

Club Georges Méliès - Chambéry

Fiche Technique N° 1

LA COULEUR

Jean-Pierre GOUDARD.

Révision du 11/01 /2017

SOMMAIRE :

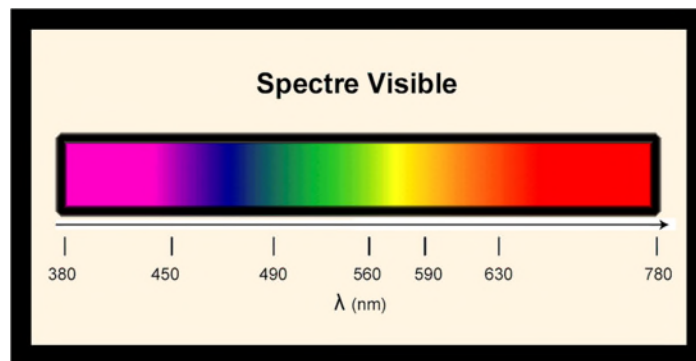
La Couleur

1 - Qu'est-ce que la couleur ?	02
1 - 1 Le spectre visible.	02
1 - 2 La couleur.	02
1 - 3 La perception des couleurs.	03
2 - les attributs de la couleur.	03
3 - Un peu de philosophie	04
4 - Typologie des couleurs	05
4 - 1 Couleurs spectrales	05
4- 2 La lumière blanche	05
4 - 3 Couleurs pourpre ou magenta.	05
4 - 4 Couleurs métamères	06
4 - 5 Conclusion.	06
5 - La reproduction des couleurs	06
5 - 1 Les Pionniers	06
5 - 2 Lois de Grassmann.	07
5 - 3 Le Mode additif R, V, B.	08
5 - 4 Limites de la trichromie	08
5 - 5 Le mode soustractif C, M, J.	12
5 - 6 Le mode des couleurs antagonistes.	12
5 - 7 La théorie des zones	13
5 - 8 Constitution de l'Image	14

La COULEUR

1 - Qu'est-ce que la couleur ?

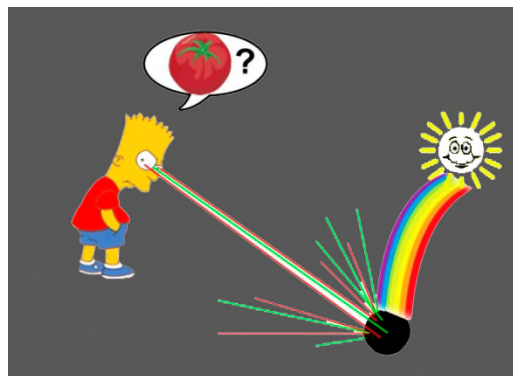
1 - 1 Le spectre visible



L'oeil est stimulé par les radiations électromagnétiques de longueurs d'onde qui varient de 380 nm à 780 nm. La réponse de l'œil, qui peut varier d'un individu à l'autre, s'établit plus fréquemment sur une plage de longueurs d'onde allant de 400 nm à 700 nm qui est appelée le spectre visible. De part et d'autre de cette zone les ondes deviennent invisibles. On entre respectivement dans le domaine de l'ultraviolet et de l'infrarouge

1 - 2 La couleur

La **couleur perçue** d'un objet est l'impression visuelle subjective élaborée par notre cerveau à partir des informations reçues par l'intermédiaire de nos yeux.



La couleur, sensation physiologique, est obligatoirement liée à trois facteurs :

- La matière de la surface de l'objet,
- L'illuminant, doté d'une **couleur physique** caractérisée par un spectre, l'éclaire et permet à l'œil d'en recevoir le message,
- L'œil qui perçoit ce message grâce aux **cônes** puis aux cellules ganglionnaires de la rétine et qui le communique au cerveau pour décryptage.

Les **cônes** sont surtout concentrés dans la partie centrale de la rétine, appelée la fovéa. Ils sont responsables de la vision diurne des couleurs dite **vision photocopique**.

Les cônes ne commencent à s'activer qu'à partir de 10 photons par seconde. Ils sont de trois natures différentes :

- Les cônes L sensibles aux ondes rouges ($\lambda=650$ nm),
- Les cônes M sensibles aux ondes vertes ($\lambda=530$ nm),
- Les cônes S sensibles aux ondes bleues ($\lambda=460$ nm).

Les **bâtonnets**, responsables de la vision nocturne, dite **vision mésopique**, ne sont actifs que dans la pénombre. On voit en noir et en blanc quand la lumière est faible.

1 - 3 La perception des couleurs

Elle est différente selon les espèces animales en fonction de leur physiologie. Pour l'homme, elle est subjective et dépend de l'âge, du sexe, de notre éducation, de notre milieu socioculturel, de notre environnement coloré. Les contrastes de luminosité, de teinte ou de saturation ont une forte interaction sur notre perception de la couleur... Par ailleurs, notre cerveau s'adapte automatiquement à la couleur de l'éclairage en faisant une balance personnelle quasi instantanée des blancs.

Ainsi, deux personnes n'auront jamais la même perception colorée d'un même objet. On peut donc parler de la relativité personnelle de la couleur.

2 - les attributs de la couleur

Trois paramètres caractérisent la sensation colorée produite par une image :

- **La luminance** : variable d'intensité, exprimée dans le langage commun par les substantifs « **luminosité** », « **clarté** ». Elle sera jugée faible, moyenne ou forte. Ajoutons également que cette sensation de luminance est indépendante de la notion de couleur. C'est le seul attribut de la couleur quantifiable en vision nocturne. Lors de

la vision d'une scène où différentes couleurs aux luminances variées, notre cerveau réagira à ces différentes valeurs par la notion de contraste de luminance.

- **La teinte** : variable chromatique porte le nom de la couleur pure qui se rapproche le plus de la perception de l'objet regardé. Il permettra de désigner la teinte de la surface regardée par une couleur du spectre visible qui va du rouge au violet. Une personne à vision normale est capable de distinguer des échelons de différence de couleur (couleurs juste distinctes). C'est-à-dire des échelons de **tonalité**, vert olive par exemple. Pour les mélanges des teintes issues des extrémités du spectre lumineux, bleu-- violet et rouge, on obtient les pourpres comme tonalités spectrales. On peut y distinguer aussi des échelons de tonalité.
- **La saturation** : variable chromatique est une caractéristique de pureté. La couleur définie ci-dessus peut nous paraître pure (saturée) ou plus ou moins mélangée à du blanc.

3 - Un peu de philosophie

Question : un objet a-t-il une couleur quand on ne le regarde pas ?

On répondra de prime à bord oui.

Le Physicien répondra non.

C'est simplement la structure moléculaire de la surface de l'objet formée de bosses et de creux qui permet à certaines fréquences ou couleurs de la lumière visible de s'y réfléchir, les autres étant absorbées. Cette surface se comporte comme un filtre de couleur rouge si la tomate est rouge. **La couleur n'est pas vraiment un signe distinctif de l'objet, c'est uniquement le résultat visuel de l'action de la lumière sur la surface de l'objet.**

La couleur d'un objet n'existe donc pas réellement Elle est le résultat d'une interprétation sensorielle du cortex cérébral, zones V1, V2 ... qui nous fait croire que tous les objets sont intrinsèquement colorés, comme peints avec une couche de "Ripolin" !

Vision de la tomate rouge avec pédoncule vert. La tomate ne diffusant que de la lumière rouge apparaît :

Rouge sous lumière blanche

Noire sous lumière verte

Rouge sous lumière rouge.

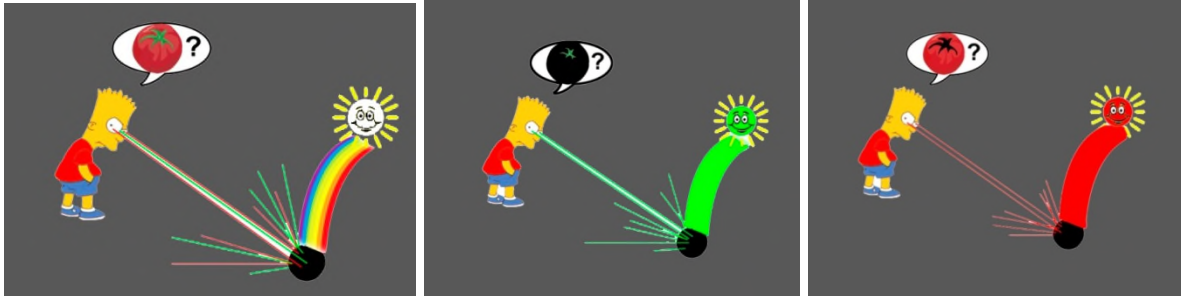
On raisonne de même avec le pédoncule vert.

Visions sous lumière:

Blanche

Verte

Rouge



Réponse, : parler de la couleur intrinsèque d'un objet n'a pas de sens.

4 - Typologie des couleurs

4 - 1 Couleurs spectrales

Le spectre de la lumière visible contient l'ensemble des couleurs spectrales. La couleur spectrale est dite pure si elle composée d'une unique radiation, c'est une lumière monochromatique.

Pour un grand nombre de lumières colorées, la longueur d'onde dominante de leur spectre chromatique détermine, du point de vue de la teinte, la couleur observée. Elle pourra apparaître plus ou moins mélangée à du blanc en fonction de leur saturation.

4 - 2 la lumière blanche

La couleur blanche n'existe pas. C'est la sensation visuelle d'un stimulus neutre.

L'excitation équilibrée des trois types différents de cônes rouge, vert et bleu de l'oeil par l'ensemble des radiations électromagnétiques visibles (λ 380 nm à 780 nm) donne la sensation de lumière blanche.

4 - 3 Couleurs pourpres

Ce sont des couleurs qui ne présentent pas de longueur d'onde dominante, car elles n'apparaissent pas dans le spectre de la lumière blanche. Plus exactement elles en présentent deux, l'une dans le rouge et une autre dans le bleu. Notre système visuel fabrique une sensation de couleur magenta qui n'existe pas dans le spectre de lumière visible. Elles ont la caractéristique de présenter une quasi-absence de vert.

La Couleur. Révision du 11/01/2017

4 - 4 Couleurs métamères ou homochromes

Les deux aspects du phénomène de métamérisme :

- (1) Deux rayonnements physiques visibles dont les spectres sont différents peuvent donner lieu, dans des conditions fixées, à une même perception colorée. Ainsi une lumière colorée jaune donnée peut être obtenue par une teinte jaune pure en choisissant convenablement la longueur d'onde ou par un mélange de lumière rouge et verte judicieusement dosée. Ce phénomène est dû à ce que l'oeil génère pour ces différents spectres la même énergie détectée et transmise par les liaisons nerveuses au cerveau.
- (2) Inversement deux rayonnements paraissant de même couleur, réfléchis par une surface pourront donner des perceptions colorées fort différentes. Pour ces deux rayonnements la couleur réfléchie va varier en fonction des spectres colorés de réflectance et fera apparaître pour cette surface des couleurs différentes.

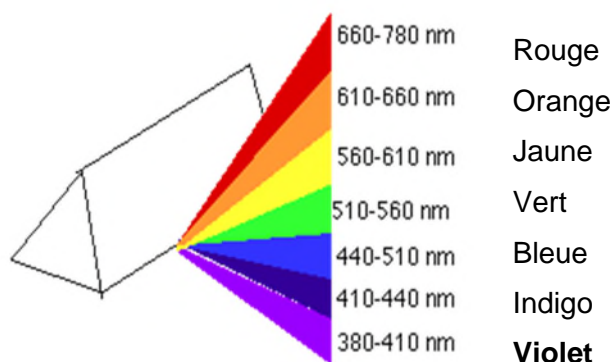
4 - 5 Conclusion

Le spectre de la lumière visible ne permet pas à lui seul de classer les couleurs

5 - La reproduction des couleurs

5 – 1 Les pionniers

Isaac Newton (1642-1727) montre par son expérience de décomposition de la lumière blanche par un prisme que ce symbole de pureté est formé de six couleurs : **rouge, orange, jaune, vert, bleue, violet**. Ces radiations électromagnétiques ont des longueurs d'onde qui varient de 380 nm à 780 nm environ.



L'abbé Jacques DELILLE, vers la fin du XVIIIe siècle rajouta **la couleur indigo** située entre le violet et le bleu.

Thomas YOUNG (1773-1829) montra (1801) que l'on pouvait recomposer de la lumière blanche à partir de ces 7 couleurs et que seulement trois suffisaient. En travaillant sur les récepteurs de l'œil sensibles à la lumière, il avance l'hypothèse que ces récepteurs étaient au nombre de trois, chacun sensible à une couleur différente. En premier, il proposa comme couleurs le rouge, le jaune et le bleu. Son choix définitif, après mûre réflexion, sera **le rouge, le vert, le bleu. Elles seront appelées couleurs primaires.**

Ludwig von Helmholtz (1821-1894) a confirmé, bien plus tard (1852), l'intuition d'Young par son étude sur l'optique physiologique. C'est lui qui pour la première fois parle de la subjectivité de la perception colorée faite par le cerveau qui tient compte de notre savoir et notre connaissance du monde.

5 - 2 Lois de Grassmann

La réponse de l'œil est fonction de la longueur d'onde dominante de la lumière.

- Si, on tient compte des sensibilités relatives mesurées pour le rouge le vert et le bleu ;
- Si on tient compte que pour une surface blanche l'équation de cette couleur est :

$$C = r(R) + v(V) + b(B) = 1$$

On peut calculer les niveaux relatifs r , v , b de luminance apportée par les trois primaires. On obtient ainsi l'équation fondamentale de la synthèse additive des couleurs :

$$C = 0,30(R) + 0,59(V) + 0,11(B) = 1$$

En s'appuyant sur l'énoncé (1) des couleurs métamères du paragraphe "4-4", on va reproduire une couleur quelconque en ajoutant des couleurs primaires plus ou moins saturées.

Grassmann définit alors trois lois :

- Loi 1 : l'obtention d'une couleur C de longueurs d'onde λ donnée consiste à quantifier les attributs de luminance r , v , b , de chaque primaire R , V , B . Additionnées elles induisent la même perception visuelle colorée T_1 que celle de la couleur à reproduire T .

$$T_1 = r(R) + v(V) + b(B) \equiv T$$

- Loi 2 : La sensation colorée produite par la somme de deux lumières colorées est équivalente à la sensation colorée produite par la somme de leurs composantes primaires respectives.
- Loi 3 : Si une lumière colorée est modifiée en intensité, pour obtenir la même sensation colorée, il faut modifier dans les mêmes proportions ses composantes primaires.

5 - 3 Le Mode additif R, V, B

En jouant sur le phénomène de métamérisme, on pourra alors reproduire les couleurs à l'aide d'un mélange lumineux de **couleurs dites primaires saturées.**



Le choix des primaires peut être arbitraire, sous réserve qu'aucune d'elles ne puisse être obtenue par le mélange des deux autres.

Les couleurs primaires choisies dans ce mode (R, V, B) sont le :

Rouge ($\lambda=700, 0$ nm), Vert ($\lambda=546, 1$ nm), Bleu ($\lambda=435, 8$ nm).

On peut déterminer ainsi un classement des couleurs directement basé sur la trichromie (CIE 1931 § 5-3)).

En mode additif, on ajoute des couleurs primaires plus ou moins saturées pour obtenir une teinte donnée et pour arriver finalement au blanc par un mélange complet des trois primaires saturées à 100 %.

Remarque : Le mode additif est utilisé par les écrans de télévision, etc..

5 - 4 Limites de la trichromie

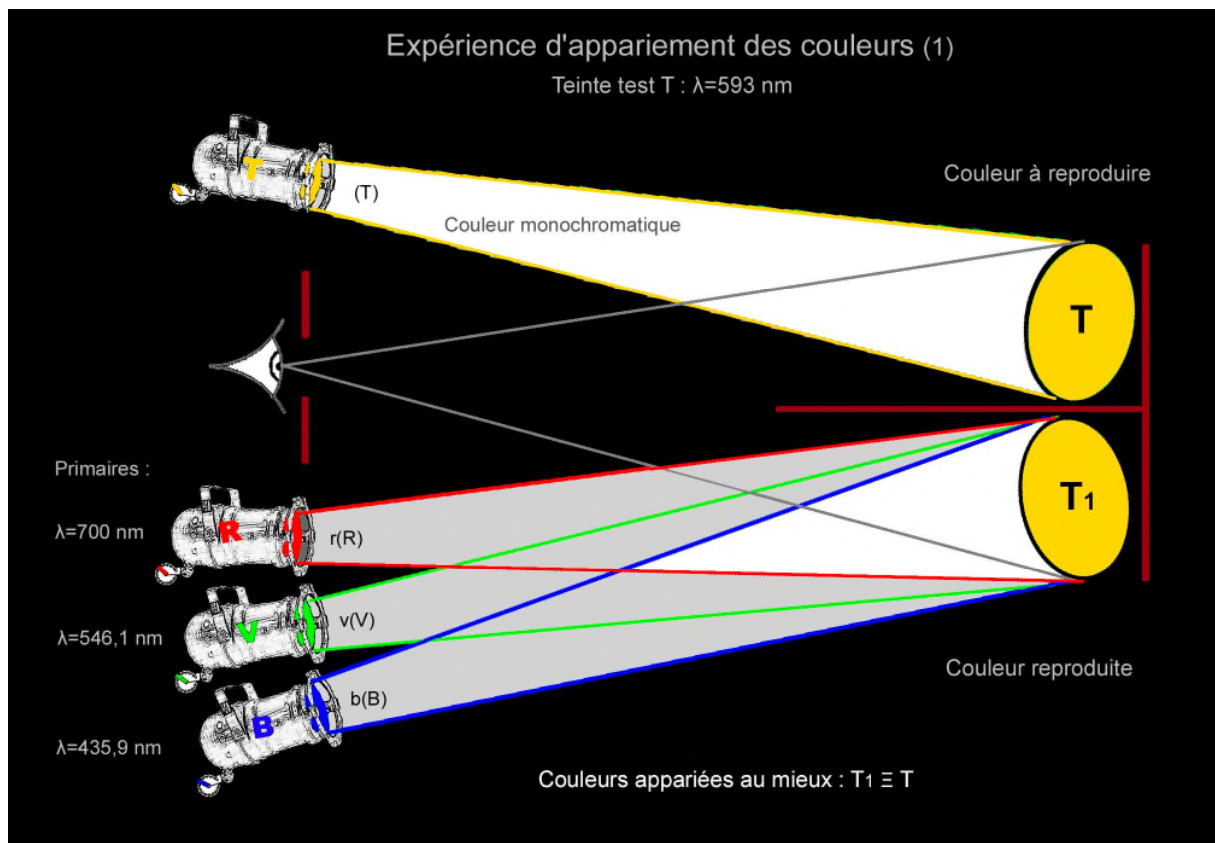
5 - 4 - 1 Appariement de couleurs

Déroulement d'une expérience d'appariement de 2 couleurs, cas général.

Dans cette expérience on projette côte à côte sur un écran 2 couleurs T1 et T. T est une couleur monochromatique de longueur d'onde λ . T1 est obtenue par un mélange additif des trois primaires R, V, B, en proportions variables. Notre système visuel étant capable de déceler l'appariement de 2 couleurs, on fait varier les proportions des trois primaires afin d'obtenir l'équivalence de perception visuelle de T1 et T. On peut, donc écrire pour la teinte T de longueur d'onde inconnue. :

$$\mathbf{T1 = r(\lambda) (R) + v(\lambda) (V) + b(\lambda) (B) \equiv T (\lambda)}$$

On peut ainsi évaluer les composantes trichromatiques, r, v, b, de la lumière colorée de longueur d'onde (λ). Elles indiquent les pourcentages de chaque primaire utilisée pour obtenir la similarité des couleurs.

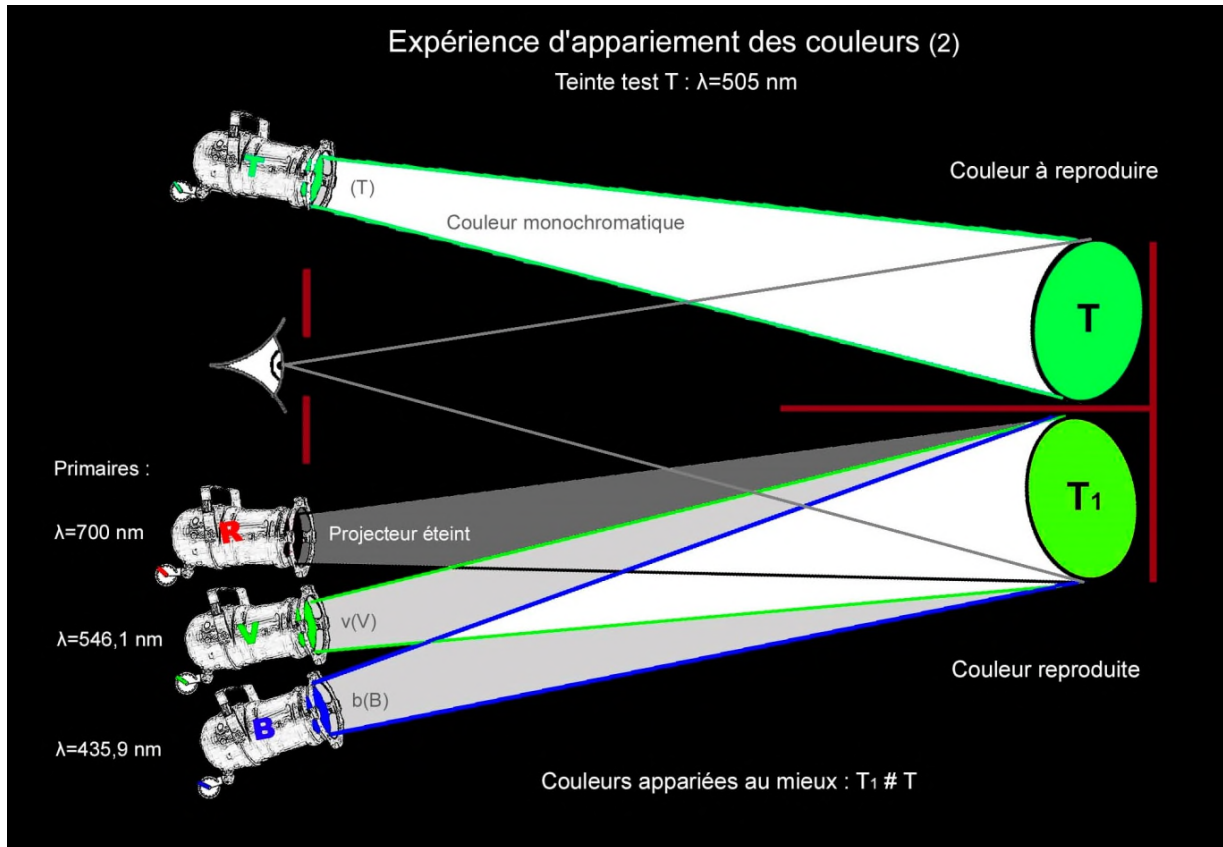


Les expériences d'appariement de couleurs généralisées faites par J.Guild en 1926 ont permis d'évaluer les composantes trichromatiques d'une quarantaine de couleurs spectrales espacées de 10 nm. La Commission Internationale d'éclairage 1931 a consigné les résultats de ces expériences dans un tableau normalisé des couleurs. **Ils ont montré qu'on ne pouvait pas obtenir avec le mélange des trois primaires R, V, B certaines couleurs comprises en général entre le vert de longueur d'onde 526 nm et le bleu de longueur d'onde 445 nm.**

Déroulement d'une expérience d'appariement de 2 couleurs, de longueur d'onde λ telle que : $445 \text{ nm} < \lambda < 526 \text{ nm}$

Soit T la couleur comparée à la couleur T₁, reproduite par un mélange judicieux des trois primaires réalisé grâce à trois projecteurs R, V, B dont on peut faire varier la luminosité.

Dans un premier temps, T1 et T sont projetés côte à côte sur un écran pour les visualiser et les comparer.



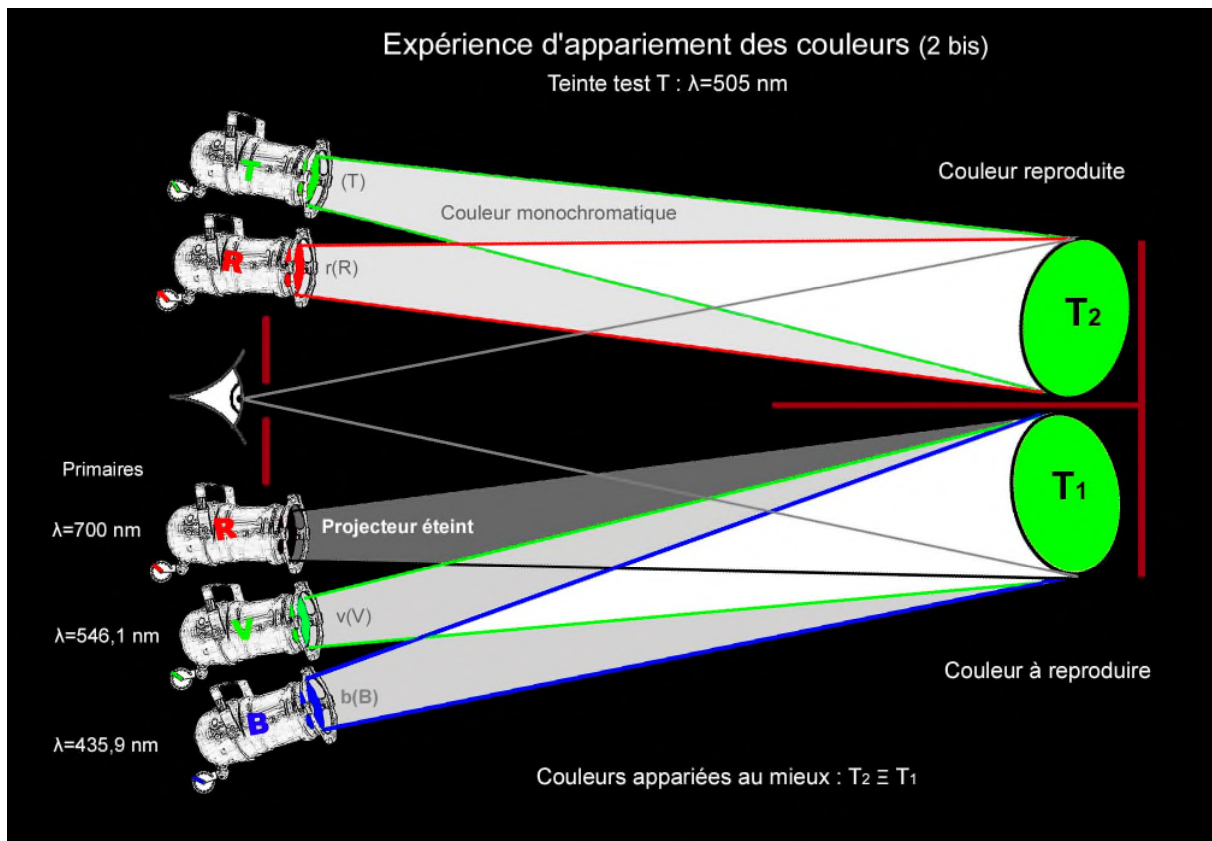
En faisant varier la luminosité individuelle des trois projecteurs donc les coefficients r , v , b , de T_1 , on n'arrivera pas à percevoir visuellement les deux couleurs comme identiques. Pour arriver au meilleur appariement, on a dû éteindre le projecteur de la primaire rouge.

Dans un deuxième temps, pour avoir la perception de deux teintes pareilles, par expérience il faudra retirer le projecteur rouge de T_1 et le mettre en projection commune avec celui qui projette la couleur T pour obtenir la couleur T_2 . On peut alors écrire :

$$T \equiv (T) + r(R) \qquad T_1 \equiv v(V) + b(B) \qquad (T) + r(R) \equiv v(V) + b(B)$$

et l'on en tire l'équation colorimétrique de T :

$$T \equiv -r(R) + v(V) + b(B)$$



Pour obtenir la même impression de couleur, il faut donc retrancher une certaine quantité de la primaire rouge à T1. En physique une couleur négative n'existe pas, on ne peut donc le faire. Mais cette équation colorimétrique indique que :

- La primaire rouge est à projeter avec la teinte à analyser pour obtenir une teinte T2 comparable à T1
- La couleur T se situe en dehors du gamut du triangle de Maxwell, c'est-à-dire l'ensemble des couleurs pouvant être reproduit par la combinaison des trois primaires R, V, B...

Confrontée à ce problème, la commission internationale d'éclairage (CIE) le résoudra en adoptant des primaires imaginaires qui engloberont tout le gamut visuel, c'est-à-dire l'ensemble des couleurs du spectre visible.

5 - 4 - 2 Constance chromatique

Les fonctions colorimétriques ont été évaluées avec une lumière dont le spectre est constant. Si la coloration de l'illuminant change, on doit constater des sensations visuelles différentes. Or ce n'est pas le cas lorsqu'on regarde une feuille blanche chez soi sous une lumière électrique orangée et que l'on sort dehors sous la lumière plus froide de midi. On voit toujours cette feuille blanche bien que les composantes trichromatiques, r v, b, de la lumière réfléchie soient différentes. C'est le résultat d'une interprétation sensorielle de notre cerveau La Couleur. Révision du 11/01/2017

(paragraphe 1– 3) qui dans ce cas a effectué une correction pour que l'on voie toujours la feuille blanche. Il a fait une balance des blancs comme un appareil photo numérique. Cette représentation cognitive est faite à partir de la récupération dans notre cerveau d'informations stockées le long de notre vie.

5 - 5 Le mode soustractif C, M, J

Il est basé sur l'absorption par une surface colorée des primaires (R, V, B), du mode additif, en quantité plus ou moins importante. Compte tenu de cela, les primaires du mode soustractif sont **le cyan, le magenta, le jaune** (C, M, J) qui arrêtent respectivement une seule couleur primaire du mode additif : **Cyan** filtre le **Rouge**, **Magenta** filtre le **Vert**, **Jaune** filtre le **Bleu**. Pour distinguer les primaires du mode additif des primaires du mode soustractif, ces dernières seront appelées aussi **couleurs fondamentales**. En ajoutant des couleurs fondamentales pour filtrer la lumière, on réduit donc la luminosité de l'objet regardé.



En mode soustractif, on enlève des couleurs fondamentales plus ou moins saturées pour obtenir une teinte donnée et pour arriver finalement au noir par un mélange complet des trois fondamentales saturées à 100 %.

Remarque : Le mode soustractif est utilisé par l'imprimerie, les peintres, etc.. Le mélange des trois pigments primaires impurs d'imprimerie ne donne pas un noir pur. Pour obtenir un noir profond, on ajoutera aux trois primaires une quatrième couleur, le noir. C'est le procédé de quadrichromie utilisée en imprimerie. Cet ajout d'encre noire améliorera le contraste apparent de l'image et diminuera la consommation des autres encres de couleur.

5 - 6 Le mode des couleurs antagonistes

Un physiologiste autrichien, **Ewald Hering** (1834-1918), s'oppose à la théorie trichromatique, en proposant d'ajouter une quatrième couleur fondamentale, le jaune.

- En effet, il observait qu'au point de vue physiologique, dans la vie courante, on perçoit cette couleur non comme le résultat d'un mélange de rouge et de vert mais comme une couleur à part entière.

- Il expliquait : " le jaune peut avoir une dominante rouge ou une dominante verte, mais en aucun cas une dominante bleue pour la bonne raison que ces couleurs s'opposent. Ce sont des couleurs antagonistes dont le mélange annule toute possibilité de couleurs autres que le gris ou le blanc. »

- Il faisait remarquer que dans l'étude des phénomènes subjectifs de la vision des couleurs, apparaissaient toujours deux couples bien individualisés rouge-vert et jaune-bleu combinés au couple blanc-noir rendant compte de la luminosité.

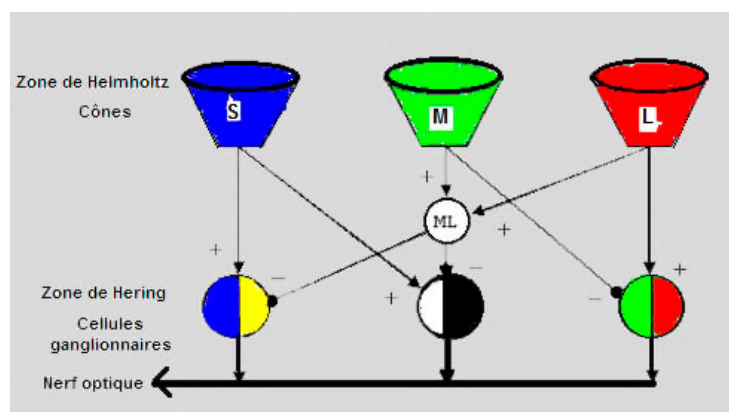
La théorie des couleurs opposées d'Hering propose donc six couleurs de base. Elles constituent les 3 couples d'Hering : jaune et bleu pour donner la sensation jaune-bleue, rouge et vert pour donner la sensation rouge-vert, encore rouge et vert pour donner la sensation de luminosité (blanc-noir).

5 - 7 La théorie des zones

Jusqu'au milieu du XXe siècle la théorie des couleurs opposées fut considérée comme incompatible avec la théorie trichromatique. À la fin du XXe siècle, des études électrophysiologiques ont mis en évidence dans le fonctionnement de la rétine une zone englobant les trois types de cônes correspondant à la théorie trichromatique, ainsi qu'une zone des réponses antagonistes des ganglionnaires, répondant aux couples opposés d'Hering.

À partir de ces travaux Edwin Land (1959,1977) réunit alors les théories des couleurs opposées et trichromatique dans la "Théorie des zones Couleurs".

Les cônes sensibles au vert et au rouge à droite la figure se conjuguent pour donner la sensation de luminosité, le cône bleu ayant une interaction faible sur le résultat. Cette conjugaison de cônes s'oppose au cône bleu à gauche de la figure, pour avoir la sensation jaune/bleue. Ces mêmes cônes s'opposent pour donner la sensation rouge/vert



Ainsi, dans la rétine, le processus coloré est produit dans une **zone de type Helmholtz** à trois récepteurs (bâtonnets sensibles au rouge, au vert, au bleu) suivie par une **zone de** cellules ganglionnaires de conversion nerveuse du **type Hering** où se forment un signal de luminance L (Noir/Blanc) et deux signaux antagonistes « Rouge/Vert » et « Jaune/Bleu.

5 - 8 Constitution de l'Image

Par un processus photochimique, les cellules de la rétine transmettent par le nerf optique un influx nerveux, codé en fréquence, aux cortex visuels primaire V1 et secondaire V2. Ils vont analyser ce signal pour commencer à reconstituer l'image point par point à partir des champs récepteurs des cellules de la rétine. Il y a reconnaissance des formes par confrontation avec les images contenues dans la mémoire visuelle, détermination de la distance et création du relief par fusion des images différentes de chaque œil. L'analyse se déroule aussi dans les différentes aires visuelles du cerveau pour, entre autres, la reconnaissance des objets et leur localisation, pour la perception des couleurs et des mouvements.

Pour simplifier à l'extrême et résumer, un humain voit en premier par son œil en R, V, B . Œil qui transmet au cerveau des sensations de couleurs R/V, J/B et de luminances N-B. Celui-ci les décrypte et les analyse dans ces différentes aires visuelles spécialisées pour produire finalement son image colorée personnelle.