

Colorimétrie

Eric Marchand

Université de Rennes 1



Gelb-Rot-Blau, Kandinsky, 1925

Tout philosophe voit rouge quand il entend parler de couleurs.

Goethe

Combien de rouge pour “rouge de colère”

« rouge vif », « glColor3d (1.0, 0.78, 0.78); »

Peut être ! mais c'est VOTRE perception !

Une couleur peut elle être quantifiée numériquement ?

Une couleur peut elle être définie de manière unique et non ambiguë ?

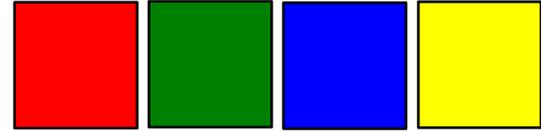
il y a t-il définition « classique » des couleurs ?



Homo Sapiens et les couleurs

Au départ tout est simple...

- quelques mots pour « rouge », « vert », « bleu », « jaune »,...
- premier code de couleurs pour ce que l'on nommera ensuite un « espace colorimétrique »



Mais c'est limité...

- Comment décrire les « 40 verts irlandais » ou la couleur d'un verre de bourgogne ?
- On ajoute les notions de « rouge cerise », « vert pomme », « bleu outremer »



Le langage atteint ses limites...

Homo Sapiens et les couleurs

Le langage est relatif :

- Les esquimaux savent dire 7 types de blancs
- les Maoris nomment une centaines de rouges...

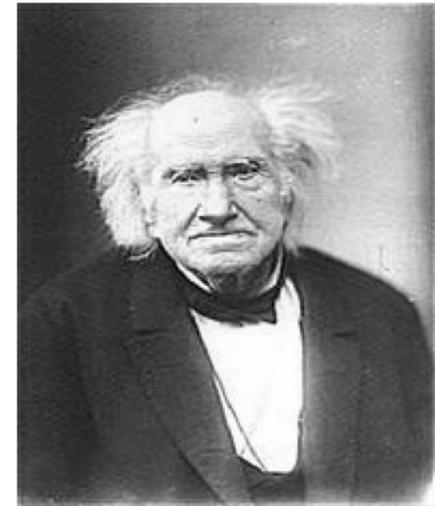


Peut-on baptiser de manière universelle, par des mots, les centaines de milliers de couleurs discernables par un observateur ?

Eugène Chevreul établit en 1864 un dictionnaire de 14400 nuances

- un acte désespéré...

Il faut un système plus universel



UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE

COLOR STANDARDS

for

FROZEN

FRENCH FRIED POTATOES



FOURTH EDITION, 1988
© 1988 KOLLMORGEN CORPORATION

MUNSELL COLOR
BALTIMORE, MARYLAND
64-1



De la Science Chromatique pour les élégants



Si vous ne voulez point discourir de chauses si hautes, vous philosophez sur les bas de chausses de la cour : sur un blu turquoise, un orenzé, feuille morte, isabelle, zizoulin, coulur du Roy, minime, tristamie, ventre de biche (ou de Nonain, si vous voulez), amarante, nacarade, pensée, fleur de seigle, grisdelin, gris d'esté, orangé, pastel, espagnol malade, céladon, astrée, face grattée, couleur de rat, fleur de pesché, fleur mourante, verd naissant, verd gay, verd brun, verd de mer, verd de pré, ... , de temps perdu, fiammette, de soulphe, de la faveur, couleur de pain bis, couleur de constipé, couleur de faute de pisser, jus de nature, singe envenimé, ris de guenon, trespasé-revenu, Espagnol mourant, couleur de baize-moi-ma-mignonne, couleur de péché mortel, couleur de crystaline, couleur de bœuf enfumé, de jambons communs, de soulcys, de désirs amoureux, de racleurs de cheminée.

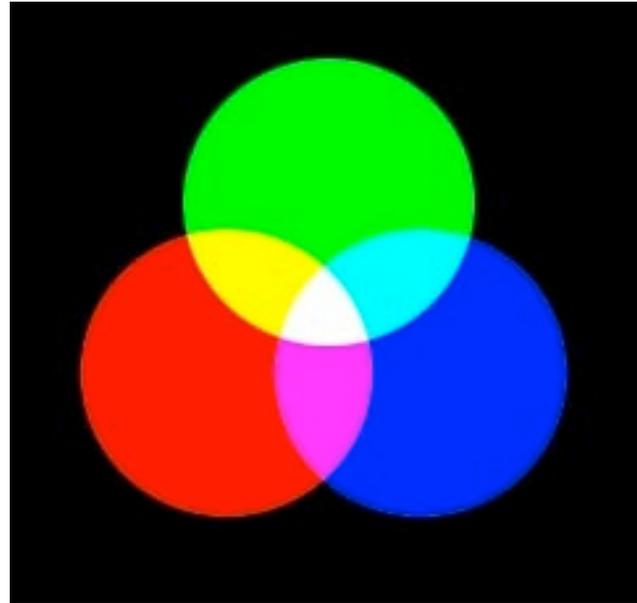
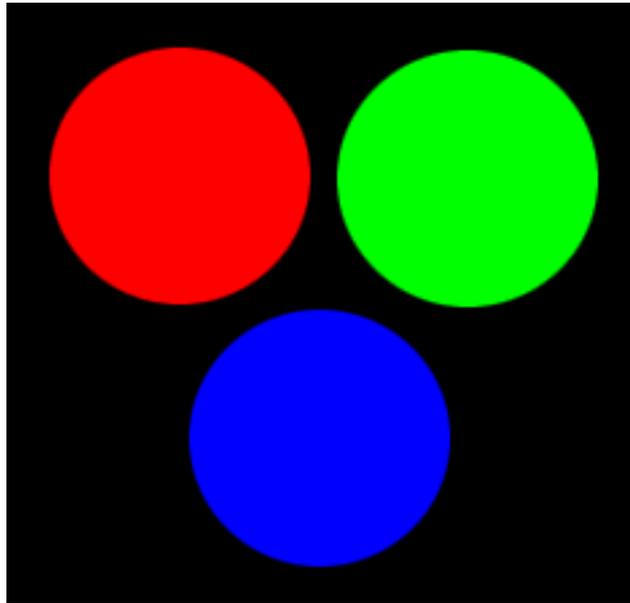
J'ay ouy dire à Guedron que toutes ces couleurs s'appellent la science de Cromaticque, et que doresnavant on s'abilleroit de couleur de physique, comme de jambes pourries, de nez chancreux, bouches puantes, yeux chacieux, testesgaleuses, perruques de pendus, et le tout à la mode, sans y comprendre les couleurs de Rhétorique, et m'a dit qu'il se falloit garder de la couleur d'amitié. »

Les Aventures de Faeneste, Agrippé d'Aubigné 1680

Vers des édifices mathématiques et informatique pour mesurer les couleurs

Le modèle RGB (ou RVB)

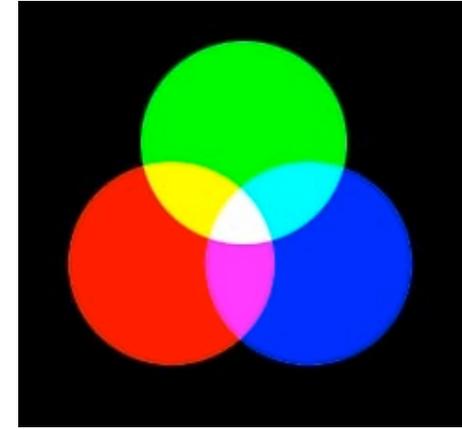
- pour coder la couleur il suffit de 3 nombres mesurant les quantités de rouge de vert et de bleu
- avec un codage sur 8 bits, on peut coder $256 \times 256 \times 256$ (soit plus de 16 millions) de couleurs.



Vers des édifices mathématiques et informatique pour mesurer les couleurs

Le modèle RGB (ou RVB)

- pour coder la couleur il suffit de 3 nombres mesurant les quantités de rouge de vert et de bleu
- avec un codage sur 8 bits, on peut coder $256 \times 256 \times 256$ (soit plus de 16 millions) de couleurs.



Les informaticiens ont la fatuité de les appeler « couleurs vraies »

Pour atteindre les capacités humaines de discernement visuel il faudrait coder les couleurs sur au moins 12 bits par composante...

RGB

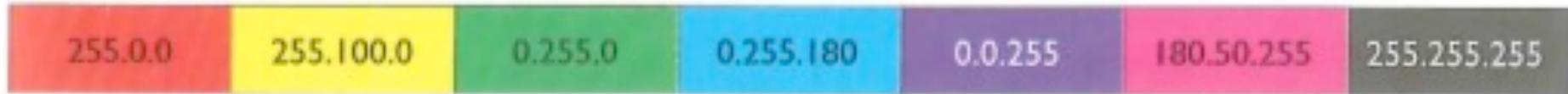


Image RVB



Couche Rouge



Couche Verte



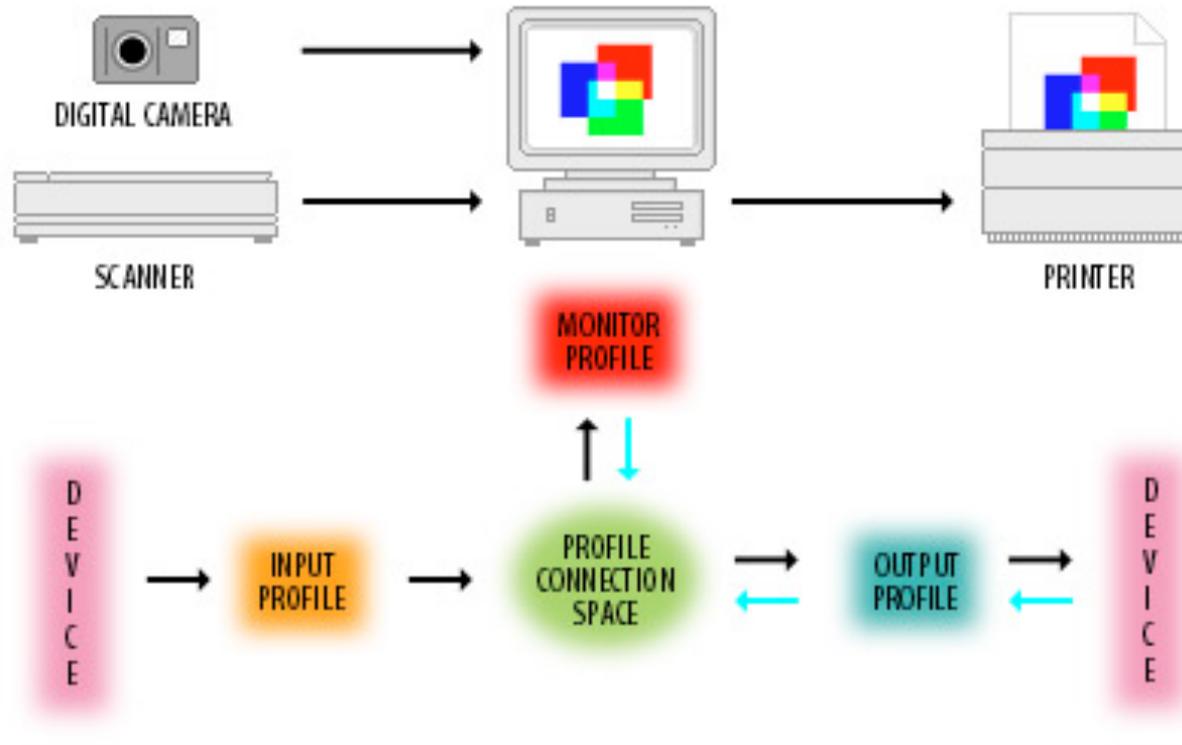
Couche Bleue

990033 R: 153 G: 000 B: 051	FF3366 R: 255 G: 051 B: 102	CC0033 R: 204 G: 000 B: 051	FF0033 R: 255 G: 000 B: 051	FF9999 R: 255 G: 153 B: 153	CC3366 R: 204 G: 051 B: 102	FFCCFF R: 255 G: 204 B: 255	CC6699 R: 204 G: 051 B: 153	993366 R: 153 G: 051 B: 102	660033 R: 102 G: 000 B: 051	CC3399 R: 204 G: 051 B: 153	FF99CC R: 255 G: 153 B: 204	FF66CC R: 255 G: 102 B: 204	FF99FF R: 255 G: 153 B: 255	FF6699 R: 255 G: 102 B: 153	CC0066 R: 204 G: 000 B: 102
FF0066 R: 255 G: 000 B: 102	FF3399 R: 255 G: 051 B: 153	FF0099 R: 255 G: 000 B: 153	FF33CC R: 255 G: 051 B: 204	FF00CC R: 255 G: 000 B: 204	FF66FF R: 255 G: 102 B: 255	FF33FF R: 255 G: 051 B: 255	FF00FF R: 255 G: 000 B: 255	CC0099 R: 204 G: 000 B: 153	990066 R: 153 G: 000 B: 102	CC66CC R: 204 G: 102 B: 204	CC33CC R: 204 G: 051 B: 204	CC99FF R: 204 G: 153 B: 255	CC66FF R: 204 G: 102 B: 255	CC33FF R: 204 G: 051 B: 255	993399 R: 153 G: 051 B: 153
CC00CC R: 204 G: 000 B: 204	CC00FF R: 204 G: 000 B: 255	9900CC R: 153 G: 000 B: 204	990099 R: 153 G: 000 B: 153	CC99CC R: 204 G: 153 B: 204	996699 R: 153 G: 102 B: 153	663366 R: 102 G: 051 B: 102	660099 R: 102 G: 000 B: 153	9933CC R: 153 G: 051 B: 204	660066 R: 102 G: 000 B: 102	9900FF R: 153 G: 000 B: 255	9933FF R: 153 G: 051 B: 255	9966CC R: 153 G: 102 B: 204	330033 R: 051 G: 000 B: 051	663399 R: 102 G: 051 B: 153	6633CC R: 102 G: 051 B: 204
6600CC R: 102 G: 000 B: 204	9966FF R: 153 G: 102 B: 255	330066 R: 051 G: 000 B: 102	6600FF R: 102 G: 000 B: 255	6633FF R: 102 G: 051 B: 255	CCCCFF R: 204 G: 204 B: 255	9999FF R: 153 G: 153 B: 255	9999CC R: 153 G: 153 B: 204	6666CC R: 102 G: 102 B: 204	6666FF R: 102 G: 102 B: 255	666699 R: 102 G: 102 B: 153	333366 R: 051 G: 051 B: 102	333399 R: 051 G: 051 B: 153	330099 R: 051 G: 000 B: 153	3300CC R: 051 G: 000 B: 204	3300FF R: 051 G: 000 B: 255
3333FF R: 051 G: 051 B: 255	3333CC R: 051 G: 051 B: 204	0066FF R: 000 G: 102 B: 255	0033FF R: 000 G: 051 B: 255	3366FF R: 051 G: 102 B: 255	3366CC R: 051 G: 102 B: 204	000066 R: 000 G: 000 B: 102	000033 R: 000 G: 000 B: 051	0000FF R: 000 G: 000 B: 255	000099 R: 000 G: 000 B: 153	0033CC R: 000 G: 051 B: 204	0000CC R: 000 G: 000 B: 204	336699 R: 051 G: 102 B: 153	0066CC R: 051 G: 102 B: 204	99CCFF R: 153 G: 204 B: 255	6699FF R: 102 G: 153 B: 255
003366 R: 000 G: 051 B: 102	6699CC R: 102 G: 153 B: 204	006699 R: 000 G: 102 B: 153	3399CC R: 051 G: 153 B: 204	0099CC R: 000 G: 153 B: 204	66CCFF R: 102 G: 204 B: 255	3399FF R: 051 G: 153 B: 153	003399 R: 000 G: 051 B: 153	0099FF R: 000 G: 153 B: 255	33CCFF R: 051 G: 204 B: 255	00CCFF R: 000 G: 204 B: 255	99FFFF R: 153 G: 255 B: 255	66FFFF R: 102 G: 255 B: 255	33FFFF R: 051 G: 255 B: 255	00FFFF R: 000 G: 255 B: 255	00CCCC R: 000 G: 204 B: 204
009999 R: 000 G: 153 B: 153	669999 R: 102 G: 153 B: 153	99CCCC R: 153 G: 204 B: 204	CCFFFF R: 204 G: 255 B: 255	33CCCC R: 051 G: 204 B: 204	66CCCC R: 102 G: 204 B: 204	339999 R: 051 G: 153 B: 153	336666 R: 051 G: 102 B: 102	006666 R: 000 G: 102 B: 102	003333 R: 000 G: 051 B: 051	00FFCC R: 000 G: 255 B: 204	33FFCC R: 051 G: 255 B: 204	33CC99 R: 051 G: 204 B: 153	00CC99 R: 000 G: 204 B: 153	66FFCC R: 102 G: 255 B: 204	99FFCC R: 153 G: 255 B: 204
00FF99 R: 000 G: 255 B: 153	339966 R: 051 G: 153 B: 102	006633 R: 000 G: 102 B: 051	336633 R: 051 G: 102 B: 051	669966 R: 102 G: 153 B: 102	66CC66 R: 102 G: 204 B: 102	99FF99 R: 153 G: 255 B: 153	66FF66 R: 102 G: 255 B: 102	339933 R: 051 G: 153 B: 051	99CC99 R: 153 G: 204 B: 153	66FF99 R: 102 G: 255 B: 153	33FF99 R: 051 G: 255 B: 153	33CC66 R: 051 G: 204 B: 102	00CC66 R: 000 G: 204 B: 102	66CC99 R: 102 G: 204 B: 153	009966 R: 000 G: 153 B: 102
009933 R: 000 G: 153 B: 051	33FF66 R: 051 G: 255 B: 102	00FF66 R: 000 G: 255 B: 102	CCFFCC R: 204 G: 255 B: 204	CCFF99 R: 204 G: 255 B: 153	99FF66 R: 153 G: 255 B: 102	99FF33 R: 153 G: 255 B: 051	00FF33 R: 000 G: 255 B: 051	33FF33 R: 051 G: 255 B: 051	00CC33 R: 000 G: 204 B: 051	33CC33 R: 051 G: 204 B: 051	66FF33 R: 102 G: 255 B: 051	00FF00 R: 000 G: 255 B: 000	66CC33 R: 102 G: 204 B: 051	006600 R: 000 G: 102 B: 000	003300 R: 000 G: 051 B: 000
009900 R: 000 G: 153 B: 000	33FF00 R: 051 G: 255 B: 000	66FF00 R: 102 G: 255 B: 000	99FF00 R: 153 G: 255 B: 000	66CC00 R: 102 G: 204 B: 000	00CC00 R: 000 G: 204 B: 000	33CC00 R: 051 G: 204 B: 000	339900 R: 051 G: 153 B: 000	99CC66 R: 153 G: 204 B: 102	669933 R: 102 G: 153 B: 051	99CC33 R: 153 G: 204 B: 051	336600 R: 051 G: 102 B: 000	669900 R: 102 G: 153 B: 000	99CC00 R: 153 G: 204 B: 000	CCFF66 R: 204 G: 255 B: 102	CCFF33 R: 204 G: 255 B: 051
CCFF00 R: 204 G: 255 B: 000	999900 R: 153 G: 153 B: 000	CCCC00 R: 204 G: 204 B: 000	CCCC33 R: 204 G: 204 B: 051	333300 R: 051 G: 051 B: 000	666600 R: 102 G: 102 B: 000	999933 R: 153 G: 153 B: 051	CCCC66 R: 204 G: 204 B: 102	666633 R: 102 G: 102 B: 051	999966 R: 153 G: 153 B: 102	CCCC99 R: 204 G: 204 B: 153	FFFFCC R: 255 G: 255 B: 204	FFFF99 R: 255 G: 255 B: 153	FFFF66 R: 255 G: 255 B: 102	FFFF33 R: 255 G: 255 B: 051	FFFF00 R: 255 G: 255 B: 000
FFCC00 R: 255 G: 204 B: 000	FFCC66 R: 255 G: 204 B: 102	FFCC33 R: 255 G: 204 B: 051	CC9933 R: 204 G: 153 B: 051	996600 R: 153 G: 102 B: 000	CC9900 R: 204 G: 153 B: 000	FF9900 R: 255 G: 153 B: 000	CC6600 R: 204 G: 102 B: 000	993300 R: 153 G: 051 B: 000	CC6633 R: 204 G: 102 B: 051	663300 R: 102 G: 051 B: 000	FF9966 R: 255 G: 153 B: 102	FF6633 R: 255 G: 102 B: 051	FF9933 R: 255 G: 153 B: 000	FF6600 R: 255 G: 102 B: 000	CC3300 R: 204 G: 051 B: 000
996633 R: 153 G: 102 B: 051	330000 R: 051 G: 000 B: 000	663333 R: 102 G: 051 B: 051	996666 R: 153 G: 102 B: 102	CC9999 R: 204 G: 153 B: 153	993333 R: 153 G: 051 B: 051	CC6666 R: 204 G: 102 B: 102	FFCCCC R: 255 G: 204 B: 204	FF3333 R: 255 G: 051 B: 051	CC3333 R: 204 G: 051 B: 051	FF6666 R: 255 G: 102 B: 102	660000 R: 102 G: 000 B: 000	990000 R: 153 G: 000 B: 000	CC0000 R: 204 G: 000 B: 000	FF0000 R: 255 G: 000 B: 000	FF3300 R: 255 G: 051 B: 000
CC9966 R: 204 G: 153 B: 102	FFCC99 R: 255 G: 204 B: 153	FFFFFF R: 255 G: 255 B: 255	CCCCCC R: 204 G: 204 B: 204	999999 R: 153 G: 153 B: 153	666666 R: 102 G: 102 B: 102	333333 R: 051 G: 051 B: 051	000000 R: 000 G: 000 B: 000								

Colorimétrie

Sous le nom de colorimétrie, on rassemble les théories et les pratiques dont le but est de mesurer et codifier les couleurs perçues par la vision humaine

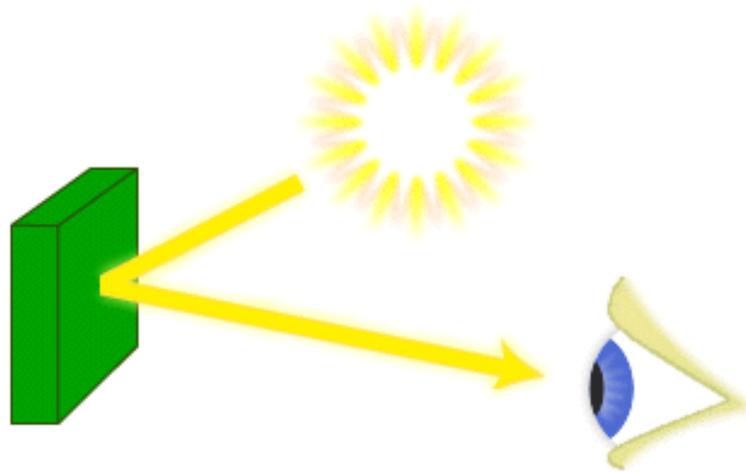
Pourquoi une gestion des couleurs ?



Source lumineuse, objet, observateur

La couleur c'est la perception...

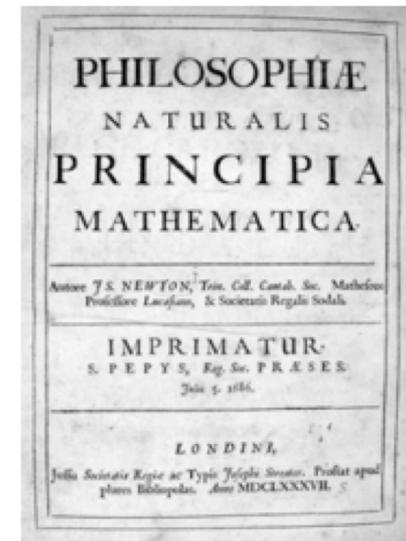
Une définition raisonnable est de définir la couleur comme la réponse de l'oeil à différentes longueurs d'onde de la lumière



Sir Isaac Newton

Philosophe, mathématicien, physicien, alchimiste et astronome

- le calcul infinitésimal,
- la méthode de Newton (optimisation),
- mouvement des objets sur Terre et des corps célestes,
- ses controverses avec Leibniz,
- la loi universelle de la gravitation, la mécanique « classique », et ...



Sir Isaac Newton

Philosophe, mathématicien, physicien, alchimiste et astronome

- le calcul infinitésimal,
- la méthode de Newton (optimisation),
- mouvement des objets sur Terre et des corps célestes,
- ses controverses avec Leibniz,
- la loi universelle de la gravitation, la mécanique « classique », et ...

la pomme ...

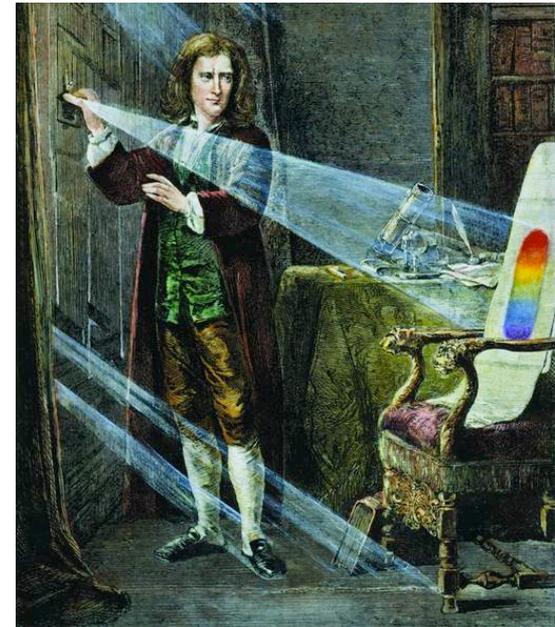
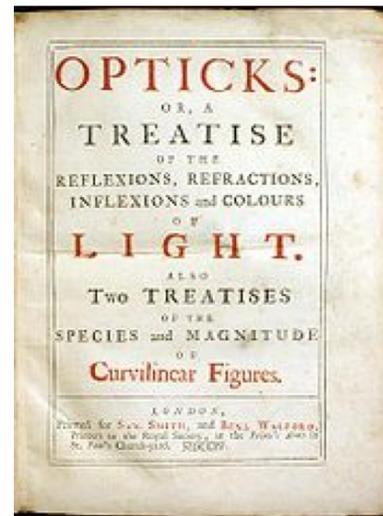


Sir Isaac Newton

philosophe, mathématicien, physicien, alchimiste et astronome

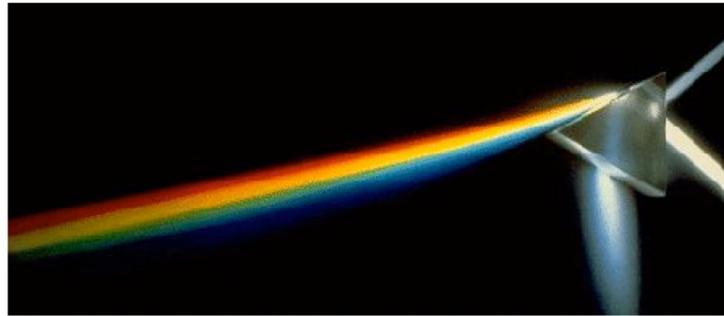
- le calcul infinitésimal,
- la méthode de Newton (optimisation),
- mouvement des objets sur Terre et des corps célestes,
- ses controverses avec Leibniz,
- la loi universelle de la gravitation, la mécanique « classique », et ...

la pomme
et la couleur

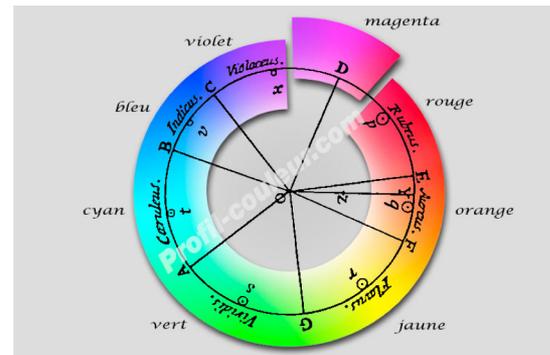


Le prisme de Newton

D'après l'expérience de Newton en 1666, une lumière blanche se décompose en une succession de lumières colorées lorsque elle passe au travers d'un prisme.



Ainsi une source de lumière, pourra être qualifiée par son spectre d'émission qui donne la proportion de chacune des lumières colorées dans la source.



Le disque de Newton

On fait tourner le disque, les différents secteurs viennent former successivement leur image sur les mêmes points de la rétine, et par suite de la persistance des impressions lumineuses, les couleurs se superposent et... le disque paraît blanc.

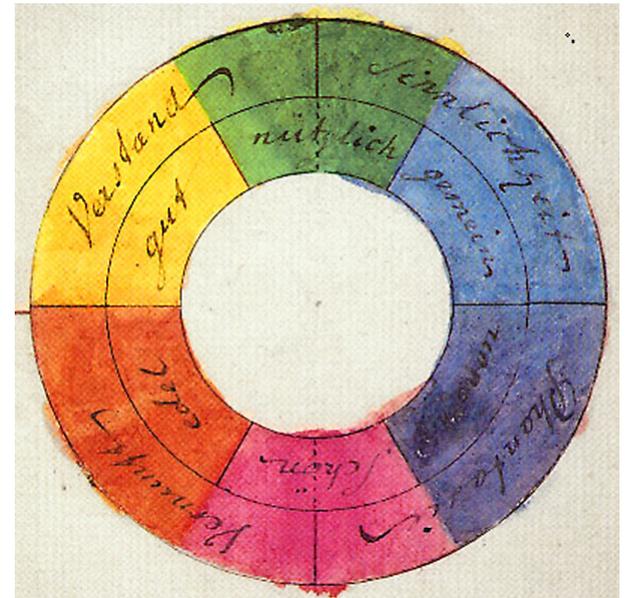


Explications : la superposition de toutes les couleurs du spectre solaire reproduit la lumière blanche.

Goethe et la théorie des couleurs opposées

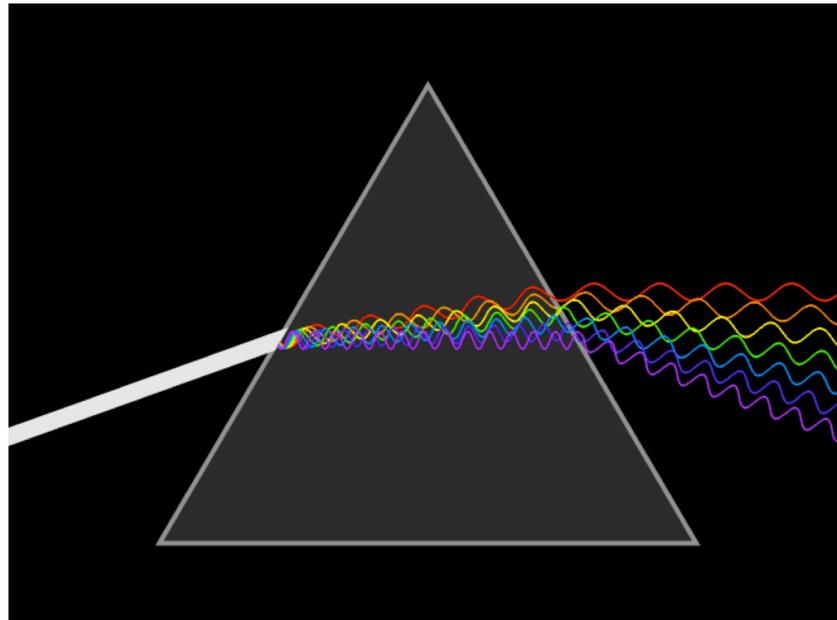
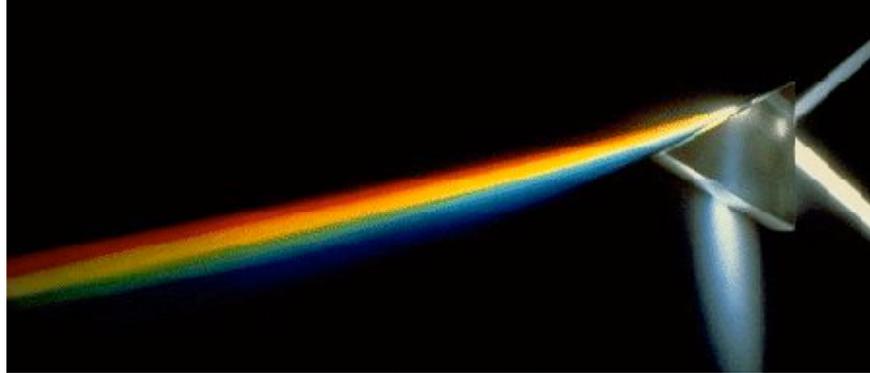
Bien que les mélanges soient obtenus dans un système trichromatique, Goethe partage son cercle en quatre parties fondamentales :

- A gauche, le côté positif (pur) formé de 2 familles de couleurs les jaunes et les rouges.
- A droite, le côté négatif (obscur) formé de 2 familles les bleus et les pourpres.



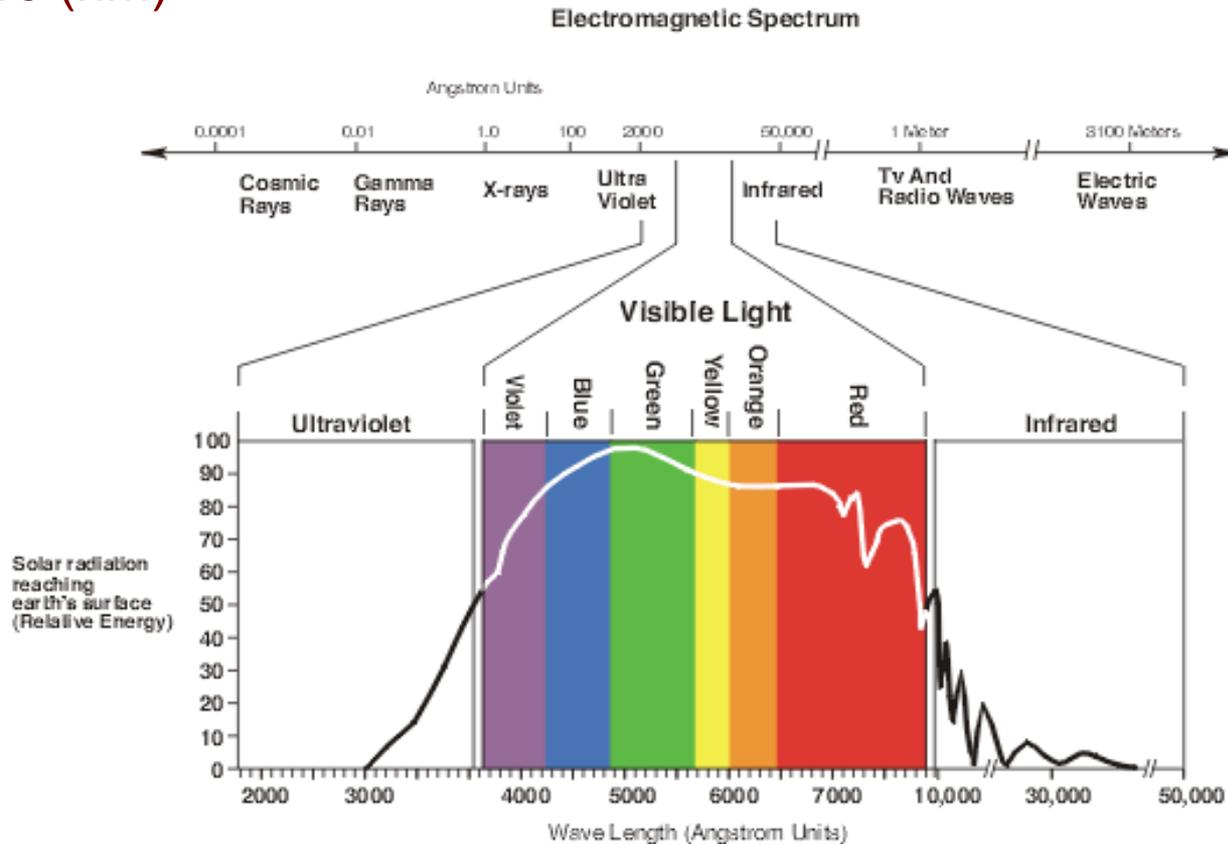
Aquarelle de la propre main de Goethe. 1808.

Le spectre de couleur

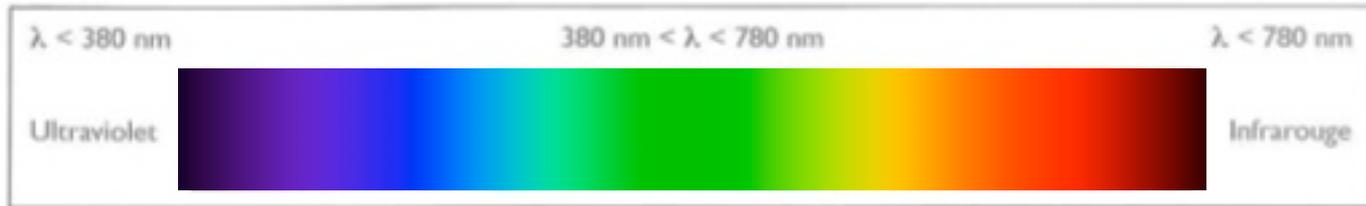


Le spectre de couleur

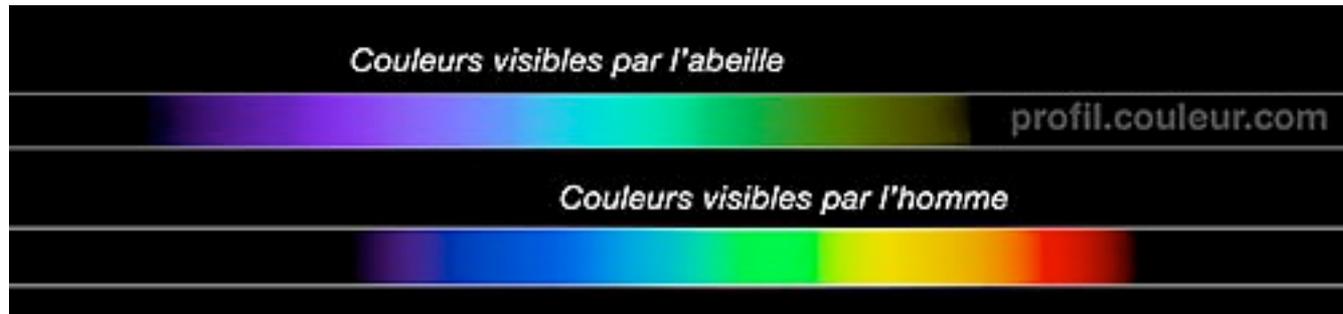
La couleur d'une lumière est déterminée par sa longueur d'onde λ exprimée en nanomètre (nm)



Spectre visible

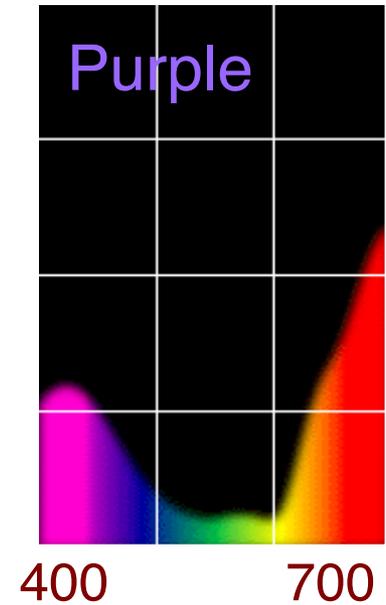
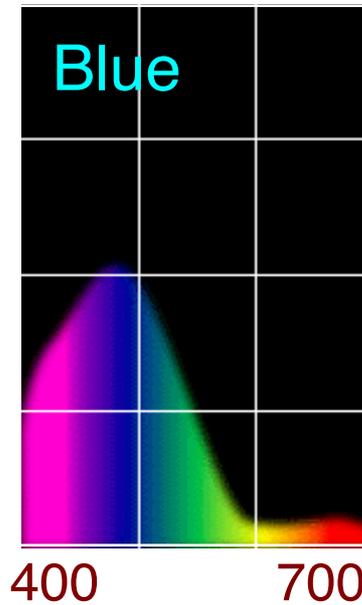
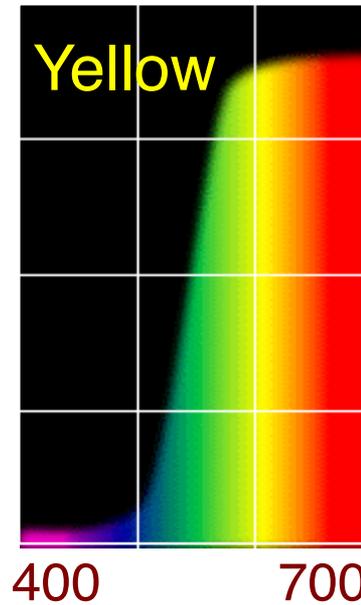
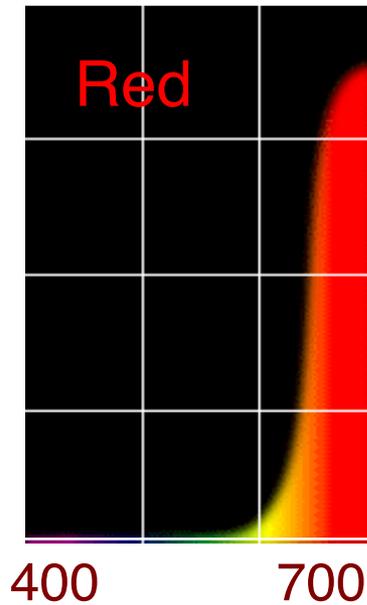


Spectre visible encadré par l'ultraviolet et l'infrarouge



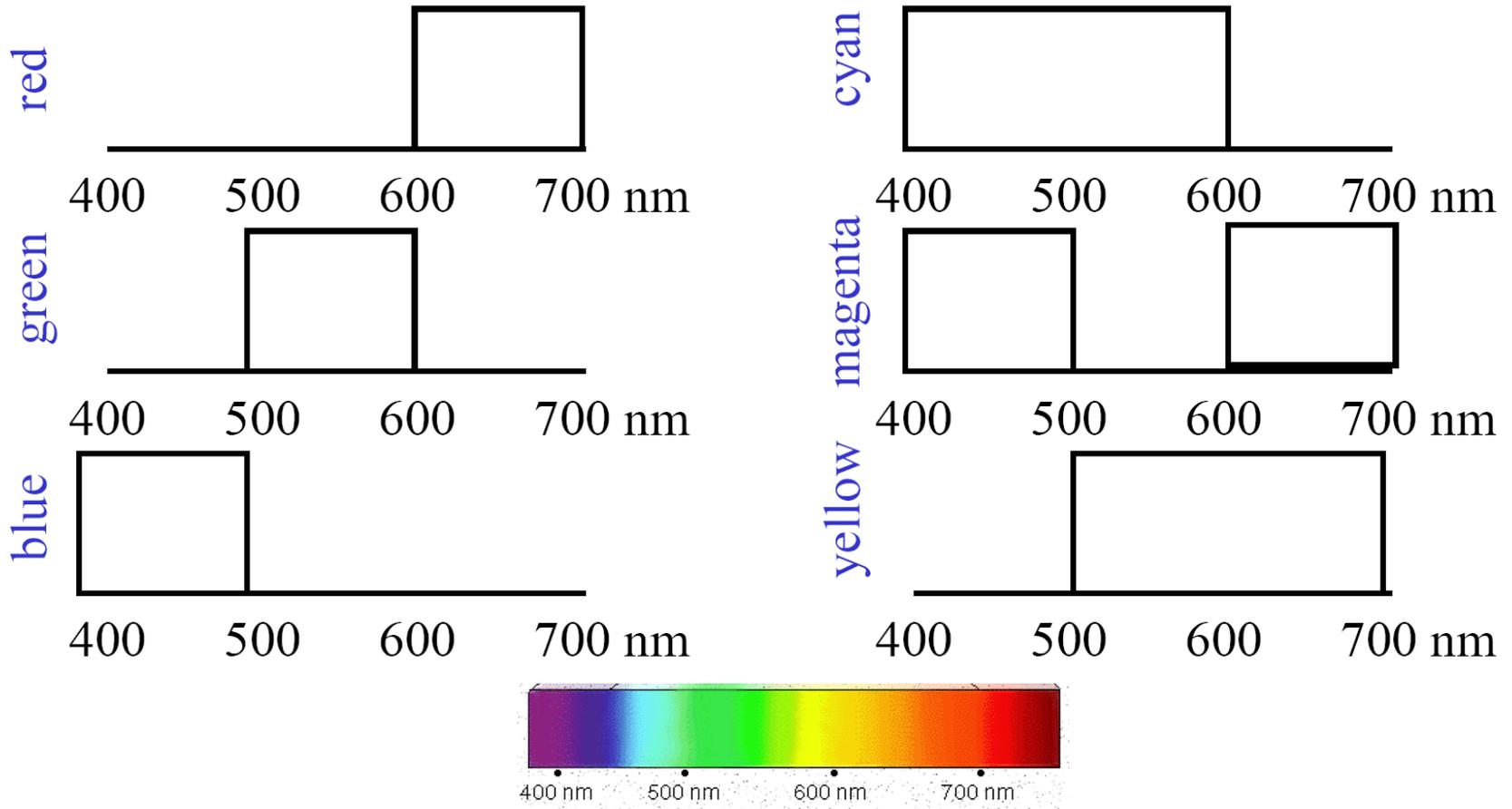
Le spectre d'une couleur

Exemple de distribution spectrale de certaines surfaces

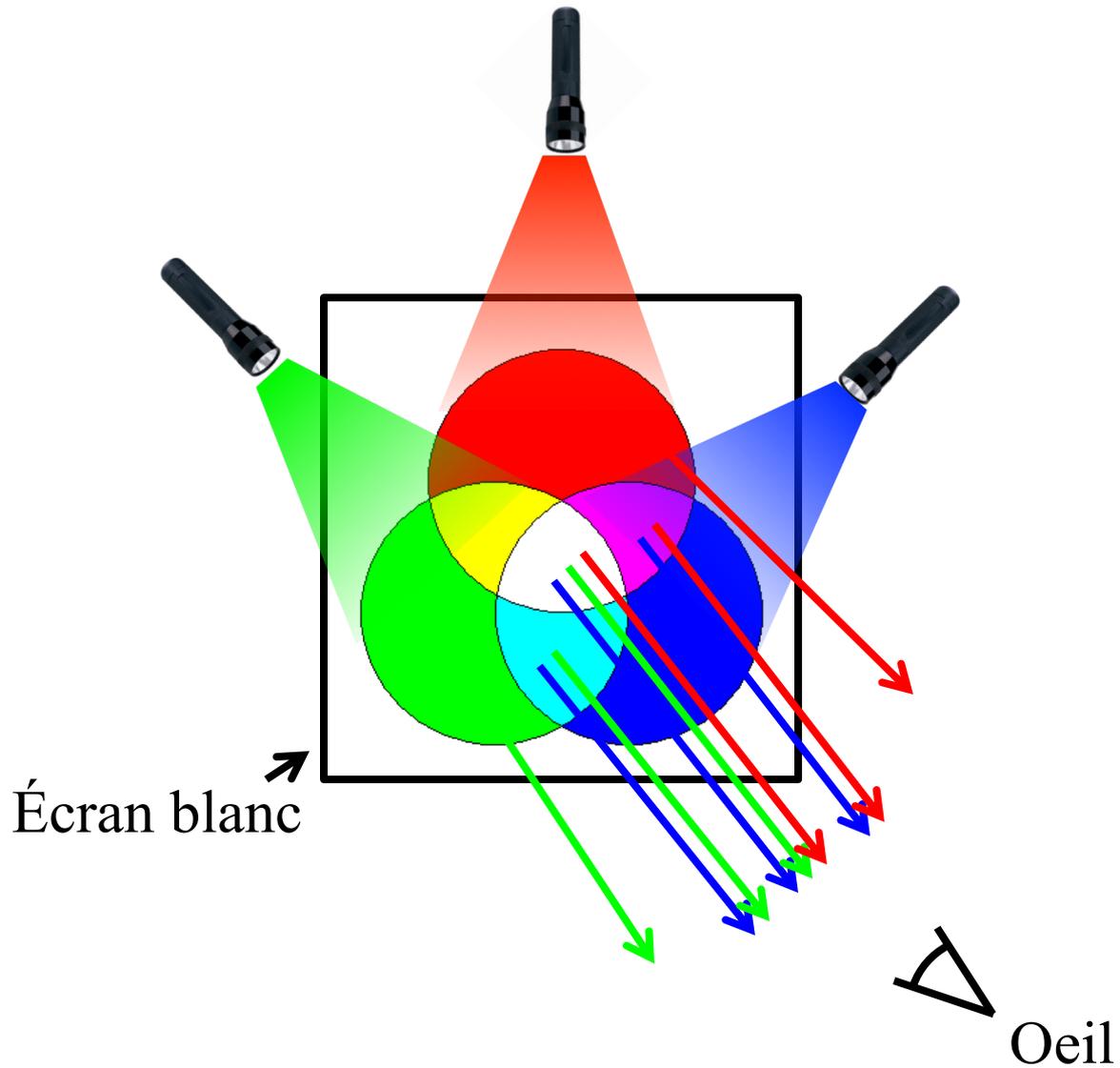


longueur d'onde(nm)

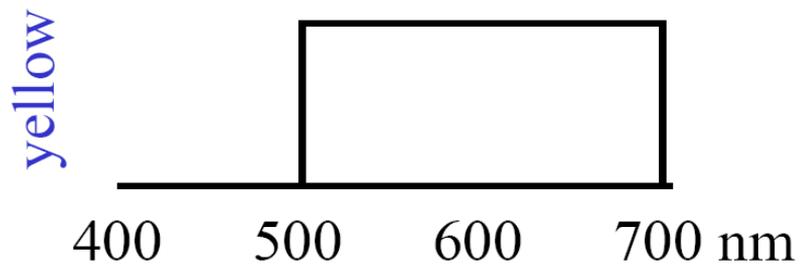
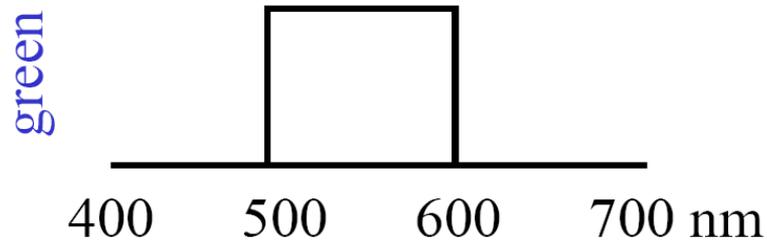
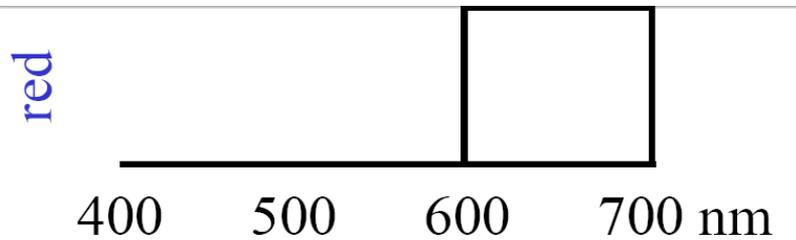
Color mixing



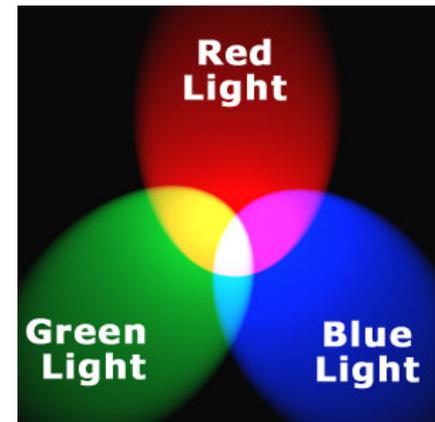
Mélange additif de couleurs



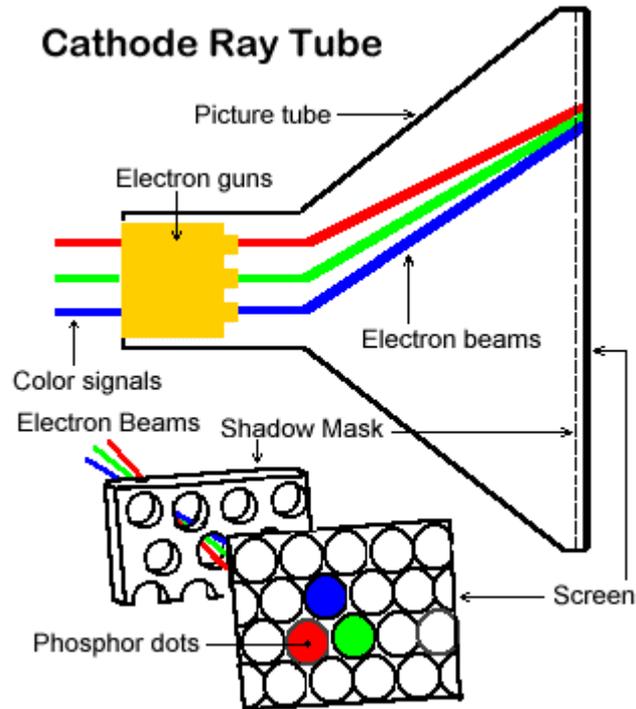
Mélange additif des couleurs



Les couleurs se combinent
par addition des spectres



Mélange additif des couleurs

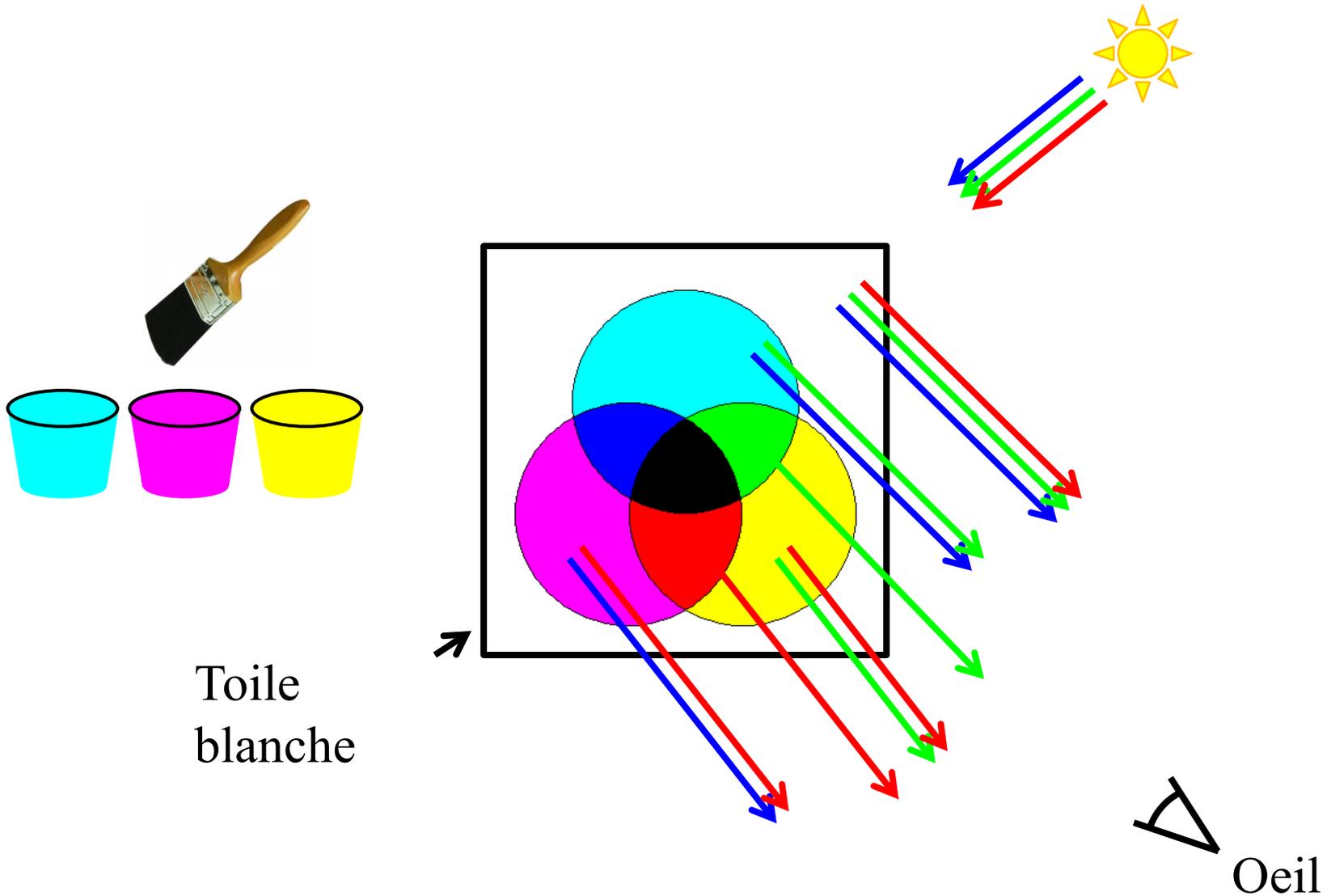


CRT phosphors

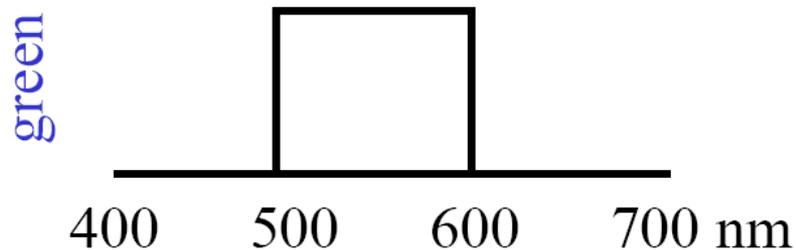
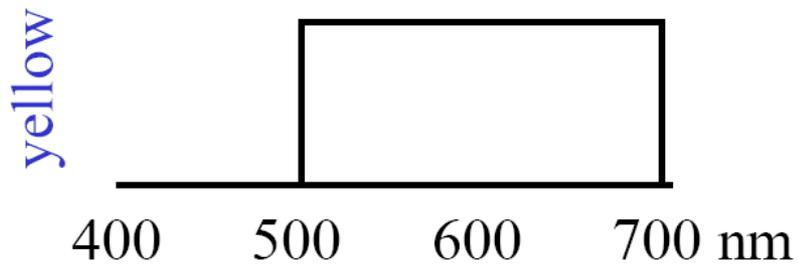
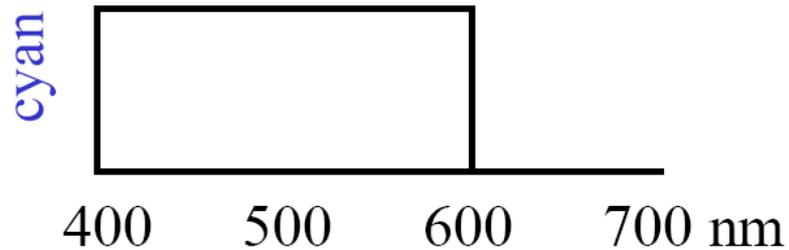


multiple projectors

Mélange soustractif de couleurs

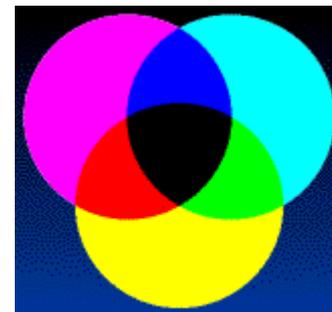


Mélange soustractif des couleurs



La lumière est spectralement modifiée par le milieu de propagation avant de pénétrer dans l'œil

Les couleurs se combinent en multipliant les spectres



Mélange soustractif des couleurs

Encre d'imprimante

Crayons

Films photographiques



La trivariance

« Comme il est presque impossible de concevoir que chaque point sensible de la rétine contienne une infinité de particules capables chacune de vibrer à l'unisson avec une ondulation lumineuse déterminée, il devient nécessaire de supposer ce nombre limité, par exemple, à trois couleurs principales, rouge, jaune et bleu..., et chaque filament sensible du nerf peut consister en trois portions, une pour chaque couleur principale »

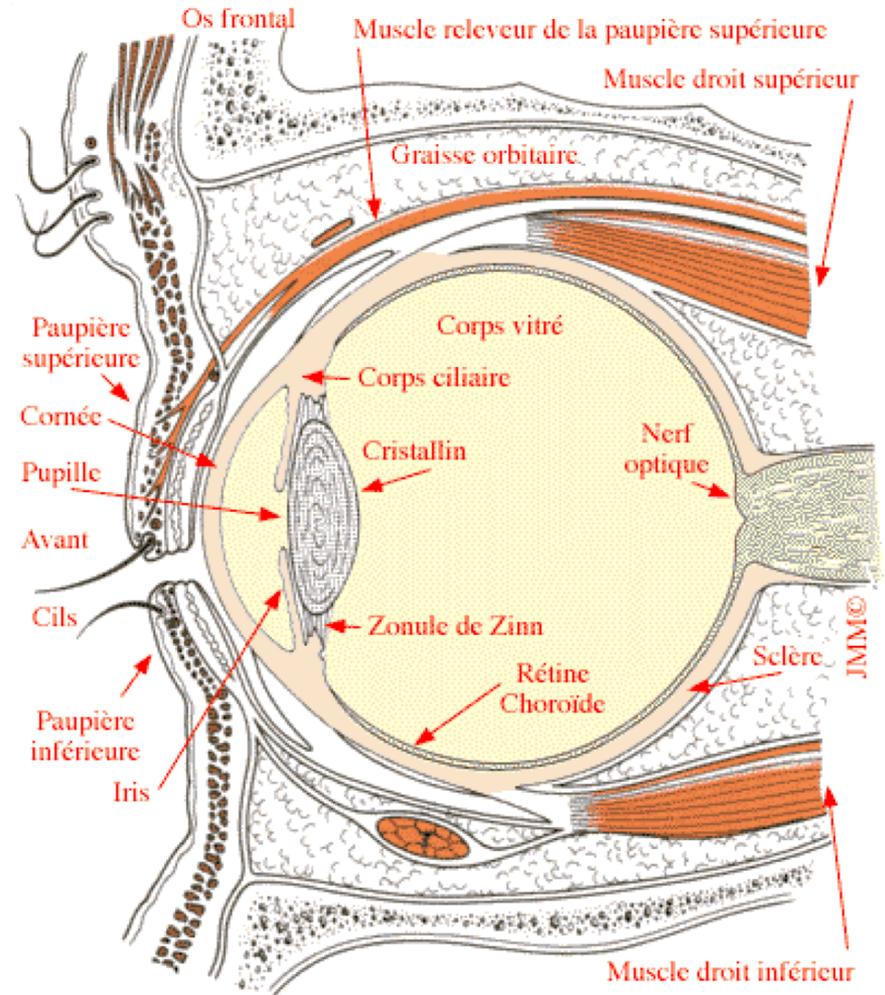
Thomas Young, 1801

Le principe de la trivariance énonce que, pour la perception visuelle, toute couleur peut être reproduite par un mélange de trois couleurs, dites primaires, en proportion unique

Les yeux



L'oeil humain



Perception des couleurs, les cônes rétiniens

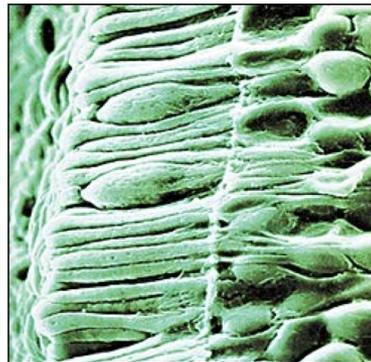
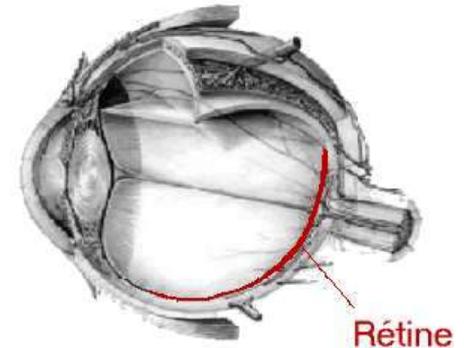
La rétine est tapissée de capteurs photosensibles : les cônes et les bâtonnets

Cônes

- sensibilité lumineuse faible
- 3 pigments colorés; sensibilité chromatique forte

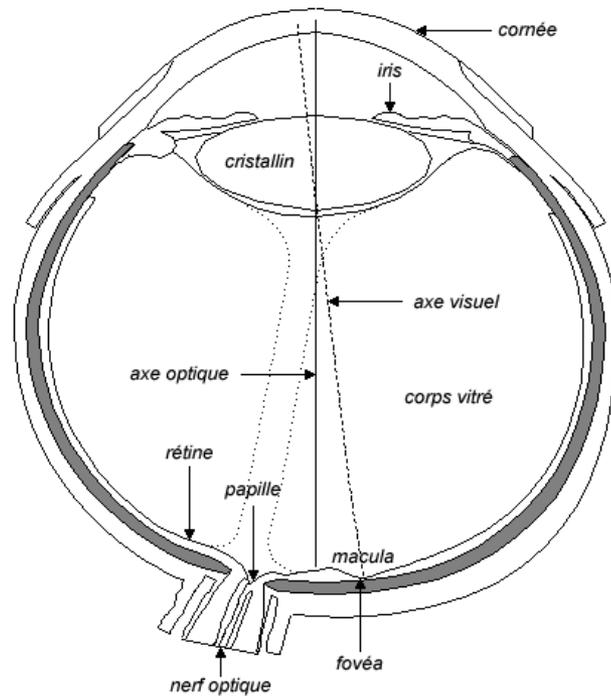
Bâtonnets

- sensibilité lumineuse forte, vision nocturne
- 1 seul pigment coloré; sensibilité chromatique faible



Le système visuel humain

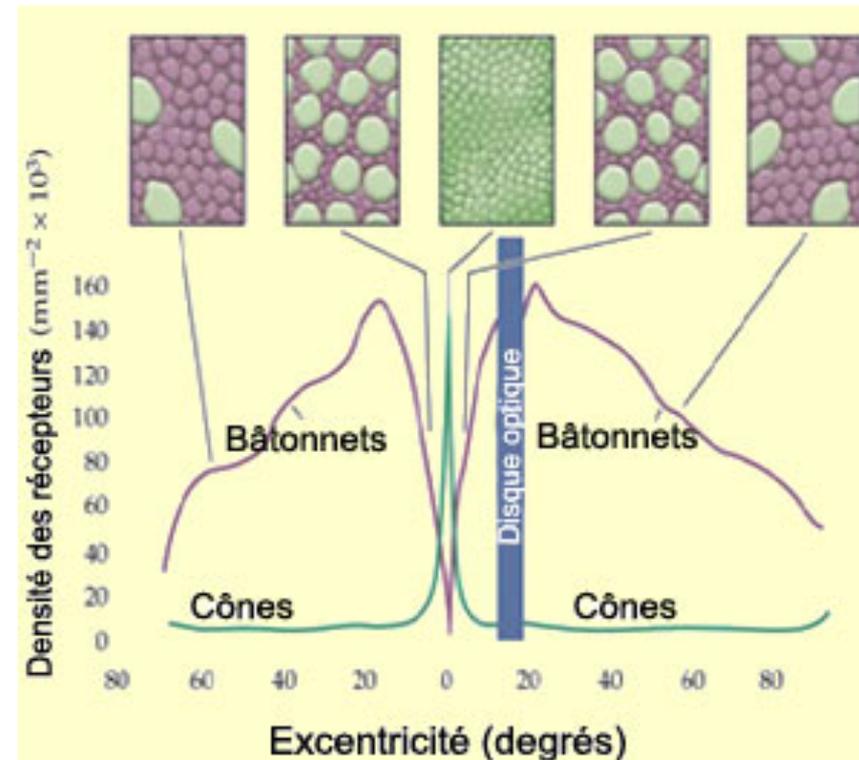
Lorsque notre regard fixe un objet, les rayons lumineux réfléchis par cet objet se focalisent sur une zone particulière de la rétine, la fovea (zone de netteté) qui est située au centre de la macula, région jaunâtre proche du centre de la rétine, mais légèrement décalée par rapport à l'axe optique de l'œil.



Cônes et bâtonnets

La rétine possède environ 4 millions de cônes pour un peu plus de 100 millions de bâtonnets.

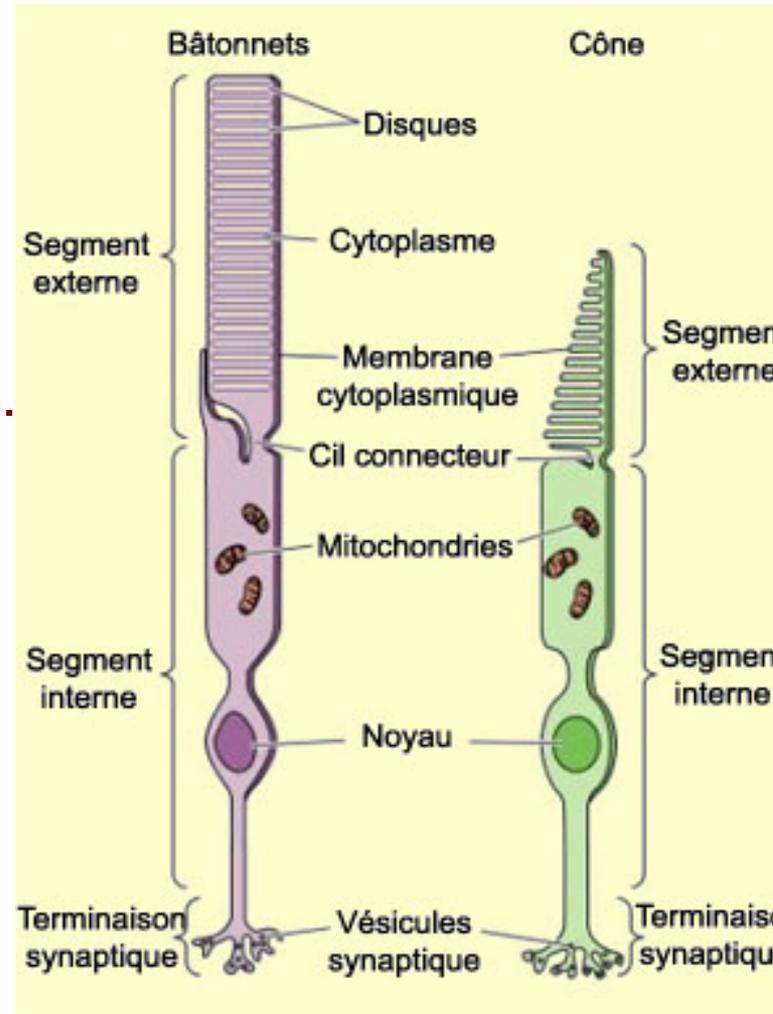
La fovea se distingue par une concentration maximale de cônes pour une très faible concentration en bâtonnets. Il existe même une zone dans laquelle il n'y a que des cônes : la foveola.



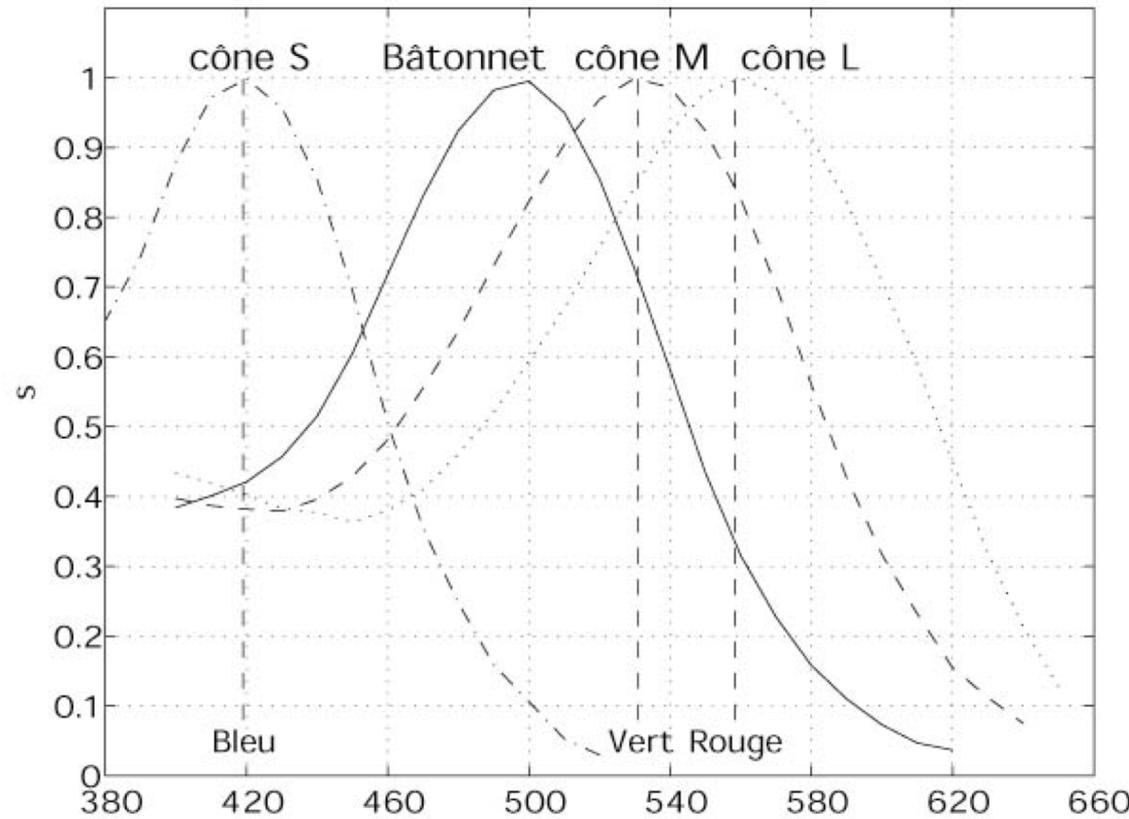
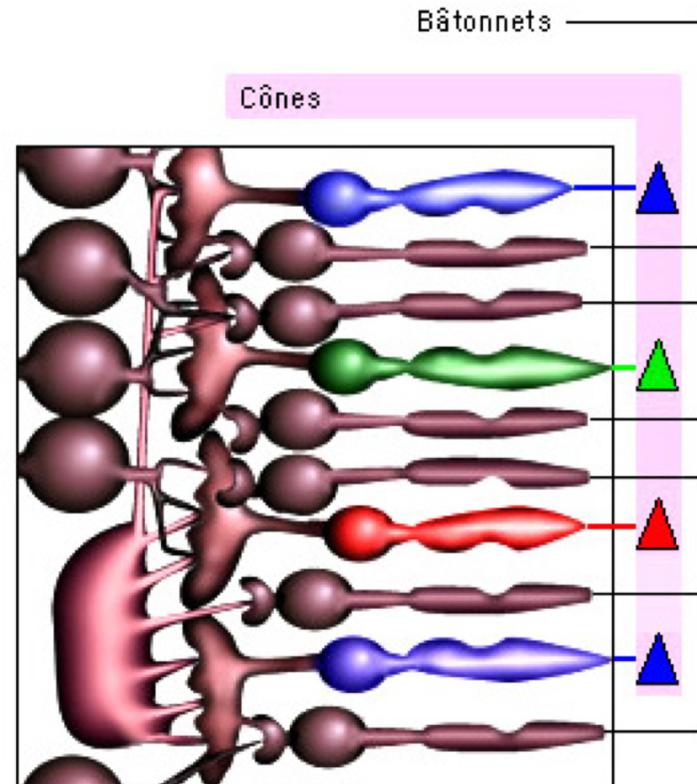
Cônes et bâtonnets

Cônes et bâtonnets sont pourvus au niveau supérieur d'un segment externe » qui absorbe la lumière et produit le signal électrique, et au niveau inférieur, d'une terminaison synaptique, qui transmet l'information aux autres couches de la rétine.

Les segments externes contiennent une membrane photosensible garnie de pigments, qui sont des molécules capables d'absorber la lumière.



Perception des couleurs, les cônes rétiniens



L'intensité lumineuse perçue dépend de la couleur

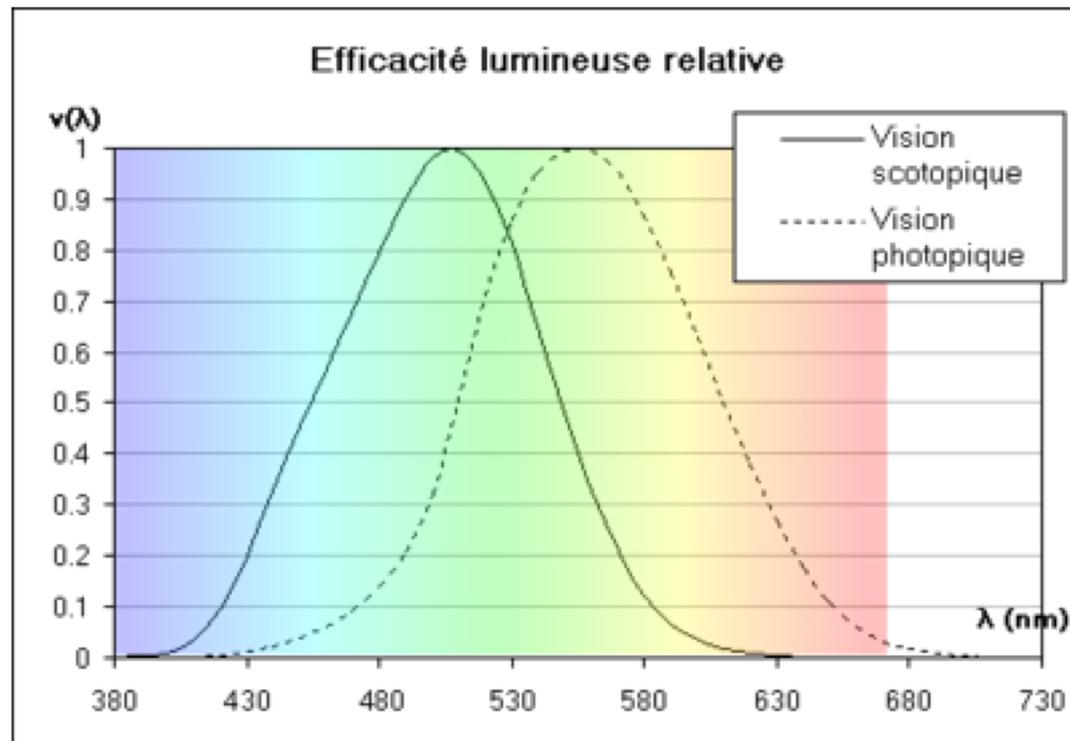
Le SVH n'est pas uniformément sensible aux rayonnements de toutes les longueurs d'ondes

Sa sensibilité culmine dans la zone jaune-vert et s'effondre près de l'infrarouge et de l'ultraviolet

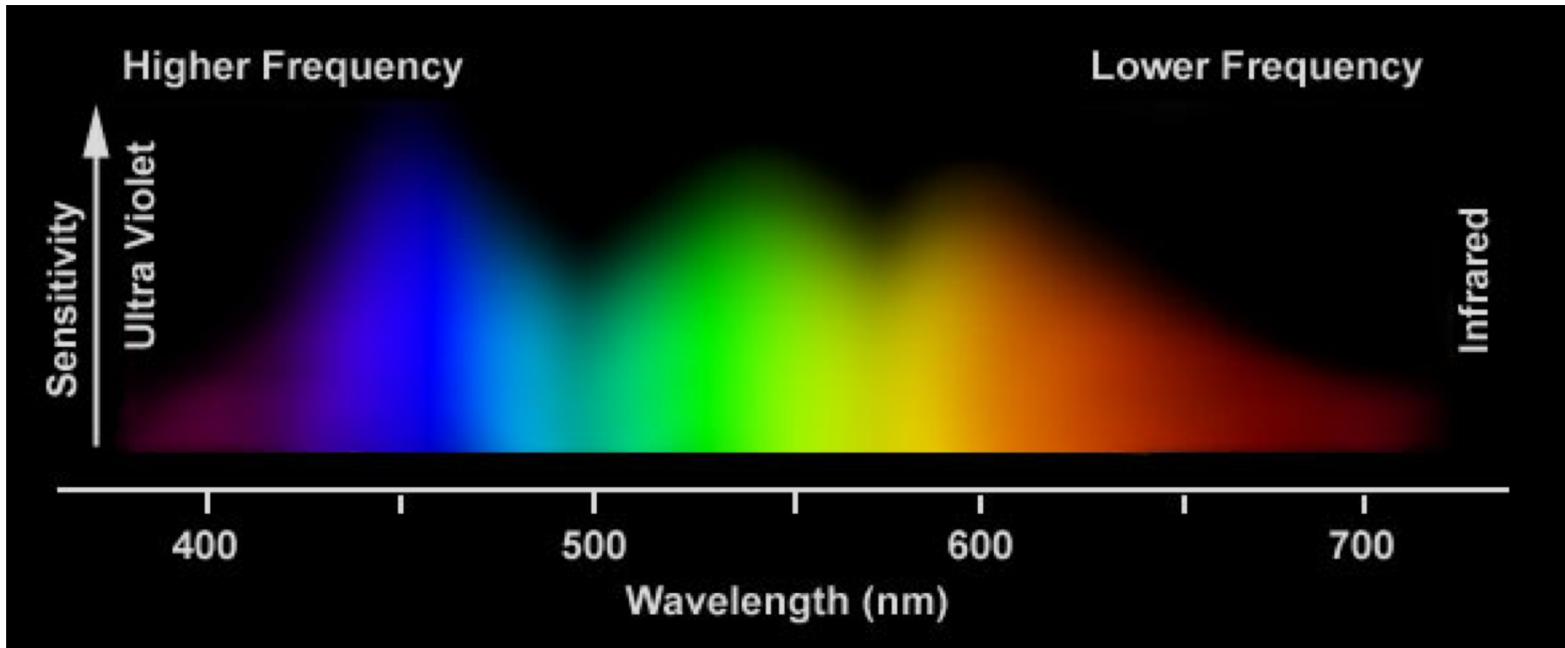
- pour la longueur d'onde $\lambda = 555 \text{ nm}$

Fonction d'efficacité lumineuse

Le maximum de la fonction est situé vers 555 nm en éclairage photopique (diurne), mais se décale dans le bleu-vert aux environs de 500 nm en éclairage scotopique (nocturne)



Spectre visible en fonction de la sensibilité spectrale



La trivariance

le principe de la trivariance énonce que, pour la perception visuelle, toute couleur peut être reproduite par un mélange de trois couleurs, dites primaires, en proportion unique

Young découvre les couleurs primaires

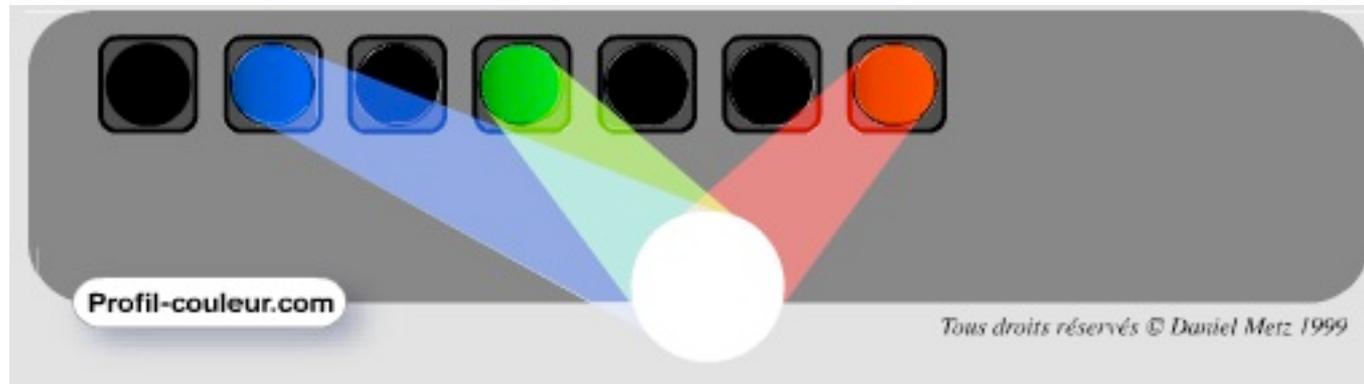
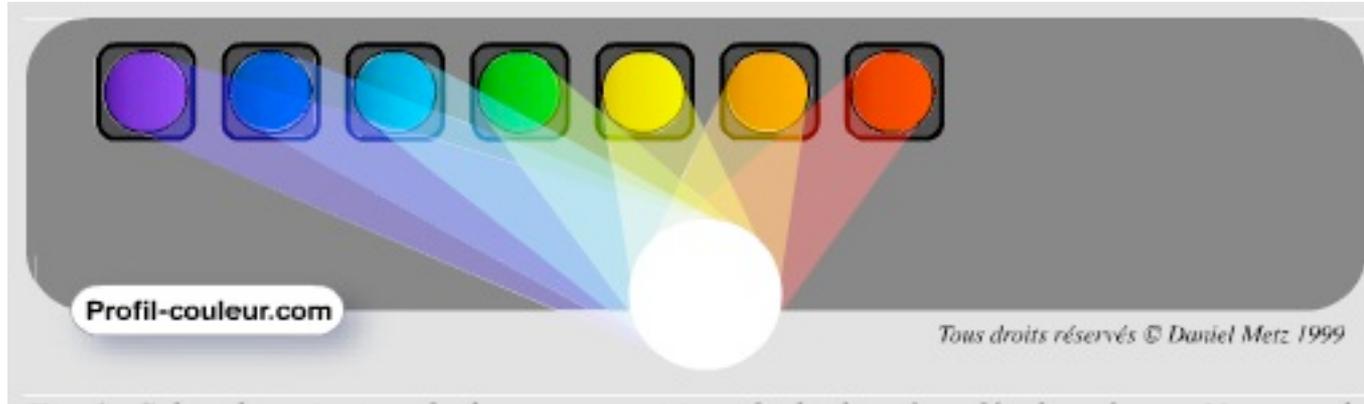
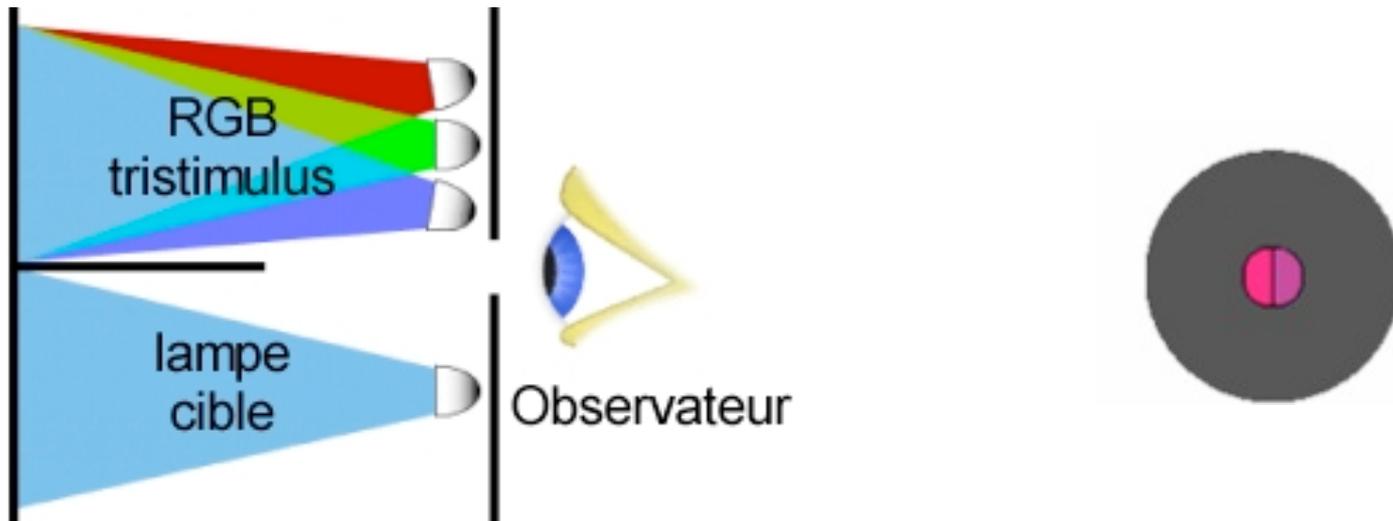


Fig.2. Trois couleurs spectrales sont suffisantes pour reconstituer la couleur blanche. Les plus souvent employées sont le RVB (rouge, vert, bleu) par imitation de la perception visuelle.

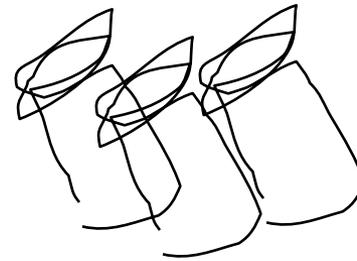
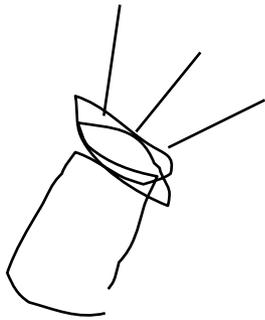
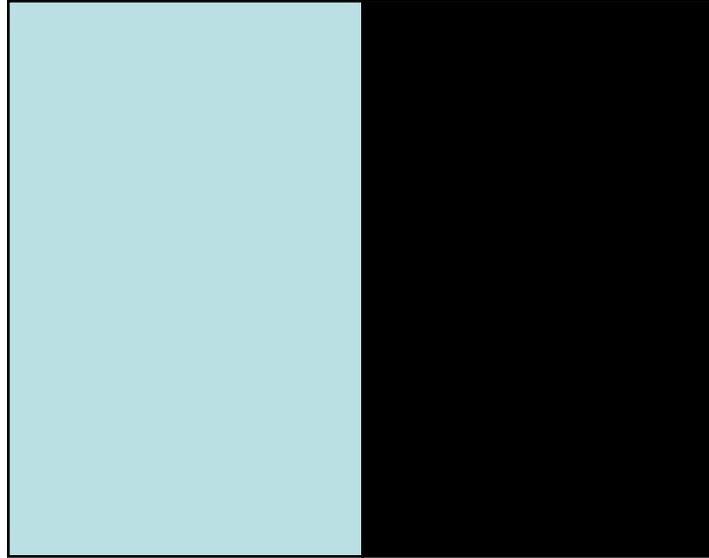
Égalisation des couleurs

La première loi de la colorimétrie s'énonce ainsi : toute couleur peut être créée par un mélange de 3 couleurs convenablement choisies et mélangées en proportions convenables.

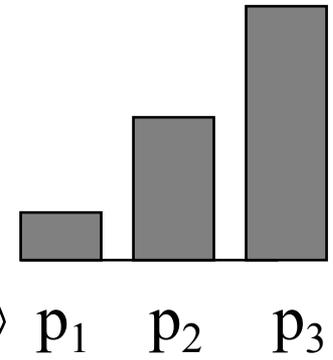
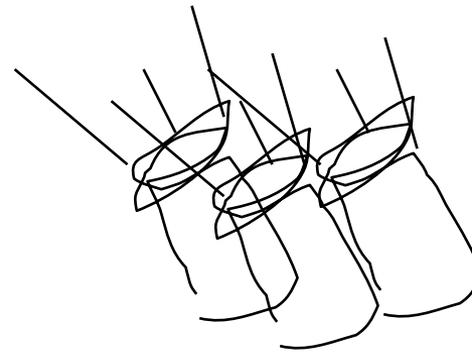
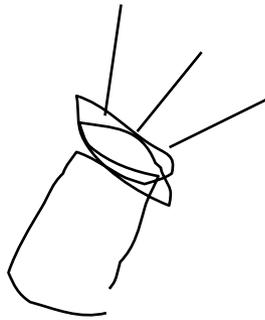
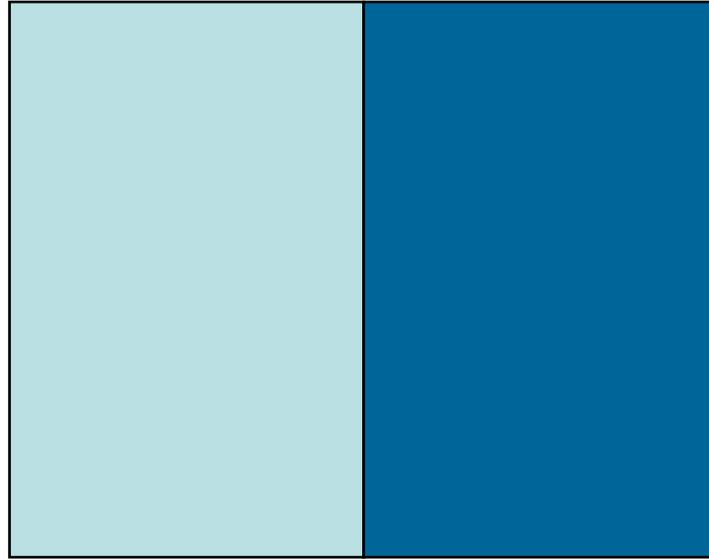
Expérience d'égalisation des couleurs : on cherche à égaliser la couleur C avec le mélange $aR + bG + cB$.



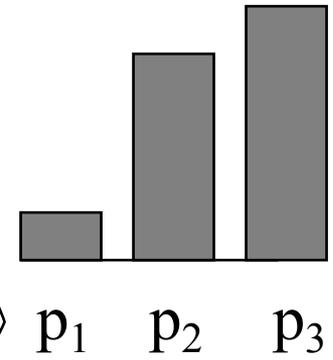
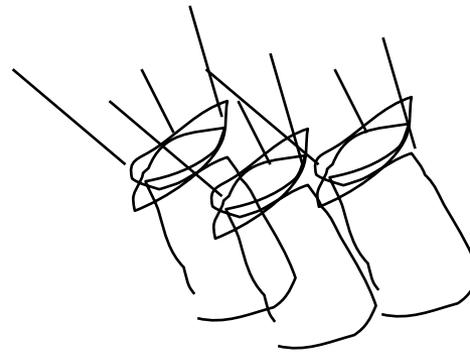
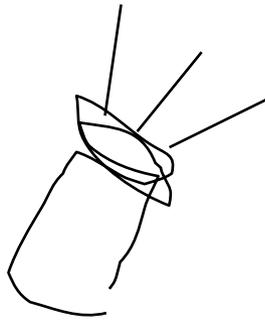
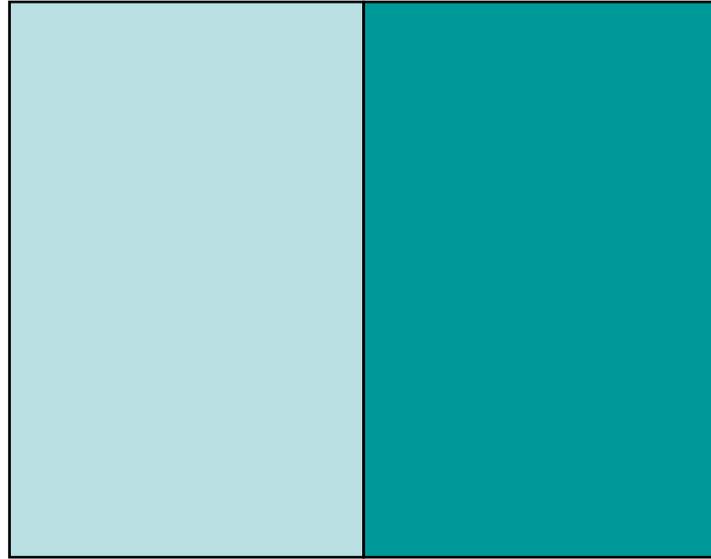
Égalisation des couleurs



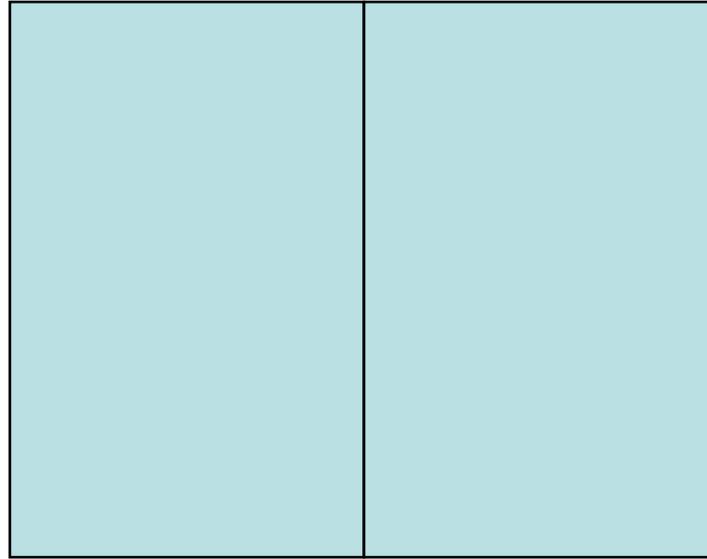
Égalisation des couleurs



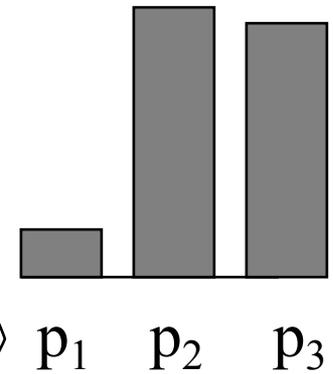
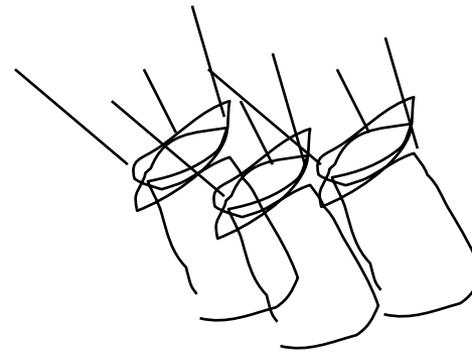
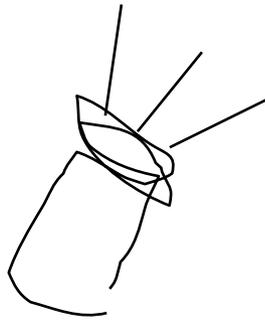
Égalisation des couleurs



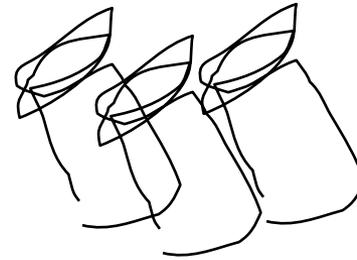
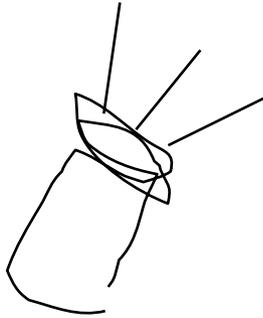
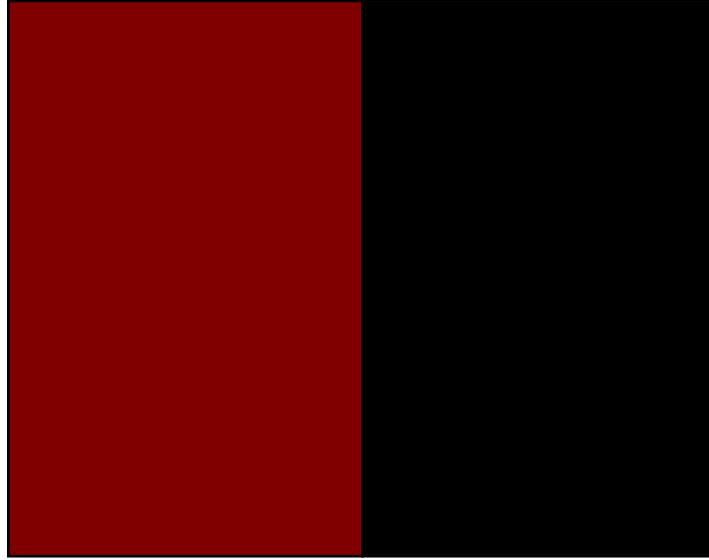
Égalisation des couleurs



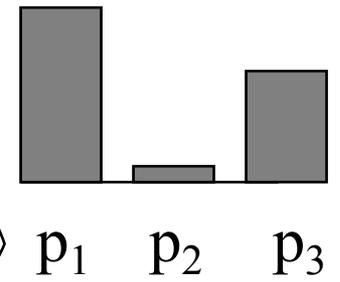
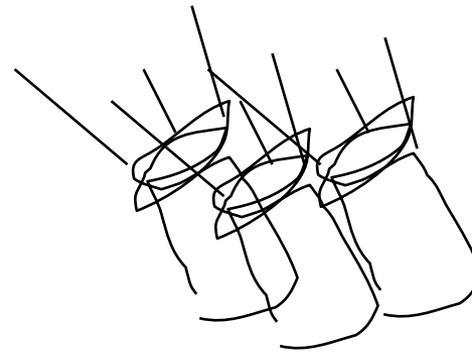
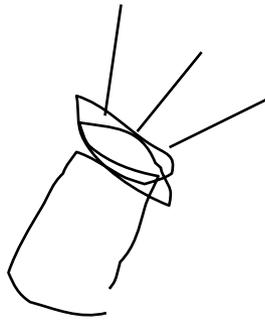
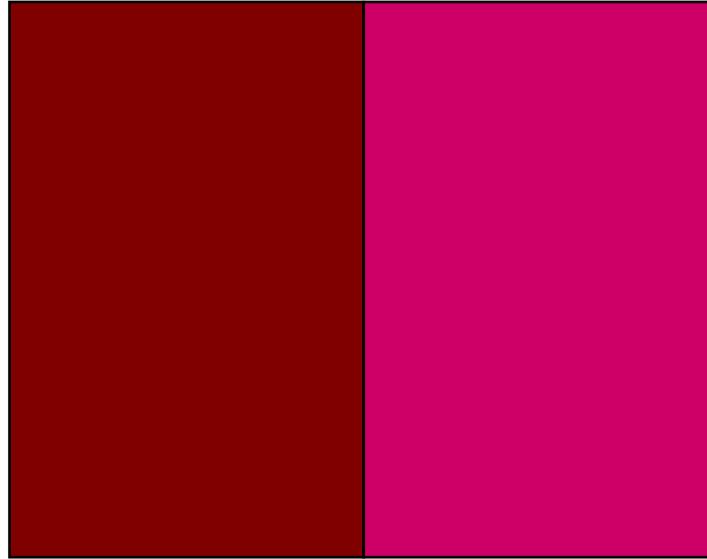
The primary color amounts needed for a match



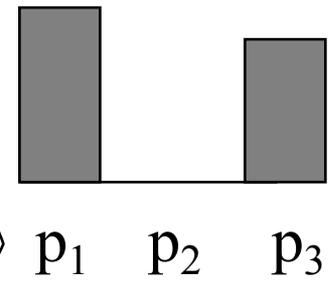
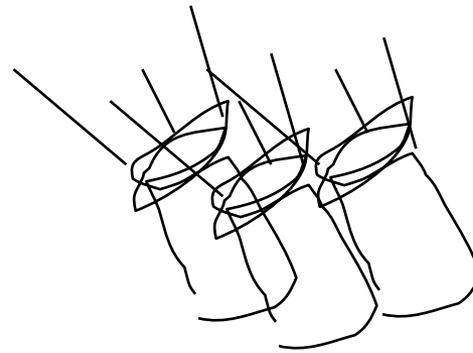
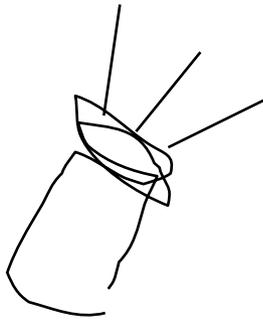
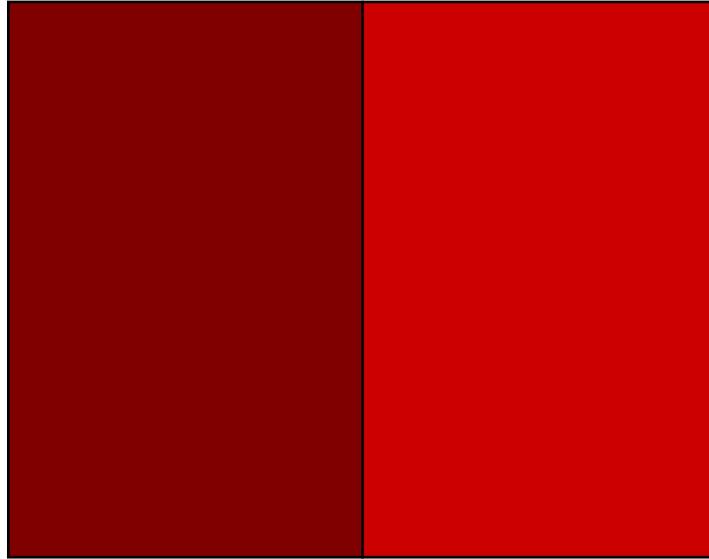
Égalisation des couleurs



Égalisation des couleurs

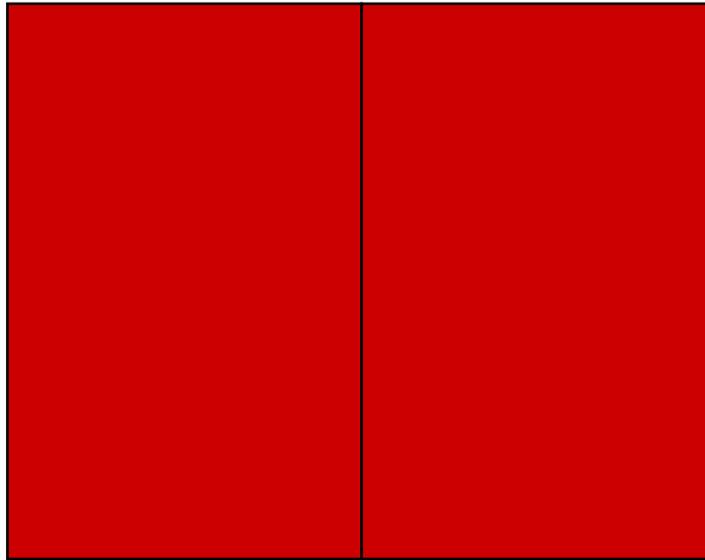


Égalisation des couleurs

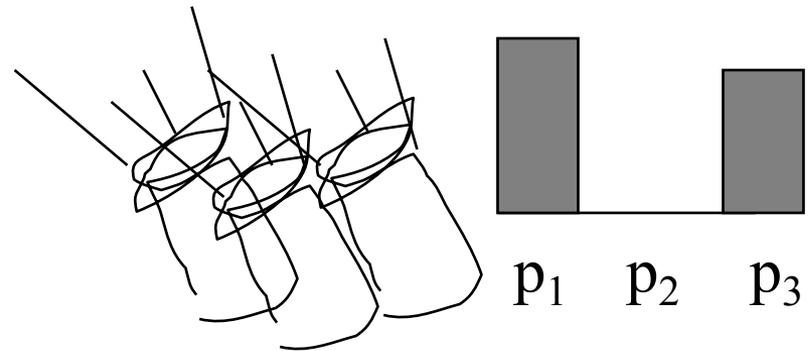
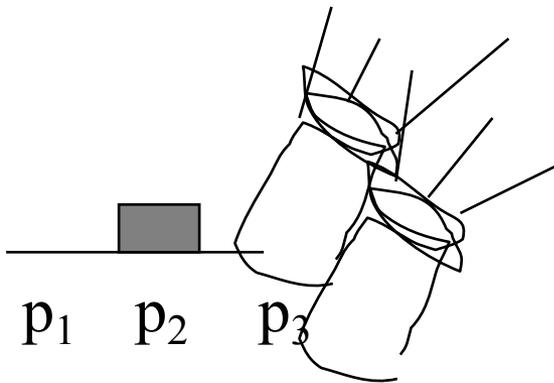
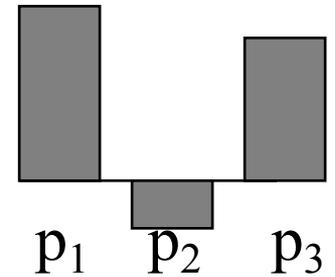


Égalisation des couleurs

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:



Métamères

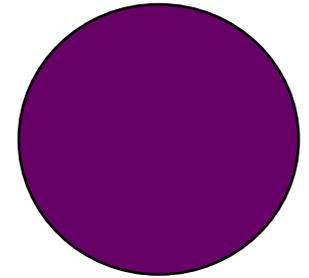
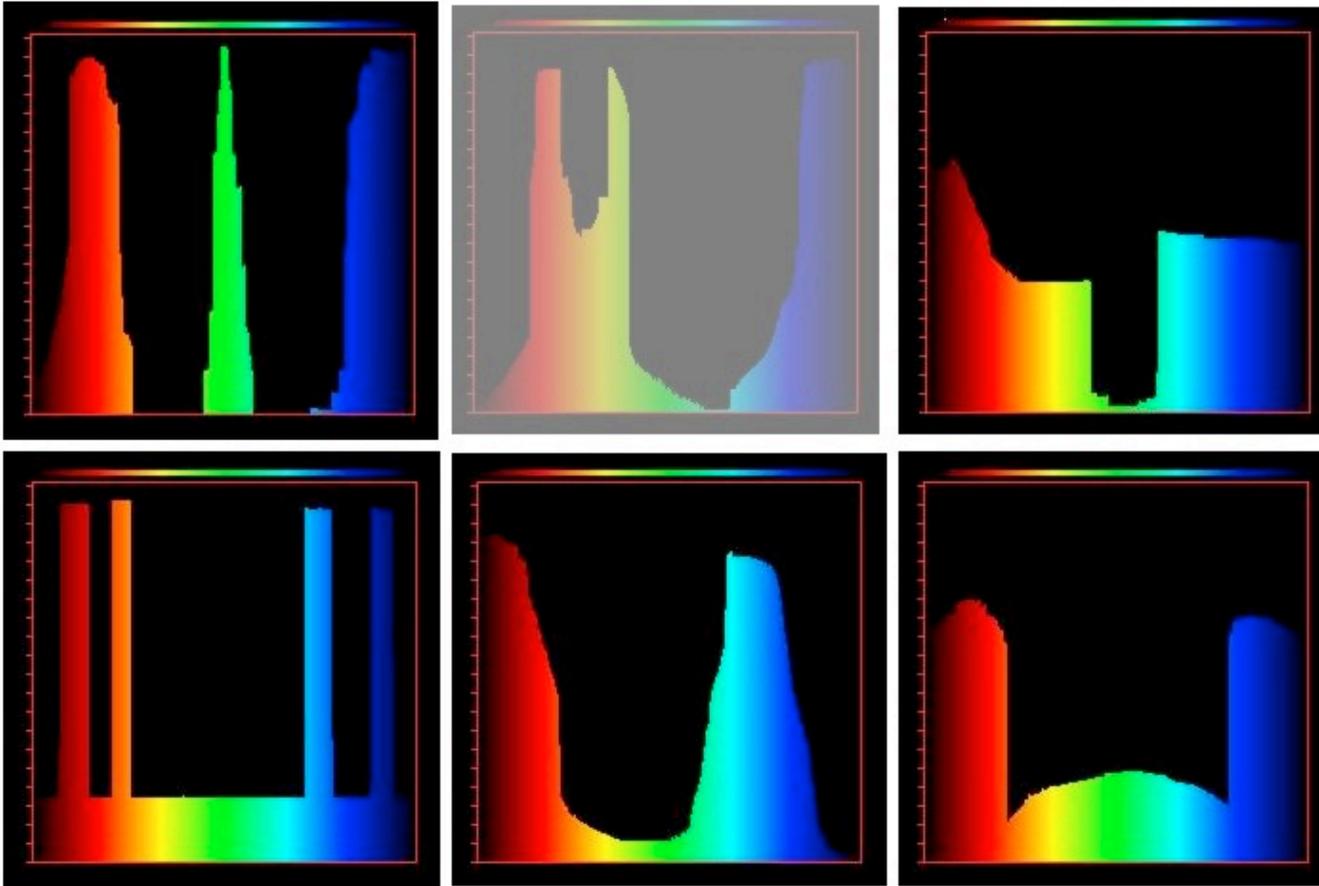
La perception des couleurs n'est pas seulement spectrale comme le système auditif, mais intégrateur. Il en résulte les propriétés de ***métamérisme*** : pour égaler une couleur, il n'est pas nécessaire de reconstituer sa composition spectrale.

Deux stimuli lumineux donnant la même impression colorée sont dits alors *métamères*.

Les métamères s'égalisent « perceptuellement » mais pas physiquement

Métamères

Ces six spectres sont perçus comme le même violet par la plupart des gens.



Le principe de la trivariance

Faits expérimentaux :

- trois couleurs primaires seront suffisantes pour la plupart des gens si l'on accepte la "soustraction" de couleur
 - Des personnes exceptionnelles peuvent faire l'égalité avec deux couleurs seulement
 - Déficience visuelle
- La plupart des gens font la même correspondance.

Lois de Grassman

L'égalité des couleurs est approximativement linéaire, on en déduit

- la symétrie : $U=V \Leftrightarrow V=U$
- la transitivité : $U=V \text{ and } V=W \Rightarrow U=W$
- la proportionnalité: $U=V \Leftrightarrow tU=tV$
- l'additivité: si deux ou plus de ces assertions sont vrai alors la troisième l'est aussi

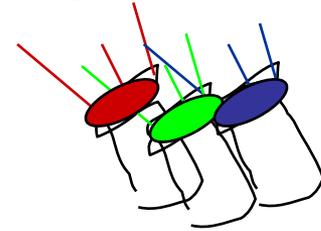
$$U=V,$$

$$W=X,$$

$$U+W=V+X$$

Ces lois sont aussi vraies que les lois biologiques.

Measure color by color-matching paradigm



Pick a set of 3 primary color lights.

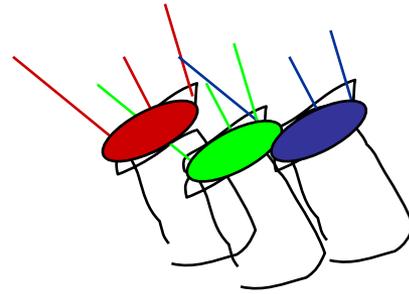
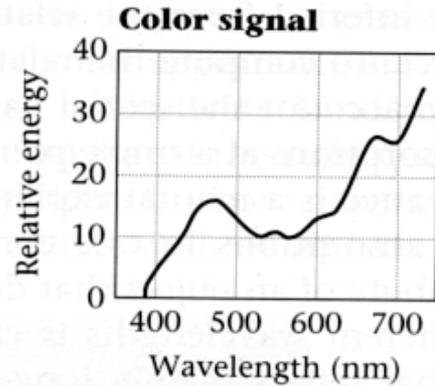
Find the amounts of each primary, e_1 , e_2 , e_3 , needed to match some spectral signal, t .

Those amounts, e_1 , e_2 , e_3 , describe the color of t . If you have some other spectral signal, s , and s matches t perceptually, then e_1 , e_2 , e_3 will also match s , by Grassman's laws.

Why this is useful—it lets us:

- Predict the color of a new spectral signal
- Translate to representations using other primary lights.

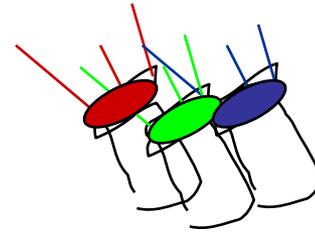
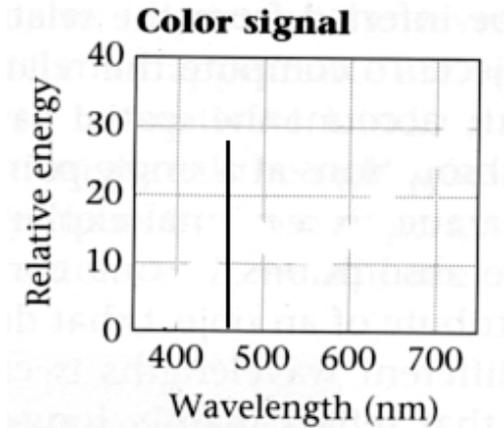
Goal: compute the color match for any color signal for any set of primary colors



Examples of why you'd want to do that:

- Want to paint a carton of Kodak film with the Kodak yellow color.
- Want to match skin color of a person in a photograph printed on an ink jet printer to their true skin color.
- Want the colors in the world, on a monitor, and in a print format to all look the same.

How to compute the color match for any color signal for any set of primary colors

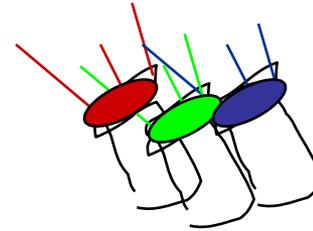
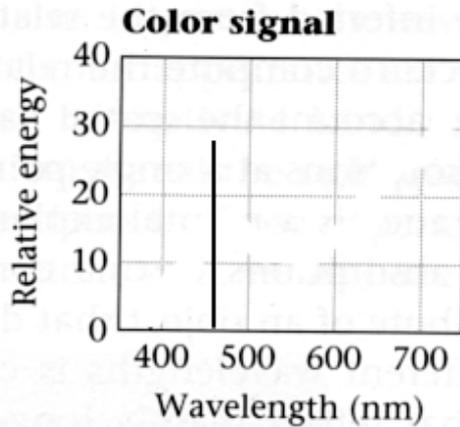


Prenez un ensemble de couleurs primaires, $p_1(\lambda)$, $p_2(\lambda)$, $p_3(\lambda)$

Mesurer la quantité de chaque primaire $c_1(\lambda)$, $c_2(\lambda)$, $c_3(\lambda)$ nécessaire pour égaliser une lumière monochromatique, $t(\lambda)$, pour chaque longueur d'onde λ du spectre.

On obtient les 3 fonctions colorimétriques (color matching functions)

How to compute the color match for any color signal for any set of primary colors

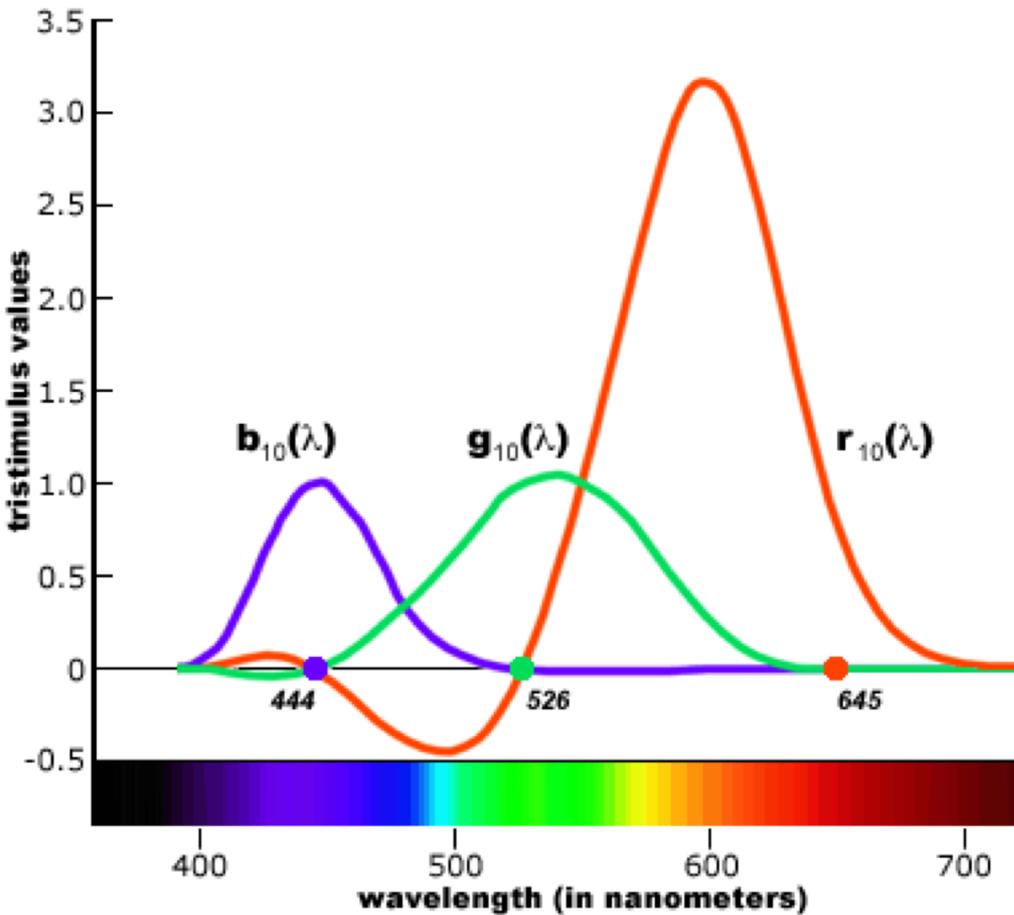


Prenez un ensemble de couleurs primaires, R,G,B

Mesurer la quantité de chaque primaire $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$, nécessaire pour égaliser une lumière monochromatique, $t(\lambda)$, pour chaque longueur d'onde λ du spectre.

On obtient les 3 fonctions colorimétriques (color matching functions)

Fonctions colorimétriques CIE 1931 pour les primaires RGB

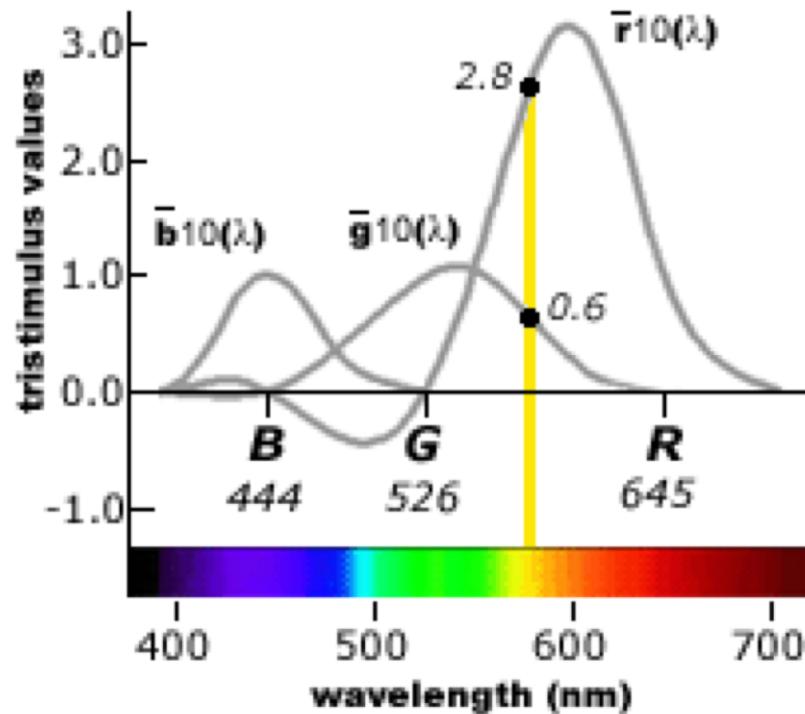


- $p_1 = 645.2 \text{ nm}$
- $p_2 = 525.3 \text{ nm}$
- $p_3 = 444.4 \text{ nm}$

CIE 1931 color matching functions for the 10° standard observer and the real (RGB) primaries

Fonctions colorimétriques

Le jaune correspond à $2.8 R + 0.6 G + 0 B$ dans le CIE 1931



La représentation des couleurs

Espace colorimétrique

Il existe autant de systèmes de représentation de la couleur que de systèmes de primaires : Un système se définit par le choix des primaires utilisées et du blanc de référence qui fixe leurs valeurs unitaires.

Comme il est toujours possible de réaliser un changement de primaires à l'aide d'une matrice de passage P , ce principe est à la base de nombreux changements de systèmes de représentation de la couleur utilisés couramment.

(D'autres systèmes de représentation de la couleur ont été conçus sans définir de nouvelles primaires, comme il sera vu plus loin).

Représentation des couleurs

Il existe trois manières de classer les couleurs :

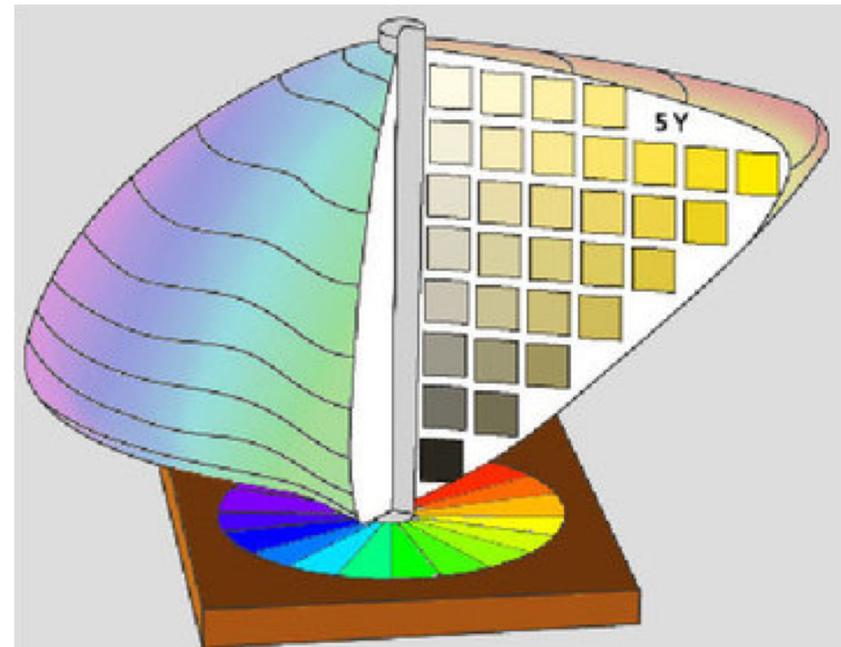
- Selon une **approche purement visuelle**: Chevreul, Munsell, Ostwald,
- Selon une **approche purement physique**: RVB, CIE XYZ,
- Selon une **approche physique**, mais **corrigée par les données de la psychométrie** : CIELAB, CIELUV.

Système Munsell

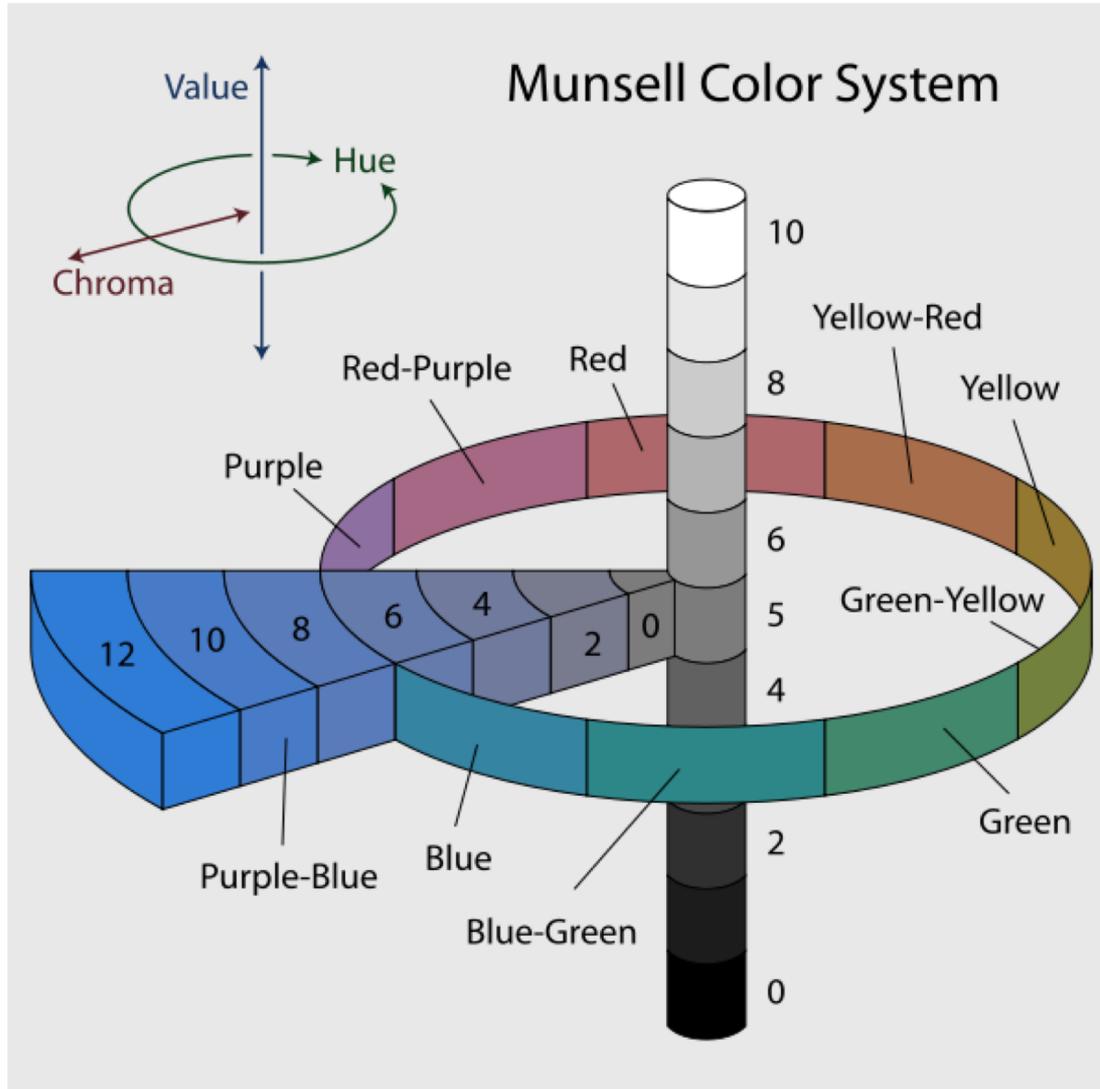
Dans cette représentation, les couleurs sont classées selon un réseau cylindrique basé sur 3 attributs perceptifs visuels à savoir :

- La **teinte** (en anglais hue) associée à la couleur rouge, vert, bleu ...
- La **saturation** (chroma) associée à l'aspect délavé ou non d'une couleur,
- La **luminosité** (value) associée à l'aspect sombre ou clair d'une couleur.

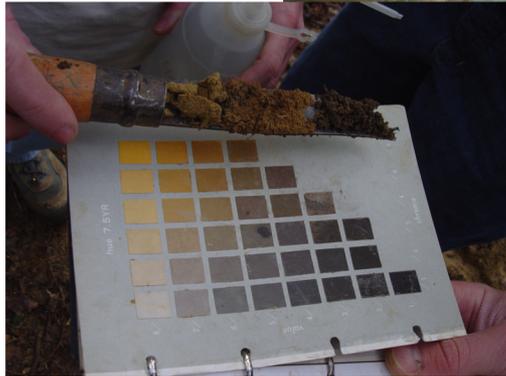
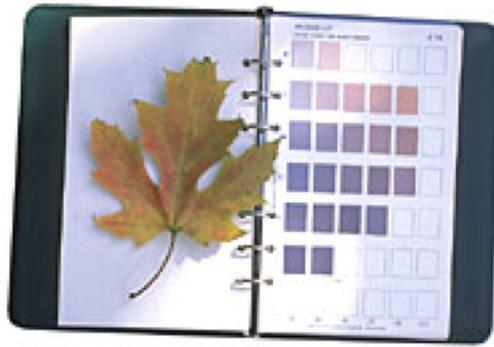
La réalisation pratique se fait sous forme d'un album imprimé dont chaque page correspond à une teinte uniforme



Système Munsell



Systeme Munsell



Le système Pantone

Le système américain Pantone est largement utilisé dans l'imprimerie, l'industrie textile et plastique et dans les arts graphiques.

Les couleurs de ce nuancier sont en fait créées à partir de 11 couleurs fondamentales:

- Ainsi, le P493 (sorte de vieux rose) est composé de 20.3% de "Warm red", de 4.7% de "Process blue" et de 75% de "Transparent white". Les numéros ne répondent pas à une logique particulière.

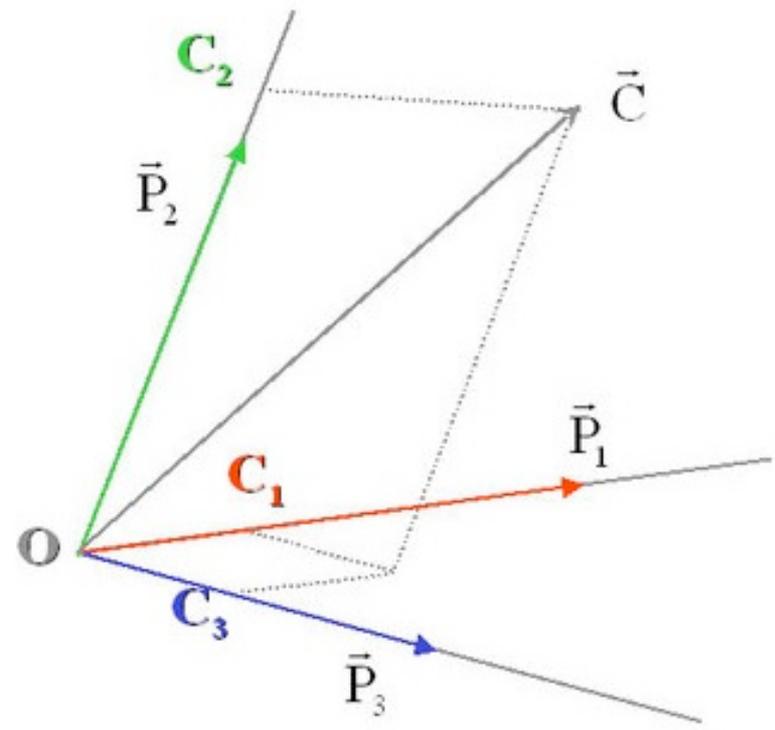
Black
Transparent white
Yellow
Warm red
Rubine red
Rhodamine red
Purple
Violet
Reflex blue
Process blue
Green



Espace vectoriel des couleurs

Du fait de la trivariance visuelle, le repérage d'une couleur peut se faire par un ensemble de trois paramètres associés à un point représentatif dans un espace vectoriel à trois dimensions.

Plus précisément, une couleur peut être représentée par un vecteur dont le module correspond au niveau lumineux et l'orientation à la chromaticité



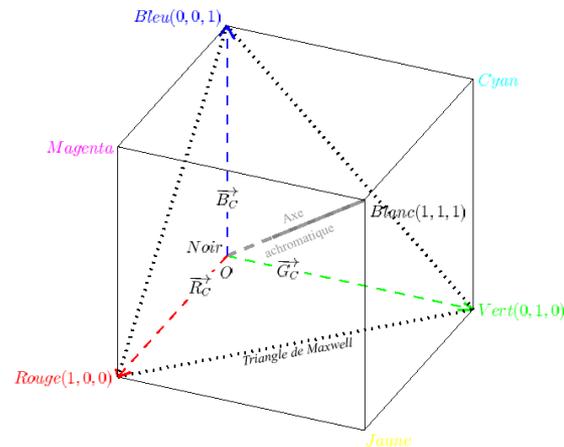
Le système colorimétrique RGB

Dans cet espace, chaque stimulus de couleur C est ainsi représenté par un point qui définit un *vecteur couleur*.

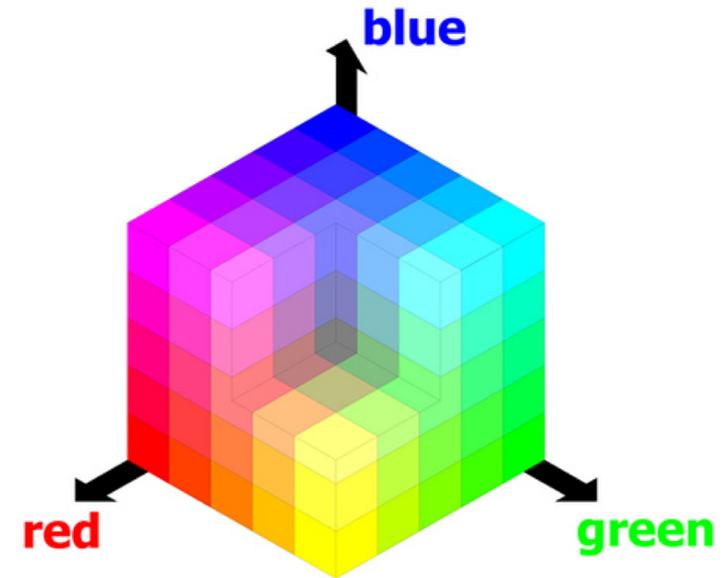
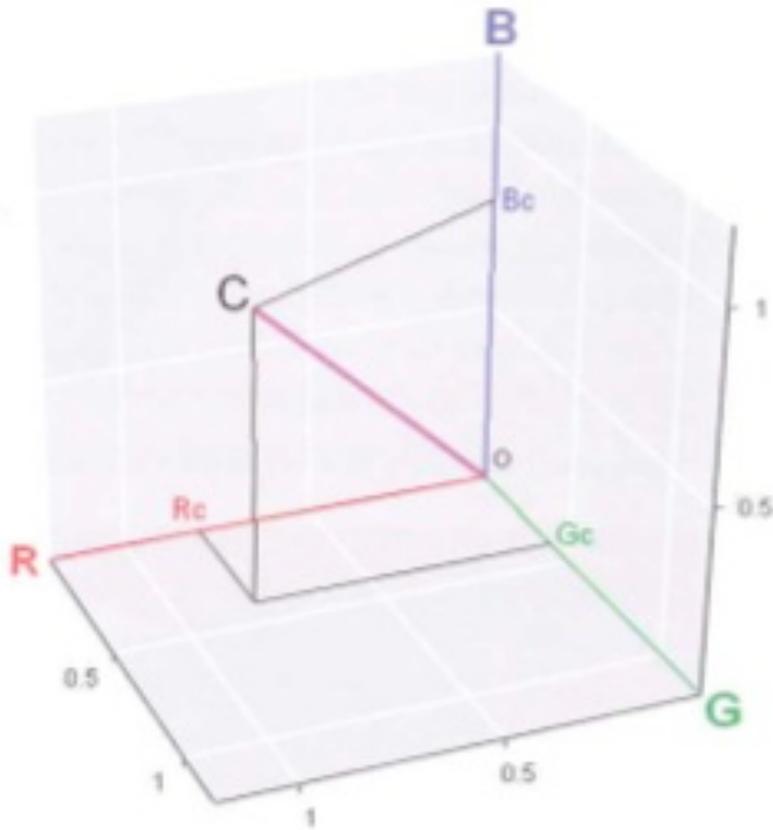
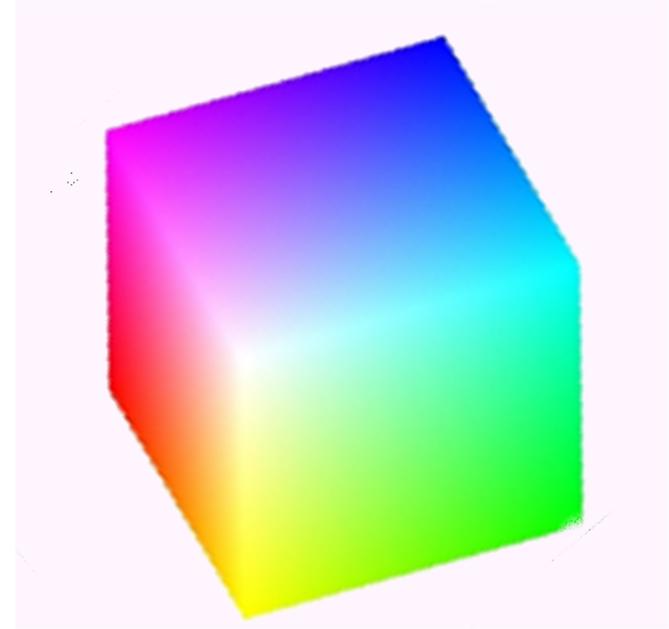
Les coordonnées de ce vecteur sont les composantes trichromatiques R_c , G_c et B_c .

Certains de ces points ont des coordonnées négatives puisqu'ils correspondent à des stimuli de couleur non égalisables par synthèse additive.

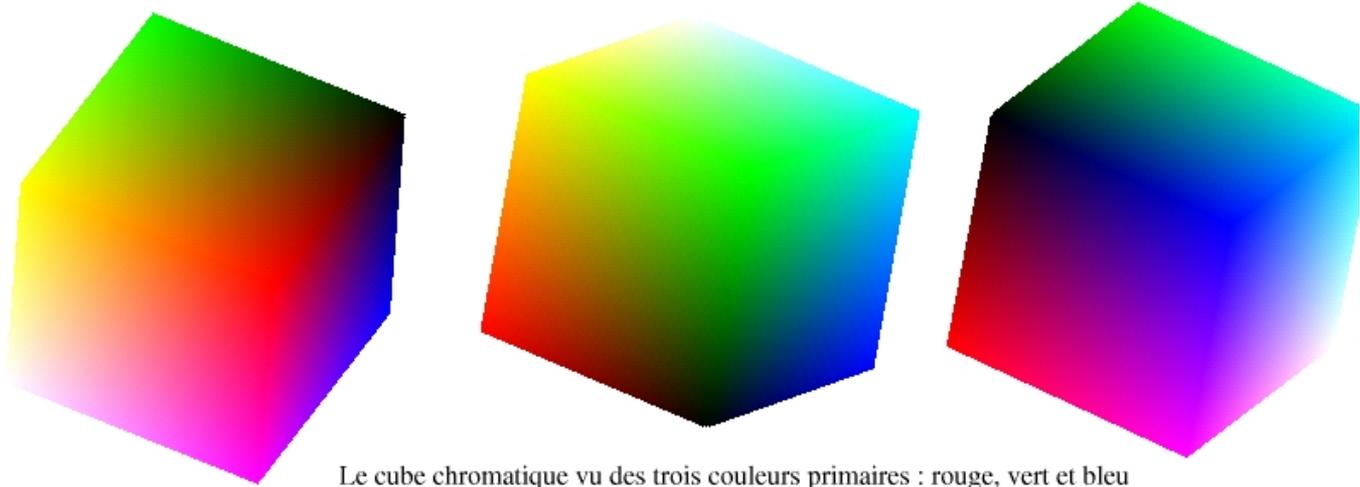
Les points correspondant à des stimuli de couleur dont les composantes trichromatiques sont positives sont contenus dans un cube, connu sous le nom de *cube des couleurs*



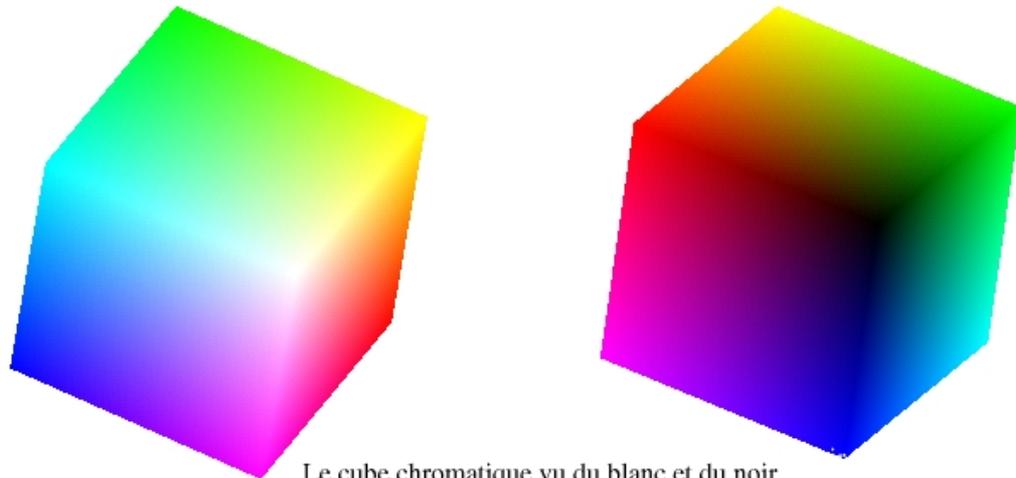
Cube de couleurs RGB



Cube de couleurs



Le cube chromatique vu des trois couleurs primaires : rouge, vert et bleu



Le cube chromatique vu du blanc et du noir

Color Models for Image – RGB Vs CMY

Additive Vs Subtractive Models

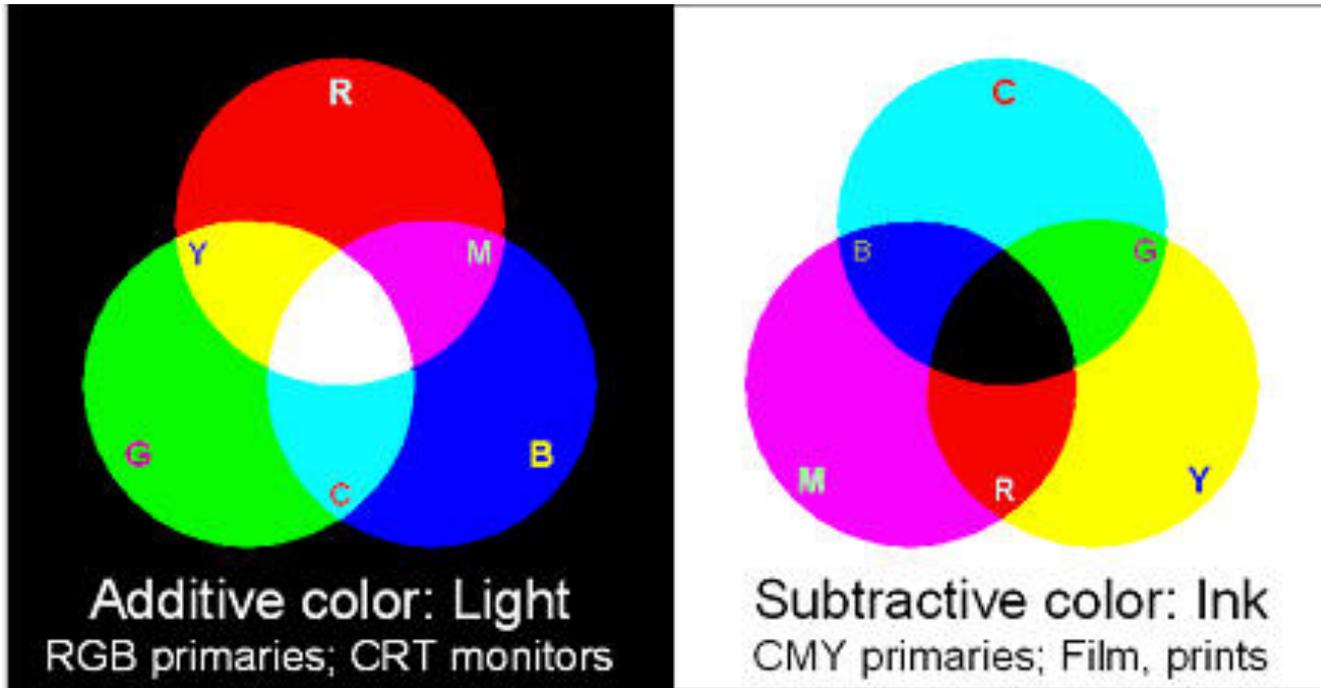
Additive model

- Used in computer displays, Uses light to display color, Colors result from transmitted light
- Red+Green+Blue=White

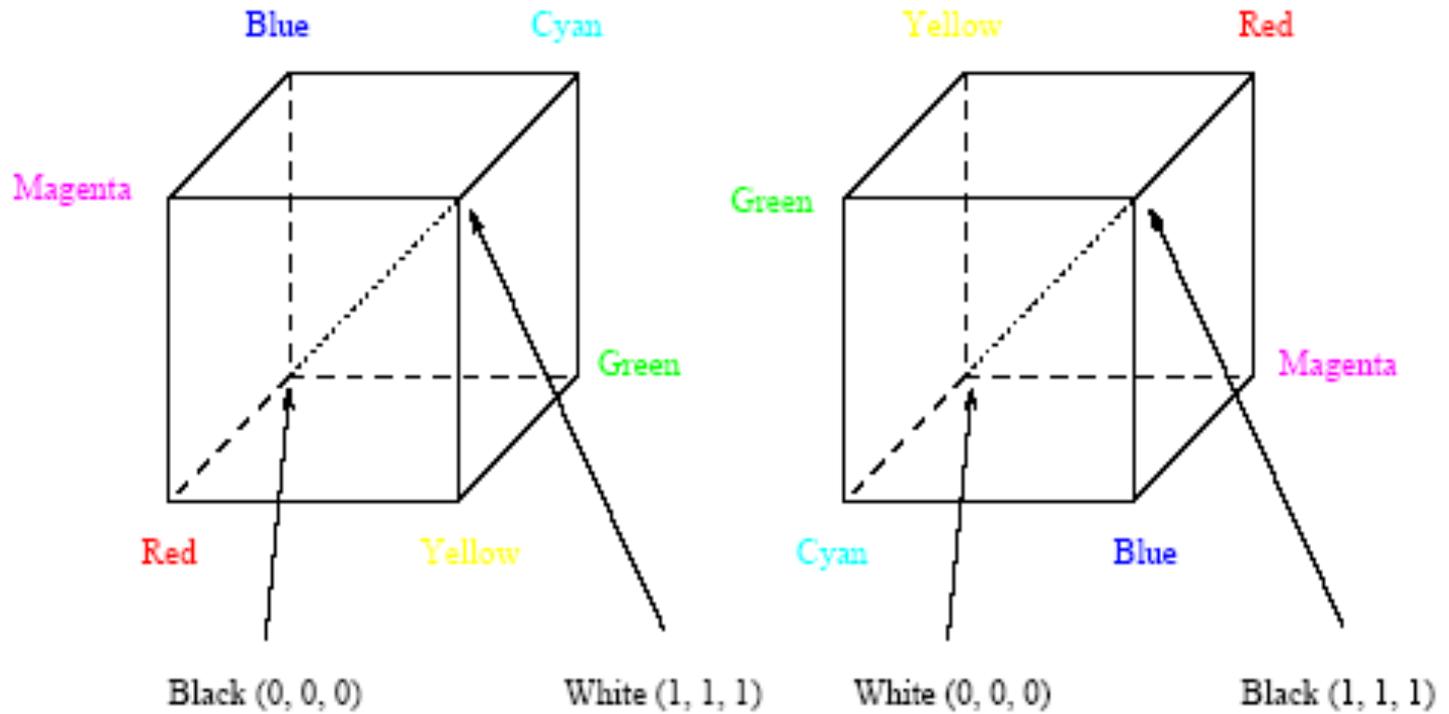
Subtractive Models

- Used in printed materials, Uses ink to display color, Colors result from reflected light
- Cyan+Magenta+Yellow=Black

Color Models for Image – RGB Vs CMY



Color Models for Image – RGB Vs CMY



Color Models for Image – RGB Vs CMY

Conversion From RGB to CMY

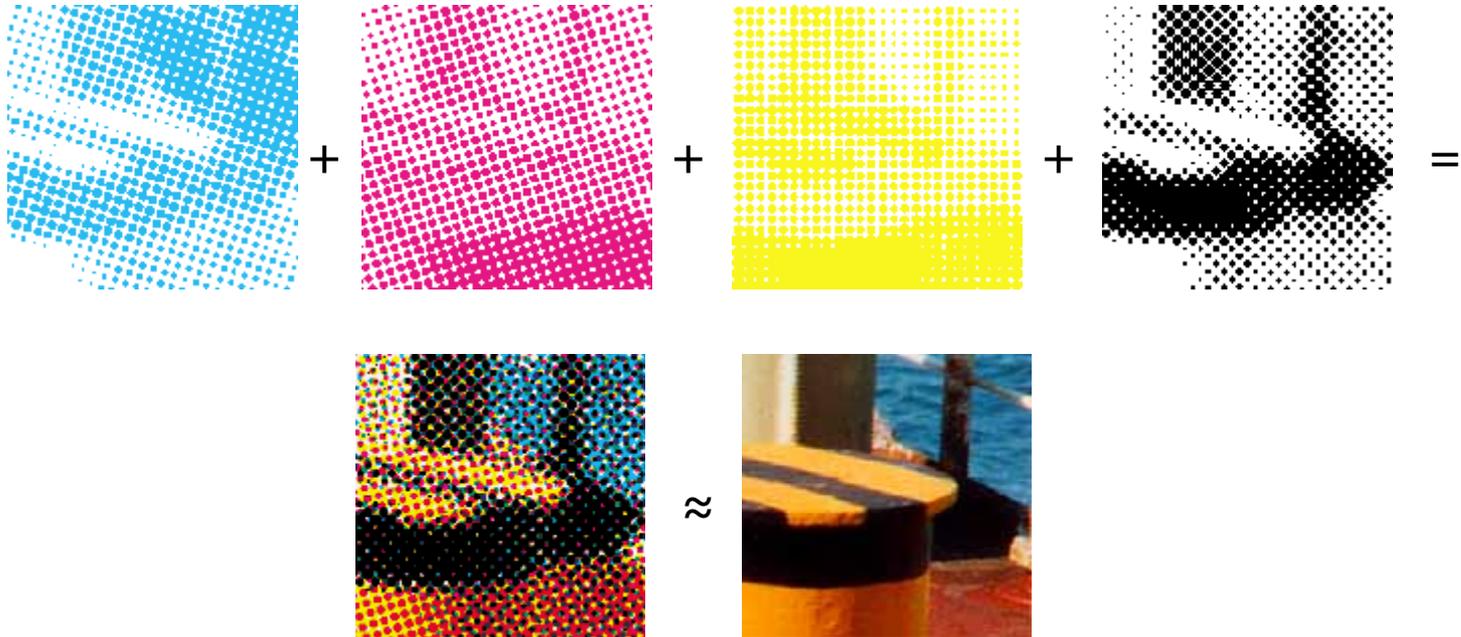
$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Conversion From CMY to RGB

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix}$$

Color Models for Image – CMYK

Used especially in the printing of images



YCbCr (numérique) / IUV – YPbPr (analogique)

YCbCr est une manière de représenter l'espace colorimétrique en vidéo, issue essentiellement des problèmes de transmission hertzienne.

On envoie Y, c'est-à-dire l'information de luminance plus deux informations de chrominance Cb et Cr respectivement

- le bleu moins Y,
- le rouge moins Y.

Le récepteur peut recréer le vert et reproduire une image couleur, en effet si on a

- Y (rouge+vert+bleu),
- Cb (Y-bleu) et
- Cr (Y-rouge)

on peut mathématiquement recréer le vert en utilisant l'équation:

$$Y = 0,3R + 0,6V + 0,1B$$

YCbCr

Y



Cb



Cr



Utilisation de YCbCr / YPbPr / YUV



Pour la télévision

- Ce système de transmission et de codage de la couleur pour la télévision a été nécessaire pour plusieurs raisons :
 - assurer une restitution de la couleur plus fiable. En effet, le signal Y bien que noir et blanc contient toutes les infos pour les trois couleurs, et Cb et Cr étant des différences par rapport à Y, une valeur de soustraction erronée entre Y et Cr ou Cb (en cas de problème de transmission) permet de rectifier plus aisément le tir.
 - permettre la double compatibilité descendante, c'est-à-dire permettre à une télé noir et blanc de décoder un signal de télé couleur

Le codage JPEG

- Ce modèle colorimétrique permet en effet de réduire la taille d'une image. Cette réduction se base sur la constatation suivante :
 - l'oeil humain est plus sensible à la luminance qu'à la chrominance. Par conséquent, il est possible de dégrader la chrominance d'une image tout en gardant une bonne qualité.

Passage RGB /YCbCr

$$Y = 0,299 * R + 0,587 * G + 0,114 * B$$

$$Cb = - 0,1687 * R - 0,3313 * G + 0,5 * B + 128$$

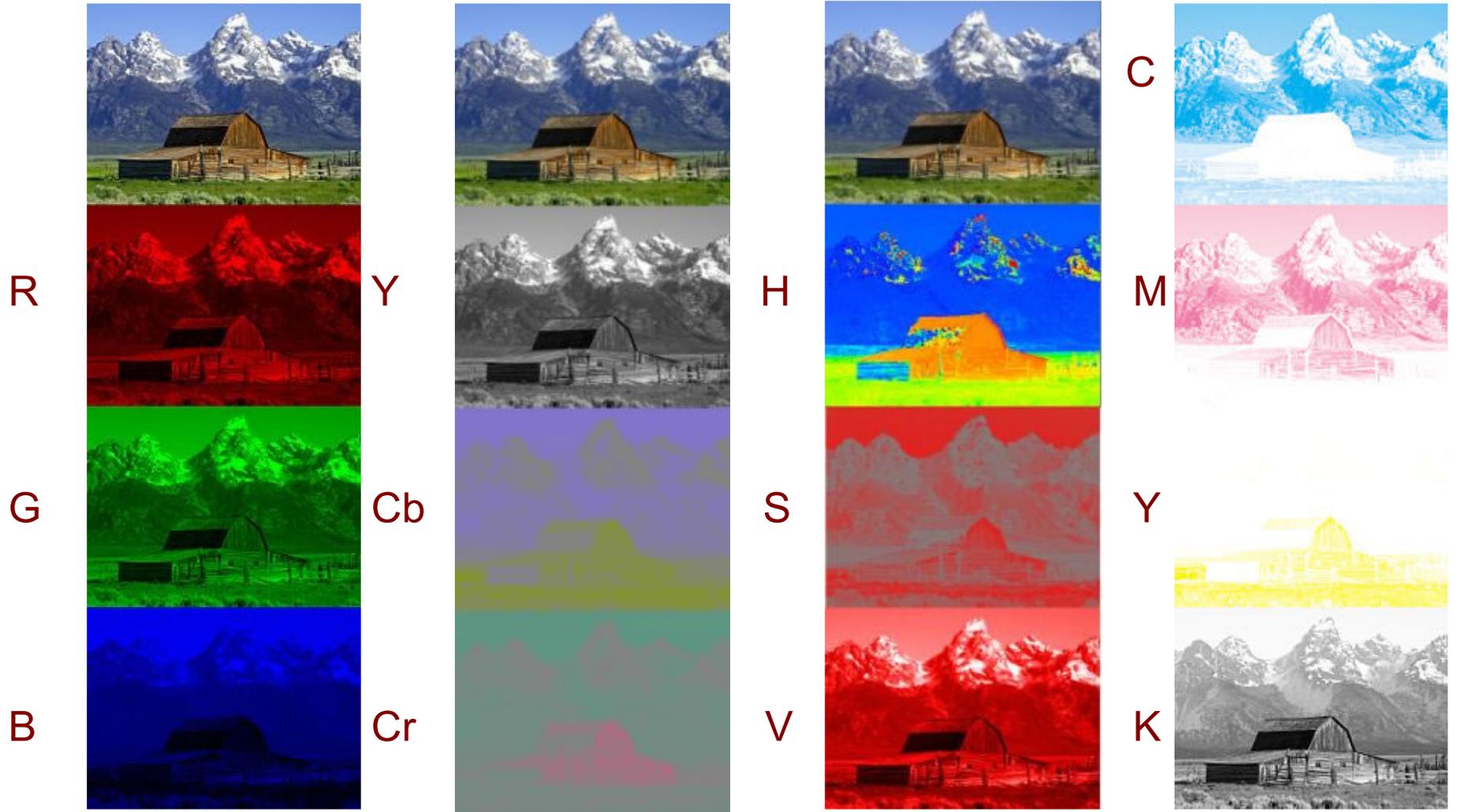
$$Cr = 0,5 * R - 0,4187 * G - 0,0813 * B + 128$$

$$R = Y + 1,402 * (Cr - 128)$$

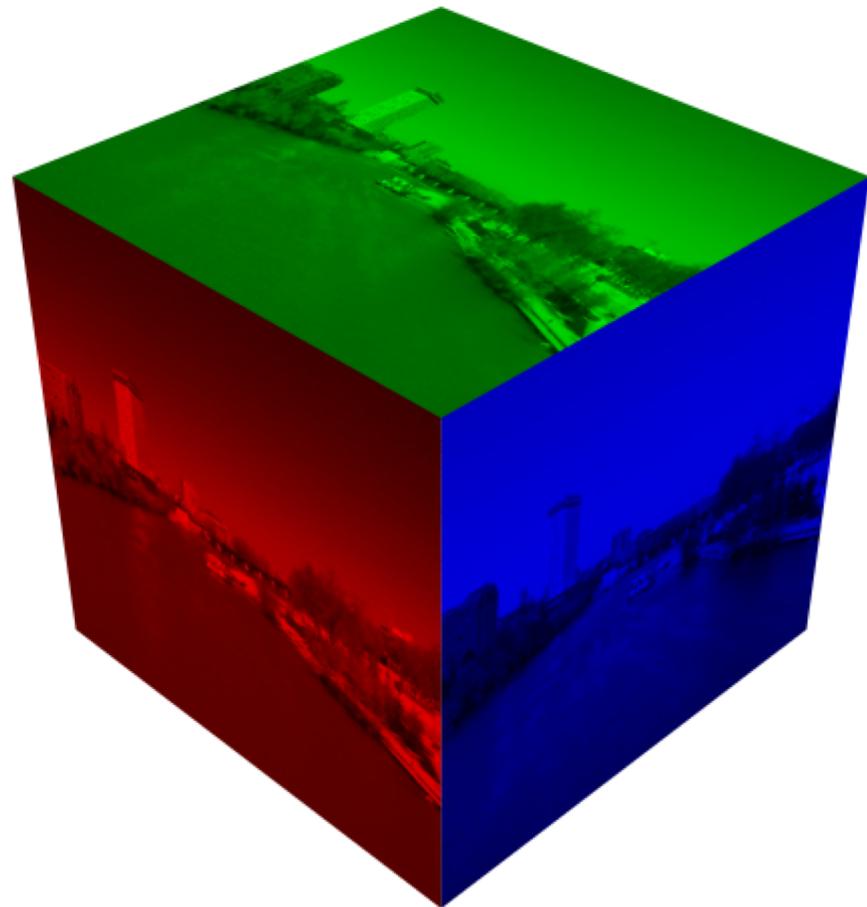
$$G = Y - 0,34414 * (Cb - 128) - 0,71414 * (Cr - 128)$$

$$B = Y + 1,772 * (Cb - 128)$$

RGB/YCbCr/HSV/CMYK



Retour au RGB

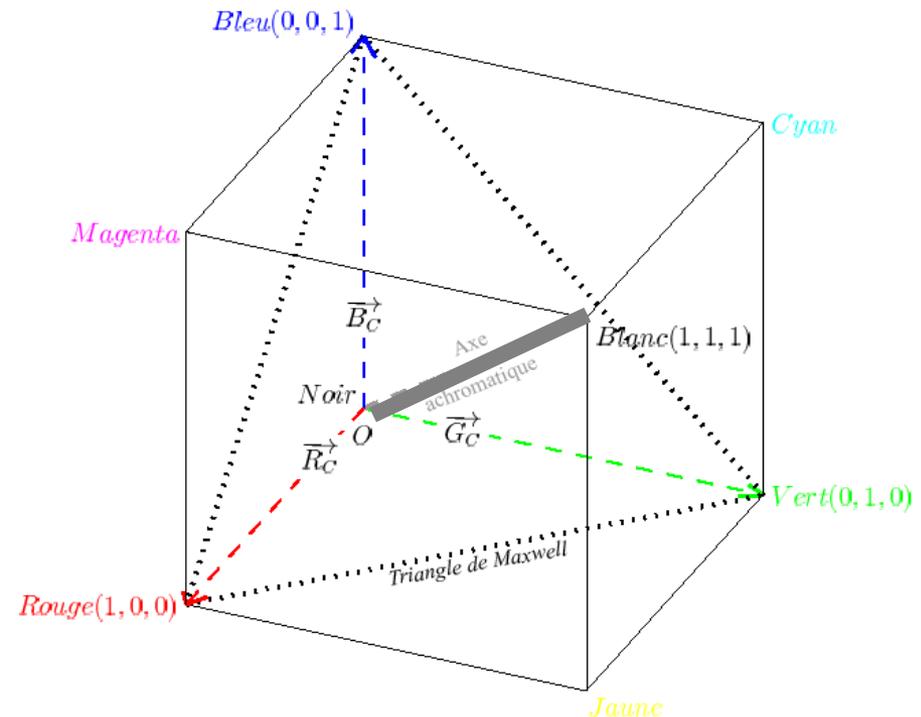


Cube de couleurs : axe des gris

L'origine correspond au noir tandis que le blanc de référence est défini par le mélange unitaire des trois primaires.

La droite passant par les points Noir (0,0,0) et Blanc (1,1,1) est appelée **axe des gris**, *axe des couleurs neutres* ou encore *axe achromatique*.

Les points de cette droite représentent des nuances de gris allant du noir au blanc. Elle a pour équation $R_c = G_c = B_c$.



Luminance et chrominance

Deux stimuli de couleur peuvent posséder le même caractère chromatique, que nous appellerons *chrominance*, mais avoir des composantes trichromatiques différentes à cause de leur luminance.

« Suppression » de la luminance

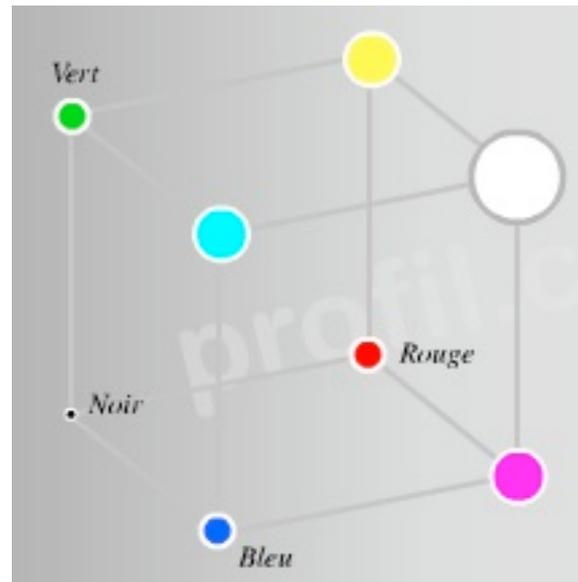
- Afin d'obtenir des composantes qui ne tiennent compte que de la chrominance, il convient de normaliser les valeurs des composantes trichromatiques par rapport à la luminance.
- Ceci est réalisé en divisant chaque composante trichromatique par la somme des trois.

Pourquoi ?

Luminance et chrominance

Les mélanges suivent le principe de la synthèse additive

- le mélange de 2 couleurs, par exemple le bleu et le vert, donne une couleur résultante (cyan) deux fois plus lumineuse.
- L'addition des luminosités est matérialisée dans le cube par des cercles plus ou moins gros selon leur luminosité.



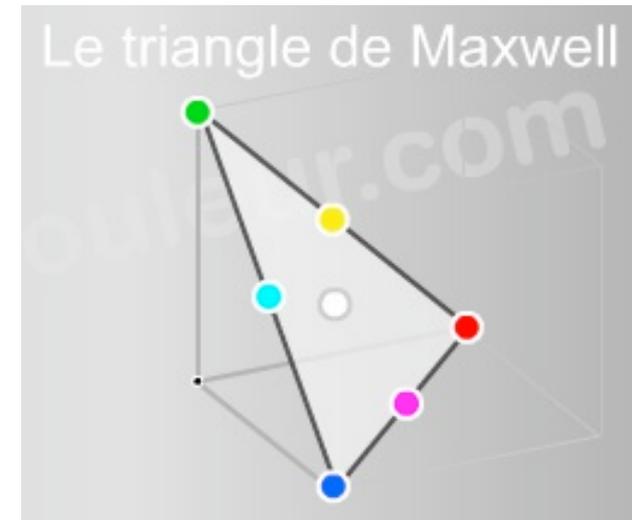
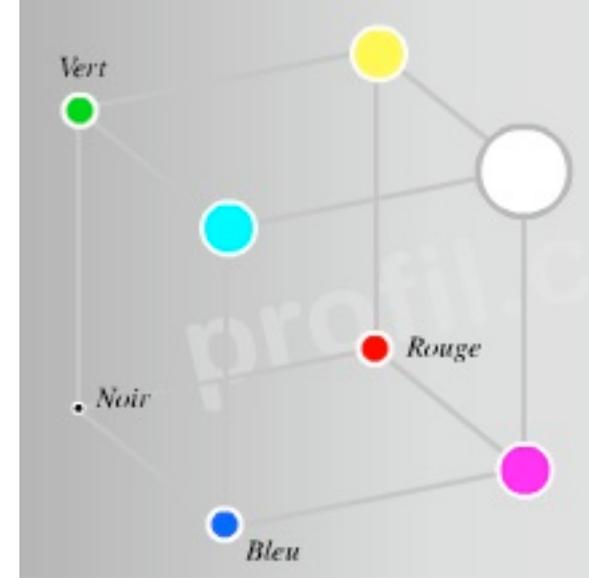
Chrominance

Si on ne veut plus tenir compte de cette variation de luminosité, il faut abandonner la représentation en volume pour une représentation dans un plan en 2 dimensions.

Le triangle formé par les trois primaires est un plan d'égale luminosité. On l'appelle le **triangle de Maxwell**.

Dans le triangle de Maxwell, la **luminosité est constante** pour toutes les couleurs qui s'y trouvent.

La position des couleurs, et par conséquent leur notation décrivent uniquement les variations de couleur selon les mélanges.

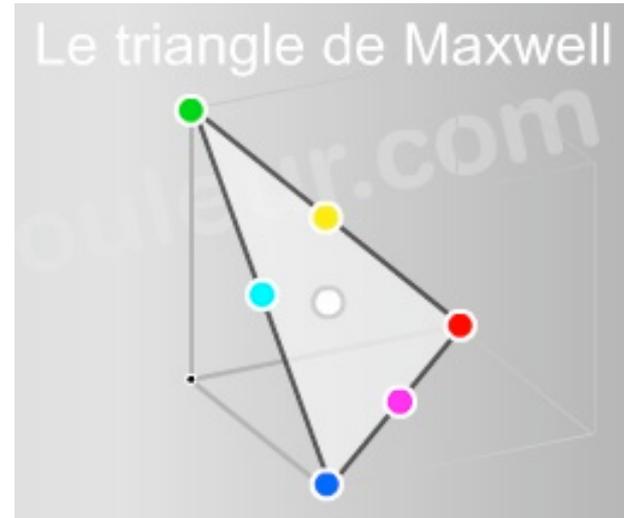


Triangle de Maxwell

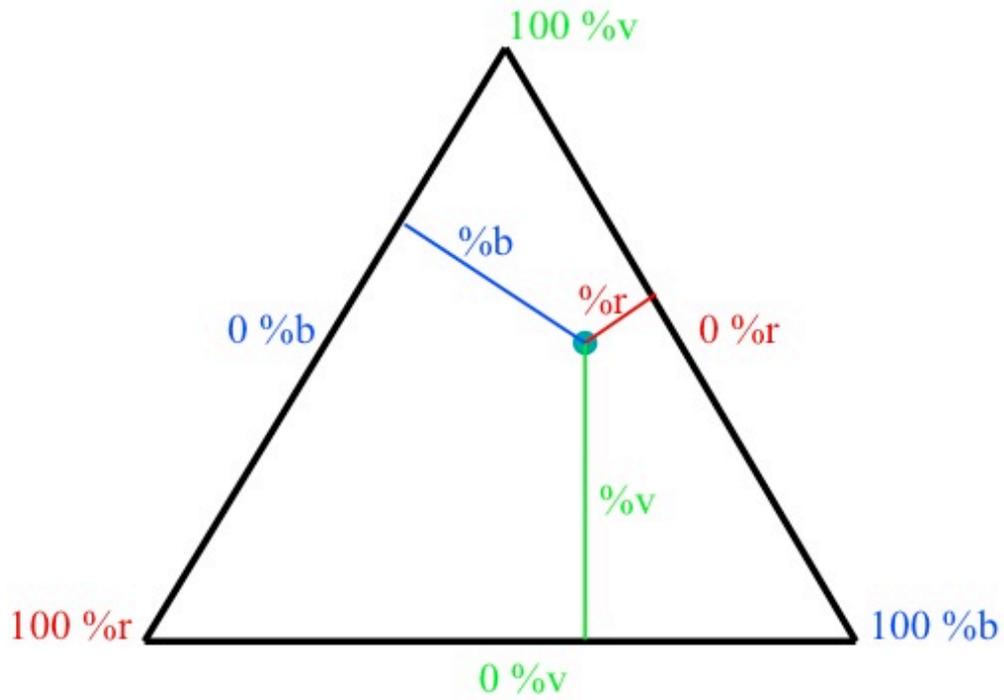
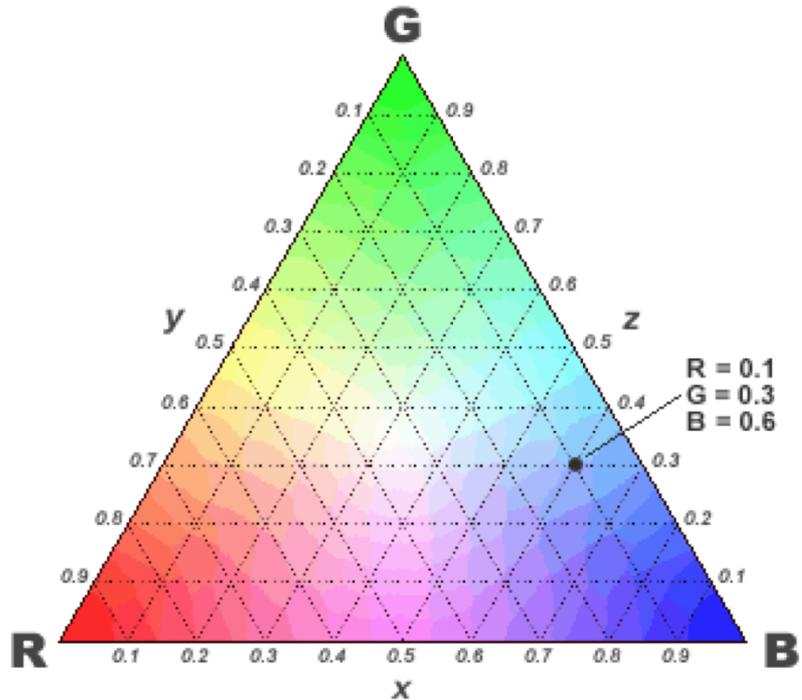
La transformation ainsi définie correspond à la projection du point C sur le plan normal à l'axe achromatique, plan d'équation $R_c + G_c + B_c = 1$.

Les intersections de ce plan avec le cube des couleurs forment un triangle équilatéral dont les sommets sont les trois primaires.

Ce triangle est appelé **triangle de Maxwell**, ou *triangle des couleurs*.



Triangle de Maxwell



Triangle de Maxwell

Calcul de la chrominance

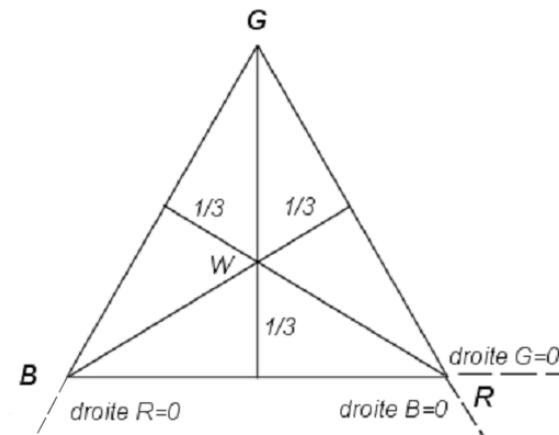
- On doit donc réaliser la projection de R_c , G_c , B_c sur le plan $R_c+G_c+B_c=1$

$$r_c = \frac{R_c}{R_c + G_c + B_c}$$

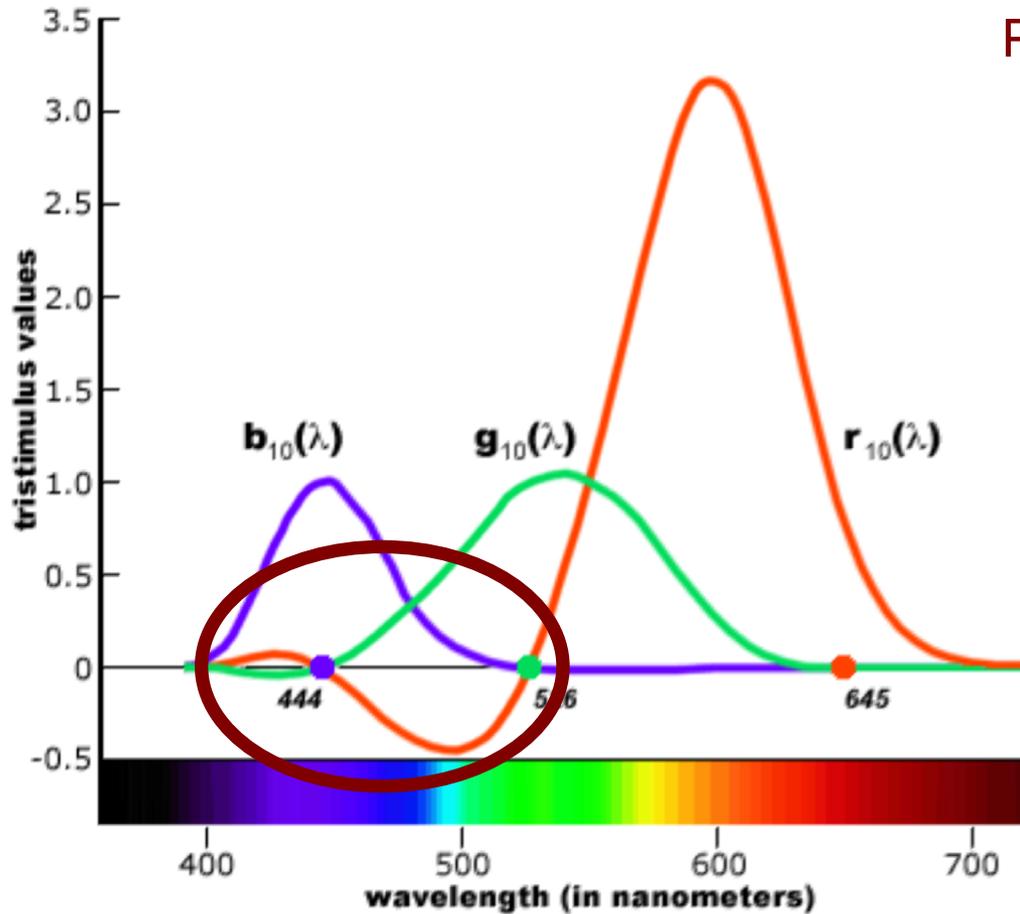
$$g_c = \frac{G_c}{R_c + G_c + B_c}$$

$$b_c = \frac{B_c}{R_c + G_c + B_c}$$

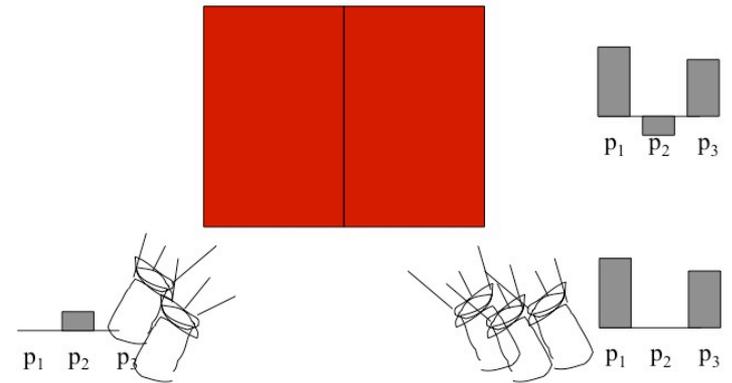
- Dans ce triangle, comme $r_c + g_c + b_c = 1$, 2 composantes suffisent pour décrire la chrominance d'une couleur C .
- Le point W appelé point achromatique, correspond à l'intersection de la droite des gris avec le triangle de Maxwell.



Un problème ?



Pourquoi des valeurs négatives ?



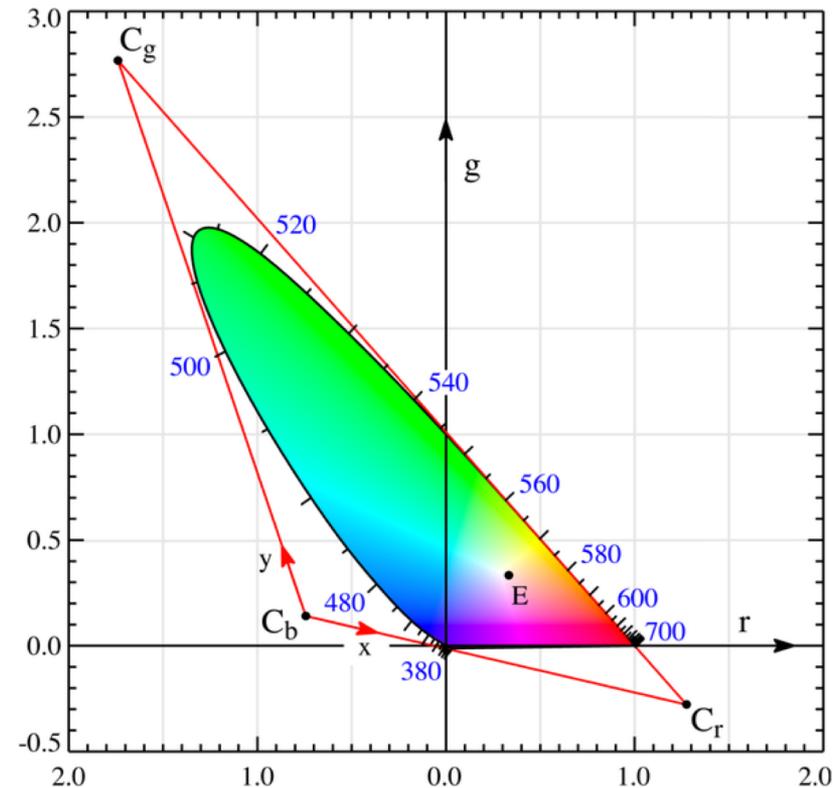
Est-ce un problème ?

Luminance et chrominance

Les composantes ainsi obtenues sont appelées **coordonnées trichromatiques**, *coordonnées réduites* ou encore *composantes normalisées*.

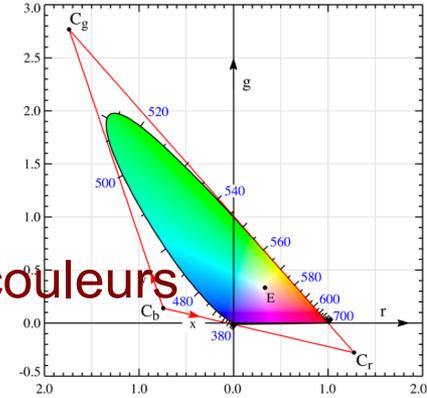
Elles sont notées r_C , g_C et b_C .

Comme $b_C = 1 - r_C - g_C$ deux axes suffisent pour les représenter



Lieu spectral

Le lieu spectral (spectrum locus) représente l'ensemble des couleurs naturelles pures observables.



Cette courbe passe par les points correspondant à des stimuli de couleur monochromatiques depuis 380nm à 700 nm.

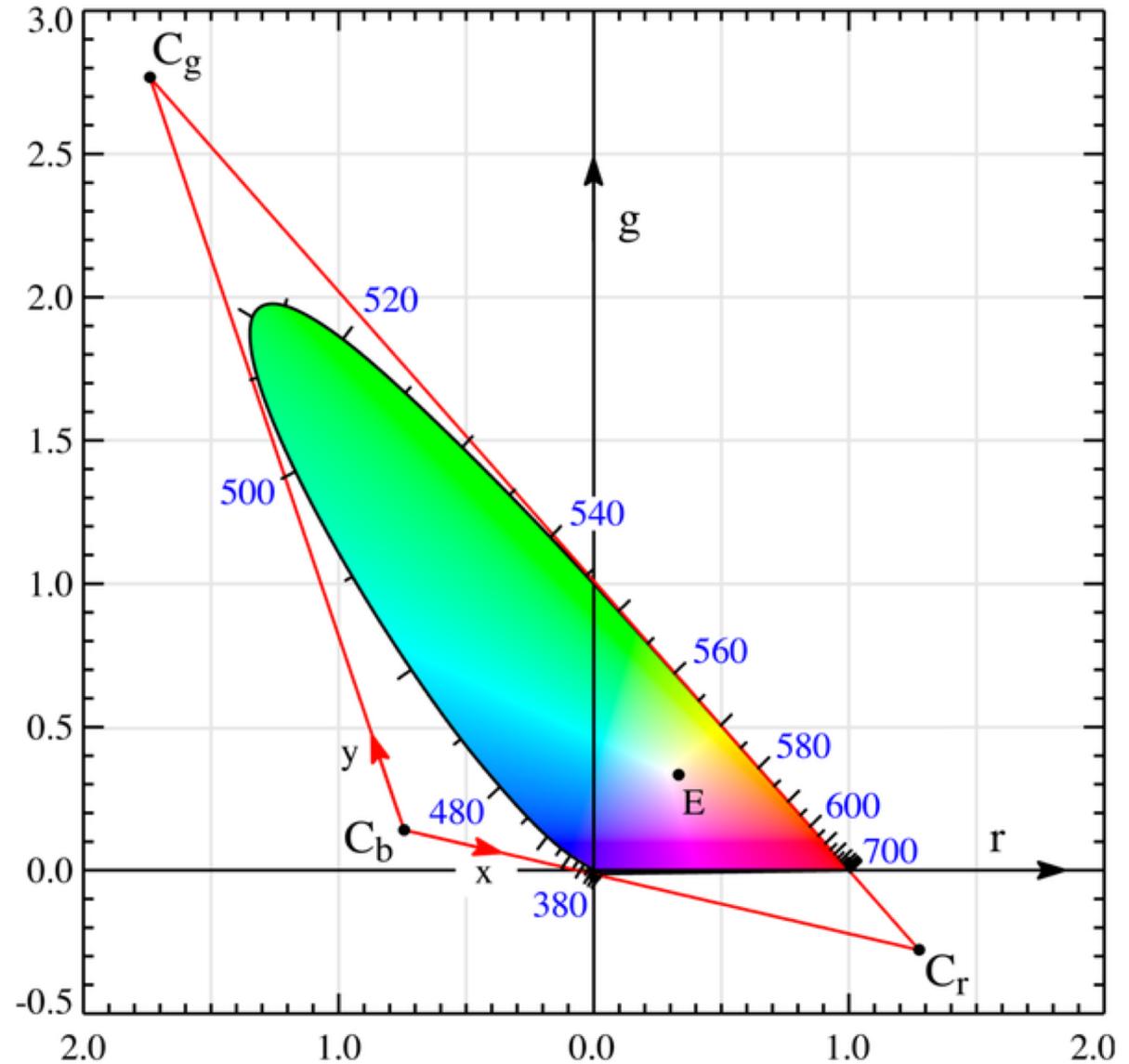
Les deux extrémités de cette courbe sont reliées par une droite appelée droite des pourpres.

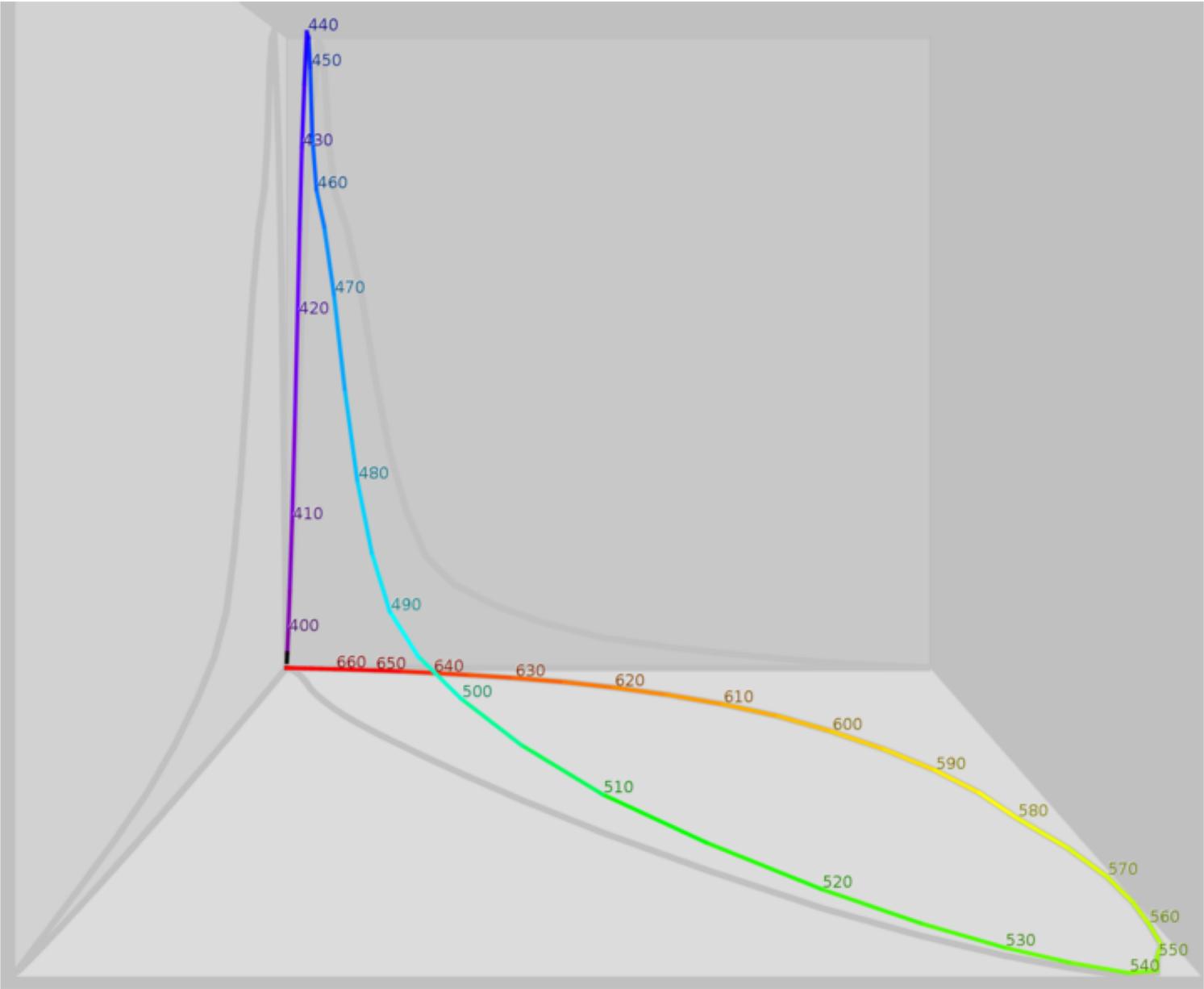
Beaucoup de couleurs du spectre visible ne sont donc pas réalisables par synthèse additive avec les primaires choisies (ni avec n'importe quel autre système de primaires issues de sources monochromatiques réelles).

Ce sont toutes les couleurs qui ne sont pas dans la partie hachurée de la figure.

Diagramme de chromaticité rouge-vert

CIE RGB 1931





Vers des espaces virtuels

Les systèmes RGB type CIE présentent les défauts suivants :

- Les coordonnées et les composantes trichromatiques peuvent prendre des **valeurs négatives**.
- Les valeurs des composantes trichromatiques sont liées à la luminance qui est une combinaison linéaire des composantes trichromatiques et non une composante elle-même.
- Il existe autant de systèmes de type RGB que de choix de primaires.

En 1931, les travaux de Judd ont permis à la CIE d'établir le système de référence colorimétrique dont les primaires sont virtuelles (ou imaginaires ou encore irréelles, c'est à dire extérieures aux couleurs réalisables) et permettent de pallier les inconvénients du système RGB.

Le système XYZ

Objectif :

- élimination des valeurs négatives des fonctions colorimétriques
- réconcilier les fonction colorimétriques et l'efficacité lumineuse

Le système XYZ correspond à un changement de primaires et s'obtient ainsi à l'aide d'une simple matrice de passage à partir du système RGB :

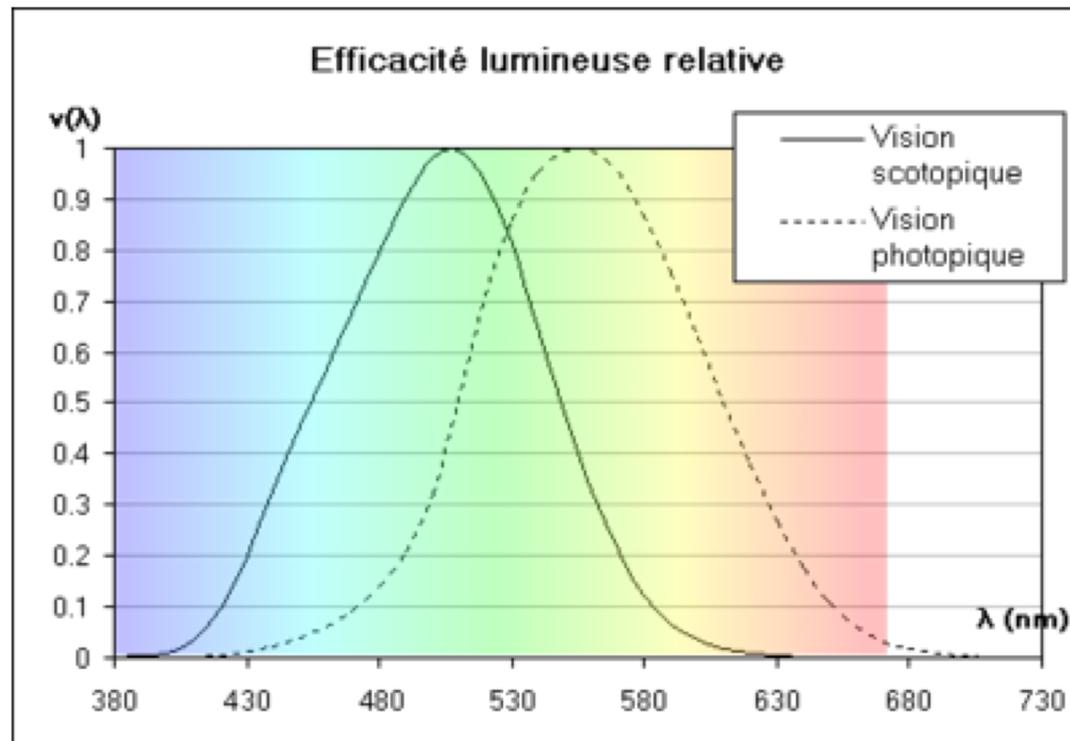
$$\begin{bmatrix} X(\lambda) \\ Y(\lambda) \\ Z(\lambda) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.7690 & 1.7518 & 1.13 \\ 1 & 4.5907 & 0.0601 \\ 0 & 0.0565 & 5.5943 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R(\lambda) \\ G(\lambda) \\ B(\lambda) \end{bmatrix}$$

On remarque l'équivalence entre Y et la fonction d'efficacité lumineuse relative $V(\lambda)$, ce qui permet de représenter la luminance par la composante Y

$$V(\lambda) = R_c(\lambda) + 4.5907 G_c(\lambda) + 0.0601 B_c(\lambda)$$

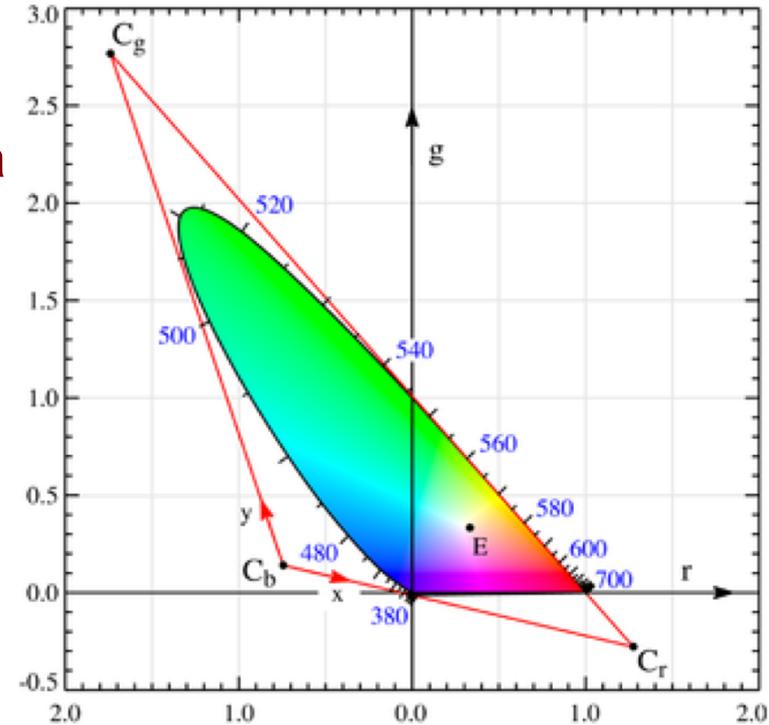
Rappel: fonction d'efficacité lumineuse

Le maximum de la fonction est situé vers 555 nm en éclairage photopique (diurne), mais se décale dans le bleu-vert aux environs de 500 nm en éclairage scotopique (nocturne)



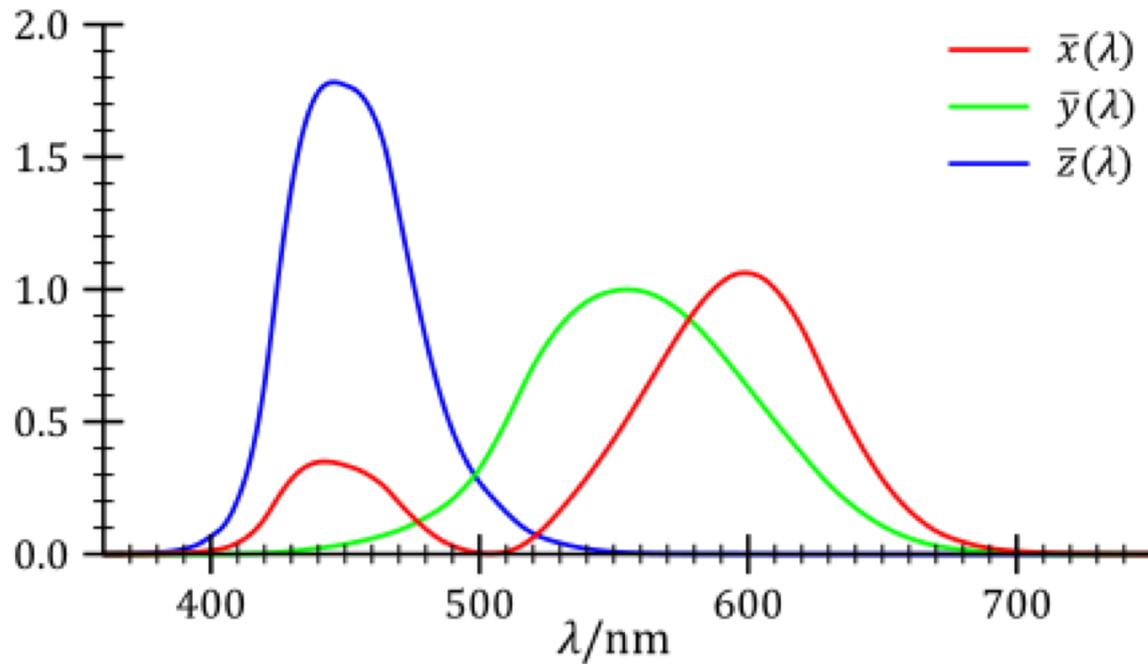
XYZ construction

1. Toutes les composantes doivent être positives ou nulles
2. La composante $Y(\lambda)$ doit être équivalente à la fonction d'efficacité lumineuse $V(\lambda)$
3. Pour le point d'énergie constante (point blanc), on doit avoir $X=Y=Z=1/3$
4. Le Gamut de toutes les couleur doit être dans le triangle $[0,0], [0,1],[1,0]$
5. Le Gamut doit presque remplir cet espace



CIE XYZ

The CIE standard observer color matching functions

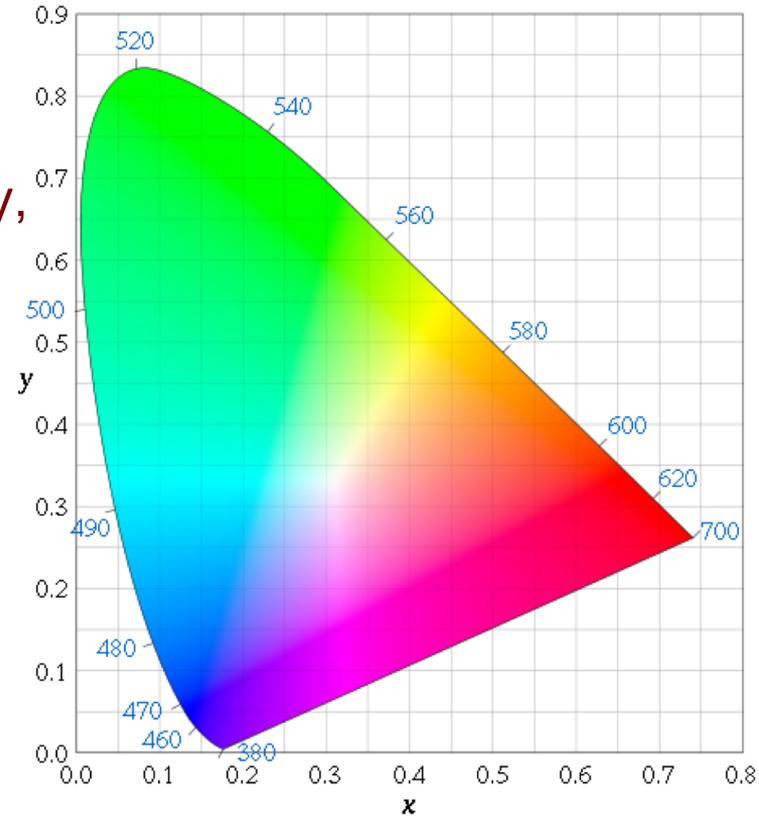


CIE xyY 1931

La division de ces trois valeurs XYZ par leur somme fait apparaître trois autres nombres x , y , z qui sont indépendants des intensités lumineuses et reliés par $x + y + z = 1$.

L'idée de base du système CIE xyY consiste à associer

- la luminance Y qui caractérise l'intensité lumineuse subjective, indépendante de la couleur,
- à deux des valeurs précédentes xy qui définissent la chrominance la couleur indépendamment de l'intensité.



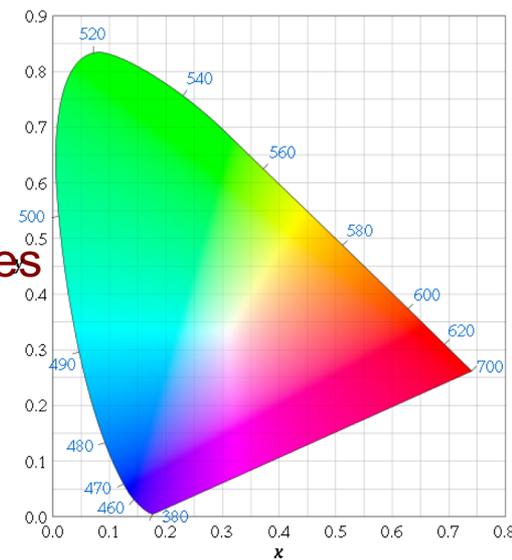
CIE xyY 1931

La courbe en forme de fer à cheval représente les couleurs pures rouge extrême au violet extrême. Le segment qui joint les deux extrémités correspond aux poudres

Le point de coordonnées $x = 1/3$, $y = 1/3$ représente le blanc.

Une demi-droite ayant ce point pour origine définit une teinte tandis que la position d'un point entre le blanc et la teinte pure située sur le bord de la figure définit la proportion de teinte et de blanc, c'est-à-dire la saturation.

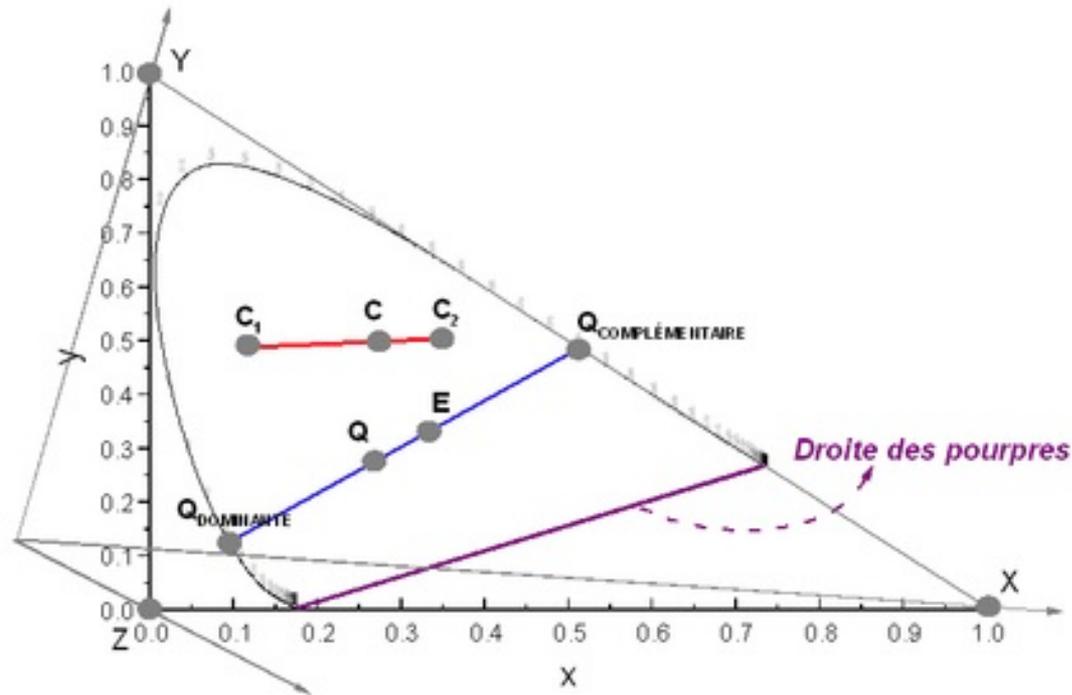
On peut considérer que la luminance, de même nature que la valeur, est portée par un axe perpendiculaire.



CIE xyY : propriétés

Toute couleur C résultant du mélange additif de C_1 et C_2 se trouve sur la droite C_1C_2

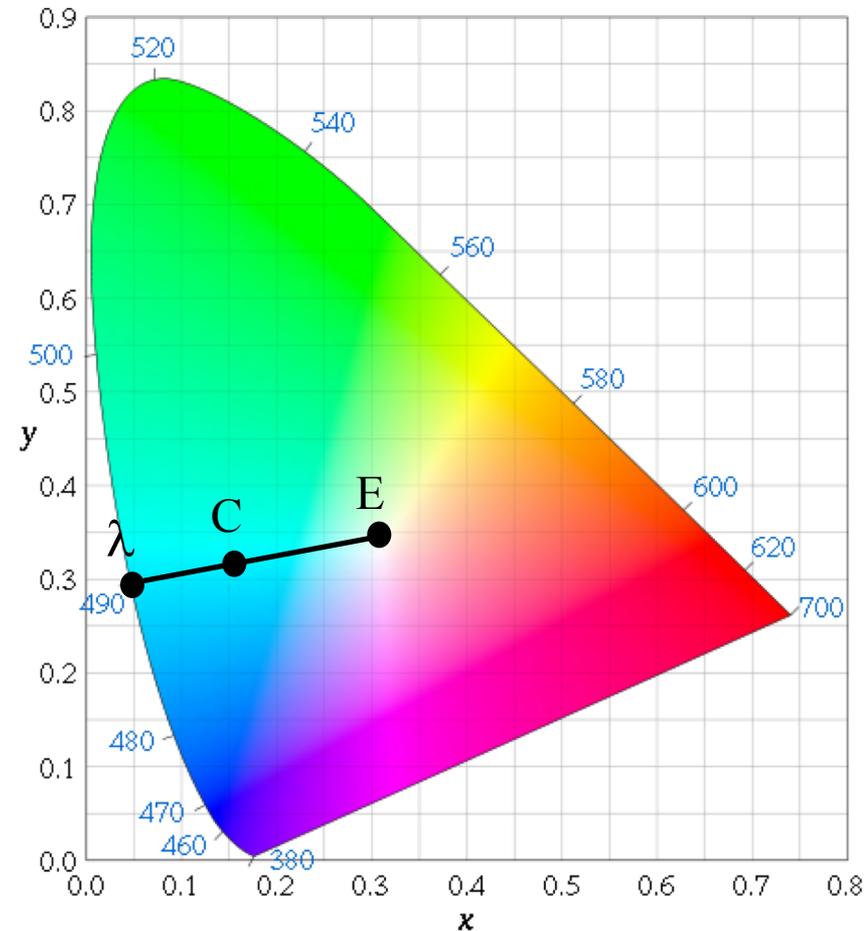
Toute couleur Q résulte du mélange d'une couleur pure $Q_{\text{dominante}}$ (sur le spectrum locus) avec le blanc de référence E



CIE xyY : propriétés

Pour trouver la longueur d'onde de la couleur dominante du point C prolonge la droite reliant le point E au point C

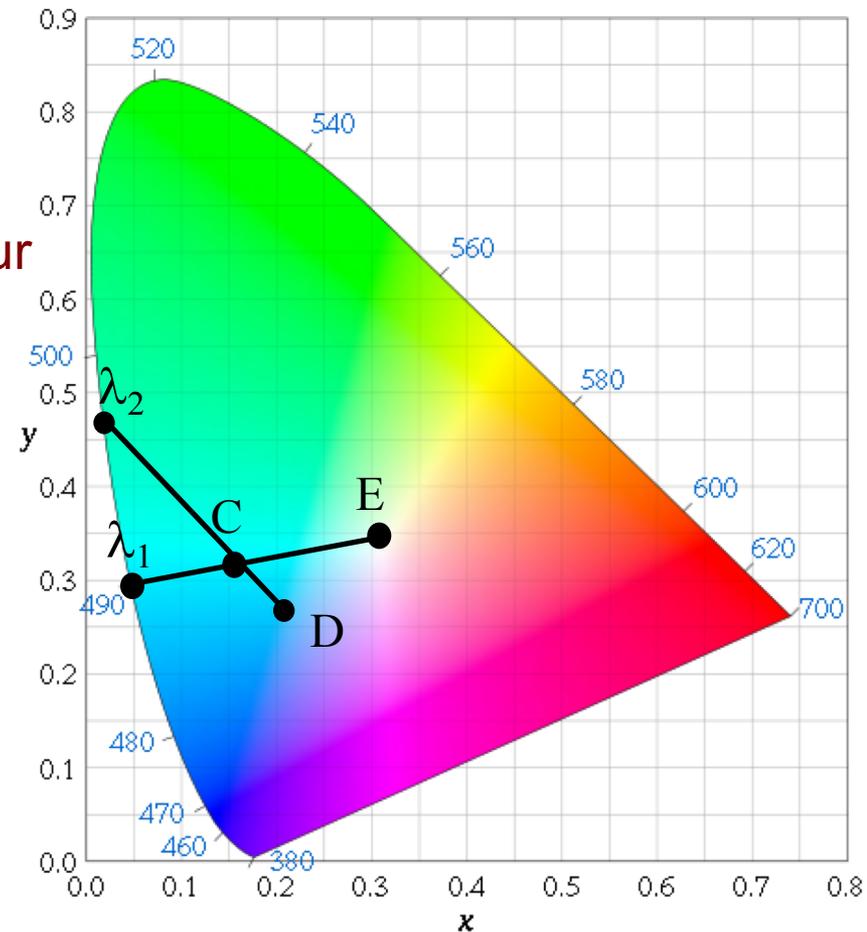
ici 490 nm



CIE xyY : propriétés

Changement d'illuminant

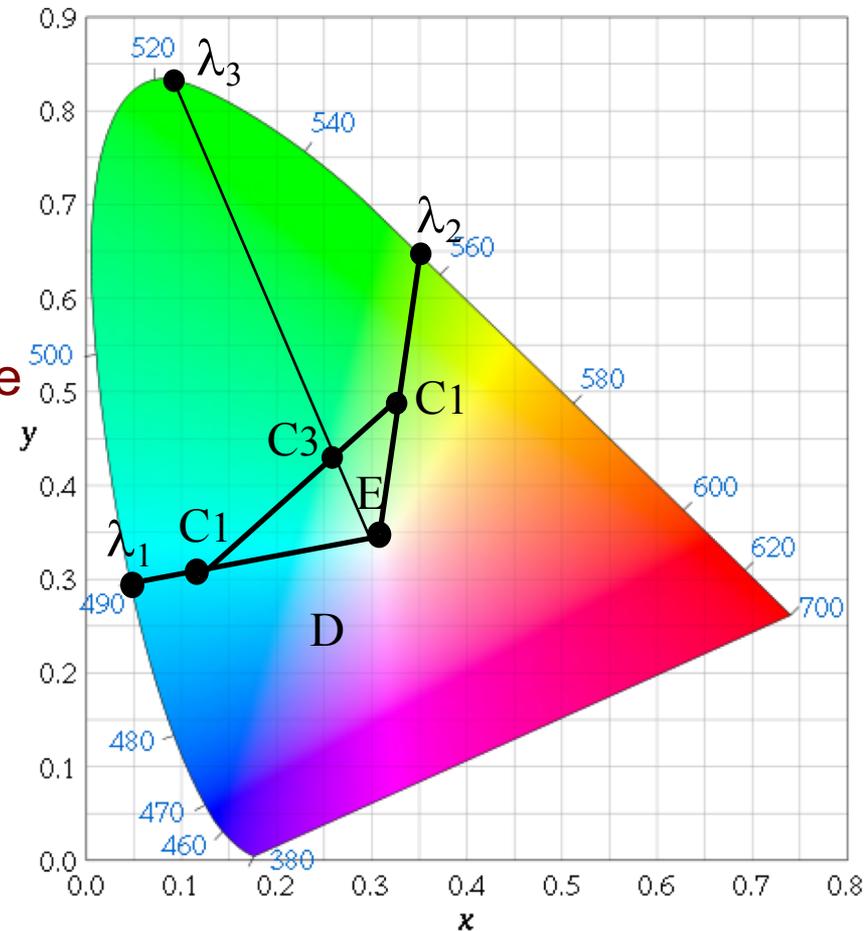
Si on passe de l'illuminant E à D, la couleur dominante passe de λ_1 à λ_2



CIE xyY : propriétés

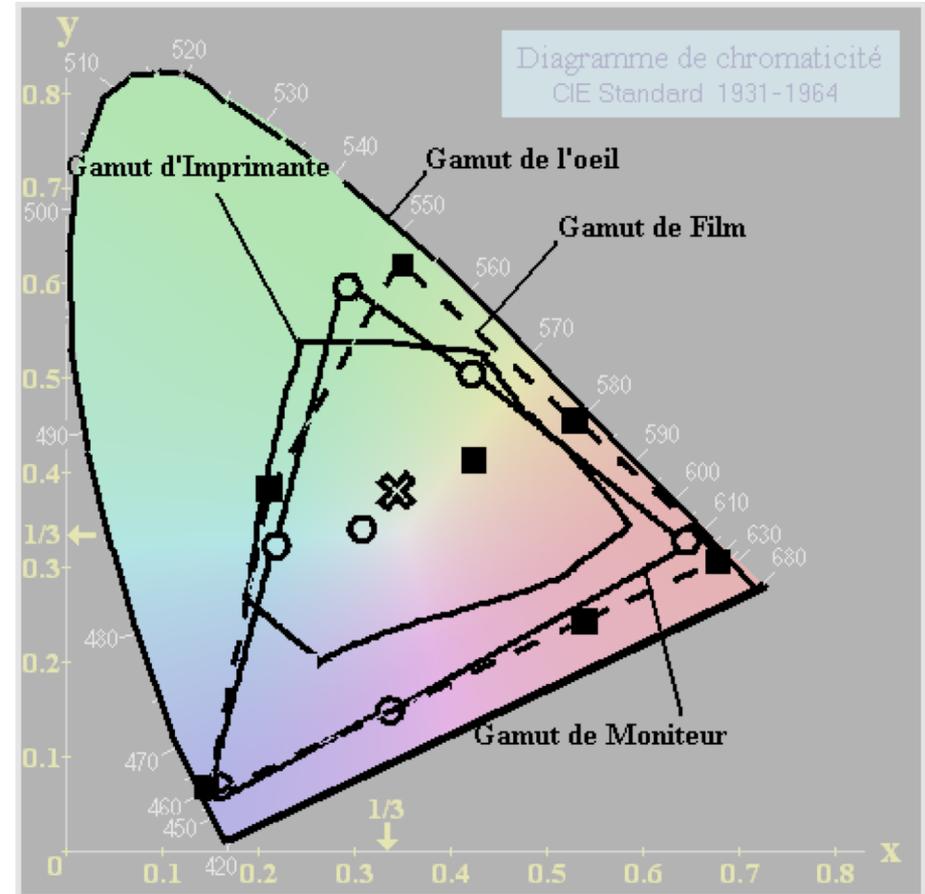
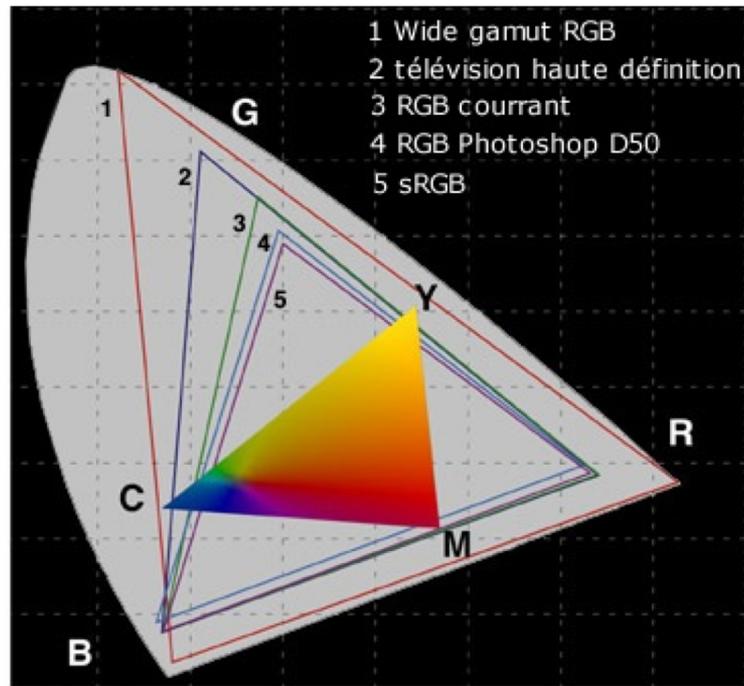
Mélange de couleur

Le mélange de la couleur C_1 de longueur d'onde dominante λ_1 et d'une couleur C_2 de de longueur d'onde dominante λ_2 donne une couleur d'onde C_3 de de longueur d'onde dominante λ_3

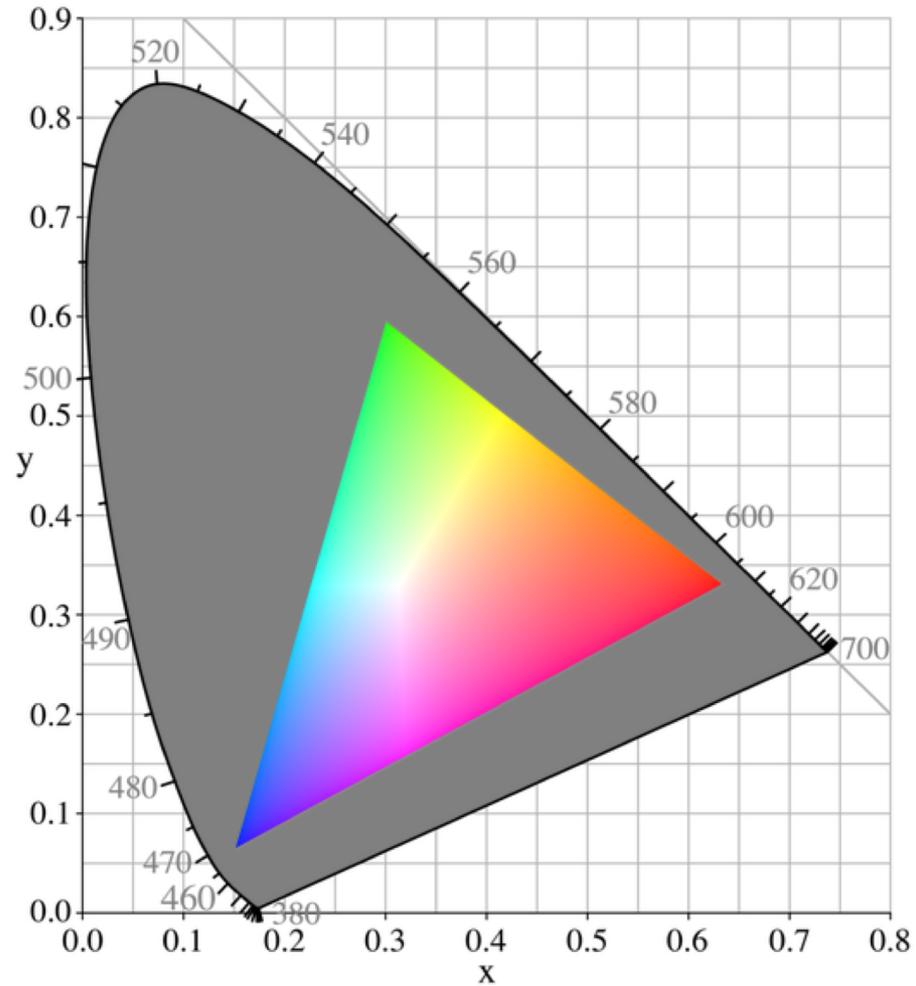


au passage : Gamut

Un gamut est défini par le volume des couleurs réalisables par un système informatique (ou industriel) exprimé dans un espace colorimétrique de référence.



Gamut RGB dans xyY



Teinte Saturation Valeur (HSV)

HSV/HSL *hue, saturation, value/lightness*

Teinte : le forme pure de la couleur

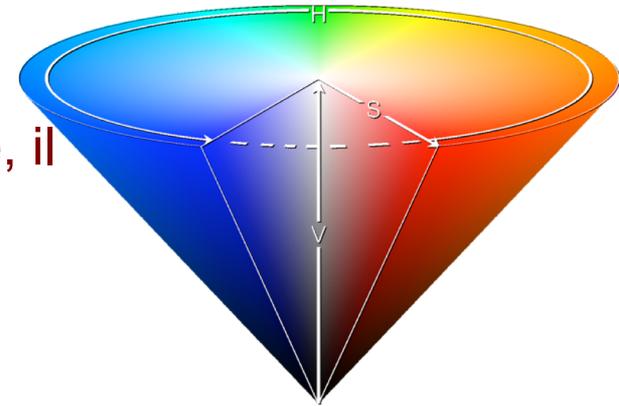
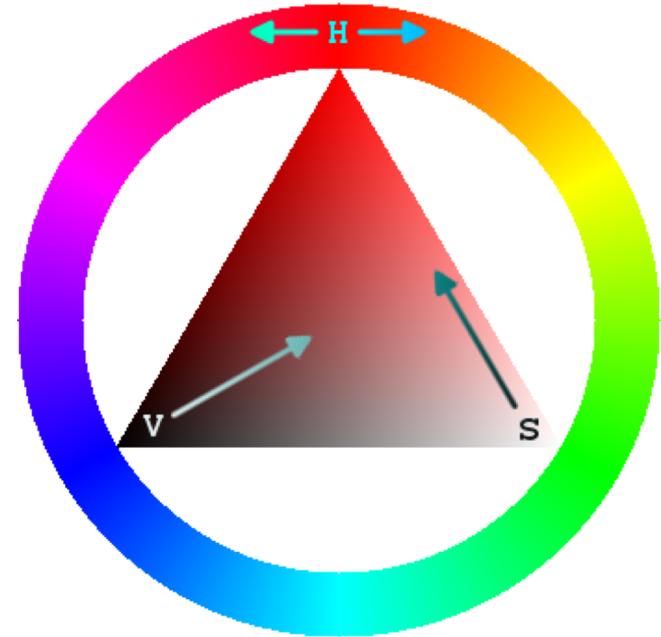
- la valeur varie entre 0 et 360, mais est parfois normalisée en 0–100 % ;

Saturation : l'« intensité » de la couleur

- varie entre 0 et 100 % ;est parfois appelé « pureté » ;
- plus la saturation d'une couleur est faible, plus l'image sera « grisée » et plus elle apparaîtra fade, il est courant de définir la « désaturation » comme l'inverse de la saturation ;

Valeur : la « brillance » de la couleur

- elle varie entre 0 et 100 %

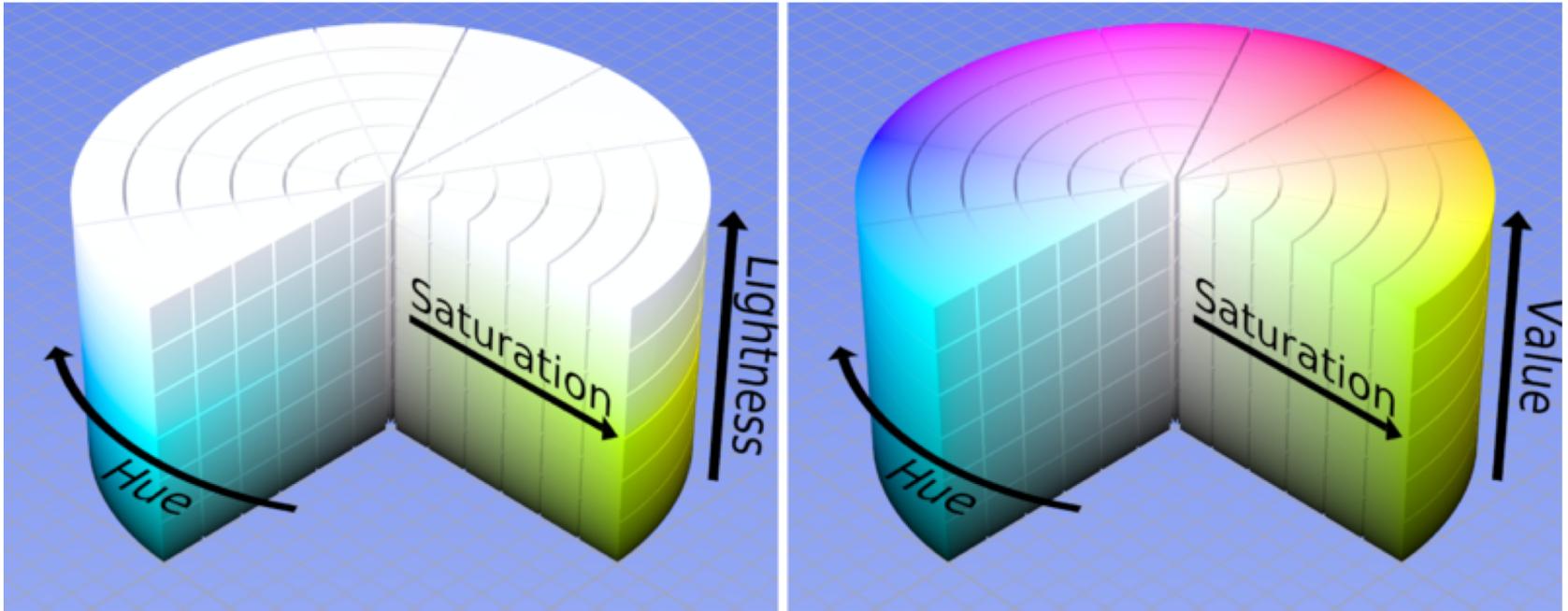


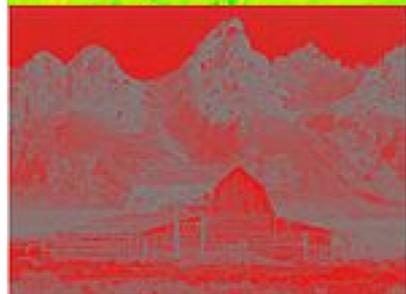
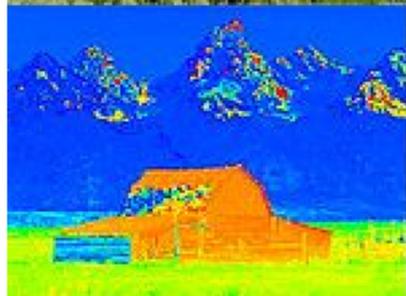
Hue, saturation and lightness



HLS/HSV

HSV/HSL *hue, saturation, value/lightness*

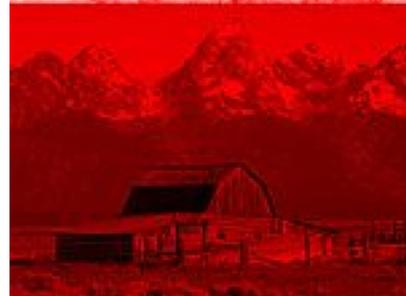
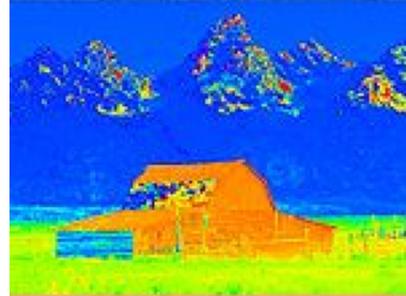




H

S

L



H

S

V

Conversion from RGB to HSL or HSV

Let $r, g, b \in [0, 1]$ be the red, green, and blue coordinates, respectively, of a color in RGB space.

To find the hue angle $h \in [0, 360]$ for either HSL or HSV space, compute:

$$h = \begin{cases} 0, & \text{if } \max = \min \\ (60^\circ \times \frac{g-b}{\max - \min} + 360^\circ) \bmod 360^\circ, & \text{if } \max = r \\ 60^\circ \times \frac{b-r}{\max - \min} + 120^\circ, & \text{if } \max = g \\ 60^\circ \times \frac{r-g}{\max - \min} + 240^\circ, & \text{if } \max = b \end{cases}$$

To find saturation and lightness $s, l \in [0, 1]$ for HSL space, compute:

$$l = \frac{1}{2}(\max + \min)$$
$$s = \begin{cases} 0, & \text{if } \max = \min \\ \frac{\max - \min}{\max + \min} = \frac{\max - \min}{2l}, & \text{if } l \leq \frac{1}{2} \\ \frac{\max - \min}{2 - (\max + \min)} = \frac{\max - \min}{2 - 2l}, & \text{if } l > \frac{1}{2} \end{cases}$$

L'espace colorimétrique absolu CIE L*a*b*

CIE Lab (plus précisément L*a*b*) est un modèle de représentation des couleurs développé en 1976 par le CIE

L'espace L*a*b* (que l'on écrit aussi LAB ou Lab par facilité) est une tentative

- pour linéariser la réponse logarithmique de l'oeil,
- préciser sa tolérance tout en tenant compte de sa grande sensibilité à la luminance
- et en évitant de représenter les couleurs dans un espace déformé comme c'est le cas dans tous les autres modèles dérivé de l'espace CIE.

Dans l'acronyme L*a*b*, le signe * représente la dérivée des valeurs L, a et b.

- En pratique, L* représente la luminance,
- a* est un point sur l'axe vert-rouge et b* un point de l'axe jaune-bleu, leur produit définissant un point dans l'espace colorimétrique.

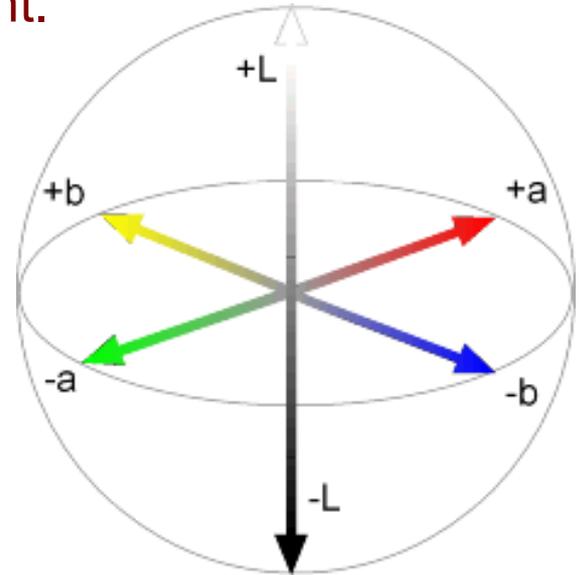
CIE L*a*b*

Cet espace est le plus proche de la sensibilité de l'oeil humain mais ne représente pas pour autant sa sensibilité réelle.

La totalité de cet espace contient environ 4.2 millions de couleurs.

Autre particularité, la distribution des couleurs y est uniforme.

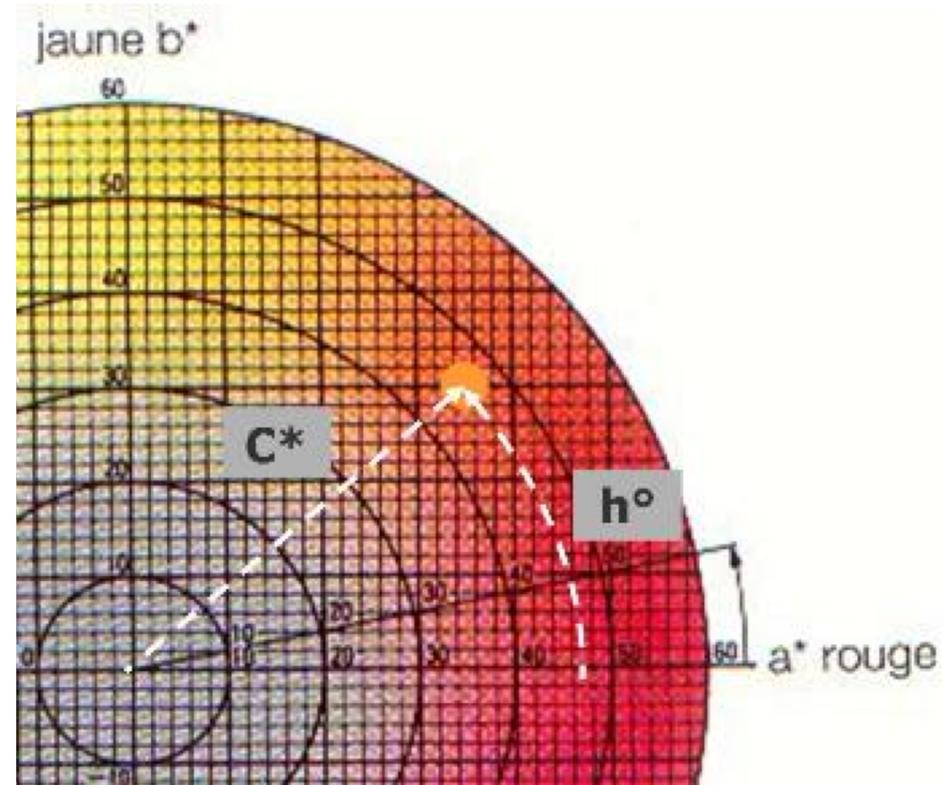
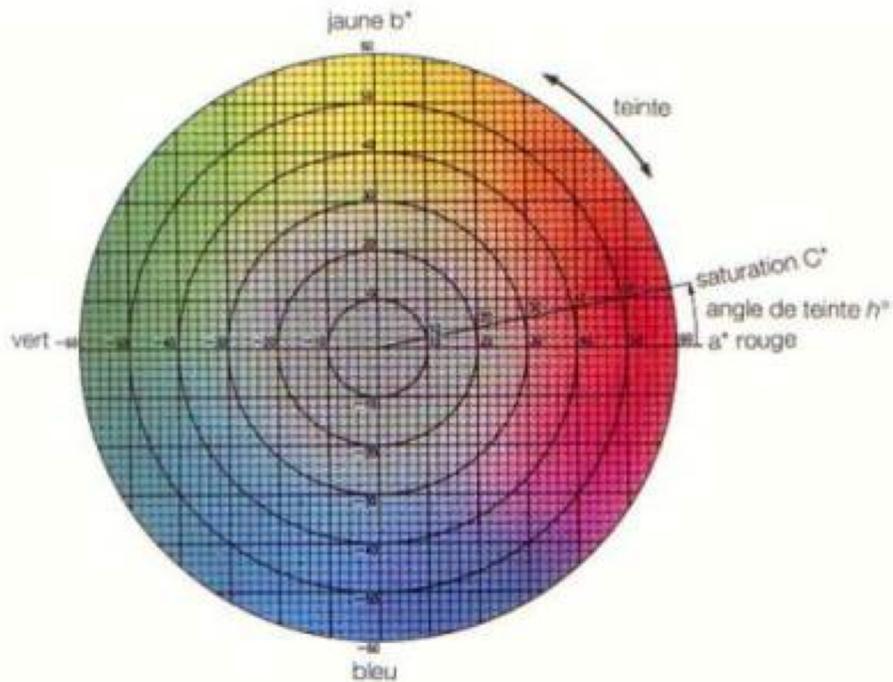
Cette uniformité signifie que de faibles écarts théoriques entre couleurs sont ressentis comme étant également faibles visuellement.



L*a*b* et L*C*h°

Le système CIELAB 1976 possède deux modes de représentation :

- Représentation en coordonnées rectangulaires L*a*b*
- Représentation en coordonnées cylindriques L*C*h°



L*a*b* et L*C*h°

Les formules de calcul des coordonnées L* - a* - b* - C* - h° dans l'espace CIELAB 1976 sont les suivantes :

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 \left(\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right)$$

$$b^* = 200 \left(\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right)$$

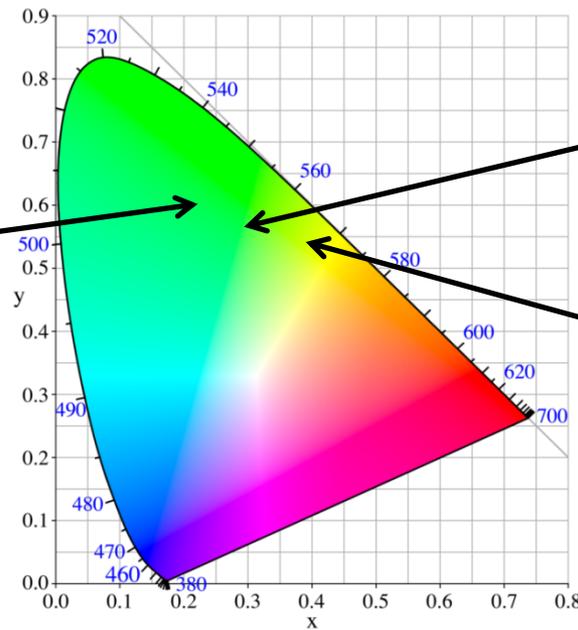
$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$h^\circ = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

où X_n , Y_n & Z_n sont les valeurs du stimuli triple du blanc de référence

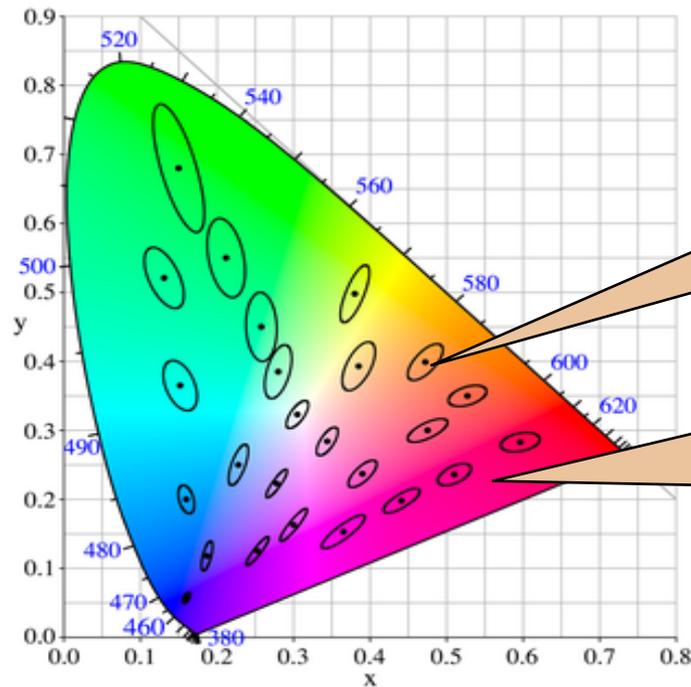
Distances dans les espaces de couleurs

Est ce que les distances dans les espaces de couleurs sont perceptuellement significatives ?



Distances dans les espaces de couleurs

Pas nécessairement: CIE XYZ n'est pas un espace de couleur uniforme la magnitude de la différence entre coordonnées est un indicateur peu fiable de la distance



Les couleurs à l'intérieur d'une ellipse sont jugées identiques

Une couleur à l'extérieur d'une ellipse est jugée différente de celle au centre de l'ellipse

McAdam ellipses

CIE L*a*b

Le CIELAB 1976 permet de calculer des écarts colorimétriques entre un Standard et un échantillon dans les 2 modes de représentations et suivant chacun des axes L*, a*, b*, C*, h°.

$$dL^* = L^*_{ECH} - L^*_{STD}$$

$$da^* = a^*_{ECH} - a^*_{STD}$$

$$db^* = b^*_{ECH} - b^*_{STD}$$

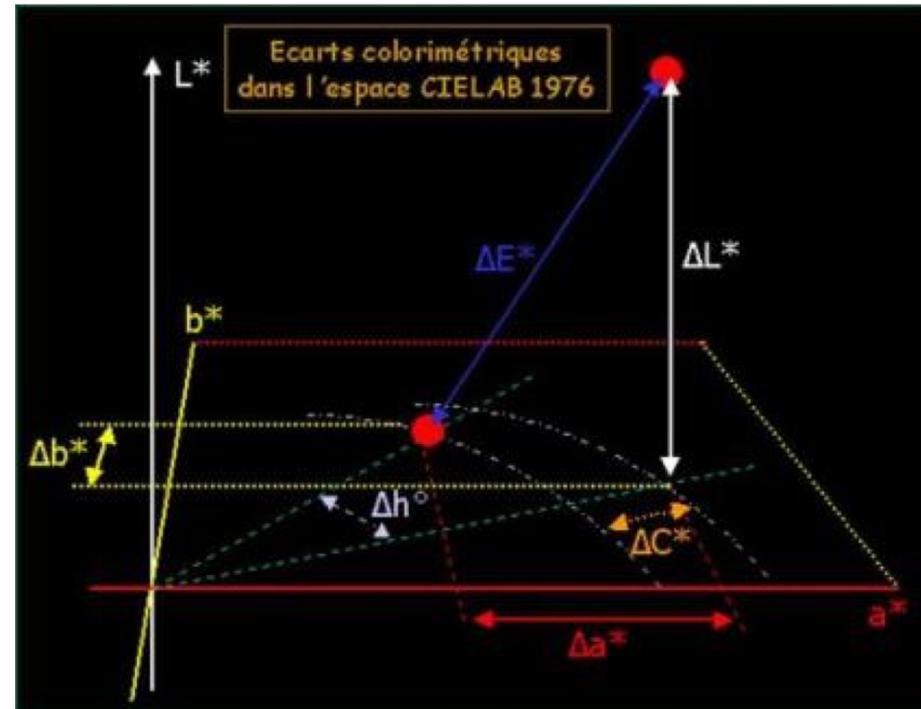
$$dC^* = C^*_{ECH} - C^*_{STD}$$

$$dh^\circ = h^\circ_{ECH} - h^\circ_{STD}$$

$$dH^* = C^*_{STD} \times dh^\circ \times (\pi/180)$$

$$dE^* = [dL^{*2} + da^{*2} + db^{*2}]^{1/2}$$

$$dH^* = [dE^{*2} - dL^{*2} - dC^{*2}]^{1/2}$$



CIE L*a*b

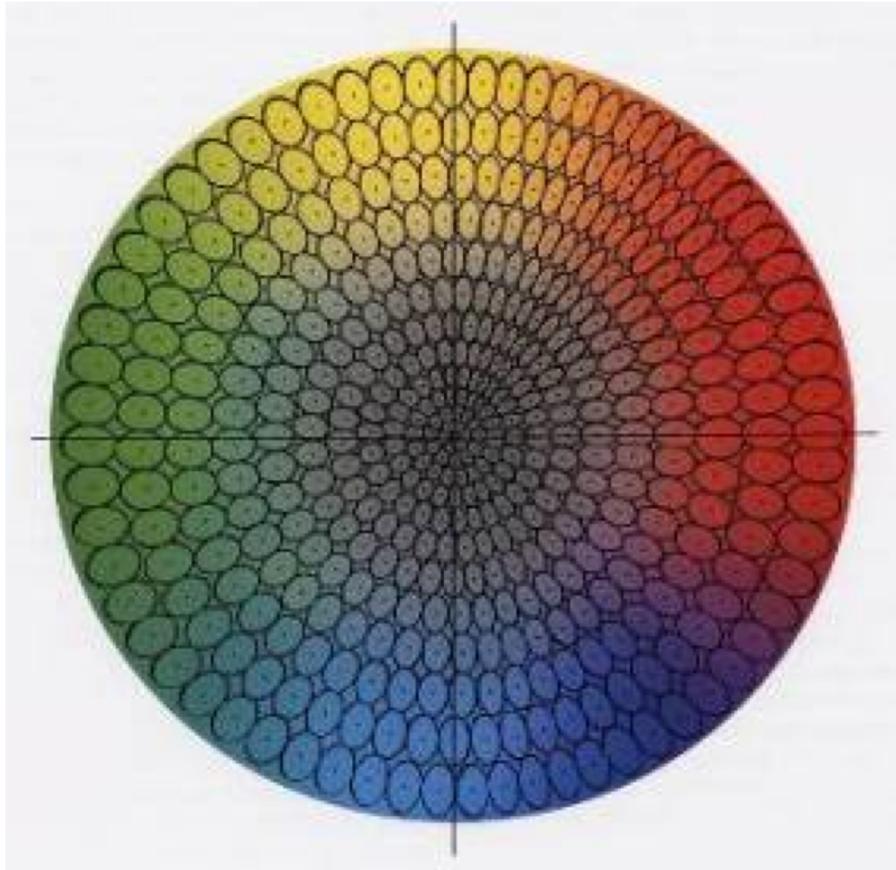
Les écarts colorimétriques entre un Standard et un échantillon dans les 2 modes de représentations et suivant chacun des axes L^* , a^* , b^* , C^* , h° sont donc les suivants :

- dL^* = écart de Clarté
- da^* = écart sur l'axe Rouge/Vert
- db^* = écart sur l'axe Jaune/Bleu
- dC^* = écart de Chroma ou Saturation
- dH^* = écart de Tonalité Chromatique
- dE^* = écart total de teinte = distance géométrique entre le standard et l'échantillon.

Ecart	Positif	Négatif
dL^*	l'échantillon est plus clair	l'échantillon est plus foncé
da^*	l'échantillon est plus rouge ou moins vert	l'échantillon est plus vert ou moins rouge
db^*	l'échantillon est plus jaune ou moins bleu	l'échantillon est plus bleu ou moins jaune
dC^*	l'échantillon est plus saturé	l'échantillon est moins saturé

Uniformité perceptuelle

Ellipses de Mc Adam pour $L^* C^* h^\circ$



Profil ICC

Un profil ICC est un fichier numérique d'un format particulier (extensions .icc et .icm) décrivant la manière dont un périphérique informatique restitue les couleurs

Un profil ICC contient les données permettant de convertir les couleurs depuis un espace colorimétrique source (généralement lié à un périphérique) vers un espace colorimétrique indépendant (L^*a^*b , xyY)

Profil ICC

Comme le profil ICC permet de savoir quelles couleurs sont atteintes par le périphérique et de quelle manière, il est possible :

- d'optimiser le rendu colorimétrique du périphérique.
- de calculer et de visualiser son gamut
- de simuler le rendu colorimétrique du périphérique sur un autre en vue d'un épreuve contractuel. Un cas très courant est la simulation d'une presse sur un traceur.d'une manière générale,
- d'harmoniser les rendus colorimétriques d'une chaîne graphique entre scanner, écran, traceur et presse.

Profil ICC

