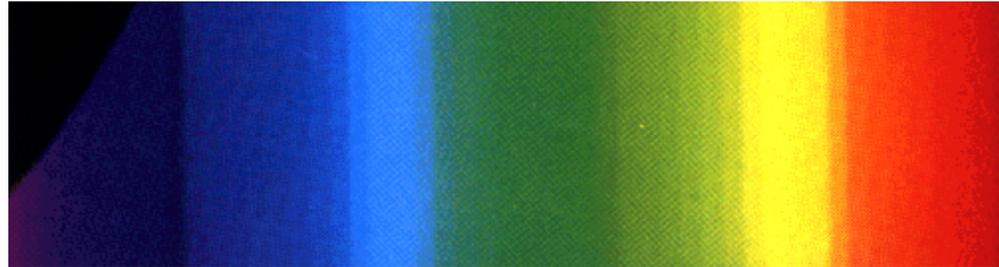


# IFT 3355: INFOGRAPHIE

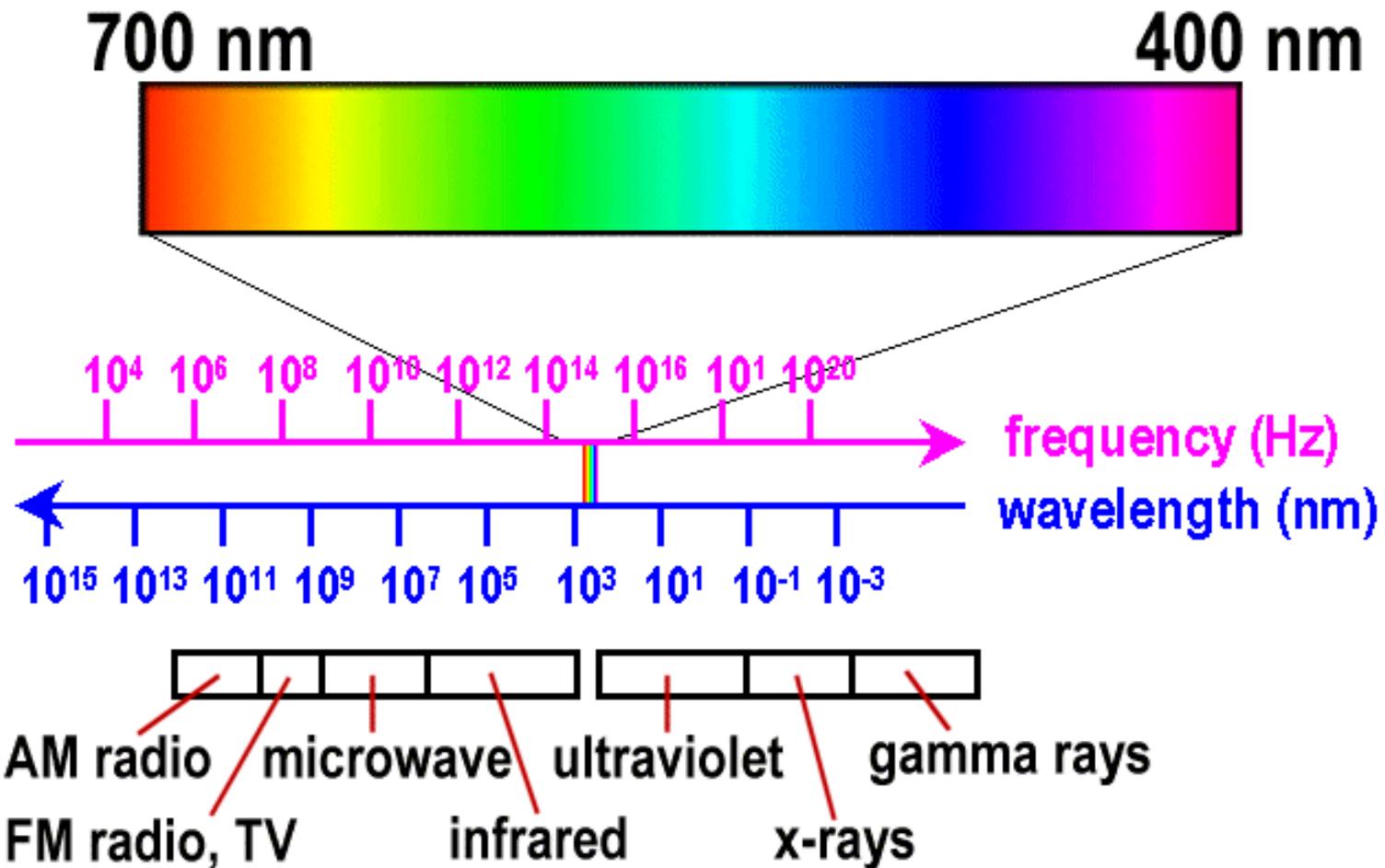
## LA COULEUR

Livre de référence: G: 19, S: 21

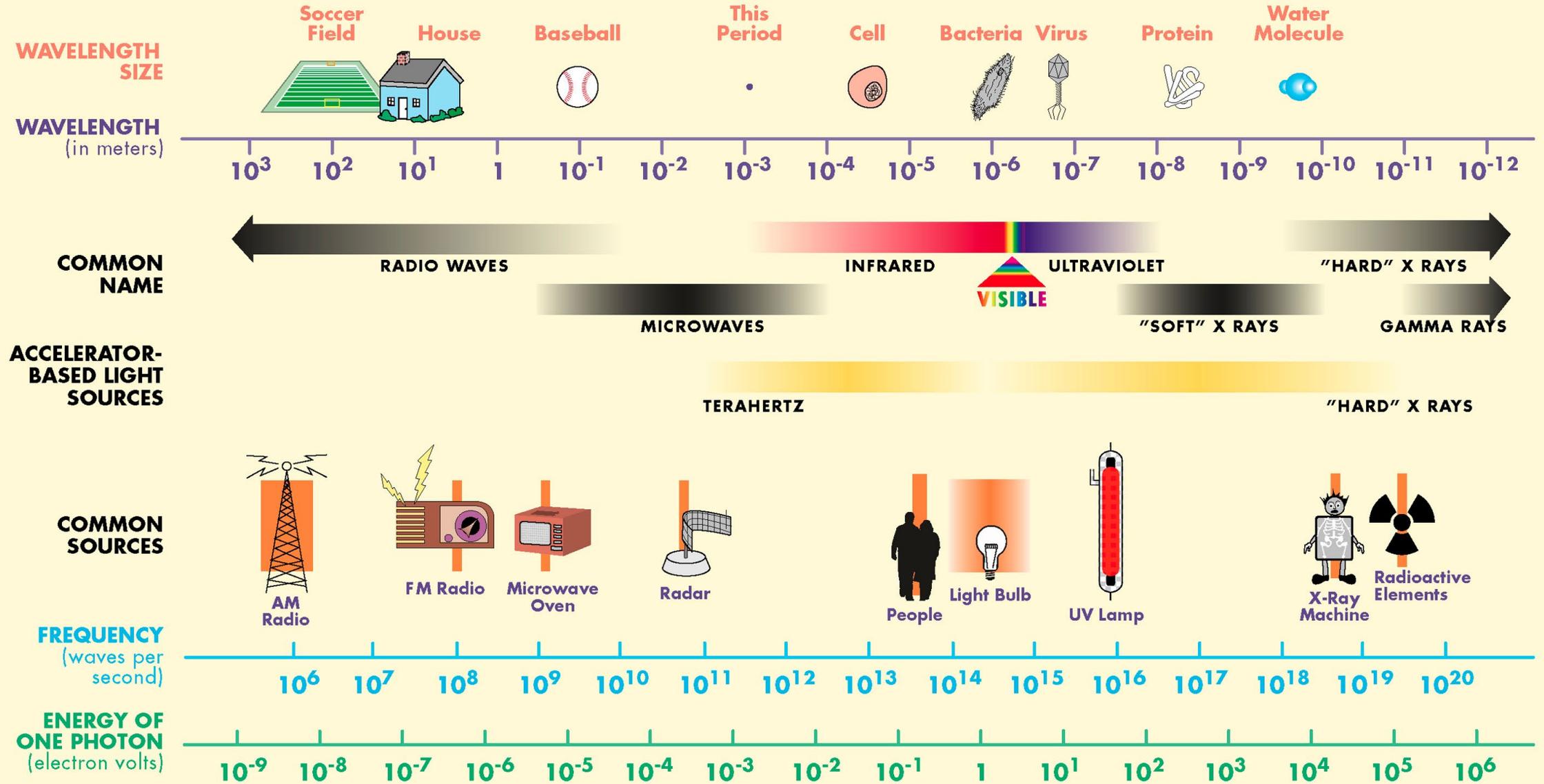


<http://tiny.cc/ift3355>  
Mikhail Bessmeltsev

# LE SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE

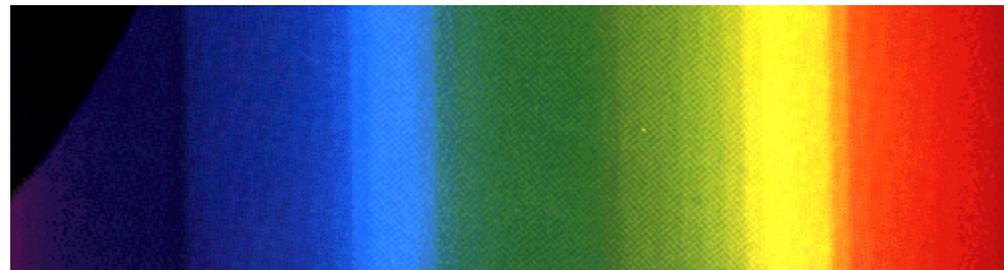


# THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



# 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)

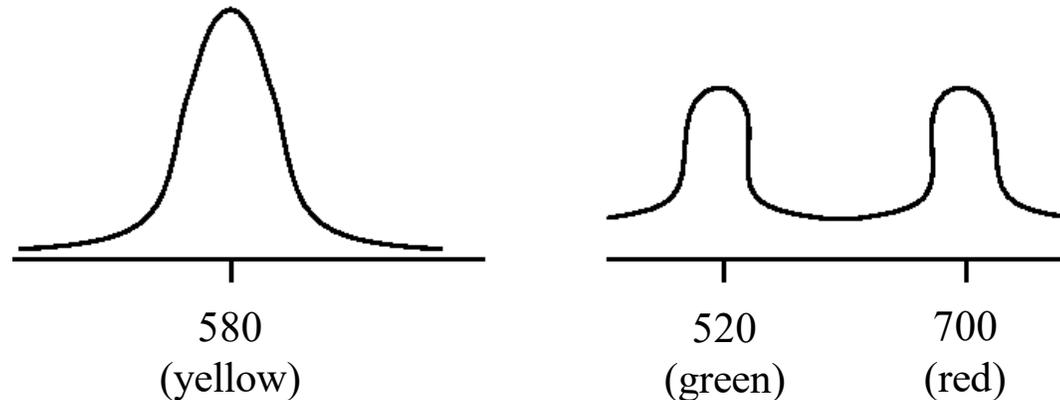


380

780

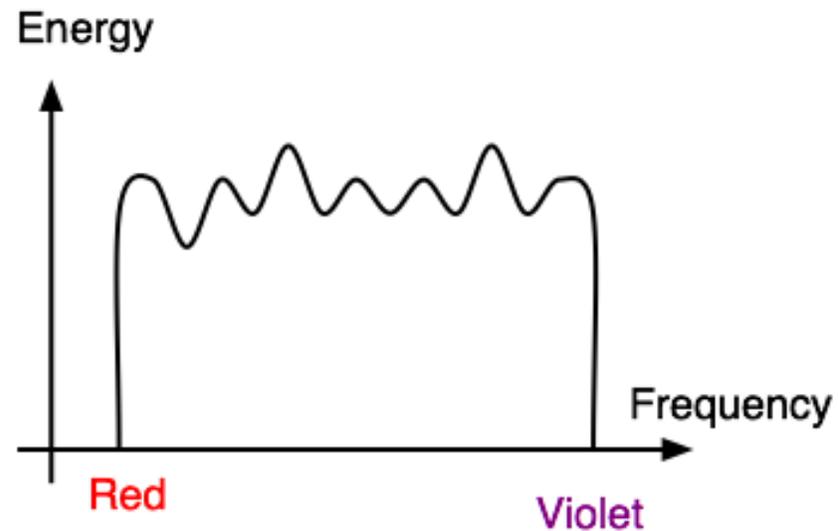
# LA COULEUR VISIBLE

- 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



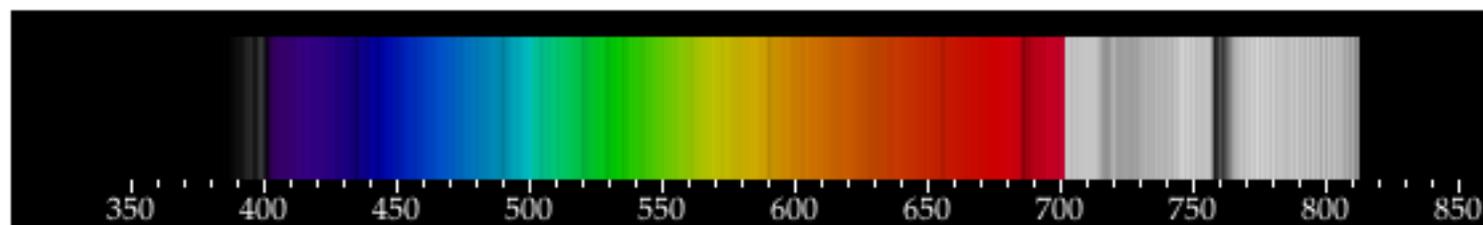
# LA LUMIÈRE BLANCHE

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

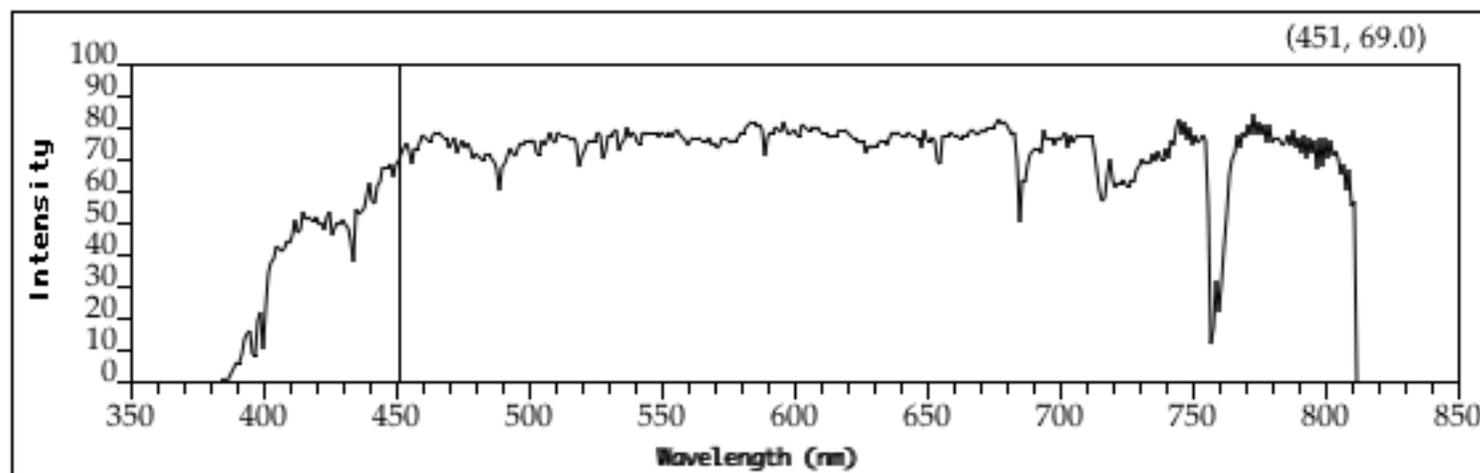


# LE SPECTRE SOLAIRE

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



Emission Graph

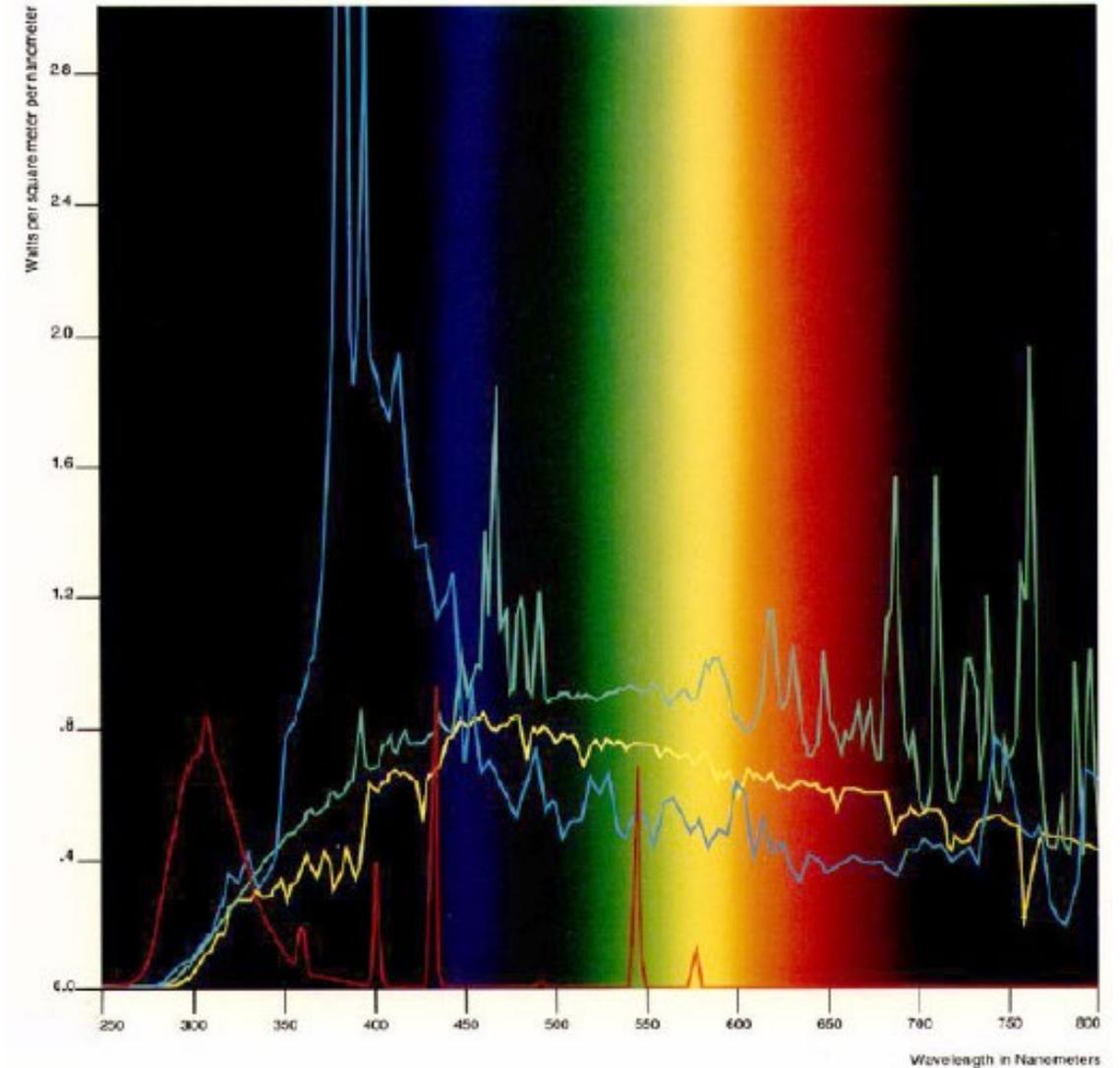


Electromagnetic Spectrum

# LE SPECTRE CONTINU

- Le soleil
- Les lumières « du jour »

A Comparison of Relative Spectral Energy Distribution



- Sunlight  
Main: "Average Observed" Based Global Radiation,  
Measured 45°S, 3/30/81
- Sunshine Carbon Arc  
As used in Atlas Weather-Ometer™, Corning Filtered
- Xenon Arc Lamp  
As used in Atlas Weather-Ometer™,  
500 Watt Xenon Lamp with Bando 10001444 and  
clear filters, 300cm control (30 Min)
- FS-40 Fluorescent Sun Lamp  
(commonly used in the Atlas URGOR™ and the Q-Phase  
Sun-V Accelerated Weathering Testers per A-9.1.1.1.2.2.1)

Accelerated weathering devices are used to determine the effects of sunlight on various substrates.

This graph illustrates the spectral energy distribution as a function of the wavelength produced by a number of artificial light sources. The farther left the wavelength appears on the graph (i.e., shorter wavelength), the higher the energy output generated. The graph compares these energy outputs to terrestrial sunlight. The closer the energy distribution to sunlight, the more reliable and accurate the results of the experiment. Accelerated weathering

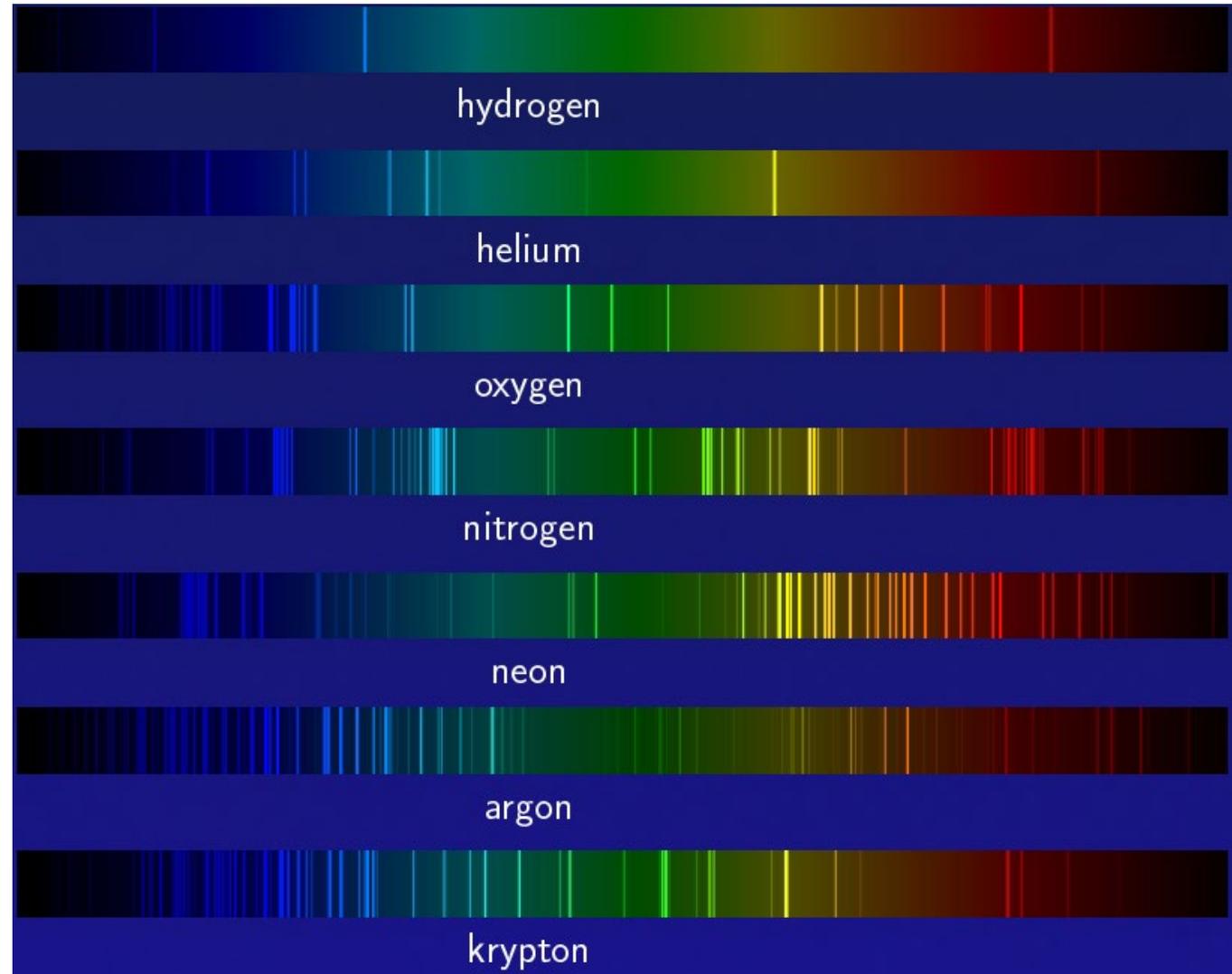
devices that emit larger amounts of shorter wavelength cause samples to fail in shorter periods of time, and often correlate less well than those instruments which emit wavelengths closer to the distribution of terrestrial sunlight.

**CIBA-GEIGY**

CIBA-GEIGY Corporation  
Three Spring Drive  
Tarrytown, New York 10590  
914-347-4700 400-491-9999

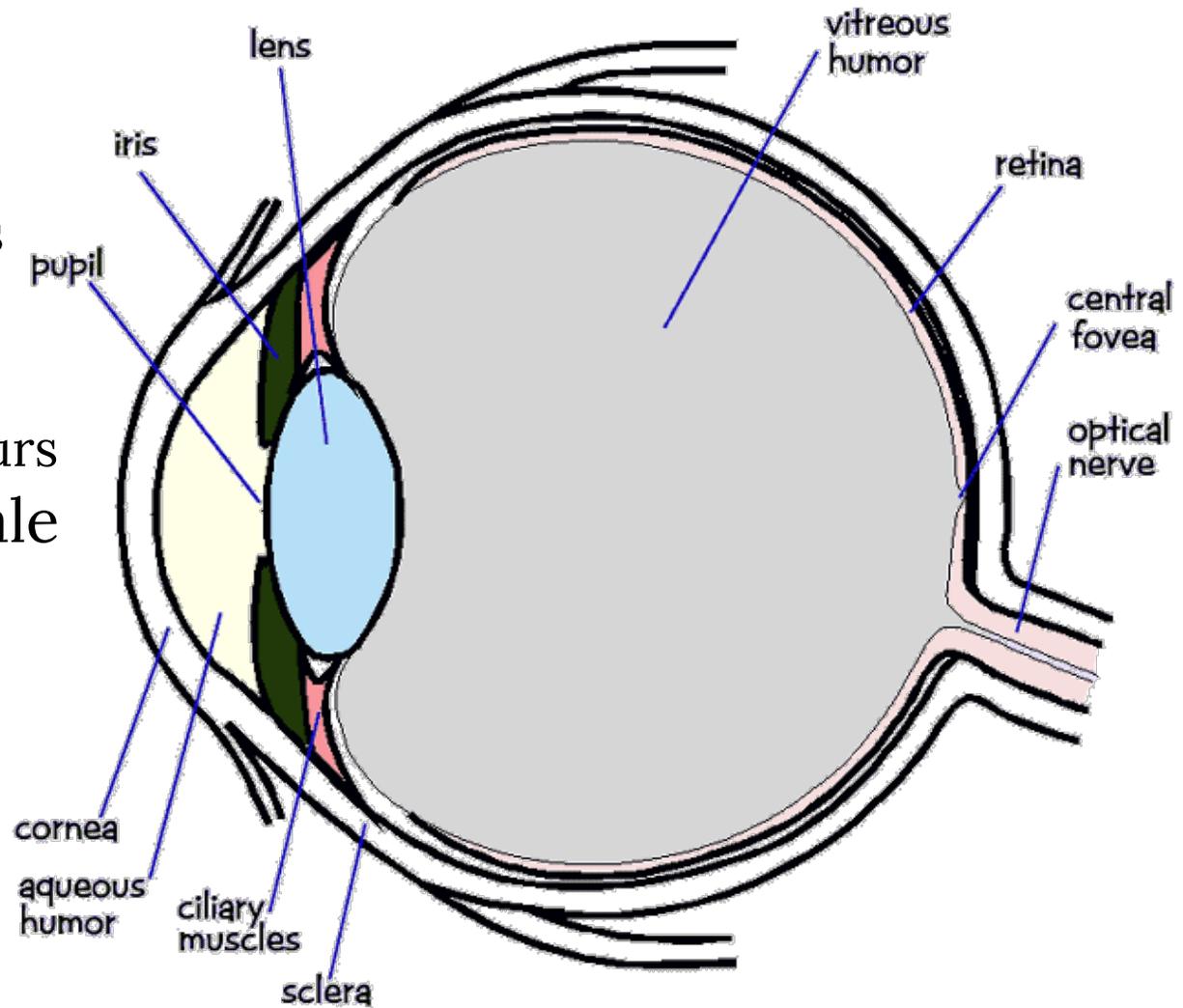
# LE SPECTRE LINÉAIRE

- Les gaz ionisés
- Les lasers
- Quelques lampes fluorescentes

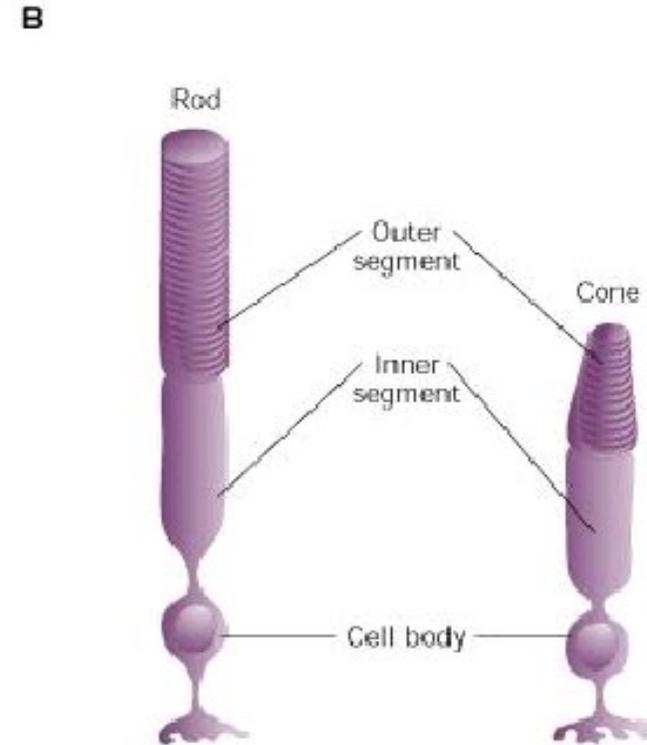
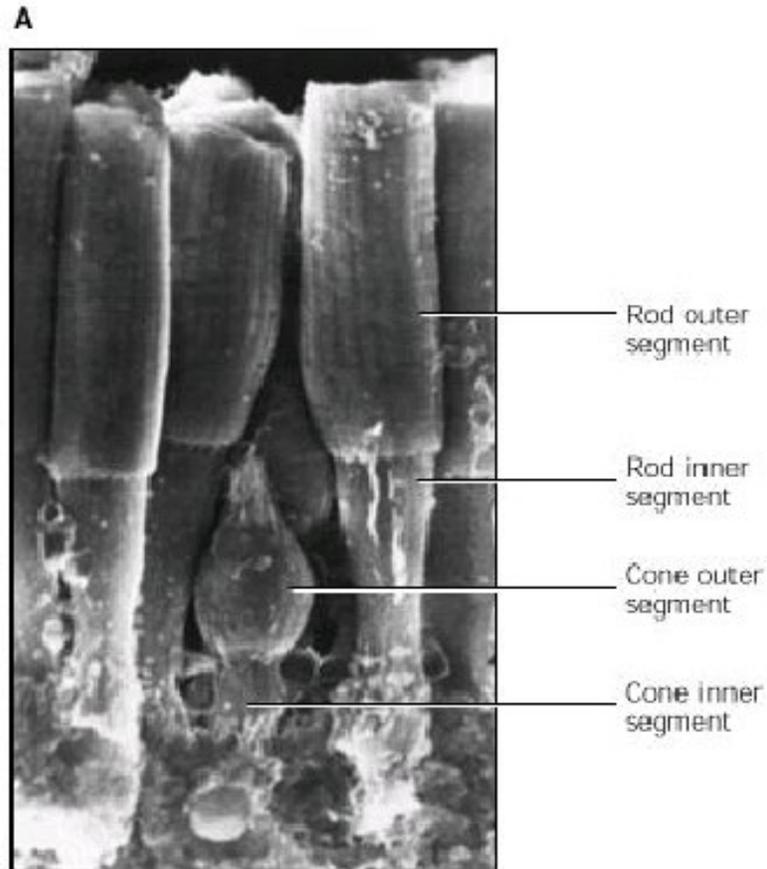


# LA PHYSIOLOGIE DE LA VISION

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

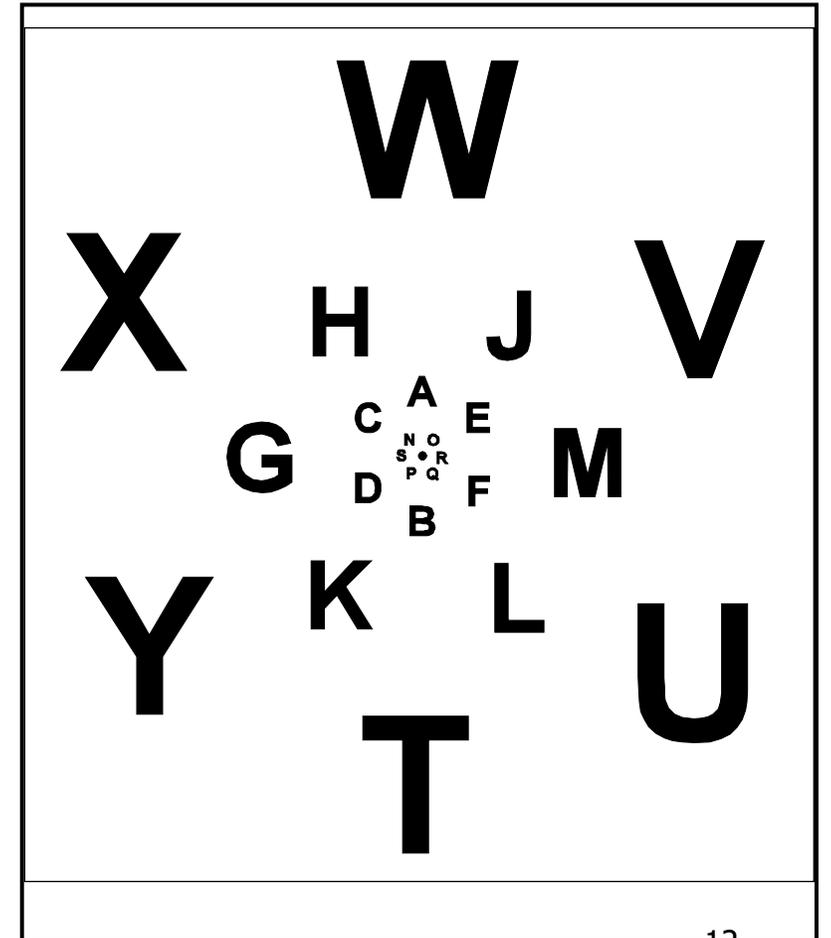


# LES BÂTONNETS ET LES CÔNES



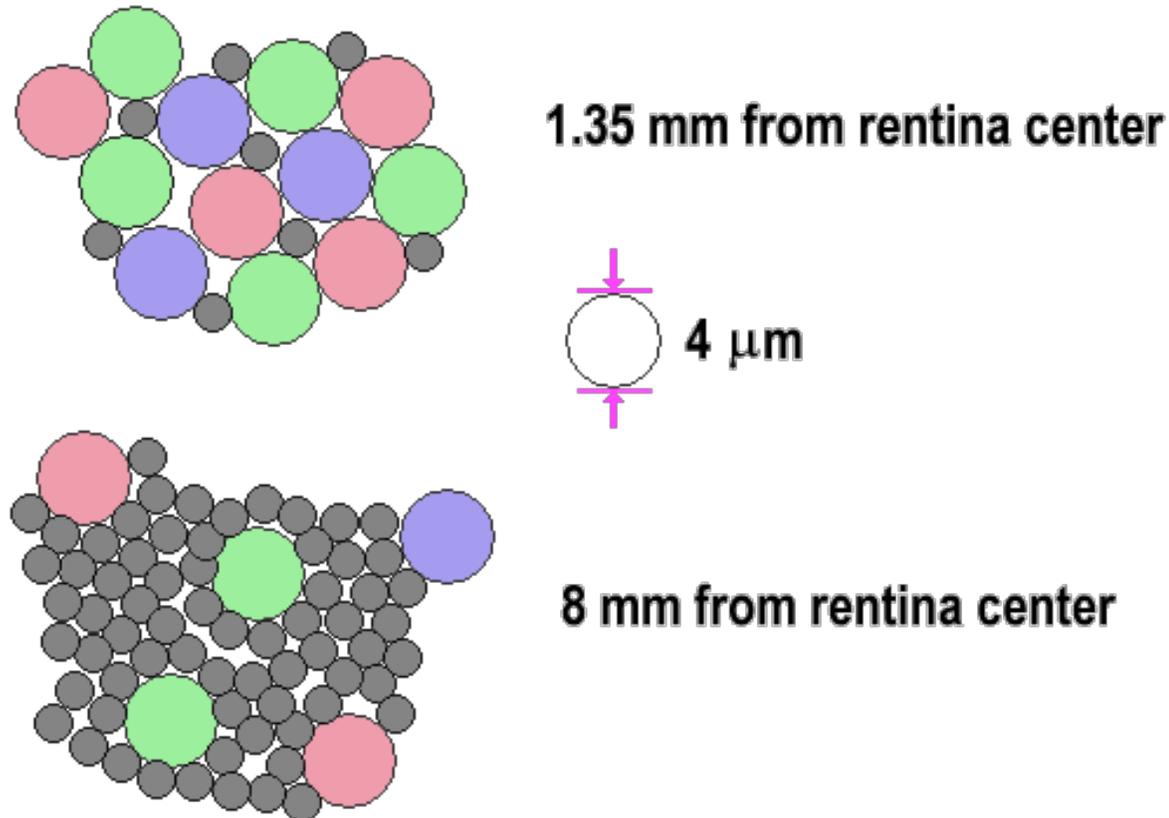
# LA VISION FOVÉALE

- 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*

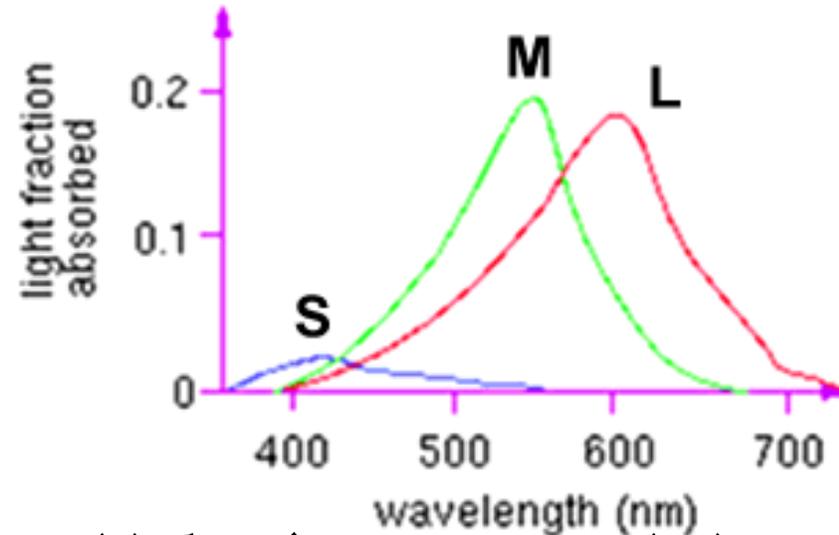


# LA THÉORIE TRISTIMULUS DE LA VISION DES COULEURS

- 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

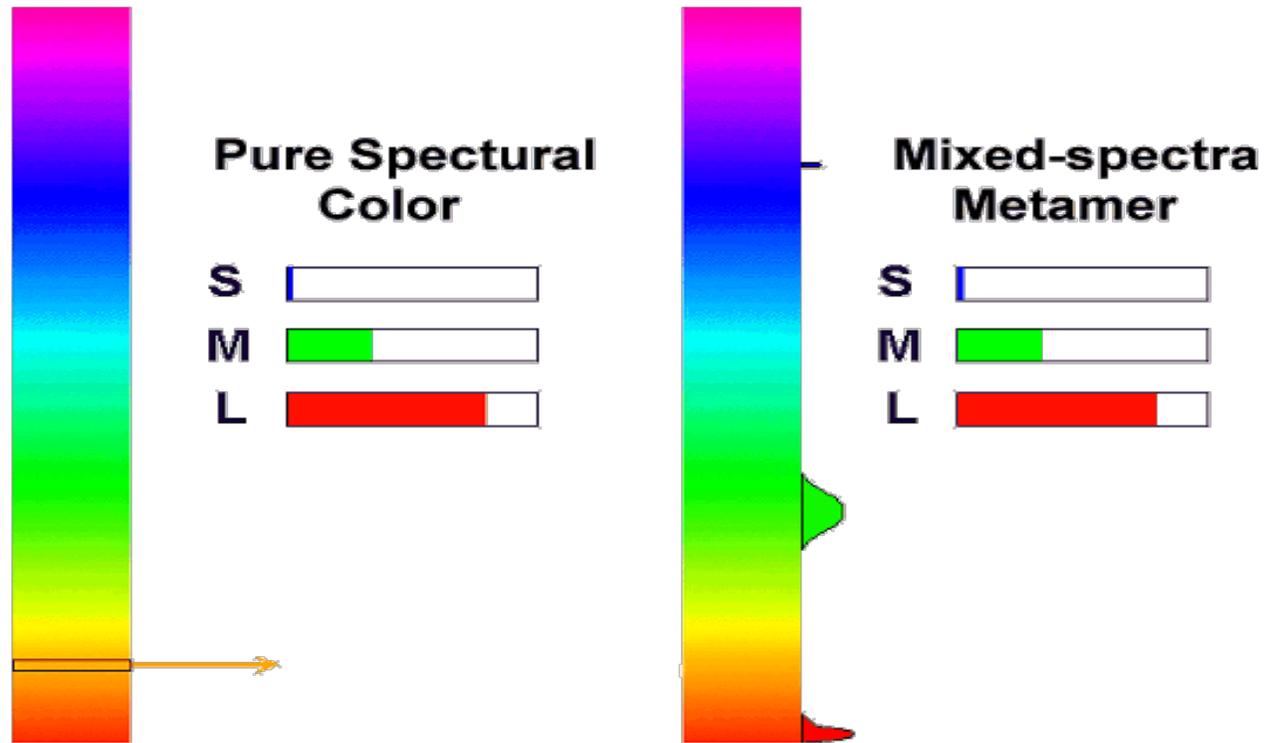
- Trois types de cônes
  - L ou R, plus sensible à la lumière rouge (610 nm)
  - M ou G, plus sensible à la lumière verte (560 nm)
  - S ou B, plus sensible à la lumière bleue (430 nm)



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

# METAMERS

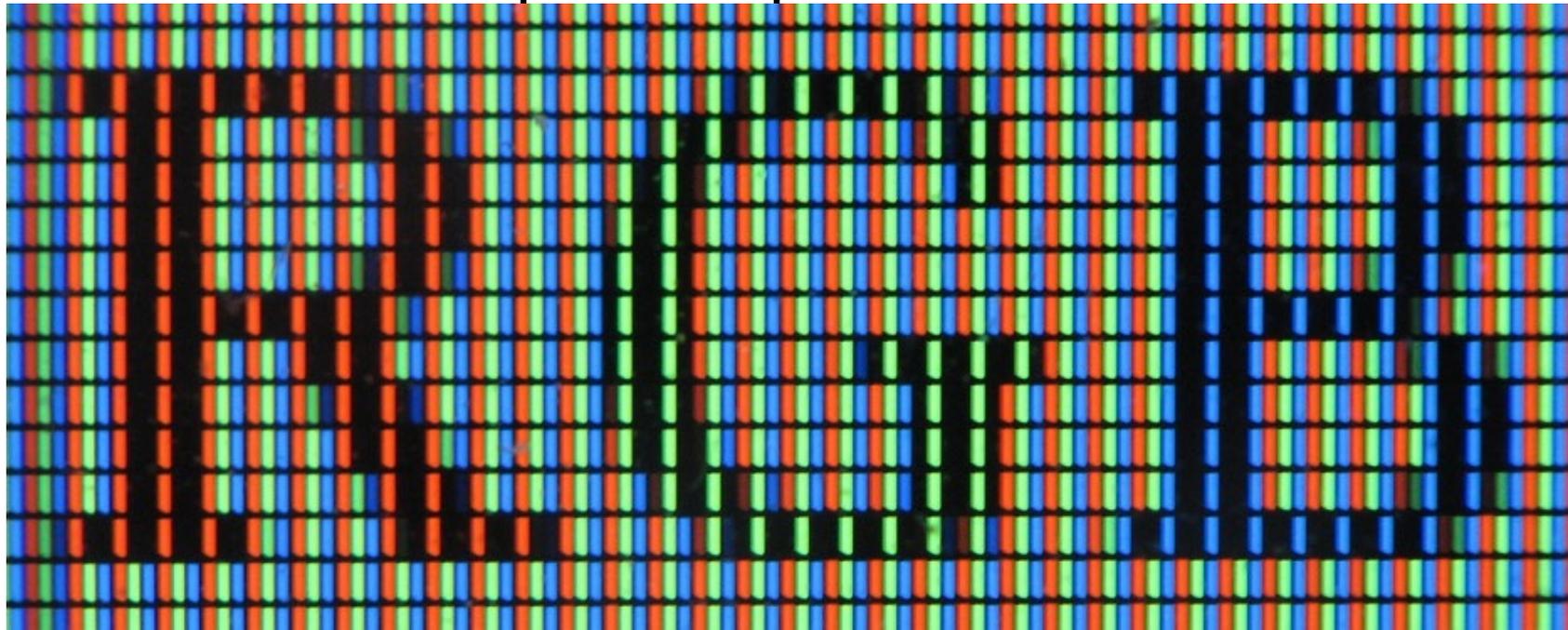
- La couleur qu'on voit dérive d'une combinaison de stimuli de chaque type de cônes



- La même couleur peut être causée par des spectres différents
- démo

# 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

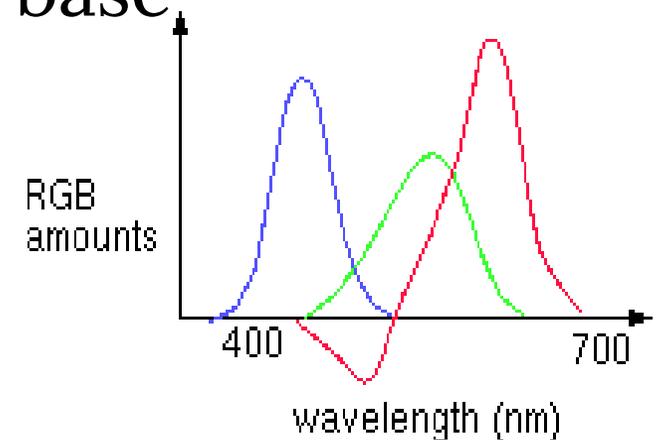


# FABRIQUER LES ÉCRANS

- 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

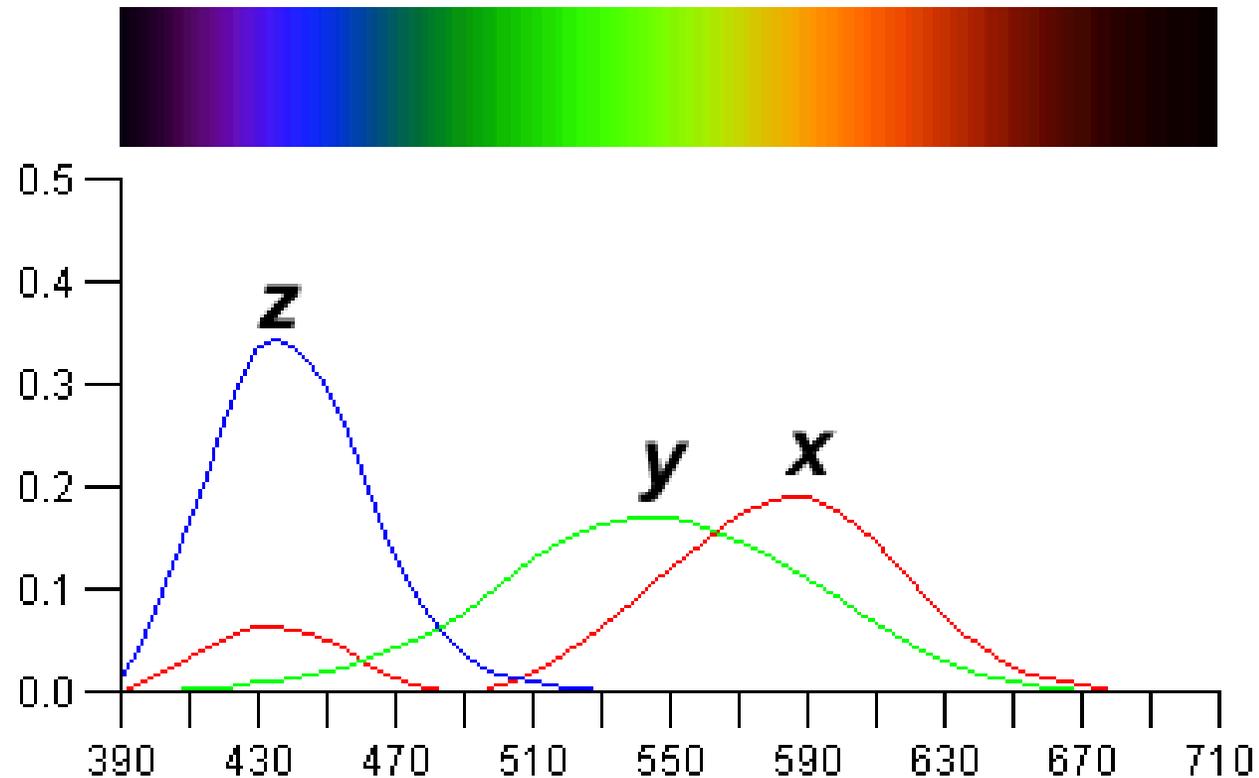
- Parfois les trois composants ne pouvaient pas correspondre parfaitement!
  - Souvent RVB a produit « trop de rouge »
  - Mais ce n'est pas possible de retirer le rouge d'un écran
- Donc, on ne peut pas générer toutes les couleurs avec n'importe quelles couleurs de base (primaires)
- La solution: choisir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



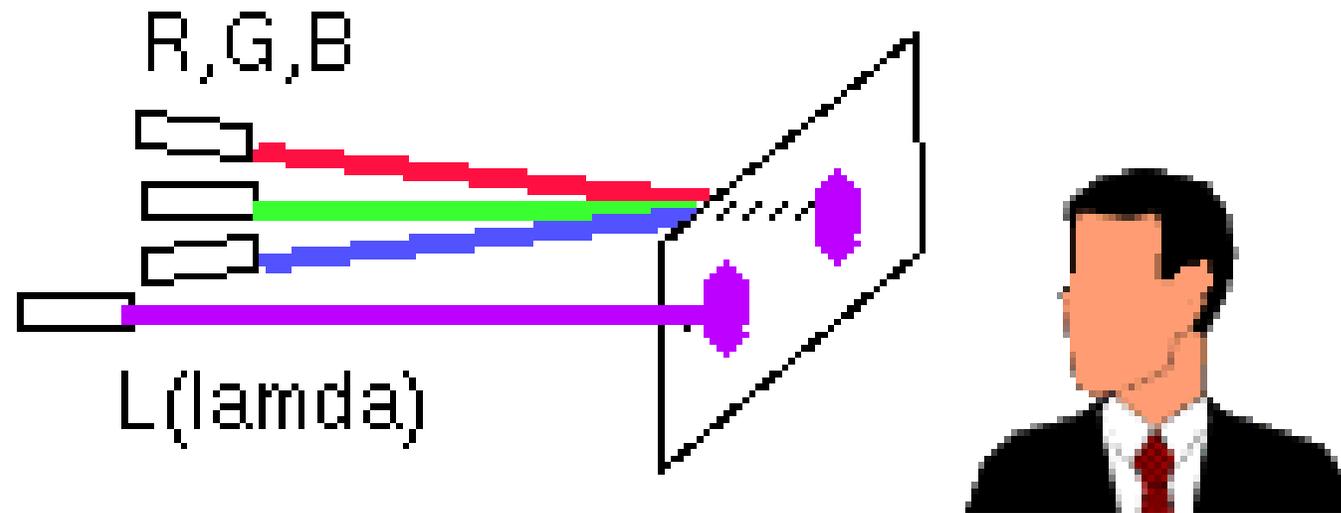
# L'ESPACE DE COULEUR CIE

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

NB:  
 $X \sim R$   
 $Y \sim G$   
 $Z \sim B$

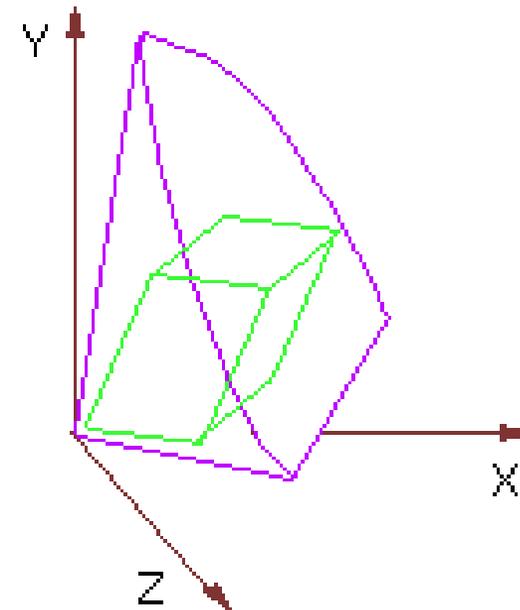
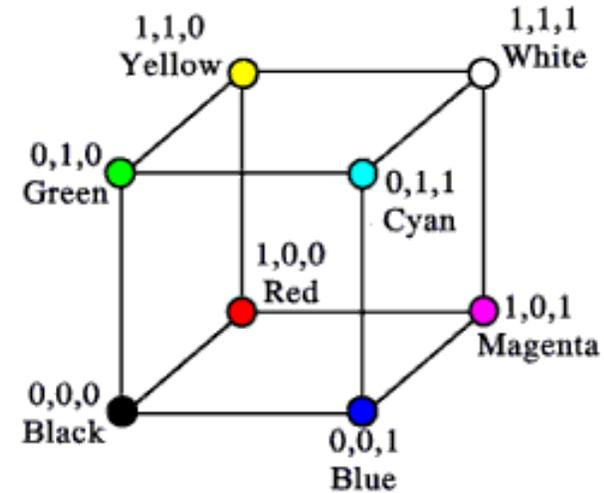


# L'ESPACE DE COULEUR



# 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)

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

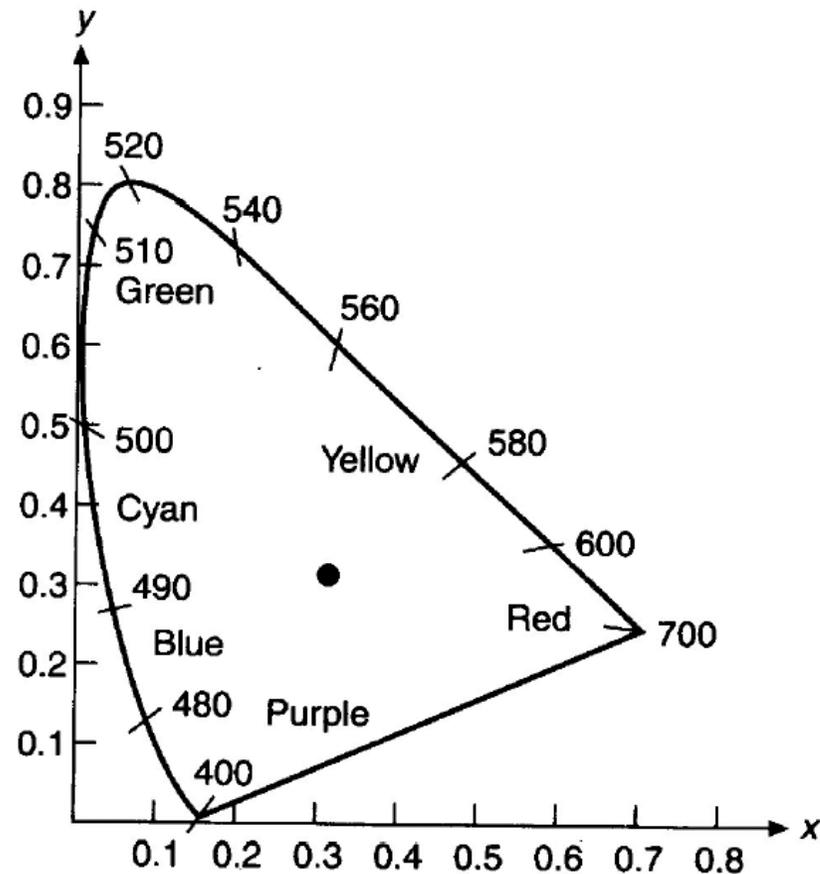
- Chaque écran a sa matrice de transformation RVB-à-XYZ
  - Soit  $(R_A, V_A, B_A)$  la couleur sur l'écran A. Pour montrer la même couleur sur l'écran B:

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

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

# UN DIAGRAMME DE CHROMATICITÉ CIE

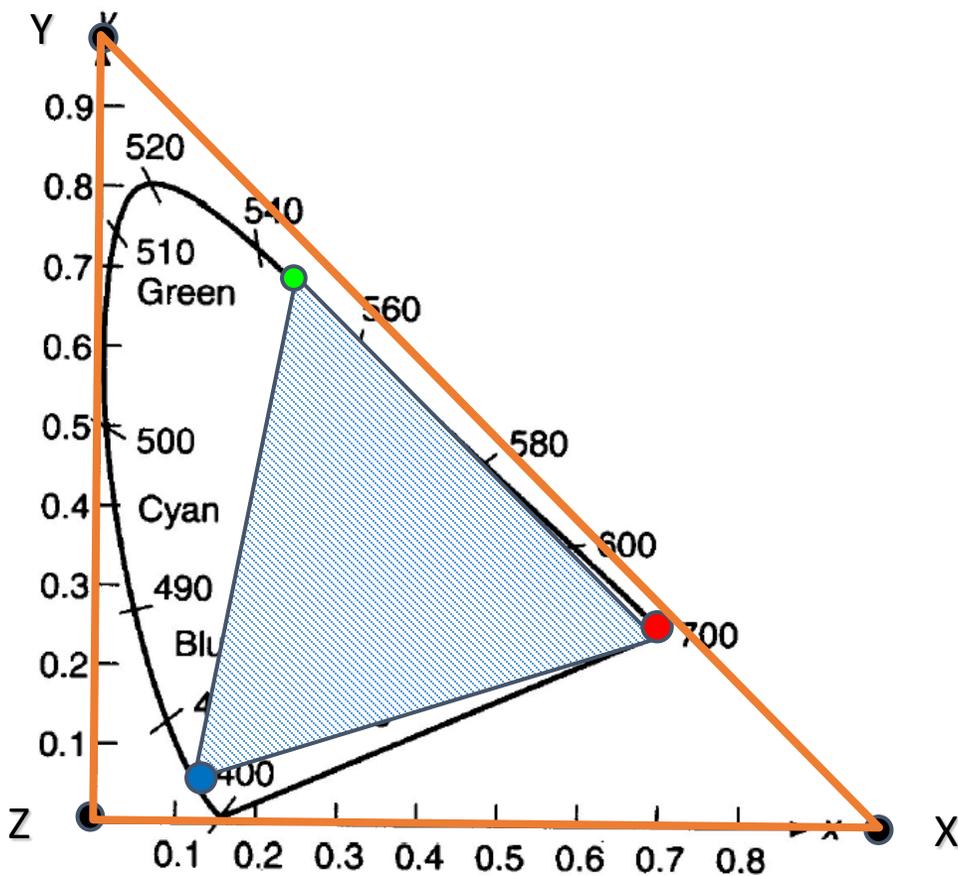
- Projeter l'espace 3D dans un plan  $X + Y + Z = 1 \rightarrow$  l'espace 2D



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

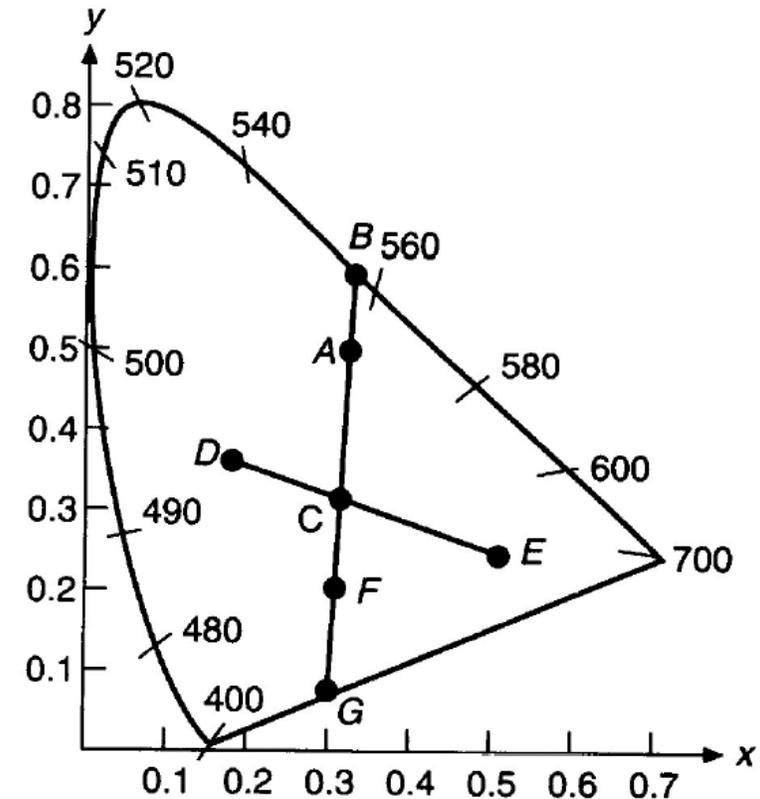
# RGB VS XYZ UNE AUTRE FOIS

Une autre explication pourquoi la courbe  $R$  parfois doit être négative

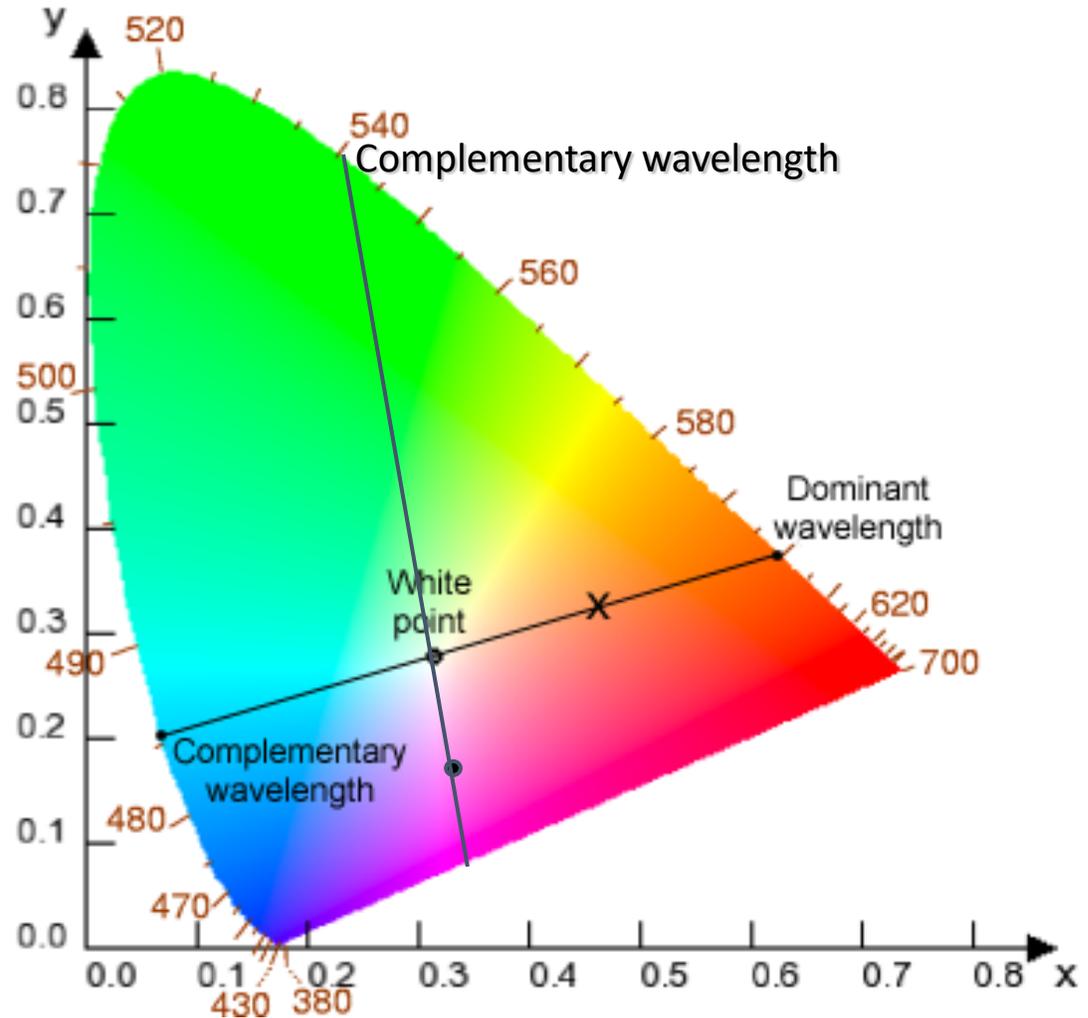


# UN DIAGRAMME DE CHROMATICITÉ CIE

- *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

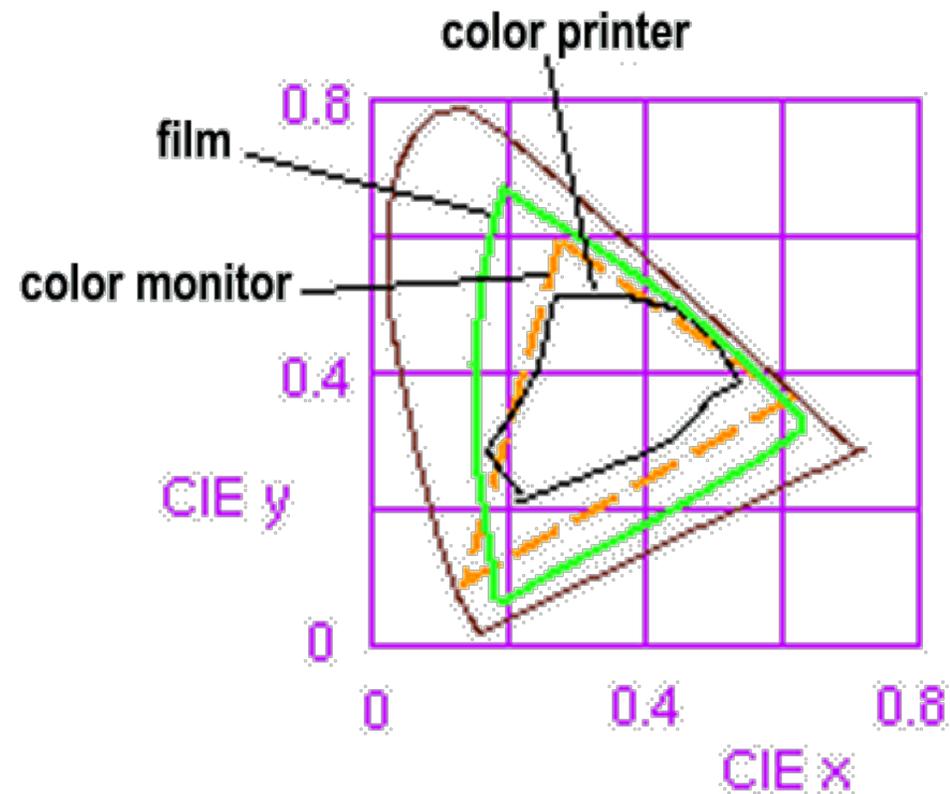
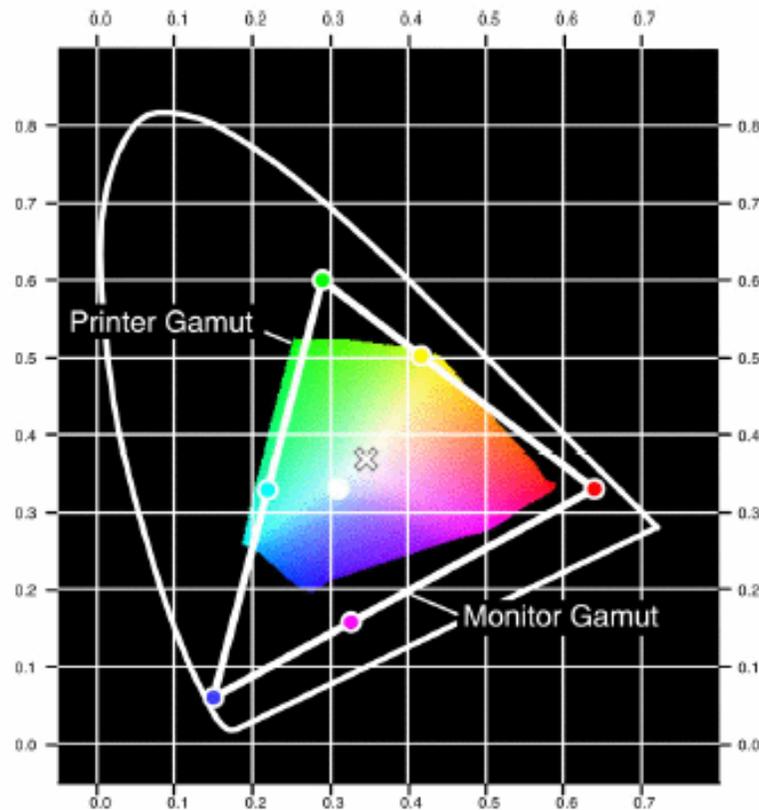


# UN DIAGRAMME DE CHROMATICITÉ CIE “FER À CHEVAL”

- 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

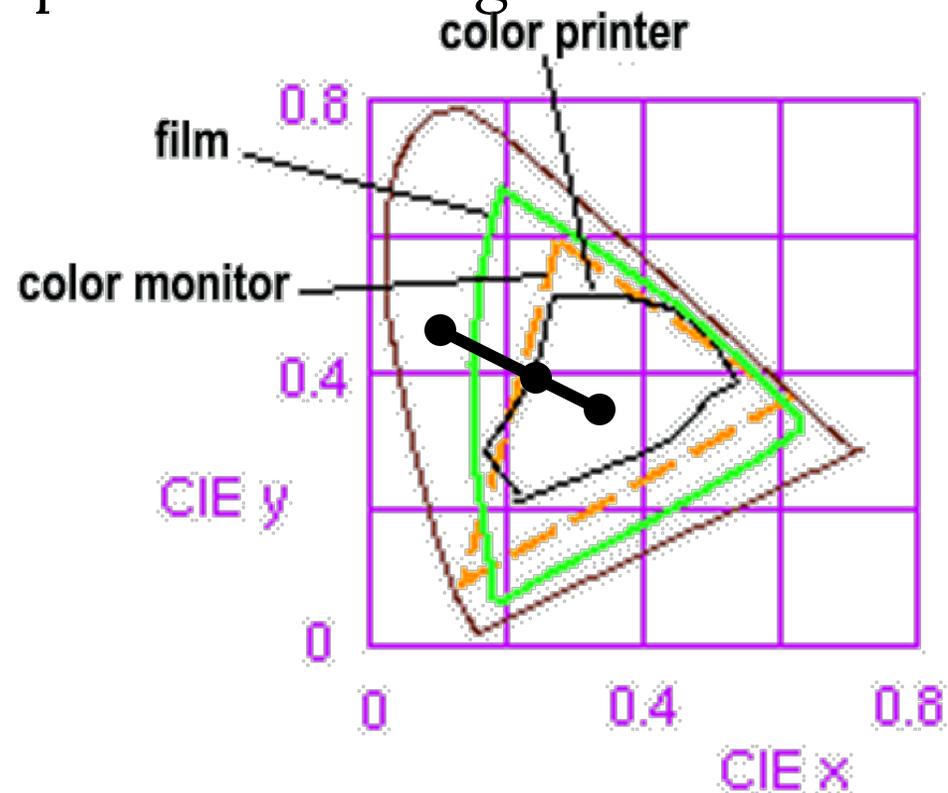
# LE GAMUT DE COULEURS

- 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

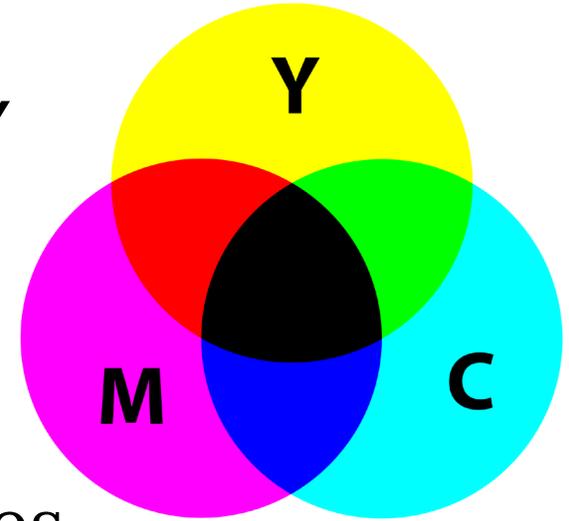


# UN MAPPING DE GAMUTS

- Comment gérer les couleur 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 COULEUR CMY

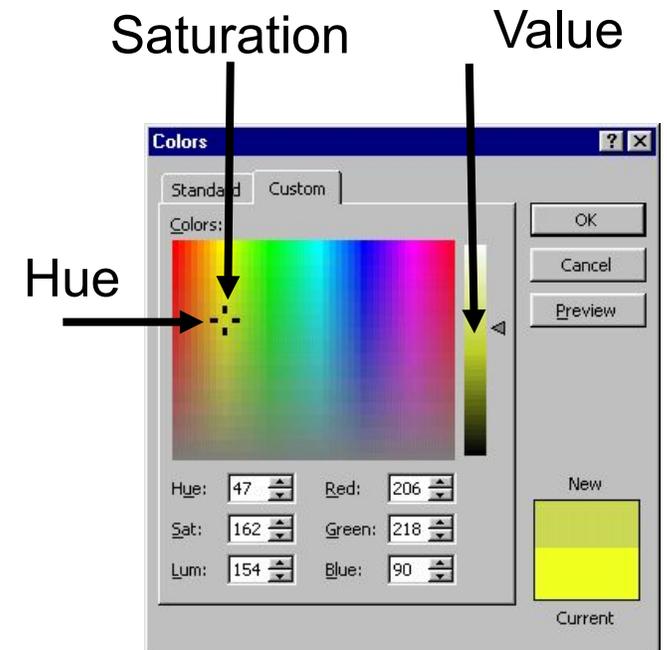
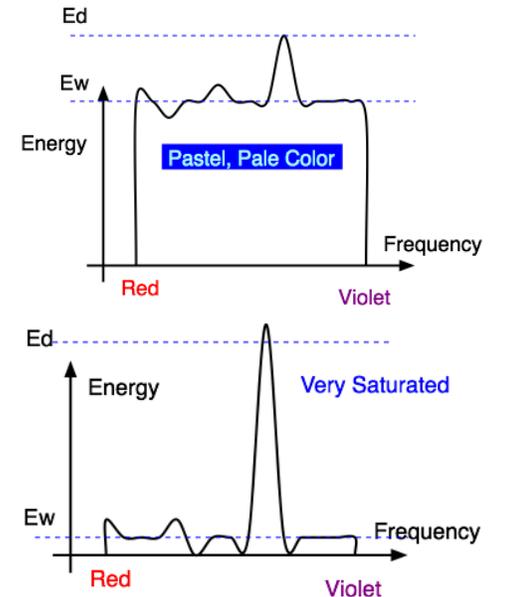
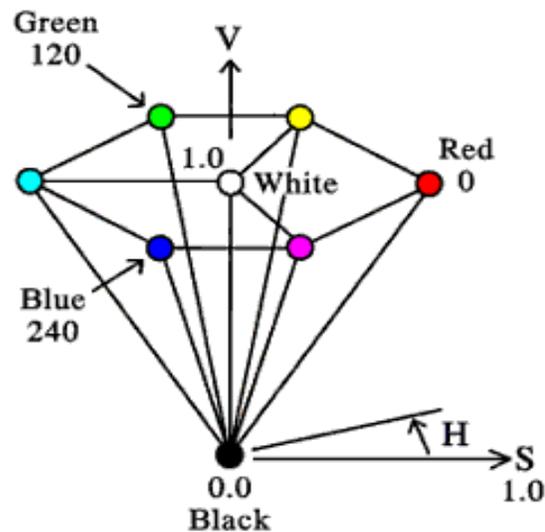


- Utilisé dans l'impression
  - La lumière est absorbée par les colorants
- Cyan (C), magenta (M) et jaune (Y), les primaires, sont les compléments de rouge, vert et bleu
- Les couleurs primaires sont soustraites du papier blanc
  - Rouge = Blanc-Cyan = Blanc-Vert-Bleu (0,1,1)
  - Vert = Blanc-Magenta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

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



# HSI/HSV ET RVB

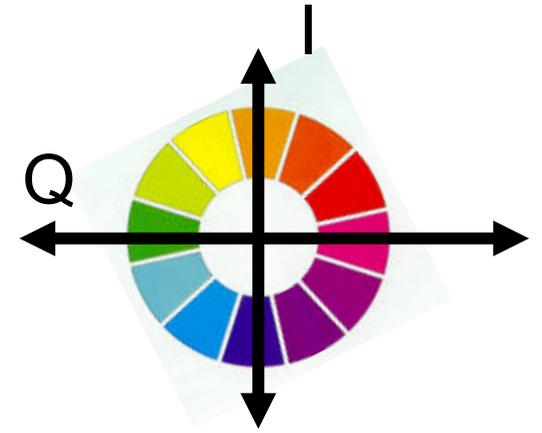
- La conversion à HSV/HSI de RVB est non linéaire
  - $H$  (la teinte) est la même
  - $V$  (la valeur) est le maximum,  $I$  (l'intensité) est la moyenne

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

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

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

# L'ESPACE DE COULEUR YIQ



Le modèle utilisé pour la TV

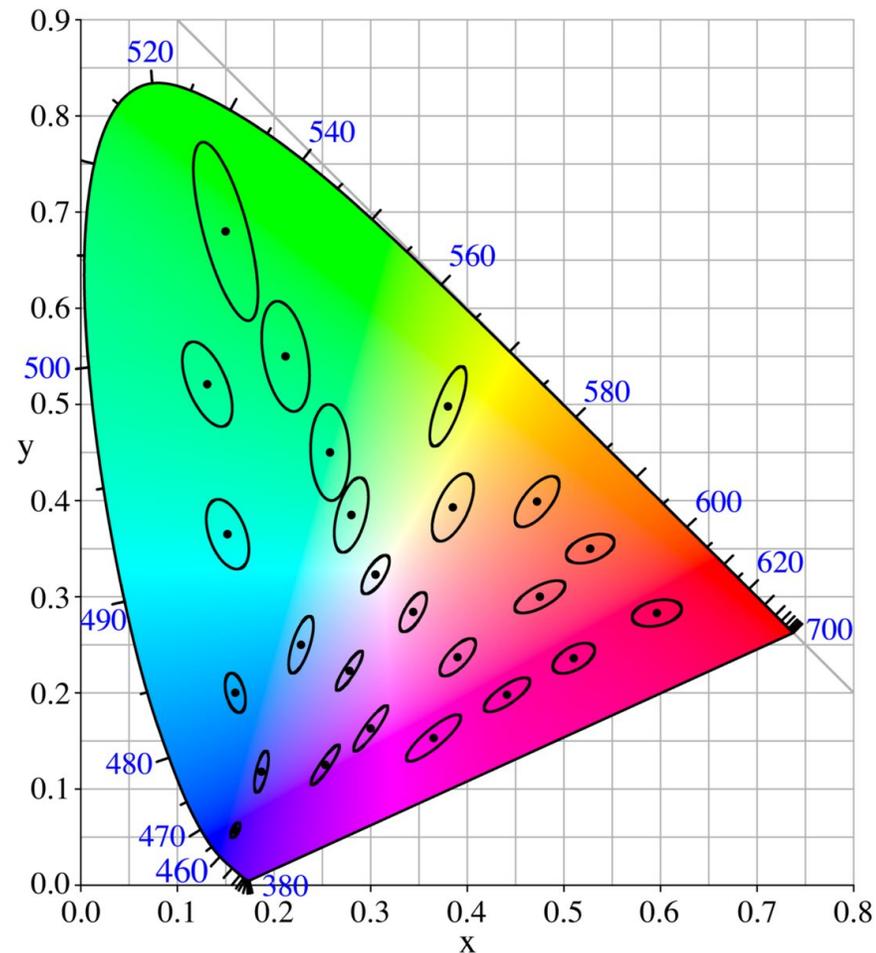
- Y est luminance (la même que dans CIE)
- I & Q sont la couleur (pas la même *I* comme dans HSI!)
- Grâce à Y, c'est rétrocompatible avec les TVs N/B
- L'approximation linéaire de la conversion de RVB

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

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

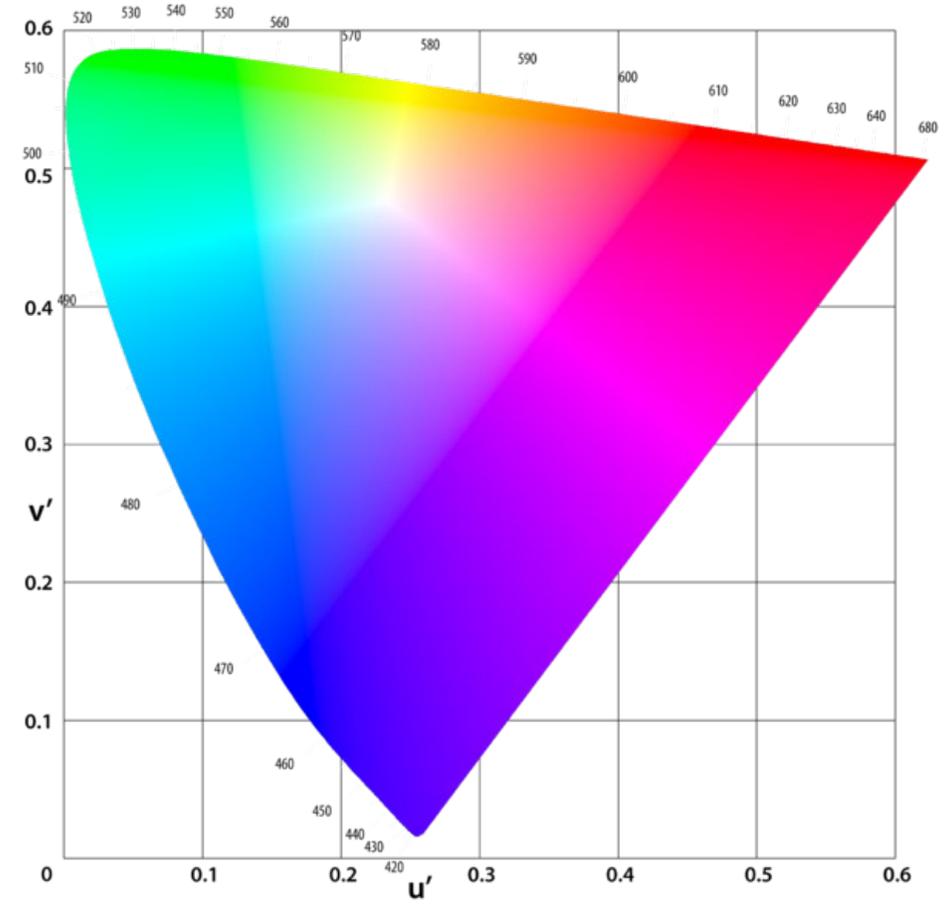
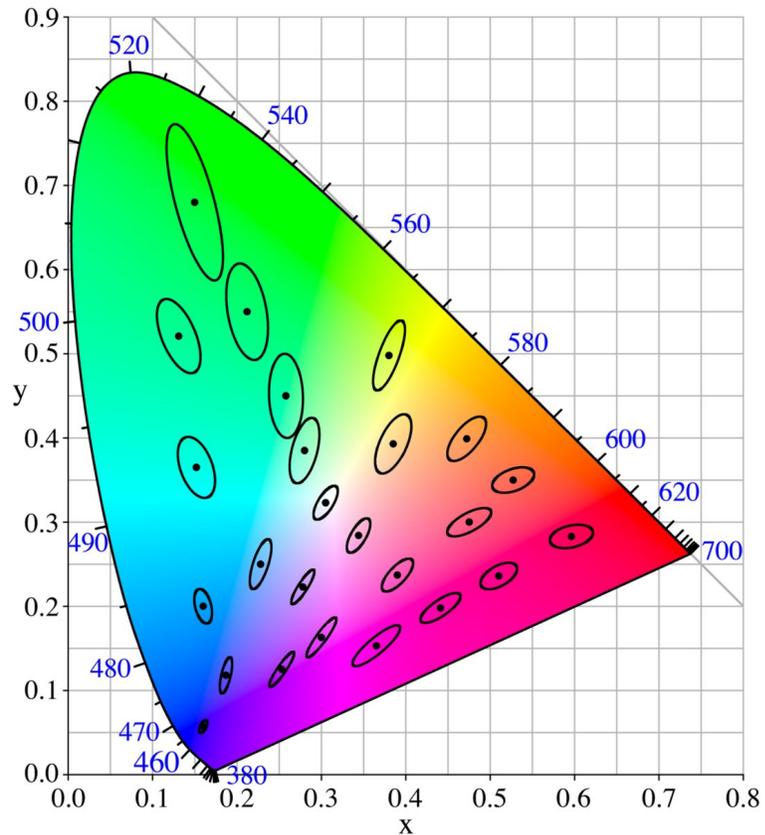
# L'ESPACE DE COULEUR LUV

- 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

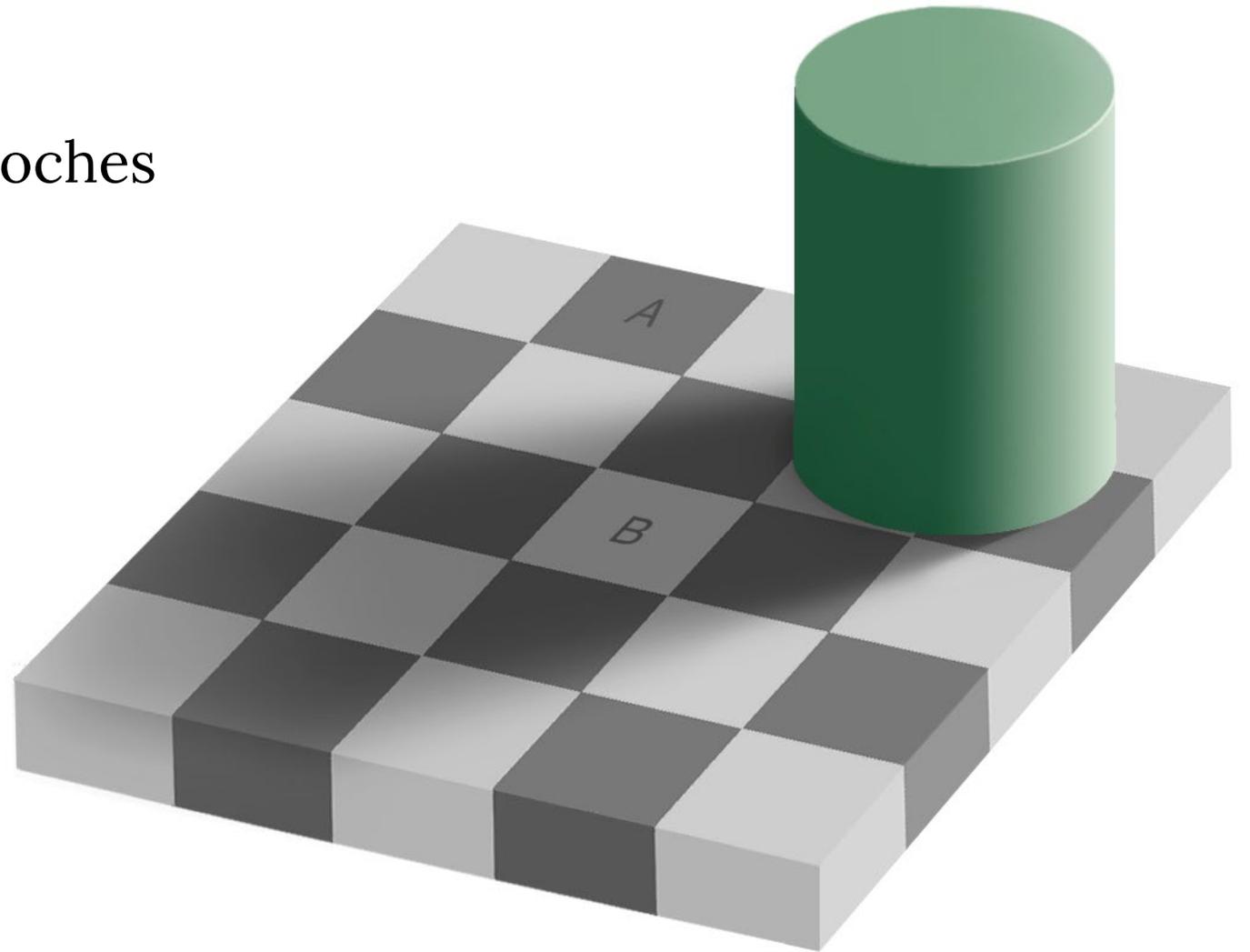


Tritanope

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?)