

Trivariance visuelle

I. INTRODUCTION :

1. Définition :

Toute sensation lumineuse peut être entièrement caractérisée par 3 variables indépendantes et 3 seulement : c'est la trivariance visuelle.

2. On peut exprimer la trivariance visuelle dans deux systèmes :

❖ **Système luminance teinte saturation (LTS)**

❖ **Système rouge- vert- bleu (système RVB)**

3. Il faut distinguer entre vision de jour (photopique) et de nuit (scotopique) :

- ✓ la vision scotopique (bâtonnets) est achromatique (nuit) ;
- ✓ la vision des couleurs est photopique (cônes), indissociable de la perception lumineuse et nécessite donc un éclairage suffisant (jour).

4. Il existe 3 types de cônes, permettant la vision des couleurs :

- ✓ à pigment bleu ($\lambda_{\max} = 410 \text{ nm}$), les moins nombreux, liés au chromosome X ; si absents ou inactifs \Rightarrow *Daltonisme*
- ✓ à pigment vert ($\lambda_{\max} = 530 \text{ nm}$)
- ✓ à pigment rouge ($\lambda_{\max} = 560 \text{ nm}$)

5. L'expérience montre que la sensation lumineuse est :

- ✓ unique pour un mélange de λ , comme pour une λ unique ;
- ✓ totalement caractérisée par 3 variables indépendantes seulement (trivariance visuelle, 3 types de cônes).

6. Il suffit donc de 3 qualités physiologiques pour décrire tout message sensoriel lumineux : mélange trichrome.

II. SYSTEME MONOCHROMATIQUE - SYSTEME POLYCHROMATIQUE :

1. Système monochromatique : Système luminance teinte saturation (LTS)

➤ La luminance :

Grandeur mesurable, qui permet à un sujet de préciser l'intensité de la lumière perçue. Liée à la quantité et à l'énergie des photons.

➤ La teinte (tonalité) :

Grandeur repérable, mais non mesurable, qui permet à un sujet d'indiquer la tonalité de la lumière perçue.

➤ La saturation :

Permet à un sujet d'indiquer le pourcentage de la lumière blanche. Un rose est un rouge désaturé.

La teinte et la saturation dites qualités chromatiques sont toujours liées entre elles, alors que la luminance peut exister de manière indépendante (exp : vision crépusculaire \Rightarrow on ne distingue pas les couleurs).

On définit :

La luminance totale L : c'est la superposition d'une quantité donnée de lumière (λ) L_λ et d'une quantité donnée de lumière blanche L_W

$$L = L_\lambda + L_W$$

Le facteur de pureté p : mesure la saturation

$$p = \frac{L_\lambda}{L} = \frac{L_\lambda}{L_\lambda + L_W} = 1 - \frac{L_W}{L}$$

$P=0 \Rightarrow$ pour la lumière blanche ($L_\lambda = 0$)

$P=1 \Rightarrow$ pour la lumière monochromatique spectrale ($L_W=0$)

La représentation LTS d'une sensation colorée s'appelle parfois système monochromatique, car une seule longueur d'onde intervient : la longueur d'onde dominante λ .

2- Système polychromatique : Système rouge- vert- bleu (système RVB)

- Toute sensation lumineuse peut être reproduite par la superposition de trois teintes bien choisies appelées primaires R, V, B, chacune ayant une luminance adéquate L_R , L_V , L_B .

$$L = L_R + L_V + L_B$$

- La représentation RVB d'une sensation colorée s'appelle système trichromatique car trois couleurs interviennent.
- Ce système fait allusion aux 3 types de cônes : toute sensation colorée peut être générée par un mélange convenable de 3

teintes (λ , couleurs) primaires, exp : un **Rouge à 700 nm**, un **Vert à 546 nm** et un **Bleu à 436 nm** :

$$L = L_R + L_V + L_B$$

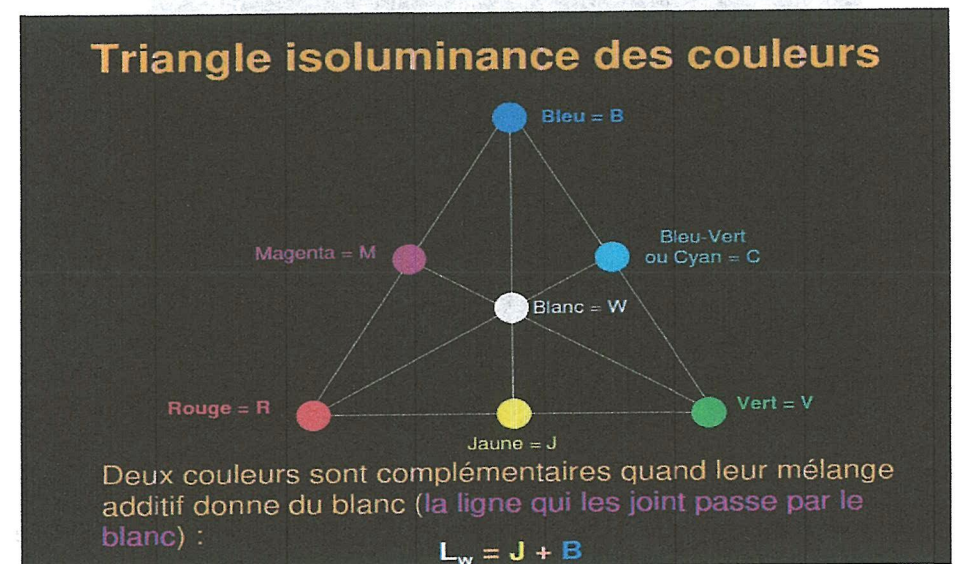
- On perçoit en fait une teinte unique, plus ou moins délavée, et

$$L = L_\lambda + L_W$$

- Il existe un seul mélange particulier et unique qui donne du blanc :

$$L_W = L_{RW} + L_{VW} + L_{BW}$$

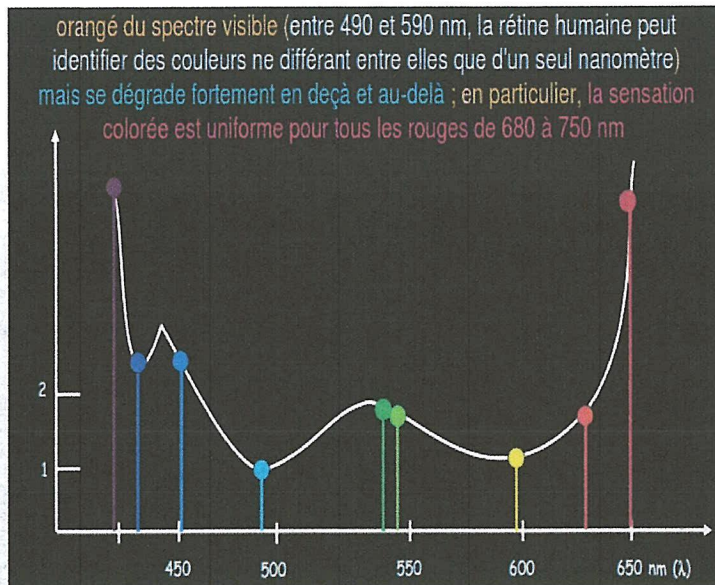
- Ce système est représentable par triangle (isoluminance) des couleurs, où tout mélange de couleur appartient au triangle.



III. PHENOMENES SUBJECTIFS FONDAMENTAUX DE LA VISION DES COULEURS :

1. LA VISION DES COULEURS SPECTRALES MONOCHROMATIQUES :

Permet de faire le lien entre la teinte et la longueur d'onde dans le vide λ : la teinte des lumières monochromatiques ne dépend que de leur longueur d'onde.



Au centre du spectre : la sensibilité différentielle est très grande \Rightarrow la teinte varie très vite avec $\lambda \Rightarrow$ la rétine peut différencier des couleurs ne différant entre elles que d'1 nm.

Aux extrémités du spectre : la sensibilité différentielle est médiocre, surtout pour les rouges ; la sensation colorée est uniforme entre 680- 750 nm.

- Au total : tout au long du spectre, l'œil normal peut distinguer 200 nuances colorées.
- Limites du spectre visible : normalement 380- 780 nm
- Pour les faibles longueurs d'onde :
 - ✓ La rétine est sensible jusqu'à 350 nm.
 - ✓ Elle est insensible aux UV car ils sont absorbés par le cristallin.
 - ✓ Les aphakes sont sensibles aux UV : pour eux ces radiations sont violettes ou bleues.
- Pour les grandes longueurs d'ondes : la rétine est sensible jusqu'à 1000-1050 nm, ces radiations sont orangées.

2. LA SYNTHÈSE TRICHROME :

- Loi de la synthèse trichrome : « toute sensation colorée peut être reproduite par un mélange algébrique adéquat de 3 primaires ».
- C'est le système trichromatique, fait intervenir 3 longueurs d'onde.
- Le choix de ces primaires doit être tel qu'il soit impossible de reproduire la sensation colorée produite par l'une d'elles par un mélange des deux autres :

- ✓ Ces primaires sont aux extrémités du spectre et à son centre [gamme des rouges (700nm), verts (546,1), bleu violets (435,8)]
- ✓ $L = L_R + L_G + L_B$. Cette relation exprime la trivariance visuelle, les trois variables sont les trois luminances L_R , L_G , L_B .

- On peut par un mélange convenable des primaires, supprimer la teinte (obtenir du blanc).
- Le mélange trichrome paraît toujours moins saturé que la couleur spectrale (la tonalité est reproduite mais pas la saturation) \Rightarrow Il faut donc ajouter de la lumière blanche à la lumière spectrale : $L_R + L_G + L_B = L_\lambda + L_W$
- Mais dans cette équation il y'a 4 variables : L_R , L_G , L_B , L_λ , $L_W \Rightarrow$ Il faut faire la convention suivante : on peut traiter les équations colorimétriques comme des équations algébriques. Donc : $L_\lambda = L_R + L_G + L_B - L_W$ (n'a aucun sens physique)

Or la luminance peut être reproduite par un mélange de L_R , L_G , L_B

$$L_W = I_R + I_G + I_B$$

$$L_\lambda = L_R + L_G + L_B - (I_R + I_G + I_B) = (L_R - I_R) + (L_G - I_G) + (L_B - I_B)$$

$$L_\lambda = L'_R + L'_G + L'_B \Rightarrow \text{la trivariance apparaît de nouveau}$$

3. les pourpres :

- Cette teinte n'existe pas dans les teintes spectrales : c'est mélange de lumière rouge et violette exp : $\lambda_R = 700 \text{ nm}$ et $\lambda_V = 400 \text{ nm}$.
- Si les deux lumières rouge et violette sont pures on parle de pourpres spectraux.
- Les teintes du pourpre sont au nombre d'une centaine ($\cong 100$)
- Il existe des pourpres désaturés, l'équation colorimétrique $L = L_{\lambda_R} + L_{\lambda_V} + L_W$
- La trivariance visuelle a un aspect différent, les trois variables sont :
 - ✓ La luminance L
 - ✓ La tonalité pourpre $\frac{L_{\lambda_R}}{L_{\lambda_V}}$ la notion de longueur d'onde dominante n'apparaît pas.
 - ✓ Le facteur de pureté $p : p = 1 - \frac{L_W}{L}$

4. Lois de GRASSMAN :

On peut traiter les équations colorimétriques comme des équations algébriques.

Première loi :

« On ne change pas l'égalité en multipliant ou en divisant les deux membres de celle-ci par un même coefficient »

$$L = L_\lambda + L_W$$

$$KL = K L_\lambda + K L_W$$

On ne change pas l'égalité de sensation en multipliant ou en divisant les luminances des deux plages du photomètre par un même coefficient.

Deuxième loi :

« On ne change pas l'égalité en ajoutant aux deux membres de celle-ci une même luminance »

$$L = L_{\lambda} + L_W$$

$$L + L' = L_{\lambda} + L_W + L'$$

On ne change pas l'égalité de sensation si on éclaire les deux plages du photomètre par une même lumière supplémentaire.

Si on utilise le mode de représentation trichromatique des deux lumières qu'on mélange :

$$L = L_R + L_G + L_B$$

$$L' = L'_R + L'_G + L'_B$$

$L + L' = (L_R + L'_R) + (L_G + L'_G) + (L_B + L'_B)$, l'expérience prouve que cette égalité est vérifiée.

5. Conditions générales de validité des égalités colorimétriques :

Selon Bouma :

- L'œil doit être normal : pas de dyschromatopsies

- L'œil ne doit pas être fatigué : sous l'emprise d'impressions lumineuses ou colorées antérieures.
- L'impression colorée doit être :
 - ✓ Soit isolée dans le champ visuel
 - ✓ Soit combinée avec une couleur de comparaison très voisine (cela exclue les teintes rabattues)
- Ne faire travailler que les cônes :
- Ne regarder que des plages de diamètre apparent $< 2^\circ \Rightarrow$ n'utiliser que la fovéa.
- N'utiliser que les luminances > 10 nits \Rightarrow pour rester dans les limites de la vision photopique.