

# Compression des images Insertion de données cachées

William Puech

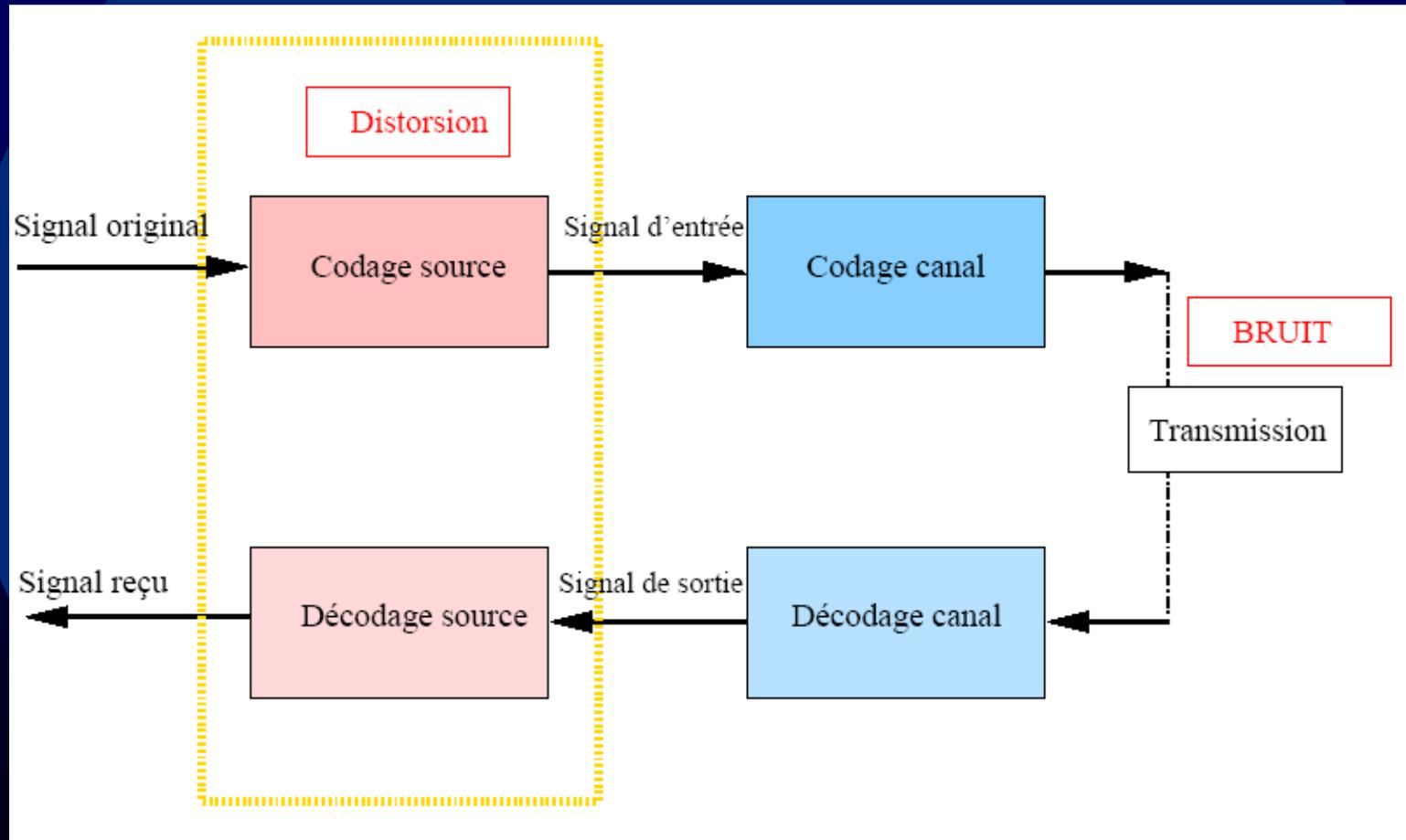
# Plan

- I) Format des images et Colorimétrie
- II) Théorie de l'information
- III) Compression sans perte
- IV) Compression avec pertes
- V) Cryptage, compression vidéo, ...
- VI) Insertion de données cachées
- VII) Stéganographie
- VIII) Tatouage robuste

# Références

- "Compression et codage des images et des vidéos", M. Barlaud et C. Labit, Edition Hermes.
- "Techniques de compression des images", J.P. Gillois, Edition Hermes.
- "Compression d'images, Algorithmes et Standards", E. Incerti, Edition Vuibert.

# Codage source et codage canal



# Définition d'un Image

## Image :

- forme discrète d'un phénomène continu.
- bidimensionnelle.
- L'information : caractéristique de l'intensité lumineuse (couleur ou niveaux de gris).

$I : [0, L-1] \times [0, C-1] \Rightarrow [0, M]^p$  : image de L lignes et C colonnes. Information dans un espace à p dimensions.

- image binaire  $\Rightarrow (p, M) = (1, 1)$
- image en niveaux de gris  $\Rightarrow p = 1$  et  $M = 255$
- image couleur  $\Rightarrow p = 3$  et  $M = 255$

# I) Format des images et Colorimétrie

1. Format du fichier image
  - a) Structure générale
  - b) Formats bruts
  - c) Compression sans perte
  - d) Compression avec pertes
2. Images monochromes
  - a) Images binaires
  - b) Image en niveau de gris
  - c) Images couleurs
3. Colorimétrie
  - a) Physique de la lumière
  - b) Système visuel humain
  - c) Espaces couleur

# a) Physique de la lumière

## Formation de l'image

- Énergie lumineuse,
- radiométrie,
- Photométrie.

# III) Formation de l'image

## 1) Energie lumineuse

En optique, une image = une quantité d'information véhiculée par des ondes électromagnétiques.



## Longueur d'onde et énergie

Ondes lumineuses = émission d'énergie sous forme de photons due aux transitions atomiques de corps chauffés.

# III) Formation de l'image

## 1) Energie lumineuse- Loi de Planck

Un corps noir chauffé à une temp. T émet une puissance rayonnante P ( $\text{W.m}^{-2}$ ) :

$$P(\lambda) = C_1 / (\lambda^5 (\exp(C_2 / \lambda T) - 1))$$

$$\text{avec } C_1 = 2c^2h, \quad C_2 = c h/k$$

c = vitesse de la lumière =  $3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ , h = constante de Planck =  $6.62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$

k = constante de Boltzmann =  $1.38 \cdot 10^{-23} \text{ j.K}^{-1}$

T = temp. en kelvin,

$\lambda$  = longueur d'onde en m

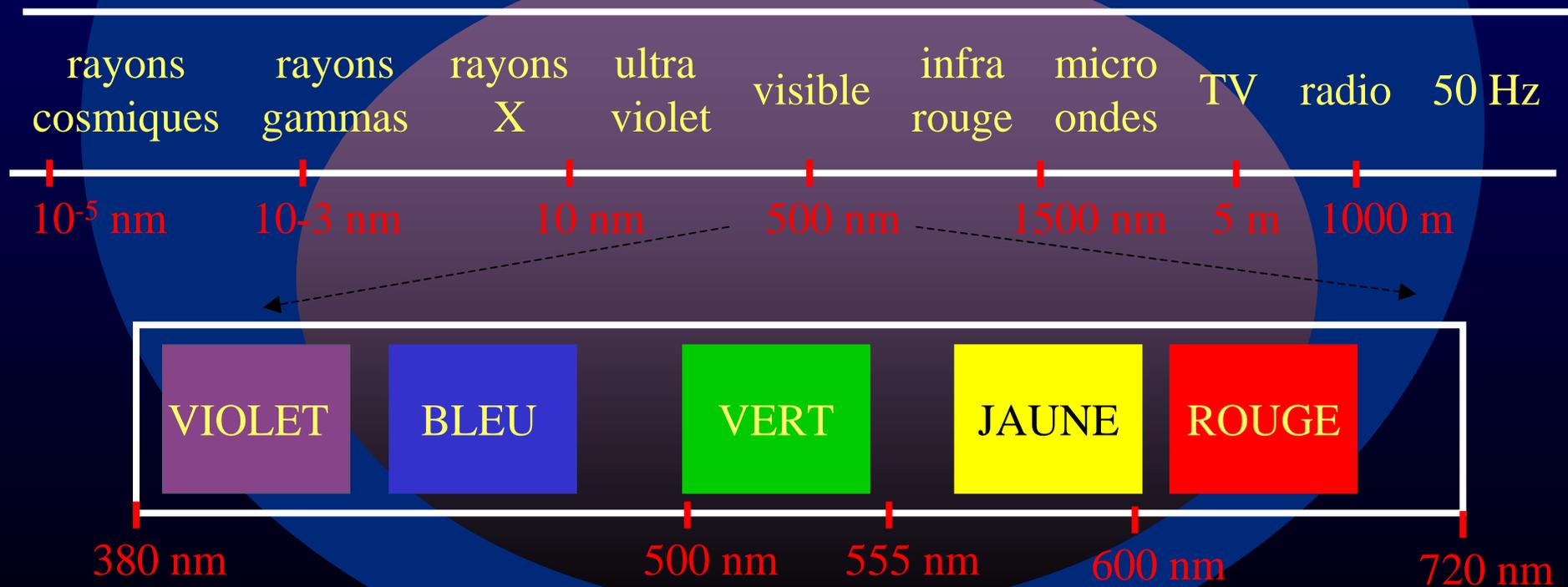
# III) Formation de l'image

## 1) Energie lumineuse- Classification fréquentielle des ondes lumineuses

- Lumière visible : détectée par l'oeil
- Lumière chromatique : composée de plusieurs longueurs d'onde
- Lumière monochromatique : une seule longueur d'onde (LASER)
- Lumière achromatique : seule l'énergie est prise en compte.

# III) Formation de l'image

## 1) Energie lumineuse- Classification fréquentielle des ondes lumineuses



# III) Formation de l'image

## 1) Energie lumineuse- Température de couleur

– Loi de Wien : un corps chauffé émet un spectre de lumière.

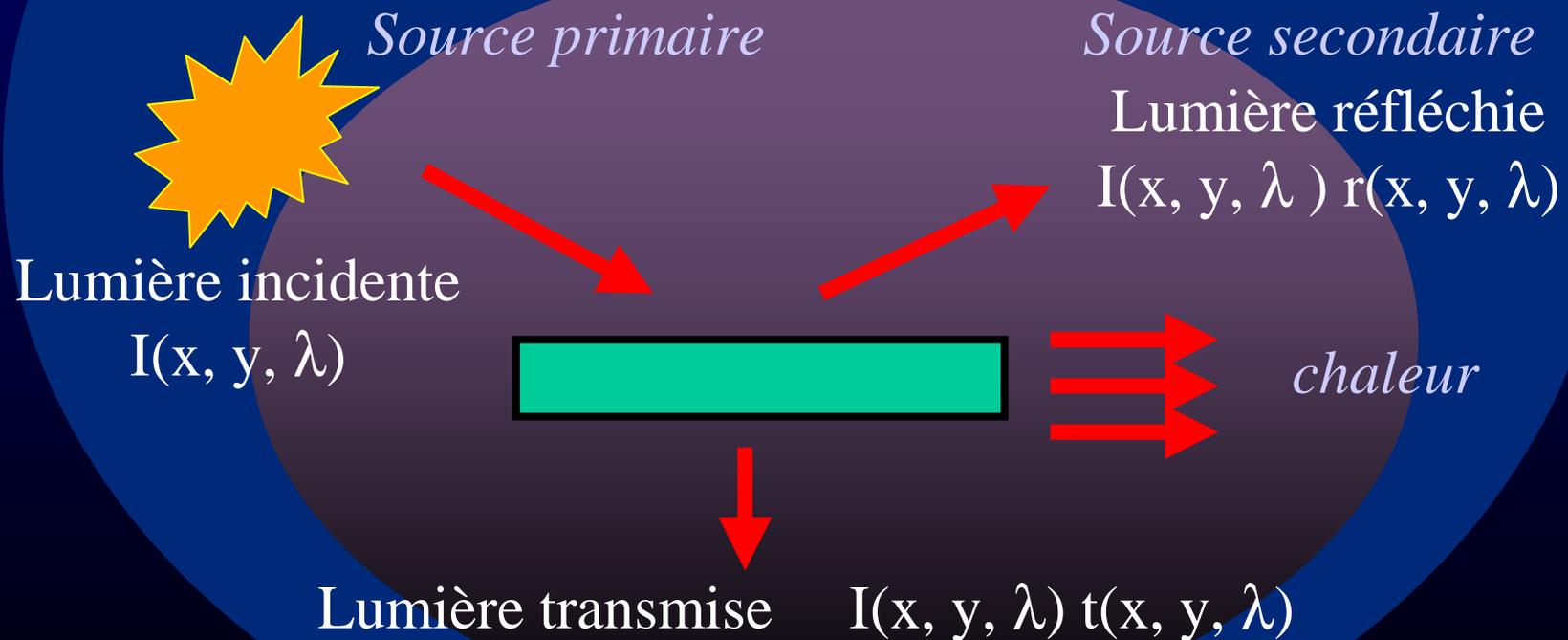
- Flamme bougie 1900 K
- Lampe à incandescence 2700 K
- Soleil 6000 K (blanc parfait)
- Tube cathodique 7000 K

– Si  $T \nearrow$  le spectre  $\rightarrow$  longueur d'onde courte.

# III) Formation de l'image

## 2) Radiométrie

Vision d'un objet = interaction avec une source lumineuse



# III) Formation de l'image

## 2) Radiométrie : réflexion et transmission

$r(x,y) = 0.01$  velours noir  
 $r(x,y) = 0.8$  blanc mat  
 $r(x,y) = 0.93$  neige fraîche  
 $r(x,y) = 1$  miroir

$t(x,y) = 0$  objet opaque  
 $t(x,y) = 1$  vitre

Réflexion maximale pour  $\lambda$  correspondante  
(vert, rouge)

# III) Formation de l'image

## 2) Radiométrie : loi de Lambert

"La quantité d'énergie émise à partir d'un élément de surface dans une direction déterminée est proportionnelle au cosinus de l'angle que fait cette direction avec la normale à la surface"

$$dW_{\theta} = dW_n \cos(\theta)$$

Vraie pour les corps noirs.

Pas valable pour les surfaces brillantes.

# III) Formation de l'image

## 2) Radiométrie : unités radiométriques

Source lumineuse ponctuelle

- Flux énergétique (W)

$$\Phi = \frac{dW}{dt}$$

- Intensité énergétique (W.sr<sup>-1</sup>)

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

# III) Formation de l'image

## 2) Unités radiométriques : Surface Lambertienne

- Eclairement énergétique

(W.m<sup>-2</sup>)

$$E = \frac{d\Phi}{dS}$$

- Emittance énergétique

(W.m<sup>-2</sup>)

$$M = \frac{d\Phi}{dS}$$

- Luminance énergétique

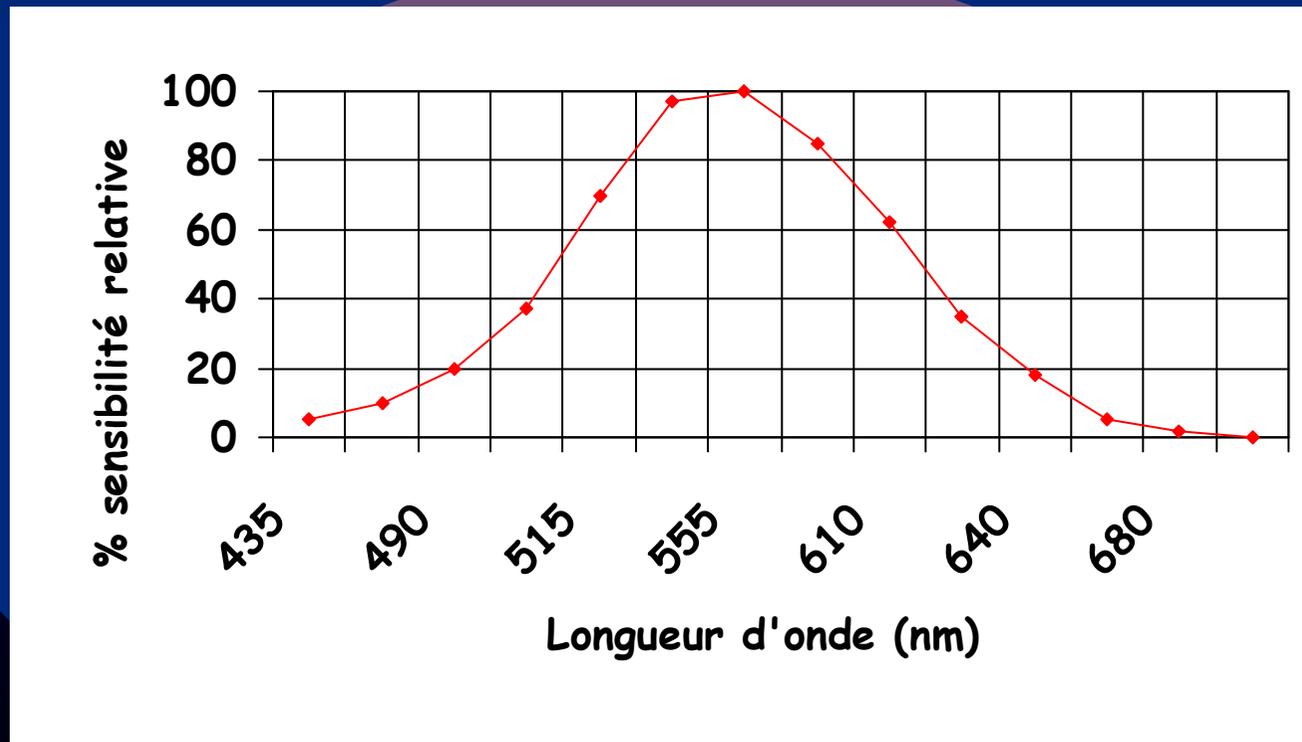
(W.m<sup>-2</sup>.sr<sup>-1</sup>)

$$L = \frac{d^2\Phi_\theta}{d\Omega dS \cos(\theta)}$$

# III) Formation de l'image

## 3) Photométrie

- Sensibilité spectrale de l'œil humain, standard CIE (Commission Internationale de l'Eclairage)



# III) Formation de l'image

## 3) Unités photométriques

Le candela : "Intensité lumineuse dans une direction donnée d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de 555 nm et dont l'IE dans cette direction est  $1/683 \text{ W}\cdot\text{sr}^{-1}$ "

### Radiométrie

Flux éner.      W

Intensité éner.  $\text{W}\cdot\text{sr}^{-1}$

Eclairement éner.  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$

Luminance éner.  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$

### Photométrie

Flux lumineux Lumen (L)

Intensité lumineuse Candela (cd)

Eclairement Lux (=Lm.  $\text{m}^{-2}$ )

Luminance nit (=cd.  $\text{m}^{-2}$ )

# III) Formation de l'image

## 3) Quelques valeurs

nuit sombre	$10^{-4}$ Lux	minimum visible	$10^{-5}$ nit
ciel étoilé	$10^{-3}$ Lux	vert luisant	50 nits
pleine lune	$10^{-1}$ Lux	flamme	$15 \cdot 10^3$ nits
norme couloir	$>50$ Lux	papier blanc soleil	$30 \cdot 10^3$ nits
norme salle de lecture	$>300$ Lux		
jour ciel ouvert	$10^3$ Lux	arc électrique	$1.5 \cdot 10^8$ nits
table d'opération	$10^5$ Lux	soleil	$1.5 \cdot 10^9$ nits

# III) Formation de l'image

## 3) Photométrie

La luminance est constante quelque soit l'angle d'observation.

L'émittance d'une surface lambertienne est égale au produit de sa luminance par  $\pi$ .

$$M = \pi L$$

## b) Le système visuel humain

### La vision humaine

- Capteur œil,
- Vision achromatique,
- Vision 3D,
- Perception du mouvement.

# IV) La vision humaine

## 1. Le capteur œil

De forme approximativement sphérique, l'œil est l'organe de base de la vision. Il comporte un ensemble d'éléments destinés à recevoir le rayonnement incident, former l'image des objets perçus et traiter les informations recueillies.

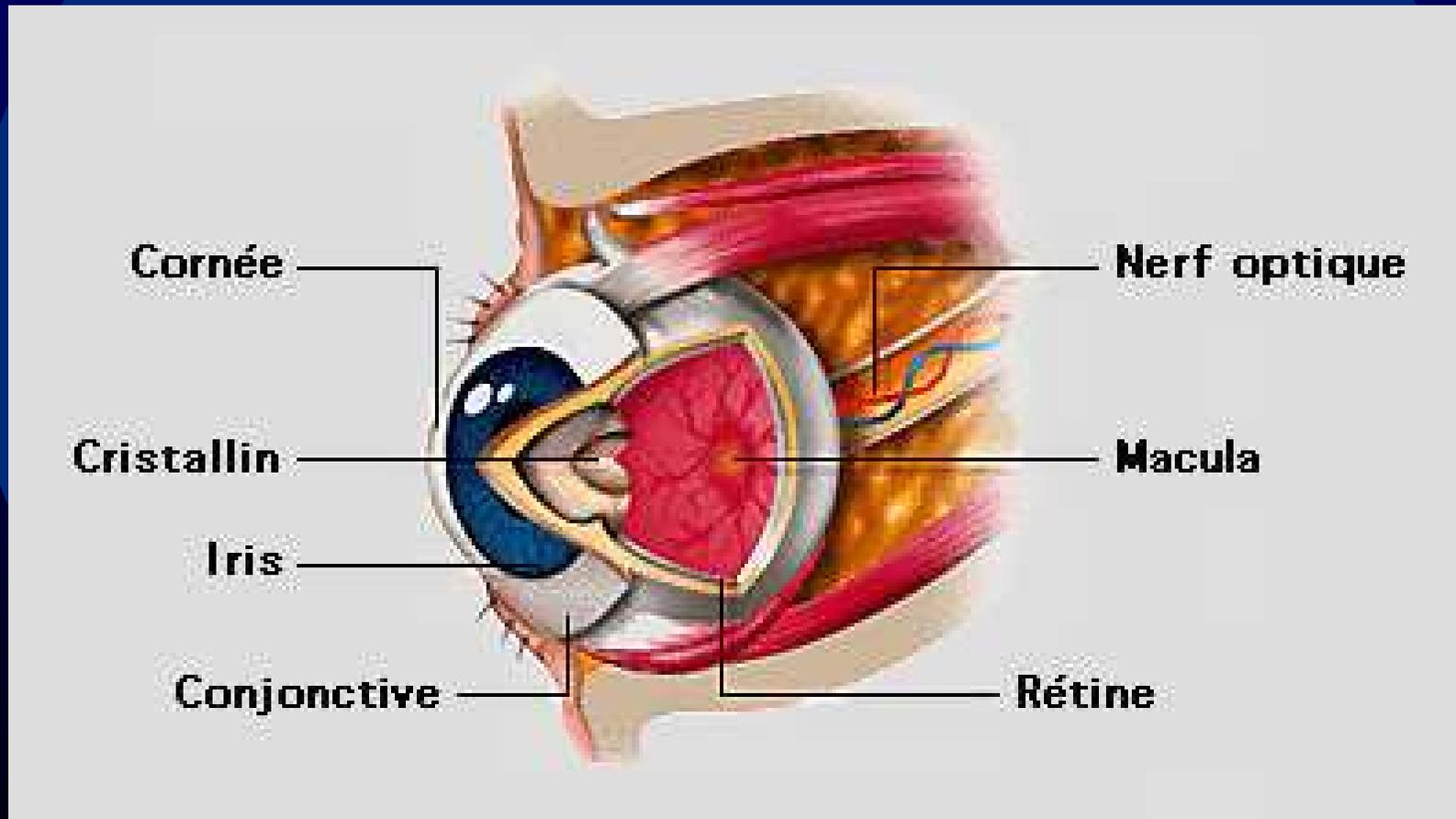
# IV) La vision humaine

## 1. Le capteur œil : composants principaux :

- cornée : protection filtre
- Iris : diaphragme (variation d'un facteur 10 en surface). Son ouverture centrale est la pupille.
- Cristallin : optique + focus (déformable, indice optique variable) : lentille à focale variable
- Rétine : couche photo-sensible (120 millions de récepteurs : cônes et bâtonnets)
- Macula : contient en son centre une petite dépression, la fovéa. zone d'acuité maximum de l'oeil.
- Nerf optique : transport de l'information (100000 neurones)

# IV) La vision humaine

## 1. Le capteur œil : composants principaux :



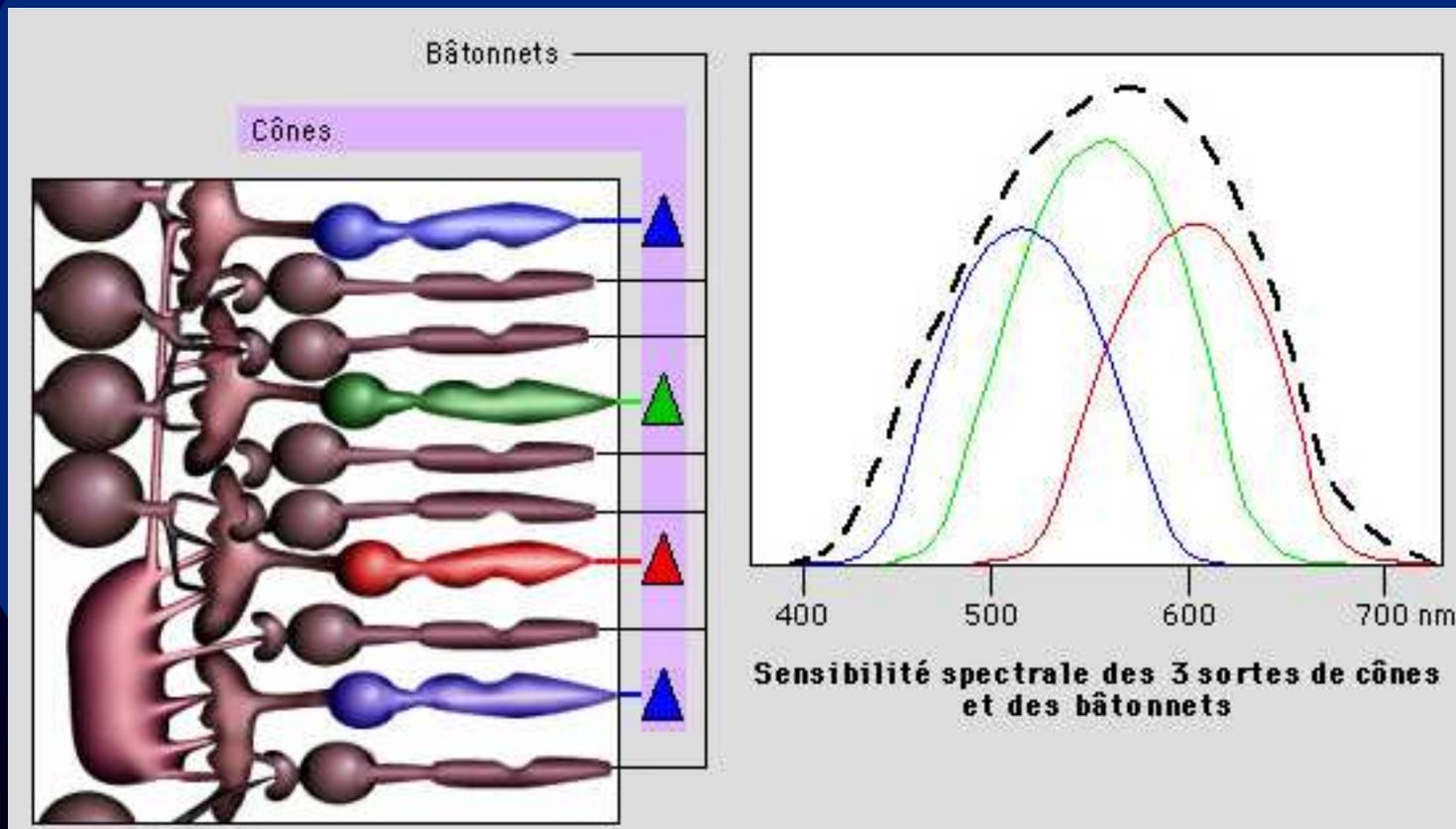
# IV) La vision humaine

## 1. Les photos-récepteurs de la rétine

- Cônes :
  - vision photopique (diurne)
  - couleur
  - 6 à 7 millions
  - Zone fovéale
- Bâtonnets :
  - vision scotopique (nocturne)
  - Faible intensité, achromatique
  - 120 millions
  - Zone extra fovéale

# IV) La vision humaine

## 1. Les photos-récepteurs de la rétine



## IV) La vision humaine

1. La fovéa : région où la vision photopique est la plus précise et la plus sensible (angle de 20 minutes).

Le maximum de sensibilité en vision scotopique est à  $20^\circ$  de l'axe optique

La zone aveugle : rattachement du nerf optique sur la rétine.

Le capteur œil et le système à lentille

# IV) La vision humaine

## 2 . La vision achromatique

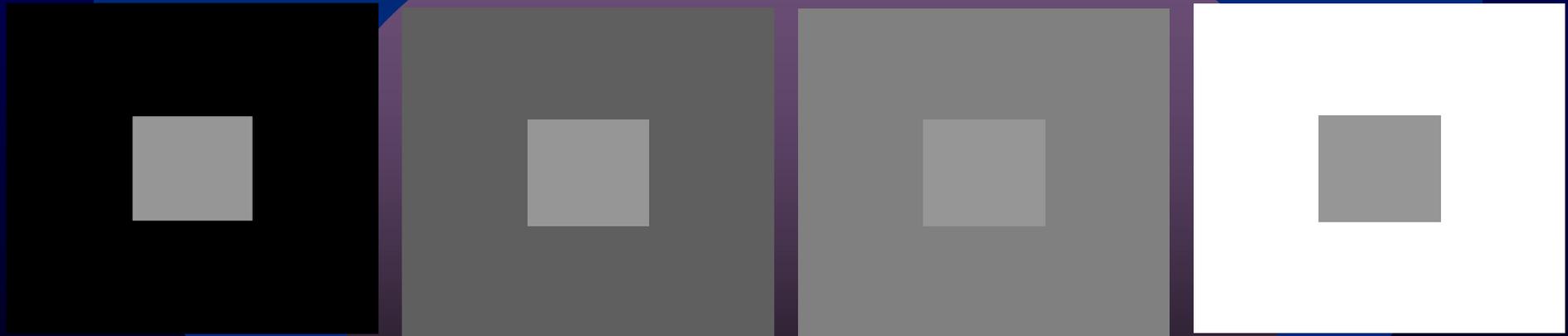
### Caractéristiques statiques et dynamiques

- Non linéaire.
- Forte adaptation au niveau de luminance (échelle de  $10^{10}$ ).
- Transition scotopique-photopique graduelle
- Discrimination de luminance : de 50 à 100 niveaux
- Constante de temps d'adaptation pour les cônes et les bâtonnets.

# IV) La vision humaine

## 2 . La vision achromatique

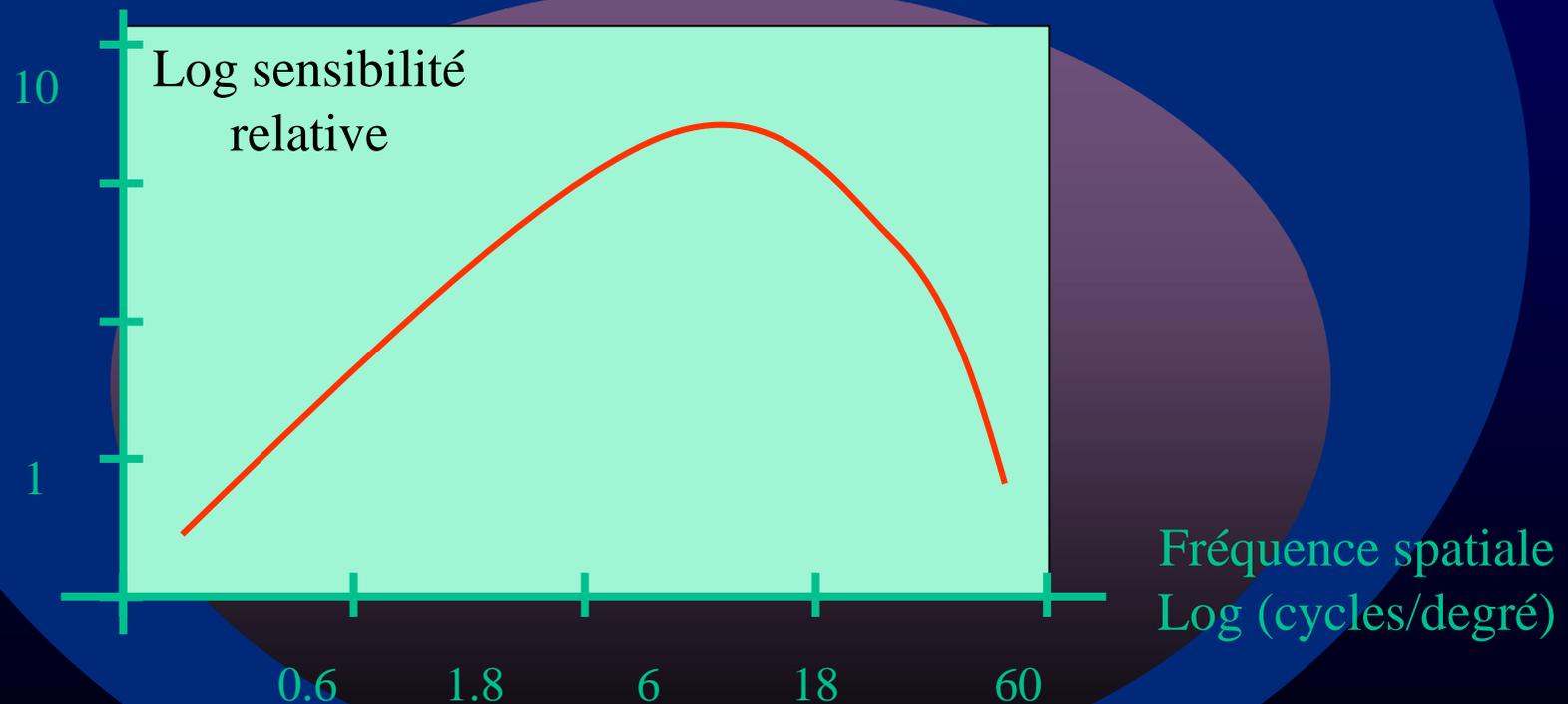
### Seuil différentiel de luminance



# IV) La vision humaine

## 2 . La vision achromatique

### Réponse en fréquence spatiale

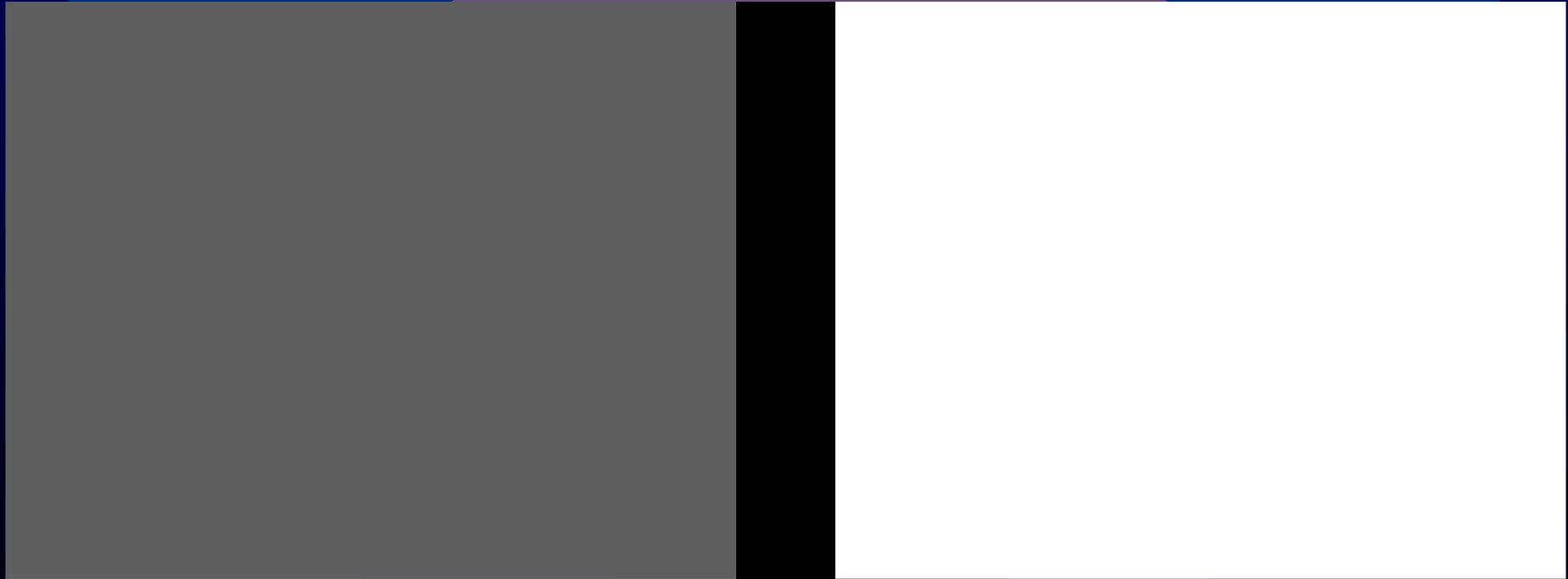


# IV) La vision humaine

## 2 . La vision achromatique

### Rehaussement physiologique des contours

transition en luminance : objectif  $\neq$  subjectif



# IV) La vision humaine

## 3 . Autres caractéristiques de la vision

Vision chromatique

Vision tridimensionnelle

Perception du mouvement

# IV) La vision humaine

## 4 . Système de traitement visuel humain

Performance

Architecture

Illusions optiques

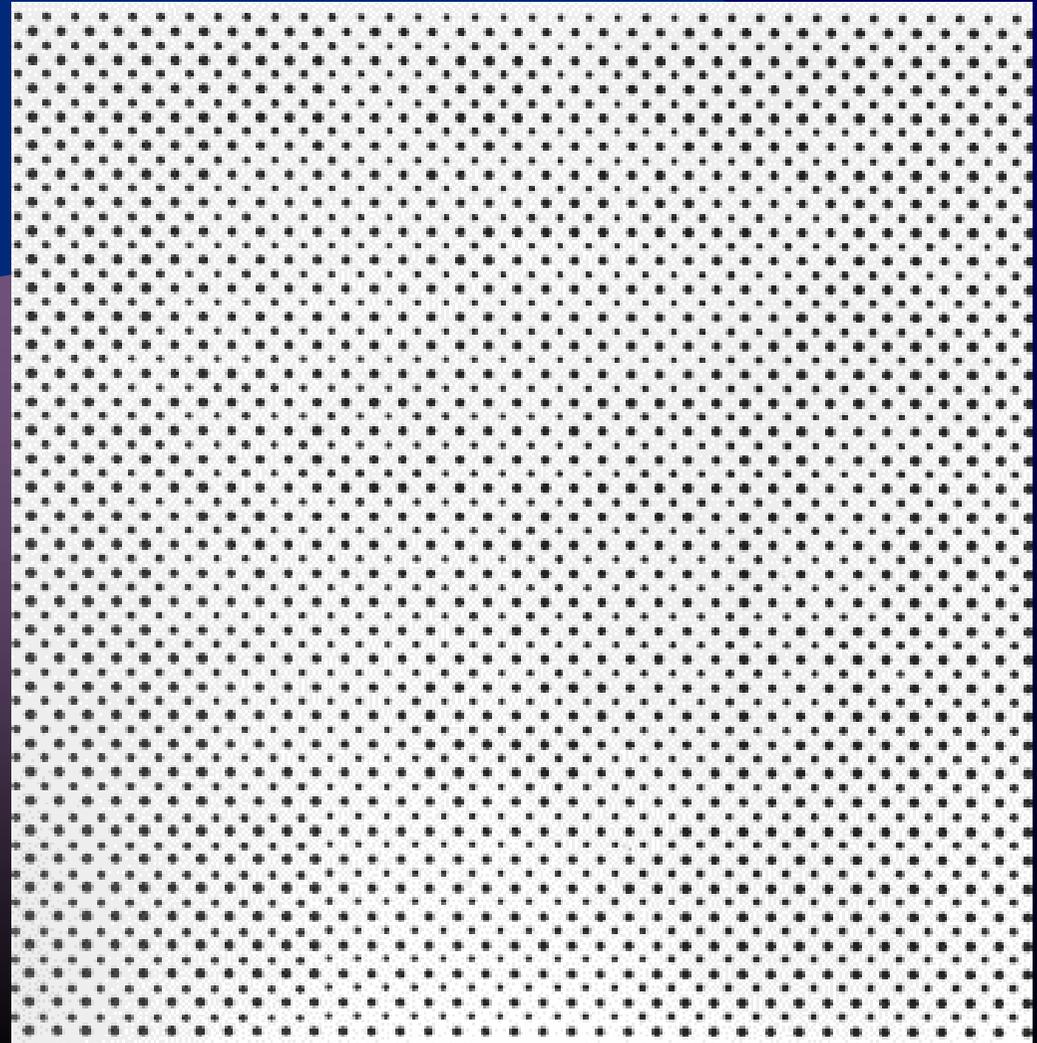
# IV) La vision humaine

## Illusions optiques

ystème visuel  
humain = référence.

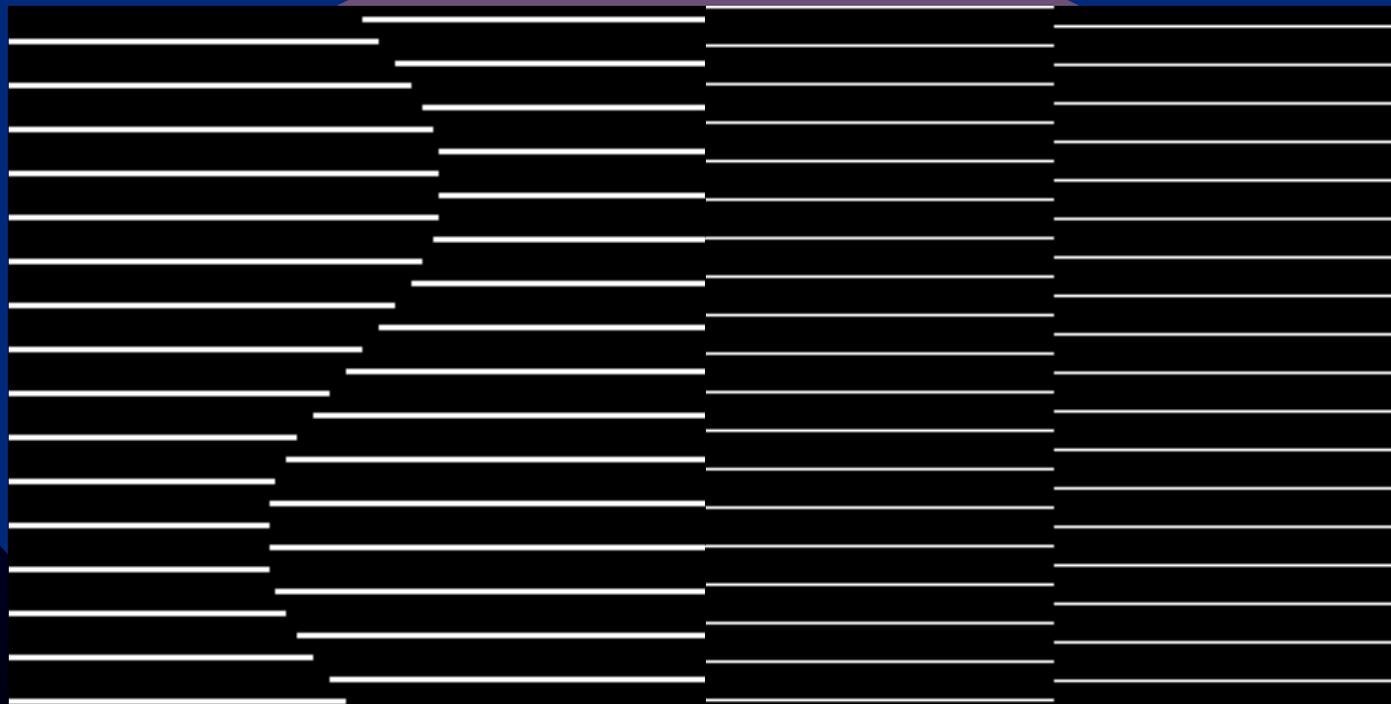
Pas un système  
parfait et

piégeable : Que  
voyez-vous ? Rien,  
alors reculez-vous  
un peu ...



# IV) La vision humaine

Les frontières qui n'existent pas...Le système visuel humain fait des "interpolations" à partir du stimulus perçu. L'exemple le plus marquant est celui des contours illusoires.



## IV) La vision humaine

Les objets qui n'existent pas...

Le système visuel humain fait des "interpolations" symbolique car il préfère une information structurée à une information non structurée.

Que voyez-vous ? Rien, un mouton, un chien, un dalmatien peut-être ?

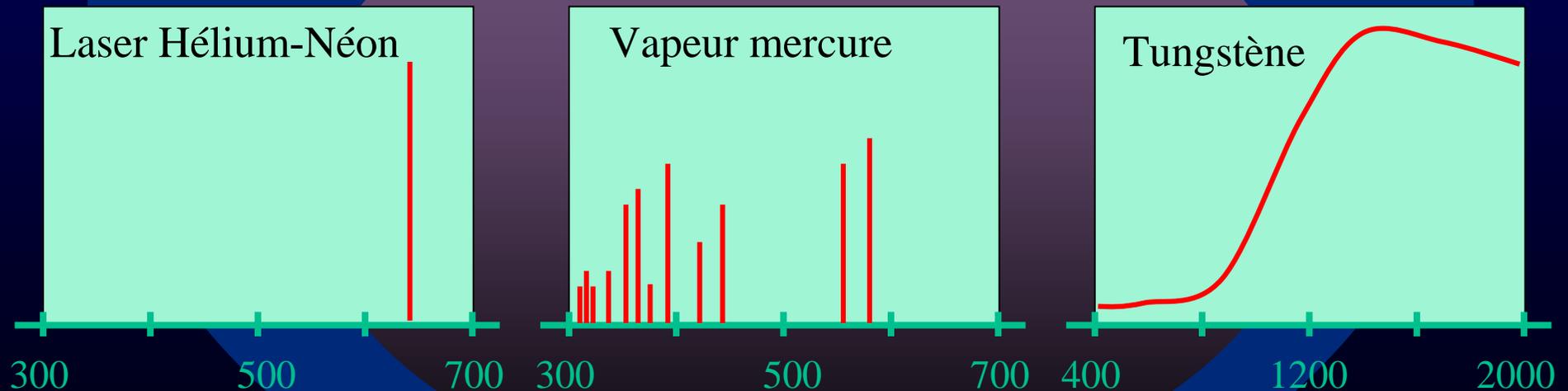


## c) Colorimétrie

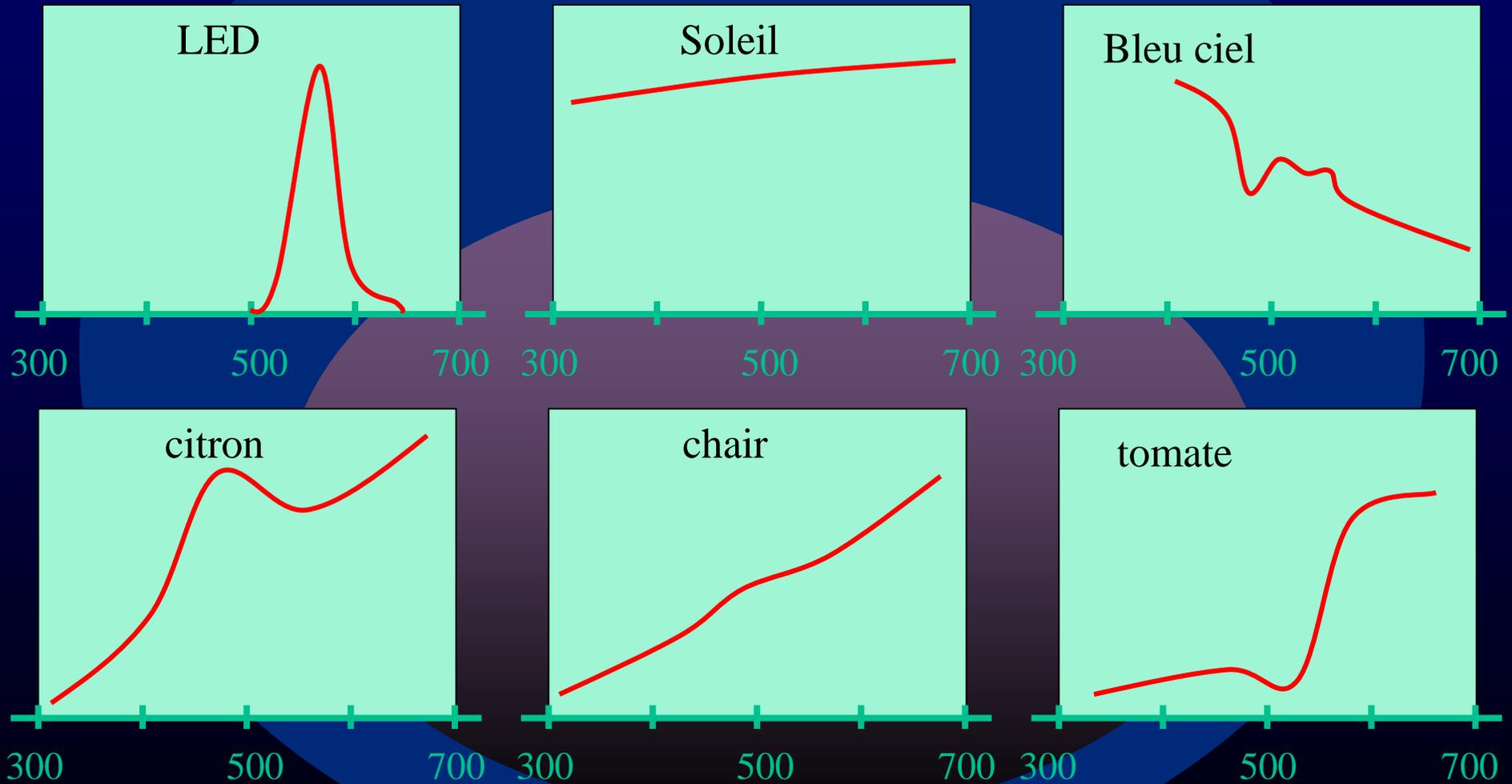
1. Principe
2. Trivariance et trichromie
3. Synthèses additive et soustractive
4. Modèles de représentation de la couleur

# c.1) Colorimétrie : Principe

Couleur : phénomène physique interprété par le système visuel humain  $\Rightarrow$  objectif et subjectif.



# c.1) Colorimétrie : Principe



## c.2) Trichromie et trivariance

Trichromie : couleur perçue par un humain  $\Rightarrow$  décomposée dans un espace à 3 dimensions  $\Rightarrow$  3 couleurs de base avec un **spectre éloigné** (RVB).

Trivariance : couleur  $C_x$  fonction de  $\lambda$  et des luminances de  $C_\lambda$  et de  $C_b$ .

- $C_x$  : lumière colorée quelconque
- $C_\lambda$  : lumière monochromatique
- $C_b$  : lumière blanche

$$C_x = C_\lambda + C_b$$

## c.3) Synthèse soustractive

Soustraction à la lumière blanche de ses composantes bleues, vertes et rouges à l'aide de filtres jaunes, magenta et cyan.

Jaune + Magenta  $\Rightarrow$  Rouge

Jaune + Cyan  $\Rightarrow$  Vert

Magenta + Cyan  $\Rightarrow$  Bleu

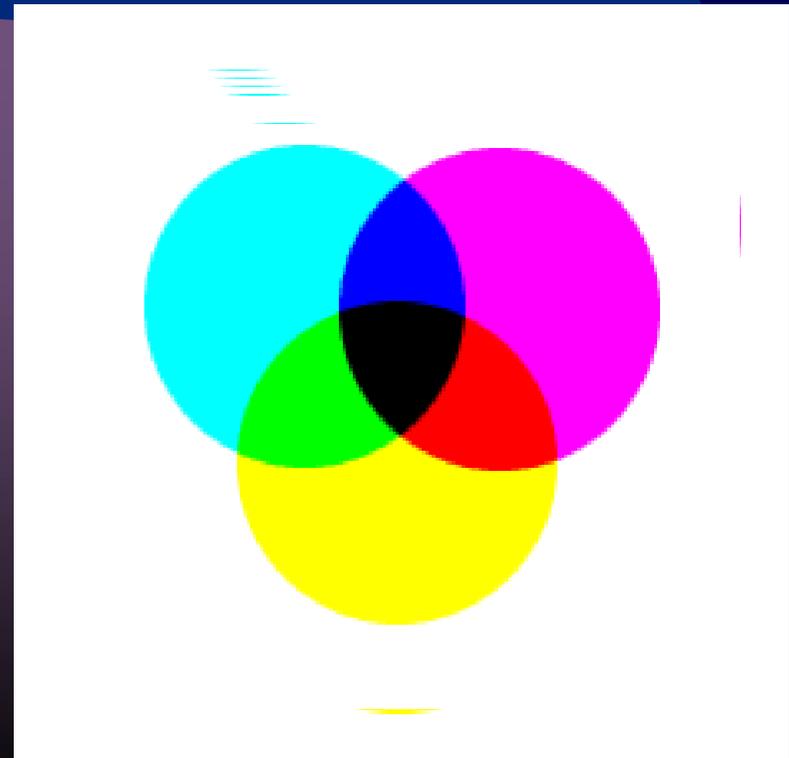
Jaune + Magenta + Cyan  $\Rightarrow$  Noir

Les nuances intermédiaires par variation de l'absorption des filtres.

Utilisée pour l'impression des couleurs.

## c.3) Synthèse soustractive

⇒ lumière diffusée par des objets absorbants : peinture, filtrage.



## c.3) Synthèse additive

Création d'une couleur par addition de trois faisceaux lumineux de couleur rouge, verte et bleue.

⇒ presque toutes les couleurs visibles.

Rouge + Vert ⇒ Jaune

Rouge + Bleu ⇒ Magenta

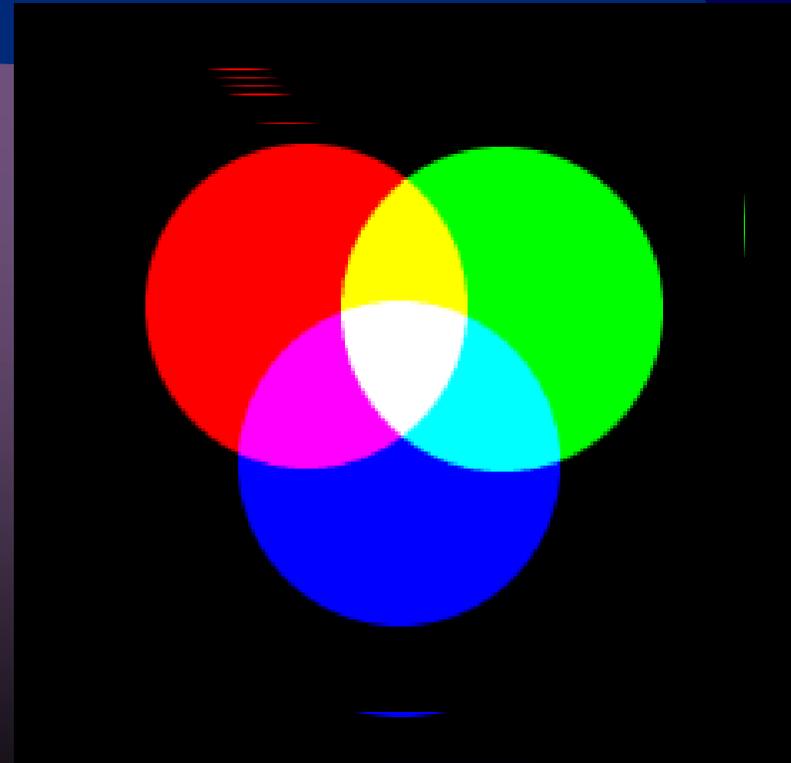
Bleu + Vert ⇒ Cyan

Rouge + Vert + Bleu ⇒ Blanc

Couleurs intermédiaires produites par variation de l'intensité des faisceaux lumineux.

## c.3) Synthèse additive

⇒ projection  
(lumière émise) :  
écrans de télévision  
ou d'ordinateur.



# c.4) Colorimétrie

## 3 Modèles d'espaces de représentation de la couleur :

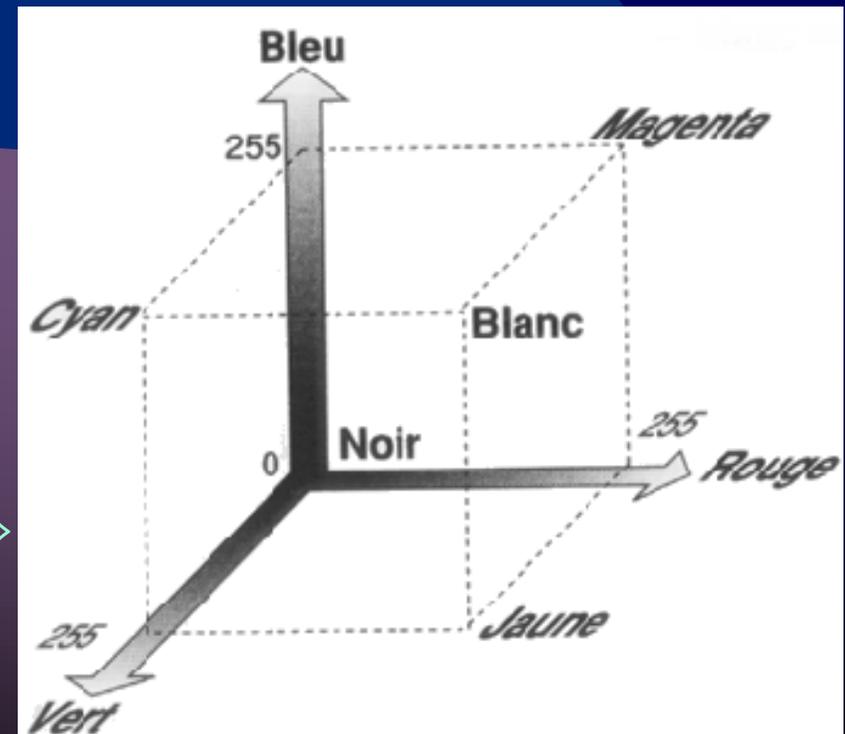
- Espaces basés sur la chrominance :
  - RVB (RGB): Red Green Blue
  - CMJN (CMYK): Cyan Magenta Yellow black (K pour Key black)
  - XYZ
- Espaces basés sur la luminance et la chrominance :
  - Lab: luminance + chrominance (a et b)
  - YUV et YCrCb
- Espaces basés sur la luminance, la chrominance et la saturation :
  - TSL (HLS) :Teinte (Hue), Saturation, et Luminosité.

## c.4) RVB (RGB): Red Green Blue

Composition des couleurs basée sur le principe des couleurs additives : rouge, vert et bleu  $\Rightarrow$  trois primaires utilisées dans la constitution de couleurs à partir de sources lumineuses.

Une image RVB : composée de **trois couches**, codées chacune sur **8 bits**. (256 niveaux de couleur par couche  $\Rightarrow$  16 millions de couleurs).

RVB utilisé pour la reproduction de couleurs sur écran.



## c.4) RVB (RGB): Red Green Blue

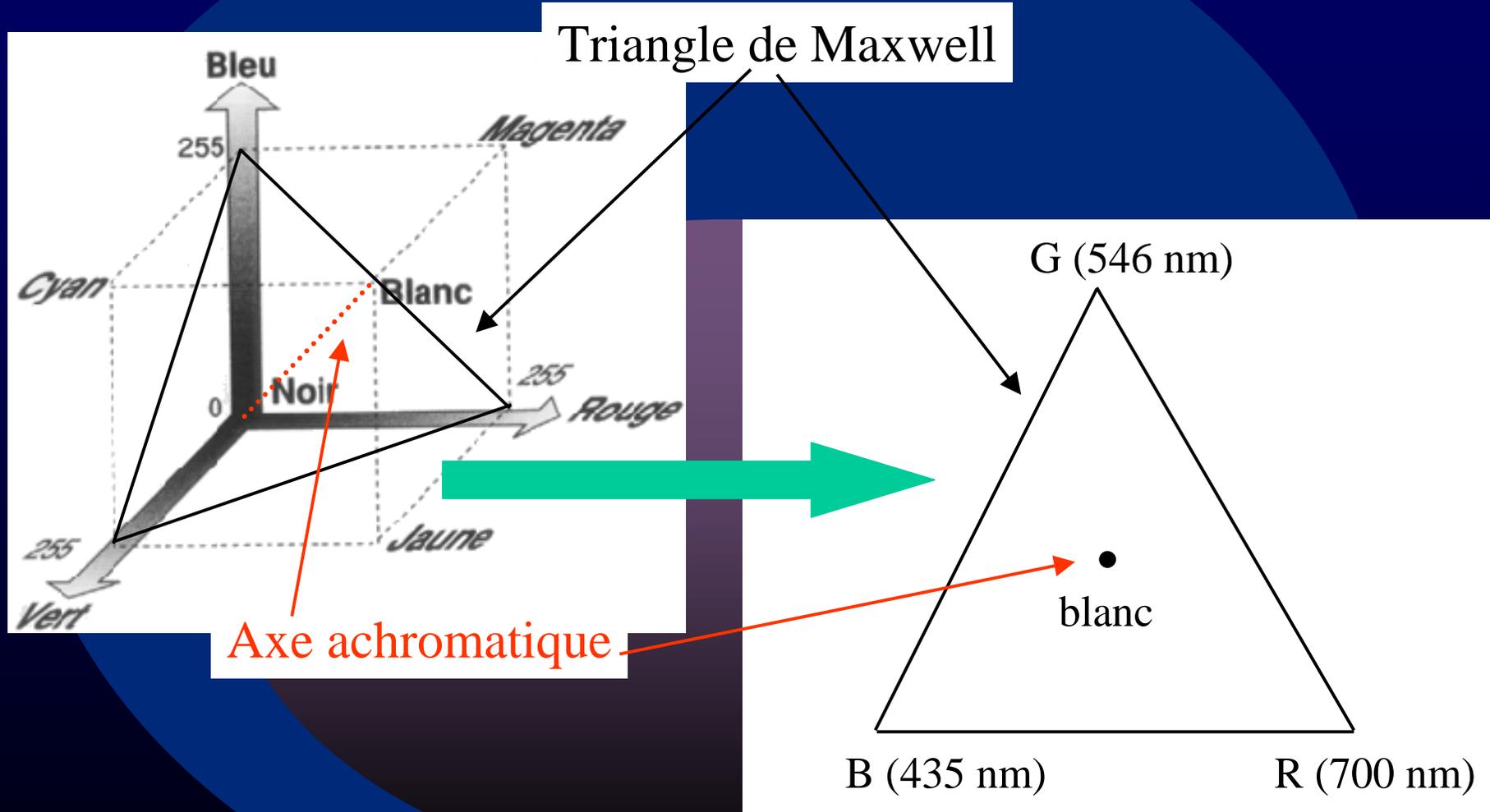


## c.4) RVB (RGB): Red Green Blue



FIG. 2 – a) Image originale "Auto Portrait Oreille Bandée", b) Composante R, c) Composante G, d) Composante B.

# c.4) RVB (RGB): Red Green Blue

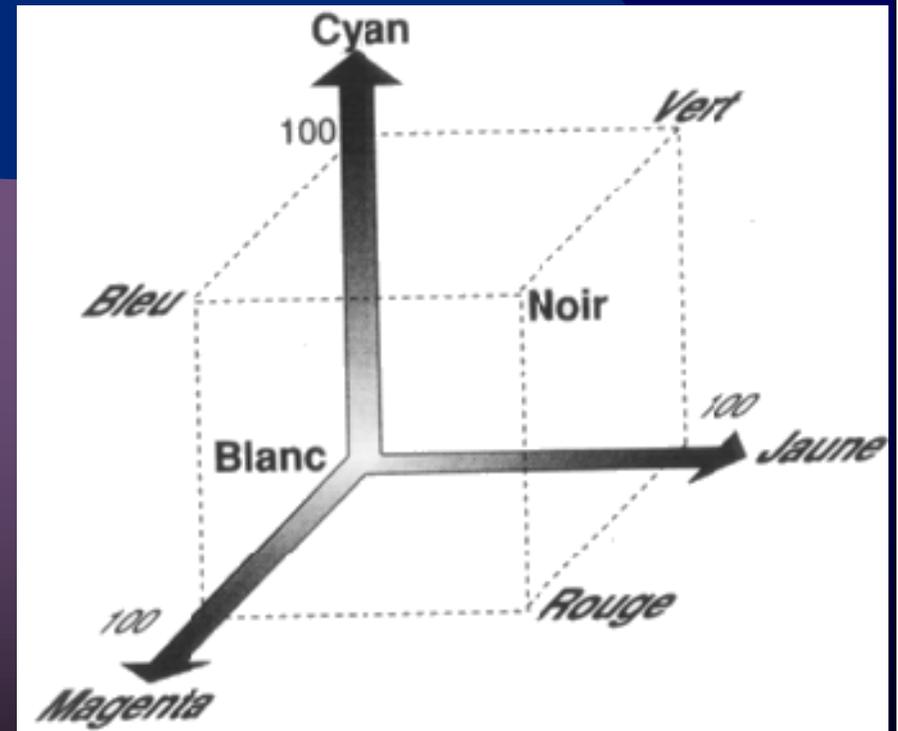


## c.4) CMYK : Cyan Magenta Yellow black

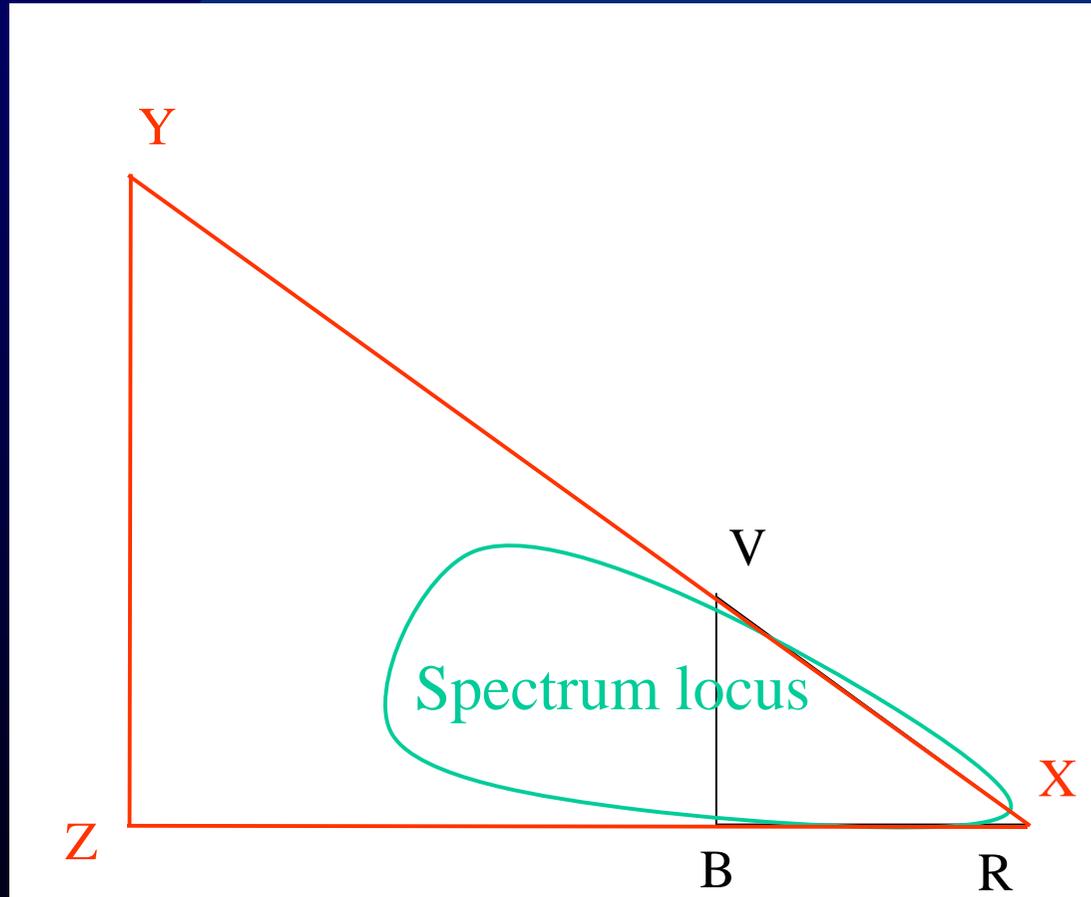
Cyan, magenta, jaune et noir  $\Rightarrow$  quatre couleurs d'encre pour les impressions quadrichromiques et pour tout procédé de reproduction à base de pigments ou de colorants (principe des couleurs soustractives).

Sur chaque couche pixel avec un pourcentage d'une des couleurs.

Norme pour l'imprimerie. La composante noire améliore le rendu des aplats noirs. Car le noir peut aussi être obtenu par mélange des trois autres composantes (par économie)



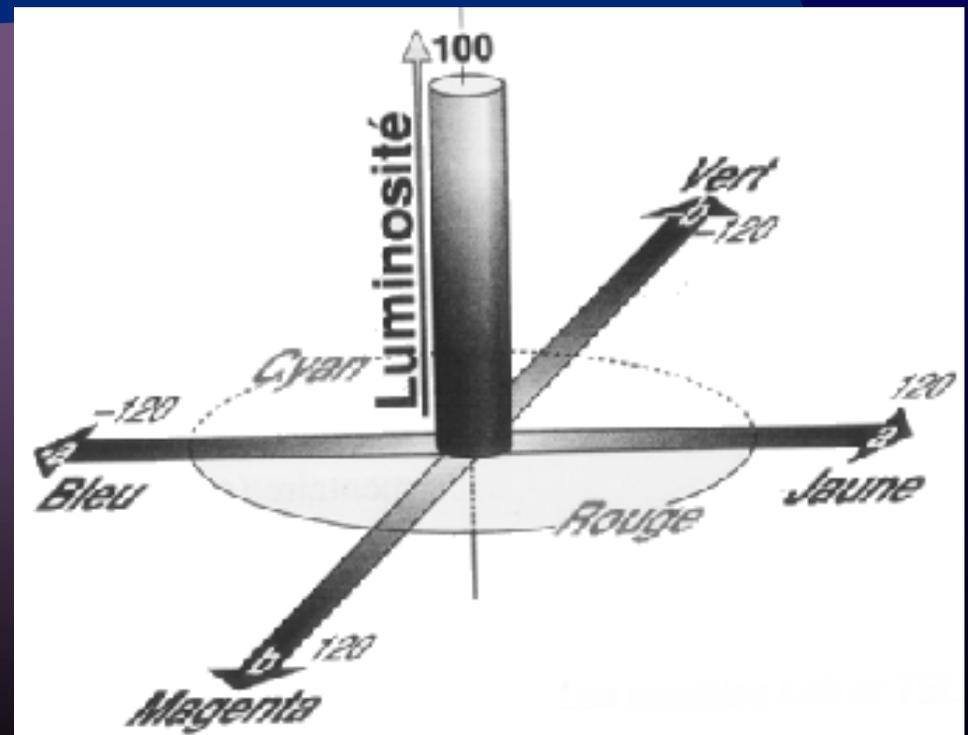
## c.4) Espace XYZ



X	0.7	0.3	0.2	R
Y	0.3	0.7	0	G
Z	0	0	0.8	B

## c.4) Lab : luminance + a et b

Couleurs définies par 3 valeurs :  
Luminosité (luminance) codée en pourcentages, a et b correspondent à 1 information colorée (chrominance) où la couleur est définie à partir d'un mélange de vert à magenta (a) et un mélange de bleu à jaune (b).  
Valeurs comprises entre -120 et +120 pour a et b.



## c.4) YUV et YCrCb

YUV et YCrCb sont des espaces Lab :

- 1 dimension : Luminance
- 2 dimensions : Chrominance

Utilisés en compression d'images et vidéos car décorrélation de l'information.

Luminance :  $Y = 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B$

- RGB to YUV :

- $Y = \dots$
- $U = 0.492 (B - Y)$
- $V = 0.877 (R - Y)$

- RGB to YCrCb :

- $Y = \dots$
- $Cb = (B - Y) / (2 - 2 * 0.114 B) + 128$       (  $Cb = a (B - Y)$  )
- $Cr = (R - Y) / (2 - 2 * 0.299 R) + 128$       (  $Cr = b (R - Y)$  )

## c.4) YUV et YCrCb

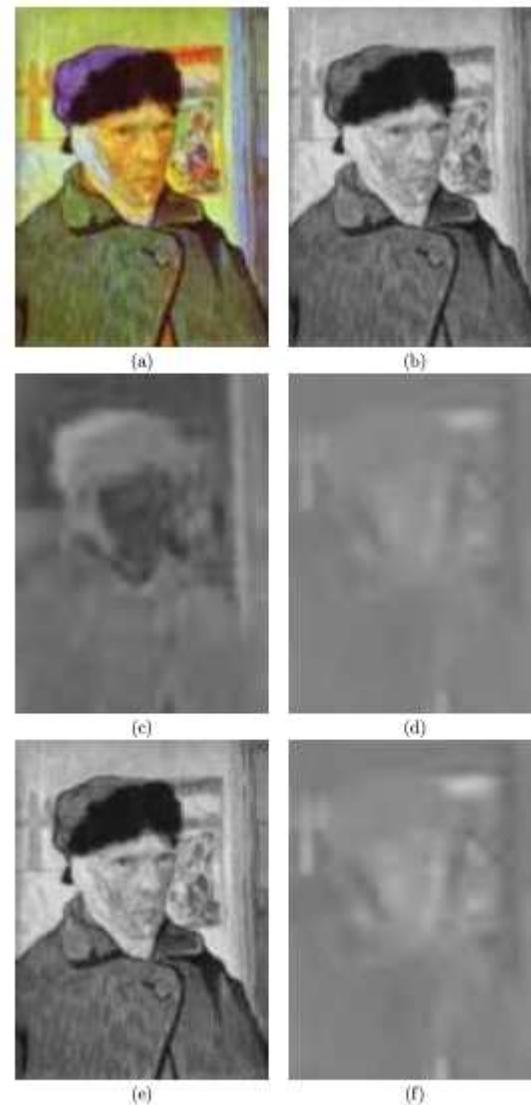


FIG. 3 - a) Image originale "Auto Portrait Oreille Bandée", b) Composante Y, c) Composante u, d) Composante v, e) Composante Cr, f) Composante Cb.

## c.4) TSL (HLS) : Teinte (Hue), Saturation, et Luminosité.

- Teinte : longueur d'onde de la lumière réfléchiée, ou transmise par un objet  $\Rightarrow$  emplacement sur la roue chromatique, ( $0^\circ < \text{angle} < 360^\circ$ ).  
Le spectre circulaire part du rouge, passe par le vert et le bleu pour revenir au rouge.
- Saturation : pureté ou intensité de la couleur (des couleurs grisées 0 % aux couleurs vives, 100 %).
- Luminosité : variation d'intensité lumineuse d'une couleur, entre 0 %, noir et 100 %, blanc.

