

# HAI605I Données multimédia

## Analyse et Traitement des images

WILLIAM PUECH

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

# Plan

- I) Introduction
- II) Image : représentations mathématiques
- III) Filtrage d'images
- IV) Segmentation des images
- V) Colorimétrie

# I) Introduction

A) L'IMAGE

B) Trois étapes en traitement des images

C) Que peut-on faire d'une image ?

D) Vue d'ensemble de la spécialité

E) Historique et applications

# I) A) L'IMAGE

**Image** : représentation d'une personne ou d'une chose par la peinture, la sculpture, le dessin, la photo, le film (LAROUSSE)

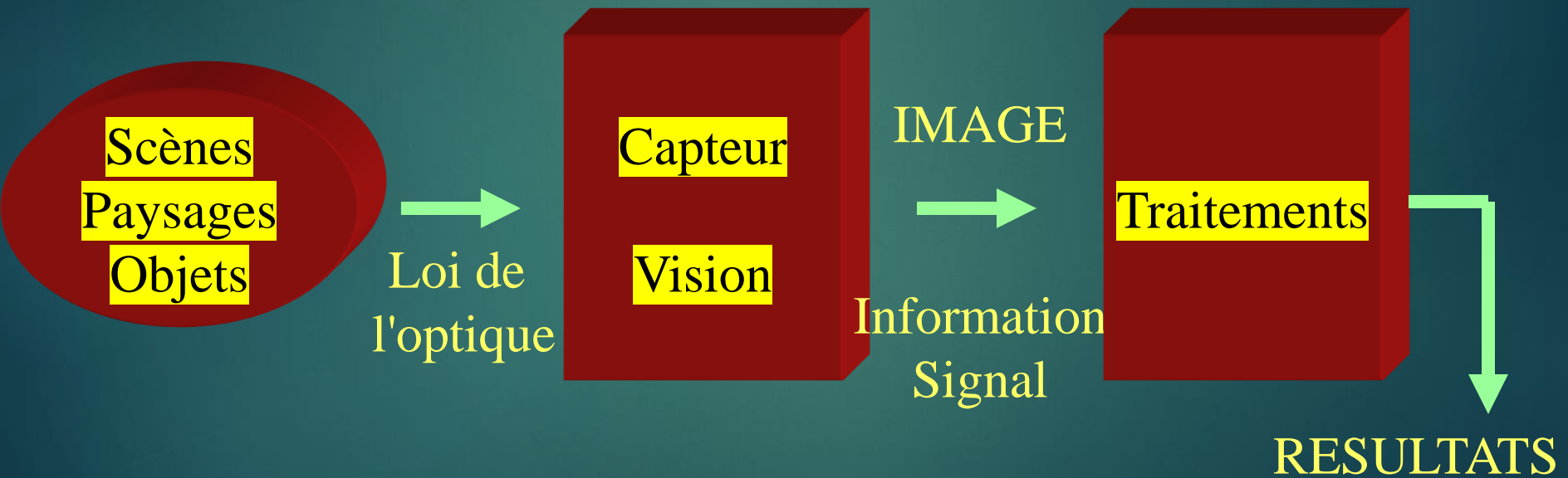
**Vision** : perception du monde extérieur par les organes de la vue.

# I) A) L'IMAGE

- ▶ L'image est associée à la vision : représentation du monde extérieur.
- ▶ Composante subjective : chaque individu voit de manière différente la même scène.
- ▶ Les images : pas forcément un phénomène de vision précis (images mentales, rêves). Représentation d'objets immatériels ou concepts (signal électrique, oscillogramme)

# I) A) L'IMAGE

- ▶ Dans ce cours : image = information issue d'un capteur de vision (œil, caméra).



# I) B) Trois étapes en Image

7

**Prétraitement**  
**+ Analyse**  
**+ Interprétation**

# I) B) Trois étapes en Image

## traitement + analyse + interprétation

- ▶ Traitement (prétraitement) opérations de manipulation de l'image pour améliorer la qualité.
  - ▶ la compression : réduction du volume de l'image.
  - ▶ la restauration : correction des défauts dus à une source de dégradation.
  - ▶ l'amélioration : modification de l'image dans le but de la rendre plus agréable à l'œil.



# I) B) Trois étapes en Image

## **traitement + analyse + interprétation**

- ▶ Analyse : suite d'opérations pour l'extraction d'information contenue dans une image.
  - ▶ phase de segmentation avec partition de l'image.
  - ▶ techniques de description / modélisation pour obtenir la description structurelle de l'image.

# I) B) Trois étapes en Image

10

## traitement + analyse + interprétation

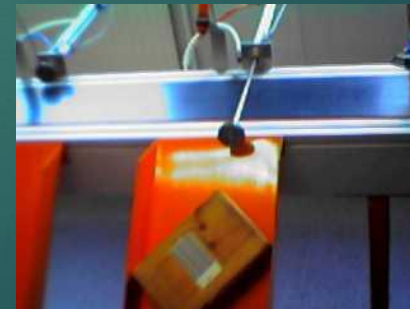
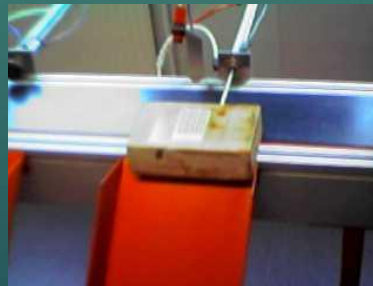
- ▶ Interprétation : passage de la description structurelle à la description sémantique en regard à certains objectifs. (mesure de paramètres sur des formes, description du contenu de la scène en termes de concepts non mathématiques).

# I) B) Trois étapes en Image

11

Exemple :

- ▶ En vision industrielle pour un objectif de qualité :
  - ▶ contrôle dimensionnel (mesures simples)
  - ▶ contrôle d'aspect (mesure de texture)
  - ▶ contrôle structurel (analyse des composants d'un objet)
  - ▶ tri (reconnaissance)



# I) C) Que peut-on faire d'une image ?

Amélioration, Restauration, Correction

Traitement corrigeant des défauts de l'image, permettant un confort de visualisation.

- ▶ Augmentation de contraste,
- ▶ Correction des distorsions optiques,
- ▶ Filtrage du bruit

# I) C) Que peut-on faire d'une image ?

## Analyse

Conception d'une machine autonome pour conclure sur des critères visuels à partir d'images issues de capteurs.

- ▶ Reconnaissance d'objets,
- ▶ Localisation robot mobile,
- ▶ Mesures (spatiales, temporelles)

# I) C) Que peut-on faire d'une image ?

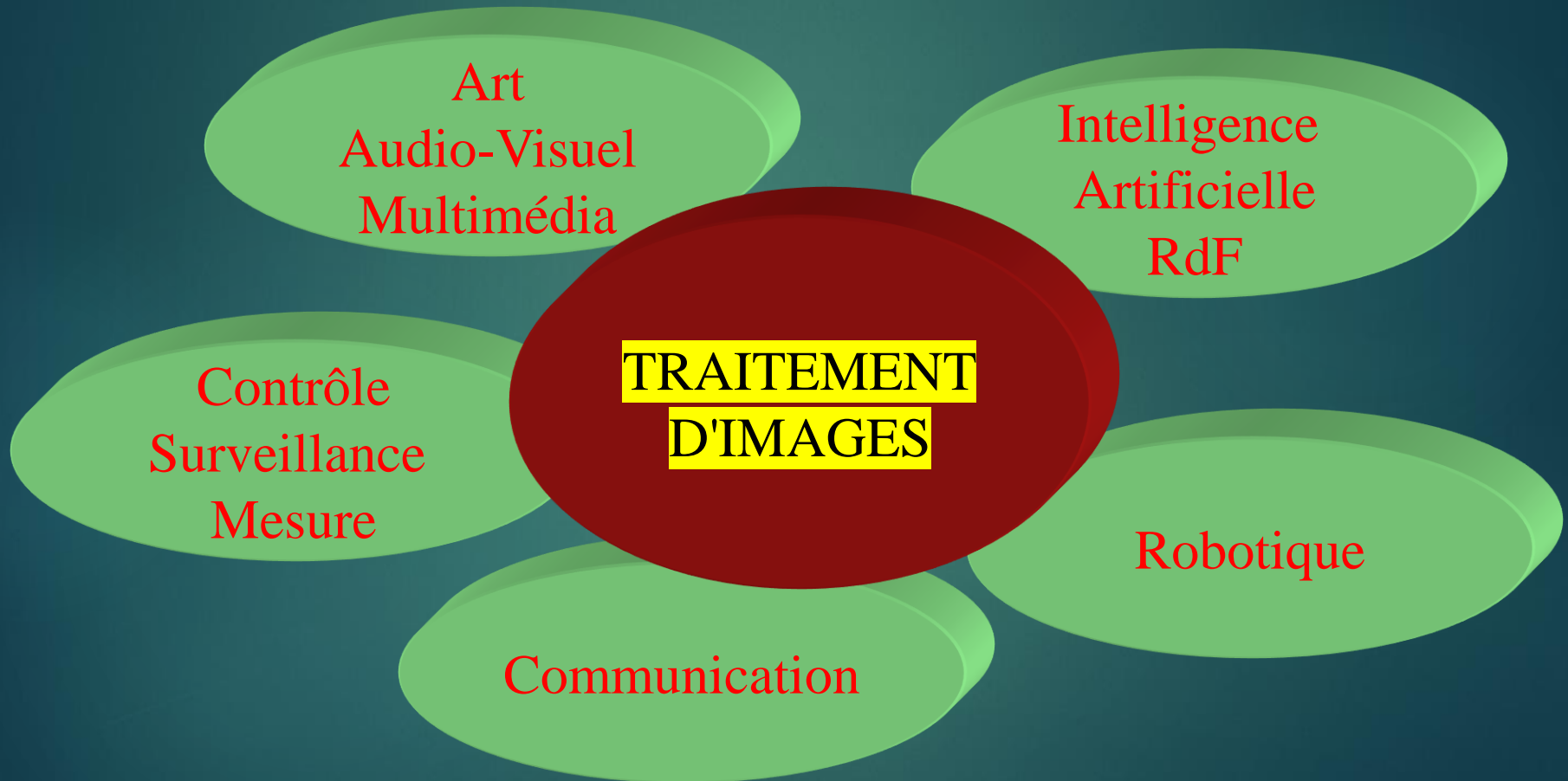
Compression, Codage, Transmission

Transport des images par voies Hertziennes ou par réseau câblé sous forme numérique.

Codage nécessaire pour réduire l'information à transmettre sans en altérer la qualité.

*Cf : UE Codage et compression multimédia*

# I) D) Vue d'ensemble de la spécialité



# I) D) Vue d'ensemble de la spécialité

Architectures informatiques

Traitement du signal

Algorithmique

Electronique

Optique

Economie

Multimédia

Intuition

Technologie des capteurs

Neuroscience, physiologie

**TRAITEMENT  
D'IMAGES**



# I) E) Historique et applications

17

- ▶ Imagerie aérienne et spatiale
  - ▶ Ressources naturelles et humaines,
  - ▶ Surveillance,
  - ▶ Météorologie.



# I) E) Historique et applications

- ▶ Industrie
  - ▶ Contrôle non destructif,
  - ▶ Inspection et mesures automatiques,
  - ▶ Vision robotique.



# I) E) Historique et applications

19

- ▶ Médecine
  - ▶ Cytologie,
  - ▶ Tomographie,
  - ▶ Echographie.



# I) E) Historique et applications

20

- ▶ Sciences
  - ▶ Interventions en milieu confiné,
  - ▶ Astronomie, Robotique mobile,
  - ▶ Microscopie électronique, Biologie.



# I) E) Historique et applications 21

- ▶ Art et communication
  - ▶ Télévision et vidéo,
  - ▶ Photographie, Edition,
  - ▶ Transport information visuelle, Archivage.





# I) E) Historique et applications

22

- ▶ Domaine militaire
  - ▶ Surveillance,
  - ▶ Guidage automatique et poursuite d'engins,
  - ▶ Topographie.



# Les dix commandements de la vision par ordinateur

23

(J.P. Hermann, DTAA Renault)

1. Tu respecteras les **lois de la physique** (la reconnaissance des formes n'est pas un problème d'informatique mais d'optique).
2. Tu t'inquièteras de ce que tu vas calculer.
3. Tu chercheras avant tout la simplicité.
4. Tu te soucieras plus de la précision que du calcul de ton ordinateur (importance de la précision).
5. Tu honoreras l'**alg**.
6. Tu te soucieras de la précision des seuils de tolérance).
7. Tu effectueras les tests nécessaires.
8. Tu mettras des **ch**.
9. Tu auras la **simplic**.
10. Tu ne croiras pas seulement à la caméra vidéo (il existe d'autres capteurs optiques ... et non optiques).

et enfin, le onzième commandement : Tu ne te décourageras pas!

# II) Image : représentations mathématiques

- A) Mathématiquement
- B) Pixel
- C) Maillage
- D) Distance
- E) Histogramme
- F) Les différents niveaux de représentation de l'image



# II) A) Mathématiquement

## 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  $M = 255$

## II) B) Pixel

**Pixel** : "picture element", unité de base de l'image correspondant à un pas de discrétisation.

- ▶ Position et valeur (niveaux de gris).
- ▶ Séquences vidéo du pixel :



## II) C) Maillage

**Maillage** : arrangement géométrique des pixels dans l'image.

3 types de tessélations du plan par des figures géométriques.

- ▶ Maillage carré : réalité physique du capteur CCD.
- ▶ Maillage hexagonal (référence en morphologie mathématique).
- ▶ Maillage triangulaire.

## II) D) Distance

Distance : entre deux pixels  $P(x_p, y_p)$  et  $Q(x_q, y_q)$

- ▶ distance de Manhattan :

$$d_1(P, Q) = |x_p - x_q| + |y_p - y_q|$$

- ▶ distance euclidienne :

$$d_2(P, Q) = [(x_p - x_q)^2 + (y_p - y_q)^2]^{1/2}$$

- ▶ distance de l'échiquier :

$$d_{\text{inf}}(P, Q) = \text{Max}(|x_p - x_q|, |y_p - y_q|)$$

$$d_{\text{inf}}(P, Q) \leq d_2(P, Q) \leq d_1(P, Q)$$

## II) D) Distance

**Connexité** : deux ordres de connexité :

- ▶ 4
- ▶ 8.

Un pixel a 4 voisins directs avec la distance  $d_1$ , et 8 avec la distance  $d_{inf}$ .

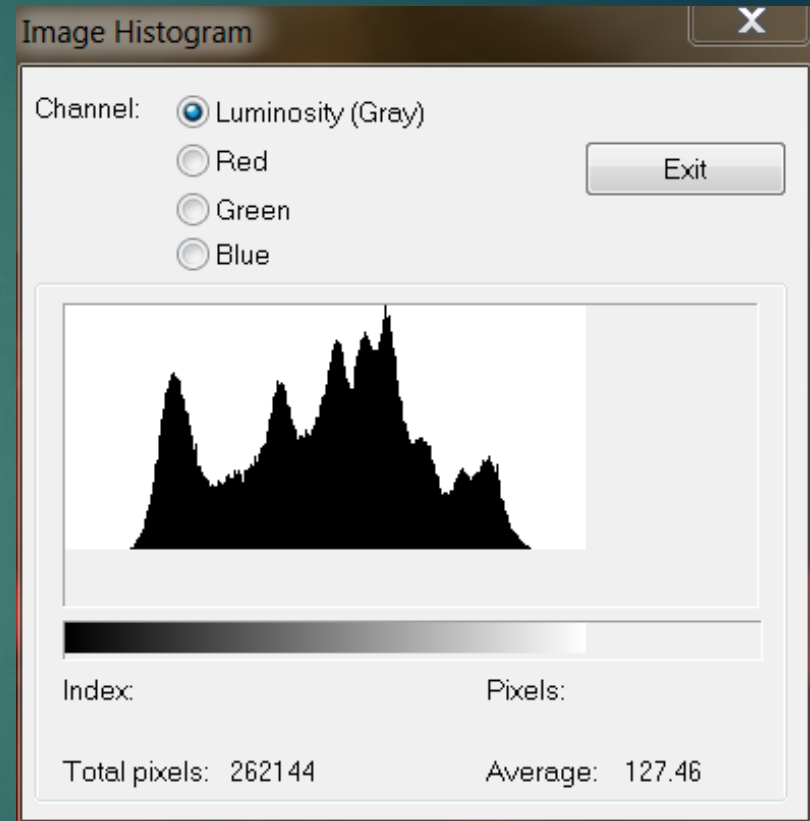
## II) E) Histogramme

**Histogramme** : de l'image  $I$ , la fonction  $H$  définie sur l'ensemble des entiers naturels par:

$$H(x) = \text{Card}\{P : I(P) = x\}$$

- ▶  $H(x)$  = nombre d'apparitions du niveau de gris  $x$  dans l'image  $I$ .
- ▶ outil privilégié en analyse d'images.

# II) E) Histogramme



# II) F) Les différents niveaux de représentation de l'image



ANALOGIQUE  
OPTIQUE

$10^{10}$  bits

ANALOGIQUE  
ELECTRIQUE

$10^8$  bits

NUMERIQUE

$10^6$  bits

PRIMITIVES  
BAS NIVEAU

$10^4$  bits

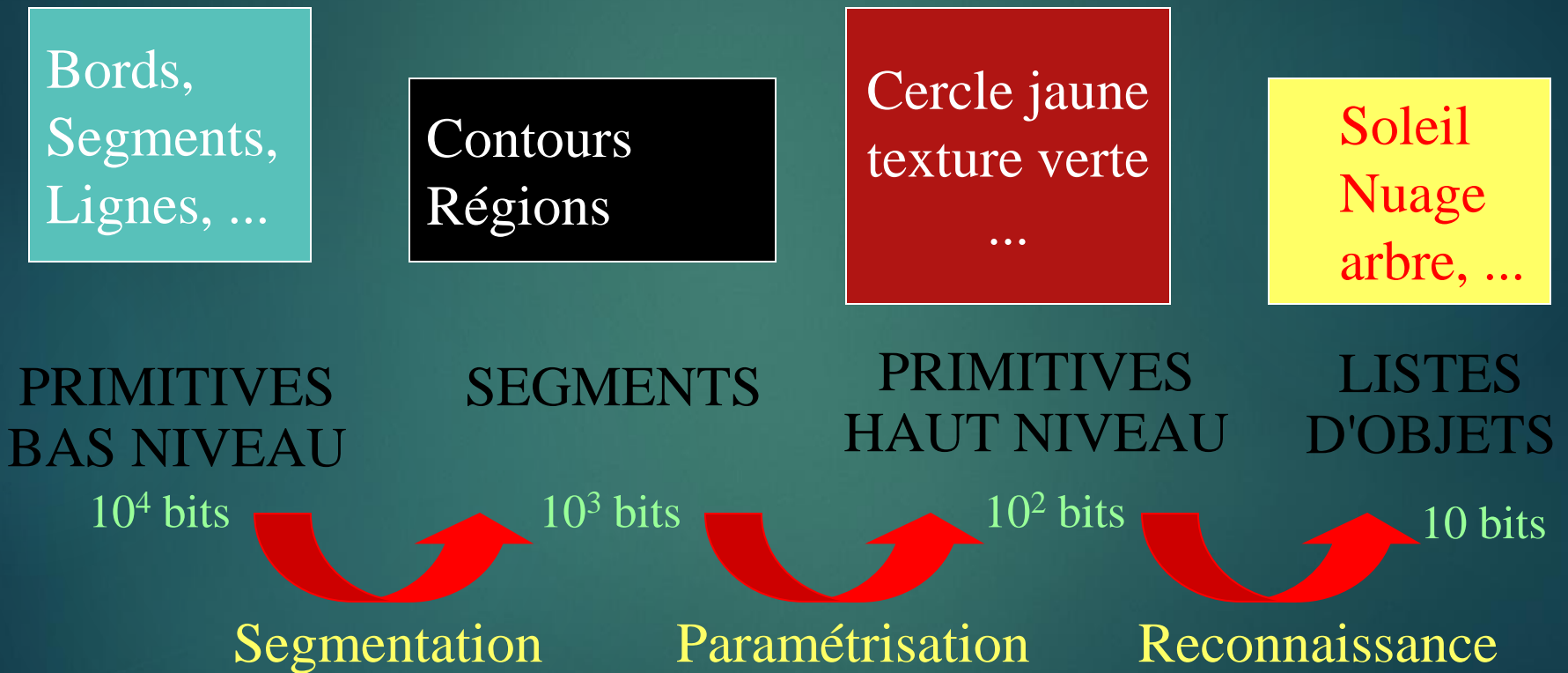
Trans. Optique  
Capteurs

Electronique

Algorithmique  
Trait. du signal



# II) F) Les différents niveaux de représentation de l'image



## II) F) Les différents niveaux de représentation de l'image

Est-ce une roue ?



soleil  
nuage  
arbre, ...

LISTES  
D'OBJETS

10 bits



Décision

1 bit

Intelligence  
artificielle

# III) Filtrage d'images

35

- Bruit dans les images
- Filtrage passe bas

# IV) Segmentation des images

- Profil de ligne ou de colonne
- Dérivées du 1<sup>er</sup> ordre

# V) Le système visuel humain

37

## La vision humaine

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

# IV) La vision humaine

38

## 1. Le capteur œil

De forme approximativement sphérique, l'oeil 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

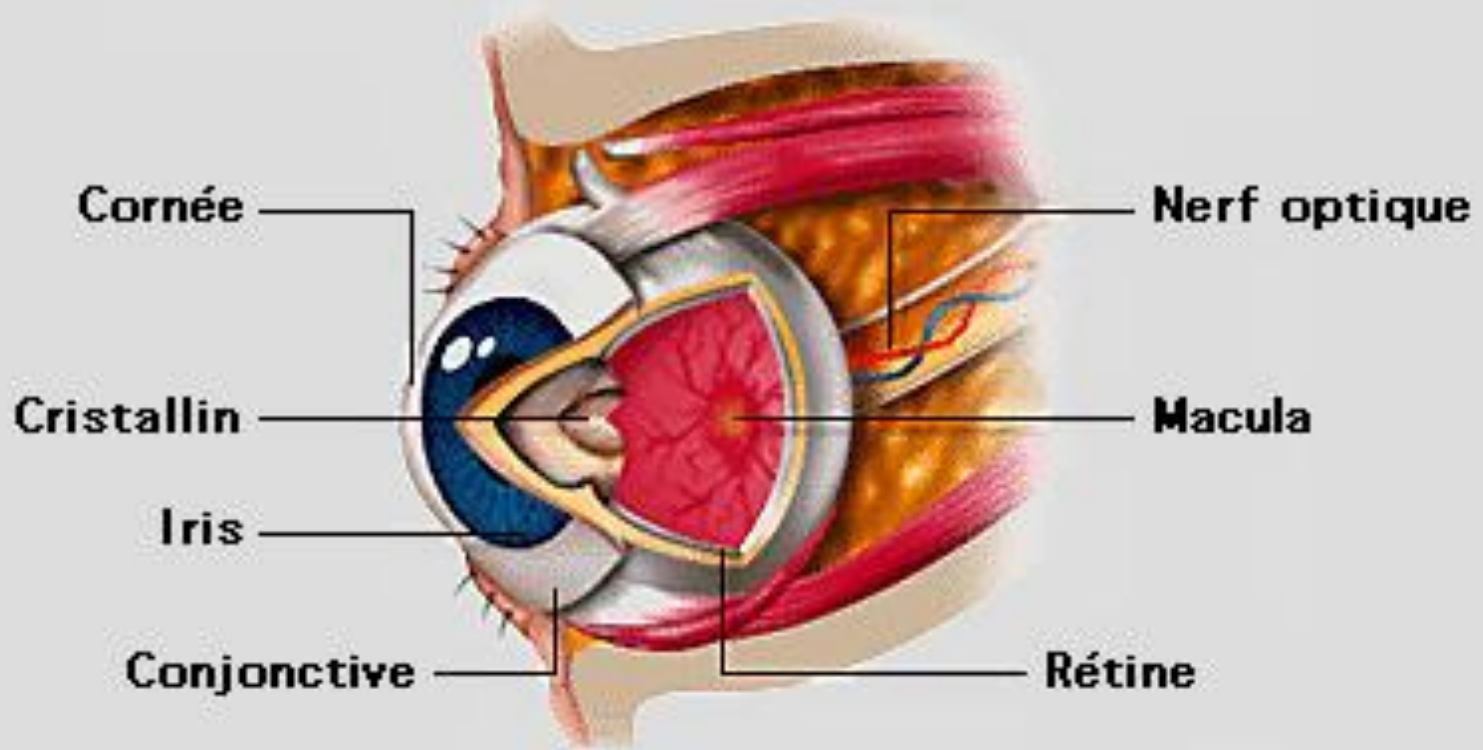
## 1. Le capteur œil : composants principaux :

- ▶ 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'œil.
- ▶ Nerf optique : transport de l'information (100000 neurones)

# IV) La vision humaine

40

## 1. Le capteur œil : composants principaux :





# IV) La vision humaine

## 1. Les photos-récepteurs de la rétine

### ▶ Cônes :

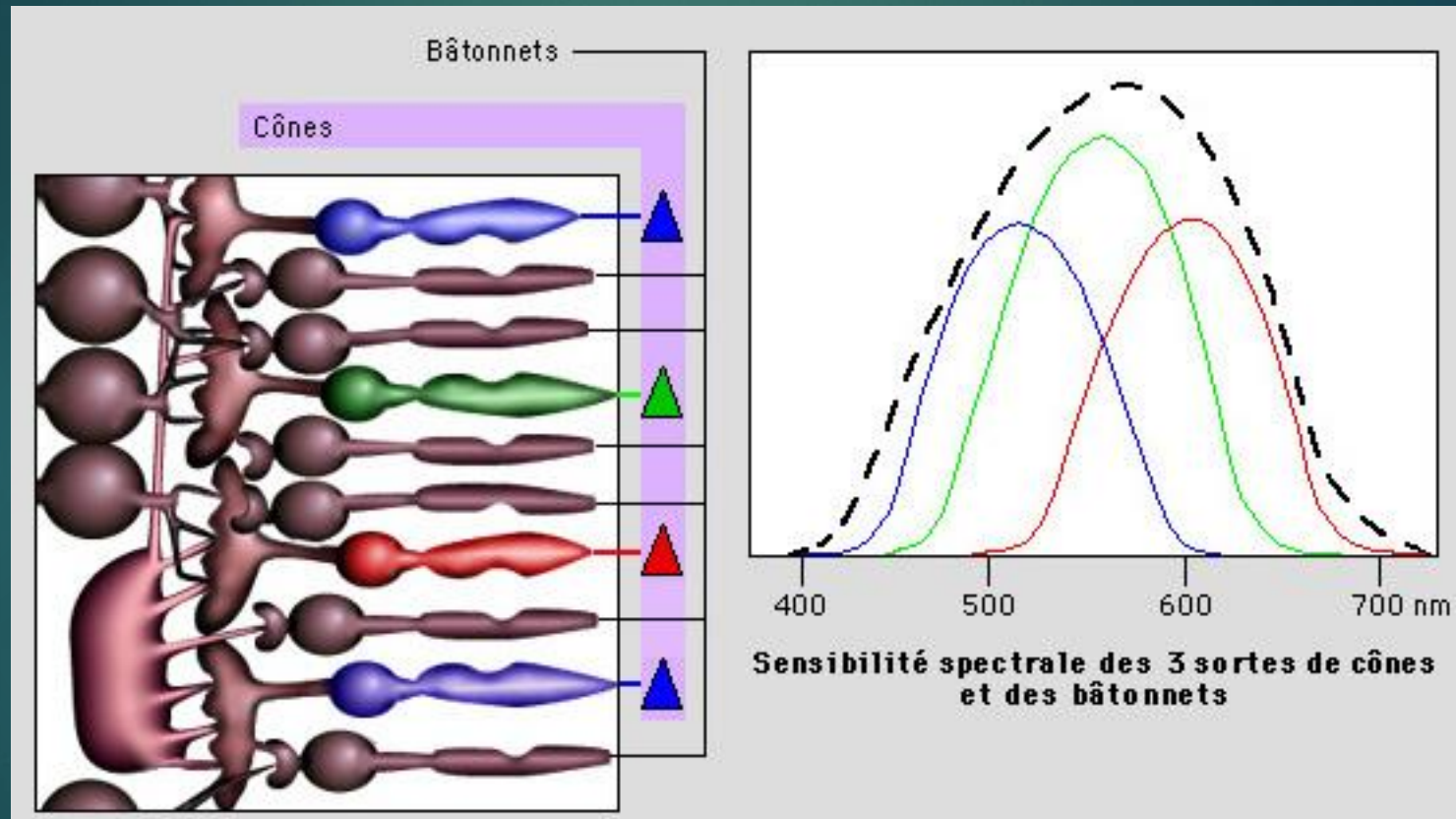
- ▶ vision photopique (diurne)
- ▶ couleur
- ▶ 6 à 7 millions
- ▶ Zone fovéale

### ▶ 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

43

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

44

## 2 . La vision achromatique

### Caractéristiques statiques et dynamiques

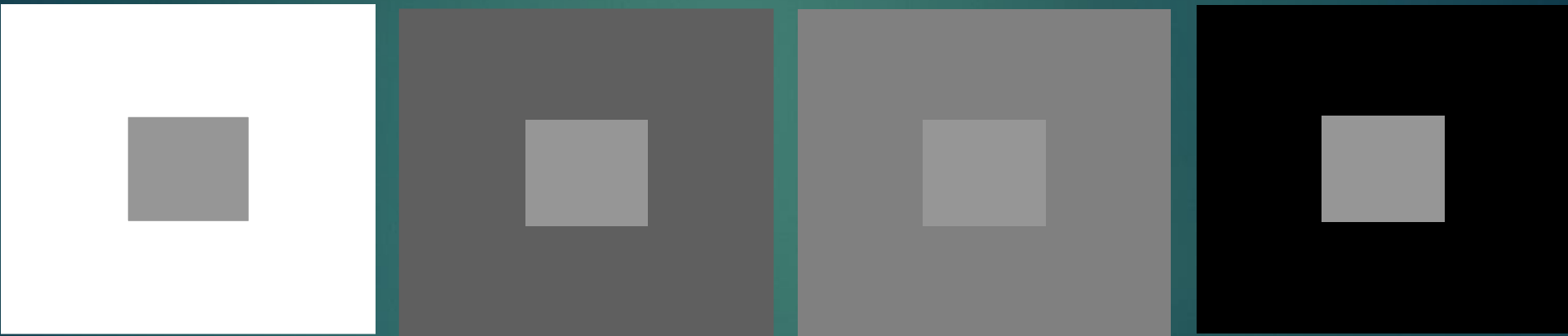
- ▶ Non linéaire.
- ▶ Forte adaptation au niveau de luminance (échelle de  $10^{10}$ ).
- ▶ Transition scotopique-photopique graduelle
- ▶ Discrimination de luminance : de 50 à 100 niveaux
- ▶ Constante de temps d'adaptation pour les cônes et les bâtonnets.

# IV) La vision humaine

45

## 2 . La vision achromatique

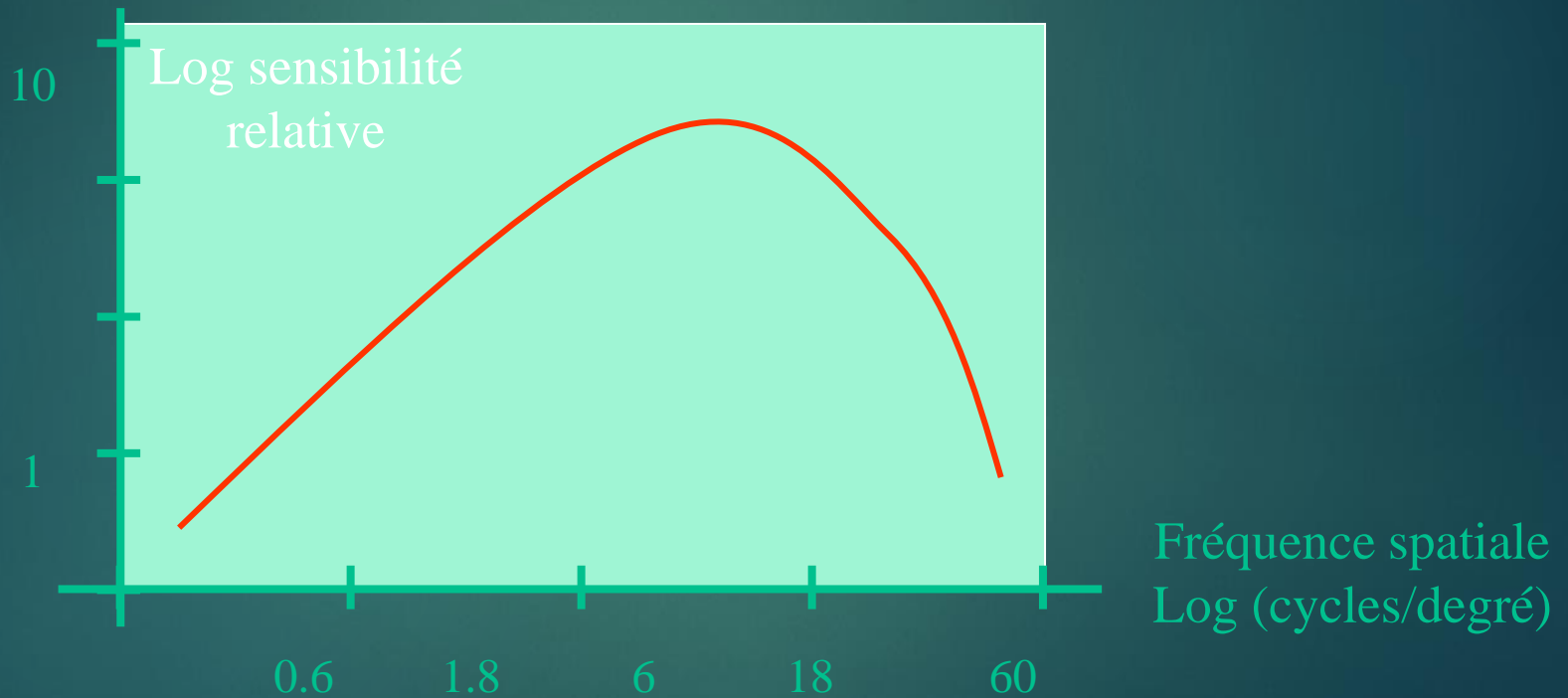
### Seuil différentiel de luminance



# IV) La vision humaine

## 2 . La vision achromatique

### Réponse en fréquence spatiale



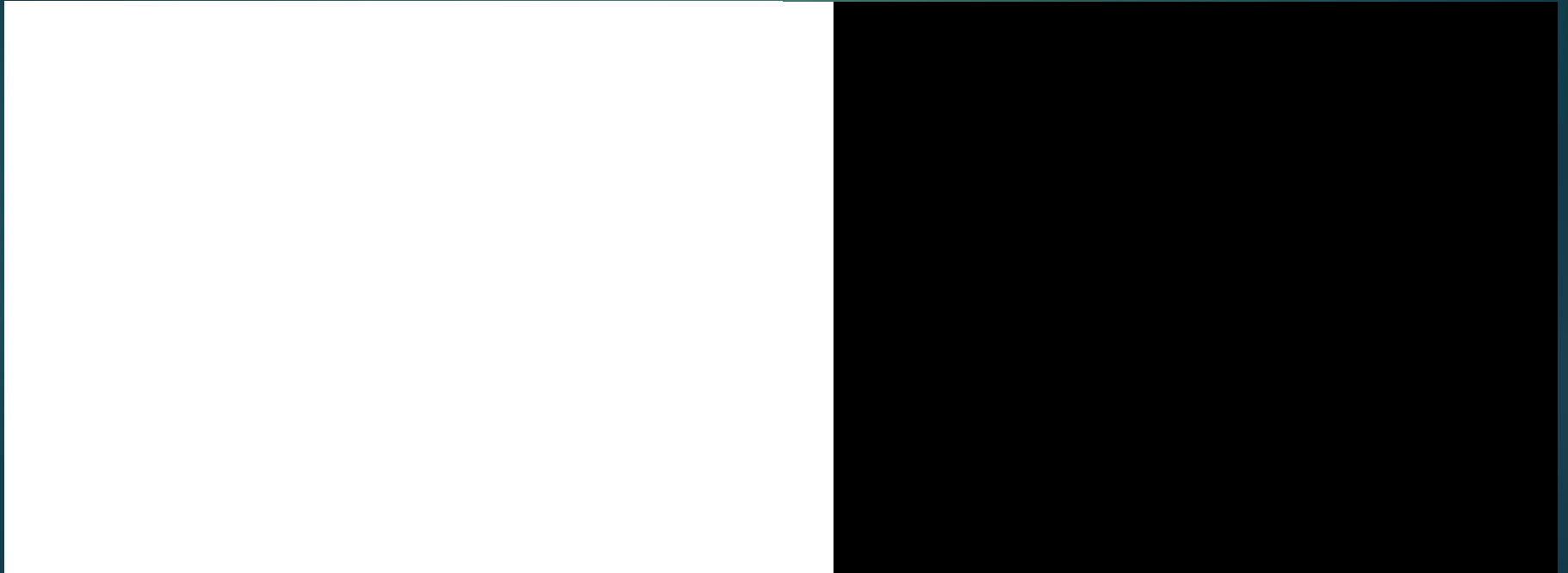
# IV) La vision humaine

47

## 2 . La vision achromatique

### Rehaussement physiologique des contours

transition en luminance : objectif  $\neq$  subjectif



# IV) La vision humaine

48

3 . Autres caractéristiques de la vision

Vision chromatique

Vision tridimensionnelle

Perception du mouvement



# IV) La vision humaine

49

## 4 . Système de traitement visuel humain

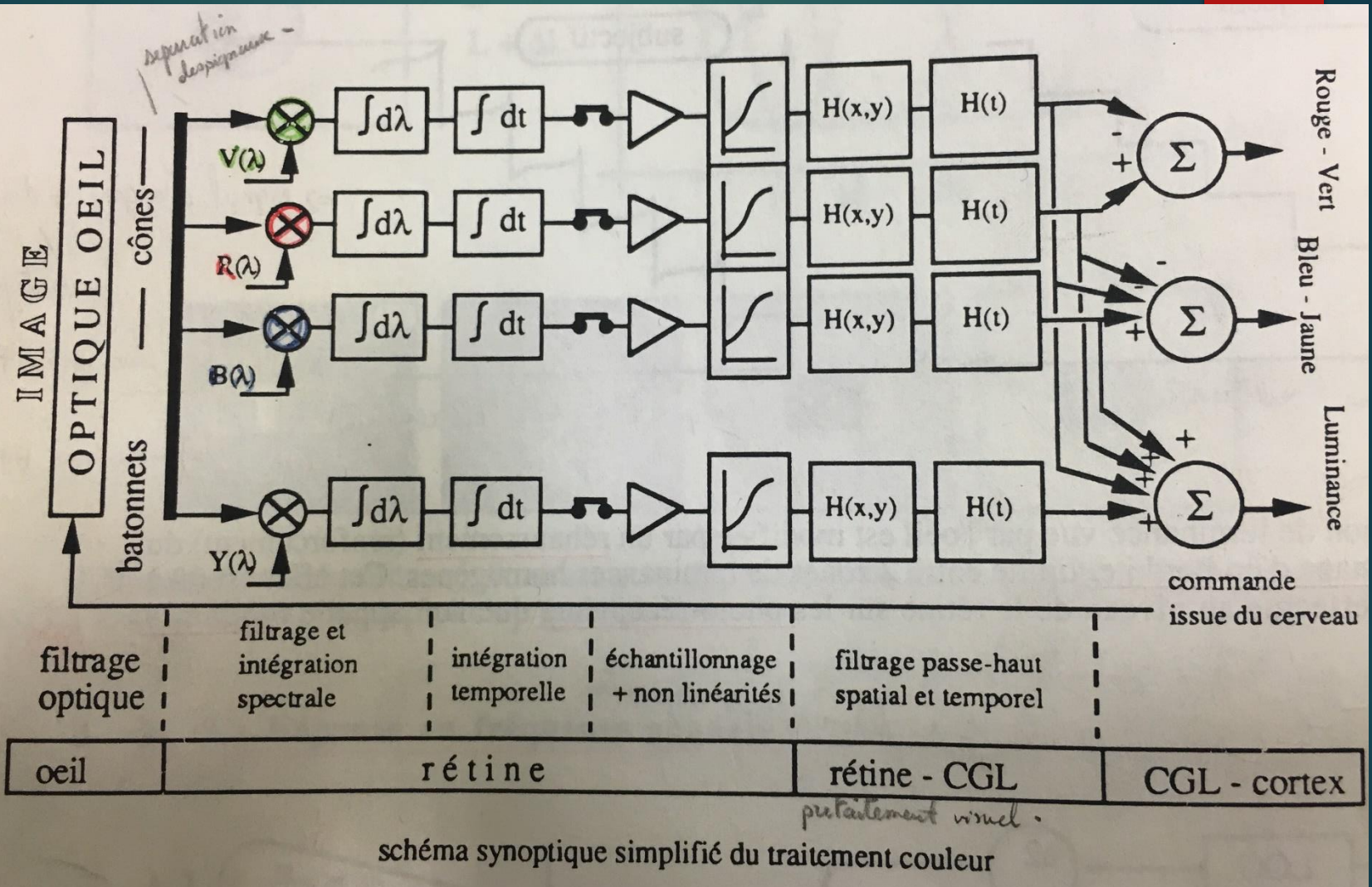
Performance

Architecture

Illusions optiques

# IV) La vision humaine

50

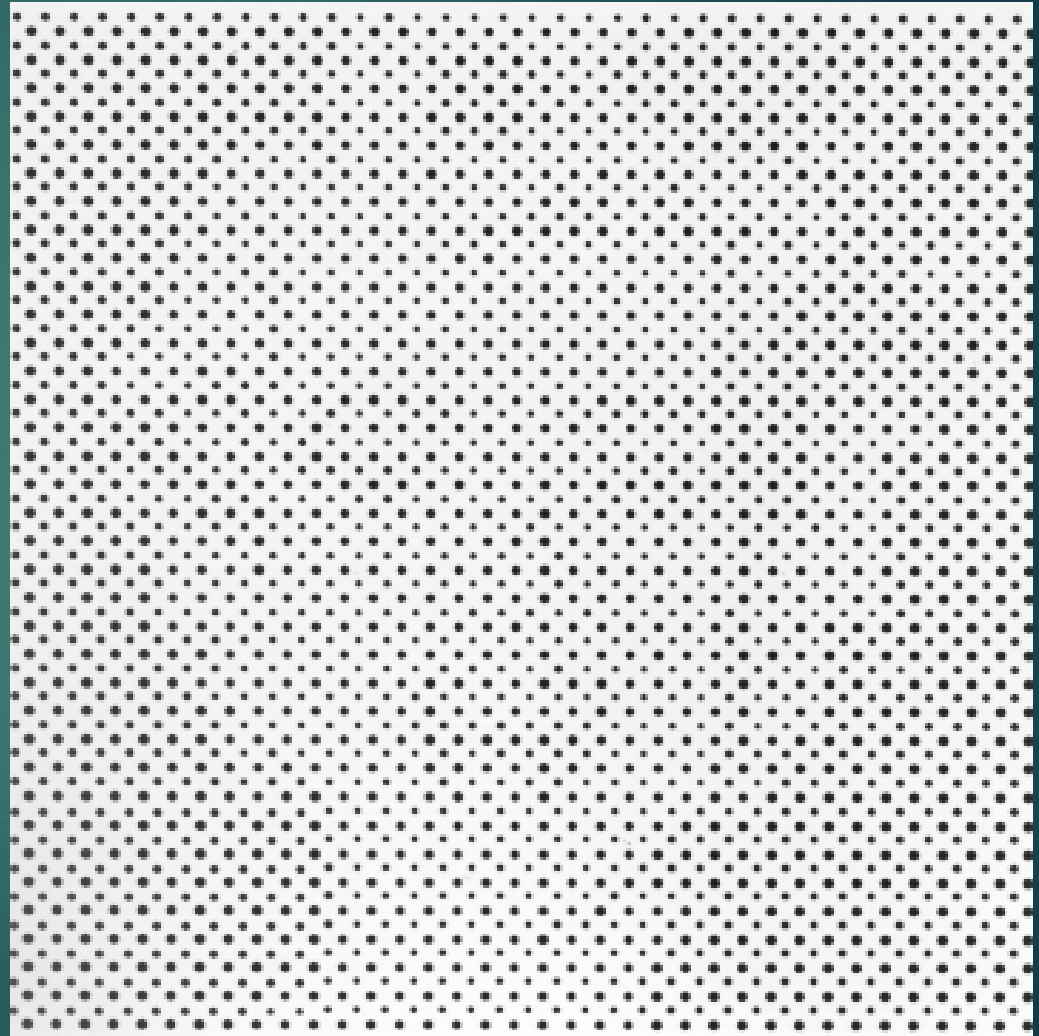


# IV) La vision humaine

51

## Illusions optiques

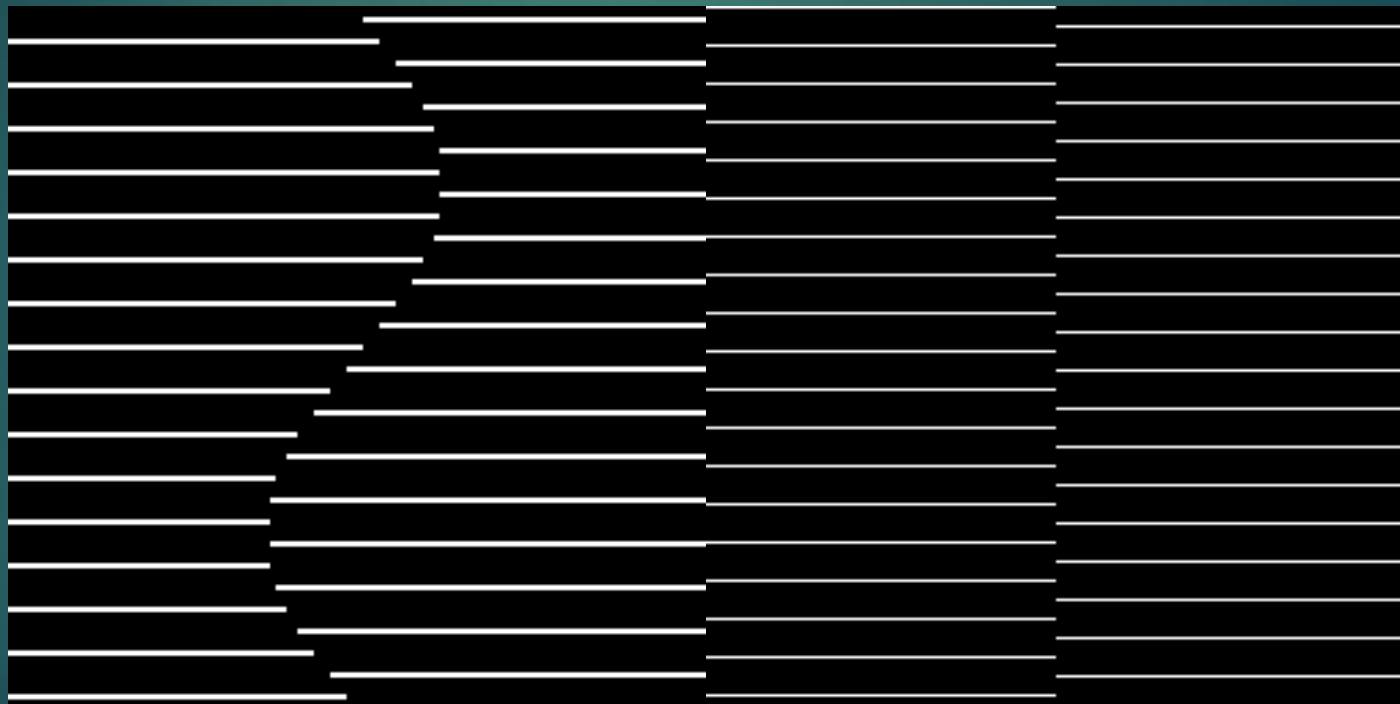
système visuel  
humain =  
référence. Pas un  
système parfait et  
piégeable : Que  
voyez-vous ? Rien,  
alors reculez-vous  
un peu ...



# IV) La vision humaine

52

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

53

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 ?



# V) Colorimétrie

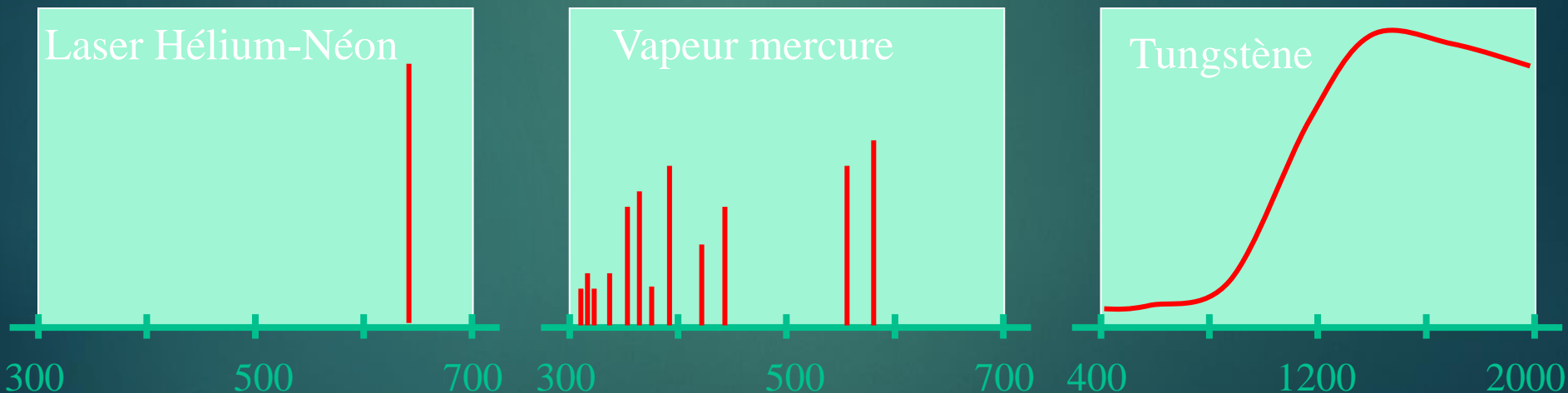
54

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

# V.1) Colorimétrie : Principe

55

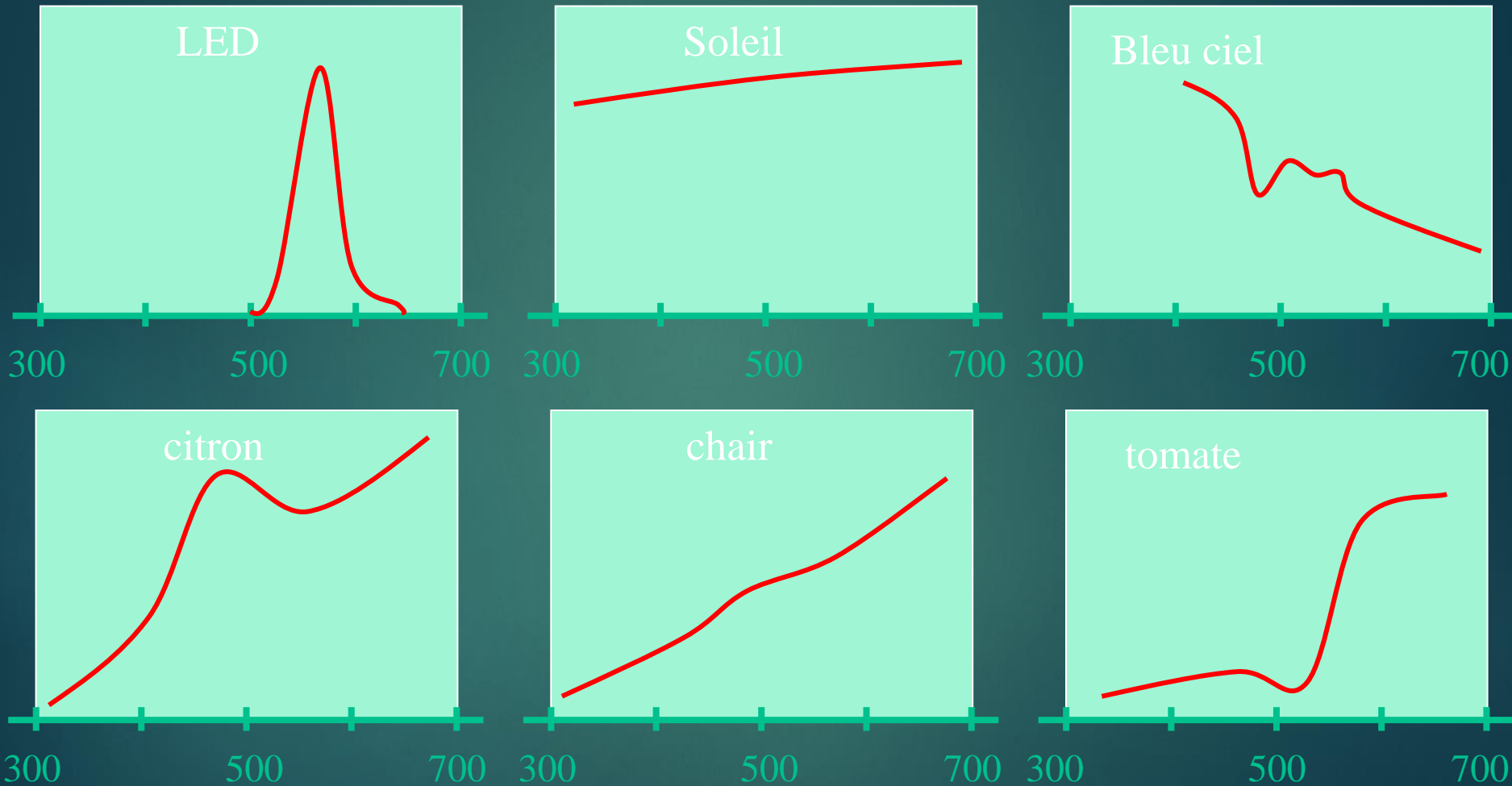
**Couleur** : phénomène physique interprété par le système visuel humain  $\Rightarrow$  objectif et subjectif.





# V.1) Colorimétrie : Principe

56





## V.2) Trichromie et trivariance

57

**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

$$C_x = C_\lambda + C_b$$

# V.3) Synthèse soustractive

58

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

Jaune + Magenta => Rouge

Jaune + Cyan => Vert

Magenta + Cyan => Bleu

Jaune + Magenta + Cyan => Noir

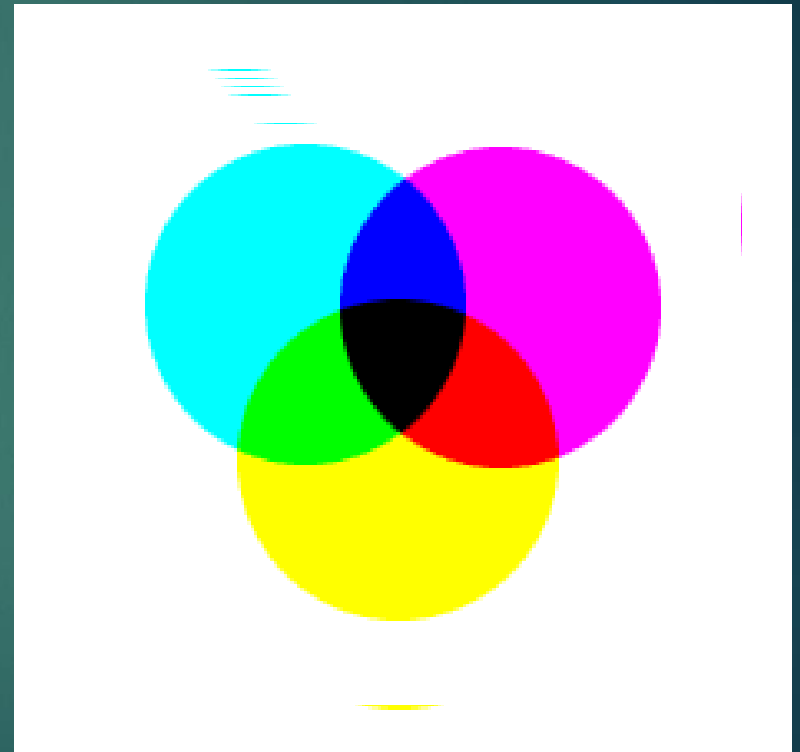
Les nuances intermédiaires par variation de l'absorption des filtres.

Utilisée pour l'impression des couleurs.

# V.3) Synthèse soustractive

59

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



## V.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

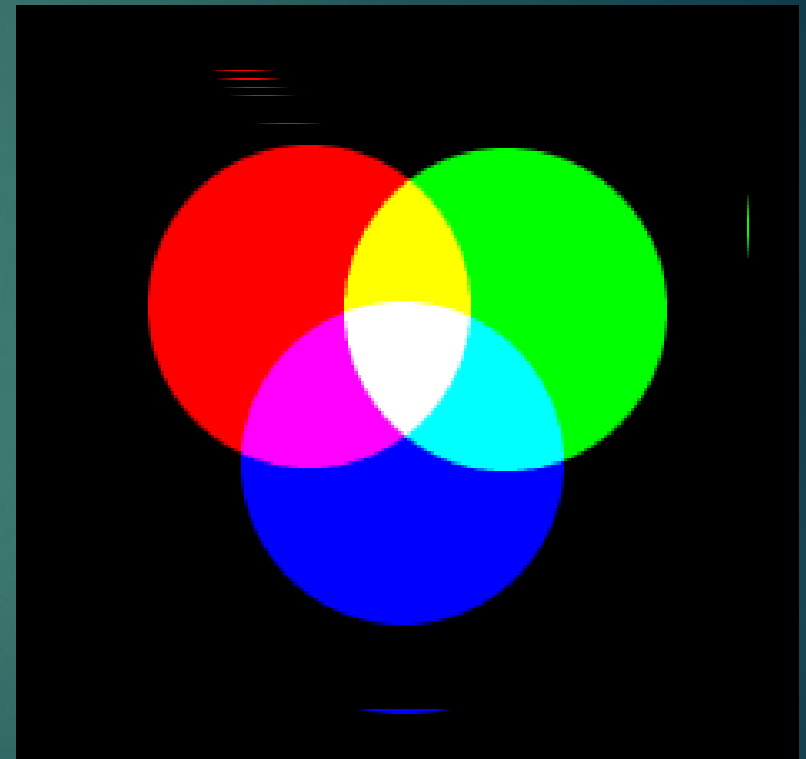
Rouge + Vert + Bleu ⇒ Blanc

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

# V.3) Synthèse additive

61

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



# V.4) Colorimétrie

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

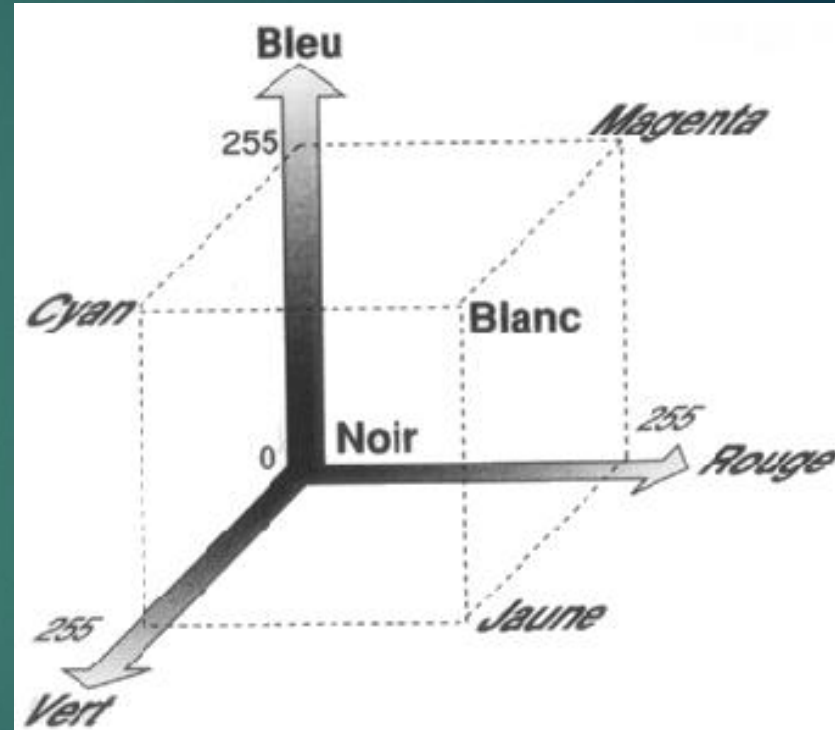
- ▶ Espaces basés sur la chrominance :
  - ▶ RVB (RGB): Red Green Blue
  - ▶ CMJN (CMYK): Cyan Magenta Yellow black (K pour Key black)
  - ▶ XYZ
- ▶ Espaces basés sur la luminance et la chrominance :
  - ▶ Lab: luminance + chrominance (a et b)
  - ▶ YUV et YCrCb
- ▶ Espaces basés sur la luminance, la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

# V.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.



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

64



FIG. 1 – a) Image originale “lena”, b) Composante R, c) Composante G, d) Composante B.



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

65

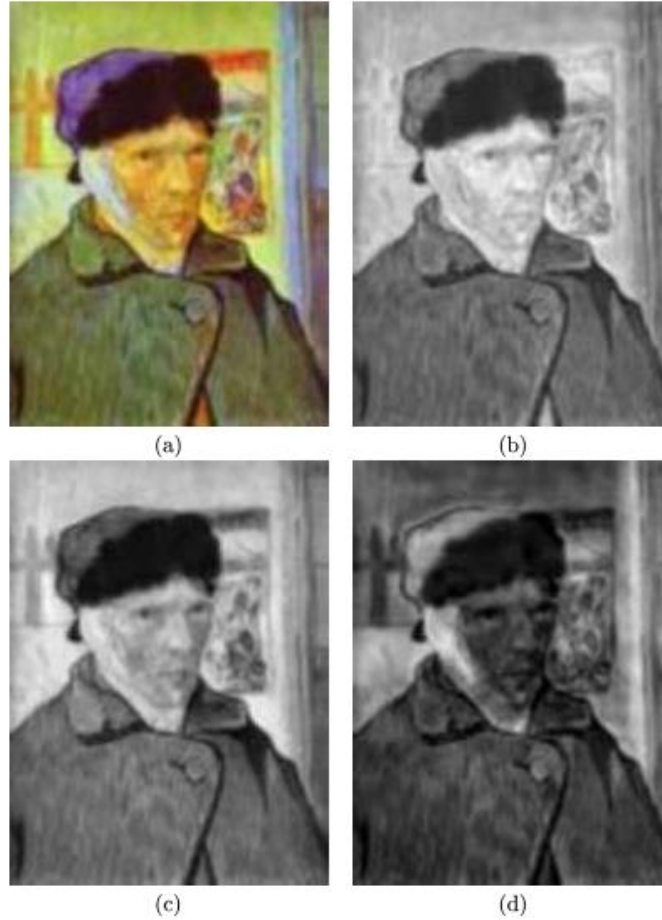
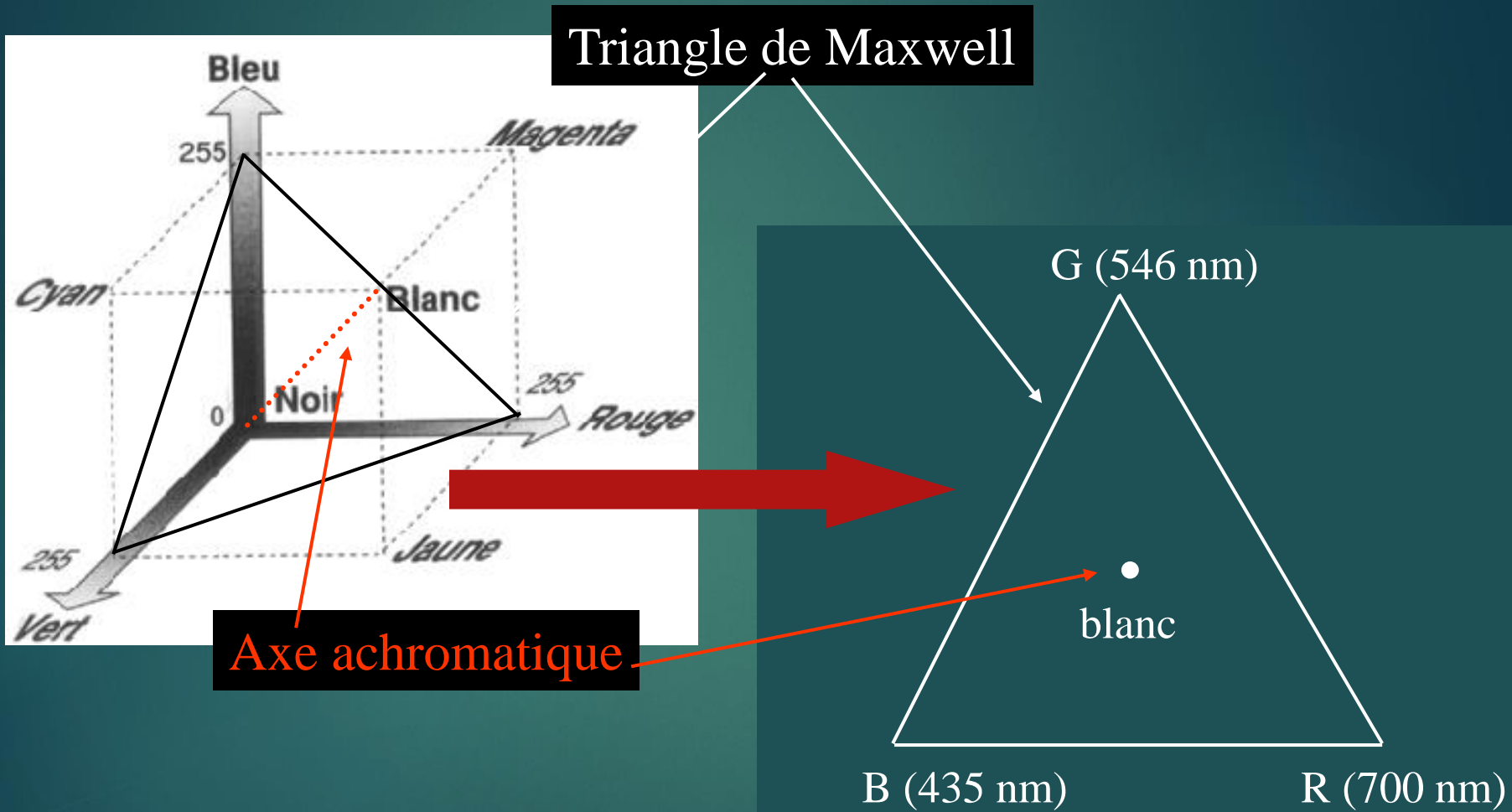


FIG. 2 – a) Image originale "Auto Portrait Oreille Bandée", b) Composante R, c) Composante G, d) Composante B.

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

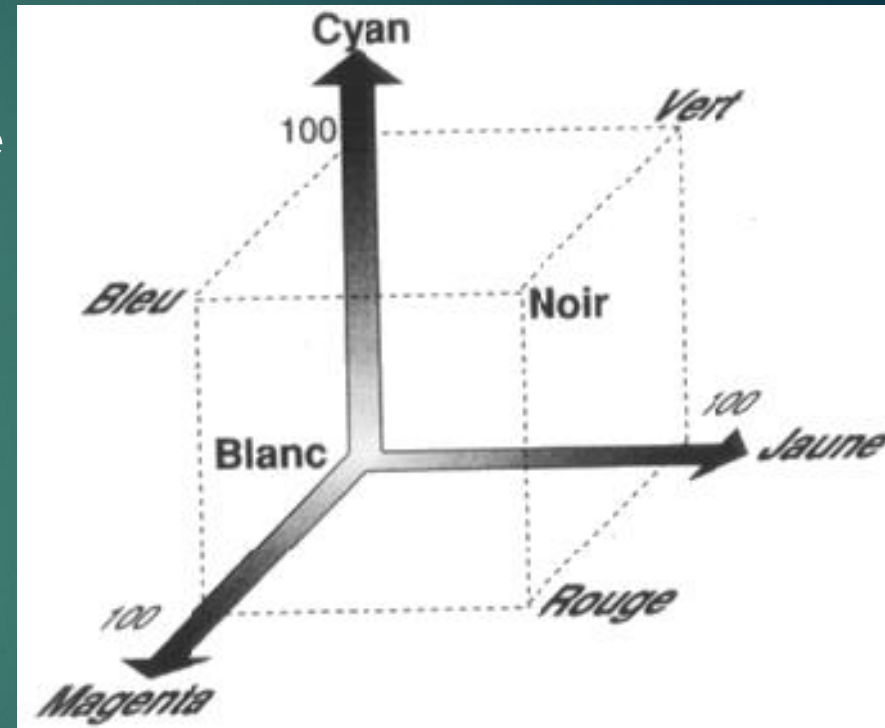


## V.4) CMYK : Cyan Magenta Yellow black

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).

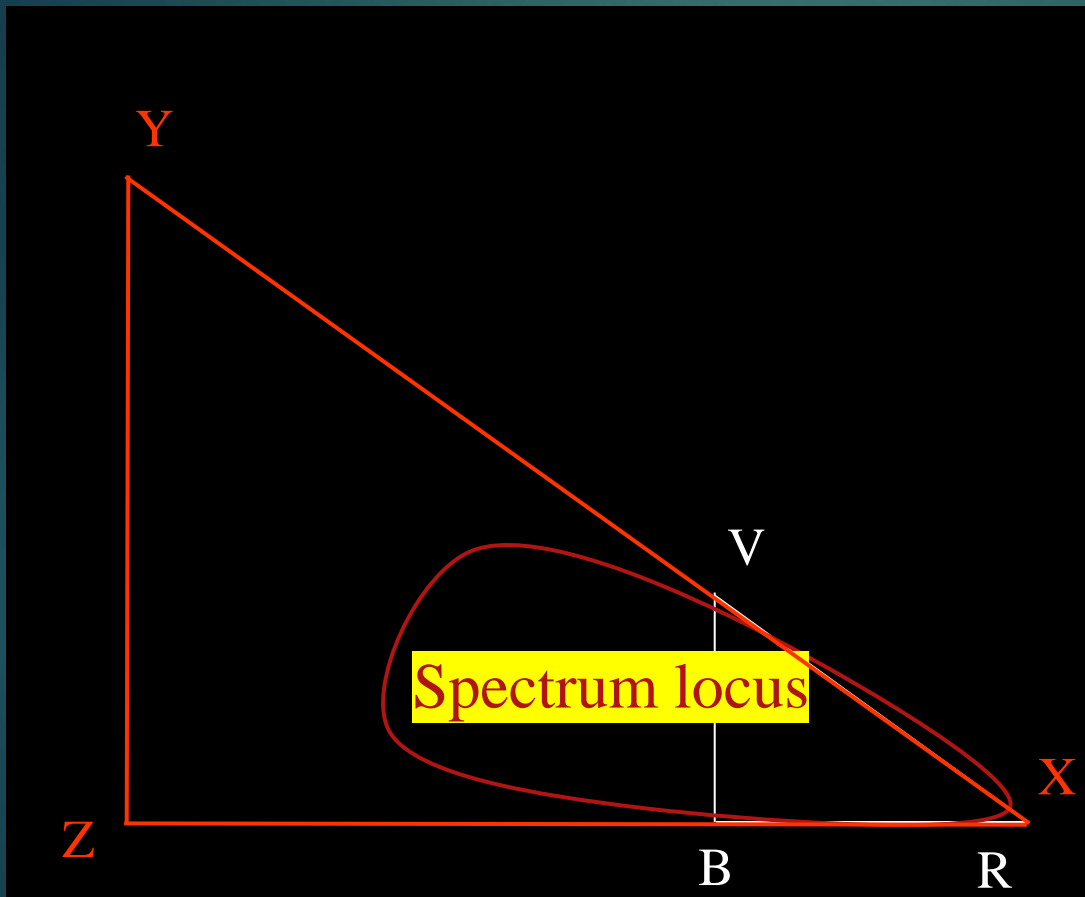
Sur chaque couche pixel avec un pourcentage d'une des couleurs.

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)



# V.4) Espace XYZ

68

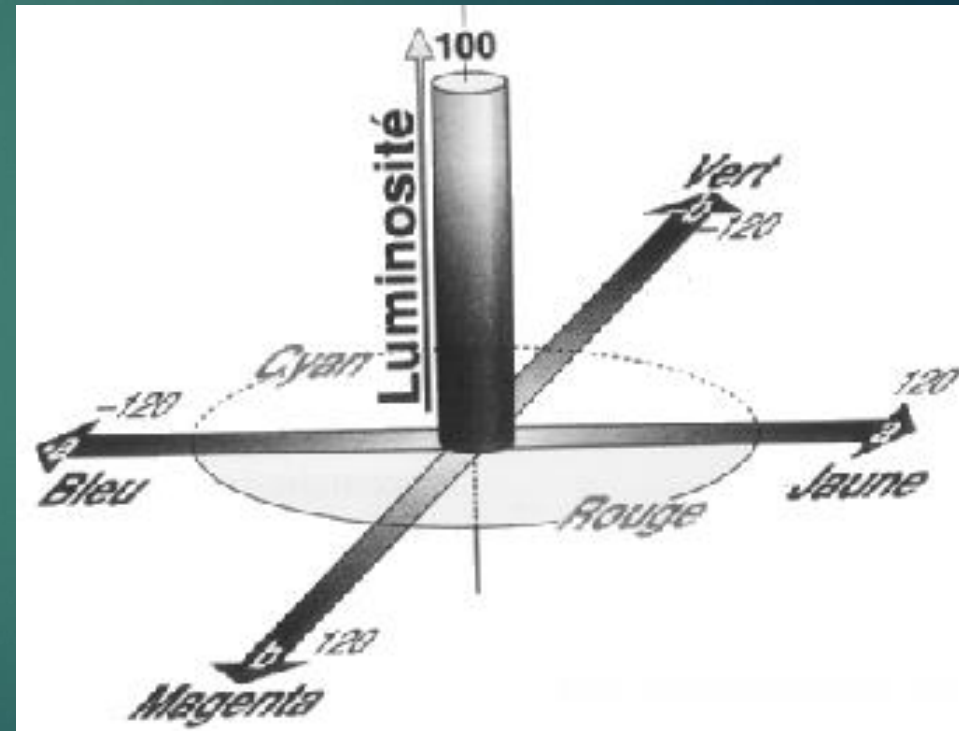


$$\begin{array}{l|l|l|l|l} \mathbf{X} & 0.7 & 0.3 & 0.2 & \mathbf{R} \\ \mathbf{Y} & 0.3 & 0.7 & 0 & \mathbf{G} \\ \mathbf{Z} & 0 & 0 & 0.8 & \mathbf{B} \end{array}$$

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

Couleurs définies par 3 valeurs : Luminosité (luminance) codée en pourcentages, a et b correspondent à l'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.



# V.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.

$$\text{Luminance : } Y = 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B$$

- ▶ RGB to YUV :
  - ▶  $Y = \dots$
  - ▶  $U = 0.492 (B - Y) + 128$
  - ▶  $V = 0.877 (R - Y) + 128$
- ▶ YUV to RGB
  - ▶  $R = ((Cr - 128)/0.877) + Y / 0.587$
  - ▶  $G = (Y - 0.299 * R - 0.114 * B)$
  - ▶  $B = ((Cb - 128)/0.877) + Y$
- ▶ RGB to YCrCb :
  - ▶  $Y = \dots$
  - ▶  $Cb = (B - Y) / (2 - 2 * 0.114 B) + 128 \quad (Cb = a (B - Y) )$
  - ▶  $Cr = (R - Y) / (2 - 2 * 0.299 R) + 128 \quad (Cr = b (R - Y) )$

# V.4) YUV et YCrCb

## ▶ RGB to YCrCb :

- ▶  $Y = 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B$
- ▶  $Cb = -0.1687 R - 0.3313 G + 0.5 B + 128$
- ▶  $Cr = 0.5 R - 0.4187 G - 0.0813 B + 128$

## ▶ YCrCb to RGB :

- ▶  $R = Y + 1.402 (Cr - 128)$
- ▶  $G = Y - 0.34414 (Cb - 128) - 0.714414 (Cr - 128)$
- ▶  $B = Y + 1.772 (Cb - 128)$

# V.4) YUV et YCrCb

72

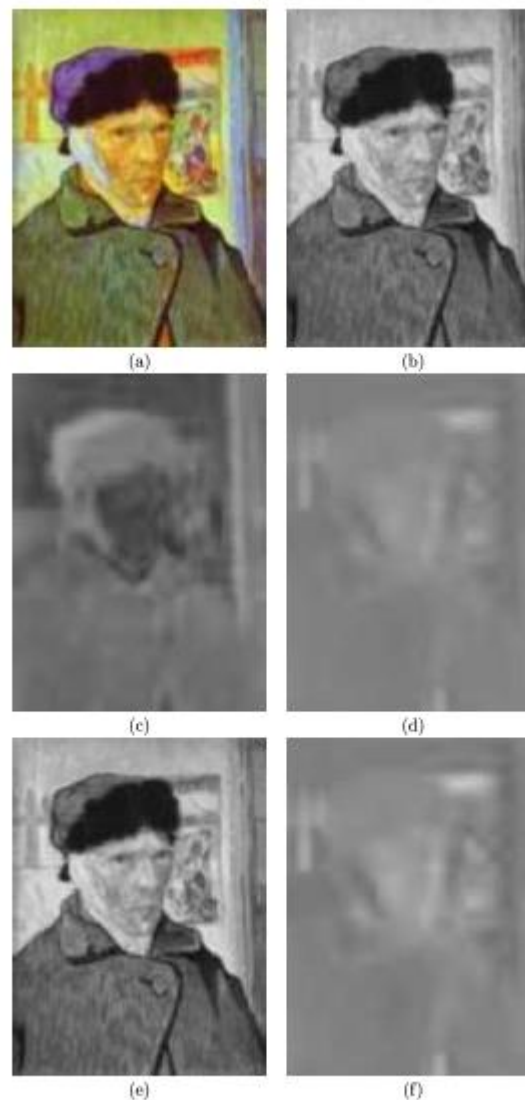


FIG. 3 - a) Image originale "Auto Portrait Oreille Bandée", b) Composante Y, c) Composante u, d) Composante v, e) Composante Cr, f) Composante Cb.

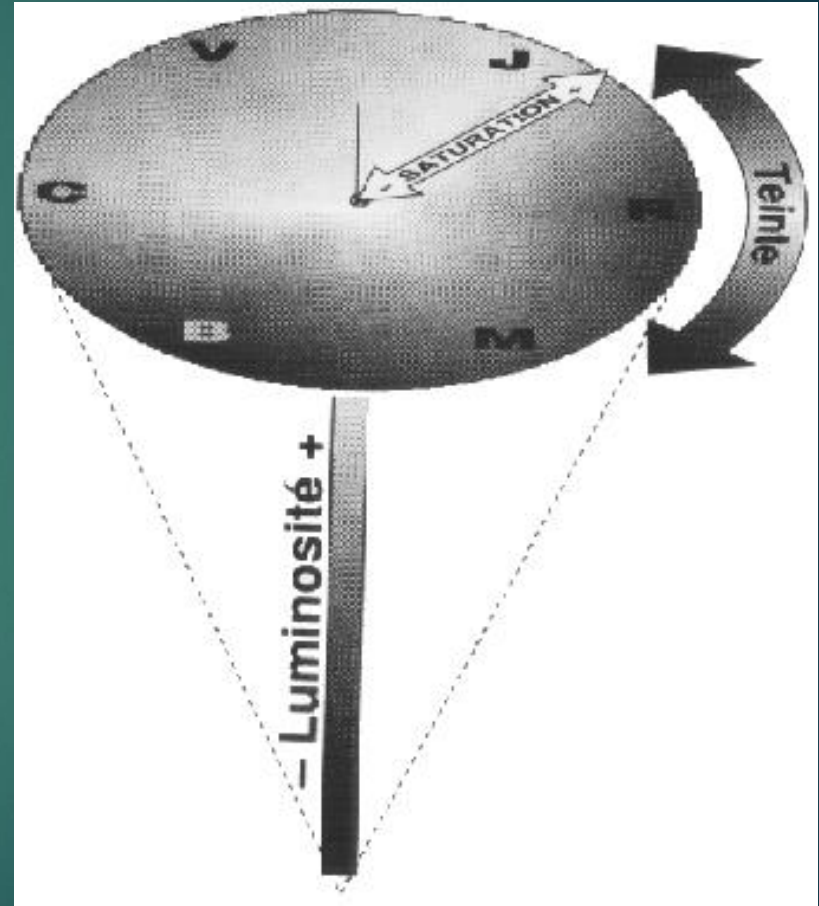


## V.4) TSL (HLS) : Teinte (Hue), Saturation, et Luminosité.

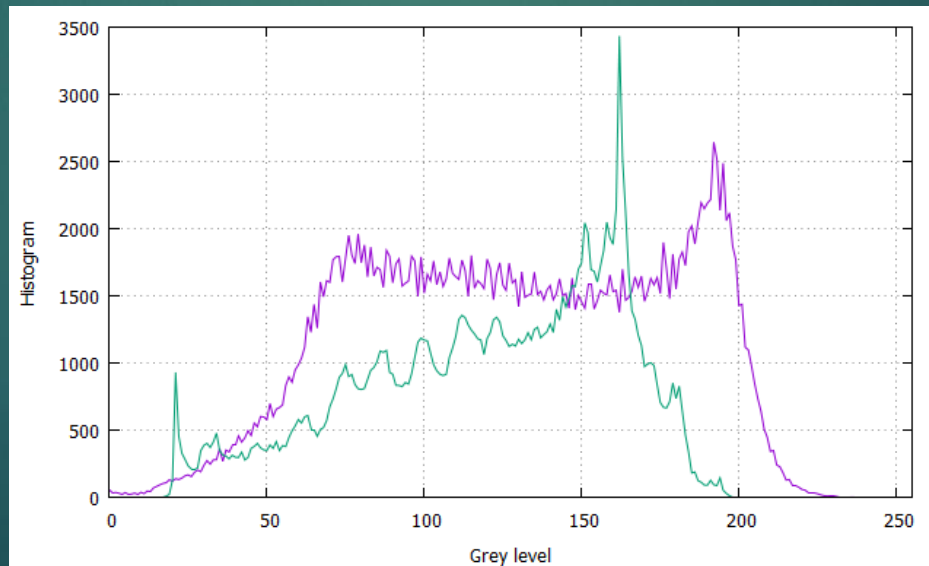
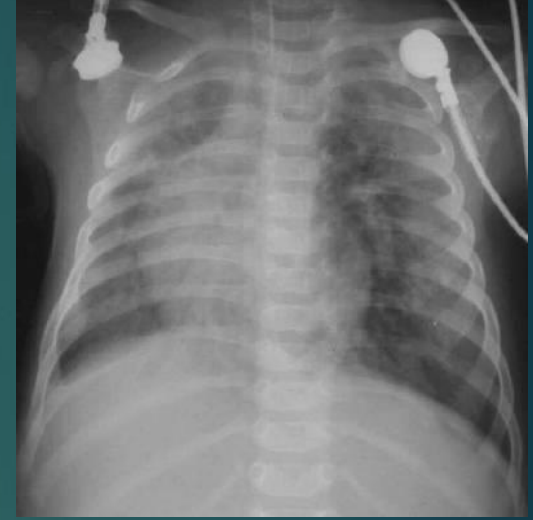
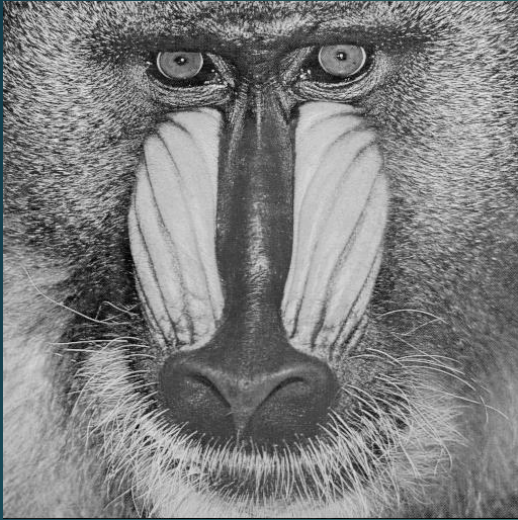
- ▶ Teinte : longueur d'onde de la lumière réfléchiée, ou transmise par un objet  $\Rightarrow$  emplacement sur la roue chromatique, ( $0^\circ < \text{angle} < 360^\circ$ ).

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.

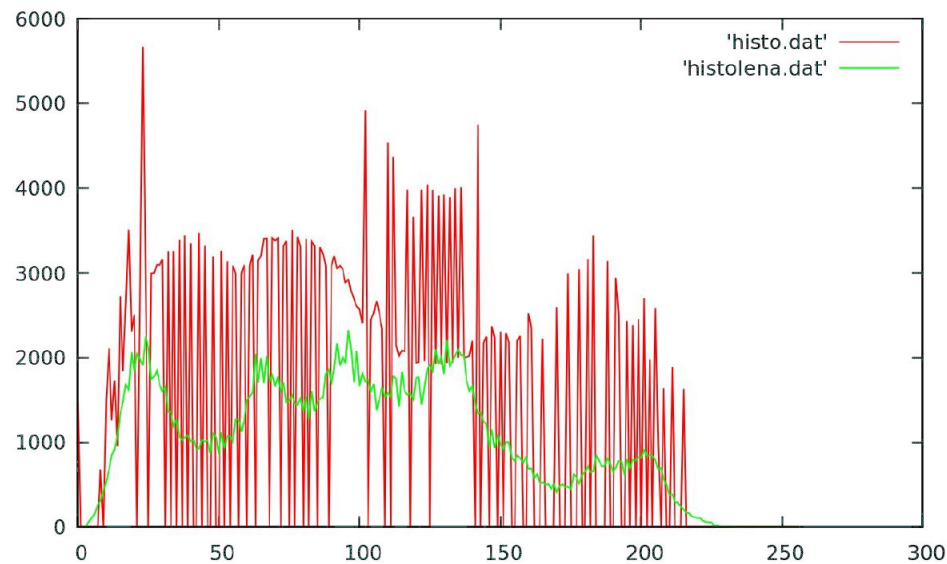


# Distances entre histogrammes



# Distances entre histogrammes

Histogramme de l'image spécifiée et de référence



# Mesures de similarité

- ▶ Calcul de distance ou mesure de similarité

Soit  $h_1$  et  $h_2$ , deux histogrammes de taille  $N$

- ▶ Intersection :  $d(h_1, h_2) = \sum_{i=1}^N \min [h_1(i), h_2(i)]$

- ▶ Corrélation :  $d(h_1, h_2) = \frac{\sum_{i=1}^N h_1(i)h_2(i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \bar{h}_1(i)^2 \sum_{i=1}^N \bar{h}_2(i)^2}}$  avec  $\bar{h}(i) = h(i) - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N h(i)$

- ▶ Chi-2 :  $d(h_1, h_2) = \sum_{i=1}^N \frac{[h_1(i) - h_2(i)]^2}{h_1(i) + h_2(i)}$

# Distances à partir de distributions de probabilité discrète

- ▶ Soit deux distributions de probabilité discrète  $p$  et  $q$

- ▶ Distance de Bhattacharyya :  $D_B(p, q) = -\ln(BC(p, q))$

avec :  $BC(p, q) = \sum_{x \in X} \sqrt{p(x)q(x)}$

- ▶ Distance de Jaccard :  $J_\delta(A, B) = 1 - J(A, B) = \frac{|A \cup B| - |A \cap B|}{|A \cup B|}$

[Wikipedia](#)

- ▶ Distance de Mahalanobis : mesure entre 2 vecteurs de même distribution [Wikipédia](#)

# Distance versus Divergence

78

- ▶ Distance = symétrie :  $D(a,b) = D(b,a)$
- ▶ Divergence :  $D(a,b) \neq D(b,a)$
- ▶ Divergence de Kullback-Leibler :

Soit deux distributions de probabilités discrètes P et Q :

$$D_{\text{KL}}(P\|Q) = \sum_i P(i) \log \frac{P(i)}{Q(i)}$$

- ▶ Divergence de Renyi
- ▶ Divergence de Tsallis