

# Analyse et Traitement des **Images Couleur**

Alain Trémeau

Laboratoire LIGIV – Université Saint Etienne – France

<http://www.ligiv.org>

Ecole Doctorale I2S – 1er juin 2006



# Analyse et Traitement des **Images Couleur**

A/ Aspects liés à la physique

B/ Aspects physiologiques de la perception visuelle

**C/ Seuils de différentiation**

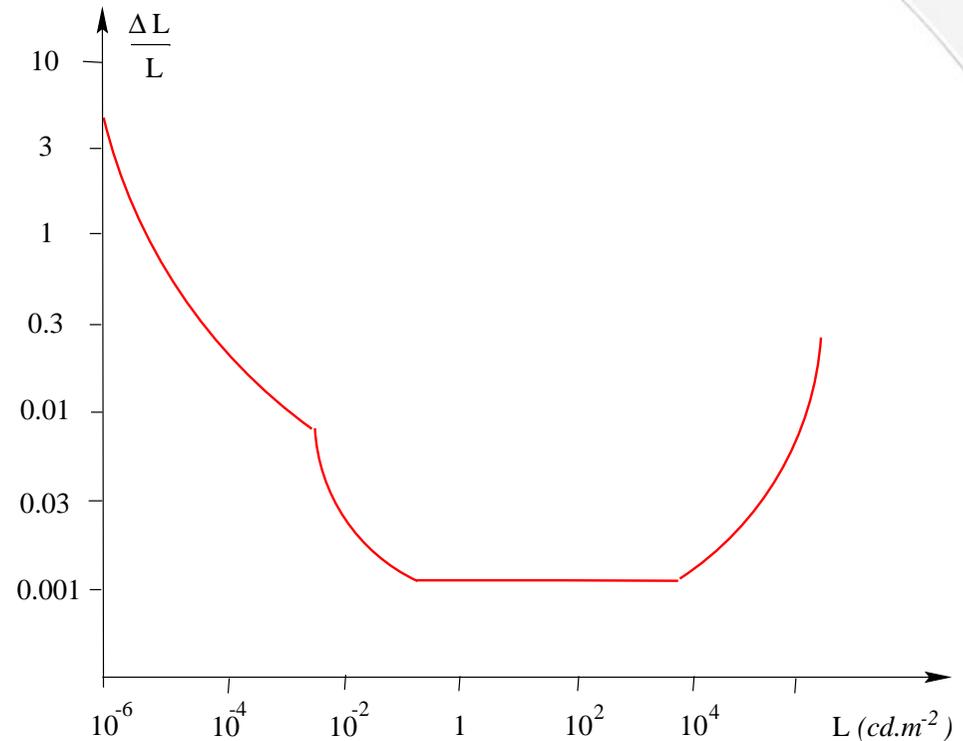
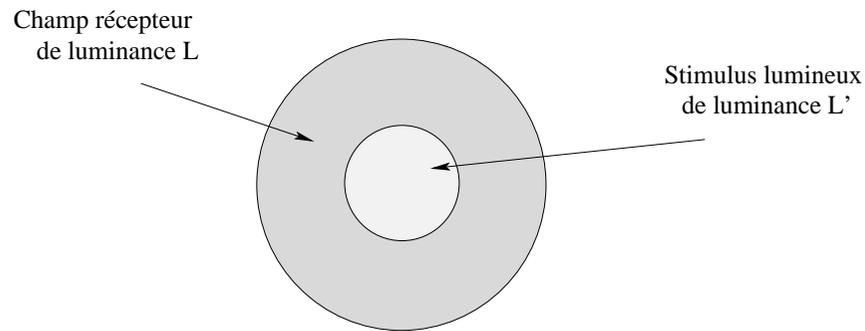
D/ Distances couleur

E/ Les modèles d'apparence couleur

F/ Aspects liés à l'utilisation de dispositifs numériques

G/ Les images couleur

# Exemple 3 : La sensibilité visuelle varie en fonction de la luminance



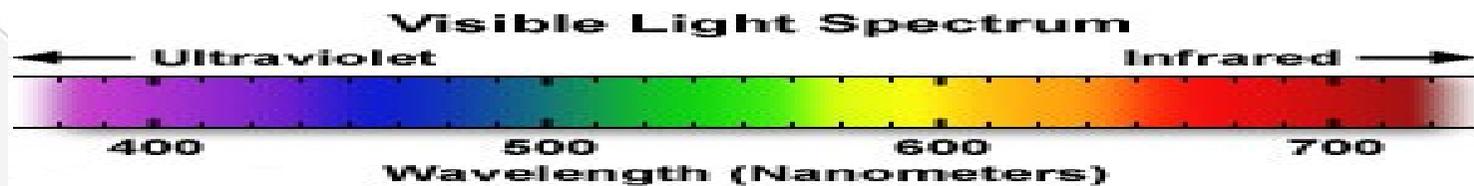
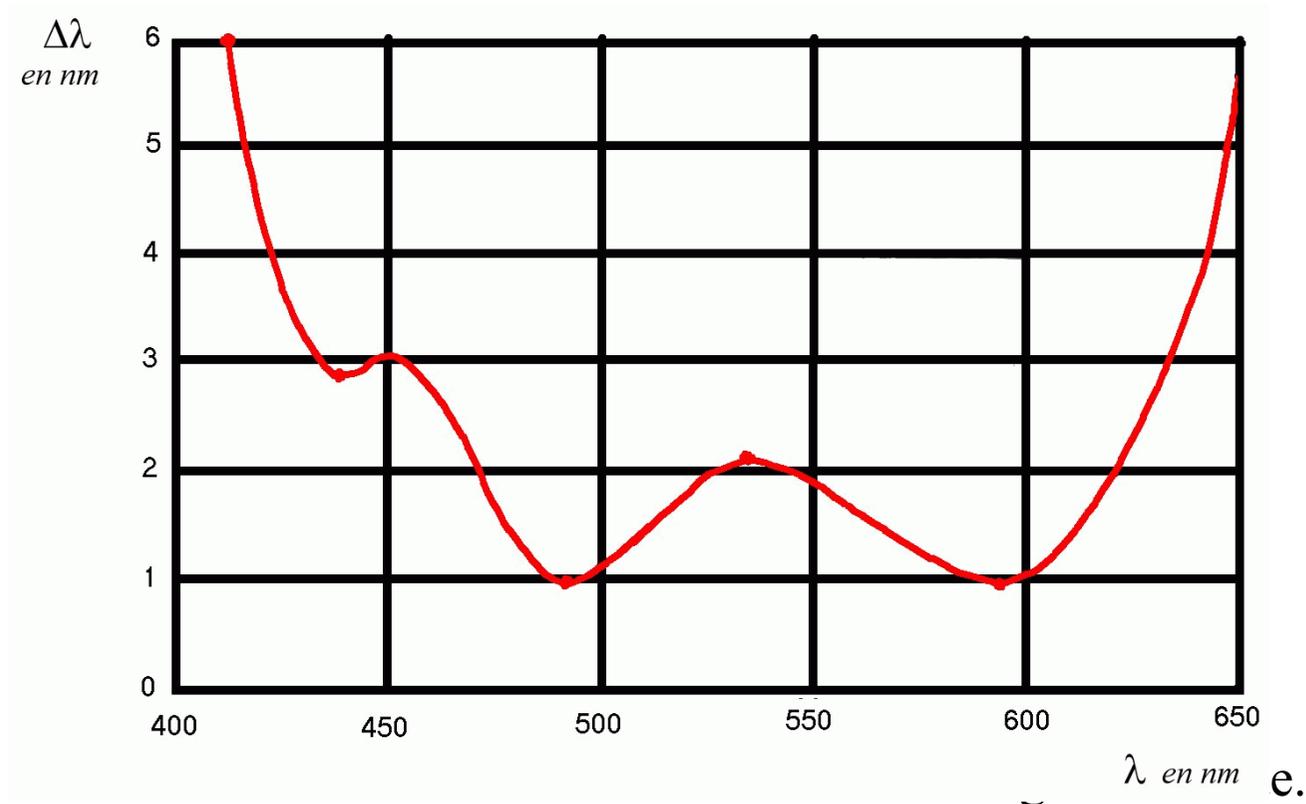
Sensibilité aux différences de luminance.

Protocole expérimental de Weber :

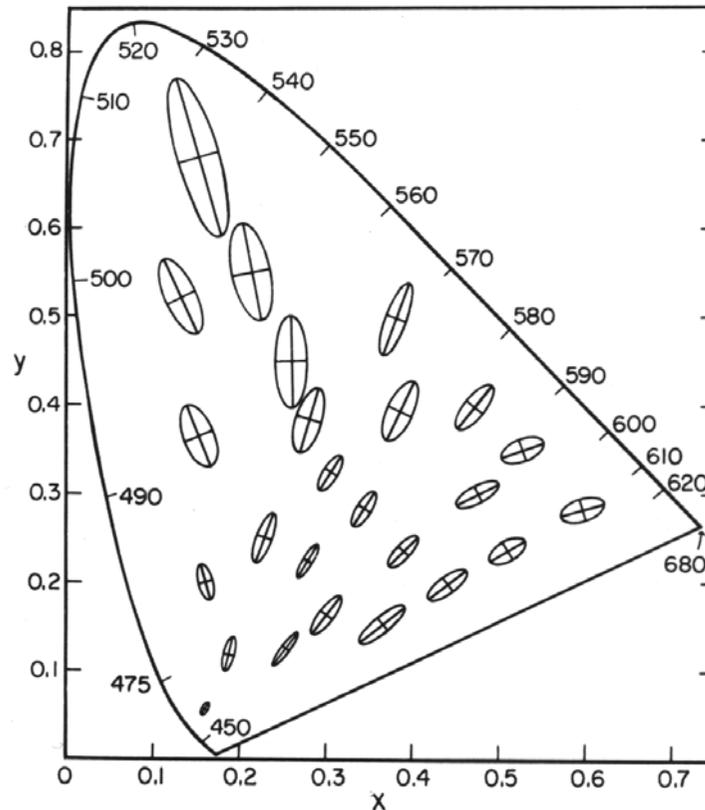
- tant que l'observateur ne perçoit pas de différence de luminance entre le stimulus lumineux et le champ récepteur on augmente le niveau L'.

$\Delta L = L' - L$  correspond au seuil L' de différence juste perceptible.

# Exemple 4 : La sensibilité visuelle varie en fonction de la teinte



## Exemple 5 : La sensibilité visuelle varie en fonction de la chromaticité => L'espace colorimétrique $L^*a^*b^*$



L'espace  $L^*a^*b^*$  peut être décrit indifféremment soit en coordonnées cartésiennes soit en coordonnées cylindriques =>  $L^*C^*H^*$ .

Seuils différentiels de chromaticité selon Macadam (agrandies 10 fois).

*Tandis que le rapport de longueur du grand axe sur le petit axe tend jusqu'à 15:1, ce rapport vaut en moyenne 3,12 avec un écart type de 1,03.*

## D/ Les distances couleur

La distance euclidienne qui sépare deux couleurs dans l'espace  $L^*a^*b^*$ , exprimée en coordonnées cartésiennes, est donnée par :

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

La distance euclidienne qui sépare deux couleurs dans l'espace  $L^*a^*b^*$ , exprimée en coordonnées polaires, est donnée par :

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L_{ab}^*)^2 + (\Delta C_{a^*b^*}^*)^2 + (\Delta H_{a^*b^*}^*)^2}$$

avec

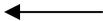
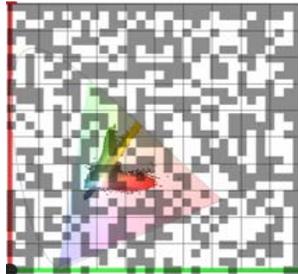
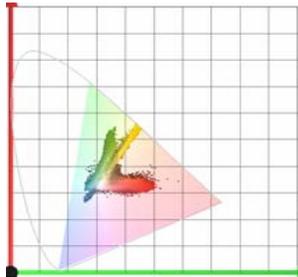
$$\Delta C_{a^*b^*}^* = C_2^* - C_1^* \quad \Delta h_{ab} = h_2 - h_1$$

$$\Delta H_{a^*b^*}^* = 2\sqrt{C_1^* \cdot C_2^*} \cdot \sin\left(\frac{\Delta h_{ab}}{2}\right)$$

# Exemple : développement de méthodes de marquage, d'authentification et de stéganographie d'images couleurs invisibles pour le système visuel humain.



Tableau des couleurs de l'image	Id	Coordonnée RVB	Coordonnée xyY
	1	11, 25, 16	0.02, 0.1, 0.3
	2	25, 56, 144	0.1, 0.2, 0.3
	3	250, 1, 10	0.2, 0.65, 0.23
	4	10, 10, 20	0.7, 0.25, 0.21
	5	30, 2, 110	0.4, 0.3, 0.4
...	...	...	...



Couleurs à **conserver**

Tableau des couleurs de l'image	Id	Coordonnée RVB	Coordonnée xyY
	1	11, 25, 16	0.02, 0.1, 0.3
	2	25, 56, 144	0.1, 0.2, 0.3
	3	250, 1, 10	0.2, 0.65, 0.23
	...	...	...
	...	...	...



Couleurs à **changer**

Tableau des couleurs de l'image	Id	Coordonnée RVB	Coordonnée xyY
	4	10, 10, 20	0.7, 0.25, 0.21
	5	30, 2, 110	0.4, 0.3, 0.4
	...	...	...
	...	...	...
	...	...	...

## D/ Les distances couleur

- Un écart de **0,5 unité** CIELAB représente la plus petite différence perceptible pour un observateur entraîné et ce dans de bonnes conditions d'observation.
- On estime en général qu'un écart de **1 unité** CIELAB représente le seuil différentiel de perceptibilité. Selon Macadam, on peut tolérer un écart de **2 unités**. Au-delà de ce seuil, la différence de couleur est significativement perceptible.

**Problème : cette échelle de valeurs n'a de sens que pour des différences assez faibles; elle ne peut être utilisée pour mettre en vis-à-vis des écarts de faible amplitude avec des écarts plus importants.**

## E/ Vers une description objective d'une sensation subjective : définition d'une distance couleur

Plusieurs distances, appelées **distances colorimétriques**, basées sur diverses méthodes d'évaluation numériques, permettent de mieux quantifier les différences entre les couleurs.

Exemple 1 : L'équation de différence de couleur **CIE 1994** se définit de la façon suivante :

$$\Delta E_{ab94}^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{a^*b^*}^*}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{a^*b^*}^*}{k_H S_H}\right)^2}$$

$\Delta L^*$  représente la différence de luminance,  $\Delta C_{a^*b^*}^*$  la différence de chroma, et  $\Delta H_{a^*b^*}^*$  la différence de teinte.

Exemple 2 : L'équation de différence de couleur CMC(1:c)

$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{l.S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{c.S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{S_H}\right)^2}$$

## E/ Vers une description objective d'une sensation subjective

- Ces distances ne peuvent être utilisées que dans des conditions de référence données très restrictives.

=> Le problème de la prise en compte de la dimension spatio-chromatique (cas d'étude des images simples ou complexes).

- Ces distances sont à la base de nouvelles formules qui prennent mieux en compte les phénomènes d'adaptation chromatique, tels que les formules CMCCAT97, CMC2000, CIE2000 ou CIECAM97's.

=> Le problème d'une meilleure prise en compte des conditions d'observation.

## E/ Vers une description objective d'une sensation subjective

Pour atteindre cet objectif, il faut :

- recenser l'ensemble des attributs visuels qui contribuent à analyser ces changements,
- analyser leur comportement face à différentes conditions d'illumination.

Plusieurs travaux de recherche ont alors été menés en parallèle, pendant une quinzaine d'années, puis ont débouché sur plusieurs modèles d'apparence.

Chacun de ces modèles donnant plus ou moins de poids à tel attribut visuel plutôt qu'à tel autre et reproduisant plus ou moins bien tel phénomène psychovisuel plutôt que tel autre.

## E/ Colorimétrie contextuelle et modèles d'apparence couleur

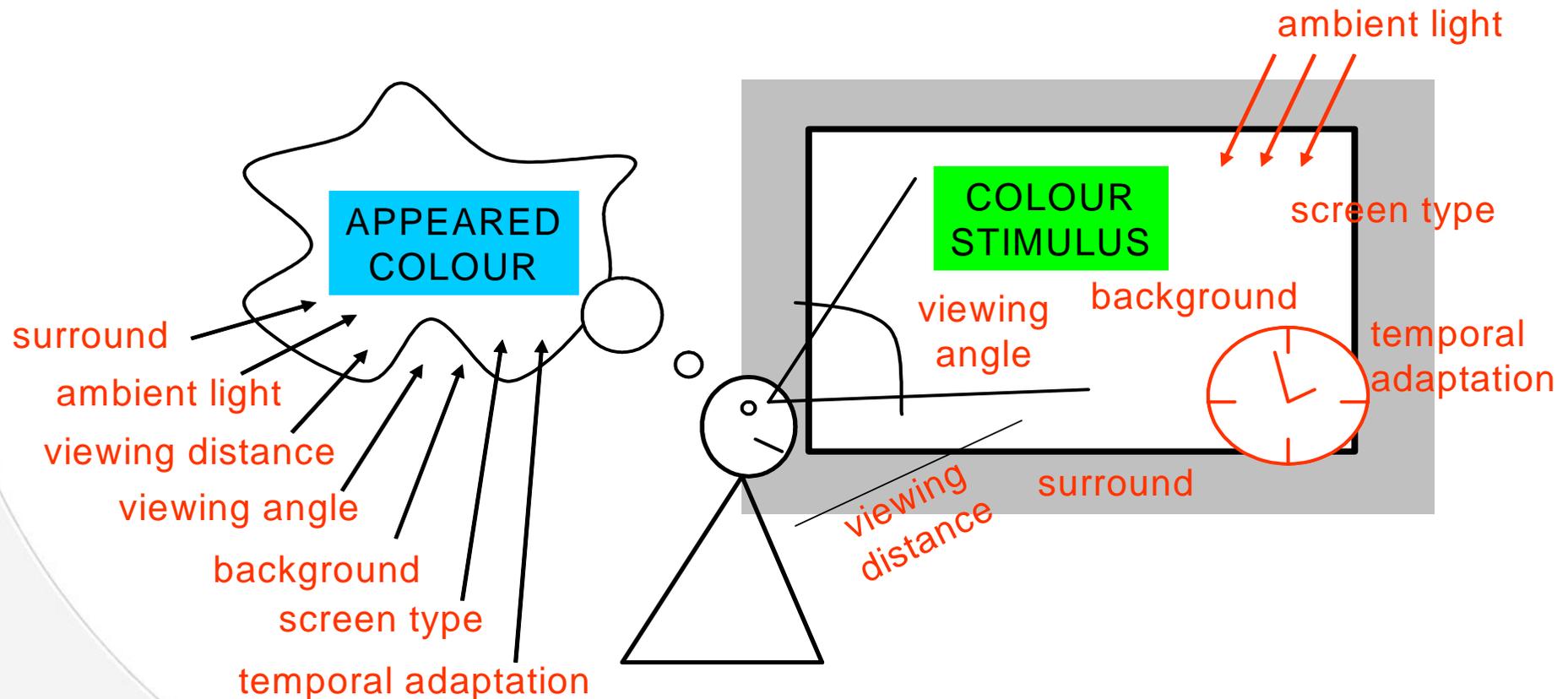
La **colorimétrie contextuelle** se caractérise par la recherche :

- de descripteurs,
- de modèles,
- de techniques ou
- d'algorithmes,

permettant d'étendre le champ d'application de la colorimétrie conventionnelle à des champs d'étude plus complexes tels que les images couleurs.



# Exemples de paramètres d'étude pris en compte par les modèles d'apparence couleur CIECAM.

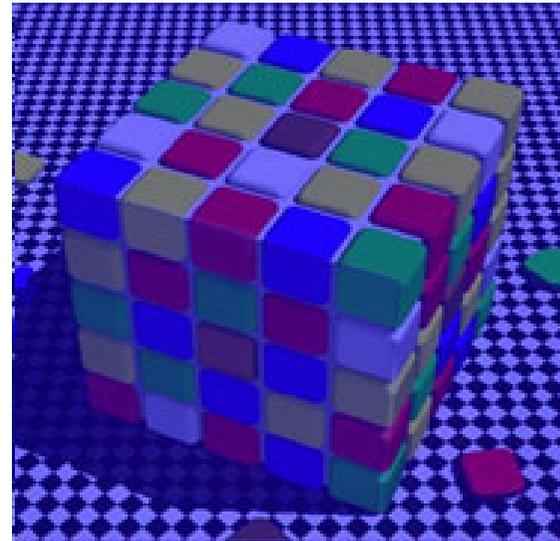


Problème comment estimer l'influence de tel ou tel paramètre ?  
par des expériences psycho-visuelles.

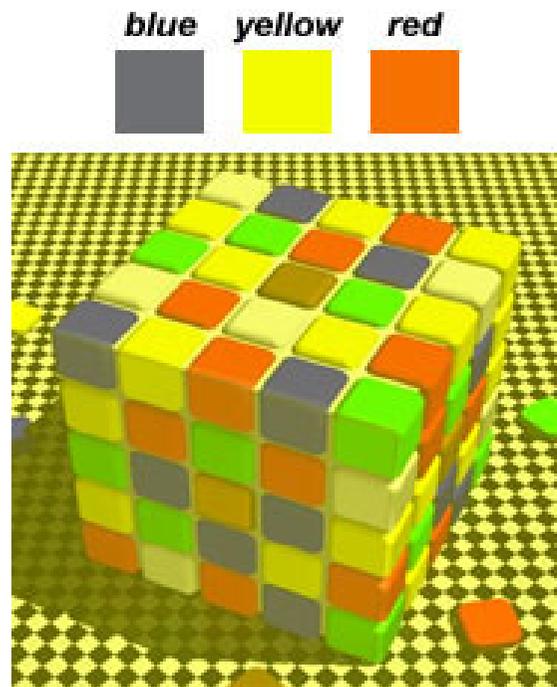


Exemple 1 : illusion visuelle

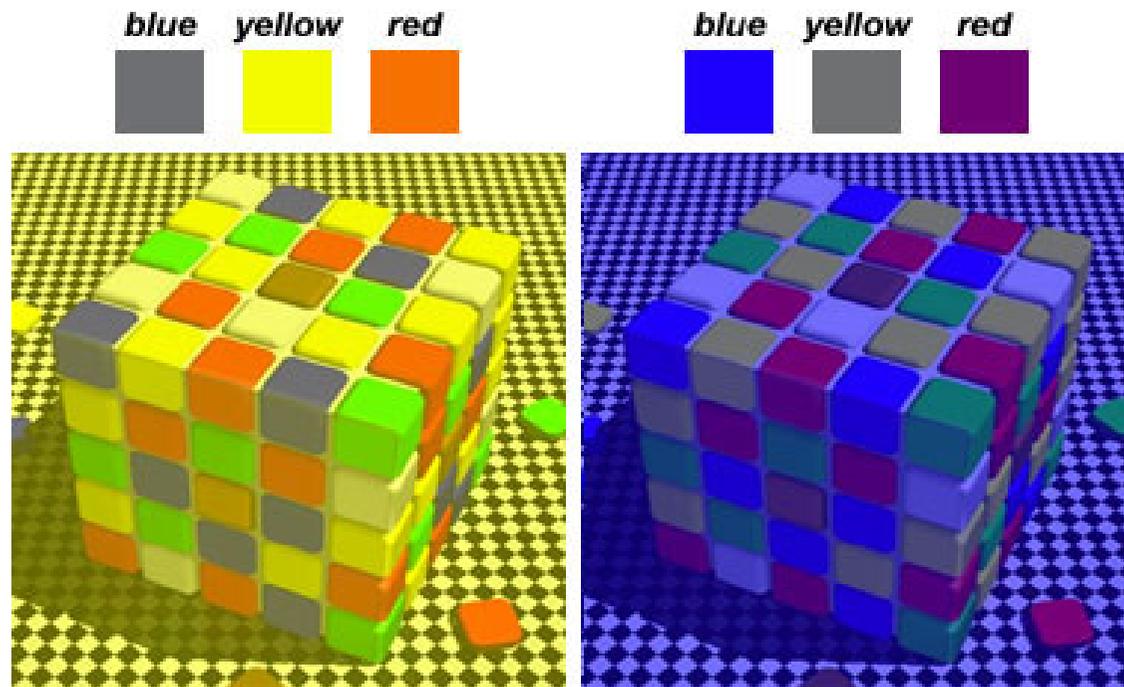
## Exemple 2 : la constance des couleurs



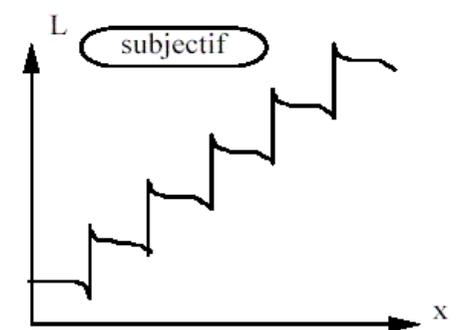
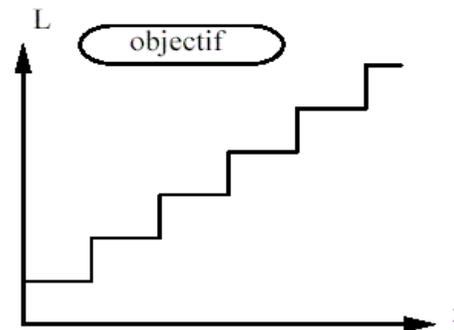
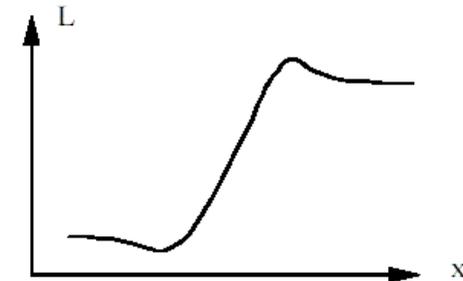
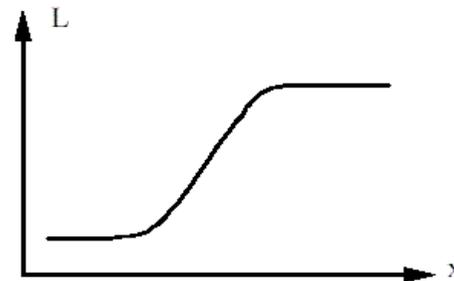
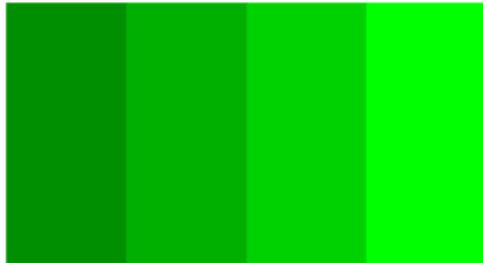
## Exemple 2 : la constance des couleurs



## Exemple 2 : la constance des couleurs

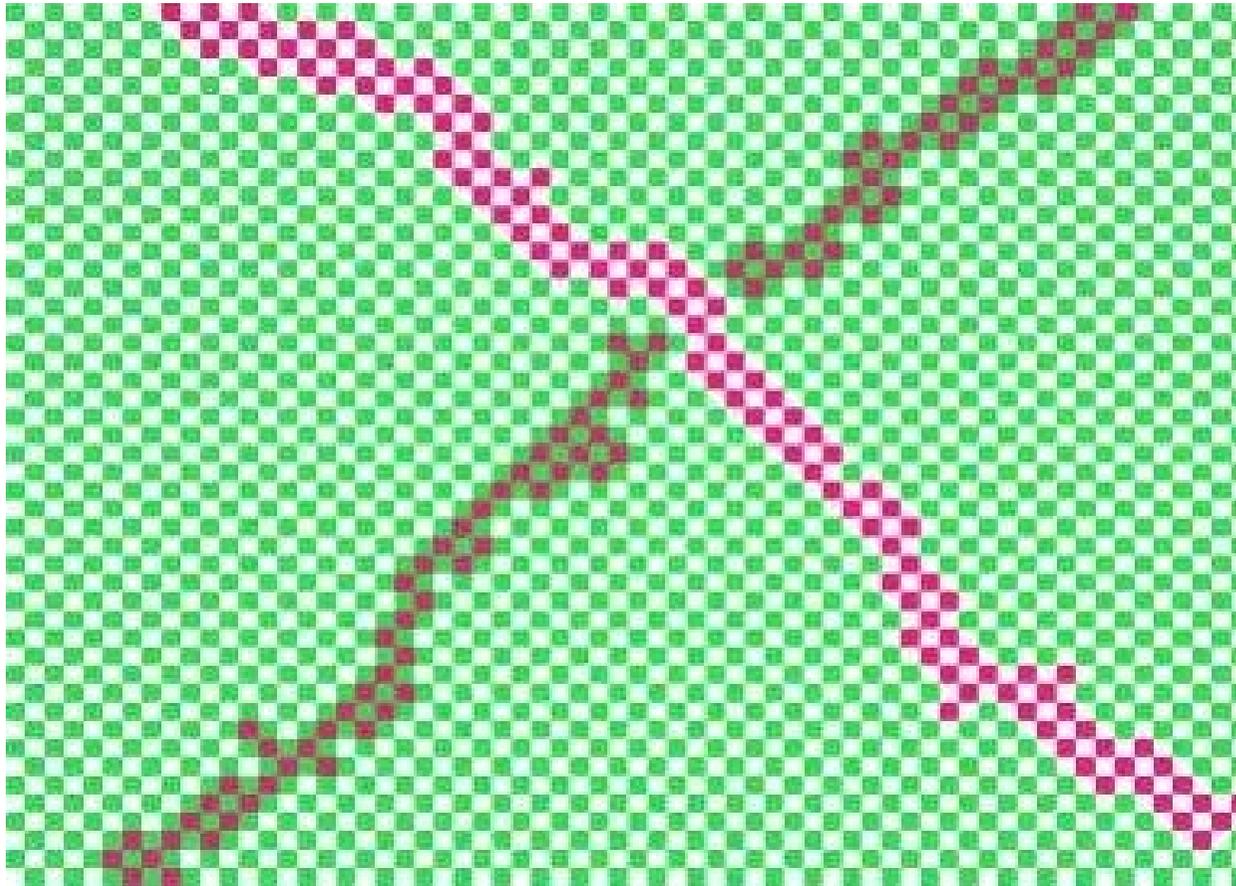


## Exemple 3 : la perception des contrastes



*Rehaussement physiologique des contrastes couleurs entre zones adjacentes de type **inhibition latérale**.*

## Exemple 4 : la perception des couleurs

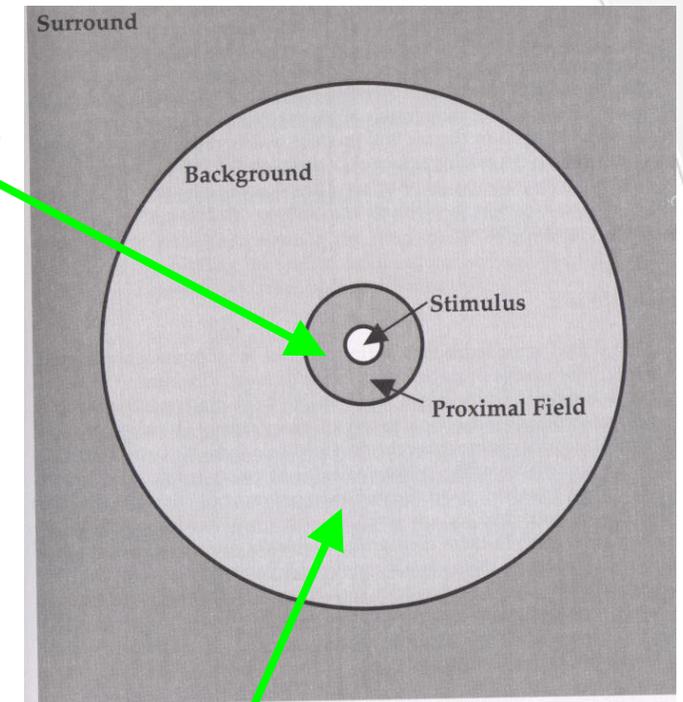


*Ex* Rehaussement physiologique des contrastes couleurs entre zones adjacentes de type **inhibition/excitation latérale**.

## E/ L'expression subjective de la couleur

Les modèles d'apparence couleur utilise 5 champs d'adaptation:

- Le champ central (**stimulus**) qui doit être uniforme et vu sous un angle visuel de  $2^\circ$ .
- Le champ proche (**proximal field**) qui correspond à un angle visuel de  $2^\circ$  autour de l'élément coloré considéré.
- L'arrière-plan (**background**) qui correspond à un angle visuel de  $10^\circ$  autour du champ proche.
- La périphérie (**surround**) représente le reste de la scène.
- Le champ d'adaptation (**adapting field**) comprend tous les autres champs et s'étend aux limites de la vision dans toutes les directions.

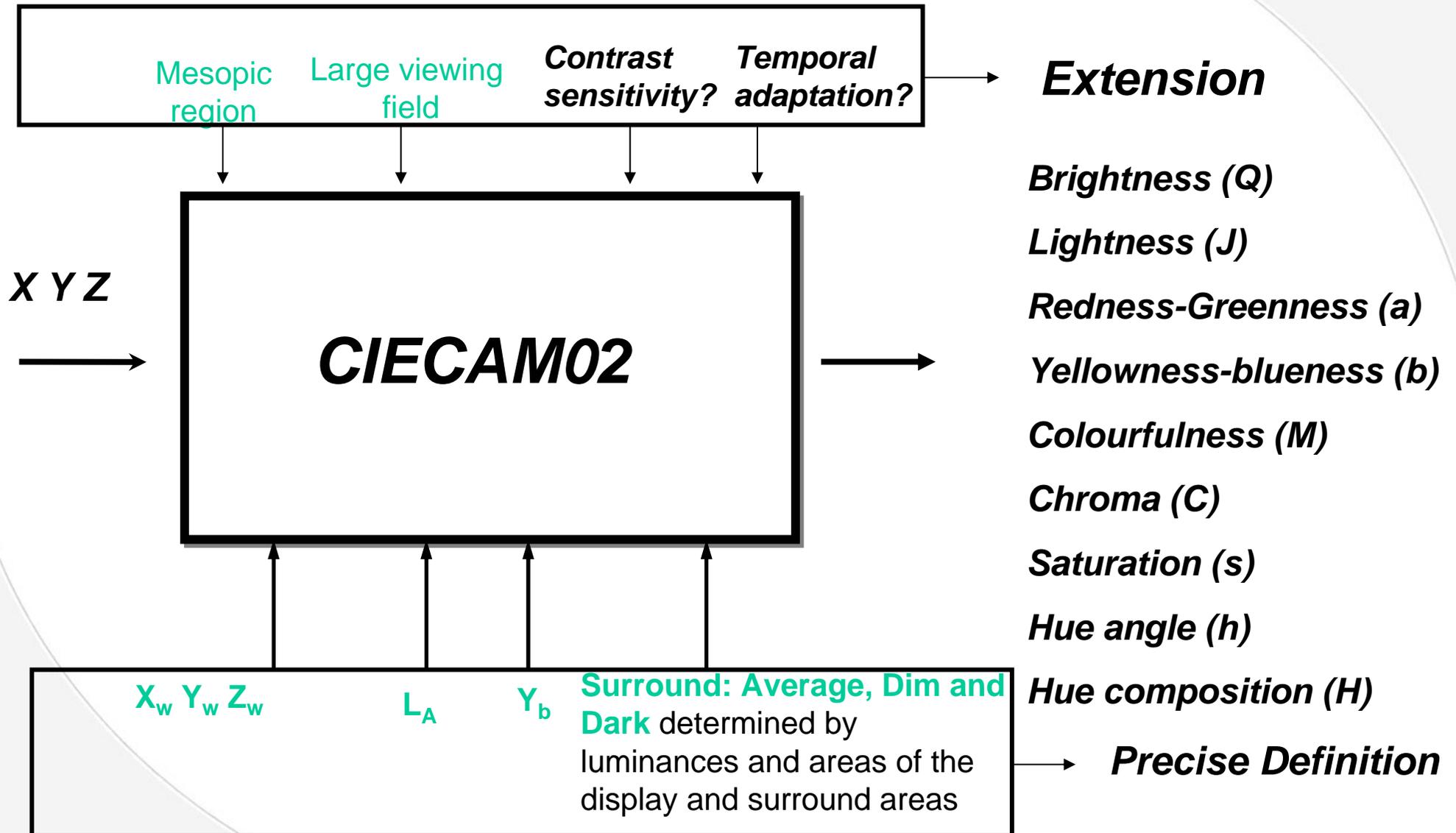


## E/ L'expression subjective de la couleur

Les modèles d'apparence couleur utilise six attributs :

- **Hue** (ton) : sensation visuelle de similarité d'une aire avec une couleur.
- **Brightness** : sensation qu'une aire apparaît plus ou moins lumineuse. (éclat)
- **Lightness** : brightness d'une aire comparée à une même aire qui apparaît comme étant blanche.
- **Colorfulness** : sensation visuelle qu'une aire est plus ou moins colorée.
- **Chroma** : coloration d'une aire considérée comme la proportion de brightness (éclat) d'une aire similaire qui apparaît étant blanche.
- **Saturation** : coloration d'une aire comme proportion de son brightness (éclat)

# E/ L'expression subjective de la couleur



# E/ Mécanismes de la perception des couleurs

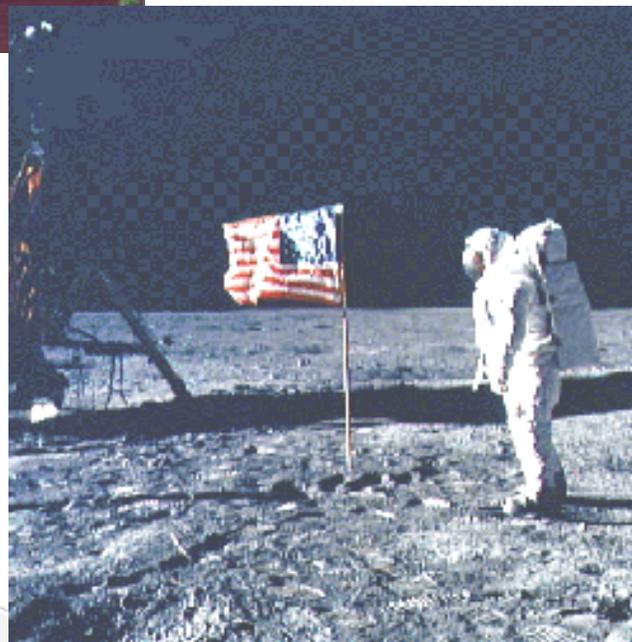
## Mécanismes d'adaptation chromatique

- Dark adaptation
- Light adaptation
- Chromatic adaptation

## Phénomènes d'apparence couleur

- Mémoire couleur
- Constance de couleur
- Illuminant escompté
- Contrastes simultanés (Crispening, Spreading, Décalages)
  - Bezold-Brücke
  - Abney
  - Hunt
  - Stevens
  - Helson-Judd
  - Helmotz-Kohlrausch
  - Bartleson-Breneman

# Exemples liés au phénomène de constance des couleurs / conditions d'illumination

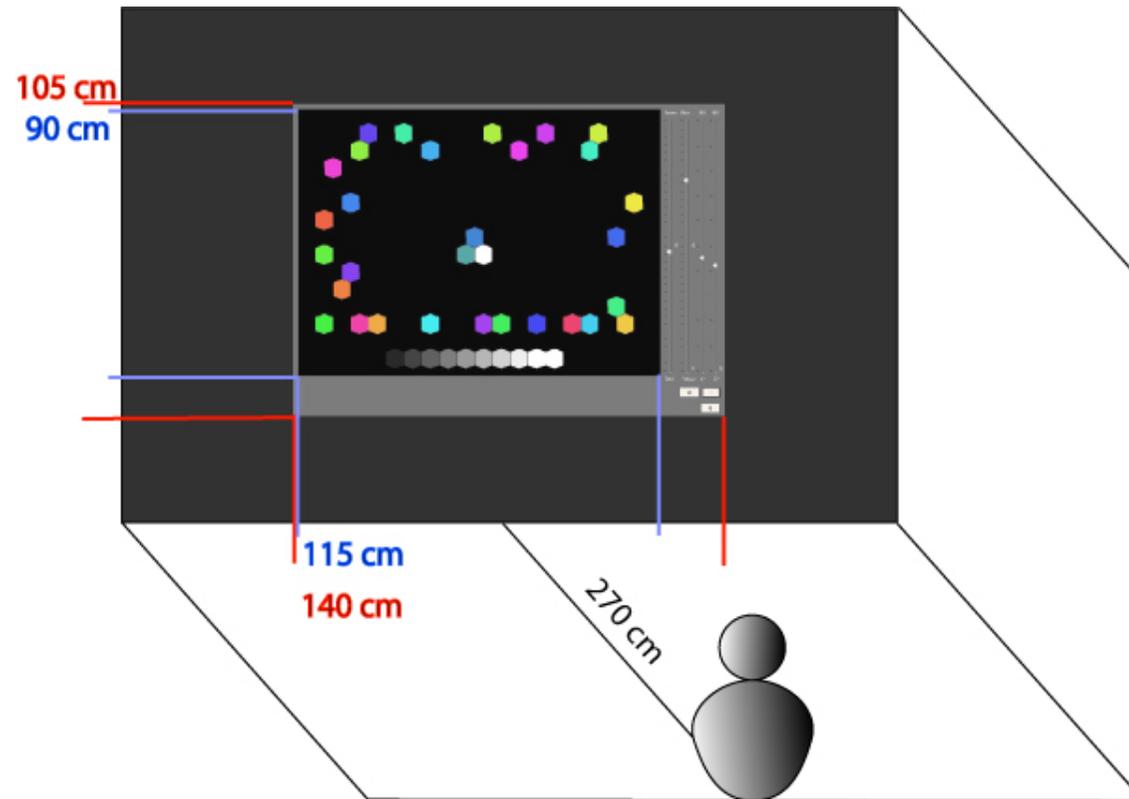


Le domaine de sensibilité du Système Visuel Humain est très étendu / sensibilité des systèmes artificiels

## E/ Mécanismes de la perception des couleurs

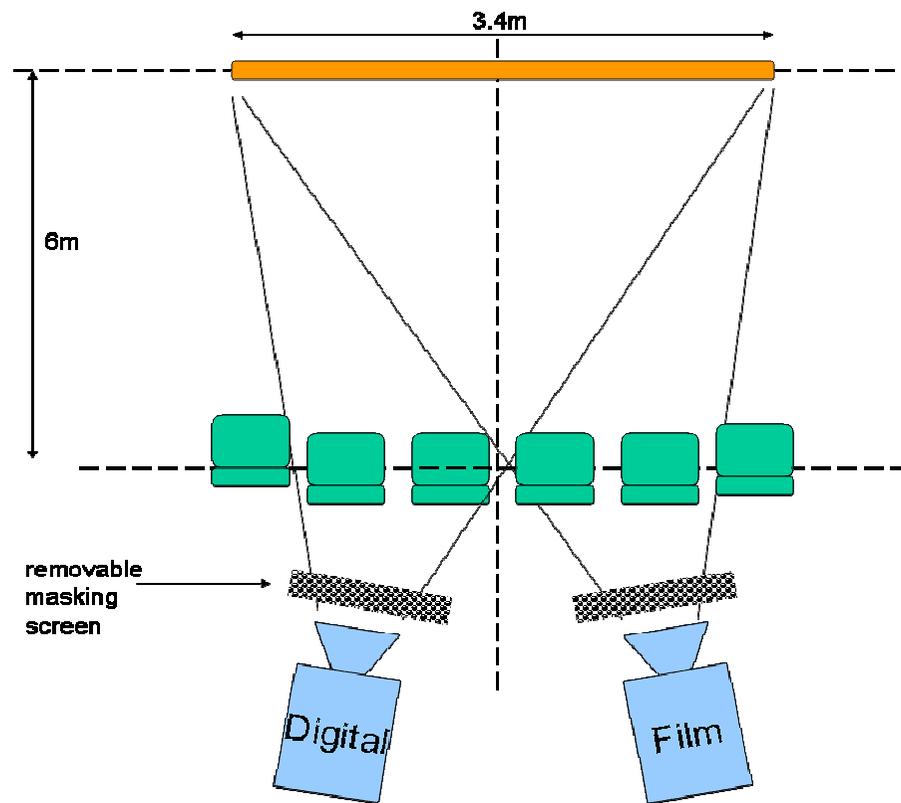
- Tous ces phénomènes jouent un rôle majeur dans la perception visuelle.
- Faute d'expérimentations menées sur des scènes complexes, nombre de phénomènes visuels ne sont pas encore bien décrits, ni généralisables à un cadre d'étude impliquant ne serait-ce qu'un fond environnant non uniforme.

Exemple d'expérimentation visuelle permettant le développement de nouveaux paramètres d'étude qui étendent le champ d'application des modèles d'apparence couleur aux **images complexes** et à des **conditions d'observation mésopiques**.

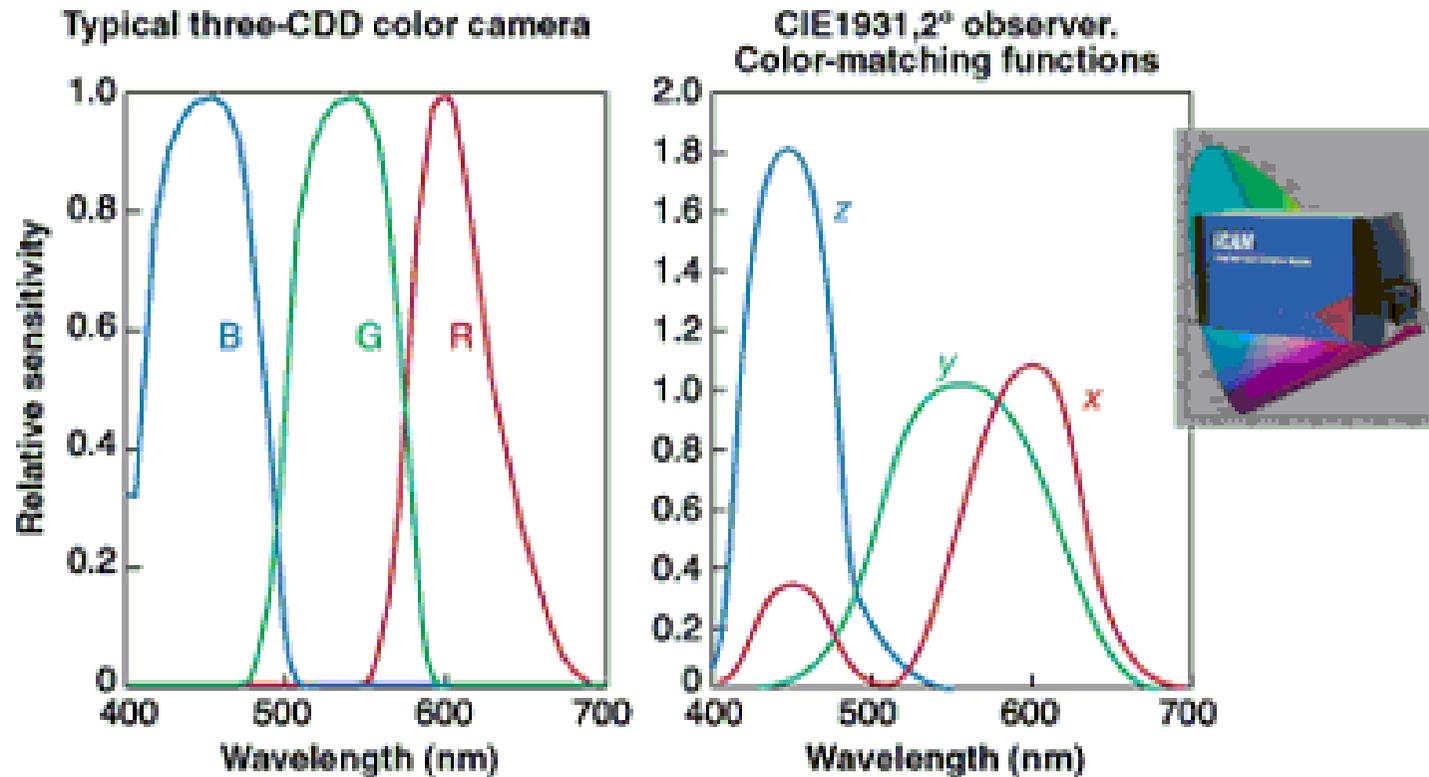




Exemple d'expérimentation visuelle permettant d'étendre le champ d'investigation des méthodes d'évaluation de la qualité d'une image couleurs aux champs d'étude des images cinématographiques (ou vidéo).



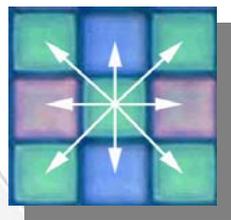
## F/ Aspects liés à l'utilisation de dispositifs numériques



- Les courbes de sensibilité de la plupart des caméras CCD conventionnelles (RGB) ne correspondent pas à celles du système visuel humain.
- Néanmoins certaines caméras ont une sensibilité identique (XYZ).

# F/ Aspects liés à l'utilisation de dispositifs numériques

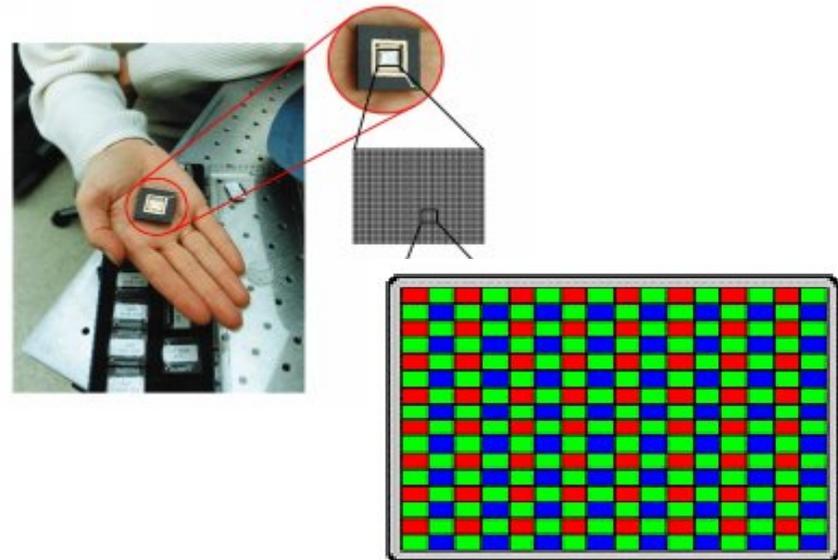
Exemples 1 de dispositifs d'acquisition d'image couleur avec une seule matrice de capteurs (mono CCD).



Mosaïque de filtres



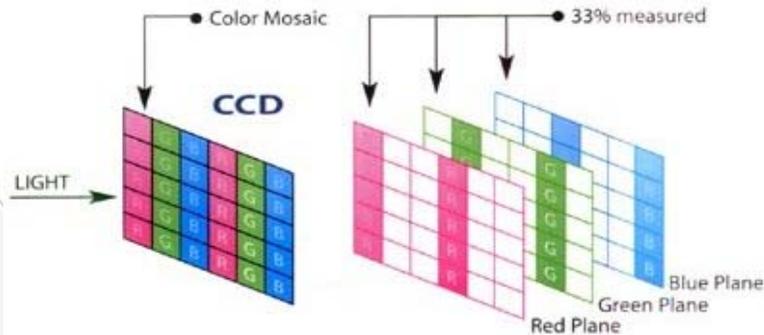
Interpolation



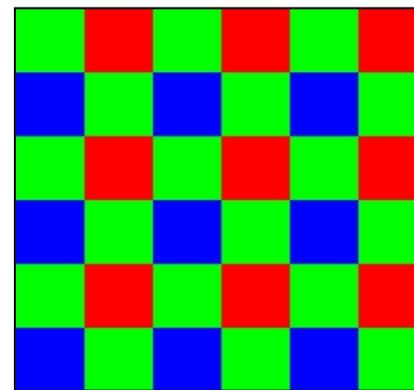
# F/ Aspects liés à l'utilisation de dispositifs numériques

Exemples 2 de dispositifs d'acquisition d'image couleur avec une seule matrice de capteurs (mono CCD).

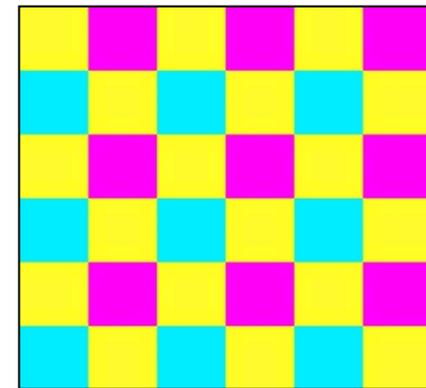
Différents agencements sont envisageables...



Bandes verticales



Matrice BAYER



Couleurs complémentaires

# F/ Aspects liés à l'utilisation de dispositifs numériques

Exemples 3 de dispositifs d'acquisition d'image couleur avec une seule matrice de capteurs (mono CCD).

R	G	R	G
G	B	G	B
R	G	R	G
G	B	G	B



R	E	R	E
G	B	G	B
R	E	R	E
G	B	G	B



# F/ Aspects liés à l'utilisation de dispositifs numériques

Problème de « mosaicking » dus à la distribution spatiale des CCD.

