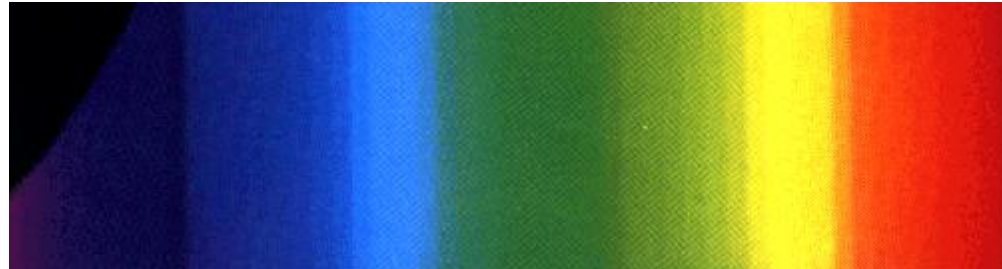


IFT 3355: INFOGRAPHIE

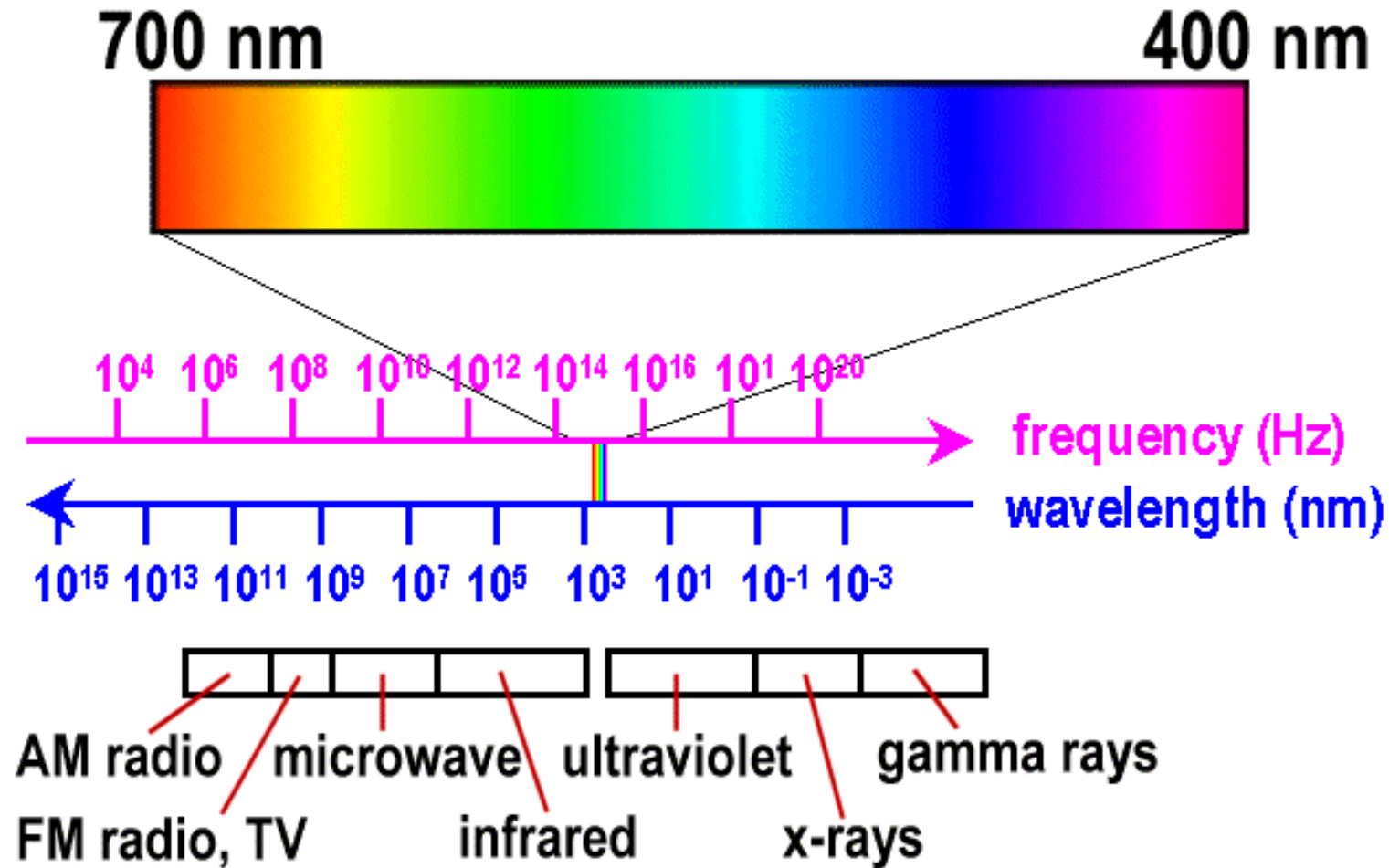
LA COULEUR

Livre de référence: G: 19, S: 21

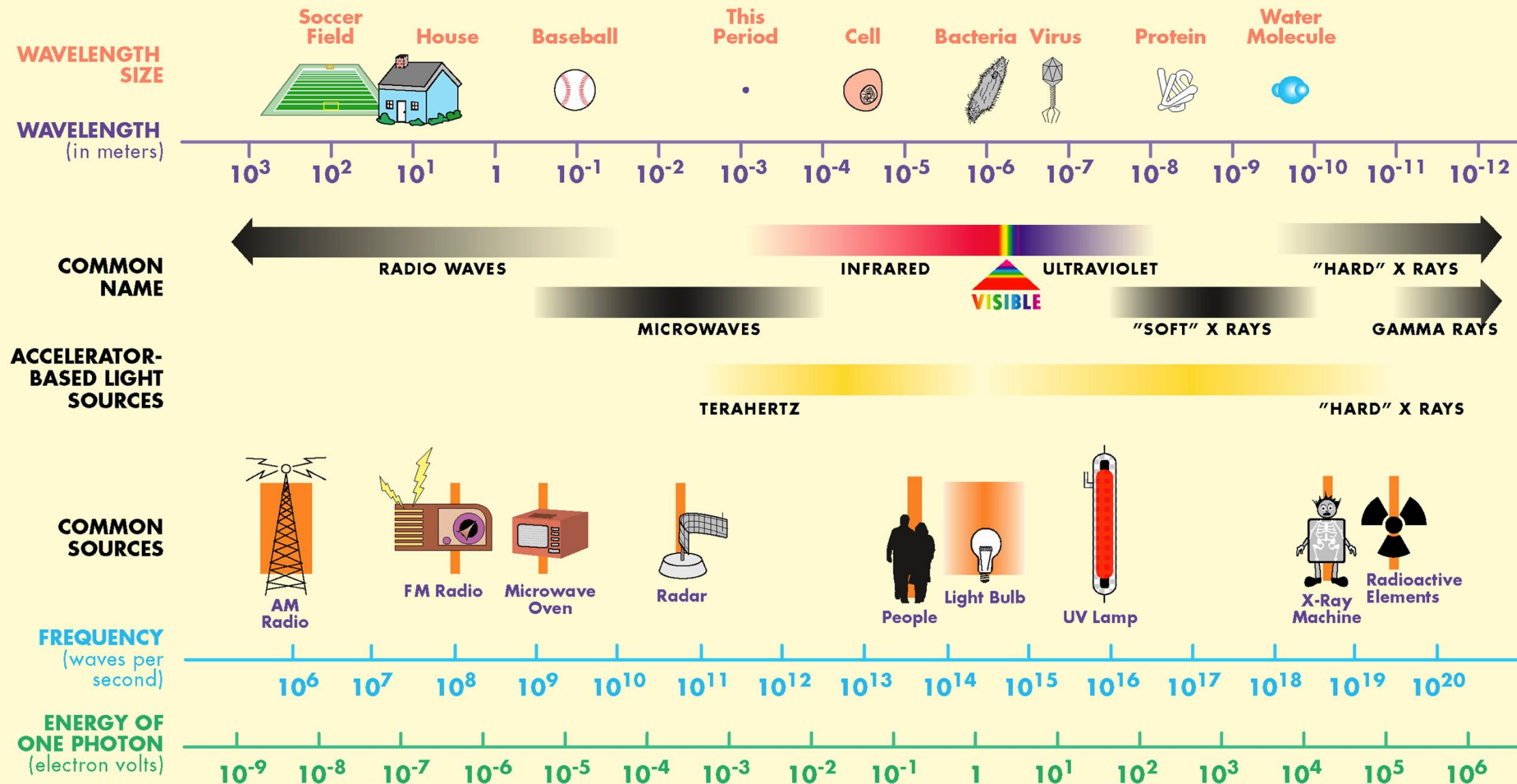


<http://tiny.cc/ift3355>
Mikhail Bessmeltsev

LE SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE

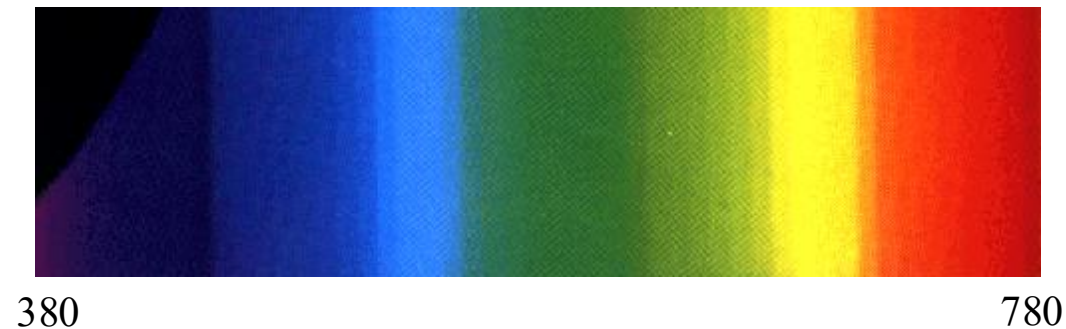


THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



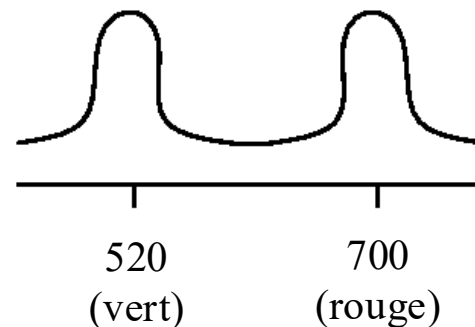
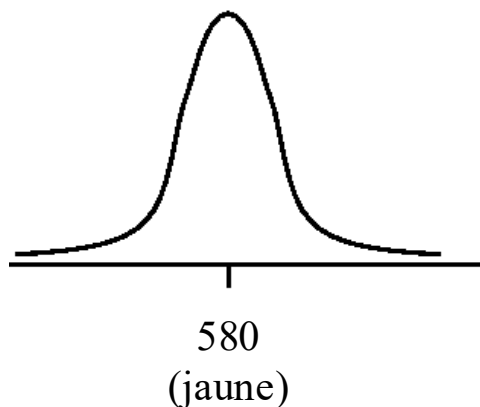
LA COULEUR PHYSIQUE

- L'énergie visible est une petite partie du spectre électromagnétique
- Les couleurs *monochromatiques* pures ont des longueurs d'onde entre 380nm (violet) et 780nm (rouge)



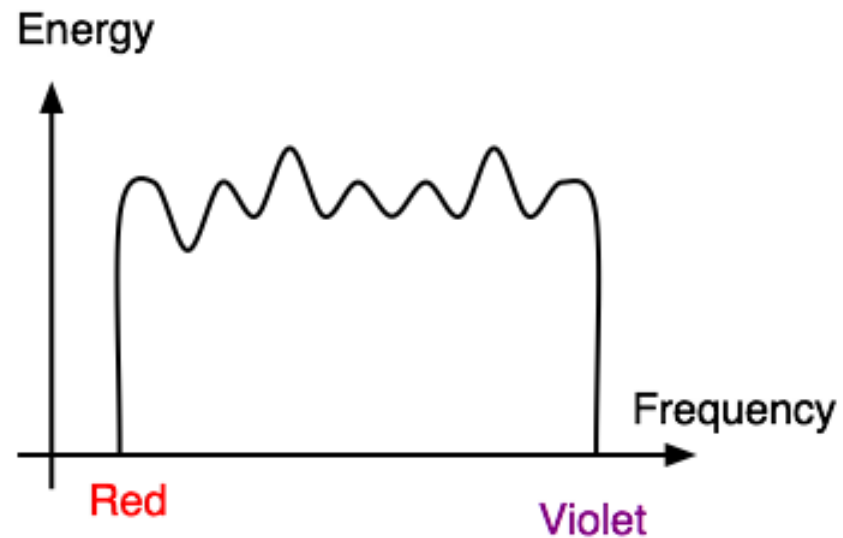
LA COULEUR VISIBLE

- L'œil peut percevoir les couleurs comme une combinaison de quelques couleurs pures
- La plupart des couleurs peuvent être obtenues via un mélange des couleurs *primaires*
- Les dispositifs de sortie utilisent ce fait



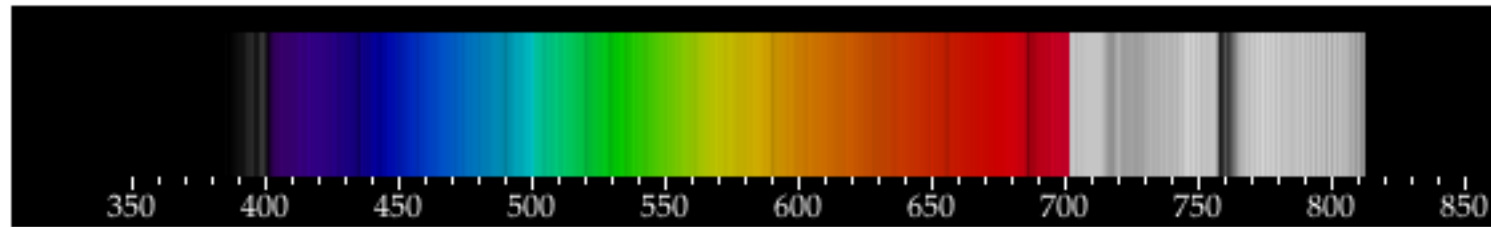
LA LUMIÈRE BLANCHE

- Le soleil émet toutes les fréquences dans la gamme visible afin de produire ce qu'on perçoit comme « la lumière blanche »

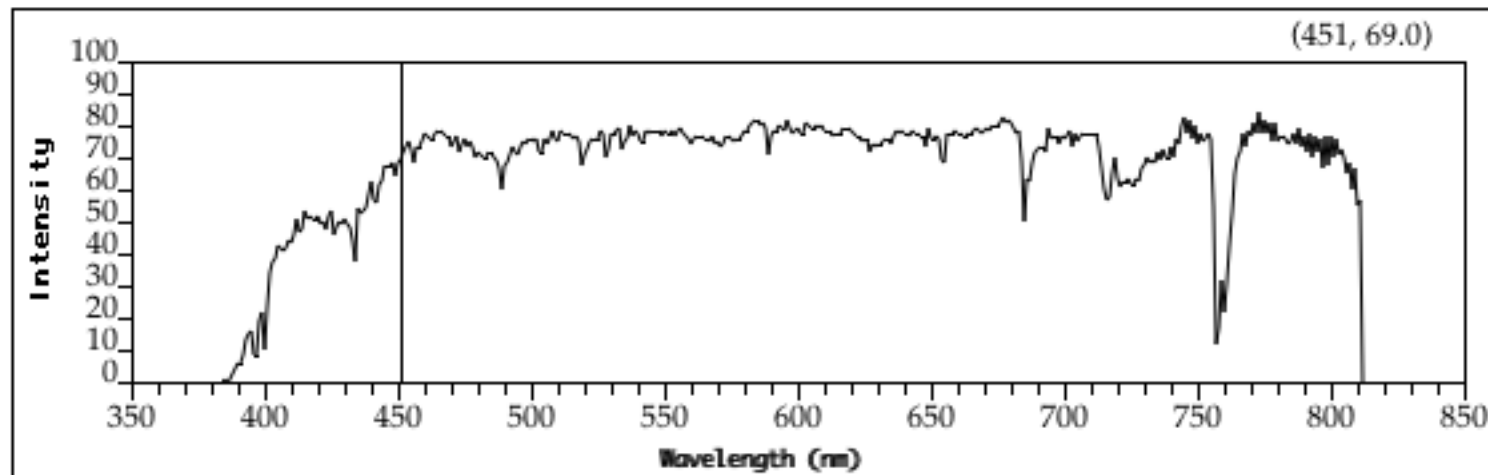


LE SPECTRE SOLAIRE

- Une distribution spectrale: la puissance vs. la longueur d'onde



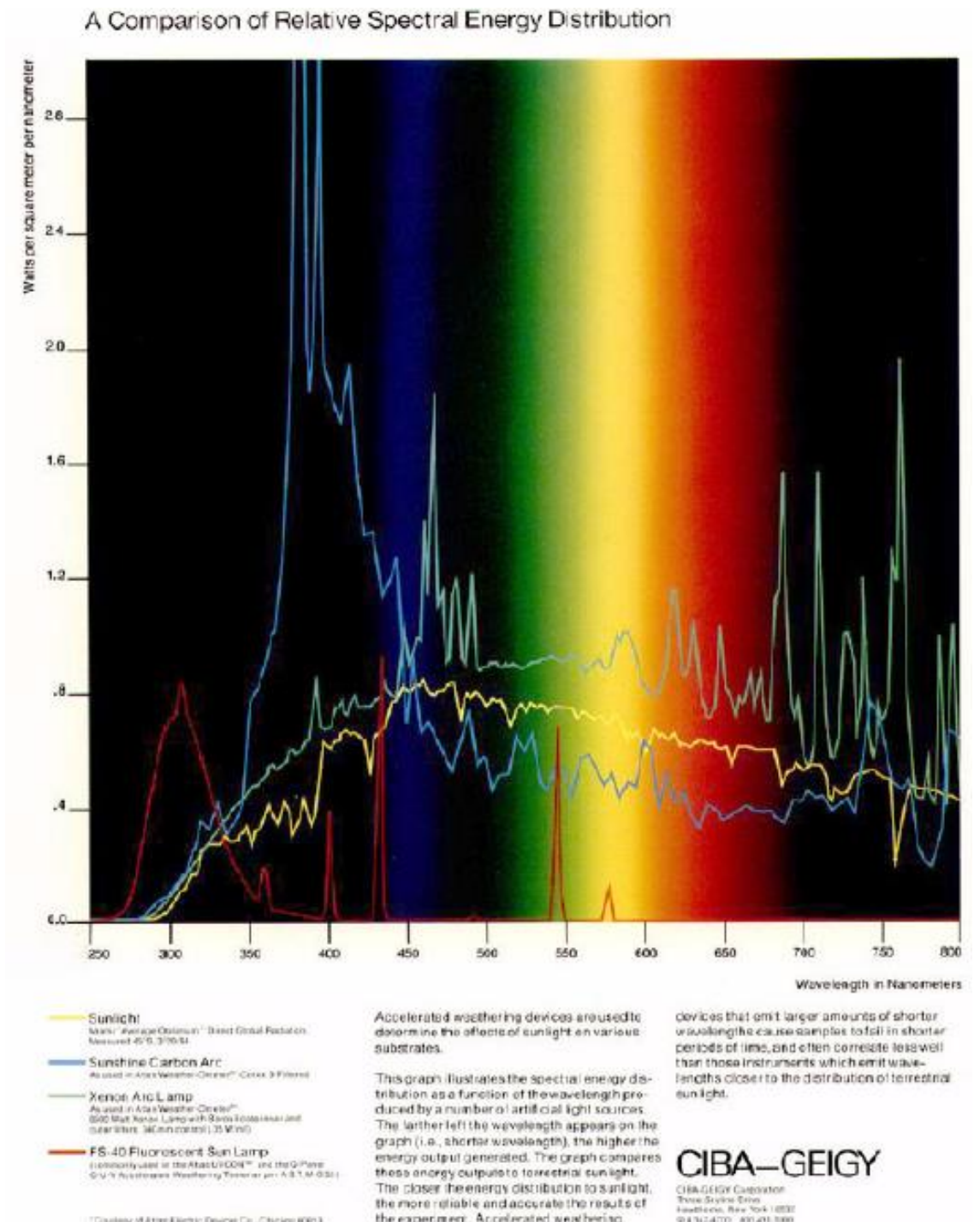
Emission Graph



Electromagnetic Spectrum

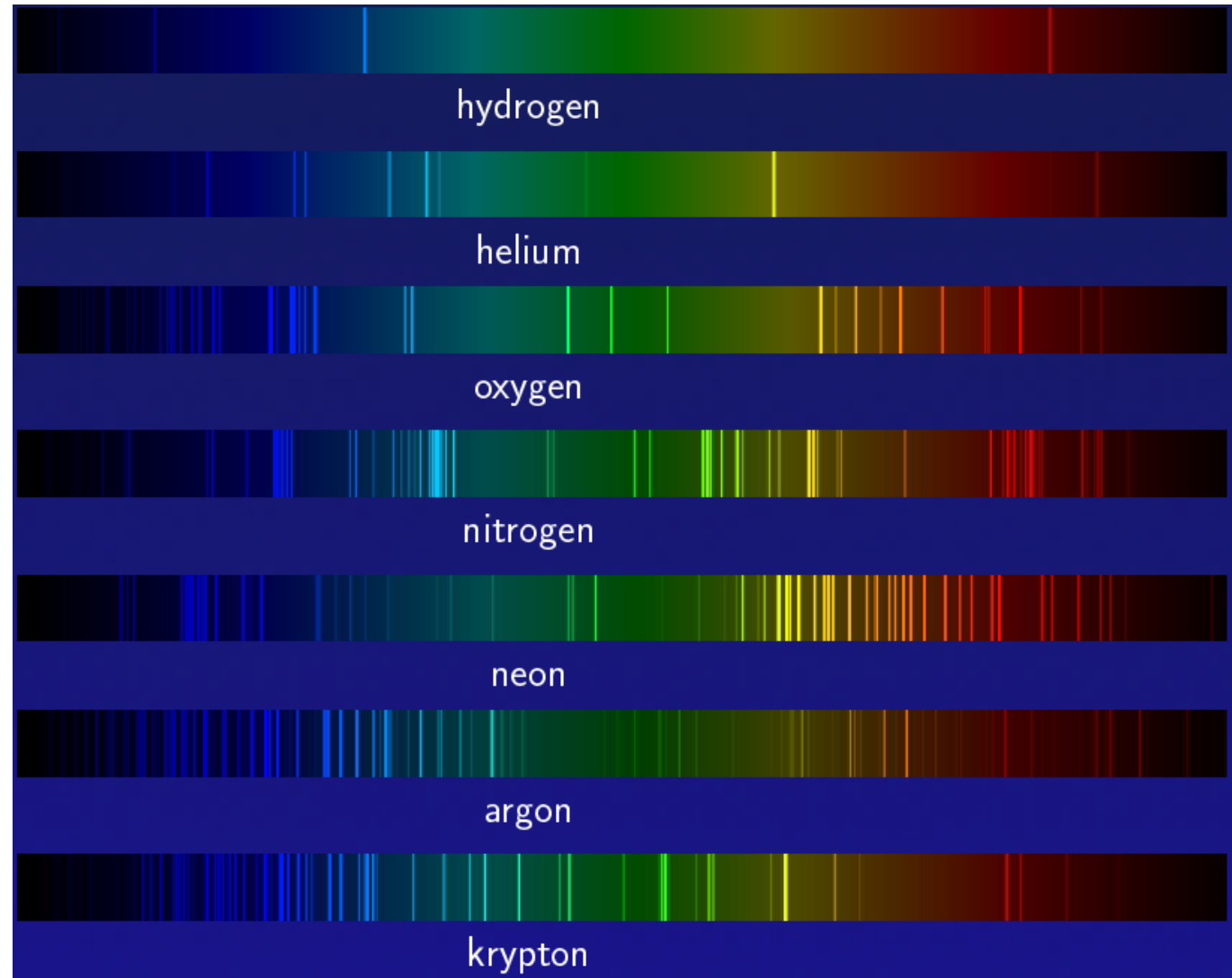
LE SPECTRE CONTINU

- Le soleil
- Les lumières « du jour »



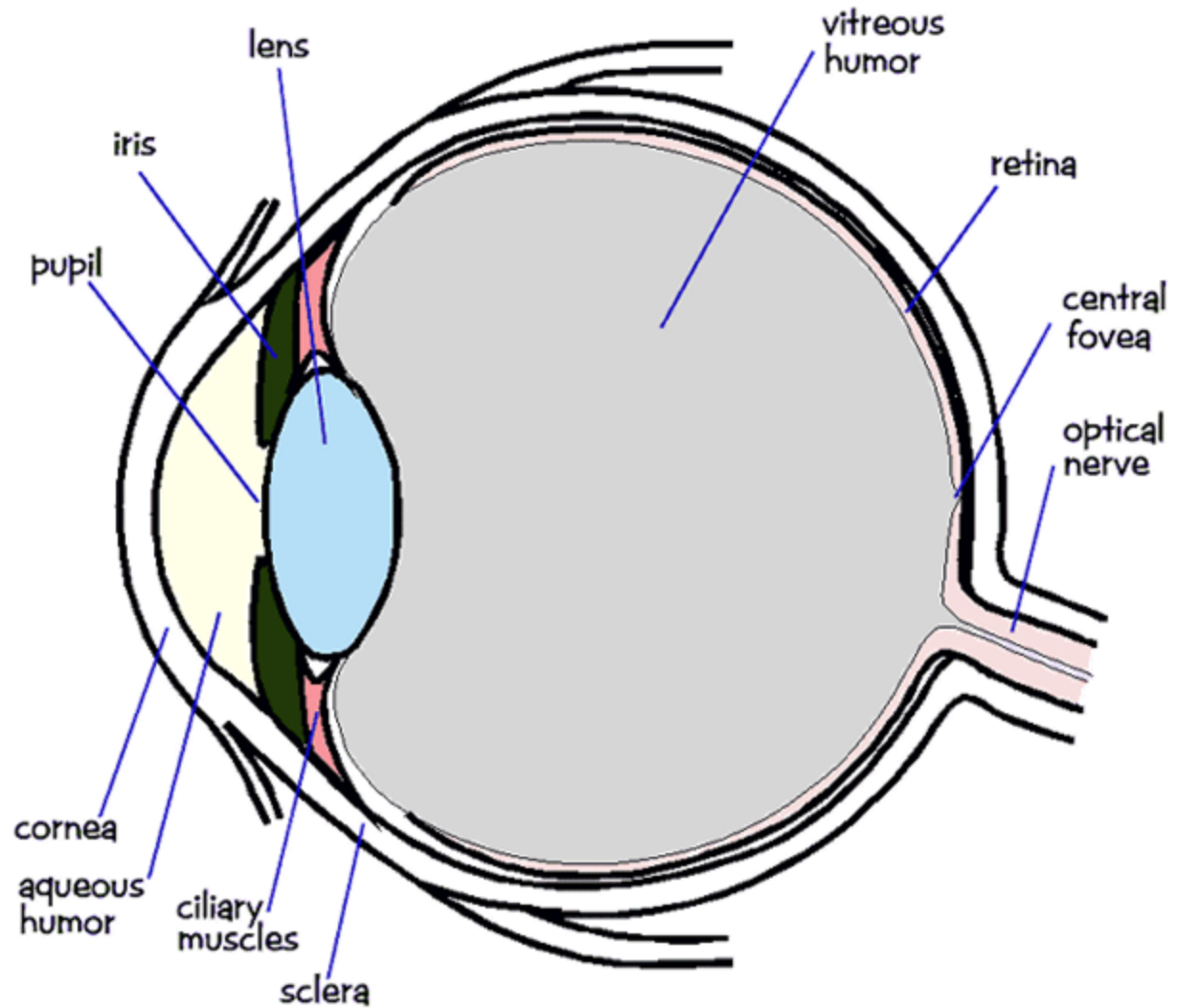
LE SPECTRE LINÉAIRE

- Les gaz ionisés
- Les lasers
- Quelques lampes fluorescentes

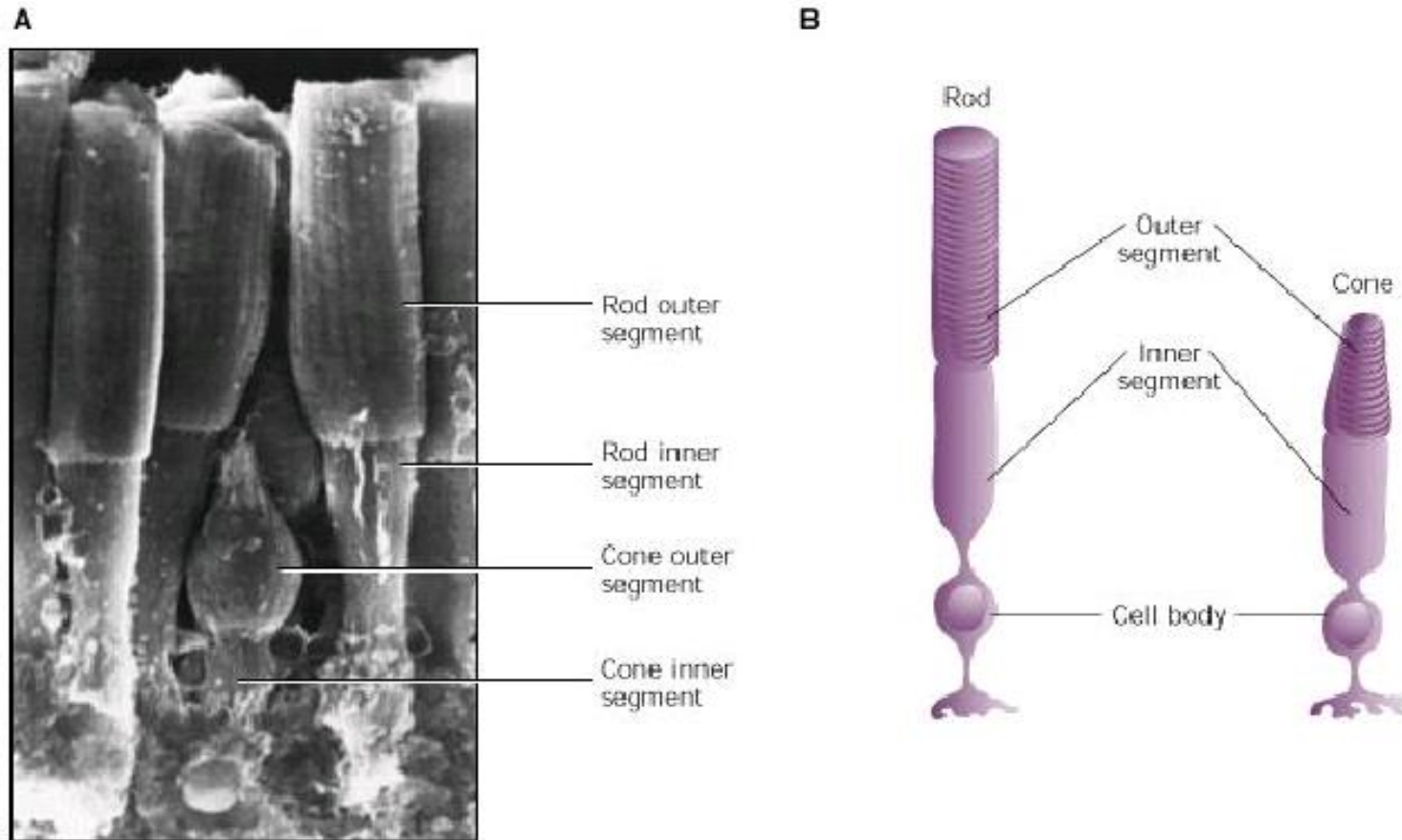


LA PHYSIOLOGIE DE LA VISION

- La rétine
 - Les bâtonnets
 - Nuances de gris, bords
 - Les cônes
 - 3 types
 - Les senseurs de couleurs
 - Une distribution inégale
 - La fovéa est dense

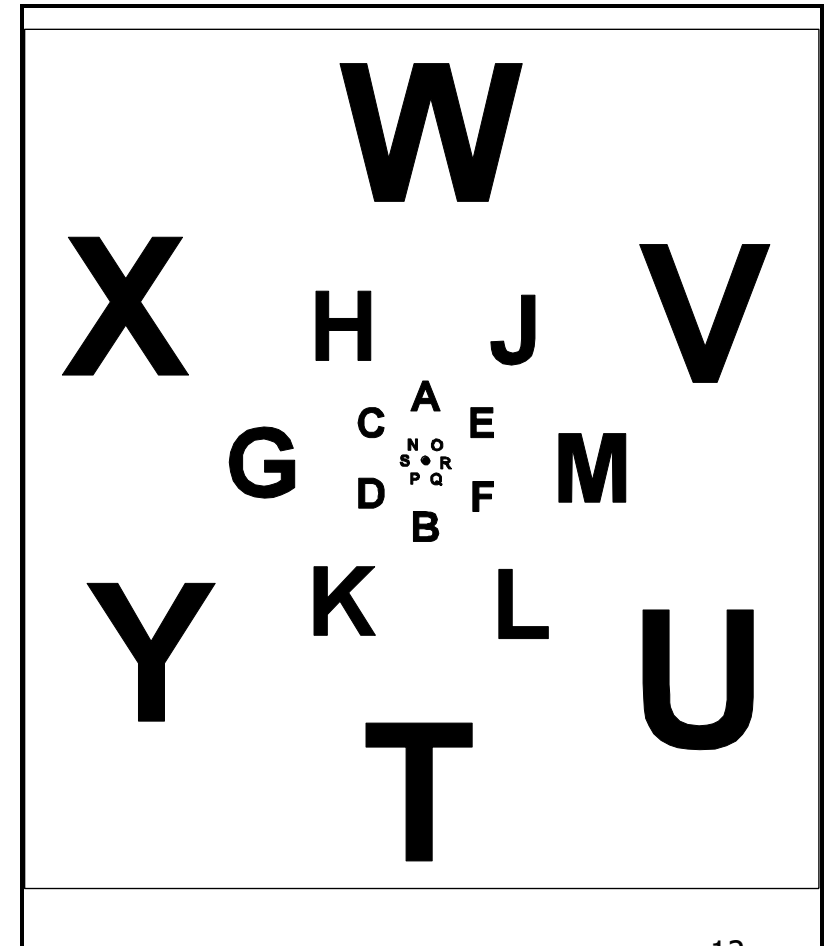


LES BÂTONNETS ET LES CÔNES



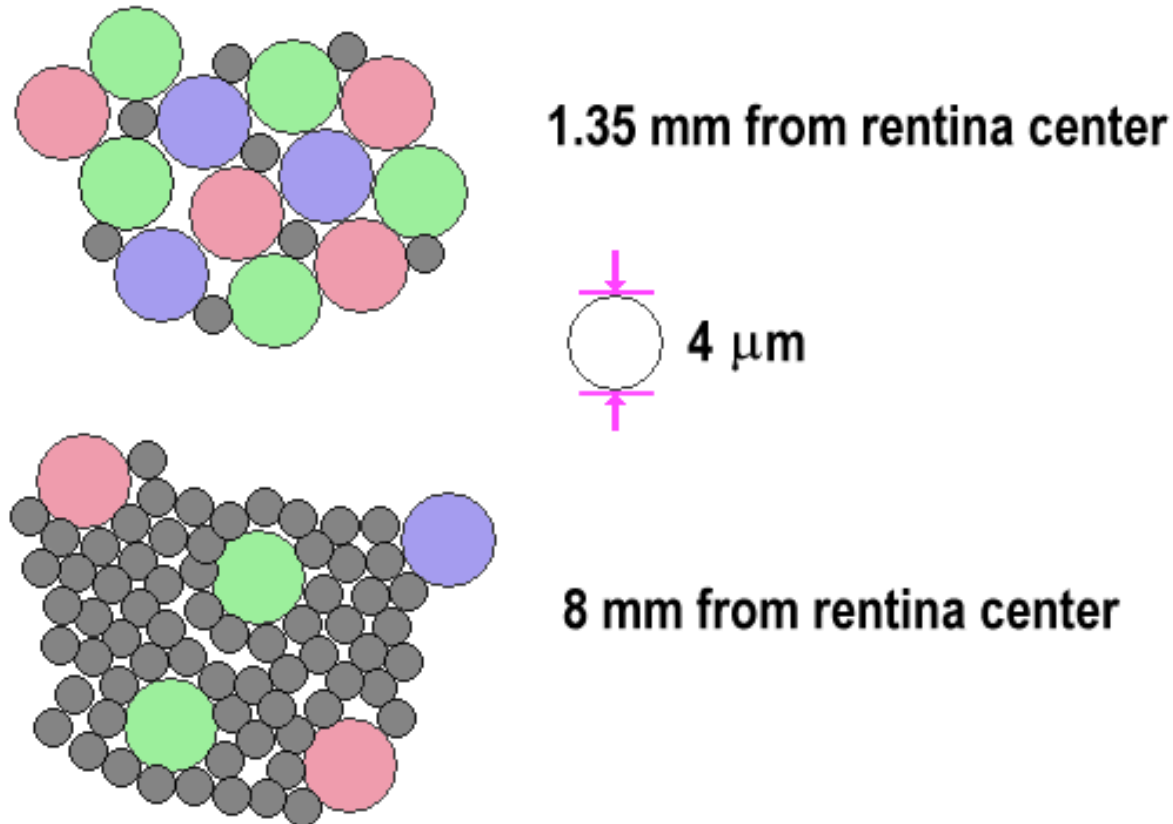
LA VISION FOVÉALE

- Tenez votre pouce à bout de bras



LA PHYSIOLOGIE DE LA VISION

- Le centre dense de la rétine s'appelle *la fovéa*
 - Les cônes y sont plus denses qu'à la *périphérie*

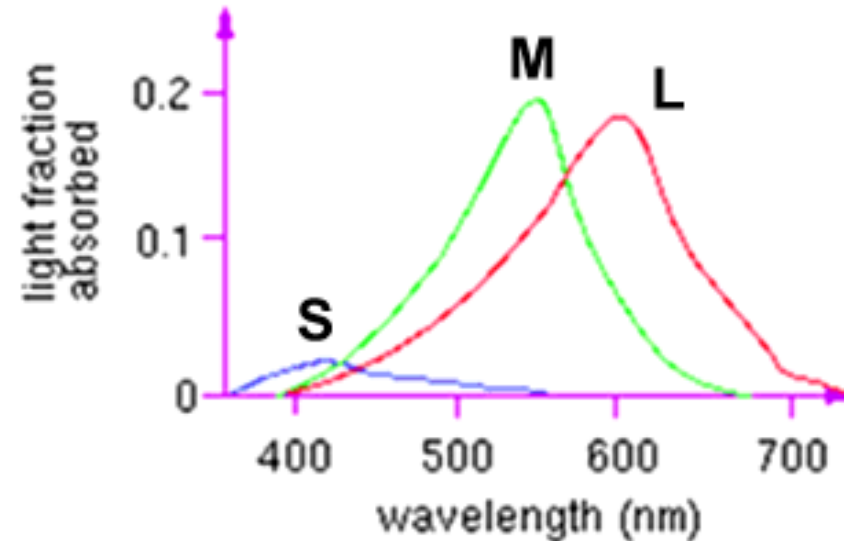


LA THÉORIE TRISTIMULUS DE LA VISION DES COULEURS

- Alors même que les lumières peuvent avoir un spectre très complexe, il a été déterminé empiriquement que les couleurs peuvent être décrits par 3 primaires seulement
- Les couleurs qui se rassemblent mais qui ont des spectres différents s'appellent les *metamers*

LA TRICHROMIE

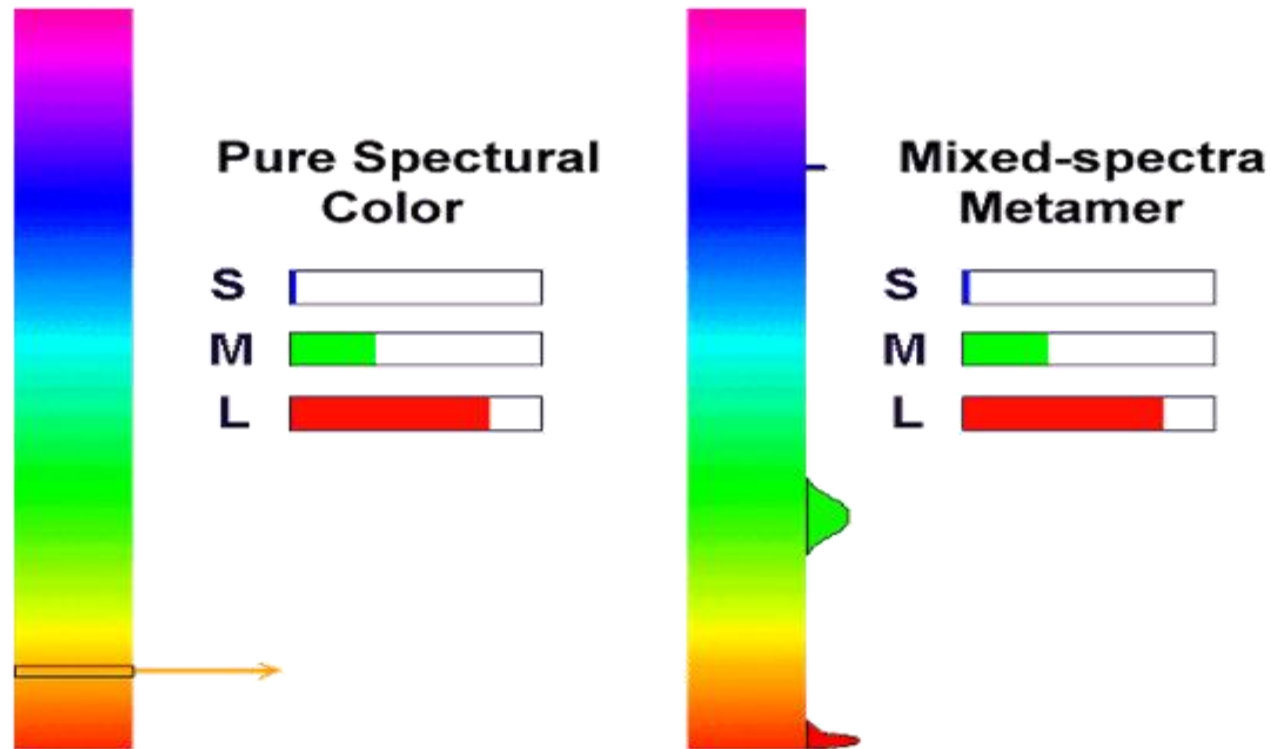
- Trois types de cônes
 - L ou R, plus sensible à la lumière rouge (610 nm)
 - M ou G, plus sensible à la lumière verte (560 nm)
 - S ou B, plus sensible à la lumière bleue (430 nm)



- Le daltonisme = type(s) de cônes manque(nt)

METAMERS

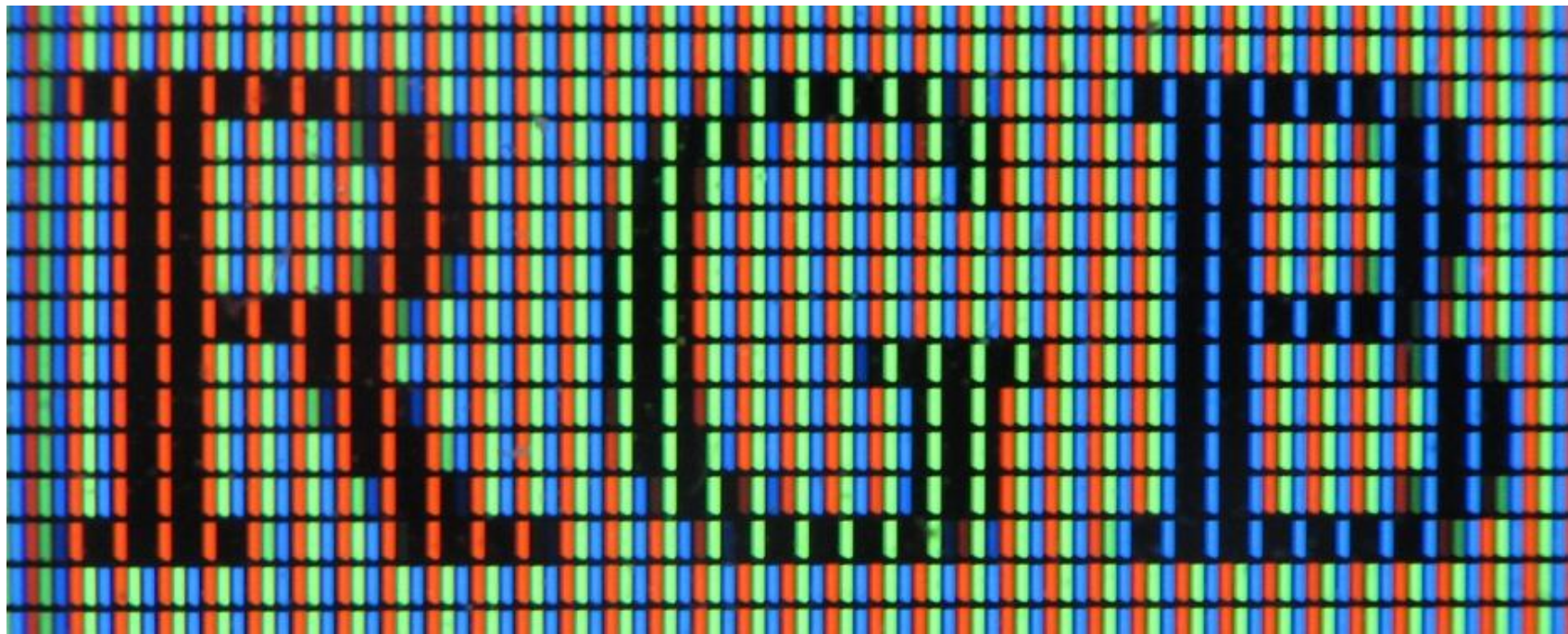
- La couleur qu'on voit dérive d'une combinaison de stimuli de chaque type de cônes



- La même couleur peut être causée par des spectres différents

FABRIQUER LES ÉCRANS

- Ça veut dire qu'on peut mélanger les pixels de trois couleurs pour afficher toutes les couleurs!
- Peut-on?
- Les humains ne remarqueront pas la différence

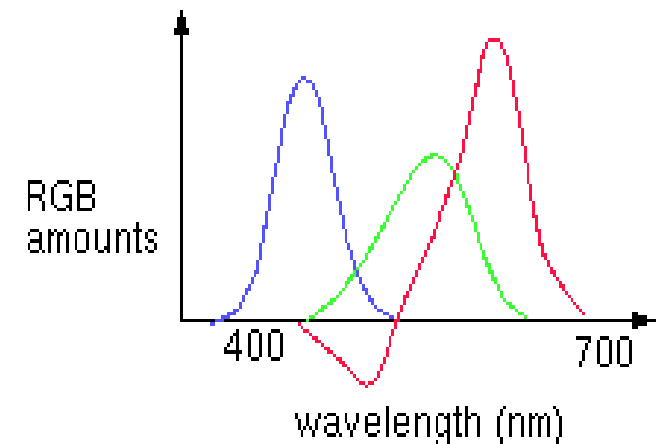


FABRIQUER LES ÉCRANS

- Ça veut dire qu'on peut mélanger les pixels de trois couleurs pour afficher toutes les couleurs!
 - Peut-on?
 - Les humains ne remarqueront pas la différence
-
- Une expérience: montrer la couleur pure et demander à un humain de mélanger trois composants (R,V,B) pour correspondre parfaitement à la couleur

LOBES NÉGATIFS

- Parfois les trois composants ne pouvaient pas correspondre parfaitement!
 - Souvent RVB a produit « trop de rouge »
 - Mais ce n'est pas possible de retirer le rouge d'un écran
- Donc, on ne peut pas générer toutes les couleurs avec n'importe quelles couleurs de base (primaires)
- La solution: choisir de nouvelles couleurs de base (synthétiques)



L'ESPACE DE COULEUR CIE

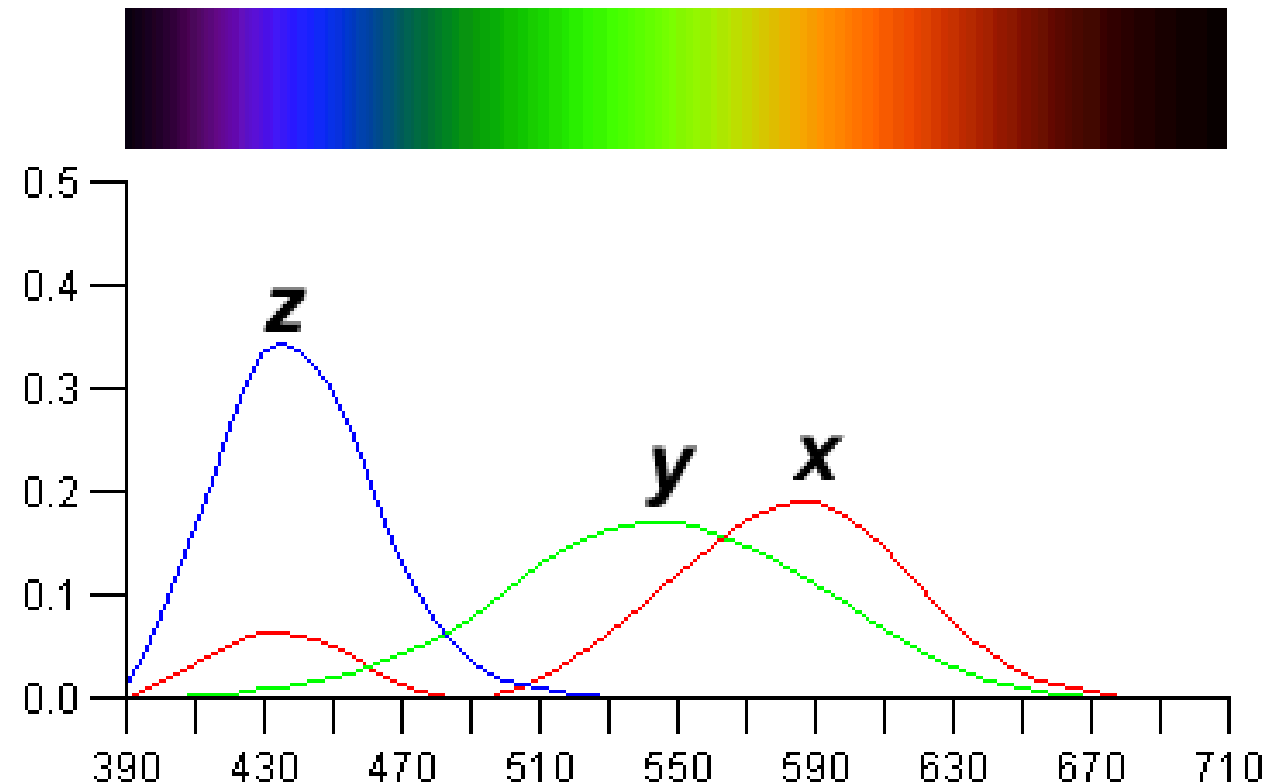
- CIE a défini 3 lumières X, Y, Z imaginaires
 - Toutes les longueurs d'onde λ peuvent être construites par une combinaison positive
 - Les fonctions de base!

NB:

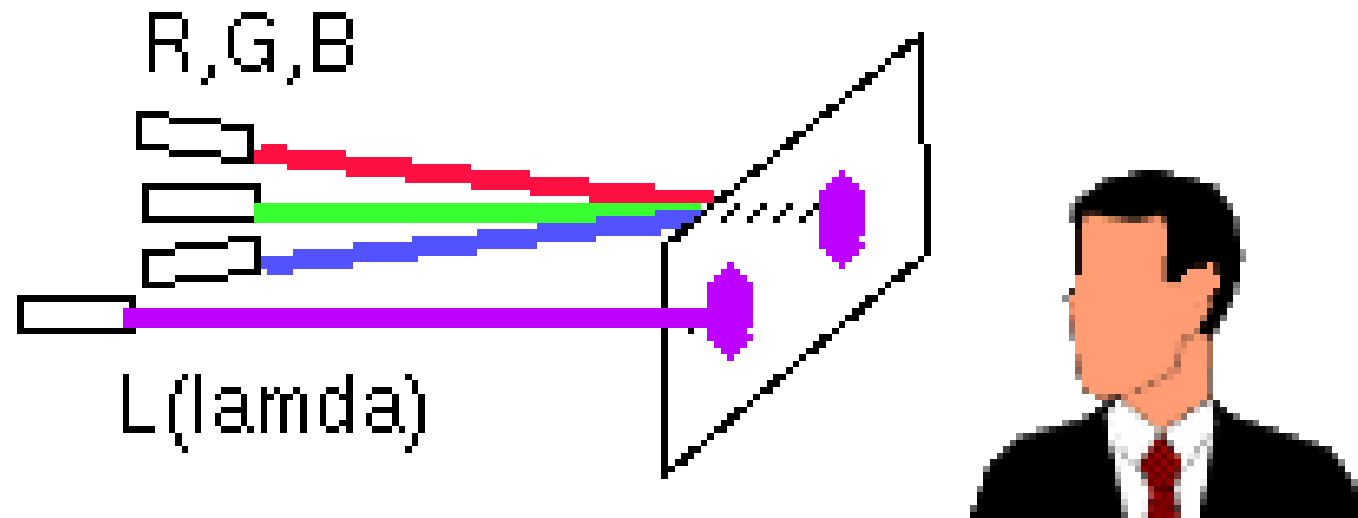
$X \sim R$

$Y \sim G$

$Z \sim B$

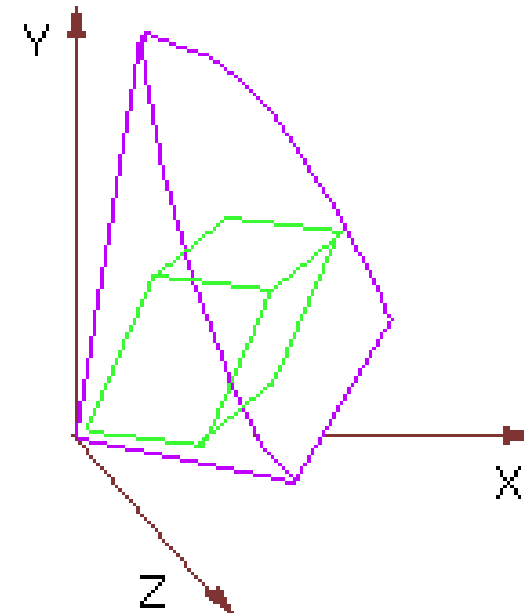
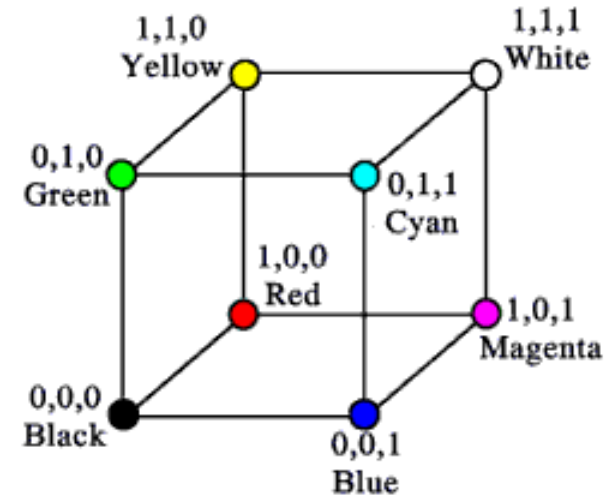


L'ESPACE DE COULEUR



L'ESPACE DE COULEUR RVB (*RGB*, UN CUBE DE COULEUR)

- Définir les couleurs par (r, g, b) – les quantités de rouge, vert et bleu
 - Utilisé par OpenGL
 - *hardware-centric*
- Le cube RVB est à l'intérieur de l'espace CIE
 - un sous-ensemble de couleurs perceptibles
 - Dans cet espace, il n'est pas un cube: il est tourné, déplacé et cisailé



LES ESPACES DE COULEUR: XYZ ET RVB

- La matrice de transformation pour les couleurs:
(pour $R = 700nm, G = 546nm, B = 436nm$ monochromatiques)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.36460 & -0.51515 & 0.00520 \\ -0.89653 & 1.42640 & -0.01441 \\ -0.46807 & 0.08875 & 1.00921 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

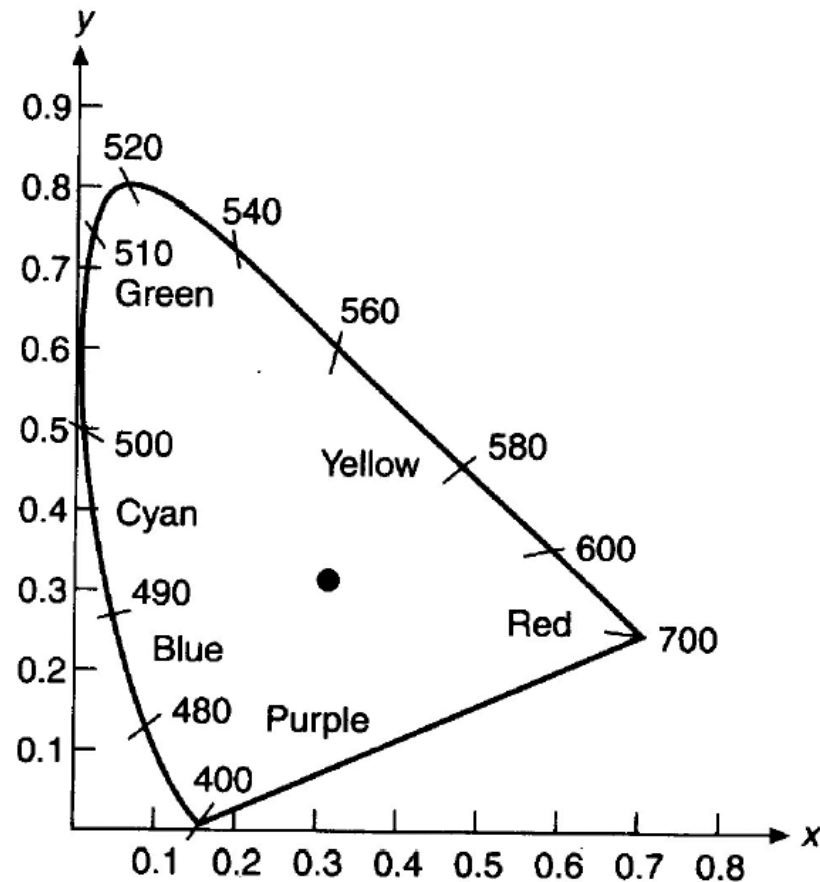
- Chaque écran a sa matrice de transformation RVB-à-XYZ
 - Soit (R_A, V_A, B_A) la couleur sur l'écran A . Pour montrer la même couleur sur l'écran B :

$$\textcircled{1} \quad \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_A \\ G_A \\ B_A \end{bmatrix} \qquad \textcircled{2} \quad \begin{bmatrix} R_B \\ G_B \\ B_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_B^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

$$C_B = M_B^{-1} M_A C_A$$

UN DIAGRAMME DE CHROMATICITÉ CIE

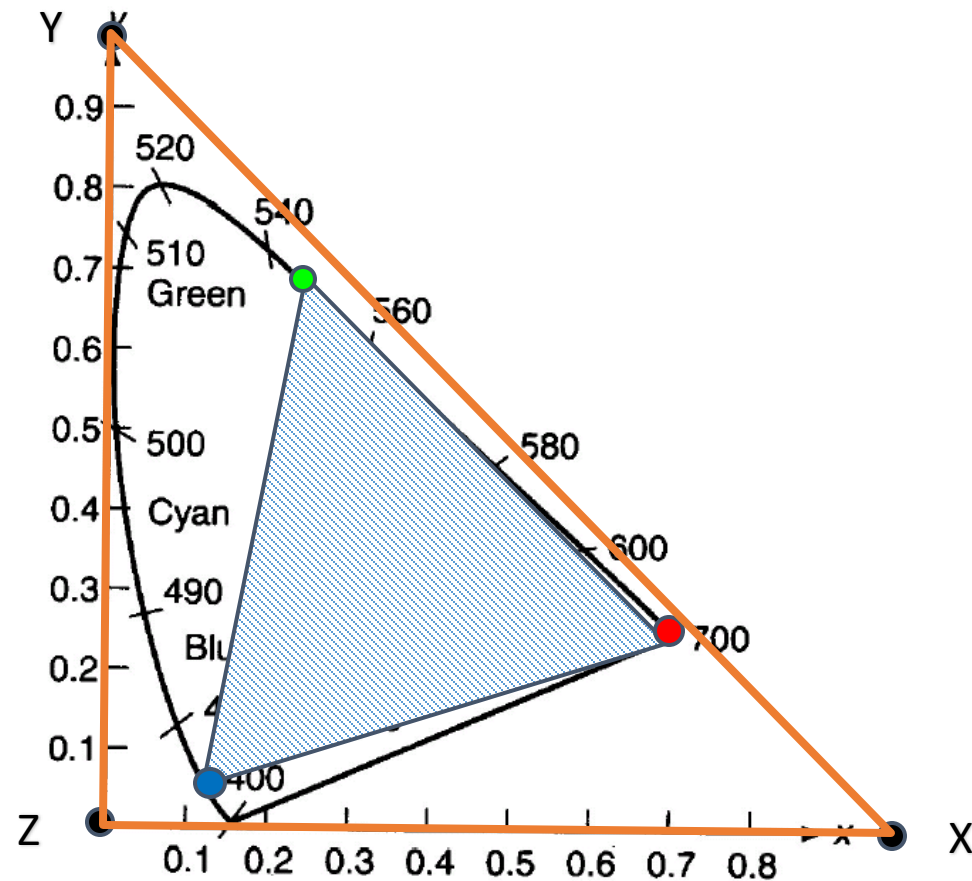
- Projeter l'espace 3D dans un plan $X + Y + Z = 1 \rightarrow$ l'espace 2D



$$x = \frac{X}{X + Y + Z}, \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

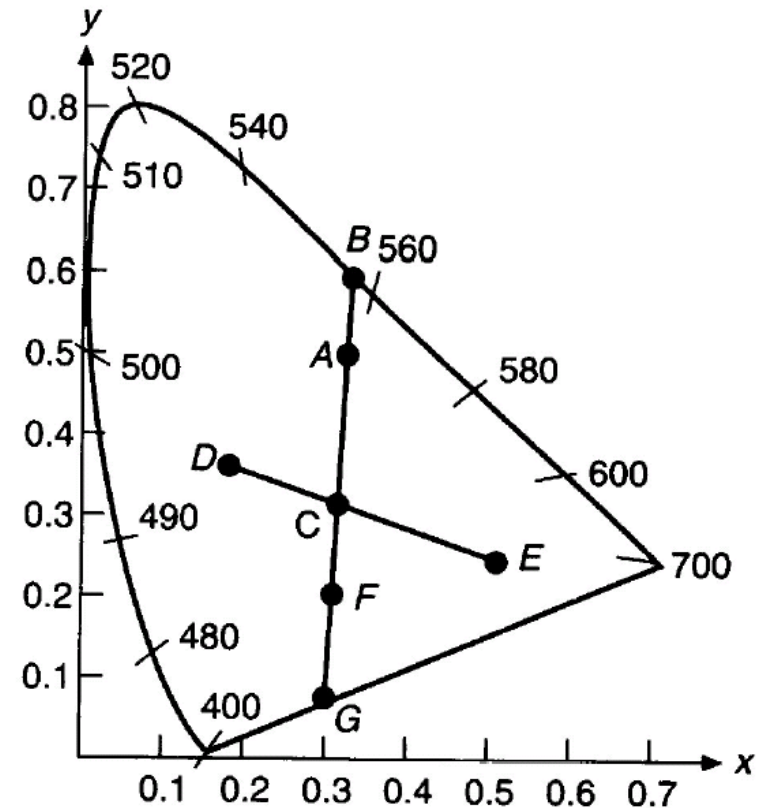
RGB VS XYZ UNE AUTRE FOIS

Une autre explication pourquoi la courbe R parfois doit être négative



UN DIAGRAMME DE CHROMATICITÉ CIE

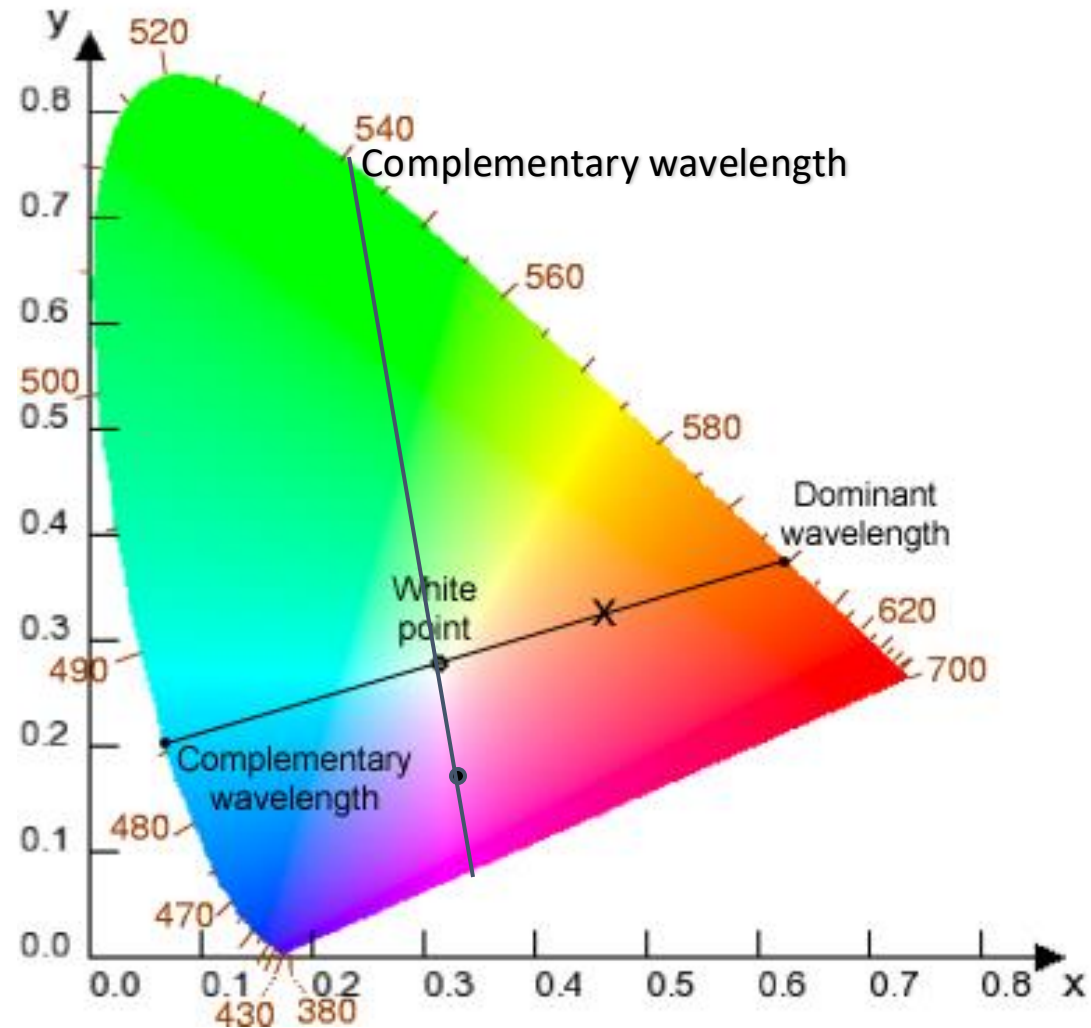
- C : le point blanc
- Les couleurs complémentaires
- La longueur d'onde dominante
- Les couleurs en dehors du spectre



L'INTERPOLATION

LES COULEURS COMPLÉMENTAIRES

LA LONGUEUR D'ONDE DOMINANTE

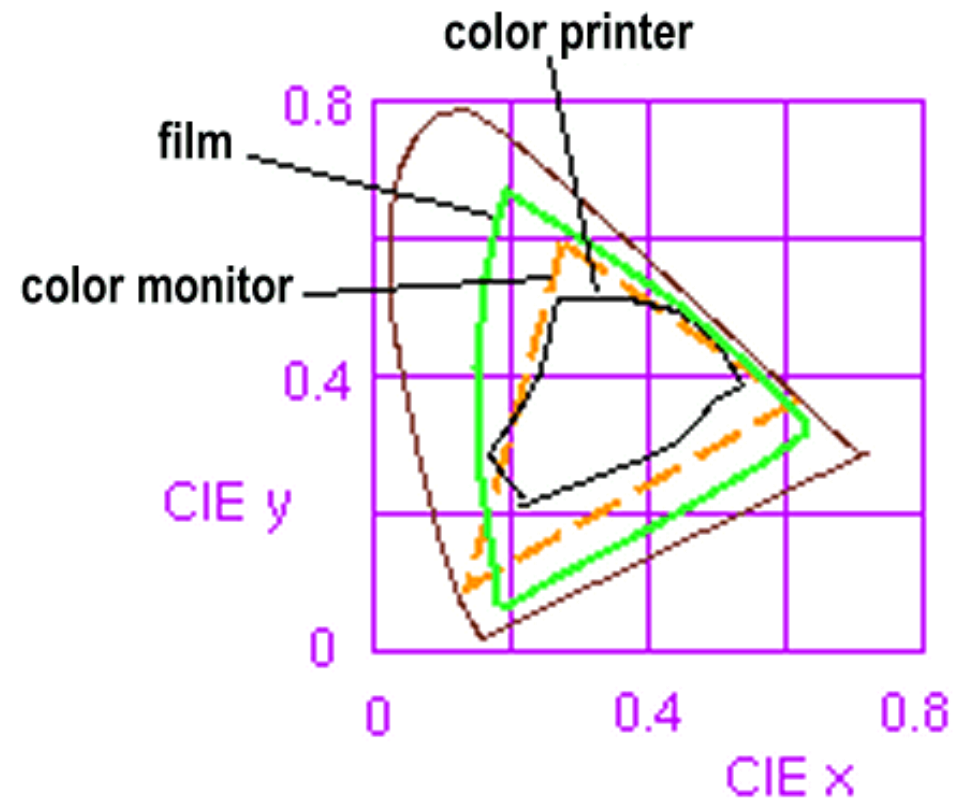
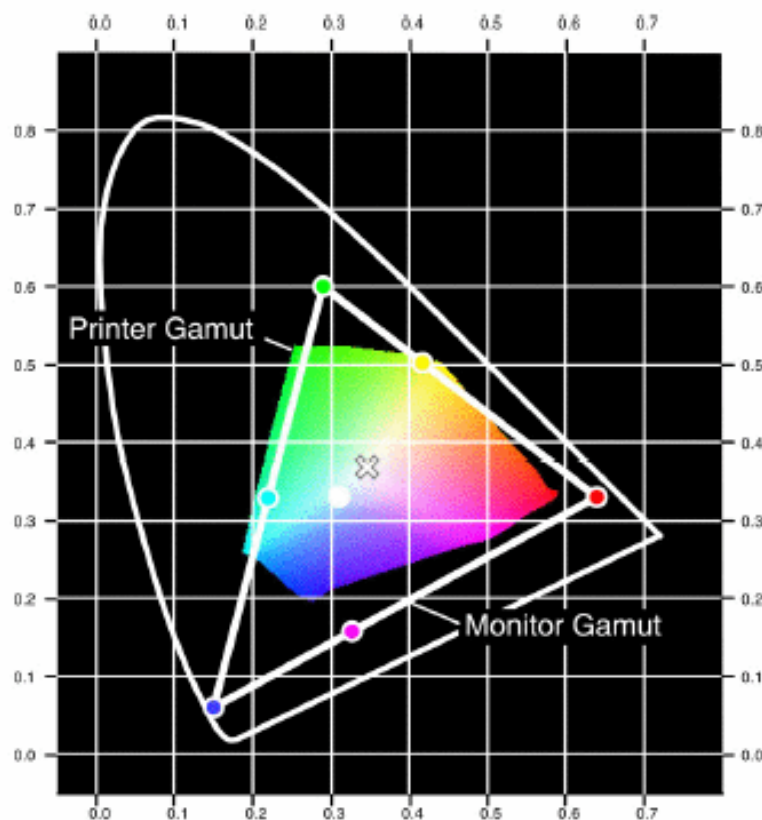


UN DIAGRAMME DE CHROMATICITÉ CIE “FER À CHEVAL”

- Toutes les couleurs visibles sont à l'intérieur
 - Le résultat d'expériences
- Les couleurs spectrales (mono chromatiques) sont à la frontière
 - Une ligne entre rouge et bleu contient pourpre
- Cette forme plane est une partie convexe de l'espace linéaire → un sous-espace linéaire

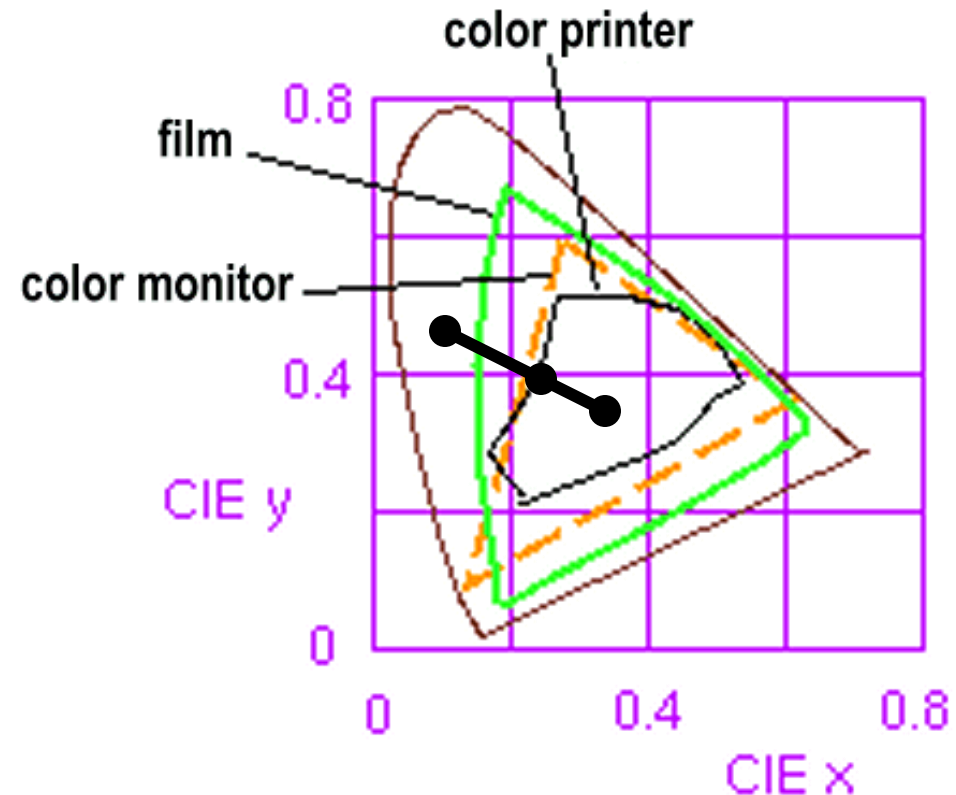
LE GAMUT DE COULEURS

- Le gamut est un polygone pour un appareil, les primaires sont dans les coins
 - Définit les couleurs reproductibles
 - X , Y et Z sont les lumières hypothétiques, il n'y a pas d'appareil qui peut reproduire le gamut entier

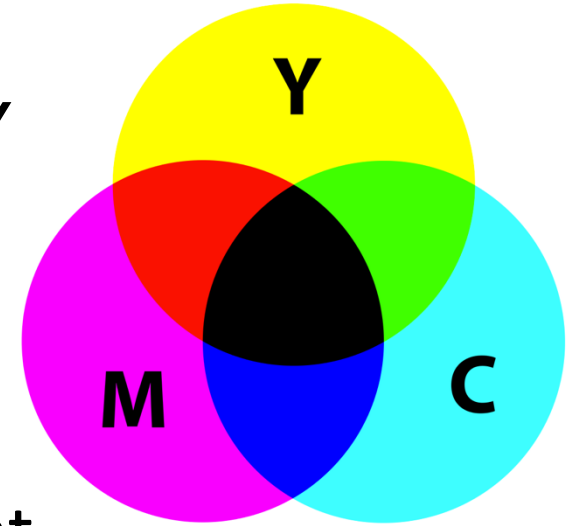


UN *MAPPING* DE GAMUTS

- Comment gérer les couleurs en dehors du gamut?
 - Une projection! Un chemin: connecter la couleur avec le point blanc, trouver le point le plus proche sur la ligne



LE MODÈLE DE COULER CMY

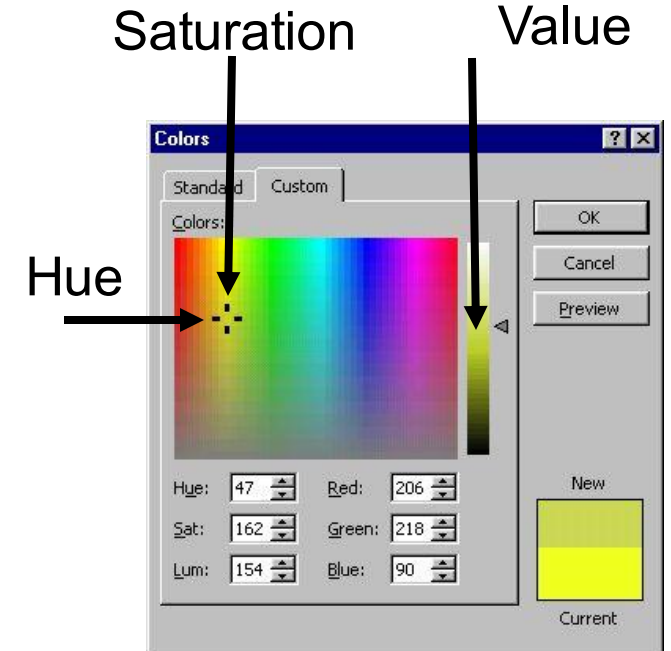
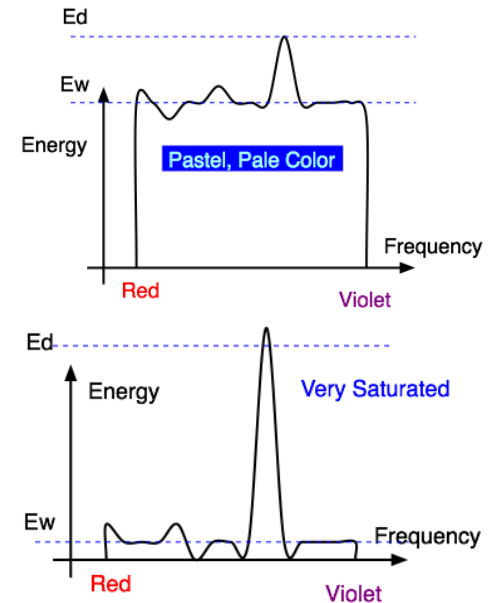
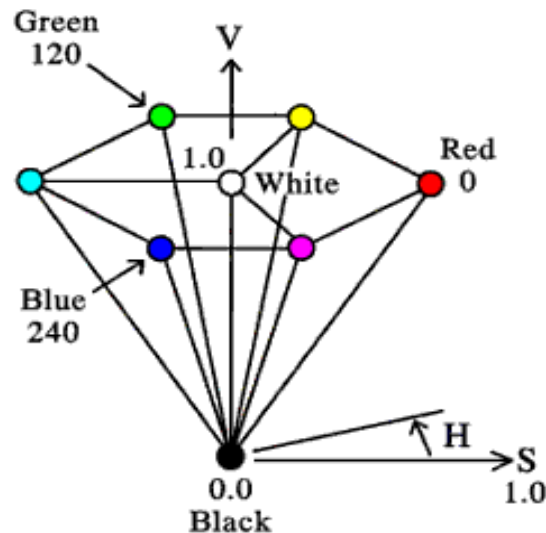


- Utilisé dans l'impression
 - La lumière est absorbée par les colorants
- Cyan (C), magenta (M) et jaune (Y), les primaires, sont les compléments de rouge, vert et bleu
- Les couleurs primaires sont soustraites du papier blanc
 - Rouge = Blanc-Cyan = Blanc-Vert-Bleu $(0,1,1)$
 - Vert = Blanc-Magenta = Blanc-Rouge-Bleu $(1,0,1)$
 - Bleu = Blanc-Jaune = Blanc-Rouge-Vert $(1,1,0)$
 - $(r, v, b) = (1 - c, 1 - m, 1 - j)$

L'ESPACE DE COULEUR HSV

Un espace plus intuitif pour les gens

- $H = Hue$ (la teinte)
 - La longueur d'onde dominante, “la couleur”
- $S = Saturation$
 - La distance au blanc/gris
- $V = Value$ (la valeur)
 - La distance au noir
 - aussi: *brightness* B , *intensity* I , *lightness* L



HSI/HSV ET RVB

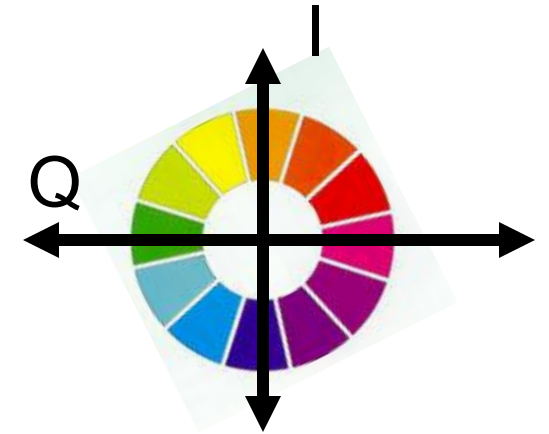
- La conversion à HSV/HSI de RVB est non linéaire
 - H (la teinte) est la même
 - V (la valeur) est le maximum, I (l'intensité) est la moyenne

$$H = \cos^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2} [(R - G) + (R - B)]}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right] \quad \begin{array}{l} \text{if } (B > G), \\ H = 360 - H \end{array}$$

$$\text{HSI: } S = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{I} \quad I = \frac{R + G + B}{3}$$

$$\text{HSV: } S = 1 - \frac{\min(R, G, B)}{V} \quad V = \max(R, G, B)$$

L'ESPACE DE COULEUR YIQ



Le modèle utilisé pour la TV

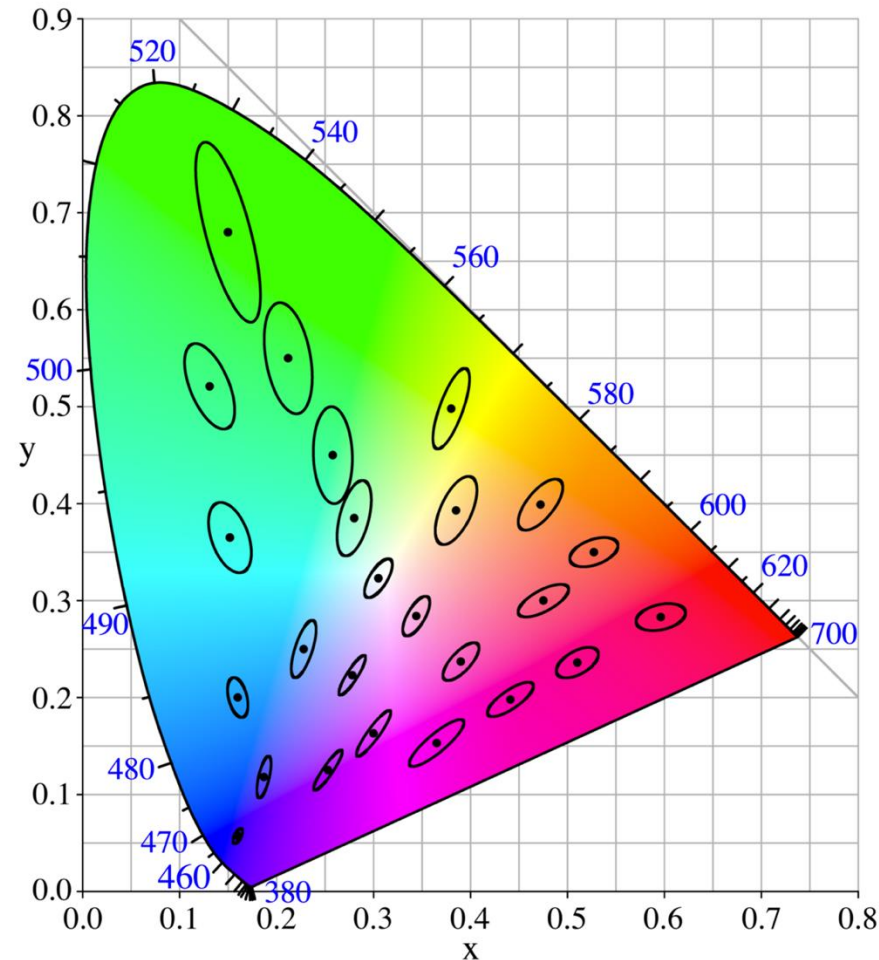
- Y est luminance (la même que dans CIE)
- I & Q sont la couleur (pas la même *I* comme dans HSI!)
- Grâce à *Y*, c'est rétrocompatible avec les TVs N/B
- L'approximation linéaire de la conversion de RVB

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.30 & 0.59 & 0.11 \\ 0.60 & -0.28 & -0.32 \\ 0.21 & -0.52 & 0.31 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

- Le vert est plus brillant que le rouge, le rouge est plus brillant que le bleu

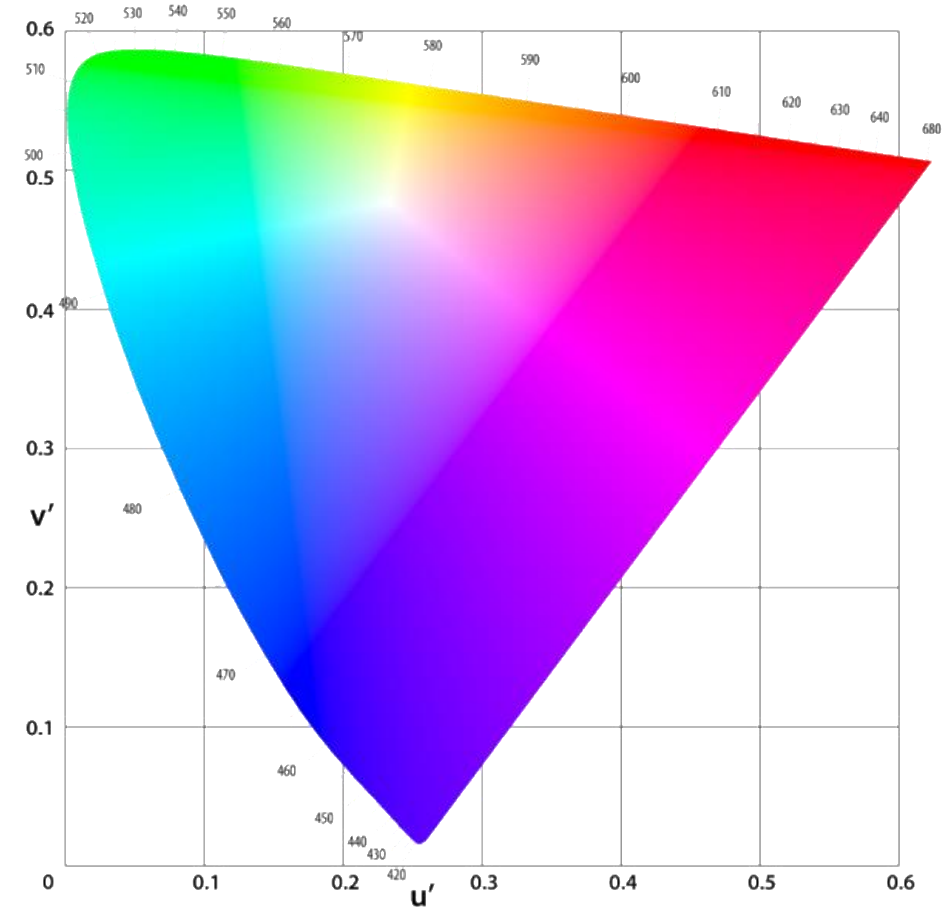
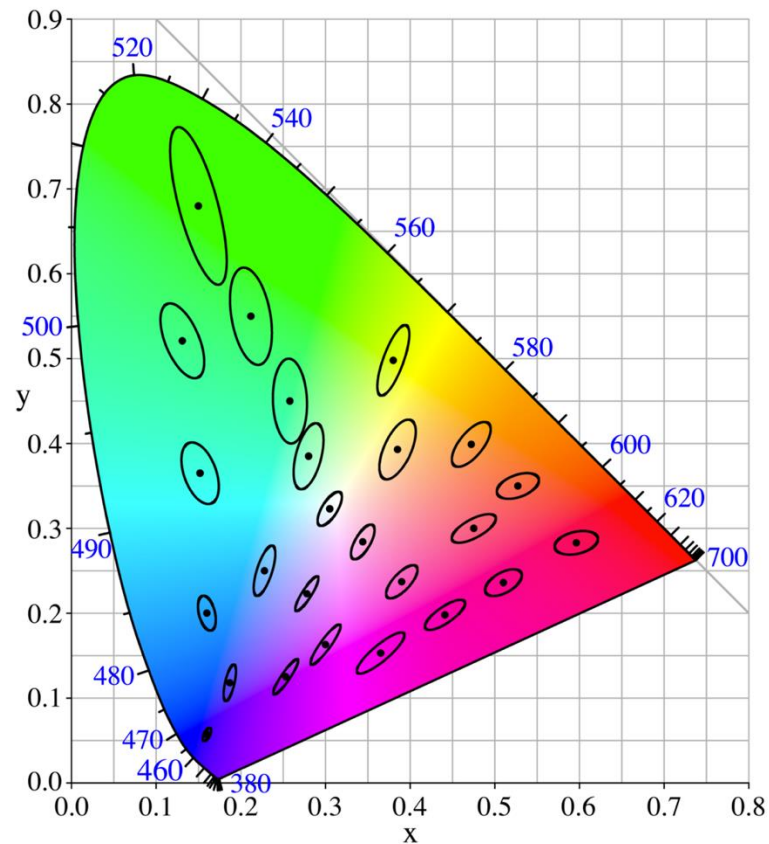
L'ESPACE DE COULEUR LUV

- Notre précision à distinguer les couleurs dans différent endroits sur le diagramme est différente
 - “La tolérance”



L'ESPACE DE COULEUR LUV

- Notre précision à distinguer les couleurs dans différent endroits sur le diagramme est différente
 - “La tolérance”



LE DALTONISME, LES TETRACHROMATES

- La modélisation



Normal vision



Deuteranope



Protanope

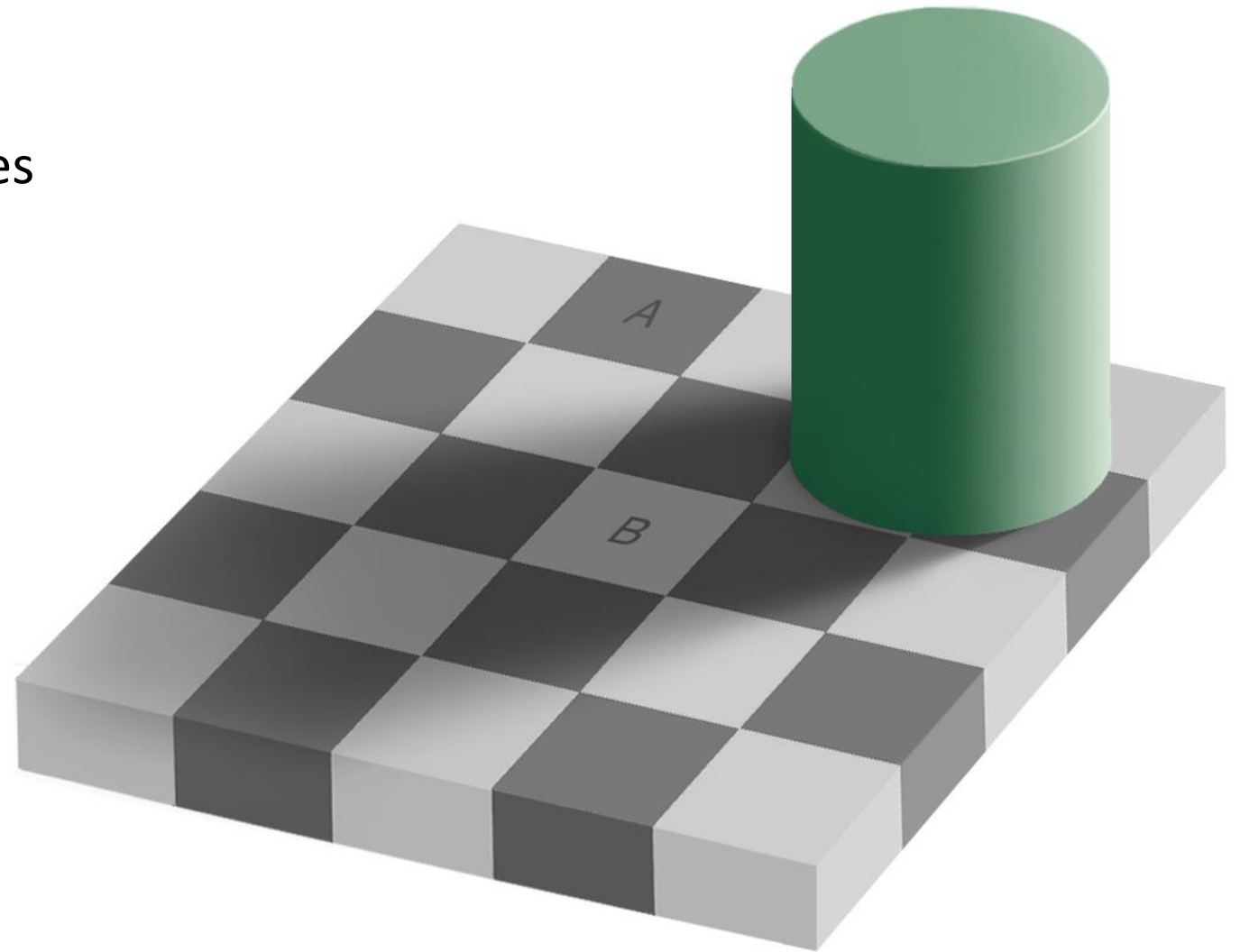


Tritanope

VISCHECK.COM

LA PERCEPTION DE LA COULEUR

- Dépend du voisinage
 - Les couleurs des points proches
 - L'illumination de la scène



L'EFFET DE STROOP

- bleu
 - vert
 - violet
 - rouge
 - orange
-
- La réciproque entre la compréhension et la perception
 - Utilisé comme test (de quoi?)

L'EFFET DE STROOP

- **зеленый**
 - **оранжевый**
 - **синий**
 - **красный**
 - **фиолетовый**
-
- La réciproque entre la compréhension et la perception
 - Utilisé comme test (de quoi?)