

V) TRICHROMIE

1. Synthèse de la couleur perçue:

La perception colorée d'un objet est liée à différentes composantes physiques, physiologiques (perception de l'œil de l'observateur) et psychologiques (interprétation faite par l'observateur du stimulus reçu). Nous nous limiterons aux aspects purement physiques de la couleur à savoir:

- La composition spectrale de la source de lumière qui éclaire le corps coloré. Toute source lumineuse est caractérisée par sa composition spectrale. Le même objet paraîtra de couleur différente selon qu'il est éclairé par le soleil, par une lampe à incandescence ou un tube fluorescent par exemple.
- La réflectance spectrale ou couleur de l'objet observé. Le corps éclairé réémet une partie de la lumière reçue et devient une source secondaire. Son émission spectrale sera exprimée en fonction de sa réflectance :

$$E(\lambda) = E_0(\lambda) \cdot R(\lambda)$$

où :
 $E(\lambda)$ est l'énergie émise par le corps coloré à la longueur d'onde λ
 $E_0(\lambda)$ est l'énergie incidente sur le corps coloré à la longueur d'onde λ
 $R(\lambda)$ est la réflectance spectrale du corps coloré à la longueur d'onde λ

Un corps parfaitement blanc n'absorbe aucune radiation visible. Sa réflectance spectrale est égale à 1. Un corps coloré absorbe une partie du rayonnement incident et présente une variation de réflectance en fonction de la longueur d'onde. Le stimulus physique est donc directement lié à la nature de la lumière utilisée pour éclairer le corps coloré.

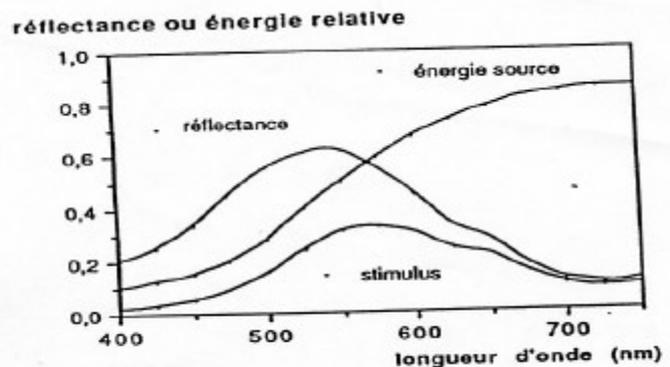


figure V.1: stimulus = énergie source . réflectance de l'objet

- La perception visuelle : l'œil humain ne présente pas la même sensibilité pour toutes les longueurs d'onde. Le maximum de sensibilité de l'œil humain est situé vers 560 nm.

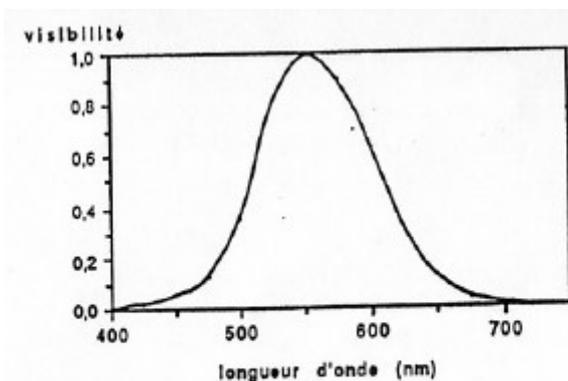


figure V.2 : courbe de visibilité moyenne de l'œil humain

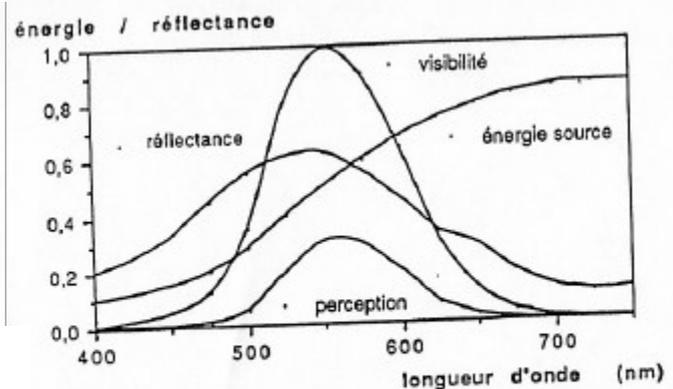


figure V.3 : perception = énergie source . réflectance . visibilité

La perception spectrale $P(\lambda)$ d'un objet coloré est donc le produit de l'énergie émise par le corps et de la sensibilité de l'œil :

$$P(\lambda) = E(\lambda) \cdot V(\lambda) = E_o(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot V(\lambda)$$

avec $V(\lambda)$ la visibilité de l'œil humain

2. Effet trichrome additif :

On conçoit que l'utilisation d'une gamme de sources lumineuses couvrant chacune un intervalle spectral de 10 nm par exemple permet de synthétiser n'importe quelle courbe spectrale d'émission et donc n'importe quelle couleur.

L'expérience démontre que trois sources convenablement choisies permettent de recréer un grand nombre de couleurs. Ces trois sources peuvent être monochromatiques.

Si ces sources sont moins pures, on obtient par superposition des couleurs moins pures.

Les trois sources recommandées par la C.I.E. (commission internationale de l'éclairage) sont respectivement: 455,8 nm pour le **bleu**; 546,1 nm pour le **vert** et 700,0 nm pour le **rouge**.

On peut aussi utiliser des sources spectralement plus étendues pour recréer des couleurs alors moins pures.

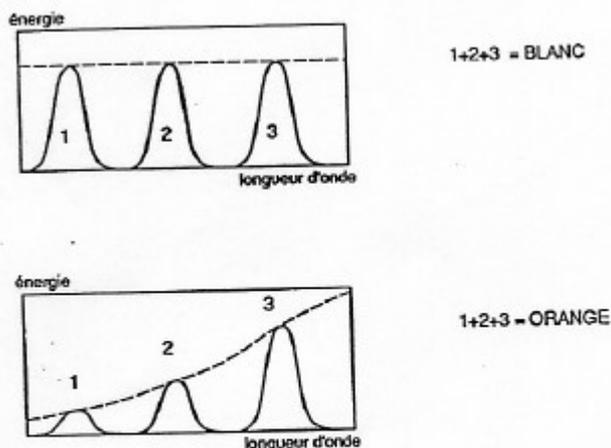


figure V.5 : composition trichrome à partir de trois sources non monochromatiques .

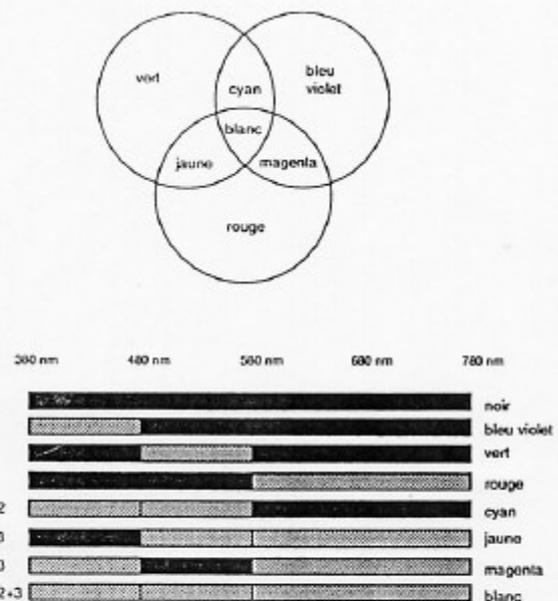


figure V.6 : principe de synthèse trichrome additive et définition des couleurs obtenues en fonction de l'utilisation de chacune des sources lumineuses RVB

Ce principe de synthèse additive est utilisé pour la reconstitution des images en télévision couleur. (système RVB en français ou RGB en anglais)

En jouant sur l'intensité de ces trois sources additives, il est possible de recréer la majeure partie des couleurs existant dans la nature. Pour restituer le blanc, il suffit de prendre les trois sources de même intensité.

3. Effet trichrome soustractif:

Pour un corps coloré, les molécules responsables de sa couleur absorbent une partie du rayonnement qui les frappe. Certaines longueurs d'onde sont absorbées et les longueurs d'onde correspondant à sa couleur sont restituées. Le corps soustrait une partie de l'énergie à

l'énergie incidente. Ainsi une couleur se traduit par la soustraction d'un domaine spectral dans la courbe de réflectance.

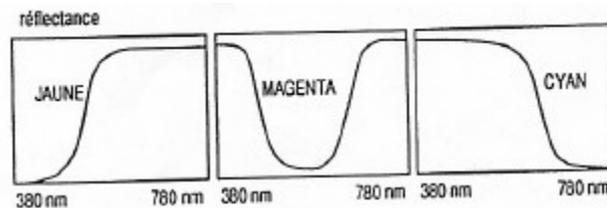


figure V.7 : réflectance spectrale des trois primaires soustractives

La superposition de trois couleurs bien choisies permet d'obtenir le noir. **Ces trois couleurs sont le cyan, le jaune et le magenta.**

Ce principe **de trichromie soustractive** est utilisée par exemple dans l'imprimerie offset.

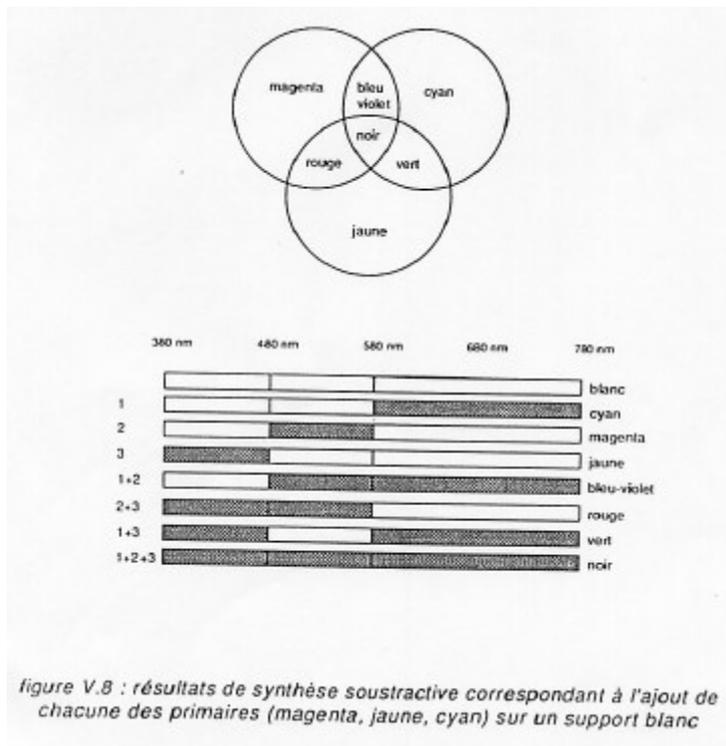


figure V.8 : résultats de synthèse soustractive correspondant à l'ajout de chacune des primaires (magenta, jaune, cyan) sur un support blanc

Toutes les nuances d'une photographie couleur peuvent être réalisées avec seulement trois passages en machine, une application pour chaque primaire. La reconstitution des différentes couleurs d'une illustration est réalisée par juxtaposition de petits points des trois couleurs primaires, cyan, jaune et magenta. Ces points sont plus ou moins larges en fonction de la proportion de primaire à donner au mélange pour obtenir la bonne teinte.

En réalité les trois primaires n'étant pas parfaitement complémentaires, il est impossible d'obtenir un beau noir par addition des trois. Les planches photographiques nécessitent une passe de noir pour obtenir un bon contraste.

4. Quantification d'une couleur par trichromie:

A partir de trois projecteurs Rouge, Vert et Bleu, il est possible de reconstituer une couleur donnée

En général, une couleur donnée X peut être reproduite par une combinaison additive des trois couleurs de bases R.V.B.

Dans ce cas $X = r(R) + v(V) + b(B)$: on additionne les intensités des trois couleurs.

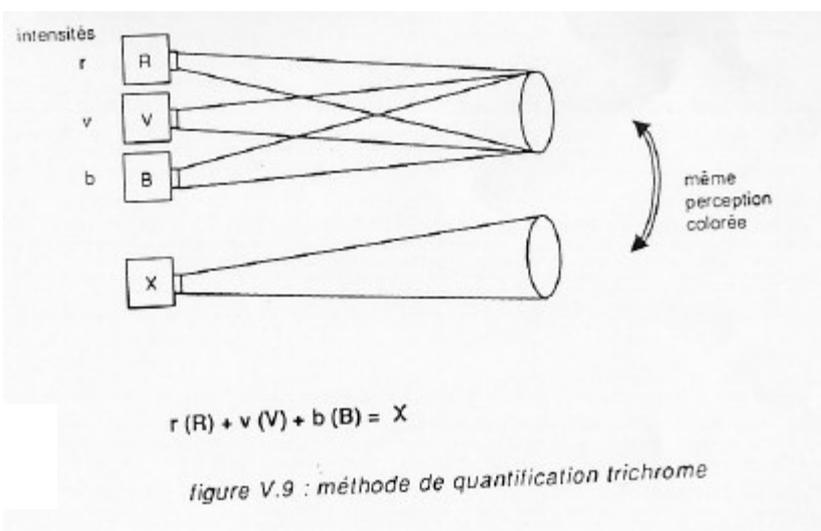


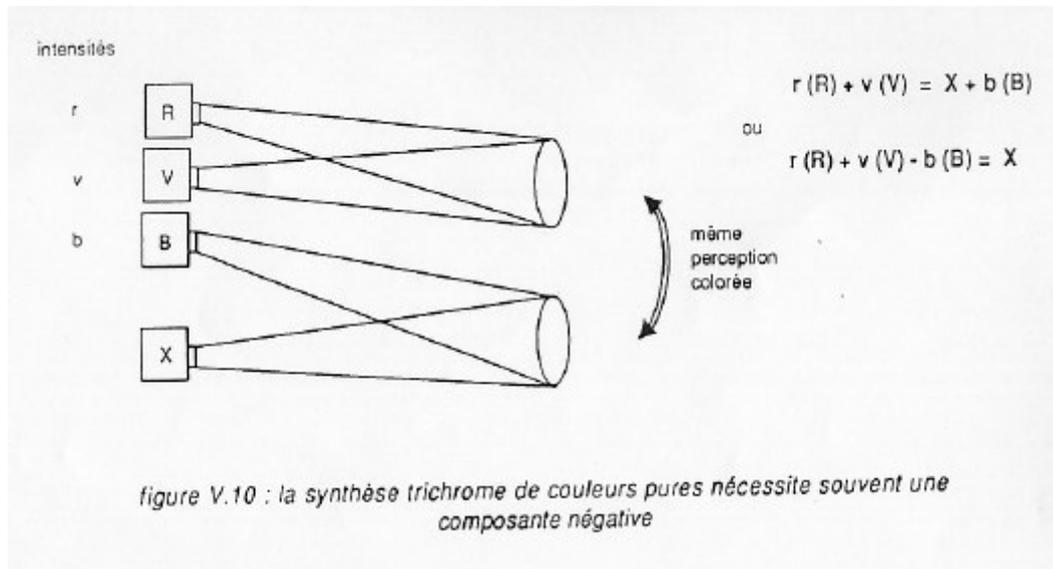
figure V.9 : méthode de quantification trichrome

Certaines couleurs très pures sont impossibles à reproduire par une combinaison additive des trois couleurs de bases.

Dans ces cas la quantification nécessite une composante négative.

$$X + b(B) = r(R) + v(V)$$

$$X = r(R) + v(V) - b(B)$$



Cette méthode de détermination de la couleur obéit aux **lois de GRASSMAN**.

a) Loi de proportionnalité:

Une augmentation ou une diminution de l'intensité de la couleur X se traduit par la même variation de chacune des composantes :

$$k \cdot X = k \cdot r(R) + k \cdot v(V) + k \cdot b(B)$$

b) Loi d'additivité:

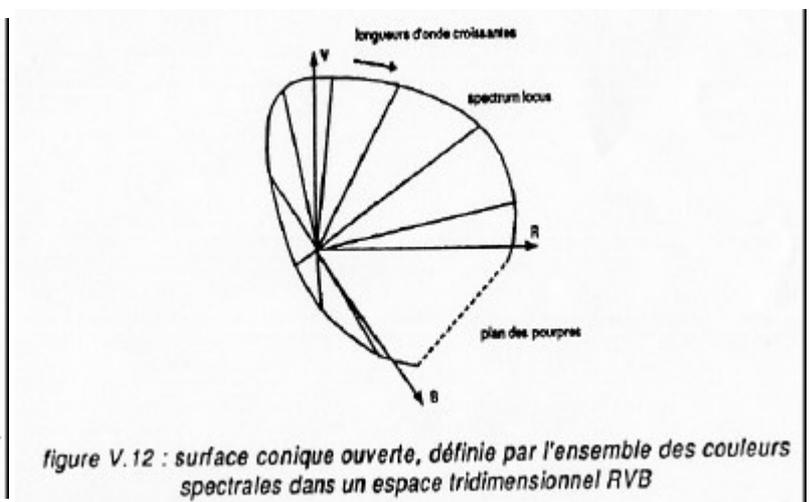
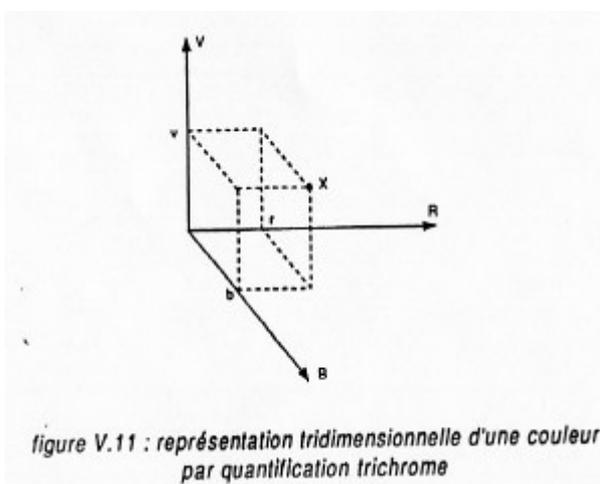
Dans une synthèse de deux couleurs X_1 et X_2 , le résultat de l'addition équivaut à la somme de ses composantes trichromatiques respectives :

$$X_1 + X_2 = (r_1+r_2) \cdot (R) + (v_1+v_2) \cdot (V) + (b_1+b_2) \cdot (B)$$

5. Représentation spatiale:

Si on porte sur trois axes orthogonaux les intensités respectives de R, V, B, chaque couleur X peut être matérialisée par un vecteur d'origine O et de longueur proportionnelle à son intensité.

En traçant tous les vecteurs correspondant aux couleurs monochromatiques du spectre compris entre 380 et 780 nm, on obtient une enveloppe définie par les couleurs de pureté maximum (égale à 1). Cet ensemble décrit une surface conique convexe ouverte.



Chaque couleur est définie par trois caractéristiques : la teinte, la pureté et la luminosité (intensité). L'intensité représente la « quantité » d'une couleur alors que l'espèce et la pureté, regroupées sous le terme de chromaticité, définissent la « qualité » de la couleur.

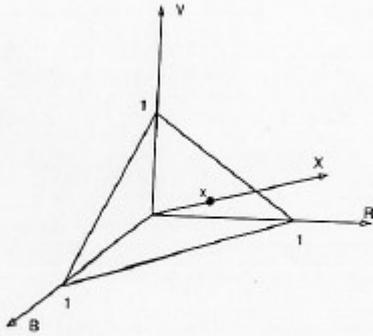


figure V.13 : définition du plan de luminance constante et projection d'un vecteur de couleur, dans ce plan

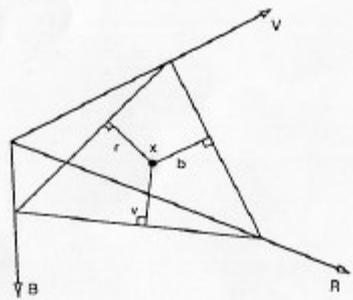


figure V.14 : définition de la position du point couleur (projection du vecteur) dans le plan de luminance constante

On repère la chromaticité dans un plan de luminosité constante.

Ce plan dans l'espace R, V, B contient toutes les couleurs ayant la même intensité. Chaque couleur est repérée par sa trace dans ce plan de luminosité constante.

On définit alors la position de x (x = trace de la couleur X) par ses coordonnées réduites :

$$r = \frac{R}{(R + V + B)}$$

$$v = \frac{V}{(R + V + B)}$$

$$b = \frac{B}{(R + V + B)}$$

donc $r + v + b = 1$

équation du plan de luminance constante

Dans ce plan, toutes les couleurs ont la même luminosité : la position de chaque couleur est donc uniquement définie par la CHROMATICITE (teinte et pureté)

L'intersection du cône des couleurs spectrales et du plan de luminosité constante (1,1,1) donne une courbe en forme de fer à cheval Seule la surface ainsi définie présente un intérêt en colorimétrie, les points externes représentent des couleurs fictives, sans réalité physique.

La connaissance de deux coordonnées réduites suffit et permet de retrouver la couleur de la troisième :

$$r + v + b = 1 \quad \Rightarrow \quad b = 1 - (r + v)$$

On peut ainsi représenter la chromaticité dans un espace à deux dimensions sans provoquer de perte d'informations : par exemple le plan (r, v).

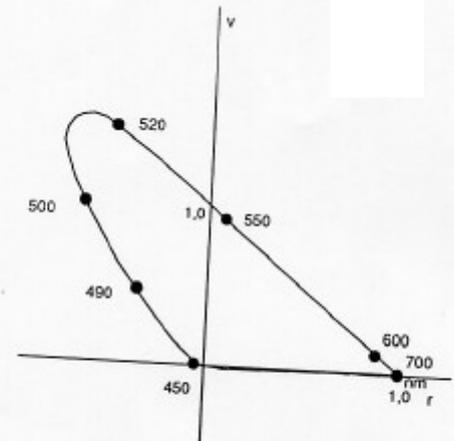


figure V.15 : projection dans le plan r, v de la trace de l'enveloppe chromatique dans le plan de luminance constante

Chaque couleur est définie par 3 coordonnées :

- Deux dans le plan (r,v) ce qui représente sa chromaticité (teinte et pureté)
- une pour définir l'intensité : la valeur effective de sa luminosité $b = 1 - r - v$