

Chapitre 1. Perception de la couleur**(2Semaines)**

- ✓ Colorimétrie. Lumière et couleur dans la perception humaine
- ✓ Systèmes de représentation de la couleur : RGB, XYZ, YUV, HSV, YIQ
- ✓ Formats couleur et stratégies de traitement de l'image couleur

http://www.ostralo.net/3_animations/swf/couleurs_ecran.swf

1.1 COLORIMETRIE. LUMIERE ET COULEUR DANS LA PERCEPTION HUMAINE**A retenir !**

La lumière est une onde électromagnétique dont les longueurs d'onde visibles pour l'homme varient de 380 à 700 nm environ (du violet au rouge).

L'œil "voit" - on parle de perception - grâce à des cellules photorécepteurs dans la rétine: photosensibles à la couleur et d'autres seulement à la luminosité.

les cellules photosensibles différentes, portant des noms reflétant leur forme: les bâtonnets et les cônes

• Les bâtonnets, qui constituent environ 95% de ces cellules, soit au nombre de 120 millions, sont responsables de la vision nocturne, et ne sont sensibles qu'à la différence entre obscurité et lumière. Par contre, ils ont la plus grande sensibilité, et sont par cela adaptés à de faibles quantités de lumière.

Les cellules sensibles à la couleur s'appellent **les cônes**. Ils sont surtout sensibles dans le rouge (la terre), le vert (la chlorophylle des arbres) et le bleu (le ciel). Il n'existe pas un cône pour chaque couleur.

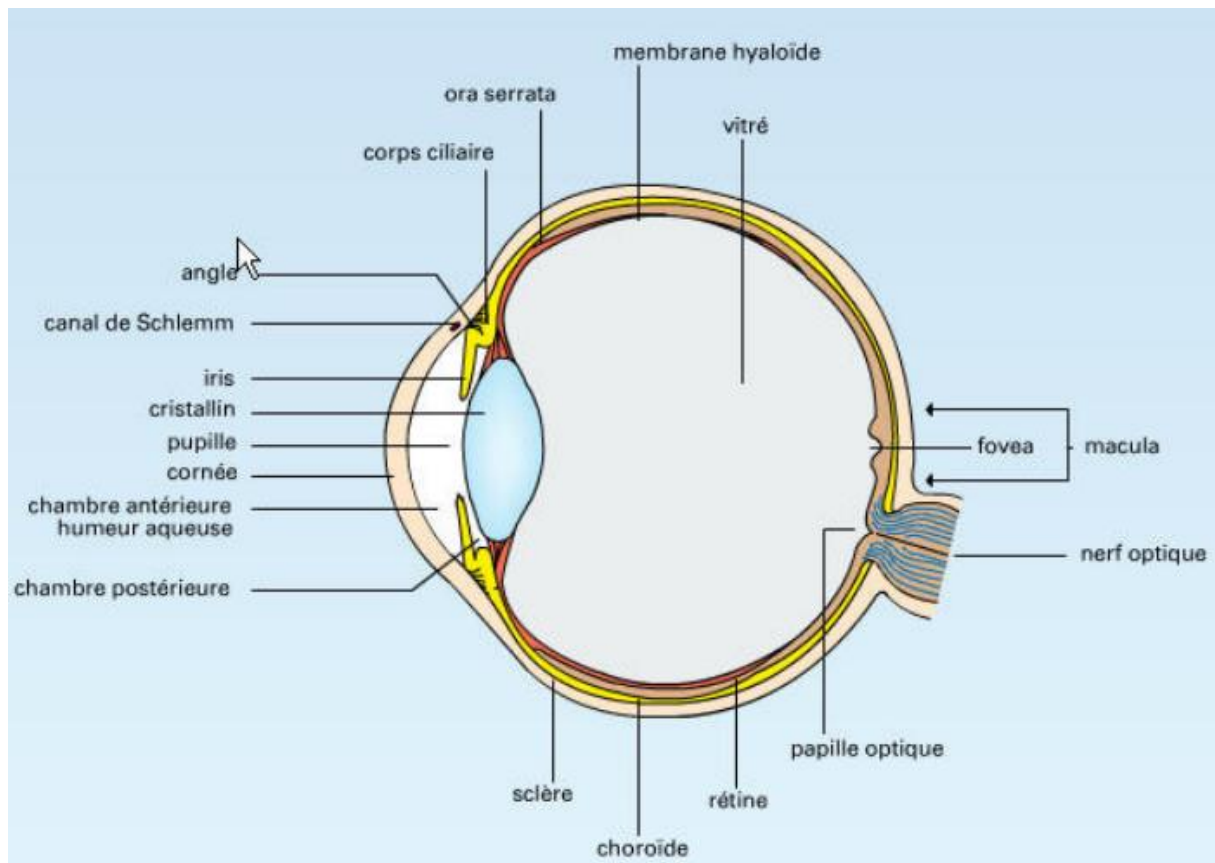
Les cônes sont sensibles pour chaque couleur à environ 200 nuances, de la couleur la plus foncée à la plus claire : cela représente donc $200 \times 200 \times 200 = 8$ millions de mélanges de couleurs différentes pour un œil "moyen".

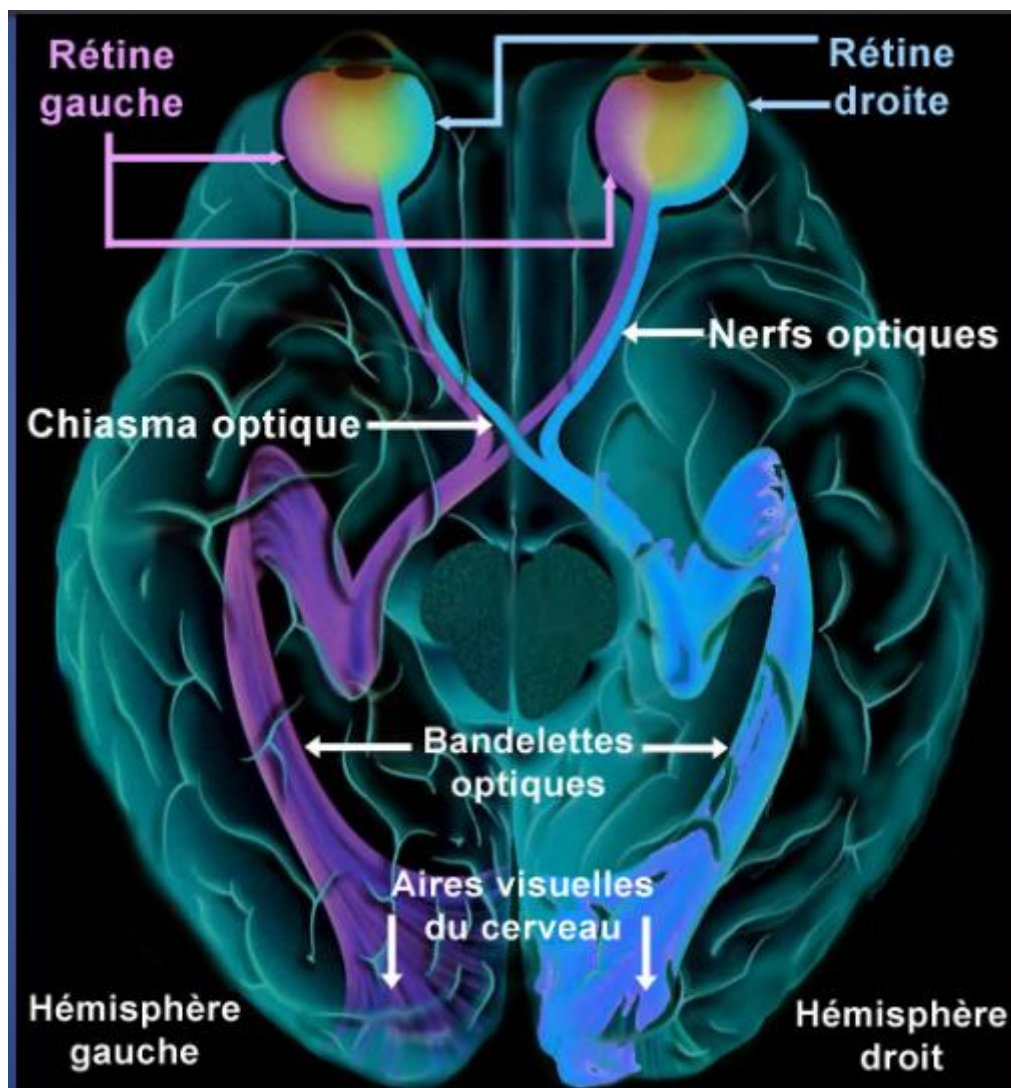
En recomposant ou en mélangeant ces trois couleurs dites primaires le cerveau "voit" donc huit millions de couleurs.

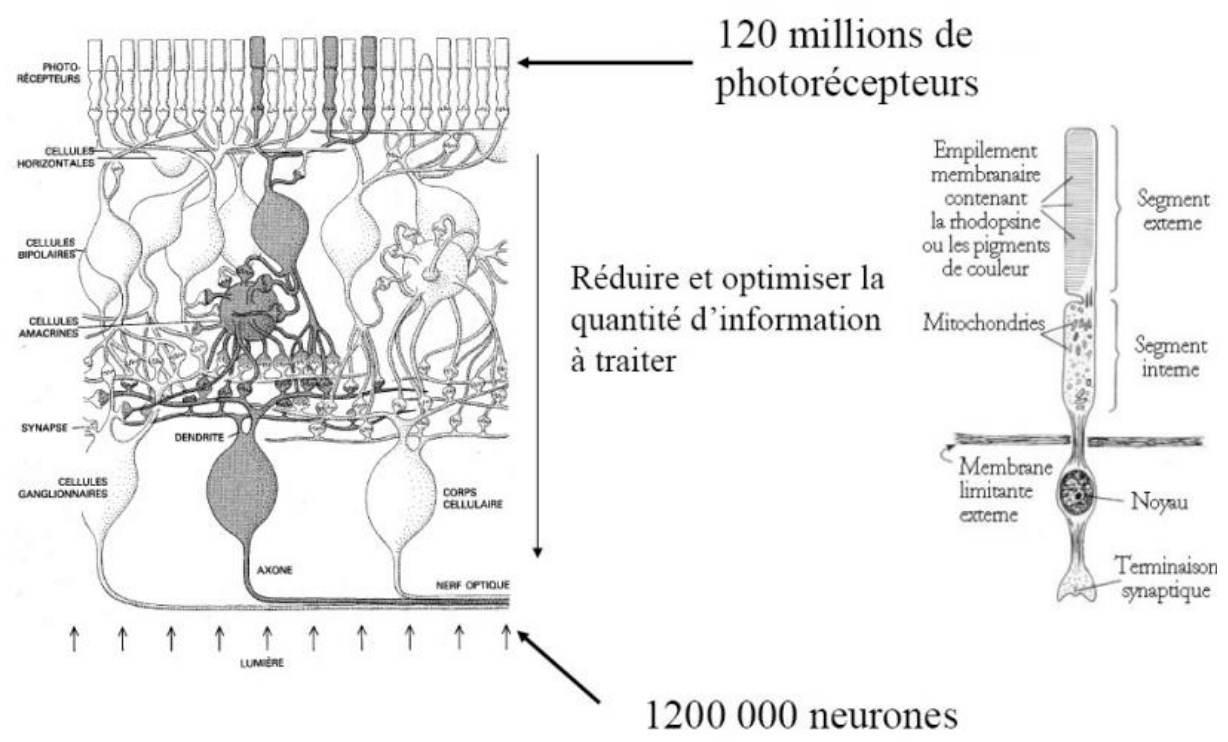
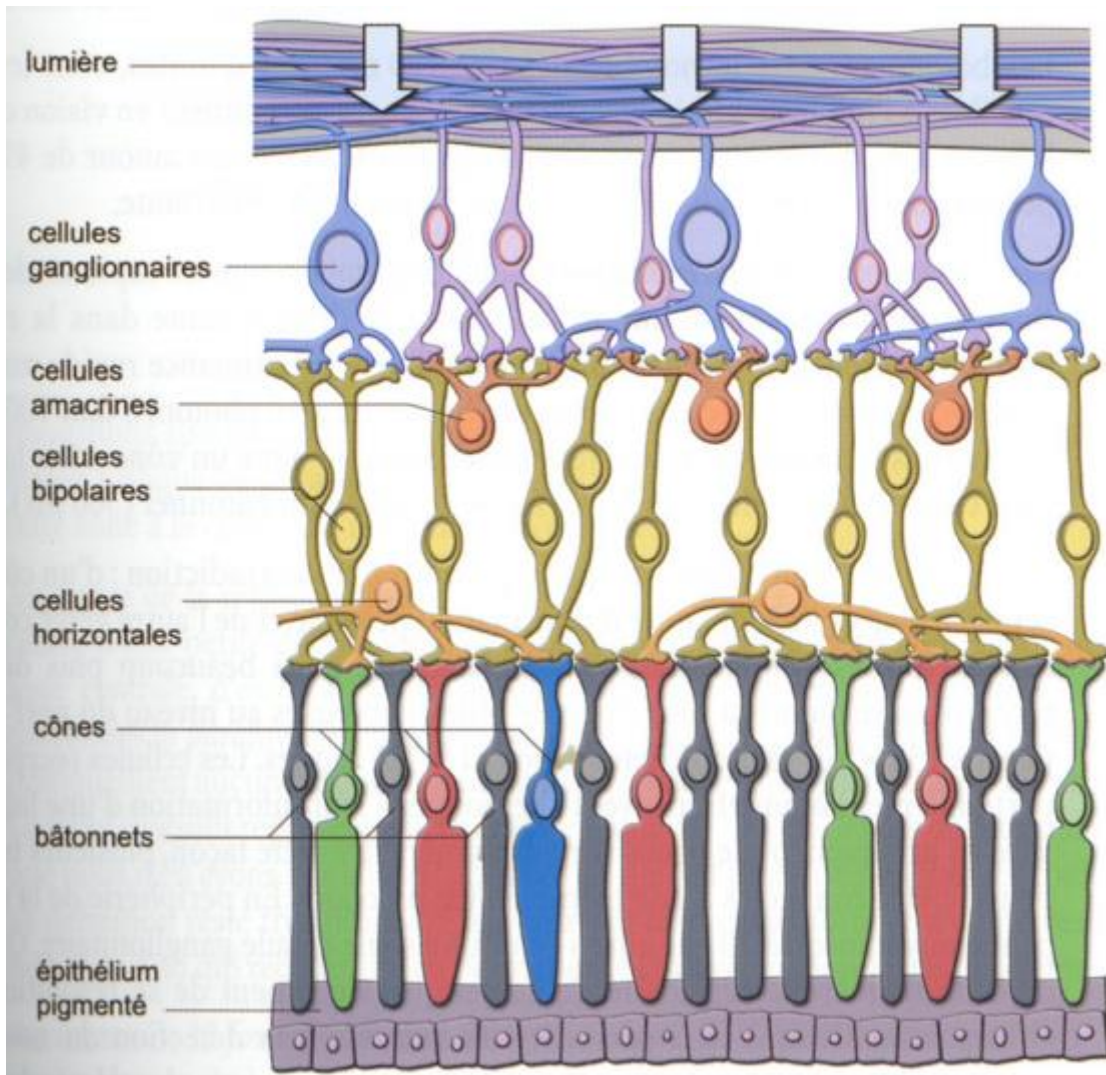
La plupart des êtres humains ne voient "que" un à deux millions de couleurs ! Et c'est déjà beaucoup.

La colorimétrie et les systèmes de représentation des couleurs ont pour objectif de représenter la couleur perçue à l'aide de valeurs.

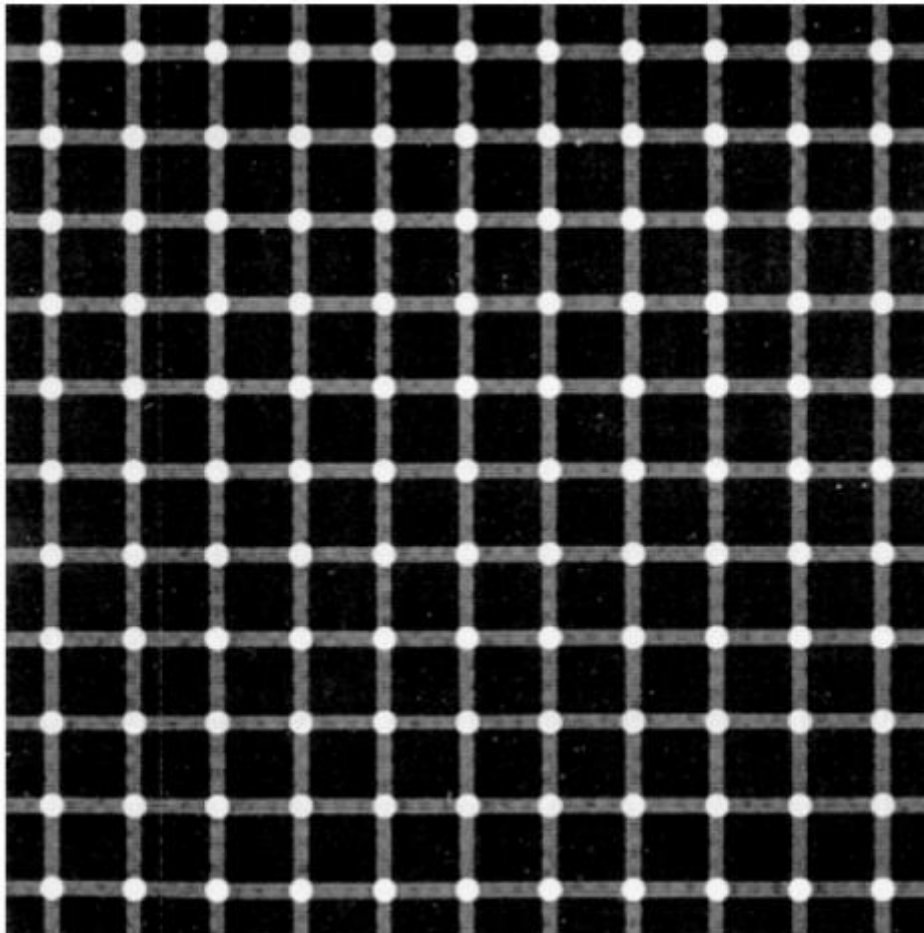
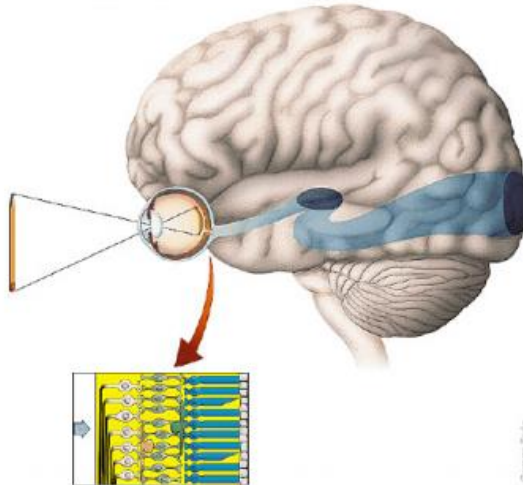
la perception humaine



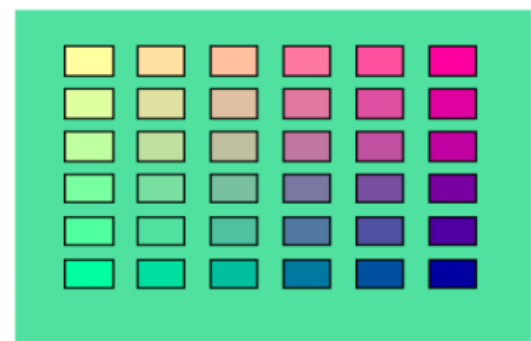
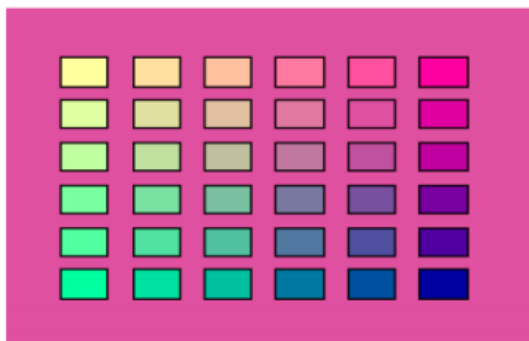
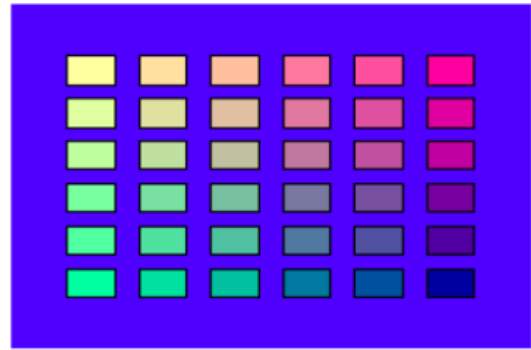
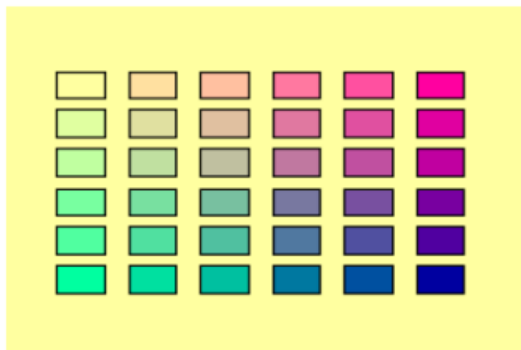


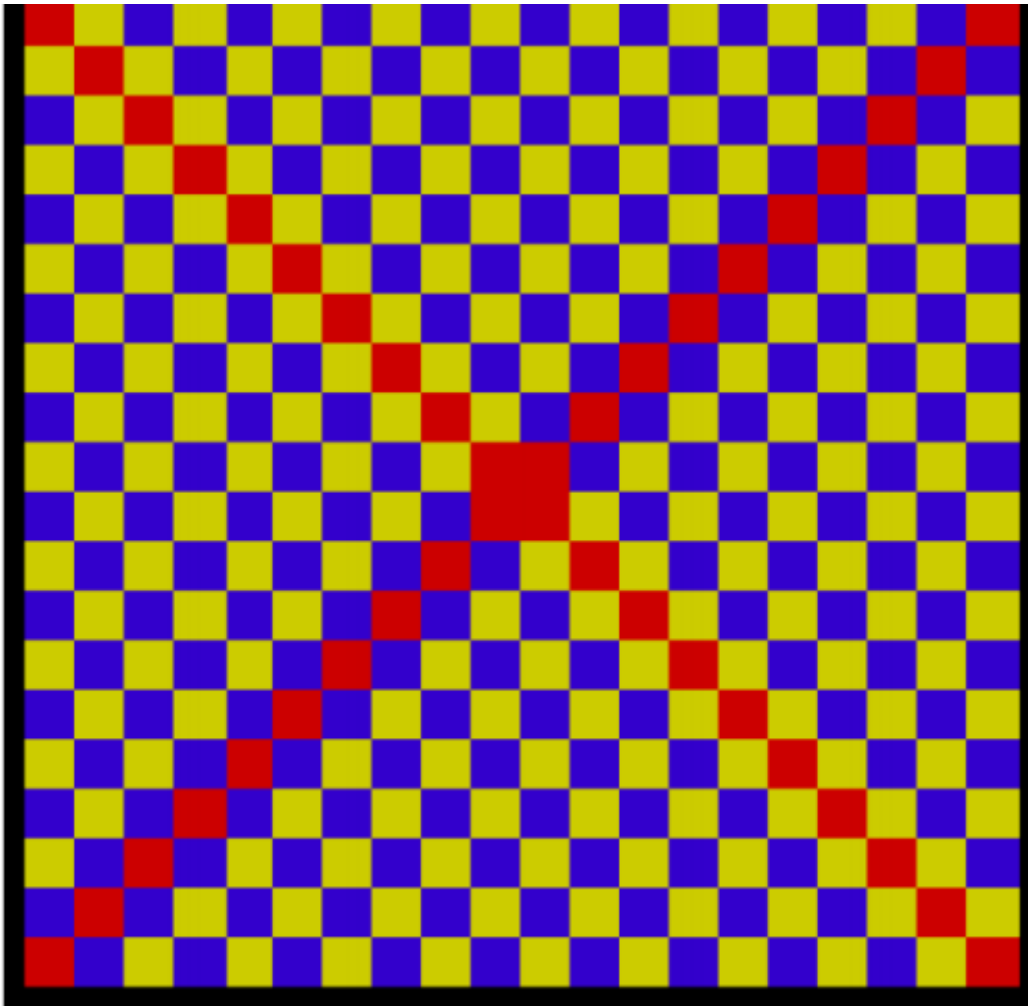


- Les cellules rétiniennes effectuent un considérable travail de codage et pré-traitement de l'information détectée par les photorécepteurs.
- Il y a 125 millions de photo-détecteurs (5 millions de cônes et 120 millions de bâtonnets) alors qu'il n'y a que 1,2 million de fibres par nerf optique.



- Modification des couleurs perçues selon l'environnement.





Tous les carrés rouges sont du même rouge

1.2 Systèmes de représentation de la couleur : RGB, XYZ, YUV, HSV, YIQ

Synthèse des couleurs

La synthèse des couleurs consiste à reproduire l'ensemble des couleurs visibles à partir d'un petit nombre de couleurs, appelées couleurs primaires.

Le but est de créer un rayonnement lumineux produisant la même couleur perçue que la couleur d'origine, sans reconstruire son spectre complet.

On utilise soit des sources lumineuses, soit des pigments colorés.

Synthèse additive

La synthèse additive est la construction des couleurs par addition de sources lumineuses.

exemples : écrans, projecteurs cinéma et vidéo, éclairages colorés.

Plus on ajoute des composantes lumineuses, plus la couleur obtenue est claire.

Les 3 couleurs primaires* de la synthèse additive sont le rouge (R), le vert (V) et le bleu (B).

L'absence de lumière ($R=V=B=0$) donne le noir.

La somme des 3 couleurs primaires $R+V+B$ donne le blanc.

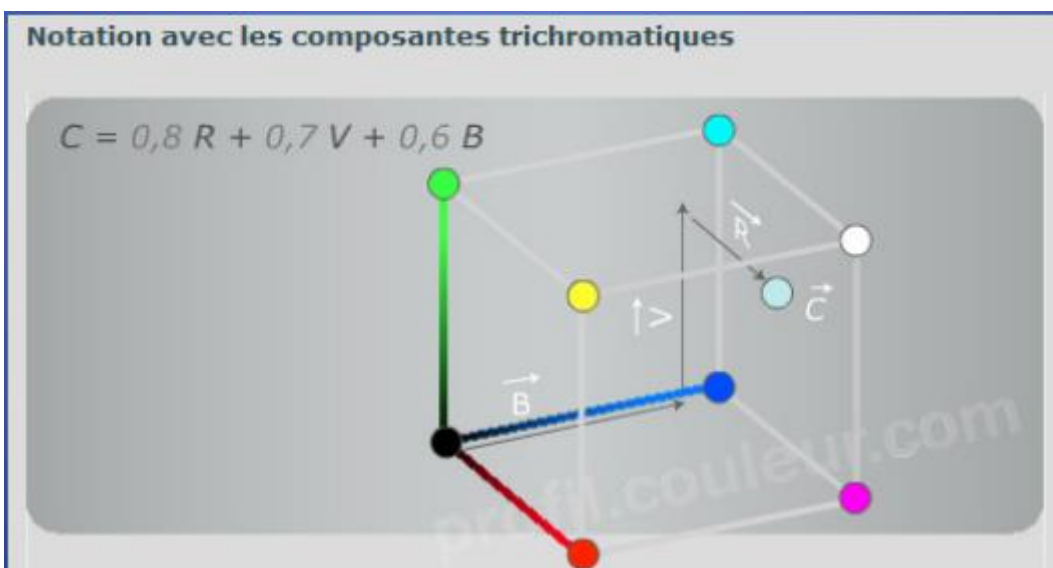
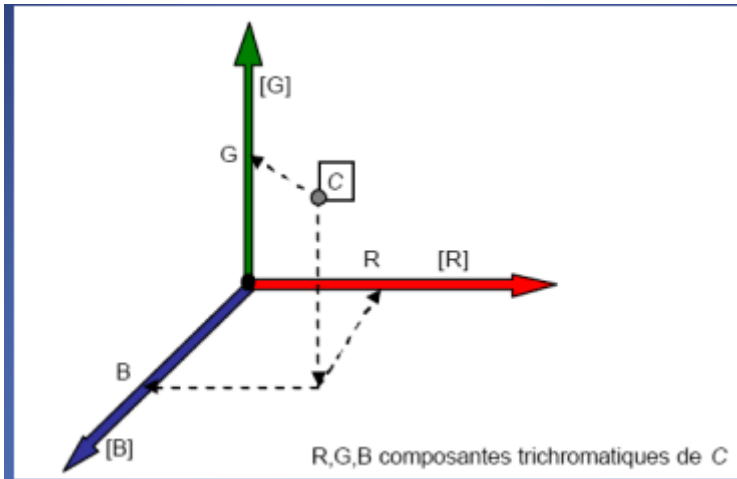
Les couleurs secondaires* sont définies par addition de 2 couleurs primaires:

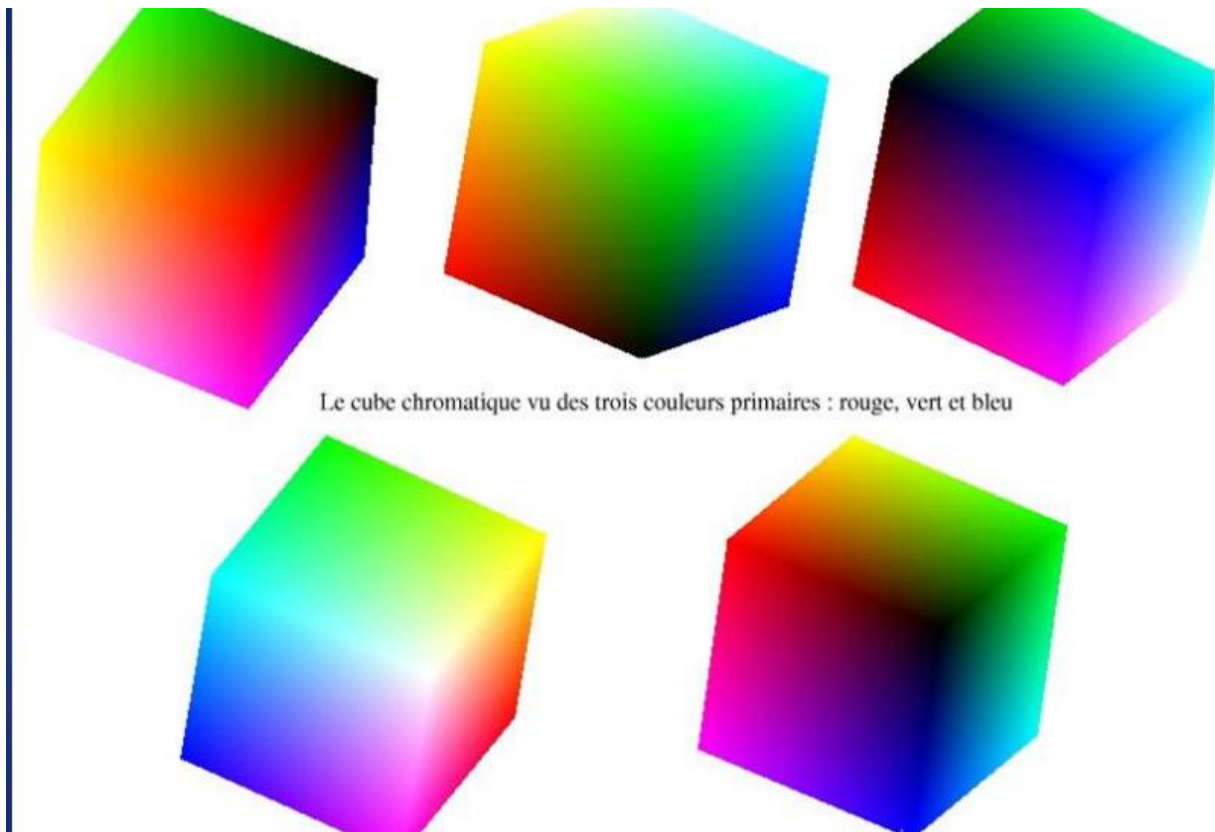
$$\text{Rouge} + \text{Vert} = \text{Jaune}$$

$$\text{Vert} + \text{Bleu} = \text{Cyan}$$

$$\text{Bleu} + \text{Rouge} = \text{Magenta}$$

Les autres couleurs sont obtenues en faisant varier les intensités respectives des 3 primaires.





Couleurs primaires et secondaires du système additif

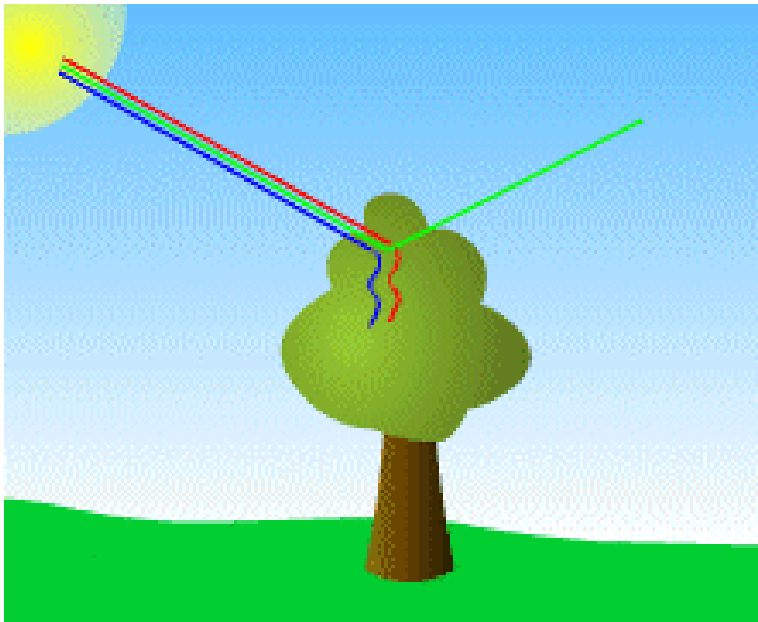
Un mélange égal des primaires prises deux à deux définit une *couleur secondaire*.

$[B]+[R]=[M]=$ magenta
 $[B]+[G]=[C]=$ cyan
 $[G]+[R]=[J]=$ jaune

Synthèse soustractive

La synthèse soustractive est la construction des couleurs à partir de pigments colorés.

Exemples : peinture, imprimantes, reprographie



Un objet vert absorbe le Rouge et le Bleu et renvoie le Vert : il apparaît vert

Les 3 couleurs primaires de la synthèse soustractive sont le Cyan (C), le Magenta (M) et le Jaune (J).

Chacune absorbe une des couleurs primaires de la lumière :

Le Cyan absorbe le Rouge

Le Magenta absorbe le Vert

Le Jaune absorbe le Bleu

L'absence de pigment donne le blanc.

Le gamut

est l'ensemble des couleurs qui sont réalisables à partir de 3 primaires, ou synthétisables par un matériel ou représentables dans un espace de couleur.

Les couleurs hors-gamme sont celles qui ne sont pas dans le gamut.

La somme des 3 primaires C+M+J donne le noir.

Systèmes de Représentation des Couleurs ou Espaces de Couleur

- **Espace RVB / RGB**

Espace le plus couramment utilisé, notamment lors de l'acquisition par scanner/APN et de l'affichage sur moniteur d'ordinateur.

- **Espace HLS / HSV**

Espace qui permet de décomposer une couleur en trois composantes plus intuitives qui sont la teinte, la saturation et la luminance.

- **Espace XYZ**

Espace normalisé qui permet de représenter toutes les couleurs et qui distingue la luminance de la chrominance.

- **Espace Lab**

Espace normalisé qui permet de représenter toutes les couleurs, qui distingue la luminance de la chrominance et qui conserve les différences perceptuelles. Il est utilisé pour la gestion des couleurs.

- **Espace YUV / YIQ**

Espace qui distingue la luminance de la chrominance. Ce système est principalement utilisé pour la transmission des signaux vidéos.

- **Espace CMJN / CMYN**

Espace de couleur utilisé pour l'imprimerie, c'est le seul espace dont la synthèse des couleurs est soustractive.

RVB/RGB

L'espace RVB (Rouge Vert Bleu) ou RGB (Red Green Blue) est basé sur la synthèse additive. C'est l'espace le plus couramment utilisé pour représenter les couleurs. La télévision, les caméras et les moniteurs des ordinateurs utilisent ce système lors de l'affichage et de l'acquisition des images. Chaque couleur est représentée par 3 valeurs qui sont les quantités de rouge, de vert et de bleu qu'elle contient. Les valeurs sont comprises entre 0 et 1 (valeurs normalisées), ou 0 et 255 lors du codage des couleurs sur 8 bits.

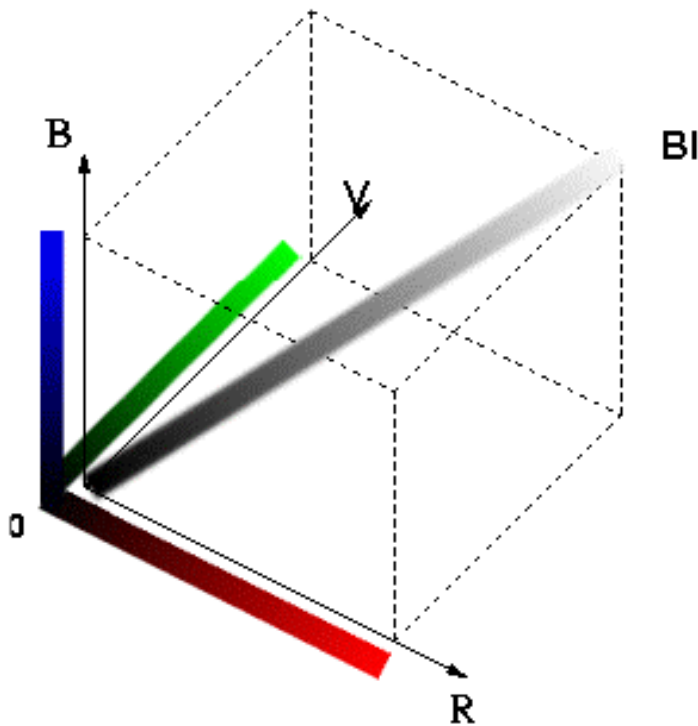
Par exemple :

$(0,0,0)$ = noir
 $(1,1,1)$ = blanc
 $(1,0,0)$ = rouge
 $(0,1,0)$ = vert
 $(0,0,1)$ = bleu
 $(0,1,1)$ = cyan
 $(1,0,1)$ = magenta
 $(1,1,0)$ = jaune

On représente souvent l'espace RVB comme un cube de dimensions $1 \times 1 \times 1$, placé à l'origine d'un repère à trois dimensions dont les axes indiquent la quantité de Rouge, de Vert et de Bleu.

Chaque couleur correspond à un point C de coordonnée (R_c, V_c, B_c) situé dans le cube.

- Les couleurs Rouge, Vert, Bleu, Cyan, Magenta, Jaune, Noir et Blanc sont situées aux sommets du cube.
- Le Noir $(0,0,0)$ est situé à l'origine du repère.
- Les couleurs primaires sont situées sur les 3 axes à la distance 1.
- La diagonale principale du cube est une droite tracée entre l'origine $(0,0,0)$ et le point $(1,1,1)$.
- Les couleurs situées sur cette ligne ont des quantités égales de Rouge, de Vert, et de Bleu.
- Ce sont donc les différents niveaux de gris, variant du Noir en $(0,0,0)$ au Blanc en $(1,1,1)$.
- Le choix des 3 couleurs primaires R,V,B détermine les couleurs présentes dans le cube.

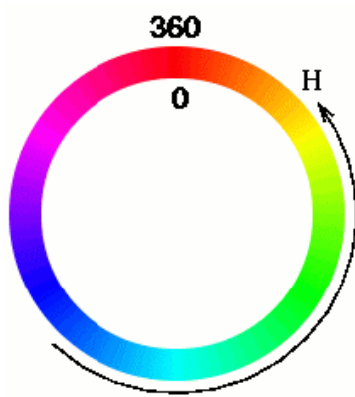


TLS/HSV-HLS

TLS (Teinte, Luminance, Saturation) ou HSV (Hue, Saturation, Value) ou HLS (Hue, Luminance, Saturation) Cet espace décompose la couleur selon des caractéristiques plus intuitives, proches du vocabulaire courant pour décrire une couleur. Il se base sur la décomposition de la couleur en une couleur pure du spectre de l'arc en ciel à laquelle est ajoutée un gris (addition de R,V,B à parts égales).

o Teinte :

Les termes couramment utilisés pour désigner la couleur d'un objet (Rouge, Violet, Rose ...) expriment la notion de teinte. La teinte indique la couleur pure qui est prépondérante dans la couleur. Les teintes peuvent-être représentées par un angle sur un cercle.

**Saturation :**

Plus la saturation est faible plus la couleur est pastel ou délavée.

Plus la saturation est élevée, plus la couleur est pure (ie vive).

La saturation correspond à la proportion de couleur pure. Elle varie entre 0 et 1.

S=0 : gris

S=1 : couleur pure

Saturation

**Luminance :**

La luminance caractérise l'intensité totale du point lumineux coloré.

Luminance



les formules de passage entre l'espace HLS et l'espace RVB :

$$L = \frac{1}{3}(R + G + B)$$

$$S = 1 - \frac{3}{R + G + B} \min(R, G, B)$$

$$H = \arccos\left(\frac{\frac{1}{2}(R - G) + \frac{1}{2}(R - B)}{\sqrt{(\frac{1}{2}(R - G))^2 + (\frac{1}{2}(R - B))(G - B)}}\right) \quad H = 360^\circ - H \text{ si } B > G$$

XYZ**CIE-XYZ**

L'espace CIE-XYZ a été créé et en 1931 par la CIE, à partir de mesures sur de nombreuses personnes ("l'oeil moyen").

Les 3 primaires X,Y,Z sont définies comme une combinaison linéaire des 3 primaires monochromatiques R,V,B normalisées par la CIE.

Elles ont été choisies pour avoir les propriétés suivantes:

Toutes les couleurs visibles peuvent s'exprimer comme l'addition de 3 composantes positives X,Y,Z.

Ainsi toutes les couleurs visibles sont à l'intérieur du cube unité. Par contre tous les points du cube ne sont pas des couleurs visibles.

Y ne contient que l'information de luminance perçue : on additionne R,V,B avec des proportions de 30%, 59%, 11% qui tiennent compte

de la sensibilité de l'œil, bien plus importante pour le vert que pour le rouge et le bleu.

Les gris correspondent aux points tels que $X=Y=Z$.

Diagramme de Chromaticité

Pour caractériser la chrominance, c'est-à-dire la couleur indépendamment de sa luminance, on utilise les coordonnées x,y,z telles que

$$x + y + z = 1$$

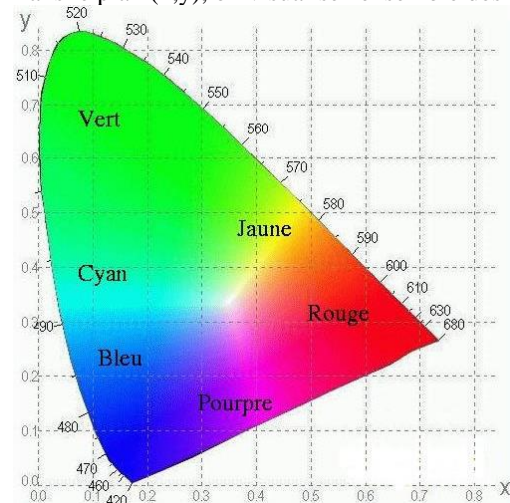
et définies par

$$x = X / (X + Y + Z)$$

$$y = Y / (X + Y + Z)$$

$$z = 1 - x - y$$

Dans le plan (x,y) , on visualise l'ensemble des couleurs visibles indépendamment de la luminance.



Lab

L : luminance varie entre 0 et 100

a : variations sur un axe rouge – vert : varie entre – 60 et + 60

b : variations sur un axe bleu – jaune : varie entre – 60 et + 60

L'espace CIE-Lab a été créé en 1976 par la CIE. Il a les mêmes propriétés que l'espace X,Y,Z :

- espace normalisé indépendant du matériel,
- séparation de la luminance (L) et de la chrominance (a,b),
- possibilité de représenter toutes les couleurs visibles par addition de 3 composantes L, a, b

Il a été conçu pour ajouter la propriété de conservation de la différence perceptuelle : la distance entre 2 points dans l'espace Lab est proportionnelle à la différence perçue entre les 2 couleurs correspondantes. Cette propriété est particulièrement intéressante lorsqu'on souhaite remplacer une couleur par une couleur proche.

Détail des 3 composantes:

L : luminance varie entre 0 et 100

a : variations sur un axe rouge-vert : varie entre -60 et +60

b : variations sur un axe bleu -jaune : varie entre -60 et +60

Cet espace est le plus utile lorsqu'on veut assurer la fidélité des couleurs, restreindre le gamut au minimum et rester indépendant des matériels et logiciels de la chaîne de traitement.

YUV-YCbCr/YIQ

Dans l'espace YUV, les informations de luminance et de chrominance sont séparées.

- Y porte l'information de luminance. Y est issue du système XYZ.
- U et V (ou Cb, Cr) portent les informations de chrominance.

$$U = Cr = R - Y$$

$$V = Cb = B - Y$$

L'espace YUV est destiné à la vidéo européenne (PAL*/SECAM *) alors que YIQ est son équivalent pour le format américain (NTSC*).

YUV est aussi utilisé dans les formats de compression d'image fixe JPEG et de vidéo MPEG.

Cette représentation a plusieurs objectifs:

- éviter les limites de représentation des couleurs et de l'intensité lumineuse dans l'espace RVB.
- permettre l'envoi d'un même signal pour les télévisions N&B et couleur. Y peut être directement affichée sur un poste noir et blanc.
- diminuer la quantité d'information à transmettre : l'œil n'étant pas sensible à toutes les nuances de couleur, et surtout les nuances de bleu, les composantes U et V peuvent être codées sur moins de bits.

Formats, profils couleur, profondeur et résolution d'une image numérique

Les 4 principaux éléments qui permettent de définir un fichier photographique sont:

- son format d'enregistrement, reconnaissable à l'extension du fichier (.jpg, .tiff, .nef etc.);
- sa profondeur (8 ou 16 bits);
- son profil couleur;
- sa définition.

La profondeur d'une image:

La profondeur définit la quantité d'informations chromatiques disponibles pour chaque pixel dans une image. Le nombre de couleurs disponibles et la précision de la représentation des couleurs dans une image sont proportionnels au nombre de bits d'informations par pixel.

dans une image d'une profondeur de 1 bit par pixel, les pixels peuvent prendre deux valeurs possibles : noir et blanc.

$$\begin{aligned} \text{profondeur} &= 1 \text{ bit/pixel} \text{ ---} \rightarrow \text{noir et blanc} \\ \text{profondeur} &= 8 \text{ bit/pixel} \text{ ---} \rightarrow 256 \text{ valeurs possibles} \end{aligned}$$

une image en mode Niveaux de gris avec une profondeur de 8 bits par pixel compte 256 valeurs possibles de gris.

Les images RVB sont constituées de 3 couches de couleur. Une image RVB de 8 bits par pixel a 256 valeurs possibles pour chaque couche, soit plus de 16 millions de valeurs chromatiques possibles. Les images RVB 8 bits par couche sont parfois appelées images 24 bits (8 bits x 3 couches = 24 bits de données pour chaque pixel).

$$\begin{aligned} \text{Les images RVB} &\rightarrow 3 \text{ couches} \rightarrow 8 \text{ bit/pixel pour chaque couche} \rightarrow \text{image de 24 bit} \\ &\rightarrow 16 \text{ million couleurs possibles} \end{aligned}$$