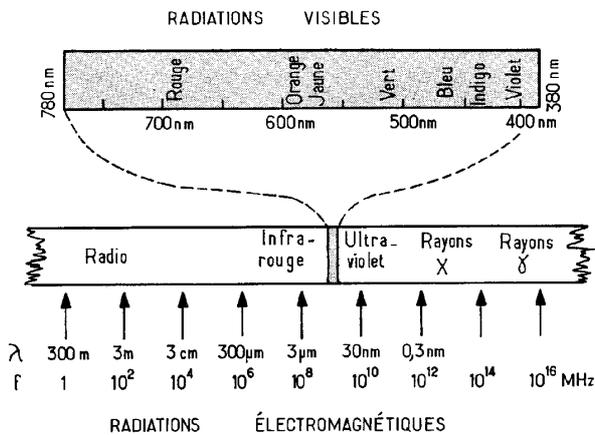


SOMMAIRE

1) la lumière	2
1.1) Le spectre visible	2
1.2) La décomposition de la lumière blanche (prisme).....	2
1.3) La création de la lumière blanche (disque).....	2
1.4) La convergence (prisme)	2
1.5) La couleur des objets (1 lumière blanche + 3 filtres)	3
1.6) Addition des couleurs	3
2) l'oeil.....	4
2.1) Anatomie de l'oeil	4
2.2) La sensibilité de l'oeil.....	5
3) La colorimétrie	5
3.1) Exemples de lumières	5
3.2) Le mélange des couleurs par addition en trichromie.....	5
3.3) Dosages des couleurs primaires pour reconstituer des teintes.....	6
3.4) La représentation des couleurs en trois dimension (R, V, B).....	6
3.5) Définition de la chrominance	6
3.6) Représentation des couleurs dans le plan de chrominance.....	7
4) Démonstration des théorèmes.....	9
4.1) Théorème 1	9
4.2) Théorème 2	9
4.3) Théorème 3	9
4.4) Théorème 4.....	10

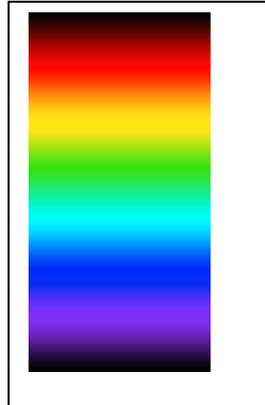
1) LA LUMIERE

1.1) Le spectre visible

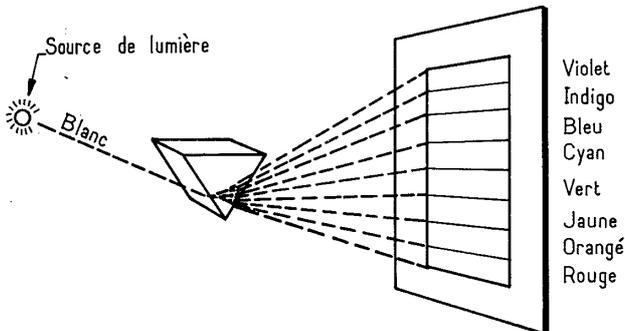


Conclusion :

Bande étroite en fréquence de radiations visibles



1.2) La décomposition de la lumière blanche (prisme)

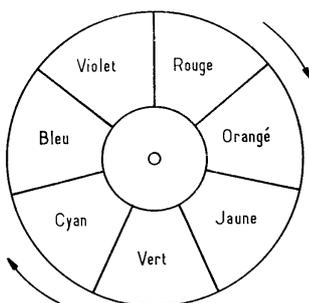


Conclusion :

La lumière blanche contient toutes les couleurs du spectre visible

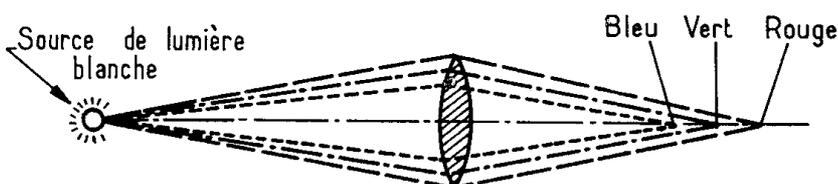
Remarque : Cyan = turquoise

1.3) La création de la lumière blanche (disque)



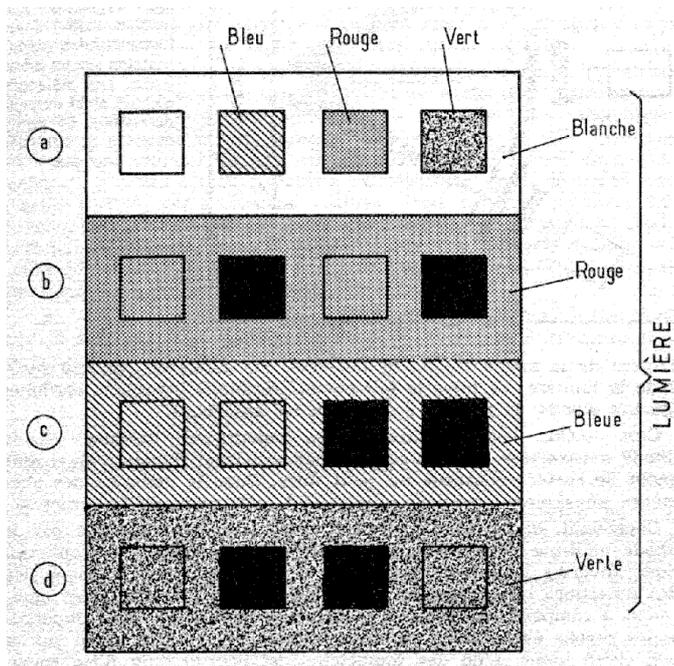
Conclusion : On peut recréer une lumière blanche à partir de toutes les couleurs

1.4) La convergence (prisme)



Conclusion :

Les images des couleurs ne sont pas sur le même plan vertical

1.5) La couleur des objets (1 lumière blanche + 3 filtres)

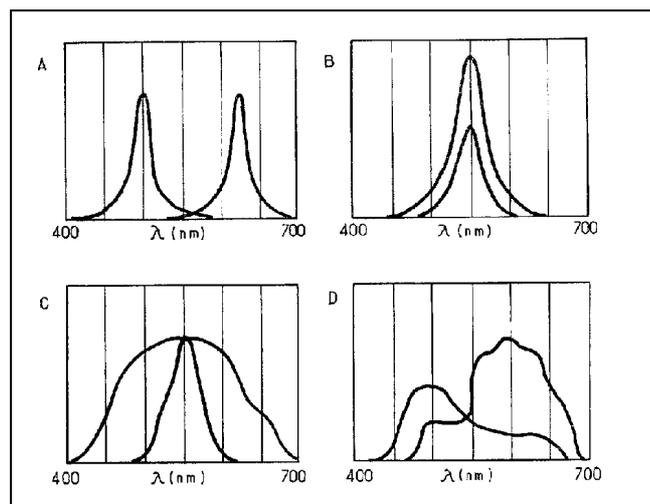
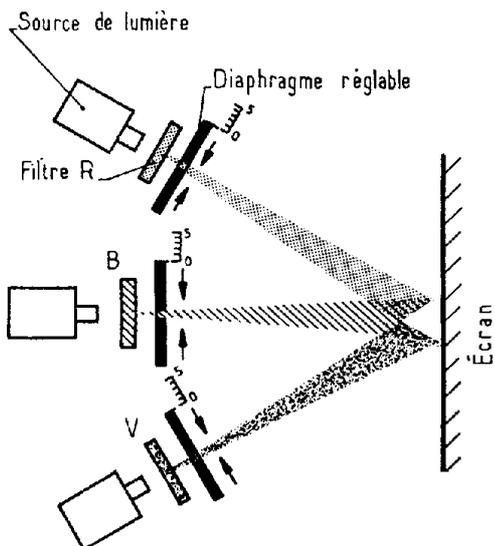
Il s'agit d'une méthode soustractive (on enlève des fréquences)
 Eclairés de lumière blanche (a), les quatre carrés sont blanc, bleu, rouge et vert
 En lumière rouge (b), en lumière bleue (c) et en lumière verte (d), seuls conservent leur couleur ceux de la teinte correspondante.

Conclusion :

La couleur des objets dépend
 de leur propriété d'absorption et de réflexion de la lumière qui les éclaire
 de la composition de la lumière qui les éclaire

Blanc : aucune absorption de la lumière, toutes les longueurs d'onde sont réfléchies

Noir : absorption totale de la lumière, aucune longueur d'onde n'est réfléchi

1.6) Addition des couleurs

- A. - Les couleurs sont de teintes différentes;
- B. - Les couleurs diffèrent par leur luminance;
- C. - Les couleurs sont de saturations différentes;
- D. - Les couleurs diffèrent à la fois par la teinte, la luminance et la saturation.

Conclusion :

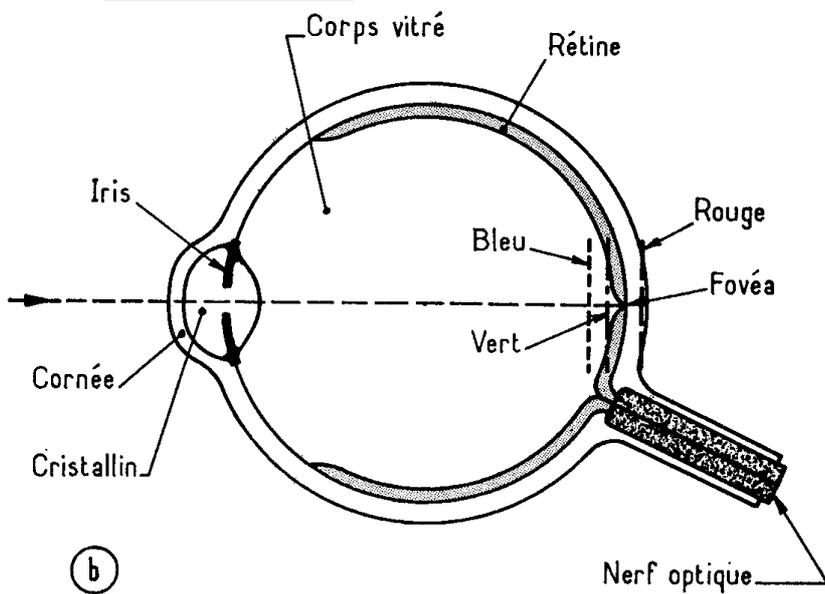
3 paramètres de définition de la couleur : la teinte, la luminance, la saturation

* La teinte dépend de la longueur d'onde dominante du spectre des rayons lumineux venant frapper notre œil.

* La luminance L (intensité lumineuse) est déterminée par la puissance de ces rayons.

* La saturation, elle, dépend du contenu spectral de l'ensemble des rayons perçus.

S O N		L U M I E R E	
PERCEPTION	PHÉNOMÈNE PHYSIQUE	PERCEPTION	PHÉNOMÈNE PHYSIQUE
Hauteur	Fréquence fondamentale	Teinte	Fréquence dominante
Intensité	Puissance	Luminance	Puissance
Timbre	Harmoniques	Saturation	Contenu spectral

2) L'OEIL**2.1) Anatomie de l'œil****Conclusion :**

La résolution : Pouvoir de séparation dans l'axe du regard : angle = $1\text{mn} = 1/60$ de degré
 $0,3\text{mm}$ à 1m

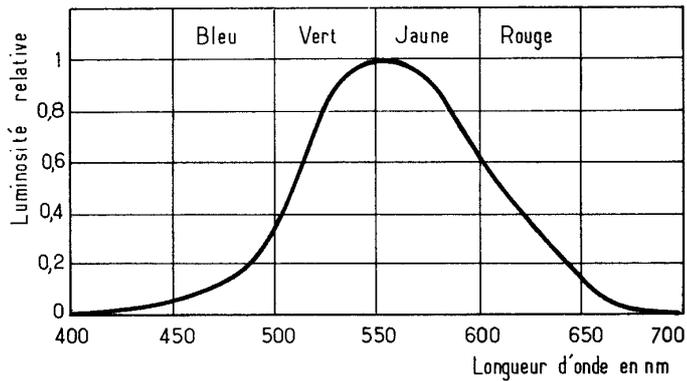
La constitution des capteurs de la rétine

Les cônes (6 millions) \rightarrow sensibles aux couleurs R,V,B

Les bâtonnets (120 millions) \rightarrow sensibles intensité lumineuse (sensibilité sélective)

aberration chromatique : netteté perturbée par les couleurs

2.2) La sensibilité de l'oeil



Conclusion :

R = intensité de lumière rouge reçue par les bâtonnets

V = intensité de lumière verte reçue par les bâtonnets

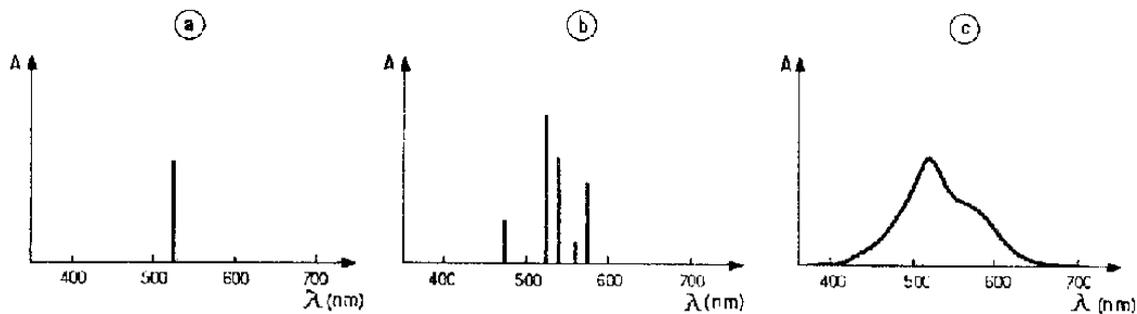
B = intensité de lumière bleue reçue par les bâtonnets

Intensité totale lumineuse perçue par les bâtonnets : $Y = 0,59 \times V + 0,30 \times R + 0,11 \times B$

Couleur préférentiel de l'œil : vert-jaune (550nm)

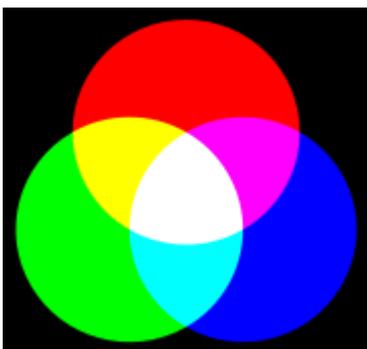
3) *LA COLORIMETRIE*

3.1) Exemples de lumières



- (a) lumière verte monochromatique
- (b) lumière verte non monochromatique (spectre de raies discrètes)
- (c) lumière verte non monochromatique (spectre continu de bande).

3.2) Le mélange des couleurs par addition en trichromie



Conclusion :

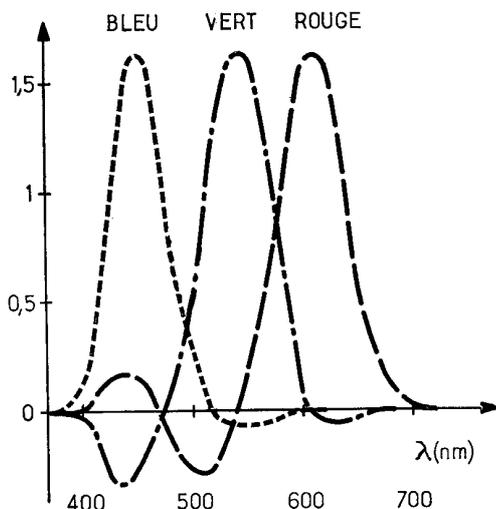
La perception de la couleur est un phénomène psycho-physiologique suscité par des rayons de longueur d'onde différentes.

La couleur perçue dépend de l'intensité des 3 couleurs primaires.

Complémentaire du rouge = bleu + vert = cyan =turquoise

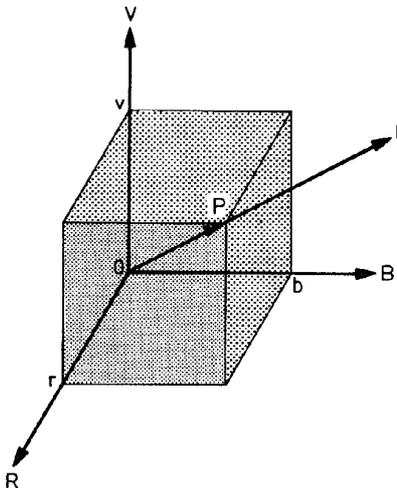
Complémentaire du vert = rouge + bleu = magenta Complémentaire du bleu = rouge + vert = jaune

Si l'on additionne 2 couleurs complémentaires, en parts égales, on obtiendra une couleur à teinte neutre, c'est-à-dire un gris, dont la valeur dépendra des valeurs des 2 couleurs mélangées. Si chacune des couleurs est de luminosité suffisante, on obtiendra un blanc.

3.3) Dosages des couleurs primaires pour reconstituer des teintes**Conclusion :**

Les unités en ordonnées sont arbitraires (grandeurs réduites).

La combinaison des trois primaires en proportions égales donne le blanc c lumière du Jour ».

3.4) La représentation des couleurs en trois dimension (R, V, B)**Conclusion :**

La distance PO représente la luminance L (intensité lumineuse)

En augmentant l'intensité lumineuse des 3 couleurs primaires ($\times k$), on augmente la luminance L (intensité lumineuse $\times k$)

3.5) Définition de la chrominance

En approximant, $la\ lu\ min\ ance = Y \approx 0,6 \times V + 0,3 \times R + 0,1 \times B$ (1)

En retranchant Y aux 3 primaires, on obtient la chrominance constituée de 3 valeurs

$D_R = R - Y$, $D_V = V - Y$ et $D_B = B - Y$

C'est ce qu'il faut ajouter à la luminance pour obtenir la couleur complète.

En décomposant la luminance, on obtient $Y = 0,6 \times V + 0,3 \times R + 0,1 \times B$ (2)

$$(1) - (2) = 0 = 0,6 \times (V - Y) + 0,3 \times (R - Y) + 0,1 \times (B - Y) \quad (3)$$

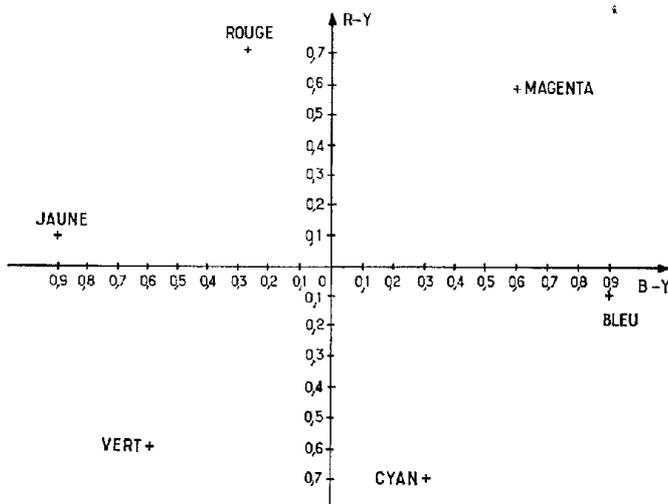
Soit
$$V - Y = -\frac{1}{2} \times (R - Y) - \frac{1}{6} \times (B - Y) \quad (4)$$

Conclusion :

La connaissance de B-Y et de R-Y permet de déterminer V-Y

On peut représenter les couleurs à l'aide des composantes B-Y et de R-Y

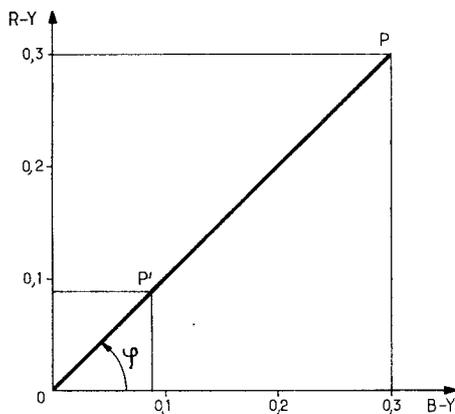
3.6) Représentation des couleurs dans le plan de chrominance



THÉORÈME 1 : Les signaux de chrominance de deux couleurs complémentaires sont égaux en valeur absolue et de signes opposés. Les points figuratifs de deux couleurs complémentaires dans le plan de chrominance sont symétriques par rapport à l'origine.

THÉORÈME 2 : Des signaux de chrominances nulles sont caractéristiques d'un gris neutre. Le point figuratif d'un gris neutre, d'un noir ou d'un blanc est à l'origine du plan de chrominance.

THÉORÈME 3 : La distance L d'un point figuratif P à l'origine 0 des coordonnées est une image de la saturation.



Plan de chrominance montrant la position d'un point figuratif d'une couleur magenta saturée:

$$P \rightarrow R_1 = 0,5 ; V_1 = 0 ; B_1 = 0,5$$

L'angle $\varphi = 45^\circ$ est caractéristique de la teinte magenta.

Le point P' est caractéristique d'une couleur de même teinte ($\varphi = 45^\circ$), de même luminance ($Y = 0,2$), mais de saturation moindre:

$$P' \rightarrow R_2 = 0,286 ; V_2 = 0,143 ; B_2 = 0,286$$

Ces deux couleurs se déduisent l'une de l'autre par addition d'une quantité de blanc

q à la plus saturée ($q = 0,5$) et réduction dans le rapport $(1 + \frac{q}{Y})$ des nouvelles

primaires de chrominance

$$B_1 - Y = 0,3$$

$$B_2 - Y = 0,086$$

et

$$R_1 - Y = 0,3$$

$$R_2 - Y = 0,086$$

THÉORÈME 4. : Dans le plan de chrominance, l'angle φ que fait, avec les axes de coordonnées, la demi-droite issue de l'origine O et passant par un point figuratif P est une image de la teinte.

Couleur	Longueur d'onde dominante (nm)	V	R	B	Y	R — Y	B — Y	tg φ	φ
BLEU	470	0	0	1	0,1	— 0,1	0,9	— 0,0111	353° 40'
CYAN	490	1	0	1	0,7	— 0,7	0,3	— 2,33	293° 30'
VERT	540	1	0	0	0,6	— 0,6	— 0,6	1	225°
JAUNE	570	1	1	0	0,9	0,1	— 0,9	— 0,111	173° 40'
ROUGE	620	0	1	0	0,3	0,7	— 0,3	— 2,33	113° 30'
MAGENTA	—	0	1	1	0,4	0,6	0,6	1	45°

4) DEMONSTRATION DES THEOREMES

Rappel: $Y \approx 0,6 \times V + 0,3 \times R + 0,1 \times B$ (1)

$$Y = 0,6 \times Y + 0,3 \times Y + 0,1 \times Y \quad (2)$$

$$0,6 \times (V - Y) + 0,3 \times (R - Y) + 0,1 \times (B - Y) = 0 \quad (3)$$

$$V - Y = -\frac{1}{2} \times (R - Y) - \frac{1}{6} \times (B - Y) \quad (4)$$

4.1) Théorème 1

Les signaux de chrominance de deux couleurs complémentaires sont égaux en valeur absolue et de signes opposés. Les points figuratifs de deux couleurs complémentaires dans le plan de chrominance sont symétriques par rapport à l'origine.

Démonstration

Soient deux couleurs définies par R_1, V_1, B_1 et R_2, V_2, B_2

Si ces couleurs sont complémentaires additivement, la somme de leurs coordonnées est égale à celles du blanc

$$R_1 + R_2 = 1 \quad (5) \quad V_1 + V_2 = 1 \quad (6) \quad \text{et} \quad B_1 + B_2 = 1 \quad (7)$$

$$Y_1 + Y_2 = 1 \quad (8)$$

En soustrayant les équations (5) et (8), on obtient:

$$R_1 - Y_1 + R_2 - Y_2 = 0 \quad \text{ou} \quad R_1 - Y_1 = -(R_2 - Y_2) \quad (9)$$

La soustraction des équations (7) et (8) donne:

$$B_1 - Y_1 + B_2 - Y_2 = 0 \quad \text{ou} \quad B_1 - Y_1 = -(B_2 - Y_2) \quad (10)$$

Les égalités (9) et (10) définissent les coordonnées de deux points symétriquement opposés par rapport à l'origine O.

On remarquera sur le plan de chrominance que le jaune est complémentaire du bleu; le magenta celui du vert; le cyan celui du rouge.

4.2) Théorème 2

Des signaux de chrominances nulles sont caractéristiques d'un gris neutre. Le point figuratif d'un gris neutre, d'un noir ou d'un blanc est à l'origine du plan de chrominance

Démonstration

En effet: $R - Y = B - Y = 0$ entraîne d'après (4) que $V - Y = 0$ et l'on a par conséquent:

$$R = V = B = Y$$

et nous savons qu'une couleur composée de quantités égales des trois primaires est achrome par définition (Loi de NEWTON).

Un gris neutre est donc parfaitement défini par sa luminance seule.

4.3) Théorème 3

La distance L d'un point figuratif P à l'origine 0 des coordonnées est une image de la saturation.

Démonstration

Soit une couleur définie par : R_1, V_1, B_1 et de luminance Y_1 (point P)

La distance du point P à l'origine 0 est : $L_1 = \sqrt{(R_1 - Y_1)^2 + (R_2 - Y_2)^2}$

Si on désature cette couleur, c'est-à-dire si on lui ajoute une quantité q de blanc, ses coordonnées deviennent: $R_1 + q, V_1 + q, B_1 + q$ et de luminance $Y_1 + q$ (point P')

Afin de comparer ces deux couleurs à luminance égale, multiplions les coordonnées de P' par :

$$\frac{Y_1}{Y_1 + q} = \frac{1}{1 + \frac{q}{Y_1}}$$

Les deux couleurs auront alors la même luminance et ne différeront que par la saturation. Voici les nouvelles primaires:

$$R_2 = (R_1 + q) / \left(1 + \frac{q}{Y_1}\right) \quad V_2 = (V_1 + q) / \left(1 + \frac{q}{Y_1}\right) \quad B_2 = (B_1 + q) / \left(1 + \frac{q}{Y_1}\right) \text{ et } Y_2 = Y_1$$

Calculons les signaux de chrominance :

$$R_2 - Y_2 = \frac{R_1 + q}{1 + \frac{q}{Y_1}} - Y_1 = \frac{R_1 - Y_1}{1 + \frac{q}{Y_1}} \quad V_2 - Y_2 = \frac{V_1 - Y_1}{1 + \frac{q}{Y_1}} \quad B_2 - Y_2 = \frac{B_1 - Y_1}{1 + \frac{q}{Y_1}} \text{ et } L_2 = \frac{L_1}{1 + \frac{q}{Y_1}}$$

Plus on ajoute de blanc, c'est-à-dire plus on désature la couleur, plus q augmente et,

à luminance égale, plus le point figuratif se rapproche de l'origine.

On peut donc en déduire que la distance L du point figuratif à l'origine est une image de la saturation de la couleur.

Néanmoins, il ne faut pas se hâter de conclure que la distance L est proportionnelle à la saturation.

Prenons en effet le cas de trois couleurs également saturées : les trois primaires.

Pour le rouge pur : (R = 1, V = 0, B = 0) Y = 0,3 et L = 0,7 L/Y = 2,34

Pour le vert pur : (R = 0, V = 1, B = 0) Y = 0,6 et L = 0,85 L/Y = 1,41

Pour le bleu pur : (R = 0, V = 0, B = 1) Y = 0,1 et L = 0,9 L/Y = 9

Ce n'est que pour une teinte donnée que cette image est valable.

4.4) Théorème 4

Dans le plan de chrominance, l'angle φ que fait, avec les axes de coordonnées, la demi-droite issue de l'origine O et passant par un point figuratif P est une image de la teinte.

Démonstration

Désignons par φ cet angle, le point P étant défini par (R - Y) et (B - Y).

Représentons maintenant, dans le plan de chrominance, les points figuratifs des couleurs primaires R, V, B et de leurs complémentaires respectives C (cyan), M (magenta) et J (jaune).

Ces derniers sont bien sûr symétriques des premiers par rapport à l'origine O.

Nous pouvons alors, pour les différentes couleurs, mesurer l'angle φ .

Nous pouvons aussi calculer les valeurs de φ en partant de la formule : $\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{R - Y}{B - Y}$

Nous traçons alors la courbe $\varphi = f(\text{teinte})$.
Ainsi donc, en exprimant la position de chaque point du plan de chrominance en coordonnées polaires, nous définissons explicitement sa teinte et sa saturation. Sur ce graphique n'apparaissent pas les pourpres dont on sait qu'ils n'existent pas à l'état monochromatique (on ne saurait donc définir pour eux une longueur d'onde dominante).

