

COLORIMETRIE GENERALITES

Page 1/35

SANS RESTRICTION D'UTILISATION

SOMMAIRE

1. OBJET	1
2. DÉFINITIONS	2
3. PERCEPTION DES COULEURS (CARACTÉRISATION SUBJECTIVE)	3
3.1. RAYONNEMENT VISIBLE	3
3.2. SOURCES	5
3.3. OBJET	6
3.4. SENSATIONS COLORÉES	9
3.5. L'OEIL	9
3.6. PERCEPTION DES COULEURS	12
3.7. DÉFAUTS DE PERCEPTION	13
3.8. ÉCART DE COULEUR	15
4. MÉTRIQUE DES COULEURS (CARACTÉRISATION OBJECTIVE)	16
4.1. RÉPERTOIRE DE COULEURS	16
4.2. SYSTÈME XYZ	16
4.3. TRIANGLE DES COULEURS	18
4.4. MESURE DES COULEURS - DÉTERMINATION DES COORDONNÉES XYZ	19
5. MESURE DES ÉCARTS DE COULEUR	23
5.1. DÉTERMINATION VISUELLE	23
5.2. DÉFAUTS DU SYSTÈME XYZ	24
5.3. ELLIPSES DE MAC ADAM	24
5.4. FORMULES D'ÉCARTS COLORIMÉTRIQUES	25
6. UTILISATION DES ÉCARTS	27
6.1. MESURE DU VIEILLISSEMENT	27
6.2. CONTRÔLE D'ÉTALONS	27
6.3. SUIVI DES ACCEPTATIONS	27
7. ELLIPSES D'ACCEPTATION	28
7.1. FIXATION DES TOLÉRANCES D'ACCEPTATION	28
7.2. SYSTÈME POSSIBLE	28
8. CONCLUSIONS	28
ANNEXE 1	30
ANNEXE 2	31
ANNEXE 3	32
ANNEXE 4	33
ANNEXE 5	34
9. HISTORIQUE ET DOCUMENT CITÉS	35
9.1. HISTORIQUE	35
9.2. DOCUMENTS CITÉS	35
9.3. EQUIVALENT À :	35
9.4. CONFORME À :	35
9.5. MOTS CLEFS	35

1.OBJET

Le présent fascicule de documentation a pour objet de décrire le principe de la perception des couleurs (l'oeil, sa vision et les appareils de mesure) et de définir un système objectif de mesure (métrique) :

- description du système XYZ de la Commission Internationale d'Eclairage (CIE),
- détermination et utilisation des écarts de couleur (Transformation des coordonnées dans un espace uniforme de vision),
- introduction aux ellipsoïdes d'acceptation (Zones d'acceptabilité).

Il donne d'autre part les recommandations indispensables à toute observation d'objet colorés ; précautions à prendre : défauts de perception.

2.DEFINITIONS

La colorimétrie est une science appliquée à la connaissance et à la mesure de la couleur. Mais la couleur n'est pas une quantité objective à mesurer et à comparer de la même manière que la longueur ou la masse. La perception des couleurs est une impression sensorielle, provoquée par l'action de la lumière sur l'oeil. La métrique des couleurs ou colorimétrie est donc une technique conventionnelle de repérage des impressions colorées. Elle permet d'interpréter les résultats de mesure d'une couleur, mais la base du repérage des couleurs au moyen de valeurs numériques repose sur des résultats empiriques, obtenus en étudiant la vision des couleurs sur un grand nombre d'individus.

3.PERCEPTION DES COULEURS (CARACTERISATION SUBJECTIVE)

Il faut tout d'abord préciser qu'une sensation colorée ne peut se produire sans la conjugaison de trois facteurs :

- une source éclairant un objet,
- un objet transmettant ou réfléchissant une partie de la lumière émise par la source,
- l'oeil recevant la lumière issue de l'objet.

3.1.RAYONNEMENT VISIBLE

Parmi les différents rayonnements électromagnétiques présents dans la nature (voir tableau 1), on appelle lumière visible les rayonnements perceptibles à l'oeil ; leur longueur d'onde est comprise entre 390 et 700 nanomètres ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) (voir figure 1 et tableau 2). Toutes les sources lumineuses sont donc formées par une répartition des radiations correspondant à ce domaine de longueurs d'ondes.

Tableau 1

Radiations électromagnétiques			
Quantum $\epsilon(\text{eV})$	Fréquence $\nu(\text{Hz})$	Nombre d'ondes $\sigma(\text{cm}^{-1})$	Longueur d'onde λ (m) (Autres unités)
.....			
$1,24 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^{22}$	10^{12}	10^{-14}
$1,24 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^{21}$	10^{11}	$10^{-13} \rightarrow 1 \text{ U.X.}$
$1,24 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^{20}$	10^{10}	10^{-12}
			RAYONS γ
$1,24 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^{19}$	10^9	10^{-11}
$1,24 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^{18}$	10^8	$10^{-10} \rightarrow 1 \text{ \AA}$
$1,24 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^{17}$	10^7	$10^{-9} \rightarrow 10^{-3} \mu\text{m}$
			RAYONS X
124	$3 \cdot 10^{16}$	10^6	10^{-8}
12,4	$3 \cdot 10^{15}$	10^5	10^{-7}
1,24	$3 \cdot 10^{14}$	10^4	$10^{-6} \rightarrow 1 \mu\text{m}$
			ULTRAVIOLET
$1,24 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{13}$	10^3	10^{-5}
$1,24 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{12}$	10^2	10^{-4}
$1,24 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{11}$	10	$10^{-3} \rightarrow 1 \text{ mm}$
			INFRAROUGE
$1,24 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{10}$	1	10^{-2}
$1,24 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^9$	10^{-1}	10^{-1}
$1,24 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^8$	10^{-2}	1
			ONDES HERTZIENNES
$1,24 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^7$	10^{-3}	10
$1,24 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^6$	10^{-4}	10^2
$1,24 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^5$	10^{-5}	$10^3 \rightarrow 1 \text{ km}$
.....			

λ (Å) Ultraviolet
136
500 Millikan
1200 Lyman
1850 Schumann
2800 lointain
3150 moyen (B)
4000 proche (A)

extrême (C)

λ ($10^{-3} \mu\text{m}$) Visible
400
440 violet
500 bleu
560 vert
590 jaune
610 orange
780 rouge

λ (μm) Infrarouge
0,78
1,4 proche (A)
3 moyen (B)
1000 lointain (C)

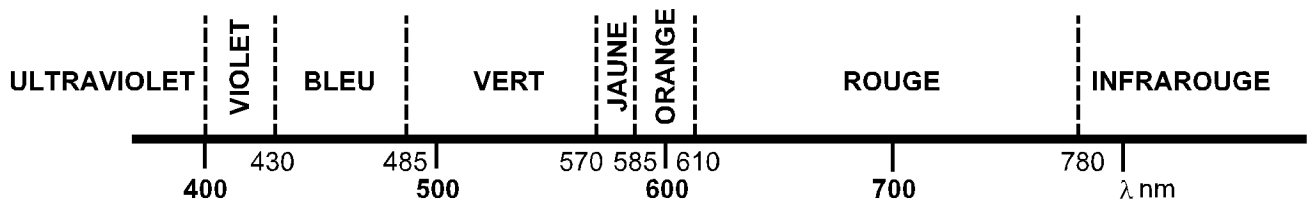


Figure 1 - Répartition de la lumière visible

Tableau 2

COULEURS DU SPECTRE			
COULEURS	LONGUEURS D'ONDE approximatives ($10^{-3} \mu\text{m}$)	COULEUR COMPLEMENTAIRE	OBSERVATIONS
Violet extrême	400		Perception éventuelle jusqu'à moins de $380.10^{-3} \mu\text{m}$
Violet moyen	420	Vert-jaune	
Violet bleu	440		
Bleu moyen	470	Jaune	Visibilité maximum (photopique) : $555.10^{-3} \mu\text{m}$
Bleu vert	500		
Vert moyen	530	Pourpre	
Vert jaune	560		
Jaune moyen	580	Bleu	
Jaune orangé	590		Perception éventuelle jusqu'à plus de $880.10^{-3} \mu\text{m}$
Orangé moyen	600	Bleu-verdâtre	
Orangé rouge	610		
Rouge moyen	650	Bleu-vert	
Rouge extrême	780		

3.2.SOURCES

Dans la vie courante, on distingue deux grands types d'éclairage : l'éclairage naturel et l'éclairage artificiel.

3.2.1.LUMIERE NATURELLE

Elle est souvent difficile à définir car elle varie avec la position de l'observateur par rapport au soleil, du lieu géographique, de l'observation, du moment de la journée, de la période de l'année et des conditions météorologiques.

3.2.2.LUMIERE ARTIFICIELLE

Les sources artificielles sont très nombreuses et il se pose là aussi un problème de définition car il est impossible d'obtenir une répartition lumineuse rigoureusement identique pour un type de source donnée (source incandescente ou à décharge).

3.2.3.ILLUMINANTS

Pour pallier ces difficultés, la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) a défini des sources témoins ou illuminants, caractérisées par une courbe d'émission spectrale $E(\lambda)$.

La figure 2 représente les courbes des illuminants les plus connus.

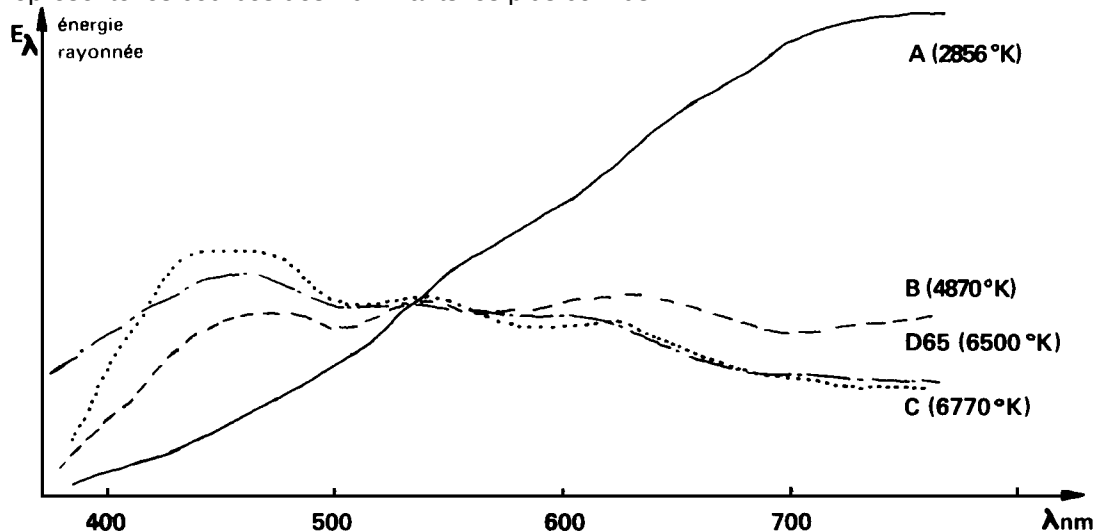


Figure 2 - Illuminants CIE

- L'illuminant A matérialise l'éclairage artificiel dû à une lampe à filament de tungstène.
- L'illuminant B représente la lumière solaire directe.
- L'illuminant C correspond à la lumière diurne perçue dans des conditions très précises.
- L'illuminant D₆₅ qui correspond à de nouvelles mesures de la lumière diurne, tend à remplacer l'illuminant C.

3.3.OBJET

Les radiations lumineuses incidentes frappant un objet peuvent avoir différents comportements en fonction de la nature de l'objet (voir figure 3). Un rayon incident peut être :

- réfléchi,
- transmis,
- absorbé.

La fraction absorbée peut être en partie réfléchie (la fraction absorbée non réfléchie contribue entre autres à l'élévation de température).

Figure 3 a
Réflexion spéculaire

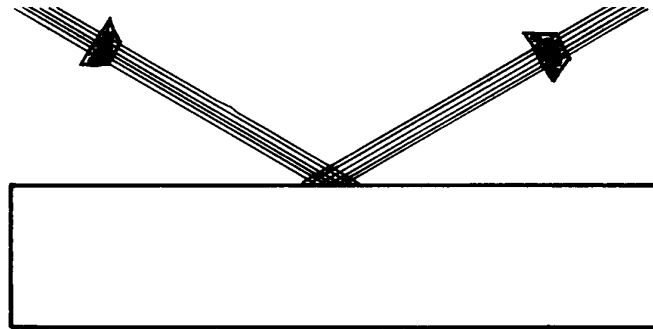


Figure 3 b
Diffusion

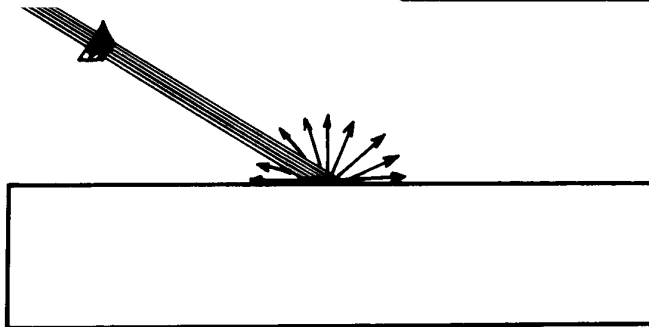


Figure 3 c
Transmission

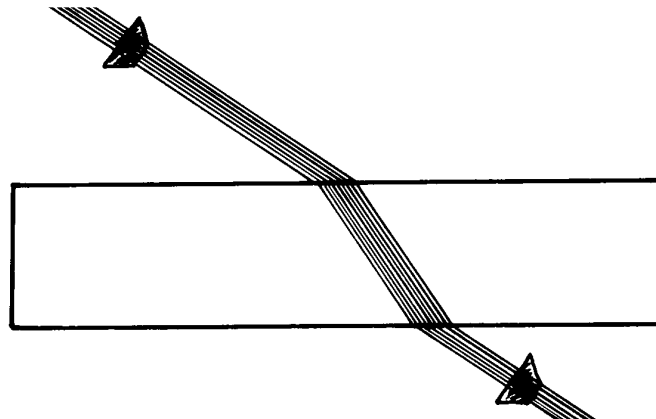


Figure 3 d
Absorption

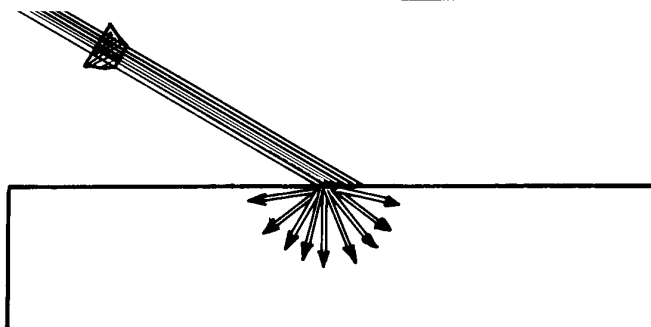


Figure 3 - Comportement d'un rayon lumineux incident

3.3.1.OBJET TRANSPARENT : TRANSMISSION

La lumière arrivant sur un objet transparent est transmise (voir figure 3 c) mais elle est en général amputée d'une partie de ces composantes spectrales lors de cette traversée : absorption (voir figure 3 d), d'où l'impression de couleur. On a une courbe de transmission $T(\lambda)$.

Un matériau transparent orangé (exemple : plexiglass) absorbe toutes les radiations monochromatiques de longueur d'onde inférieure à 535 nm (orange) ; pour le rouge, cette limite se situe à 575 nm (voir figure 4).

L'annexe 2 représente les courbes de transmission de différents filtres colorés.

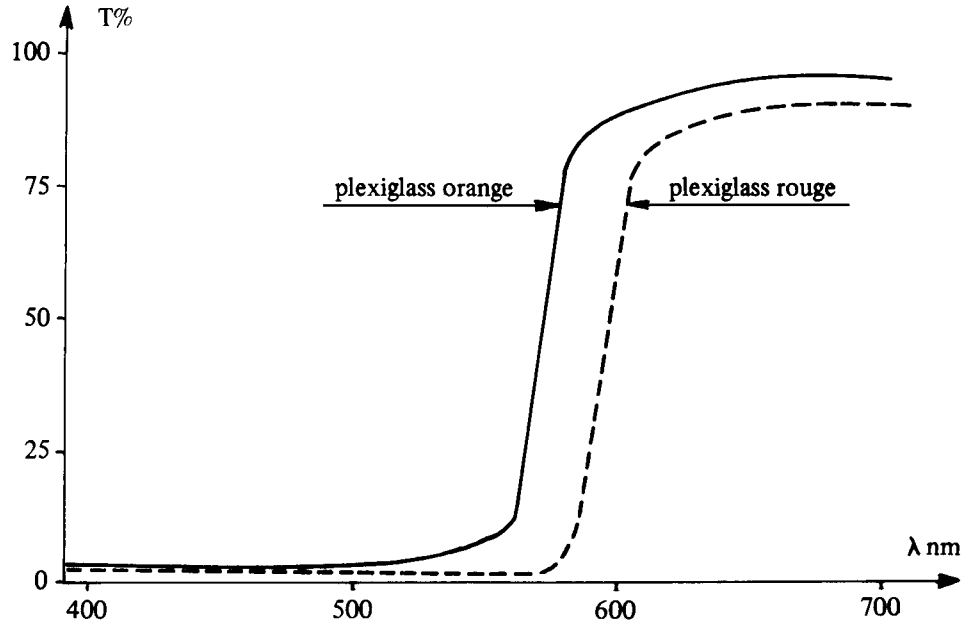


Figure 4 - Courbes de transmission

3.3.2.OBJET OPAQUE : REFLEXION

(Voir figures 3 et 5)

Les rayons lumineux arrivant sur un objet opaque sont réfléchis ou absorbés.

La fraction de lumière réfléchie conserve la même répartition spectrale que la lumière incidente ; elle constitue le spéculaire ou brillant (voir figure 3 a).

La fraction absorbée est en partie réfléchie (diffusion) ; sa composition spectrale est différente de celle de la lumière incidente ; elle est spécifique et détermine la couleur de l'objet (voir figure 3 b).

Elle a donc une composition spectrale spécifique qui va déterminer la couleur de l'objet.

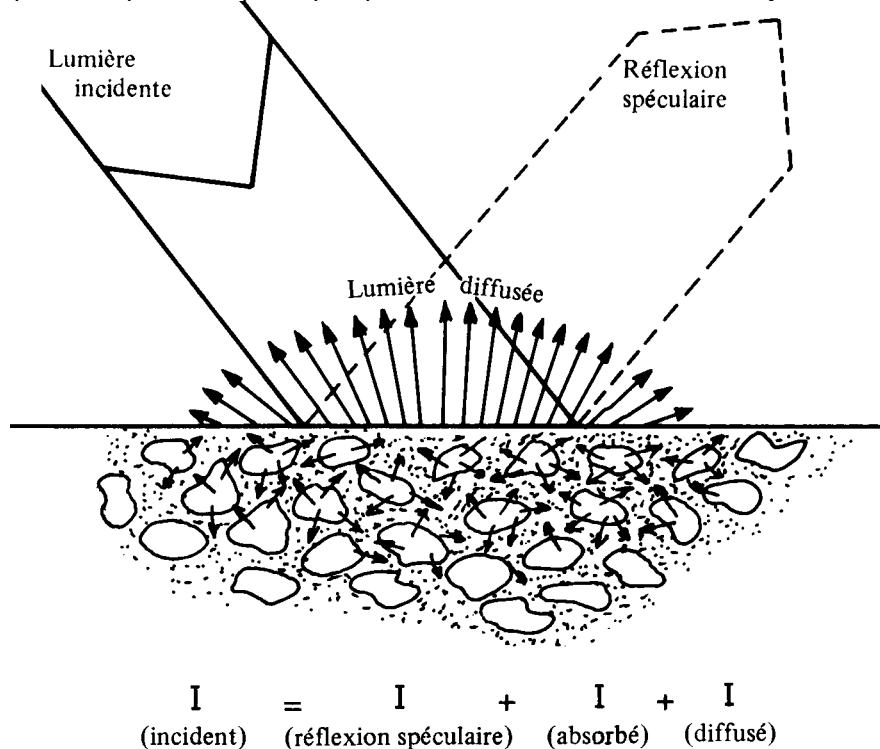


Figure 5 - Principe de la réflexion

Le facteur de réflexion est défini comme étant le rapport de la lumière réfléchie par un objet à une certaine longueur d'onde et de la lumière réfléchie à la même longueur d'onde par une surface d'un blanc idéal (dans les mêmes conditions d'éclairage et d'observation). Lorsqu'on porte le facteur spectral de réflexion en fonction de la longueur d'onde, on obtient la courbe de réflexion $R(\lambda)$. La figure 6 et les annexes 3 et 4 représentent les courbes de réflexion de différentes peintures.

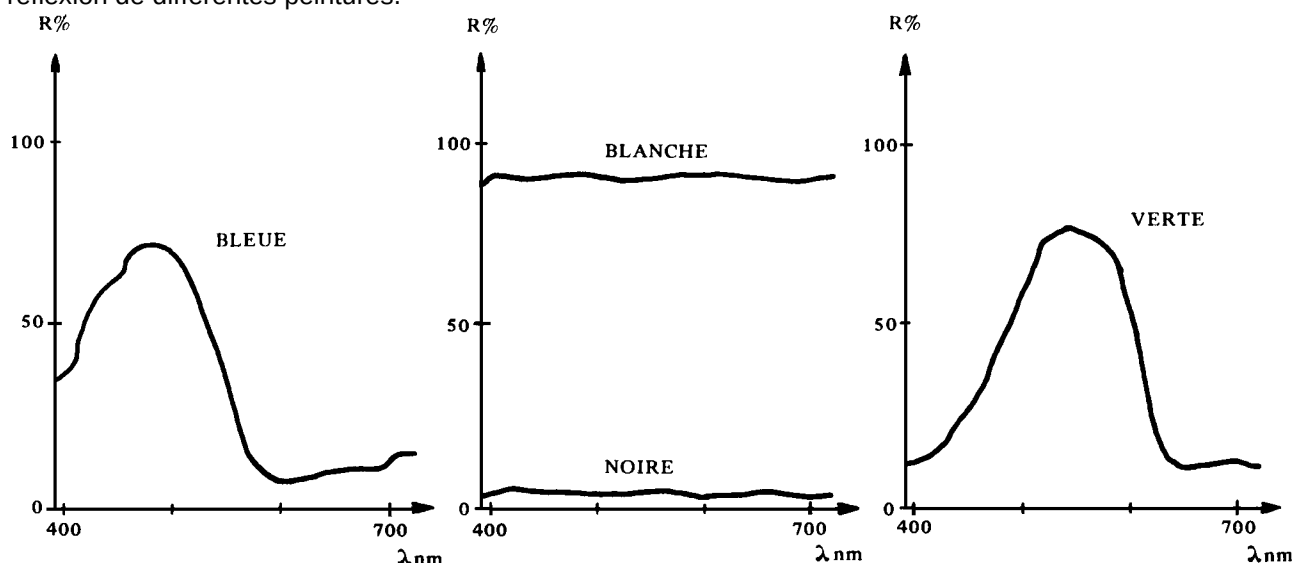


Figure 6 - Courbes de réflexion de différentes peintures

Remarques :

- Les courbes $T(\lambda)$ ou $R(\lambda)$ sont indépendantes de la source d'observation ; elles représentent le pourcentage de lumière transmise ou réfléchie pour chaque longueur d'onde.
- Les supports des pigments et colorants (liants de peintures, matières plastiques, textiles, ...) ont eux aussi une absorption spécifique ; il sera donc très difficile de réaliser des contretypes colorés à partir de matériaux de base différents.

3.4.SENSATIONS COLOREES

Lorsque le rayonnement visible pénètre dans l'oeil humain et agit sur l'organe visuel (oeil + nerf optique + cerveau), il produit la sensation de lumière et celle de couleur. Dans le premier cas, le rayonnement est appelé stimulus lumineux (photométrie visuelle), dans le second, le stimulus de couleur (colorimétrie).

L'analyse de la formation de la sensation colorée montre que celle-ci naît de la succession de 3 processus fondamentaux :

3.4.1.PROCESSUS PHYSIQUE

L'objet coloré envoie ou réfléchit vers l'oeil, organe récepteur de la vision, un flux lumineux ayant une certaine composition spectrale.

3.4.2.PROCESSUS PHYSIOLOGIQUE

Les éléments photosensibles de l'oeil transforment cette lumière en séries d'impulsions "électriques" transmises jusqu'au cerveau par les fibres du nerf optique.

3.4.3.PROCESSUS PSYCHIQUE

Le cerveau "décode" le schéma d'activité nerveuse ainsi créé et fait percevoir une sensation colorée ou couleur.

3.5.L'OEIL

L'oeil humain est très sensible, il peut très facilement différencier des nuances voisines ; il serait capable de discerner 1 000 000 de couleurs différentes. La zone sensible est la rétine, elle comporte deux types de récepteurs :

- les bâtonnets au nombre de 120 millions sont les récepteurs des flux lumineux faibles, ils permettent la vision nocturne ou vision scotopique,

- les cônes au nombre de 7 millions sont les récepteurs des flux lumineux plus élevés ; ils permettent la vision diurne ou vision photopique.

Ce sont eux qui permettent la vision colorée (voir figure 7).

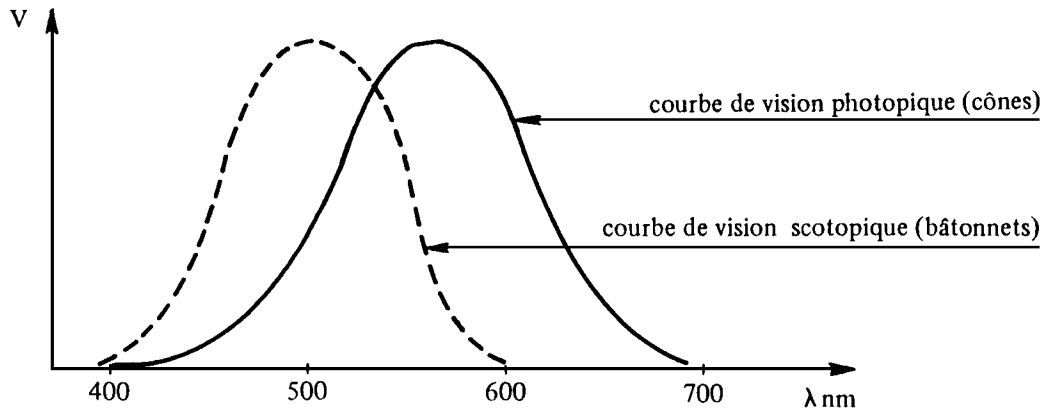


Figure 7 - Courbes de sensibilité spectrale de l'oeil

Les cônes contiennent trois types de récepteurs photochimiques ; chacun d'eux est réceptif à une bande passante spécifique du spectre : un sensible dans le rouge, un dans le bleu et un dans le vert. C'est la superposition de ces trois impressions qui produit la couleur. En 1931, la CIE a déterminé, par expérience sur un grand nombre d'observateurs ayant une vision colorée normale, les courbes moyennes de réponse de chacun de ces trois récepteurs, sous un angle d'observation de 2°.

Ces courbes de réponses moyennes (voir figure 8) sont dénommées "composantes trichromatiques spectrales CIE 1931" ; elles définissent la vue d'un observateur humain moyen encore appelé observateur standard sous 2° - CIE 1931.

Dans la pratique, on effectue souvent l'observation dans un plus grand champ visuel. La CIE a donc établi en 1964 d'autres courbes de distribution spectrale correspondant à une observation sous un angle de 10° - Observateur standard 10° - CIE 1964.

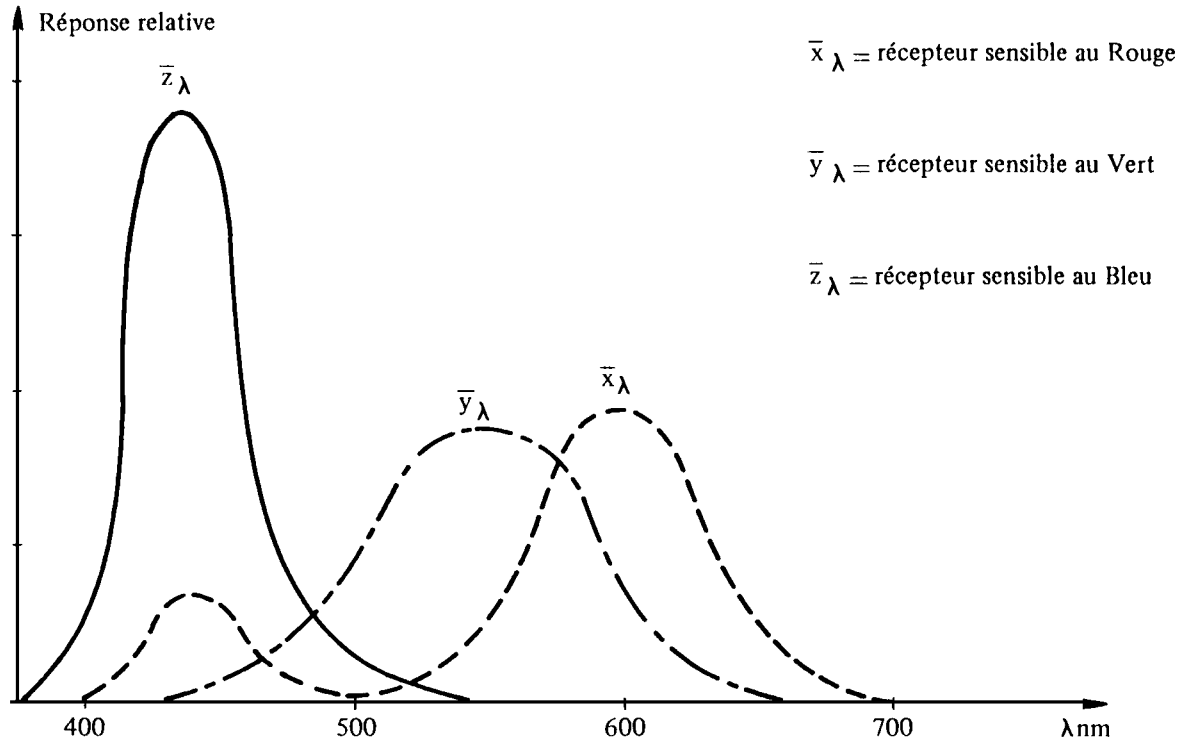


Figure 8 - Courbes de réponse de l'observateur standard CIE