (noir) à 100 (blanc).
- La composante a^* représente la gamme de l'axe rouge (valeur positive) → vert (négative) en passant par le blanc (0) si la clarté vaut 100.
- La composante b^* représente la gamme de l'axe jaune (valeur positive) → bleu (négative) en passant par le blanc (0) si la clarté vaut 100.

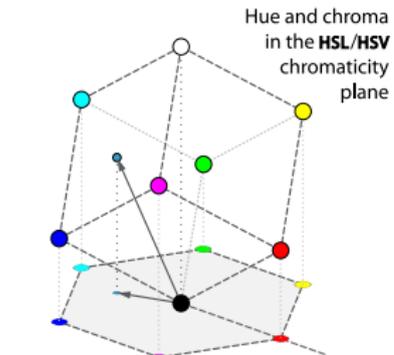
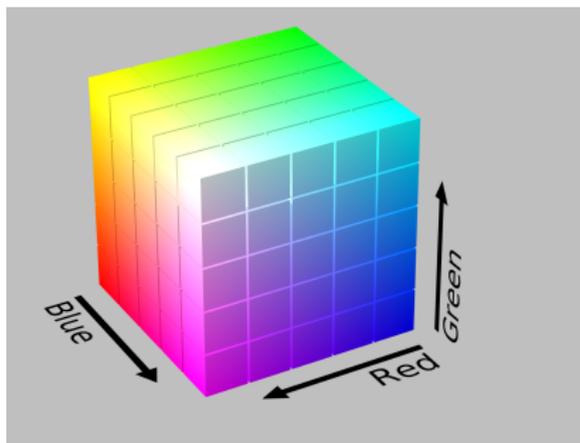


Espaces couleurs: YUV, YCbCr

- ▶ YCbCr
 - ▶ Y: Luminance.
 - ▶ Cb, Cr: chrominance rouge et bleu.
- ▶ YUV
$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$
$$U = 0.436(B - Y)/(1 - 0.114)$$
$$V = 0.615(R - Y)/(1 - 0.299)$$
- ▶ Sous échantillonnage (pour la compression).
- ▶ YUV444: pas de sous échantillonnage $(Y_0, U_0, V_0), (Y_1, U_1, V_1)$.
- ▶ YUV422: sous échantillonnage de U et V: $(Y_0, U_0), (Y_1, V_1)$.
- ▶ YUV411: sous échantillonnage de U et V: $(Y_0), (Y_1, U_1), (Y_2), (Y_3, V_3)$.



Espaces HSL et HSV



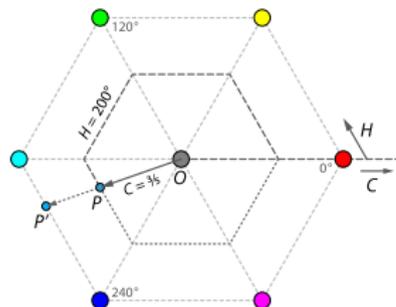
$$C = \frac{OP}{OP'} = B - R = \frac{4}{5} - \frac{1}{5} = \frac{3}{5} = .6$$

$$R = \frac{1}{5}$$

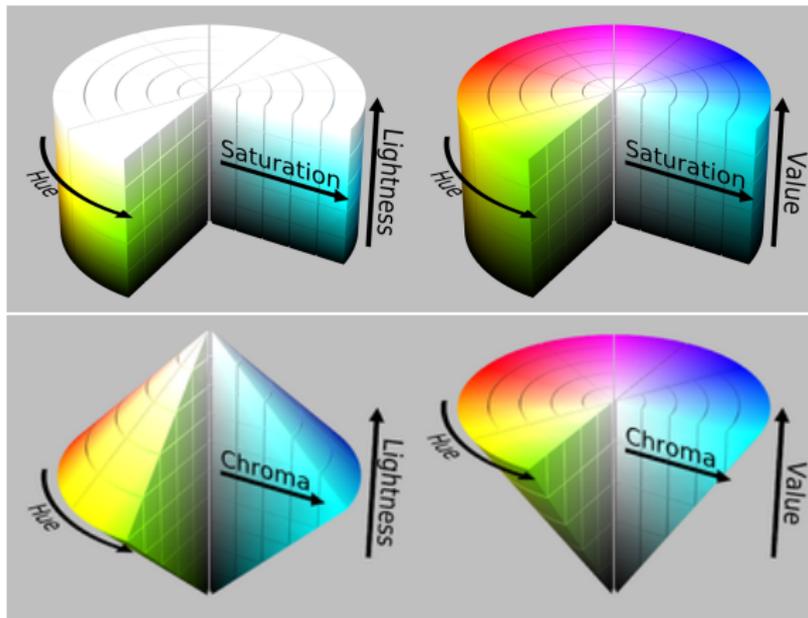
$$G = \frac{3}{5}$$

$$B = \frac{4}{5}$$

$$H = 60^\circ \times \left(4 + \frac{R-G}{C}\right) = 60^\circ \times \left(4 - \frac{3}{5}\right) = 200^\circ$$



Espaces HSL et HSV



Espaces couleurs: RGB

Forme basique:

- ▶ RGB: composantes (Rouge, Vert et Bleu) sur 8 ou 16 bits.
- ▶ Origine: télévision, **inadapté au traitement d'images** .

Couleurs primaires:

- ▶ Rouge
- ▶ Vert
- ▶ Bleu

Couleurs secondaires:

- ▶ Violet
- ▶ Magenta
- ▶ Jaune

Résolution de l'Image

Plus de pixels moins d'aliasing.



Figure: Résolution image a gauche: 128×96 pixels, image a droite $1,024 \times 700$.

Merci beaucoup!