

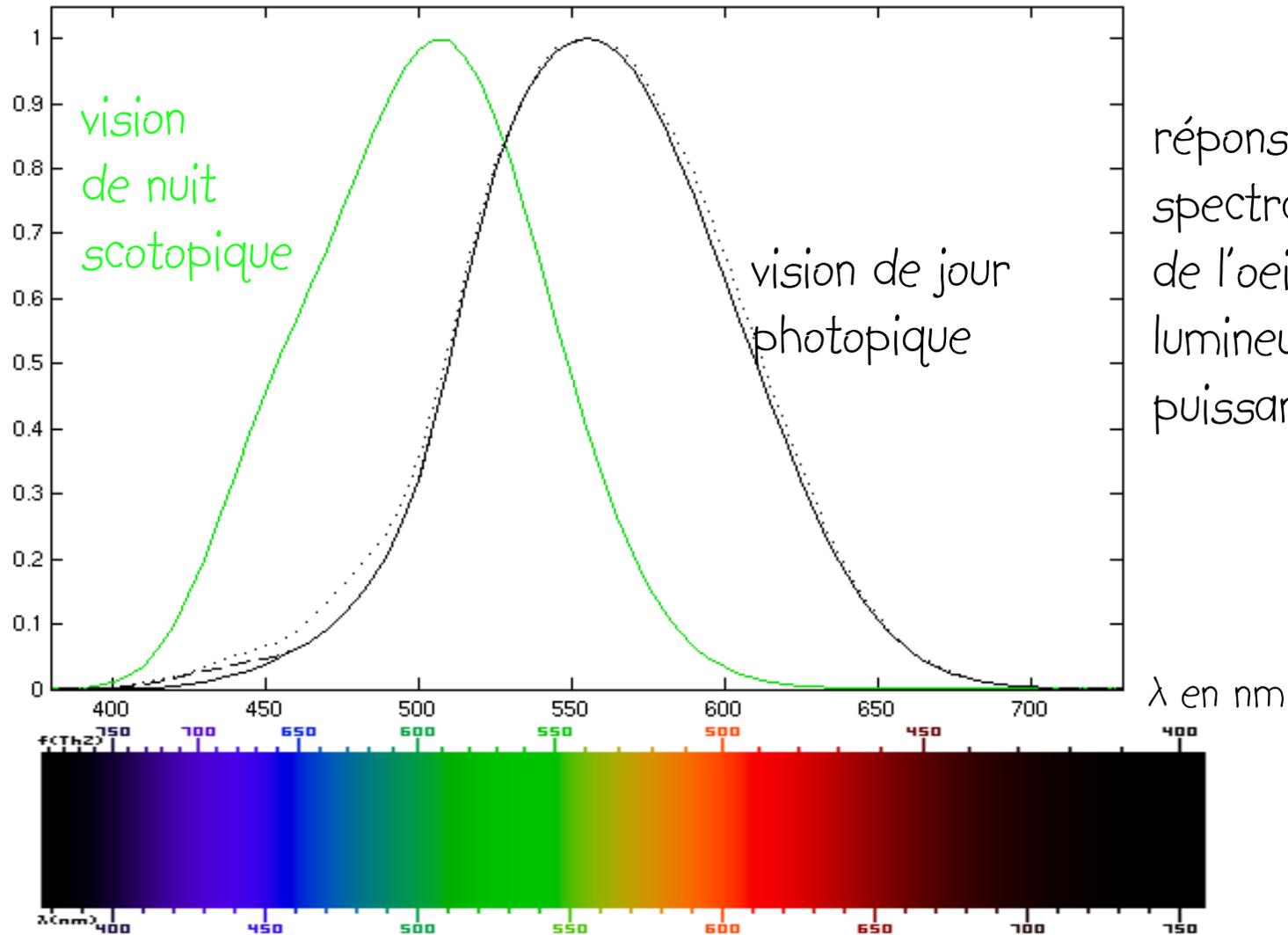
Université Joseph Fourier, Grenoble – 2010/2011

Optique Ondulatoire – IUT1 Mesures Physiques

Vision humaine des couleurs

2. Photométrie

La photométrie optique définit les grandeurs mesurables qui caractérisent les rayonnements optiques en se référant à la perception humaine.



3. Flux lumineux ou puissance lumineuse :

$$F_V(\text{lm}) = 683 \text{ lm/W} \int_0^{\infty} \bar{y}(\lambda) V(\lambda) d\lambda$$

longueur d'onde

Puissance (en W m^{-2}) spectrale reçue ou émise

fonction spectrale photopique moyenne de l'oeil (sans unité).

Puissance lumineuse telle qu'elle serait perçue par l'oeil le jour, mesurée en lumens.

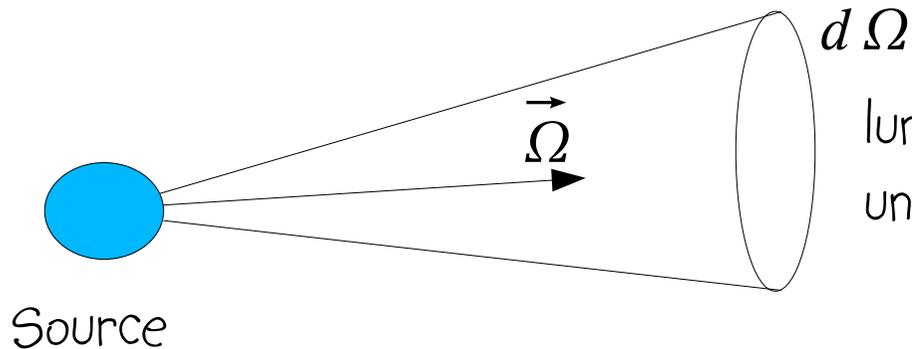
1 W lumineux reçu par l'oeil à une longueur d'onde de 555 nm correspond à un flux lumineux de 683 lm.

Énergie lumineuse :

$$Q_V(\text{lm} \cdot \text{s}) = \int_0^t F_V(t') dt'$$

puissance lumineuse à l'instant t'

4. Intensité lumineuse



Source
lumineuse

lumière émise dans une direction donnée et dans
un angle solide $d\Omega$

L'intensité lumineuse est la puissance lumineuse émise par
la source par unité d'angle solide dans la direction
considérée.

$$I_V(\text{cd}) = F_V / d\Omega$$

← Angle solide dans lequel
est émise la lumière

↑ Puissance lumineuse

Intensité lumineuse mesurée en candelas (cd)
ou lm/sr .

Une bougie commune émet environ 1 cd.

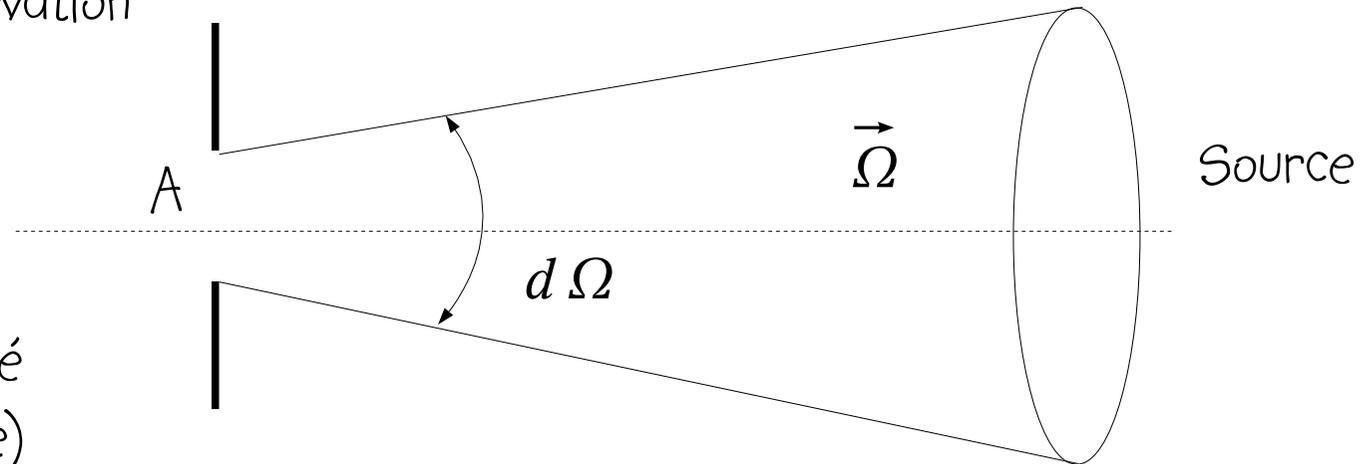
Une lampe à incandescence de 100 W émet environ 120 cd.

Exo : calculer la puissance lumineuse émise par une bougie standard et par une
lampe à incandescence de 100 W.

Exo : Calculer la puissance lumineuse reçue
par la pupille d'un oeil situé à 1 m d'une lampe
à incandescence de 100 W . Dans ces
conditions, on considérera que la pupille est
très rétrécie. Son diamètre est alors de
1 mm.

5. Luminance

A est une surface d'observation (par exemple la pupille de l'oeil) ou d'émission.



La luminance est l'intensité lumineuse reçue (ou émise) par unité de surface dans la direction d'observation (ou d'émission).

$$L_V(\text{cd/m}^2) = I_V / A$$

Un écran d'ordinateur a une luminance comprise entre 50 et 300 cd/m^2

Le soleil à midi produit une luminance de $1,9 \cdot 10^9 \text{ cd/m}^2$.

exo : déterminer l'intensité lumineuse puis la puissance lumineuse reçues par la pupille de l'oeil à midi par le soleil vu directement sachant que le soleil a un diamètre apparent de $0,5^\circ$. On considérera à nouveau que le diamètre de la pupille de l'oeil est de 1 mm dans ces conditions d'éclairement.

6. Éclairement lumineux

C'est la puissance lumineuse reçue par unité de surface éclairée.

$$E_v(\text{lx}) = F_v / A$$

Puissance lumineuse

Surface d'observation

L'unité d'éclairement lumineux est le lux (= lm/m²)

L'oeil peut discerner un point blanc sur un fond noir produisant $5 \cdot 10^{-5}$ lux et lire un texte composé de gros caractères à 10^8 lux.

exo : calculer l'éclairement lumineux de la pupille de l'oeil par le soleil à midi observé directement.

7. Émittance lumineuse

C'est la puissance lumineuse émise par unité de surface de la source.

$$E_v(\text{lx}) = F_v / A$$

Surface de la source

Puissance lumineuse émise par la source

L'unité d'émittance lumineuse est le lux (= lm/m²)

8. Efficacité lumineuse :

Pour une source lumineuse donnée, c'est le rapport du flux lumineux (en lm) émis sur la puissance énergétique totale (en W) émise.

Par définition l'efficacité lumineuse est comprise entre 0 et 683 lm/W.

L'efficacité lumineuse d'une lumière monochromatique possédant une longueur d'onde de 555 nm est par définition de 683 lm/W. Celle du soleil est de 93 lm/W.

L'efficacité lumineuse ne doit pas être confondue avec le **rendement lumineux qui est le rapport entre le flux lumineux (en lm) émis sur la puissance totale (en W) consommée par la source pour produire cette lumière.**

Le rendement lumineux d'une lampe à incandescence est de 5-35 lm/W. Il est d'environ 100 lm/W pour un très bon tube fluorescent et de 26-100 lm/W pour les diodes électroluminescentes.

Le rendement lumineux est le produit du rendement énergétique et de l'efficacité lumineuse.

9. Radiométrie :

La radiométrie définit et mesure les quantités énergétiques de toutes les radiations électromagnétiques quelles que soient leurs longueurs d'ondes (lumineuses ou non). La radiométrie ne fait pas référence à la vision humaine.

Dans le domaine du visible, il existe une correspondance entre les grandeurs radiométriques et photométriques, mais les unités de mesure et donc les valeurs obtenues ne sont pas les mêmes.

Grandeur photométrique \leftrightarrow grandeur radiométrique

Flux lumineux ou puissance lumineuse (lm) \leftrightarrow Flux ou puissance énergétique (W)

Énergie lumineuse (lm . s) \leftrightarrow Énergie (J)

Intensité lumineuse (cd = lm . sr⁻¹) \leftrightarrow Intensité énergétique (W . sr⁻¹)

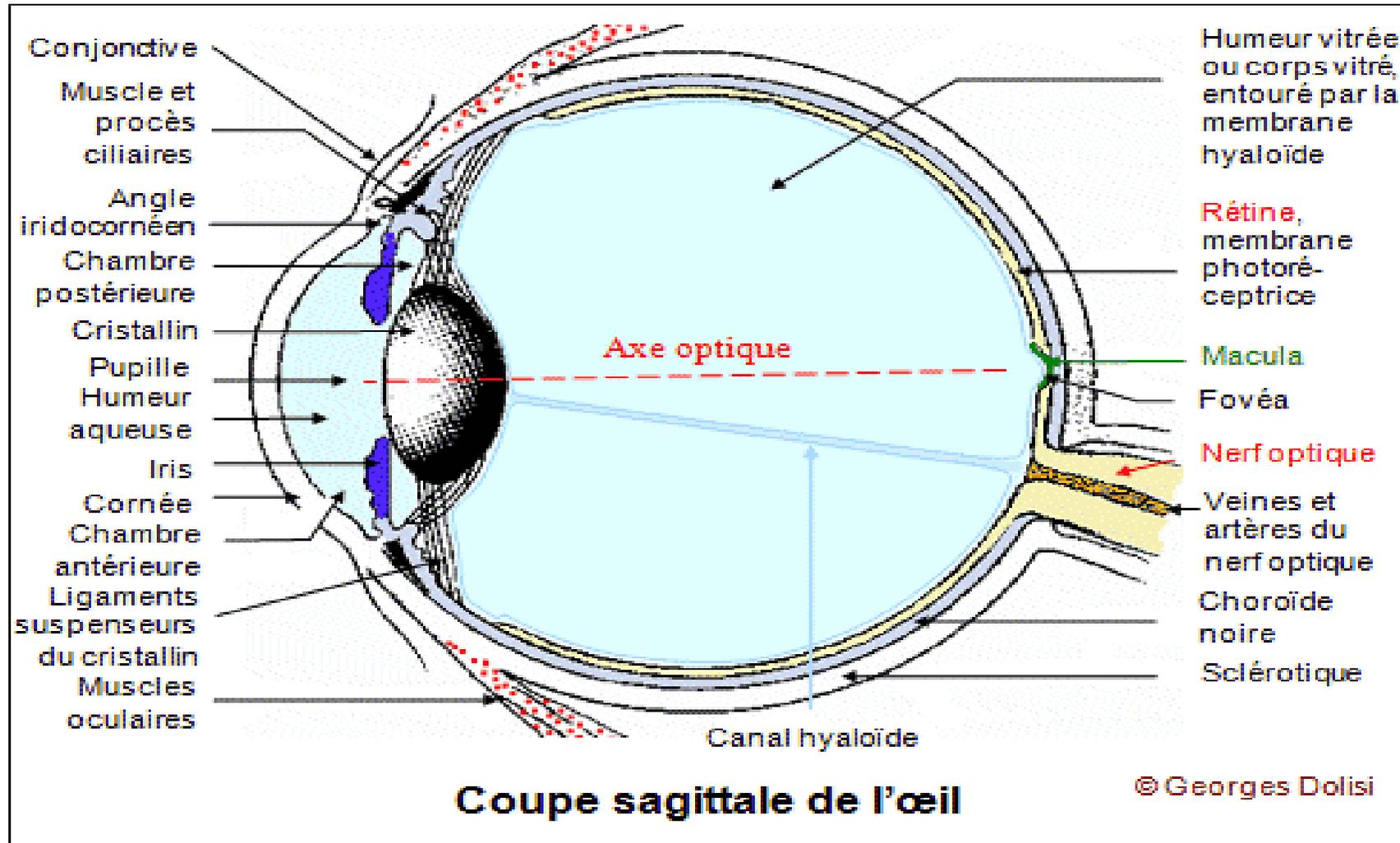
Luminance (cd . m⁻²) \leftrightarrow Radiance (W . sr⁻¹ . m⁻²)

Éclairement lumineux (lx = lm . m⁻²) \leftrightarrow Irradiance (W . m⁻²)

Émittance lumineuse (lx = lm . m⁻²) \leftrightarrow Exitance ou émittance énergétique (W . m⁻²)

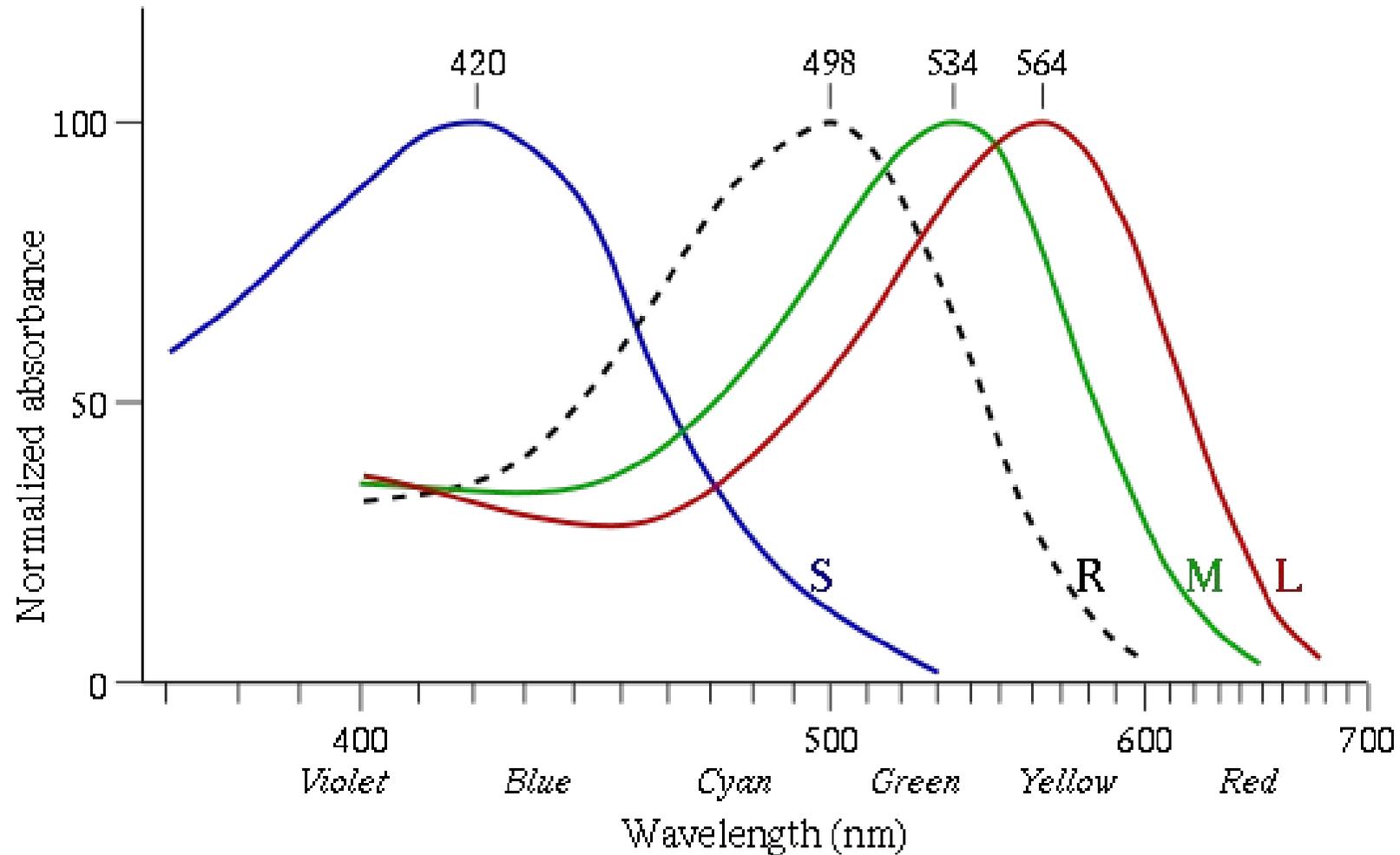
Attention il n'existe pas de facteur de conversion unique entre le lumen et le watt !
Par exemple 1 watt émet en dehors de la plage visible produit 0 lumen , alors qu'un watt à 555 nm produit 683 lumens !

10. l'œil :



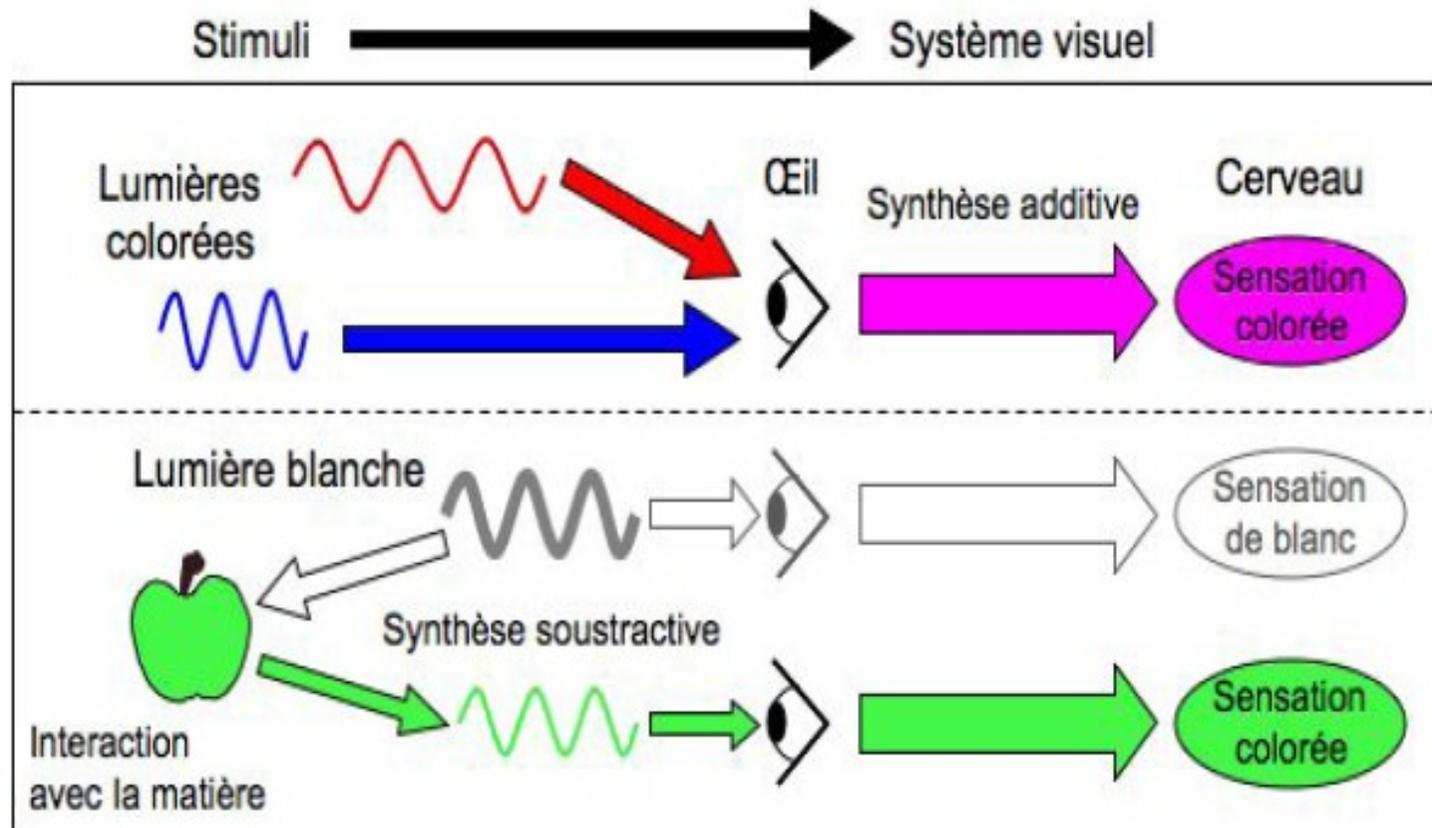
La vision des couleurs est assurée par des photorécepteurs appelés cônes situés dans la zone centrale de la rétine sur l'axe optique. Cette zone est appelée la macula. Elle comporte en son centre la fovéa, l'organe qui est responsable de la vision centrale colorée. Au fur et à mesure que l'on s'écarte de cette zone centrale, la densité de cônes diminue alors que celle des bâtonnets, responsables de la vision nocturne (scotopique), croît. La vision scotopique est achromatique mais plus sensible (1700 lm/W).

II. Sensibilité chromatique des cônes :



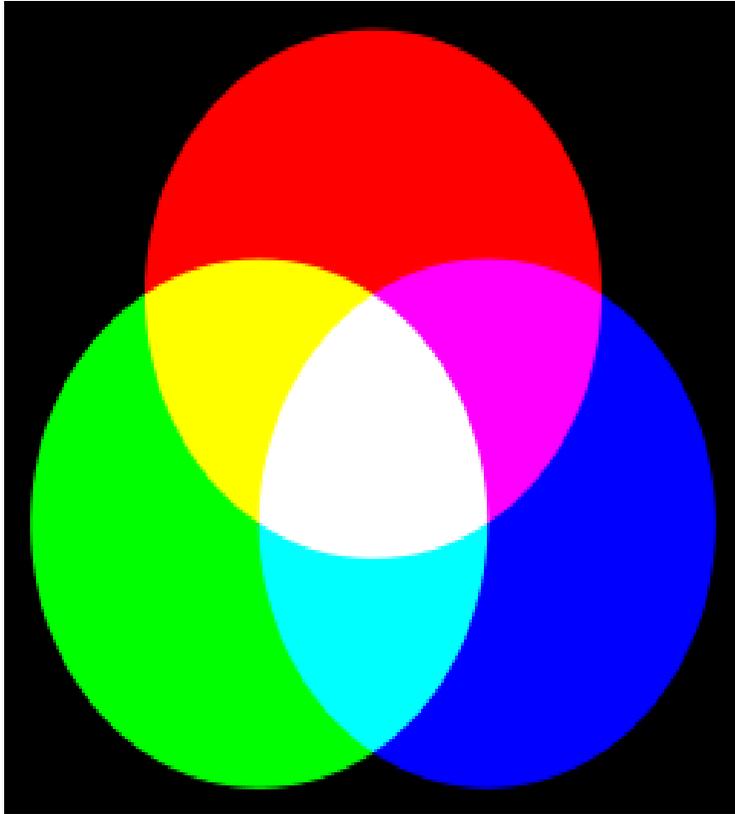
Il existe trois types de cônes qui ont leurs maximums de sensibilité à 420 nm (Bleu), 534 nm (Vert), 564 nm (Rouge). Ce sont ces organes qui assurent la vision trichromatique de la lumière.

12. Systèmes de synthèse des couleurs :

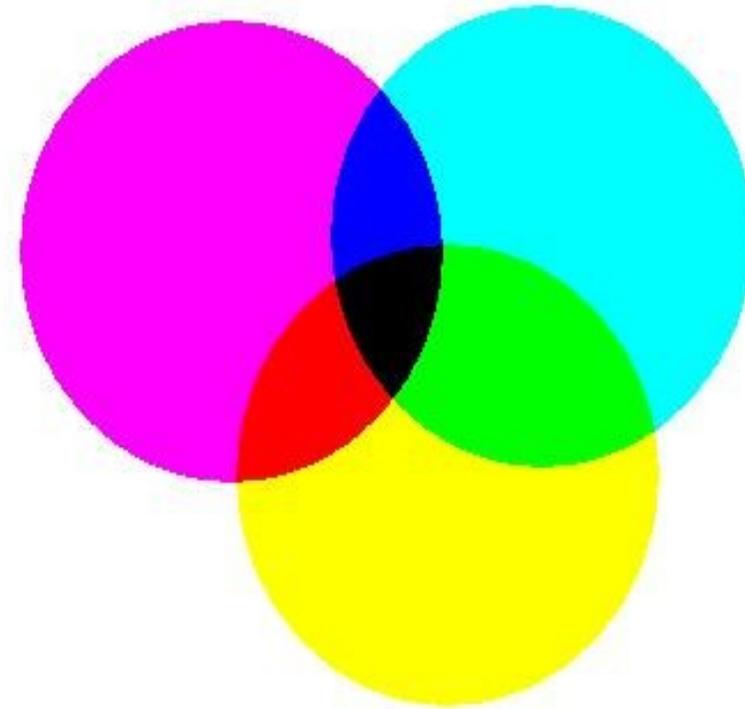


La vision fonctionne selon la synthèse additive des couleurs.
Les couleurs passives des objets se forment par synthèse soustractive.
Les couleurs « soustraites » sont en réalité absorbées par les objets.
L'imprimerie fait appel à la synthèse soustractive.

13. Systèmes de synthèse des couleurs :

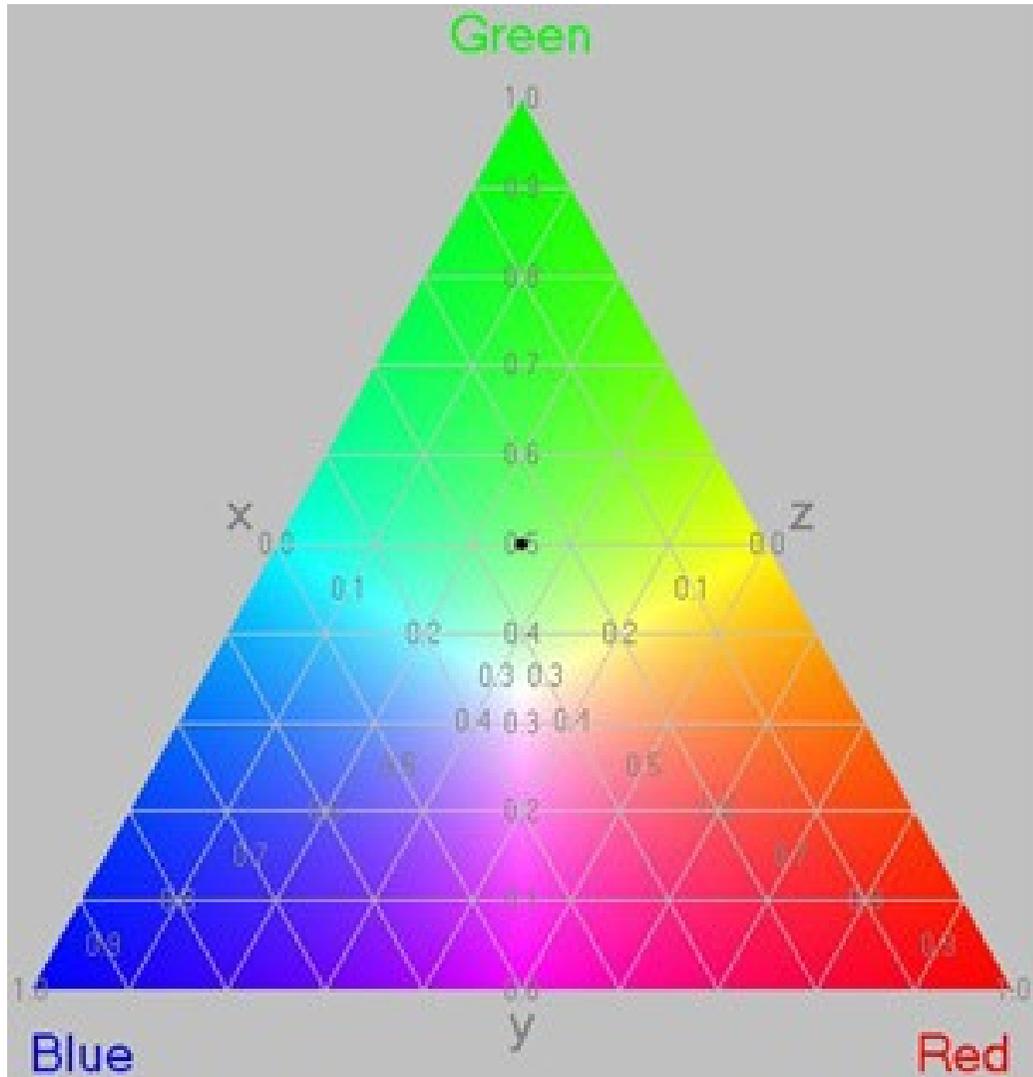


synthèse additive (ajout au noir) : RBV
 $R+B = \text{Magenta complément de } V$
 $B+V = \text{Cyan complément de } R$
 $V+R = \text{Jaune complément de } B$
 $R+B+V = \text{Blanc}$



synthèse soustractive (soustraction au blanc): MJC
 $M+J = R \text{ complément de } C$
 $J+C = V \text{ complément de } M$
 $M+C = B \text{ complément de } J$
 $M+J+C = \text{Noir}$

14. Triangle des couleurs :



Chaque couleur
du spectre visible
est un mélange
des trois couleurs
primaires.

15. Variables de caractérisation d'une couleur :

Tonalité : reliée à la longueur d'onde résultante perçue

Brillance : reliée à l'émittance totale perçue

Saturation : reliée à la pureté chromatique de la couleur.
une couleur monochromatique est totalement saturée,
alors qu'une couleur désaturée (spectre large), pâlit et
tend vers le blanc.

Mélange de deux couleurs spectrales :

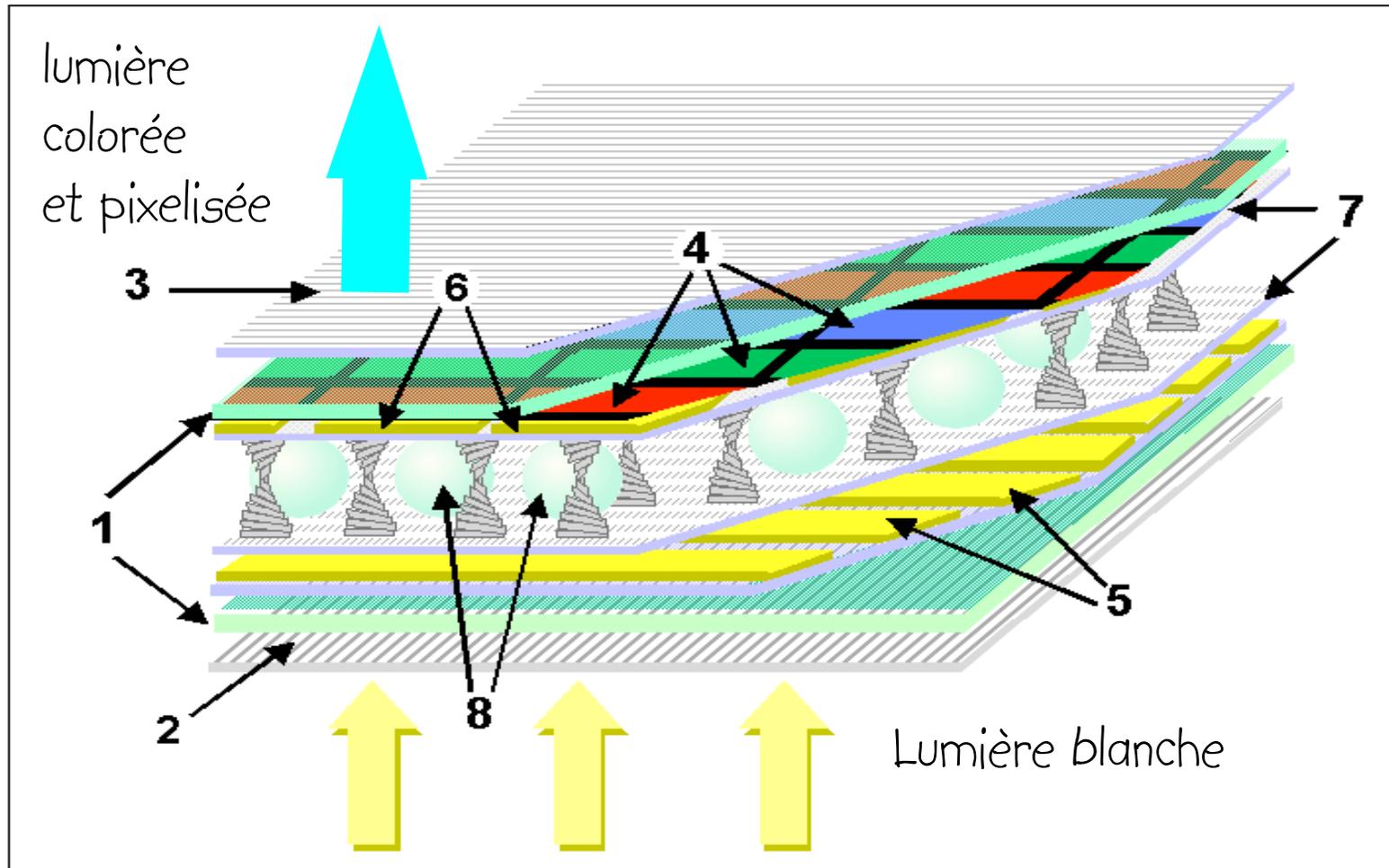
- si $\Delta\lambda$ est faible, la tonalité perçue est monochromatique
- si $\Delta\lambda$ est d'environ 100-150 nm, avec des proportions convenables, la couleur perçue est blanche
- si $\Delta\lambda$ est grand, la tonalité est extraspectrale.

Le mélange de 3 couleurs spectrales permet d'obtenir toutes les tonalités avec tous les degrés de saturation, y compris le blanc.

Le blanc peut donc résulter de l'addition de 2 couleurs complémentaires, de 3 couleurs primaires ou de l'observation du spectre continu de la lumière blanche.

16. Écran couleur à cristaux liquides :

Utilise les propriétés des cristaux liquides (découverts en 1888) qui peuvent être orientés par application d'un champ électrique et permettent alors de faire tourner la polarisation d'un faisceau lumineux qui les traverse.



- 1) Feuilles de verre
- 2 & 3) Polariseurs horizontal et vertical
- 4) Filtres de couleur RBV
- 5 & 6) Électrodes de polarisation
- 7) Feuilles de vrillage des cristaux liquides nématiques.
- 8) cristaux liquides nématiques et billes d'espacement

17. Écran couleur à cristaux liquides :

L'écran est éclairé par l'arrière en lumière blanche.

À la traversée du premier polariseur (horizontal), cette lumière se retrouve totalement polarisée dans la direction horizontale. Le deuxième polariseur (vertical) absorbe cette lumière si rien n'est fait : l'écran est alors gris noir.

Un champ électrique appliqué pixel/pixel (à l'aide des électrodes horizontales et verticales transparentes) permet de dévriller les cristaux liquides nématiques ce qui provoque la rotation de la polarisation de la lumière qui les traverse. La lumière peut alors être transmise à travers l'écran à l'endroit du pixel actionné. Elle est par ailleurs filtrée par des pastilles colorées pour composer les trois couleurs primaires : BVR . Un pixel de l'écran est constitué de trois pastilles colorées dont les luminances peuvent être ajustées indépendamment.

Écran de 14 pouces (30 cm x 19 cm) ayant une résolution de 1024 x 780 : un pixel de trois couleurs à une dimension de 290 μm x 240 μm .

Le balayage de l'écran peut être supérieur à 200 Hz.