

Colorimétrie

Joëlle Surrel

▶ **To cite this version:**

Joëlle Surrel. Colorimétrie. Licence / L1. 2008. sfo-00288116

HAL Id: sfo-00288116
https://hal-sfo.ccsd.cnrs.fr/sfo-00288116

Submitted on 18 Jun 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Colorimétrie

Table des matières

1 Décomposition-Recomposition de la lumière 4

2 Synthèse additive 5

2.1 Couleurs complémentaires 7

2.2 Applications 8

3 Synthèse soustractive 10

3.1 Filtre neutre 10

3.2 Filtre coloré 11

3.3 Applications 14

3.4 Psychométrie 15

4 Couleur des objets 15

5 Mélange temporel 17

6 Mélange proportionnel 17

7 Classification des couleurs 20

7.1 Représentation TSL 21

7.2 Colorimétrie 26

7.3 Système RVB 27

7.4 Base (X, Y, Z) 31

8 Illuminants 37

9 Autres espaces 41

10 Bibliographie 42

La couleur n'exite pas de façon intrinsèque, c'est le couple œil-cerveau qui la « crée ». La mesure de la couleur est difficile à quantifier car intervient l'interprétation faite par le cerveau des stimuli reçus.

1 Décomposition-Recomposition de la lumière

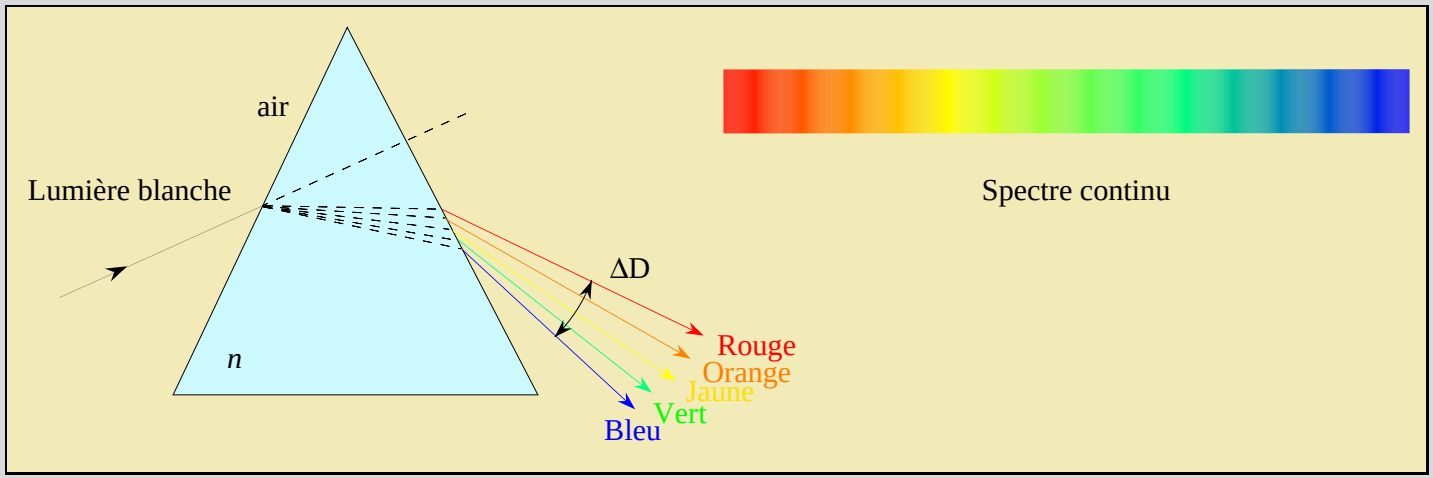


FIG. 1: Spectre de la lumière blanche

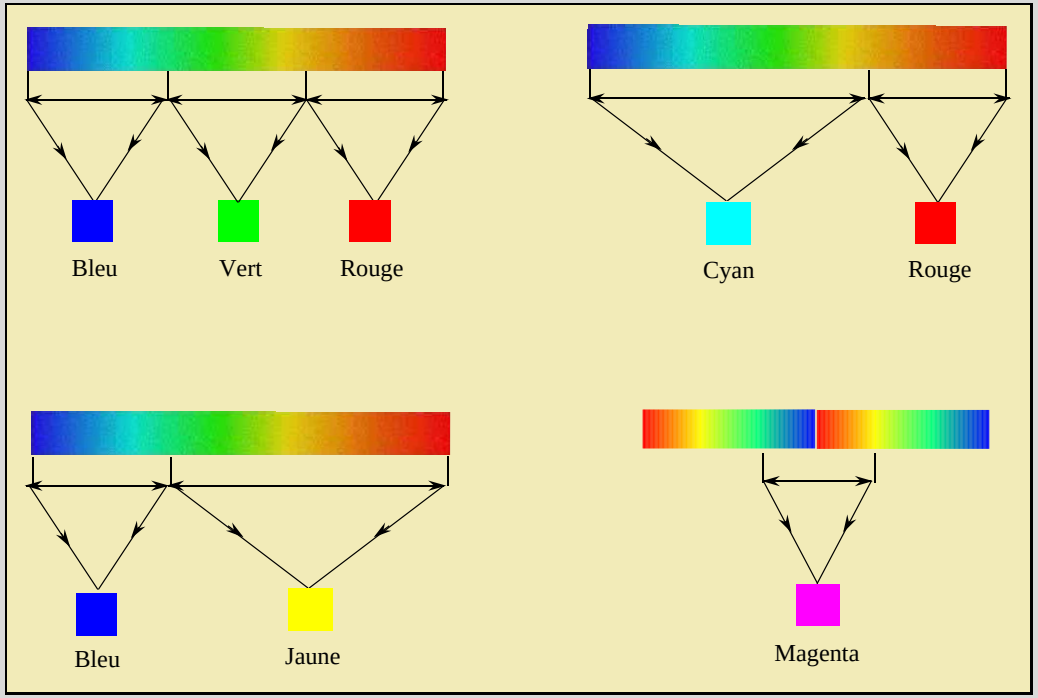


FIG. 2: Recomposition de la lumière

Couleurs primaires de la synthèse additive : bleu, vert, rouge.

Couleurs secondaires de la synthèse additive : Cyan, jaune et magenta $\equiv$ couleurs primaires de la synthèse soustractive.

2 Synthèse additive

Un objet blanc éclairé par deux faisceaux lumineux rouge et vert de même intensité apparaît jaune (Fig 2).

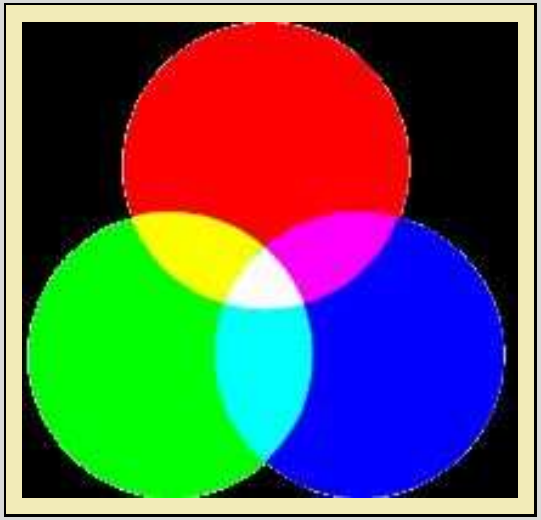


FIG. 3: Superposition de deux ou trois couleurs primaires.

Animation gif (http ://www-inf.enst.fr/ vercken/couleurs/lumiere.html)

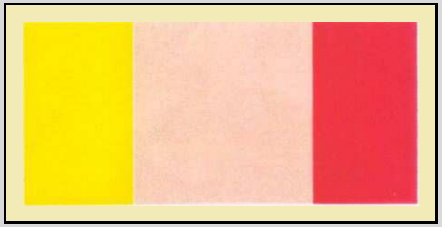


FIG. 4: Le réésultat d'une synthèse additive est toujours plus clair que les couleurs de départ.

2.1 Couleurs complémentaires

Deux couleurs dont la synthèse additive donnent du blanc sont dites complémentaires .

Couleur	Couleur complémentaire
Jaune	Bleu
Vert	Magenta
Cyan	Rouge

2.2 Applications

Écrans vidéo, scanners : chaque pixel est partagé en trois éléments luminescents (luminophores) juxtaposés donnant chacun une des trois couleurs de la synthèse additive.

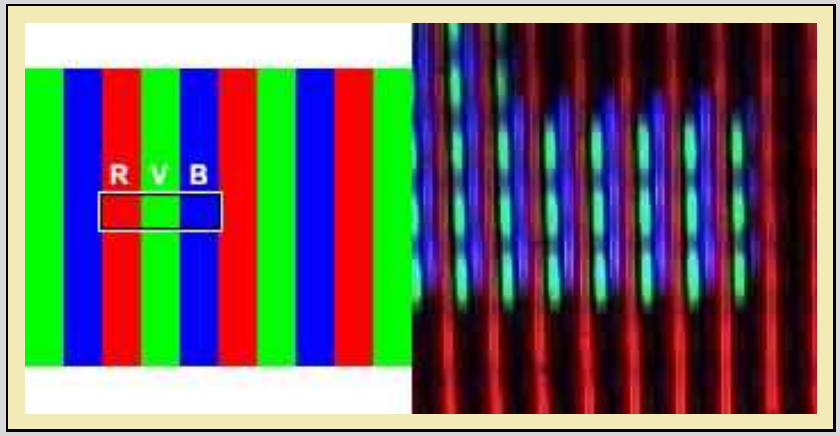


FIG. 5: Pixels vidéo

http ://www.ac-grenoble.fr/argouges/PEDAGOGI/COULEURWEB/couleur.htm

3 Synthèse soustractive

3.1 Filtre neutre

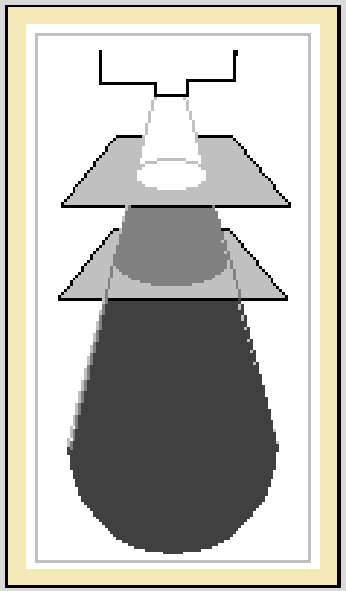


FIG. 6: Absorption toutes les longueurs d'onde dans la même proportion.

En supprimant l'ensemble du spectre on n'obtient pas du noir mais un gris plus ou moins foncé suivant la puissance de la source lumineuse.

Un filtre est caractérisé par sa transmission :

$$T = \frac{I_t}{I_i}$$

on encore par sa densité :

$$D = -\log_{10}(T)$$

Quand plusieurs filtres sont en cascade, les transmissions se multiplient tandis que les densités s'ajoutent :

$$T = \prod^{i} T_i$$

$$D = \sum^{i} D_i$$

3.2 Filtre coloré

Suppression préférentielle d'une partie du spectre de la lumière blanche : $T(\lambda)$.

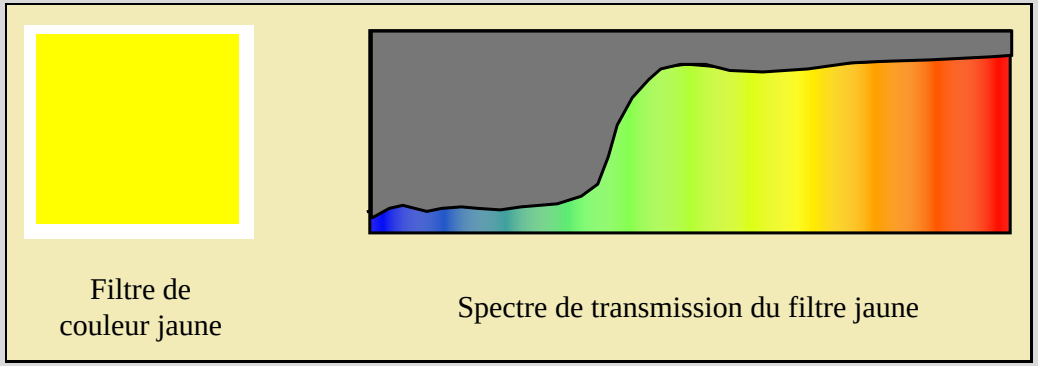


FIG. 7: Un filtre coloré arrête les rayons lumineux correspondants à sa couleur complémentaire. Le filtre de couleur jaune arrête le bleu.

Interposition en cascade.

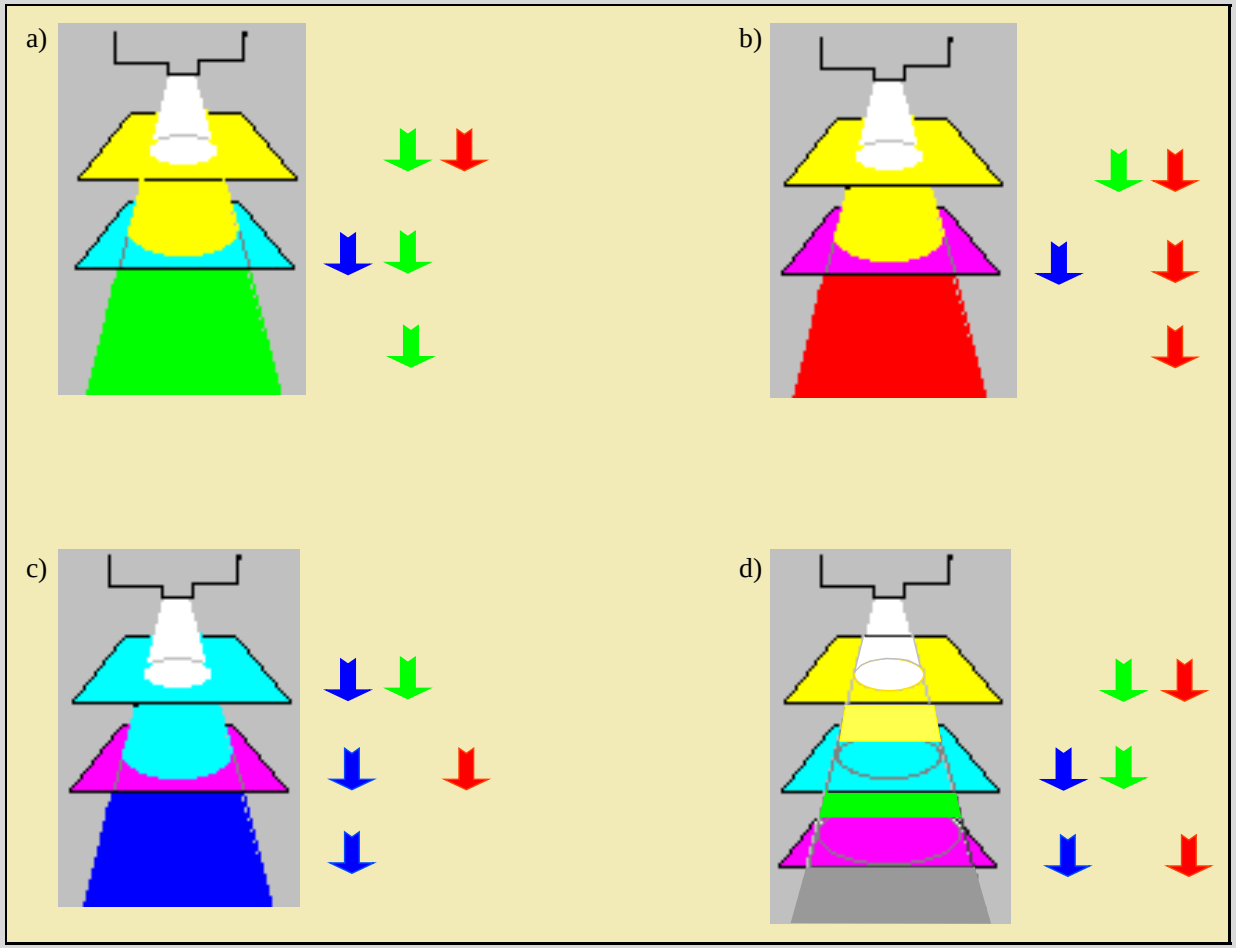


FIG. 8: À partir des couleurs primaire cyan, magenta, jaune, la synthèse soustractive permet de recomposer les couleurs primaires de la synthèse additive.

Couleurs primaires de la synthèse soustractive : Cyan, Magenta, Jaune.

Couleurs secondaires de la synthèse soustractive : Rouge, Vert, Bleu

Animation : Anim_soustractif.gif

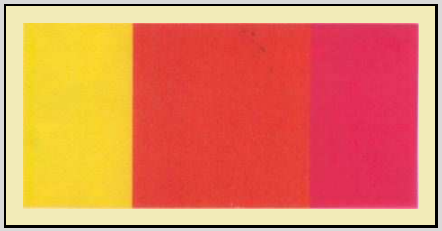


FIG. 9: Les couleurs obtenues par synthèse soustractive sont toujours plus foncées que les couleurs de départ.

3.3 Applications

Peintures, imprimantes, tireuses, photocomposeuses

3.4 Psychométrie

Psychométrie : prise en compte du *sensible*, de l'*émotion*. Dépend de la culture.

Rouge :

- Amour, force, enthousiasme ...
- Danger, violence

Jaune : luminosité, tonique associé au soleil et or

Orange : chaleur, lumière ...

Vert : apaisement, détente, repos, printemps ...

Bleu :

- Calme et fraîcheur : ciel, mer, espace ...
- Dépression : le "blues"

Violet : rêverie, utopie, mysticisme...

4 Couleur des objets

Couleur apparente d'un objet dépend des caractéristiques de la source qui l'éclaire. En lumière blanche il n'y a aucune distorsion de la couleur perçue par l'œil. (Fig 10).

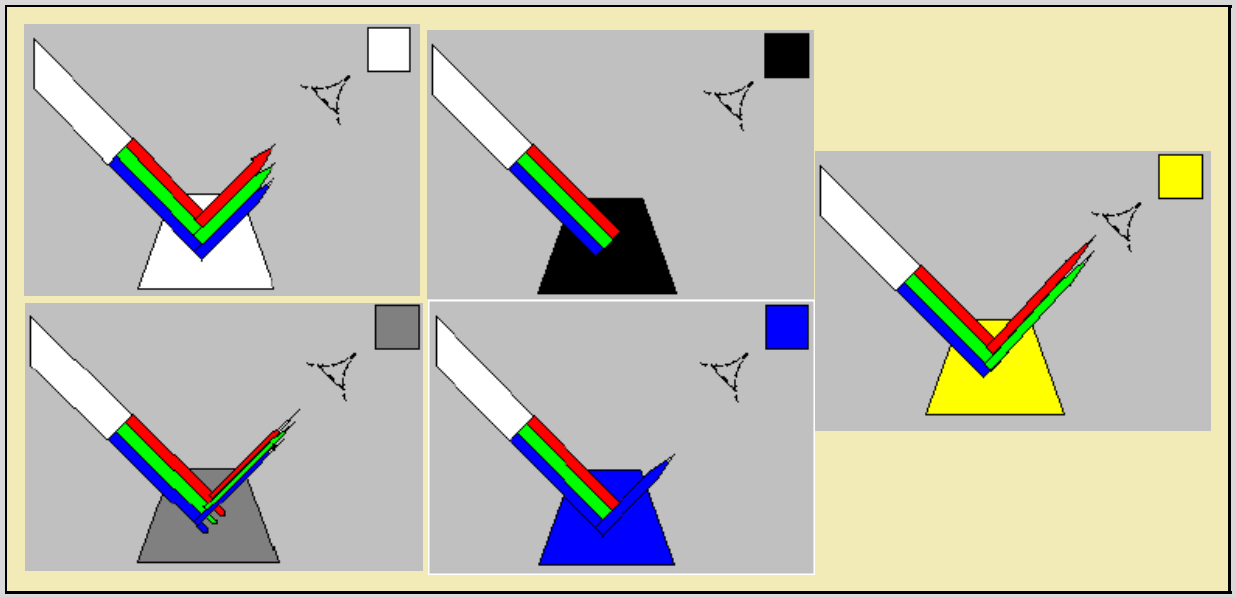


FIG. 10: Rendu des couleurs en lumière blanche

En lumière colorée...

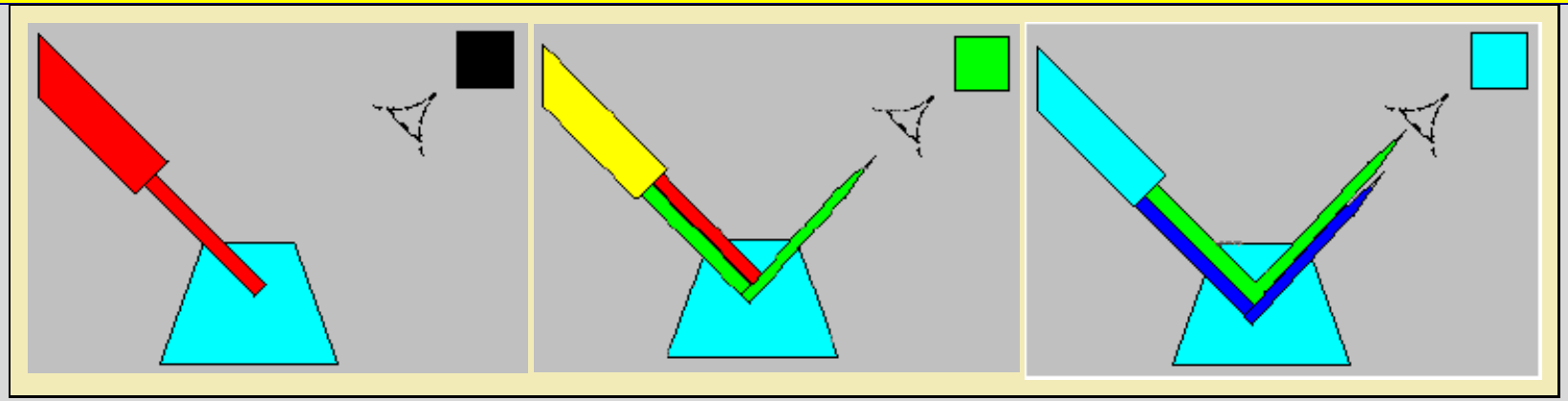


FIG. 11: Distorsion possible en lumière colorée

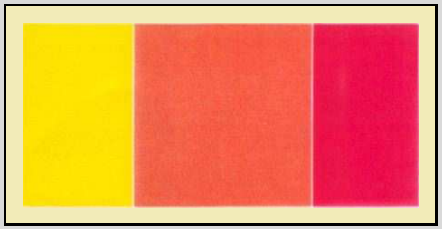
5 Mélange temporel

Animation colorwheel.gif (http ://home.sharpdots.com/resources/color.cfm ?HDID=GP)

6 Mélange proportionnel

Tissu : intercalage de fils bleus et rouges donne mauve.

La luminosité correspond à peu près à la luminosité moyenne des deux couleurs.



Même principe pour la reproduction des différentes couleurs dans les ouvrages.

L'image d'une photographie couleur est constituée de trois couches colorées.

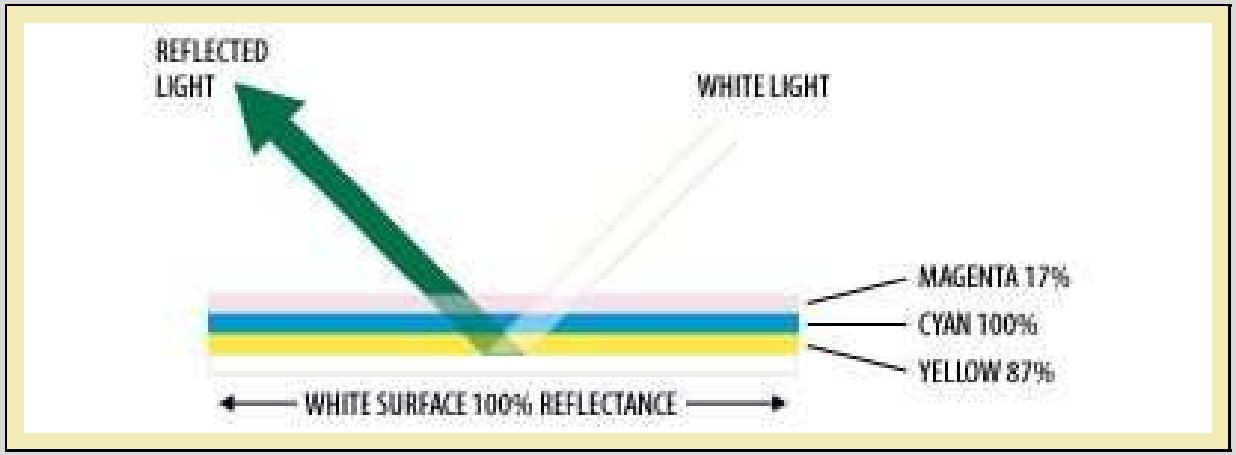


FIG. 12: Exemple de synthèse du vert pour une photocomposition



FIG. 13: La superposition et (ou) la juxtaposition de ces grains colorés permet la restitution de l'ensemble des couleurs (Couleur optique et perception, Moritz ZWIMPFER, 1992, ISBN 2249250367)

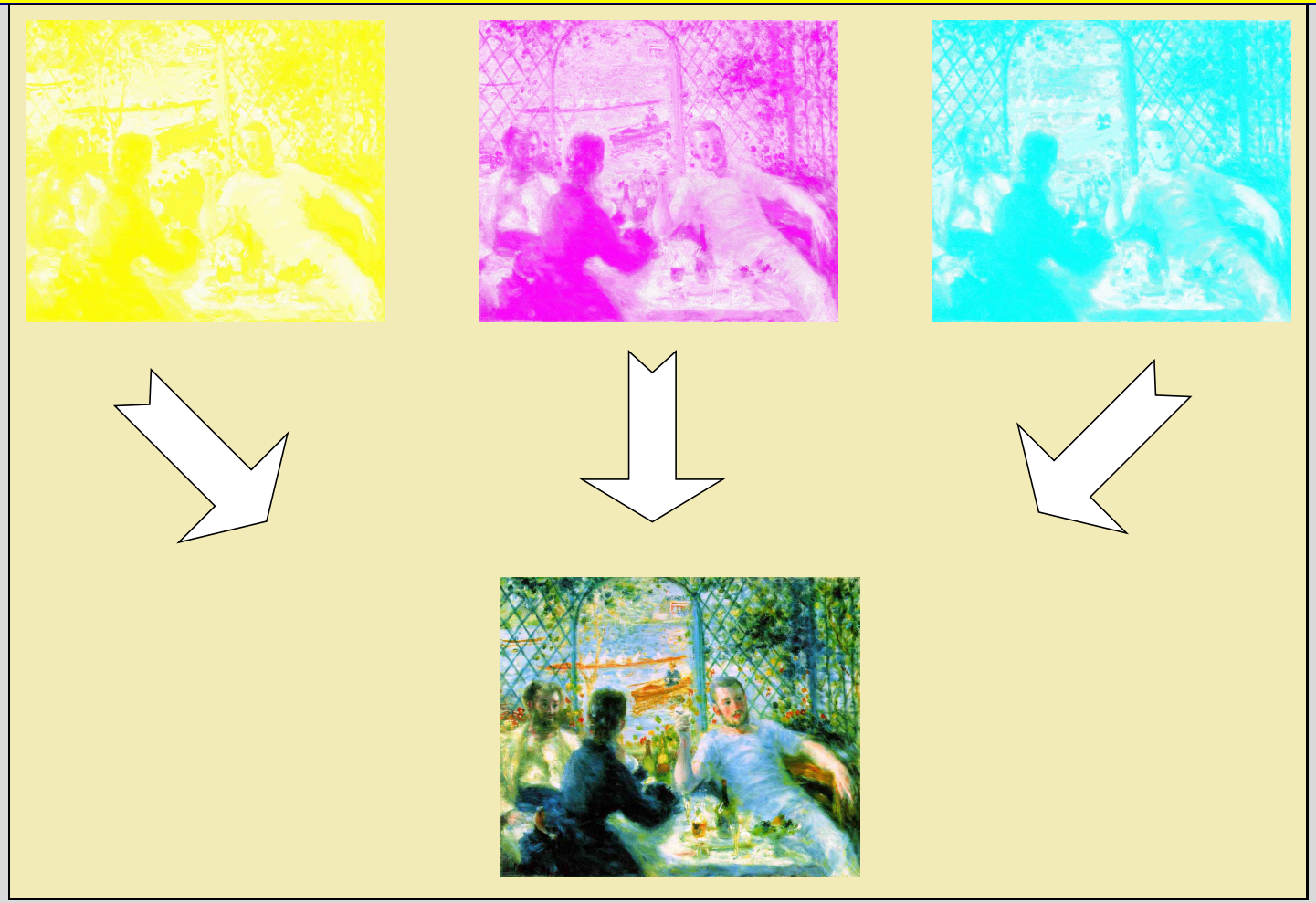


FIG. 14: Recomposition d'un tableau "Le déjeuner des canotiers" (1879) de Pierre-Auguste Renoir (mélange optique des trois couleurs primaires)

7 Classification des couleurs

7.1 Représentation TSL

Modèle proche de la perception physiologique : la teinte , la saturation et la luminosité (luminance) . En anglais HLS de hue , lightness et saturation.

- Teinte $\equiv$ couleur
- saturation$\equiv$ pureté de la couleur, vif ou terne, délavé
- luminosité $\equiv$ claire ou sombre.

Proche du modèle de MUNSELL

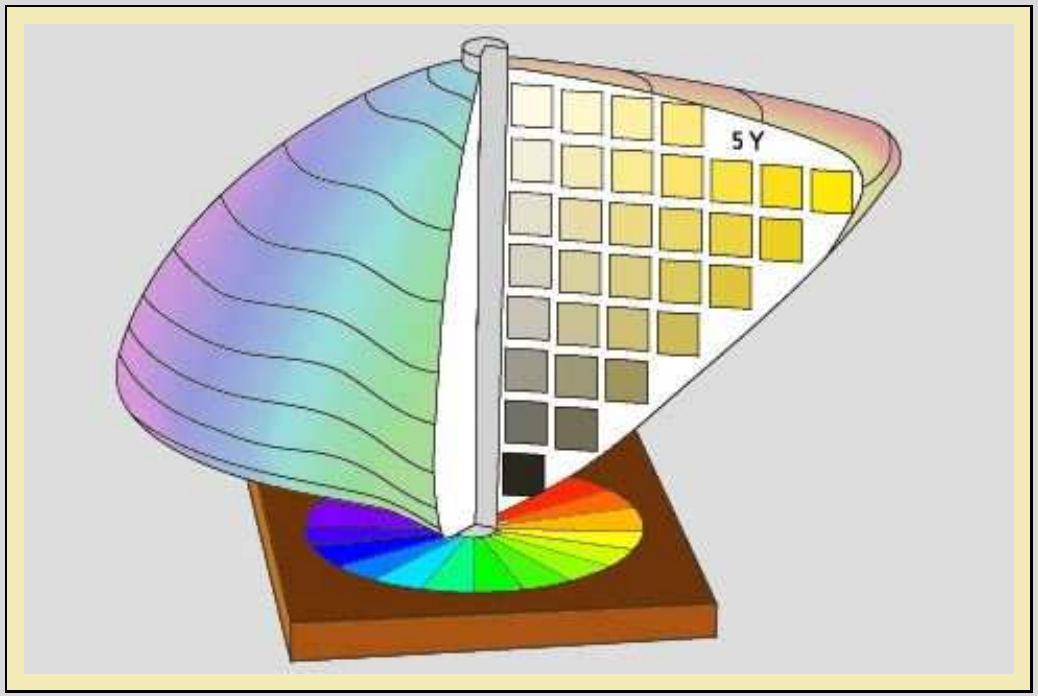


FIG. 15: Modèle de MUNSELL en 3D

(http ://tecfa.unige.ch/perso/lombardf/CPTIC/couleurs/couleur_ERAG/Pages/ch8p1.htm)

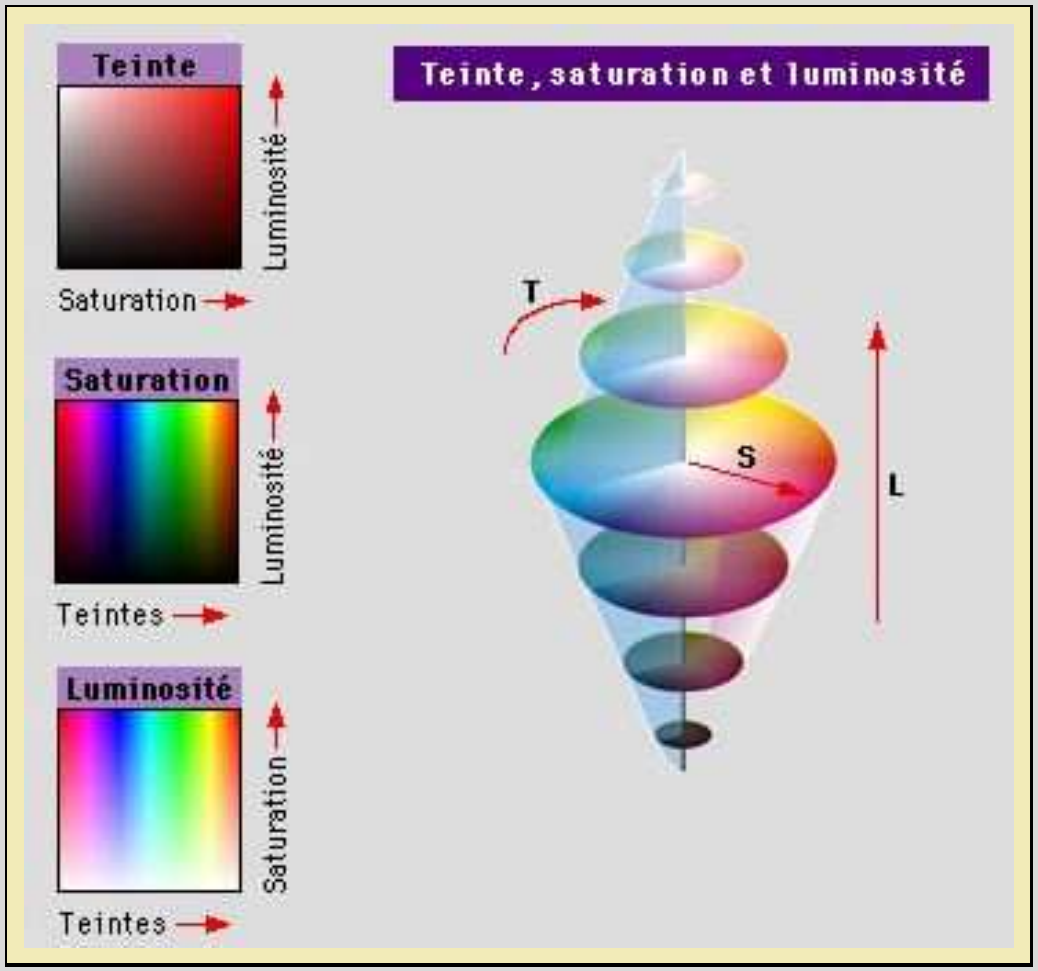


FIG. 16: Dérivé du modèle de MUNSELL

(http ://tecfa.unige.ch/perso/lombardf/CPTIC/couleurs/couleur_ERAG/Pages/ch8p1.htm)

Couleurs du spectre sur un cercle chromatique , repérées par un angle.

- Rouge : $\varphi = 0\,^\circ$
- Vert : $\varphi = 120^\circ$
- Bleu : $\varphi = 240^\circ$

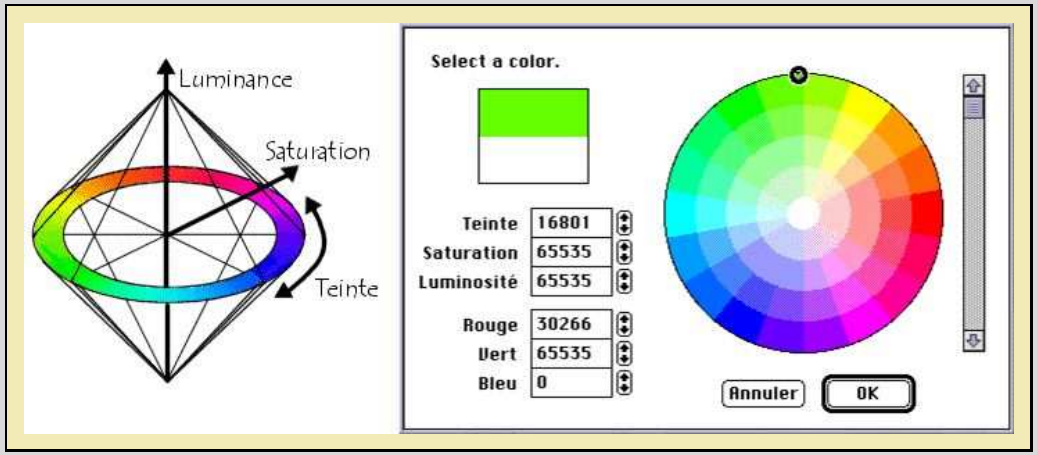


FIG. 17: (http ://www.unimedia.fr/homepage/divirion/cours/web_cou/cou_03.htm#eti4)

Poutour : couleurs saturées.

Luminosité repésentée sur la doite perpendiculaire au cercle qui passe par son centre.

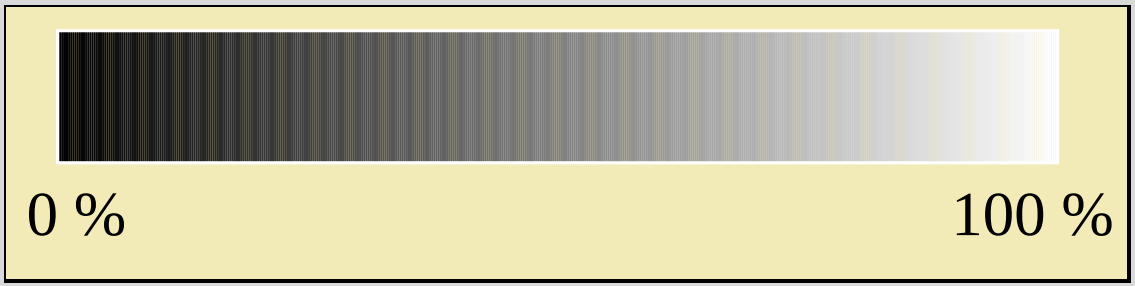


FIG. 18: Niveaux de gris

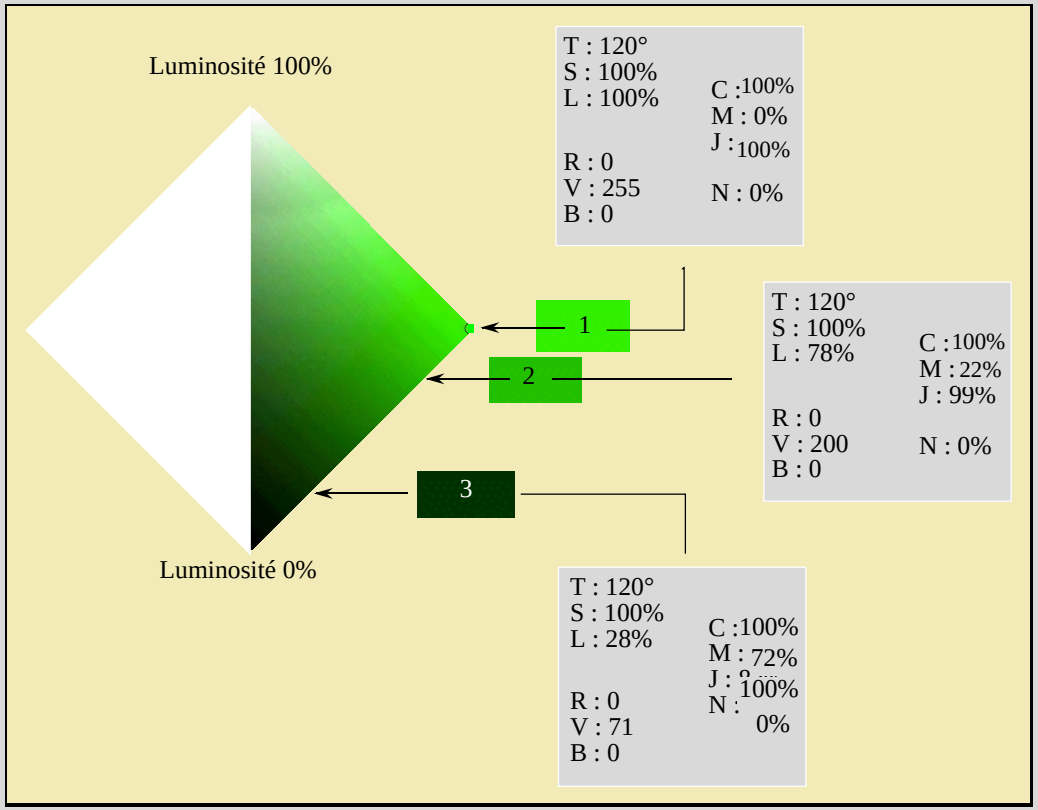


FIG. 19: Représentation des nuances d'une teinte avec le modèle TSL

- Sur une diagonale, les nuances ont la même saturation mais luminosités $\neq$.
- Sur une horizontale, les nuances ont même luminosité mais saturation $\neq$.

7.2 Colorimétrie

Colorimétrie : recherche à caractériser une couleur en tant que mélange de trois couleurs.

On ne s'intérresse pas à la distribution spectrale mais à la sensation physiologique.

Des couleurs qui apparaissent identiques sous un éclairage donné sont dites couleurs métamères , en fait elles ont des spectres différents. Quand l'éclairage change ces couleurs peuvent se différencier.

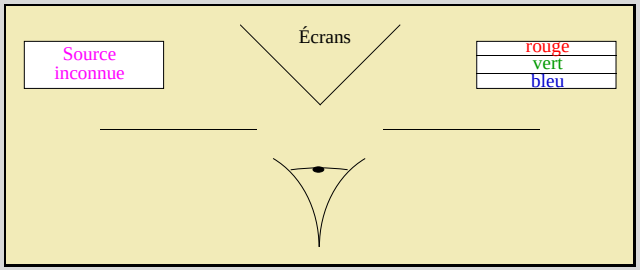


FIG. 20: Principe du colorimètre

7.3 Système RVB

Modèle : très répandu, correspond au fonctionnement des moniteurs couleur.

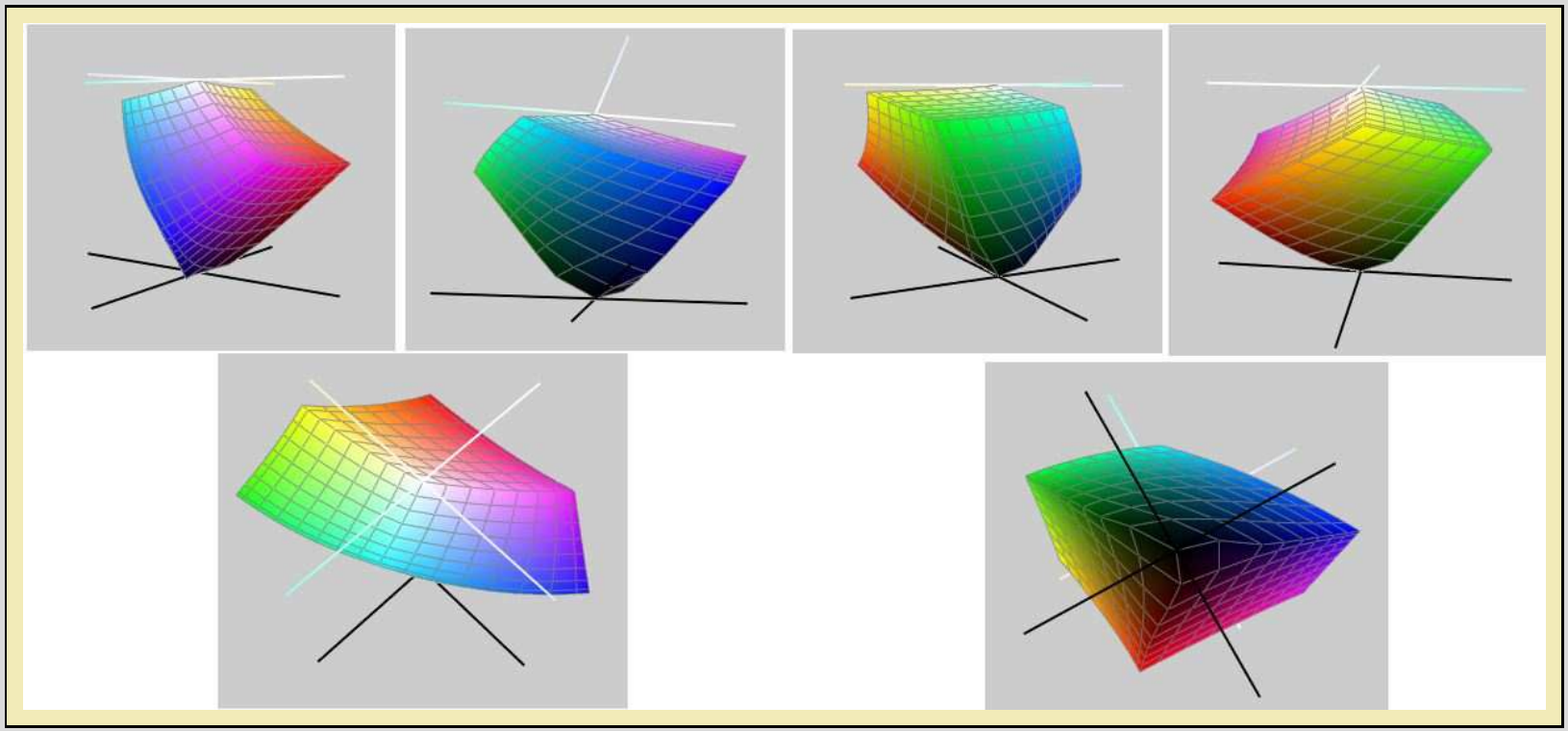


FIG. 21: Exemple de teintes pouvant être rendues par un moniteur décrit dans le système RVB

Une couleur quelconque peut être décrite comme la combinaison linéaire de trois couleurs primaires [R] (700 nm), [V] (546,1 nm), [B] (435,8 nm) :

$$C = R\,\bar{r} + V\,\bar{v} + B\,\bar{b}$$

$R,\ V,\ B$: composantes trichromatiques.

Les fonctions $\bar{r}(\lambda),\ \bar{v}(\lambda),\ \bar{b}(\lambda)$ appelées fonctions colorimétriques , donnent la valeur des coefficients $(R,\ V,\ B)$ pour reproduire une couleur de longueur d'onde donnée.

$$C_{580} = 0,24\ \bar{r} + 0,14\ \bar{v} + 0\ \bar{b}$$

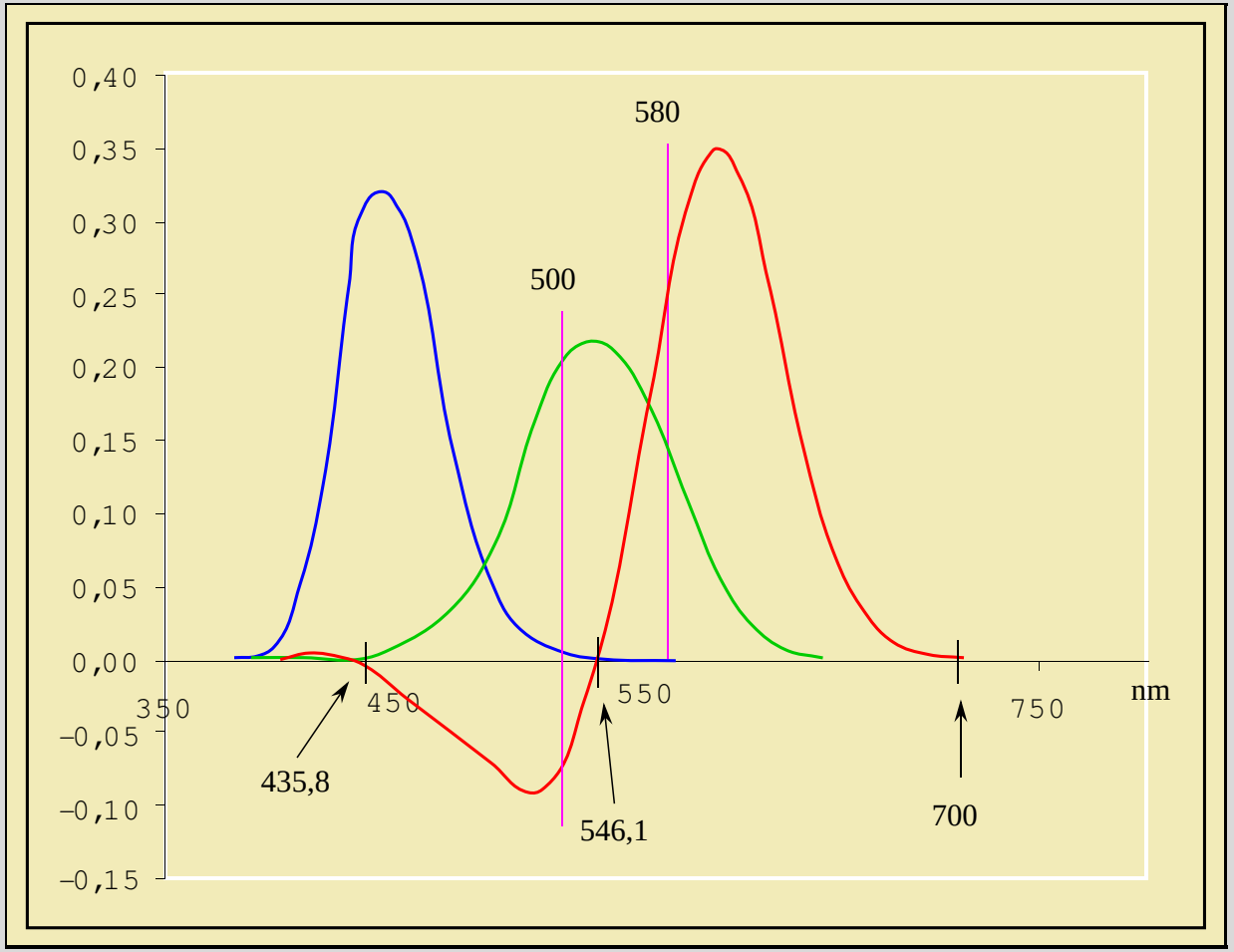


FIG. 22: Fonctions colorimétriques du système RVB

Inconvénient majeur :

$$C_{500} = -0,07\ \bar{r}(\lambda) + 0,08\ \bar{v}(\lambda) + 0,04\ \bar{b}(\lambda)$$

$$C_{500} + 0,07\ \bar{r}(\lambda) = 0,08\ \bar{v}(\lambda) + 0,04\ \bar{b}(\lambda)$$

CIE (Commission Internationale de l'éclairage) 1931 une autre base (X, Y, Z).

7.4 Base (X, Y, Z)

Couleurs perçues décrites avec des coefficients positifs.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,49000 & 0,31000 & 0,20000 \\ 0,17697 & 0,81240 & 0,01063 \\ 0,00001 & 0,01000 & 0,99000 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ V \\ B \end{pmatrix}$$

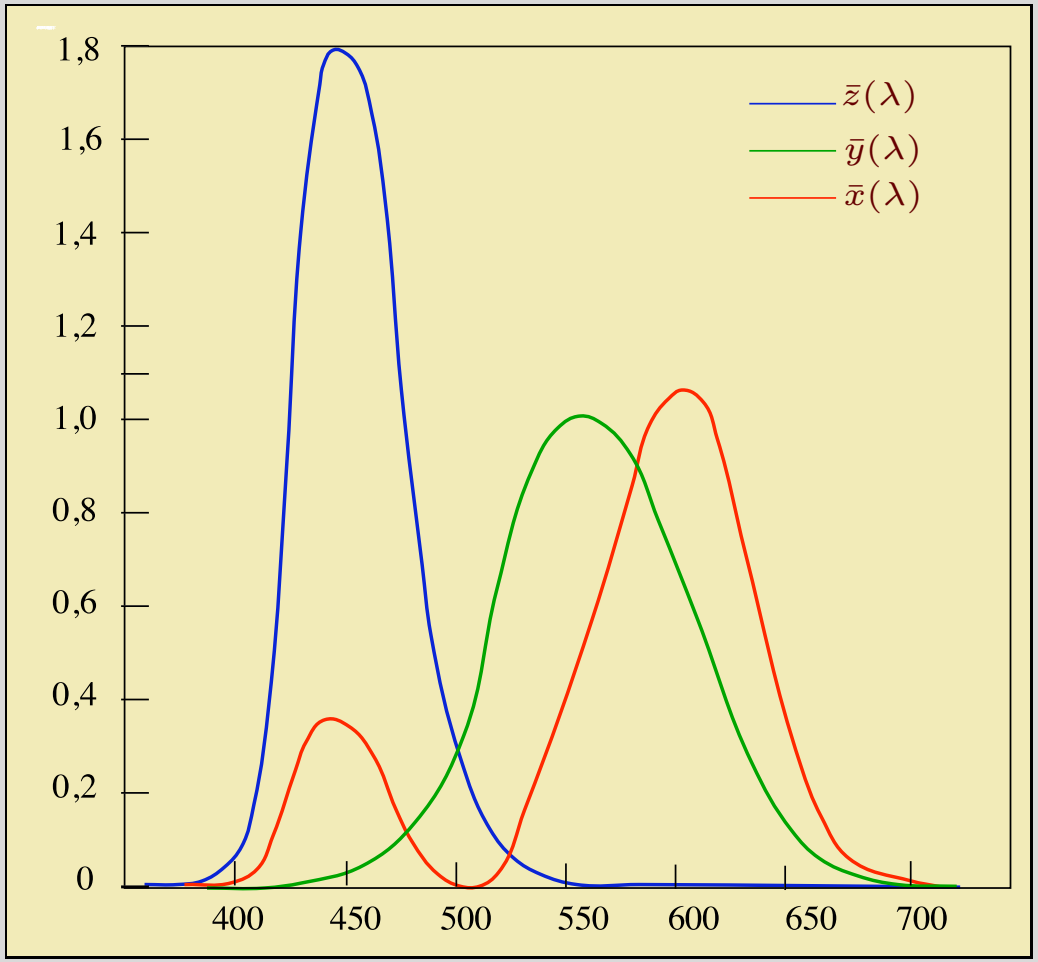


FIG. 23: Fonctions colorimétriques du système CIE XYZ

Représenter la couleur uniquement (pas, l'intensité lumineuse) dans un plan :

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

appelées coordonnées trichromatiques .

Avec :

$$x + y + z = 1$$

Diagramme de chromaticité .

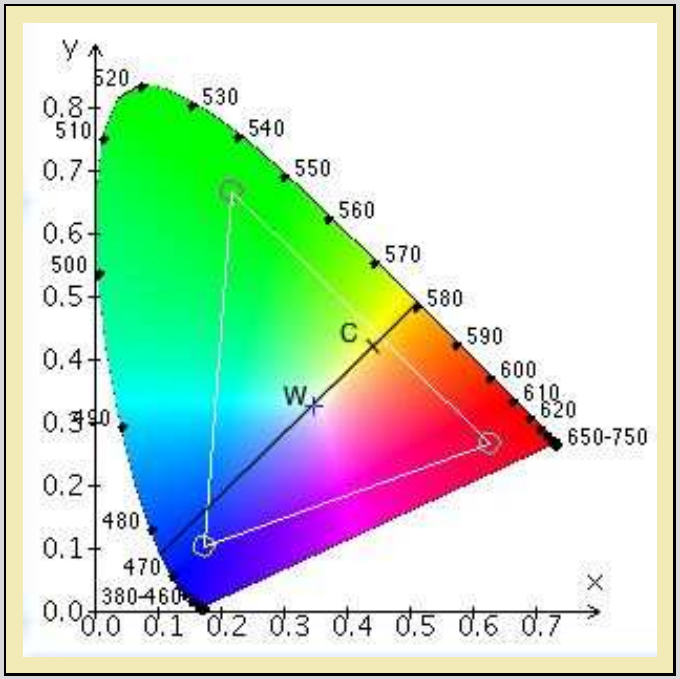


FIG. 24: Diagramme de chromaticité

(http ://tecfa.unige.ch/ lombardf/CPTIC/couleurs/couleur_ERAG/)

- Courbe en forme de fer à cheval s'appelle spectrum locus
- Droite des pourpres

- Couleur dominante de longueur d'onde 580 nm.
- Couleur complémentaire de longueur d'onde 475 nm.
- Désaturation quand on se rapproche du blanc.
  Degré de pureté $\dfrac{x_{\mathrm{c}} - x_{\mathrm{w}}}{x_{\mathrm{d}} - x_{\mathrm{w}}}$
- À partir des trois cercles représentant les teintes primaires à disposition, il est possible de connaître les teintes qui peuvent être synthétisées, elles sont contenues dans le triangle blanc.

Inconvénients : Des couleurs sombres ou claires ayant les mêmes proportions sont représentées par le même point (utilitaire : ColorSync). Le blanc et les différents niveaux de gris, sont situés dans la zone centrale.

Trois avantages par rapport à la base (R, V, B) :

- les composantes trichromatiques sont toujours positives
- la composante Y correspond à la luminance de la source ce qui permet de faire un lien avec la photométrie puisque la courbe $\bar{y}(\lambda)$ coïncide avec la courbe de réponse de l'œil.
- l'illuminant (W) a pour coordonnées trichromatiques (1/3, 1/3, 1/3)

Tout mélange à partir de C_1, C_2, C_3 est contenu à l'intérieur du traingle.

Animations : diagramme de chromaticité et gamut

http ://www.cs.rit.edu/ ncs/color/a_chroma.html

8 Illuminants

Max Planck a démontré que le spectre lumineux émis par un corps noir parfait, totalement absorbant, dépend uniquement de sa température.

L'exitance suit la loi de STEPHAN, avec $\sigma = 5,670.10^{-8}\mathrm{W.m^{-2}.K^{-4}}$:

$$M = \sigma T^4$$

La luminance spectrique L_λ passe par un maximum pour λ_m vérifiant la loi de WIEN, avec $b = 2,89789.10^{-3}$:

$$\lambda_m.T = b$$

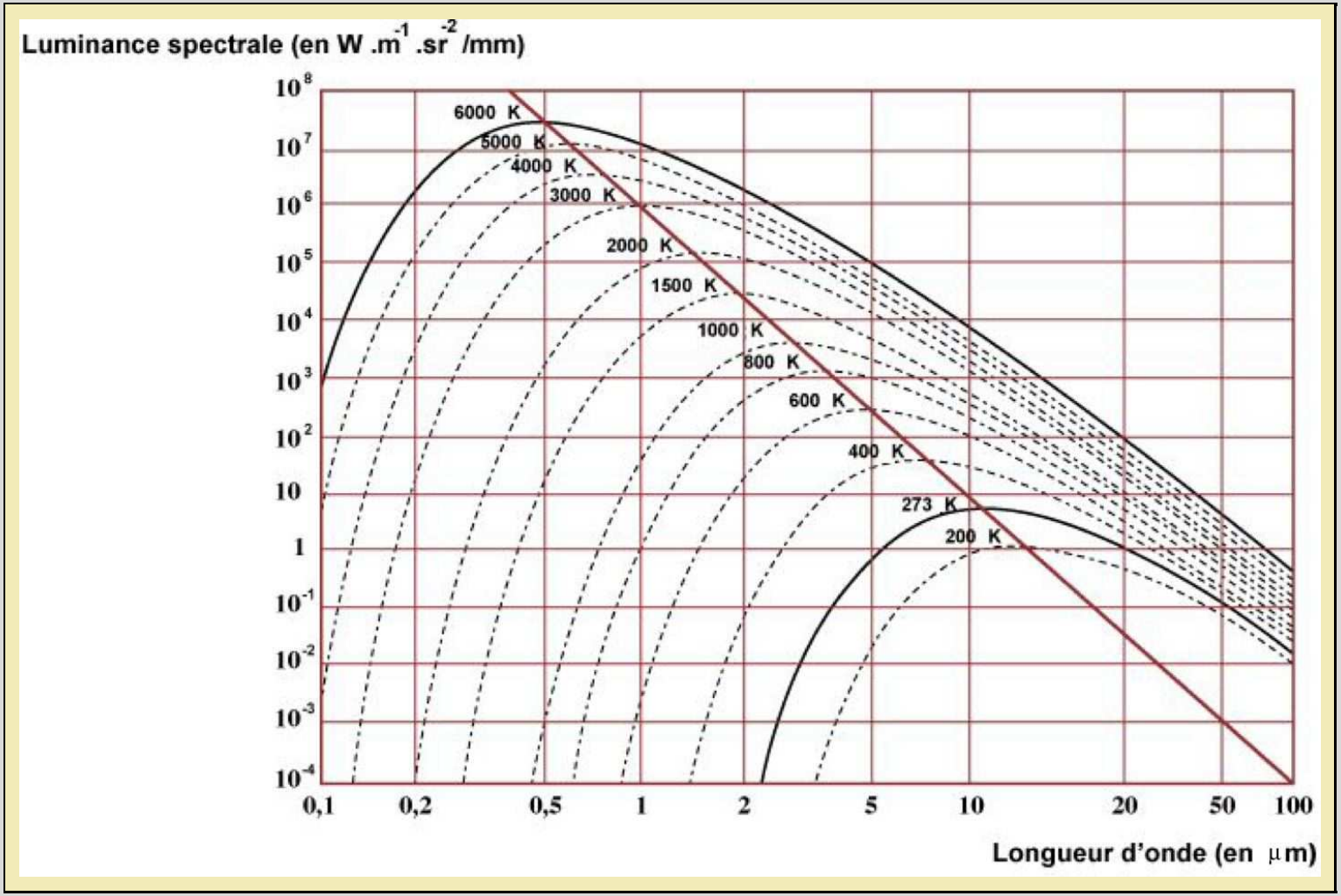


FIG. 25: Spectre en fonction de la température du corps noir

http ://ceos.cnes.fr :8100/cdrom-00/ceos1/science/baphygb/chap3/chap3_f.htm

Une source de lumière est qualifiée par la température du corps noir produisant un rayonnement équivalent . Convient bien aux lampes à incandescence mais pas aux lampes spectrales.

- Illuminant A : Lumière du corps noir à 2856 °K.
- Illuminant C : Lumière du jour moyen avec une température de couleur équivalente à 6774 °K environ.
- Illuminant D65 : Représente un état de la lumière du jour avec une température de couleur équivalente à 6504 °K. Illuminant de référence de la vidéo.

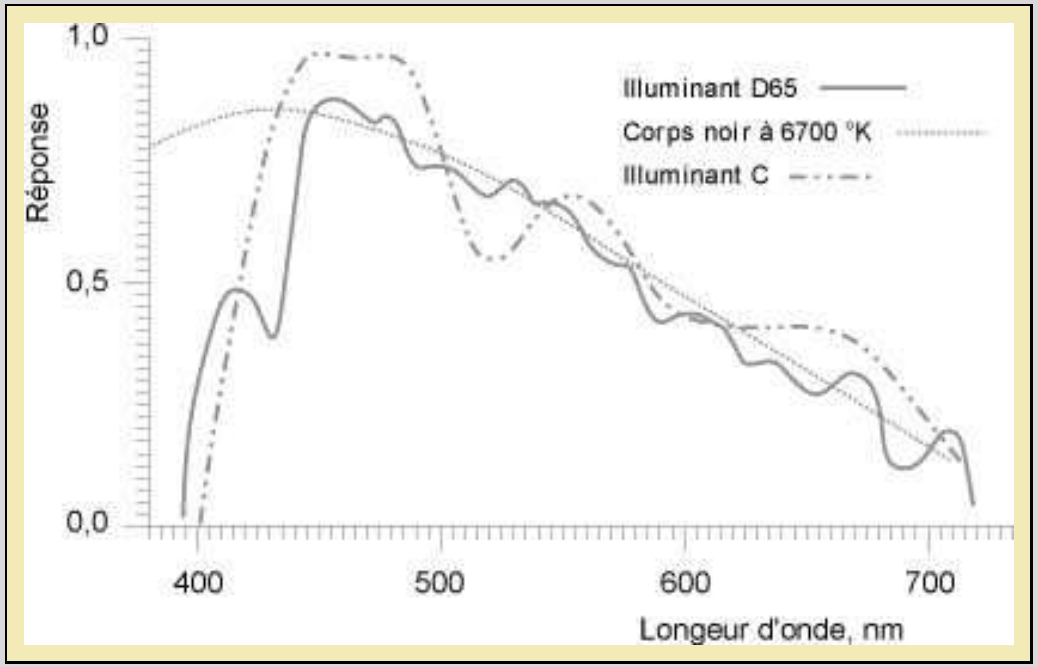


FIG. 26: Spectre des illuminants normalisés

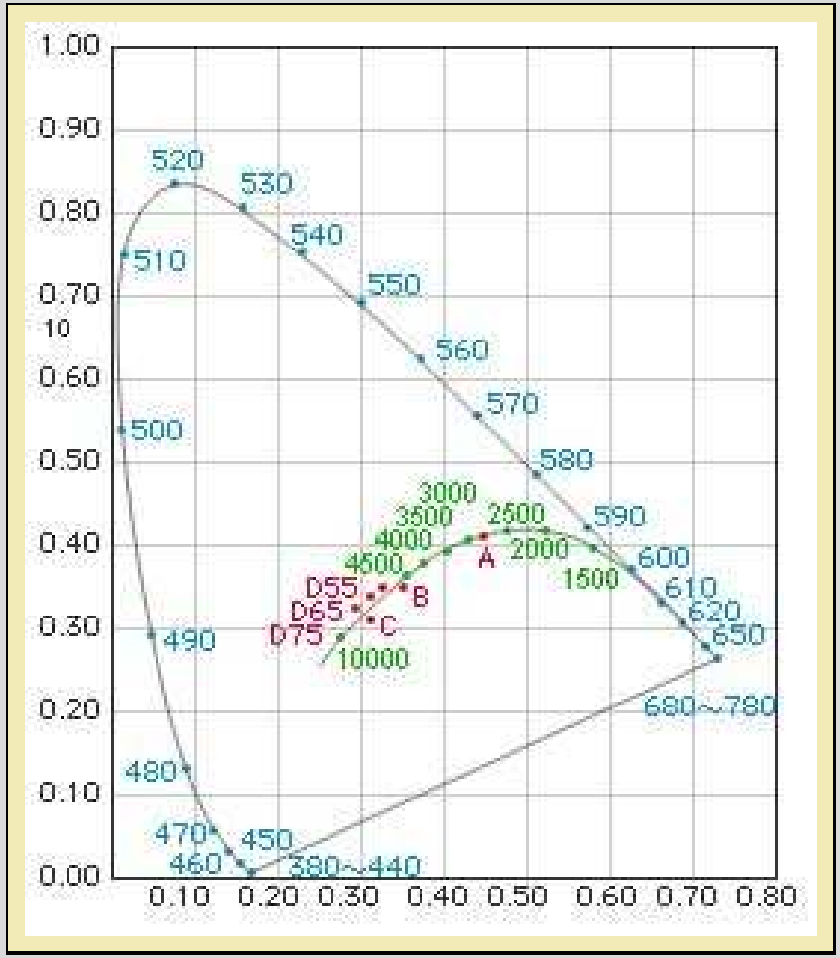


FIG. 27: Lieu du corps noir idéal dans le diagramme xy de la CIE lorsque la température varie

9 Autres espaces

1. L'espace L*u*v* CIE 1976 (CIELUV) qui est obtenu par une transformation linéaire du système X, Y, Z. Très utilisé pour les applications de télévision.
2. L'espace L*a*b* CIE 1976 (CIELAB). Plus précis que le précédant, obtenu par une transformation non linéaire du système X, Y, Z.

Attention aux confusions :

Langage courant	Scientifique	Psychométrique
Couleur	Longueur d'onde dominante	Teinte
Pureté	Saturation	Saturation
Luminosité	Luminance	Luminosité

10 Bibliographie

Couleur optique et perception, Moritz Zwimpfer, 1992, ISBN 2249250367

http ://tecfa.unige.ch/ lombardf/CPTIC/couleurs/couleur_ERAG/

http ://www.unimedia.fr/homepage/divirion/cours/web_cou/cou_03.htm#eti4

http ://www.cst.fr/dtech/07-mai98/index.html

http ://www-inf.enst.fr/ vercken/couleurs/ordinateur.html

http ://www.commentcamarche.net/video/couleur.php3 © Copyright 2004 Jean-François Pillou - Hébergé par Web-solutions.fr. Ce document issu de CommentCaMarche.net est soumis à la licence GNU FDL.

http ://www.fundp.ac.be/institution/autser/cc/formations/couleur/modelisation.ht