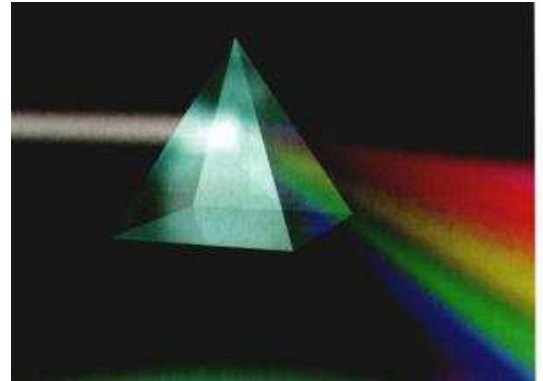


Préambule:

On sait depuis l'expérience de Isaac Newton en 1666 que la lumière blanche, après être passée par un prisme, se décompose en 7 couleurs pures découvrant ainsi ce que l'on nomme le spectre visible. On dit sept couleurs en réalité 8 avec l'indigo, qui est une infime bande colorée du prisme ou de l'arc en ciel. En vérité chaque couleur se divise en une infinité de nuances. C'est notre œil et notre cerveau qui nous dicte le nombre de couleurs que nous voyons derrière le prisme.



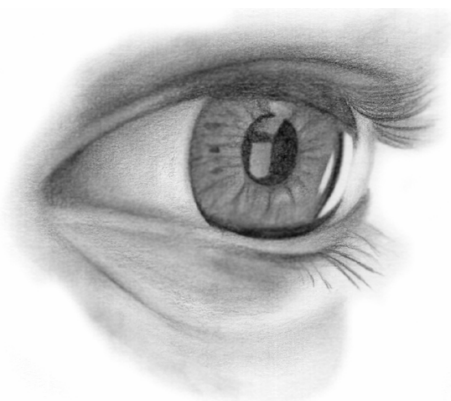
La couleur une notion subjective ?

La pomme est rouge ! Le citron est jaune ! Est-ce vrai ? Nous attribuons ces couleurs aux objets car, enfants, nos parents nous ont appris cette association d'idées. Notions qu'ils avaient eux-mêmes apprises de leurs parents ... Le daltonien voit les couleurs différemment de nous ; la pomme a-t-elle un autre goût pour lui ? Sa façon de voir la pomme est elle moins belle que la notre ? Il n'y a qu'en société lors d'une discussion où cette différence de perception est mise en avant. Quand vous voyez du rouge, le daltonien voit du vert ! Si tout petit les parents du daltonien lui ont dit la pomme est rouge tout ce qui est de la même couleur est ... rouge ! Donc pour lui de quelle couleur est la pelouse ?



Cette notion de subjectivité est une parenthèse dans ce tutoriel, mais est importante pour comprendre que chacun aura "sa" vision ; ce qui peut paraître magnifique pour l'un est tout juste bien pour l'autre. Sir Isaac Newton lui-même écrivait

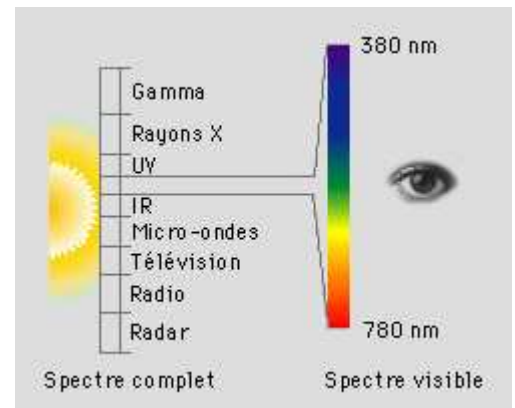
"si à tout moment je parle de la Lumière et des Rayons comme colorés ou enduits de couleurs, il faut comprendre que je ne parle pas en terme philosophique ni au sens propre, mais globalement et selon des conceptions telles que les personnes ordinaires ... seraient susceptibles de comprendre. A proprement parler, les rayons ne sont pas colorés. En eux il n'y a rien d'autre qu'une certaine Puissance et une Disposition à exciter la Sensation de cette Couleur."



Des données objectives:

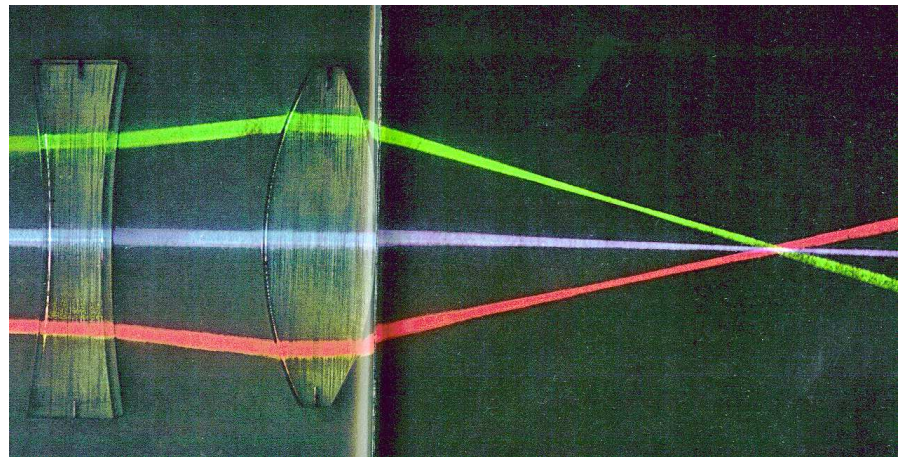
Si l'on concentre par une lentille ces couleurs, on obtient à nouveau la lumière blanche. Si on isole une couleur (par exemple le vert) et que l'on concentre les autres, on obtient sa complémentaire (dans ce cas le rouge). Chaque couleur spectrale a pour complémentaire l'ensemble des autres couleurs.

Les couleurs naissent d'ondes lumineuses (forme d'énergie électromagnétique), dont la mesure est le micron ; l'œil humain ne perçoit que les ondes comprises entre 400 (pour le violet) et 780 microns (limite supérieure, marquée par le rouge).



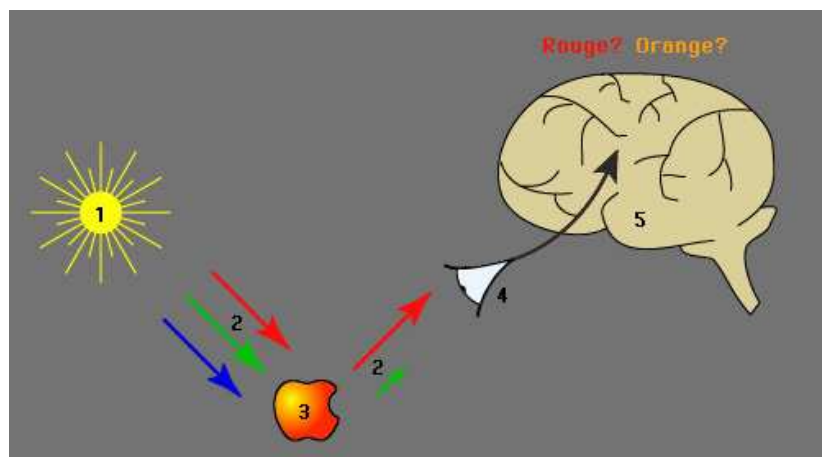
Quelques années après Newton, le physicien Young a démontré que la lumière pouvait être recomposée. Grâce à son travail d'analyse, Young est arrivé par élimination, à démontrer que l'on pouvait réduire à trois ces six couleurs: le bleu, le vert et le rouge.

Ce sont les trois couleurs fondamentales ou primaires. Il présente dans ses conférences l'hypothèse que la perception de la couleur est due à la présence sur la rétine de trois types de récepteurs qui réagissent respectivement au rouge, au vert et au bleu. Cette théorie sera développée par la suite, et vérifiée expérimentalement en 1959.



Les couleurs n'ont pas d'existence par elles-mêmes, il n'y a que des rayonnements d'intensité et de longueurs d'onde différentes.

La couleur est une sensation produite par la lumière ou sa réflexion sur les objets, en d'autres termes la couleur n'est pas une propriété physique liée aux objets qui nous entourent. Tout ce passe au niveau du cerveau qui interprète une sensation de l'œil sous la forme de couleur.



Là où il n'y a pas de lumière, il n'y a pas de couleur !

Vidéo Making NOTIONS DE COLORIMÉTRIE

La sensation de couleur est donc liée à la combinaison des quatre éléments suivants :

La source lumineuse avec sa distribution spectrale

Le matériau avec ses qualités de réflexion

L'oeil avec son capteur trichromatique

Le cerveau avec son système d'interprétation

Comment fonctionne notre œil ? De nombreux sites vous expliqueront cela mieux que moi.

Par contre, quelques caractéristiques de l'œil et du cerveau nous intéressent :

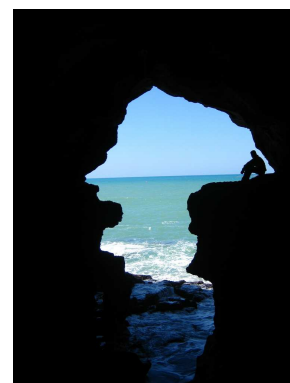
1) La persistance rétinienne:

Sous l'action de la lumière, des influx nerveux apparaissent au niveau de la rétine. Ces influx persistent sur celle-ci pendant $1/50$ à $1/30$ ème de seconde après la fin de l'excitation lumineuse. Ceci est en parfait accord avec l'hypothèse d'une excitation chimique qui nécessite une certaine durée. La persistance rétinienne permet en particulier la cinématographie et la télévision. En effet, une succession rapide d'images fixes donne l'illusion du mouvement. Ainsi par exemple, le cinéma professionnel utilise une succession de 24 images par seconde (temps de projection de chaque image $1/48$ ème de seconde) 25 I/S en vidéo soit $1/50$ ème de seconde pour chaque image.



2) L'appréciation des contrastes:

La rétine est sensible aux différences d'intensité lumineuse. On appelle contraste, la différence d'impression lumineuse produite sur l'œil par deux éléments de surface différemment illuminés (on dit de luminance différente). On a déterminé, expérimentalement, que pour percevoir cette différence, il fallait que les deux luminances diffèrent d'au moins 1 %.



3) Appréciation des couleurs :

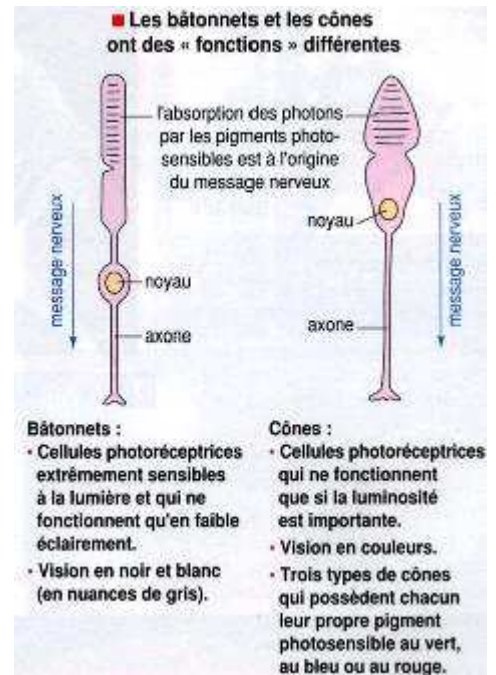
C'est la présence des cônes dans la rétine qui permet la perception des différentes couleurs. Ces couleurs ne sont perçues qu'à partir d'une certaine intensité du faisceau lumineux appelée seuil chromatique. D'autre part, la sensibilité de l'œil en fonction de la longueur d'onde de la radiation perçue, n'est pas constante tout au long du spectre visible, qui s'étend, nous l'avons vu, d'environ 0,4 à 0,7 microns. Cette sensibilité est en forme de cloche avec un maximum de sensibilité pour la lumière jaune vert et deux minima pour les lumières rouge et bleue. Cette courbe est valable pour un éclairage moyen normal. Lorsque l'intensité de l'éclairage diminue, on s'aperçoit que la réponse de l'œil se décale vers la gauche, c'est dire que le maximum de sensibilité correspond alors à la couleur verte. Lorsque l'éclairage diminue encore (vision nocturne), toute notion de couleur disparaît : on ne perçoit plus alors le monde qu'en noir et gris.



L'œil normal est considéré comme trichromatique, c'est-à-dire qu'il est sensible à trois couleurs fondamentales (rouge, vert et bleu), ce qui lui suffit pour avoir la sensation de toutes les couleurs. Le fond de la rétine est tapissé de cellules aux fonctions différentes ; les bâtonnets et les cônes.

COLORIMÉTRIE :

Afin de pouvoir reproduire une couleur avec une précision suffisante, on a cherché à la caractériser plus rigoureusement par des données numériques. Nous avons vu précédemment que la vision colorée pouvait différer d'un individu à l'autre. Il n'est donc pas question de comparer entre elles les sensations de deux observateurs. Mais par contre, nous pouvons demander à chacun d'eux de régler séparément la composition et l'intensité d'une (ou plusieurs) lumière (s), de façon à équilibrer pour que deux plages voisines, vues simultanément, paraissent identiques. Il est possible de représenter presque n'importe quelle couleur de la nature, en mélangeant dans des proportions bien déterminées trois couleurs seulement, judicieusement choisies parmi toutes les couleurs du spectre.



Dans une couleur, l'œil distingue trois qualités : Teinte, Pureté et Brillance (ou intensité).

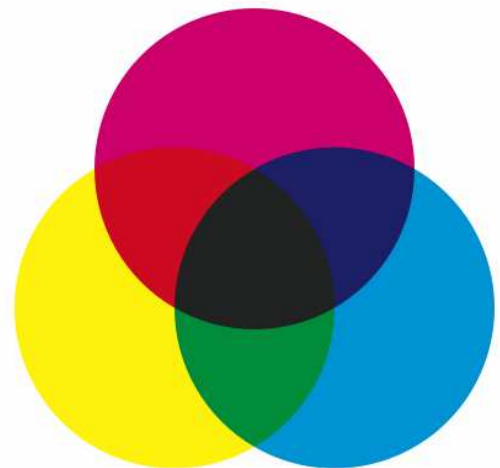
Un mélange de trois couleurs bien déterminées permet de reproduire les trois qualités d'une couleur quelconque : on dit que l'on fait alors de la synthèse trichrome.

Synthèse soustractive :

C'est avec cette dernière que travaille le peintre, l'imprimeur ou encore l'imprimante de l'ordinateur. Si l'on peint 3 taches de couleur qui se chevauchent, au centre l'addition des trois couleurs de base donne du noir. Le terme *soustractif* vient du fait qu'un objet coloré soustrait (absorbe) une partie de la lumière incidente. De fait, une couleur obtenue par synthèse soustractive de plusieurs autres sera nécessairement plus sombre qu'elles.

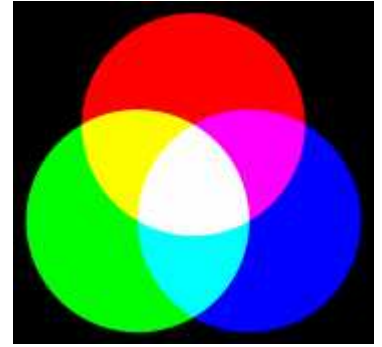
En synthèse soustractive, les couleurs primaires généralement utilisées sont au nombre de trois : Le cyan, le jaune et le magenta

- l'addition de ces trois couleurs donne du noir
- l'addition deux à deux de ces couleurs primaires permet d'obtenir les couleurs secondaires :
 - le cyan et le jaune donnent le vert
 - le cyan et le magenta donnent le bleu
 - le jaune et le magenta donnent le rouge
 -



Synthèse additive :

C'est celle qui nous intéresse en éclairage. On a vu plus haut qu'en combinant 3 couleurs, le Rouge, le vert et le bleu, on obtenait le spectre lumineux complet, c'est-à-dire du blanc. Donc si on installe trois projecteurs avec chacun une de ces couleurs primaires, au centre des trois faisceaux on obtient du blanc. La synthèse additive est l'opération consistant à combiner la lumière de plusieurs sources émettrices colorées afin d'obtenir une nouvelle couleur.



En synthèse additive, les couleurs primaires généralement utilisées sont au nombre de trois : le rouge, le vert et le bleu (**Rouge-Vert-Bleu**) ou (**Red-Green-Blue**).

- L'addition de ces trois couleurs donne du blanc.
- L'absence de couleur donne du noir.
- l'addition deux à deux de ces couleurs primaires permet d'obtenir les couleurs secondaires :
 - le rouge et le vert donnent le jaune.
 - le rouge et le bleu donnent le magenta.
 - le bleu et le vert donnent le cyan.

Ces couleurs secondaires constituent les couleurs primaires de la synthèse soustractive utilisée en imprimerie.

C'est grâce à la synthèse additive que fonctionnent les écrans de télévision cathodiques ou les vidéo projecteurs.



En synthèse additive, il est possible d'utiliser des lumières primaires assez pures, ce qui n'est pas possible en synthèse soustractive. Les gris et les noirs, en principe obtenus par un mélange de quantités équivalentes des couleurs primaires, sont traduits par des couleurs assez sales. Ce résultat conduit à remplacer la trichromie par la quadrichromie en ajoutant un pigment noir, ce qui définit le système CMJN. L'espace RVB est commode pour décrire les couleurs d'un écran d'ordinateur tandis que l'espace **Cyan-Magenta-Jaune-Noir** ou **Cyan-Magenta-Yellow-Key** (Key=noir profond) est bien adapté à l'impression. Aucun des deux ne convient néanmoins pour une description universelle des couleurs. La Commission internationale de l'éclairage (CIE) a étudié les problèmes liés à la description des couleurs vues par les humains. Après les premières études qui ont porté sur la définition précise de l'espace RVB, la C.I.E a défini l'espace de référence **X.V.Y**. Une comparaison a conduit à définir le **luminance Y**, intensité subjective d'une lumière de couleur pure, indépendamment de cette couleur. Puis la couleur a été caractérisée indépendamment de l'intensité par le couple **X&Y** qui représente la **chrominance**.

Ce système, qui a engendré un grand nombre de systèmes pratiques, souffre d'une imperfection : dans le diagramme de chrominance les distances entre deux points voisins représentent mal les différences de perception par le cerveau humain. En particulier, les distances dans la zone des verts correspondent à des différences de perception plus faibles que celles qui sont associées aux mêmes distances pour les autres couleurs. Cette remarque a conduit à définir l'espace **Y.U.V** particulièrement utilisé en vidéo.



Température des couleurs :

La notion de température de couleur (TC) est habituellement utilisée en photographie et en cinéma pour caractériser les différences de couleur de la lumière. Bien qu'une lumière puisse être de n'importe quelle couleur, sa forme la plus courante, la lumière du jour, s'échelonne régulièrement du rouge orangé au bleuâtre. Un coucher de soleil est rouge, un ciel clair, bleu. Entre ces deux extrêmes la lumière de la mi-journée nous apparaît blanche. Cette échelle est appelée « des températures de couleur » parce que ses variations de couleur sont exactement semblables à celles que l'on observe lorsqu'on fait chauffer progressivement un corps réfractaire. Lorsque la température augmente, le premier signe de coloration est un rouge sombre : lorsqu'on vient d'allumer une plaque électrique chauffante par exemple. La chaleur augmentant, la couleur devient progressivement plus orangée, puis plus jaune, enfin « chauffée à blanc ». Aux hautes températures, la plupart des corps fondent, mais pour établir l'échelle, on suppose que le corps est parfaitement réfractaire. Au delà du blanc, la couleur de la lumière devient de plus en plus bleuâtre. Le plasma et certaines étoiles atteignent de très hautes températures et sont nettement bleues. Nous en resterons aux valeurs de températures de couleurs courantes.



Le point important est qu'à partir d'une température de 1200 ou 1300°C vous pouvez attribuer une couleur à la lumière, simplement en faisant référence à sa température. L'unité utilisée pour l'échelle des températures est le kelvin (K), qui a la même valeur que le degré Celsius (°C), mais exprimée à partir du zéro absolu (-273°C). En photographie, on a choisi l'échelle des Kelvins (empruntée à la thermodynamique) parce qu'elle permet de " mesurer " la couleur de la lumière par sa température et de savoir quel filtre il faut utiliser pour la modifier (voir sur vidéomaking, utiliser les correcteurs).

Pour établir son échelle **William Thomson**, mieux connu sous le nom de **Lord Kelvin**, est parti du zéro absolu ; température de l'azote liquide, -273°C.

Éclairez une feuille de papier blanc à l'aide d'une bougie.

Placez un objet noir dans un four électrique.

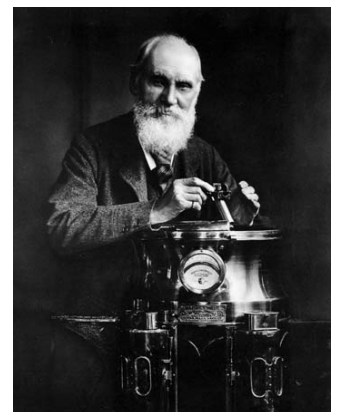
Augmentez la température du four jusqu'à ce que l'objet ait la même couleur que la feuille de papier éclairée par la bougie.

Mesurez la température et ajoutez 273°C, vous aurez la température de couleur de la lumière qui éclaire la feuille de papier, en kelvin !

De la même manière, la lumière du jour standard est de 5500 K.

Ça ne veut évidemment pas dire que cette lumière chauffe à 5500°C, nous n'y résisterions pas !

Cela veut dire que la lumière émise par le soleil, en milieu de journée a la même couleur qu'un objet noir, dans un four porté à une température de 5500°C - 273°C soit 5227°C.



William Thomson
ou
Lord Kelvin

Vous savez maintenant pourquoi on parle de température de couleur !

Elle permet de déterminer la couleur d'une source de lumière. Elle se mesure en kelvins. N'étant pas une mesure relative, le kelvin, n'est jamais précédé du mot degré ni du symbole "°" contrairement aux degrés Celsius ou Fahrenheit.

On peut aussi utiliser la mesure en Mired qui est l'acronyme de :

MIcro **RE**ciprocal **D**egree

(1 Mired = $10^6 / \text{Kelvin}$)

Si on prend comme exemple la lumière d'une lampe halogène

3200 K = $1000000 / 3200 = 313$ mired

On peut donc additionner les **Mired** alors que c'est impossible avec les **Kelvin** ; ce qui est utile en filtrage par exemple. J'ai déjà expliqué longuement cette formule dans le tuto consacré aux filtres.

La colorimétrie est utilisée par nous pauvres vidéastes essayant de devenir cinéastes, mais aussi par les photographes, les imprimeurs, les peintres, les informaticiens ; comment croyez vous que fonctionne votre imprimante ou votre écran ?

J'ai tenté d'expliquer dans ce premier tuto (notions) les bases de cette science compliquée ! Nous essayerons d'aller plus loin dans un prochain tuto !

Bon courage

JCR

