

Analyse et Traitement des images

WILLIAM PUECH

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

Plan

- I) Introduction
- II) Image : représentations mathématiques
- III) Acquisition et formation de l'image
- IV) Le système visuel humain
- V) Colorimétrie
- VI) Codage des images binaires

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)

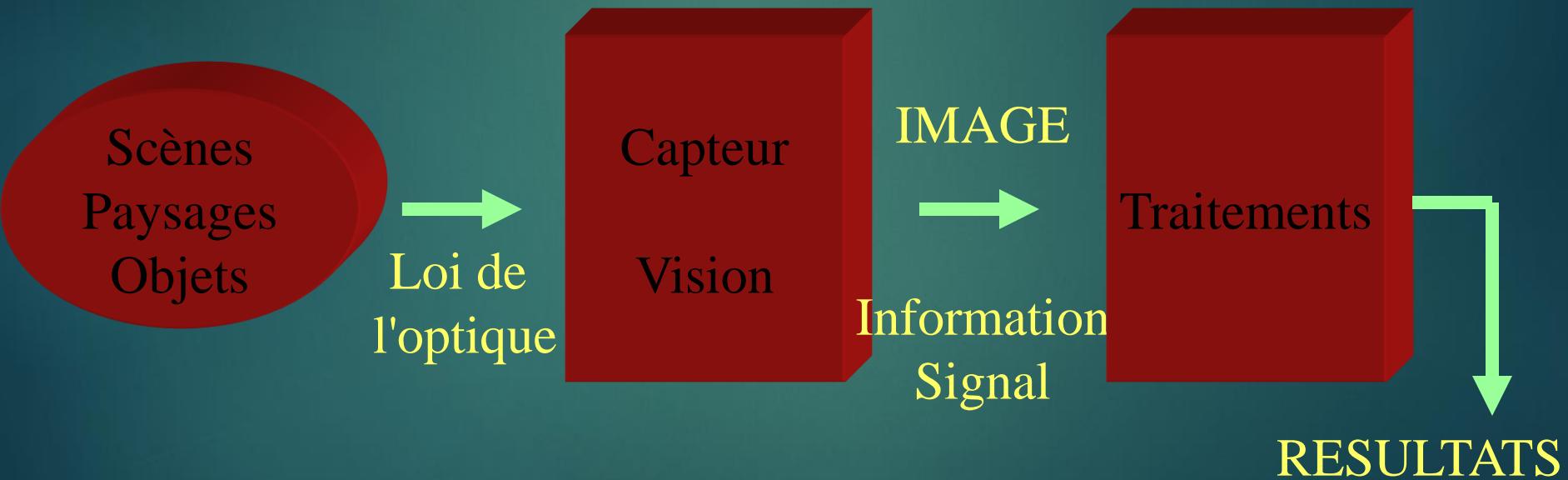
Vision : perception du monde extérieur par les organes de la vue.

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

9

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 corigeant 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 ?

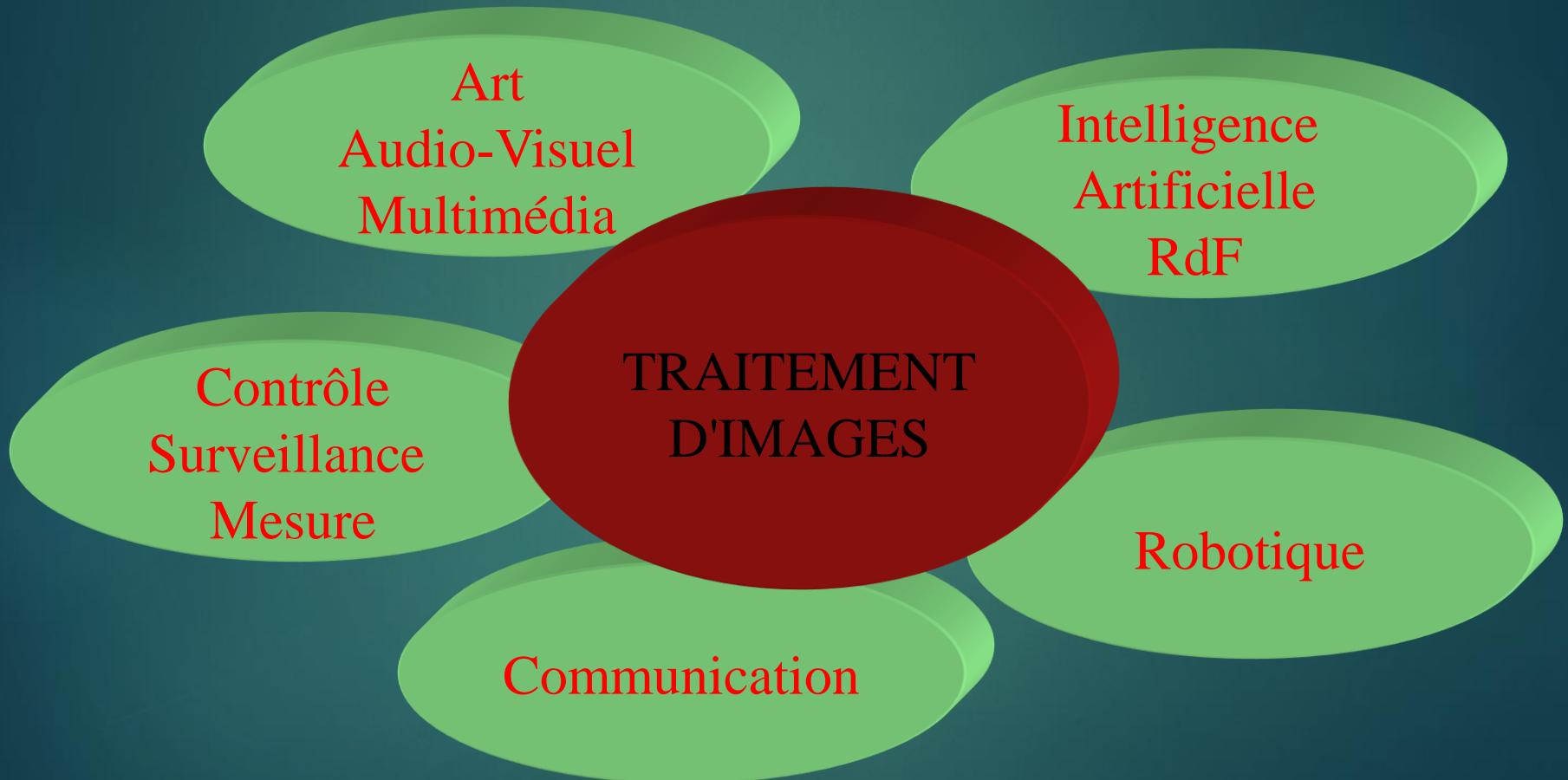
Compression, Codage, Transmission

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

- ▶ 1920 Transmission image par câble (New York - Londres) en quelques heures
- ▶ 1950 Origine du traitement d'images : analyses d'images dans les chambres à bulles (Rayons X, OCR, ...)
- ▶ Images de mauvaise qualité et très volumineuses (700x500 pixels sur 8 bits par image)

I) E) Historique et applications

- ▶ 1960 Trois domaines dominants de traitements numériques d'images spatiales :
- ▶ Restauration (corriger les défauts liés à l'acquisition)
- ▶ Amélioration (rendre l'image "belle" pour l'affichage)
- ▶ Compression (réduire le volume de l'image)

I) E) Historique et applications

- ▶ 1970 extraction automatique d'informations.
- ▶ Apparition de la notion de description structurelle.
- ▶ Nouveaux thèmes : seuillage, segmentation, extraction de contours, morphologie mathématique.
- ▶ Interprétation d'images : engouement explosif avec l'apparition des systèmes experts. Puis déception car échec !

I) E) Historique et applications

- ▶ Les raisons de l'échec : pas d'expert, le savoir trop complexe pour être modélisé, et oubli du modèle perceptif
- ▶ 1980 Explosion du traitement d'images "industriel" - Micro-informatique + capteurs
- ▶ De l'image 2D aux modèles tri-dim.
- ▶ Analyse du mouvement, vision pour la robotique (mouvement, 3D, détection d'obstacle, trajectoire)

I) E) Historique et applications

- ▶ 1990 Explosion des transmissions de données avec Internet
- ▶ De la vision passive à la vision active (prise en compte de l'observateur dans l'analyse de la scène).
- ▶ Et maintenant...
- ▶ On ne sait pas faire grand chose, mais au moins maintenant, on le sait !!

I) E) Historique et applications

- ▶ les bibliothèques numériques : acquisition (du papier ou de la vidéo vers le numérique)
- ▶ Représentation (quel codage ?), Transmission (codage et réseaux), Accès (Indexation/Recherche)
- ▶ Une nouvelle tentative pour l'interprétation (il ne s'agit plus d'interpréter pour interpréter mais d'interpréter pour rechercher)

I) E) Historique et applications 23

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



I) E) Historique et applications 24

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



I) E) Historique et applications 25

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



I) E) Historique et applications 26

► Sciences

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



I) E) Historique et applications 27

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



I) E) Historique et applications

28

► Domaine militaire

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



Les dix commandements de la vision par ordinateur

29

(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 avec passion le calcul de ton erreur.
 4. Tu te soucieras plus de l'importance de l'ordinateur (importance de l'humain).
 5. Tu honoreras l'**algébrisme**.
 6. Tu te soucieras de l'exactitude des résultats.
 7. Tu effectueras les tests nécessaires.
 8. Tu mettras des **chiffres** (pas de seuils de tolérance).
 9. Tu auras la **simplicité**.
 10. Tu ne croiras pas seulement à la caméra-vision (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

31

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

33

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

34

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

► distance de Manathan :

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

► 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_4 , et 8 avec la distance d_8 .

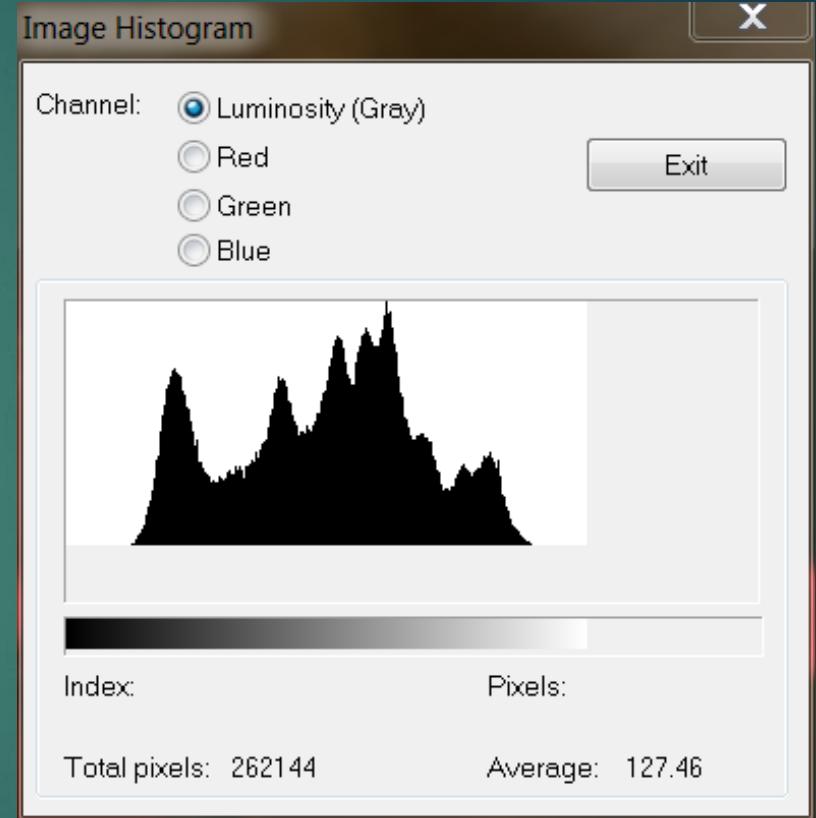
II) E) Histogramme

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

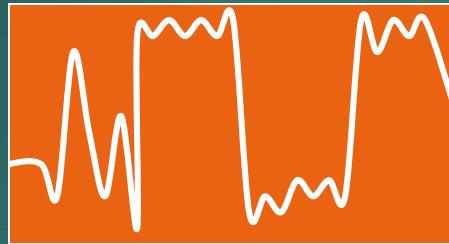
$$H(x) = \text{Card}\{P : I(P) = x\}$$

- ▶ $H(x)$ = 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



454578784545
454454545454
789523223232
454887652222

Bords,
Segments,
Lignes, ...

ANALOGIQUE
OPTIQUE

10^{10} bits



Trans. Optique
Capteurs

ANALOGIQUE
ELECTRIQUE

10^8 bits



Electronique

NUMERIQUE

10^6 bits



Algorithmique
Trait. du signal

PRIMITIVES
BAS NIVEAU

10^4 bits

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

Bords,
Segments,
Lignes, ...

Contours
Régions

Cercle jaune
texture verte
...

Soleil
Nuage
arbre, ...

PRIMITIVES
BAS NIVEAU

10^4 bits



Segmentation

SEGMENTS

10^3 bits



Paramétrisation

PRIMITIVES
HAUT NIVEAU

10^2 bits



Reconnaissance

LISTES
D'OBJETS

10 bits

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) Acquisition et formation de l'image

Formation de l'image

- ▶ Énergie lumineuse,
- ▶ radiométrie,
- ▶ photométrie,
- ▶ système de prise de vue.

III) Formation de l'image

42

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 (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,

λ = longueur d'onde en m

III) Formation de l'image

44

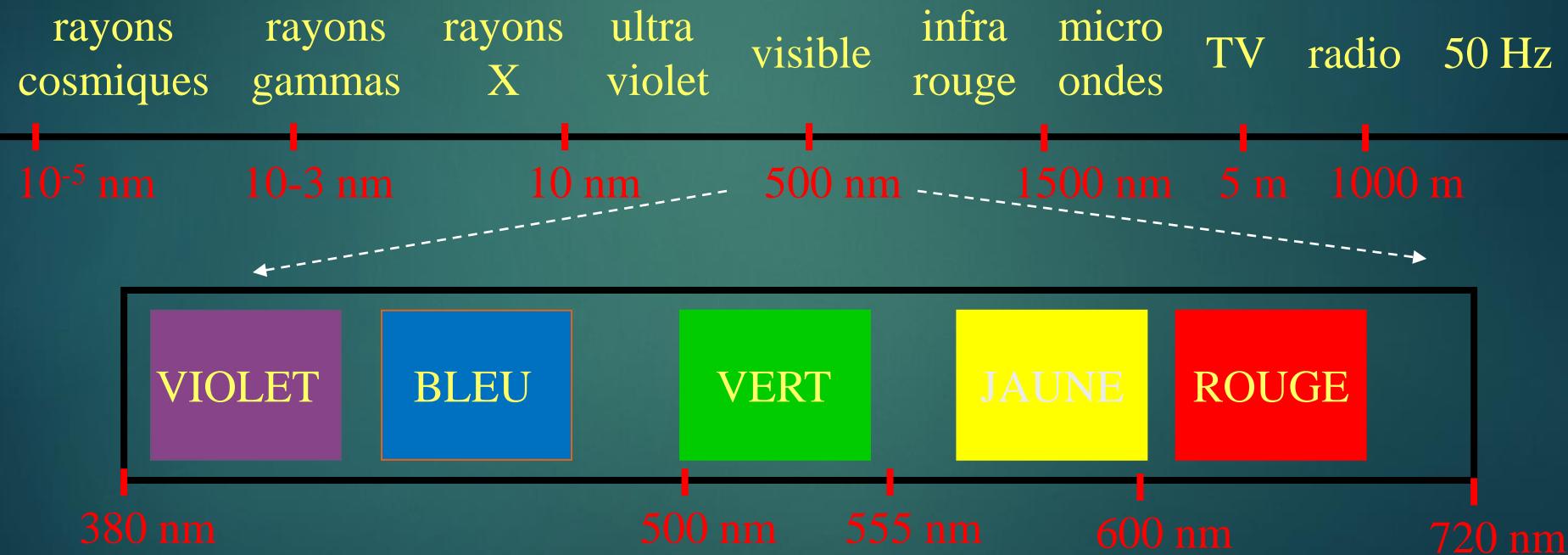
1) Energie lumineuse- Classification fréquentielle des ondes lumineuses

- ▶ 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

45

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

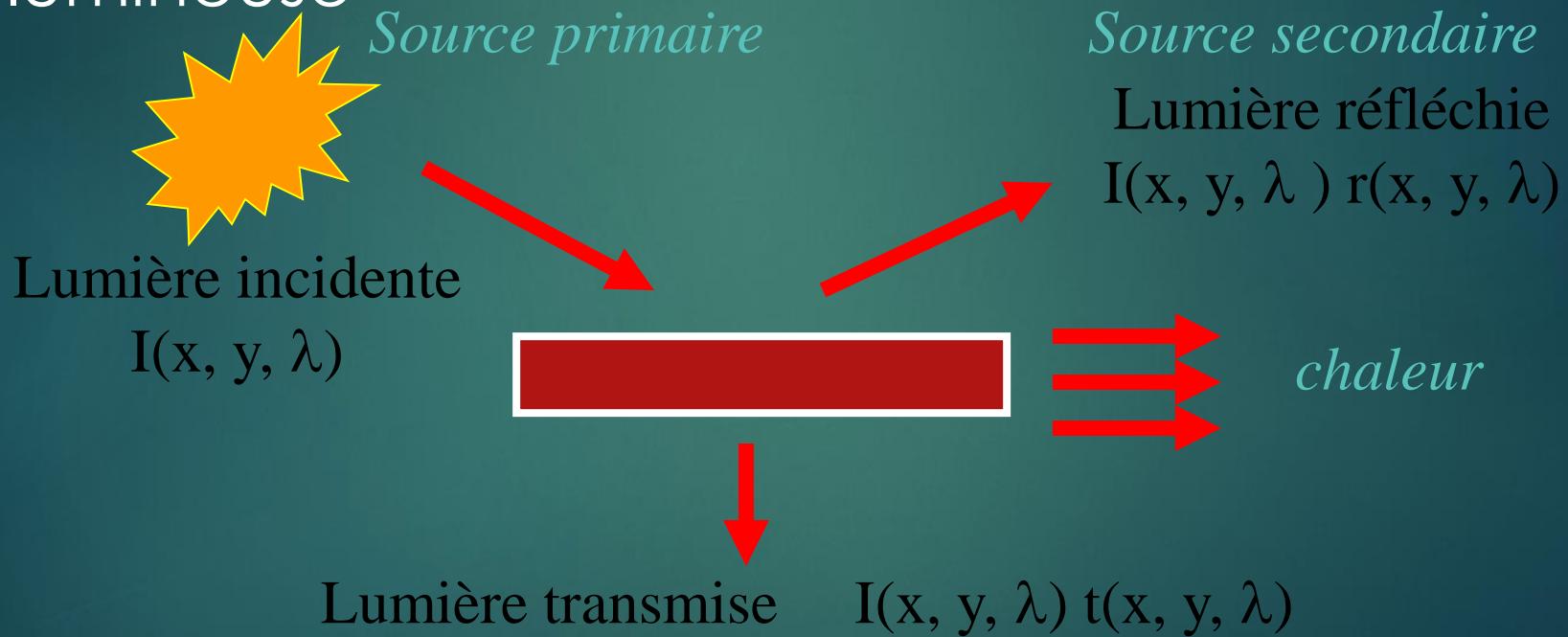
– Si $T \nearrow$ le spectre \rightarrow longueur d'onde courte.

III) Formation de l'image

47

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 λ correspondante
(vert, rouge)

III) Formation de l'image

49

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 ($W \cdot sr^{-1}$)

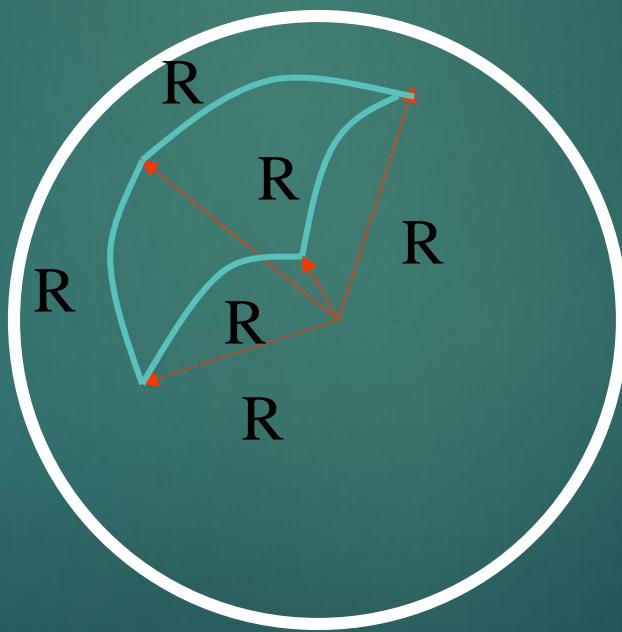
$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

III) Formation de l'image

51

2) Radiométrie : le stéradian

"Angle solide qui ayant son sommet au centre d'une sphère, découpe sur la surface de cette sphère une aire égale à celle d'un carré ayant pour coté le rayon de la sphère."



III) Formation de l'image

52

2) Unités radiométriques : Surface Lambertienne

- ECLAIREMENT ÉNERGÉTIQUE

(W.m⁻²)

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

- EMMITTANCE ÉNERGÉTIQUE

(W.m⁻²)

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

- LUMINANCE ÉNERGÉTIQUE

(W.m⁻².sr⁻¹)

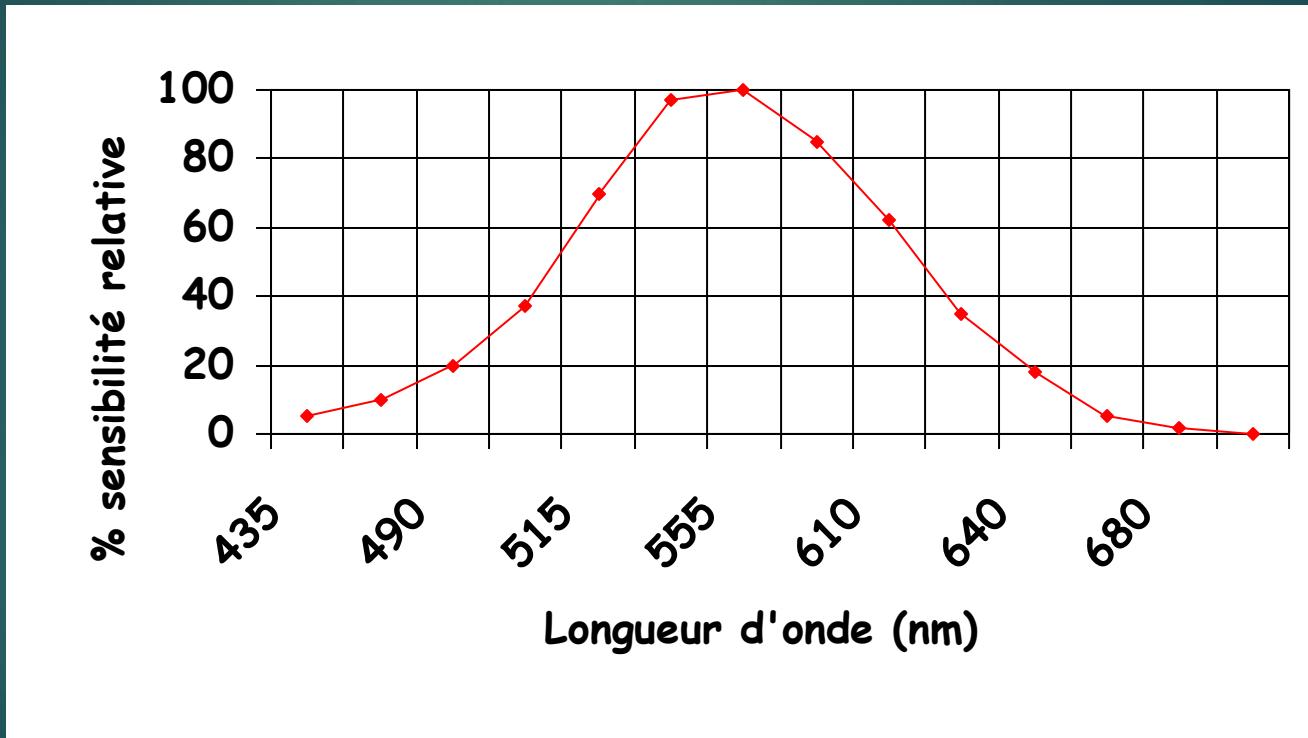
$$L = \frac{d^2\Phi_\theta}{d\Omega dS \cos(\theta)}$$

III) Formation de l'image

53

3) Photométrie

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



III) Formation de l'image

54

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 $1/683 \text{ W} \cdot \text{sr}^{-1}$ "

<u>Radiométrie</u>	<u>Photométrie</u>
Flux éner. W	Flux lumineux Lumen (L)
Intensité éner. W.sr ⁻¹ (cd)	Intensité lumineuse Candela
ECLAIREMENT éner. W.m ⁻²	ECLAIREMENT Lux (=Lm. m ⁻²)
Luminance éner. W .m ⁻² .sr ⁻¹	Luminance nit (=cd. m ⁻²)

III) Formation de l'image

3) Unités photométriques :

Efficacité lumineuse

$$k = \frac{\text{flux lu min eux}}{\text{flux énergétique}}$$

à 555 nm, $k = 683$ pour le soleil, $k = 250$

III) Formation de l'image

56

3) Quelques valeurs

nuit sombre 10^{-4} Lux

ciel étoilé 10^{-3} Lux

pleine lune 10^{-1} Lux

norme couloir >50 Lux

norme salle de lecture >300 Lux

jour ciel ouvert 10^3 Lux

table d'opération 10^5 Lux

minimum visible 10^{-5} nit

vert luisant 50 nits

flamme $15 \cdot 10^3$ nits

papier blanc soleil $30 \cdot 10^3$ nits

arc électrique $1.5 \cdot 10^8$ nits

soleil $1.5 \cdot 10^9$ nits

III) Formation de l'image

57

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 π .

$$M = \pi L$$

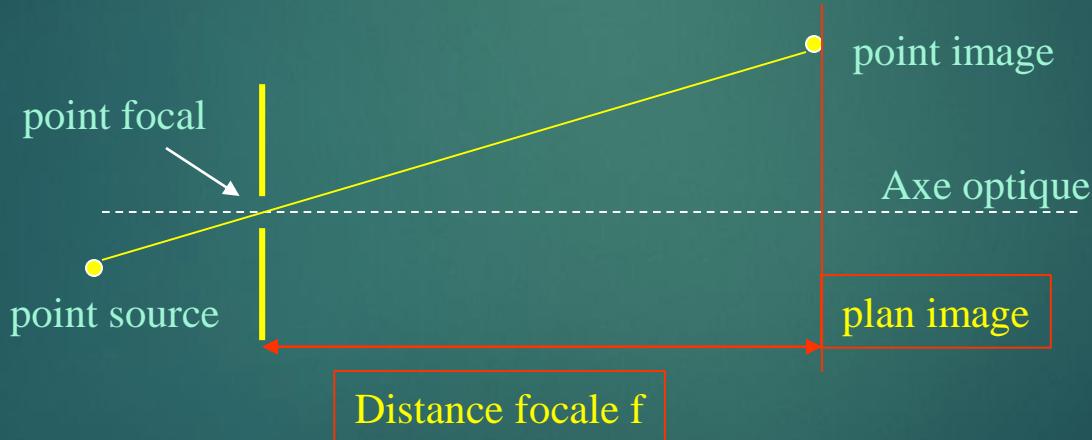
III) Formation de l'image

58

4) Systèmes de prise de vue

Une scène 3D doit être représentée sur un support 2D (film, CCD, ...)

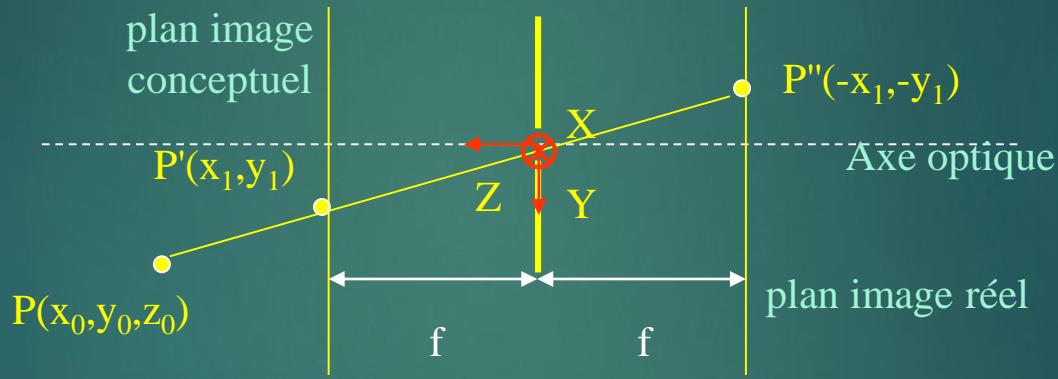
4.1 Appareil à sténopé (trou d'épingle)



III) Formation de l'image

59

4.1 Appareil à sténopé : système réel et conceptuel



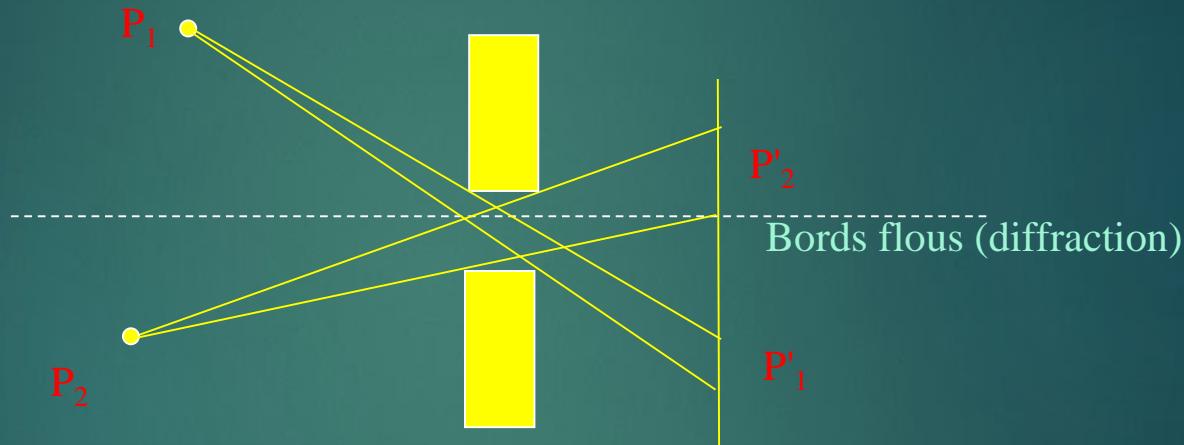
$$x_1 = f \frac{x_0}{z_0}$$

$$y_1 = f \frac{y_0}{z_0}$$

III) Formation de l'image

60

4.1 Appareil à sténopé : inconvénients

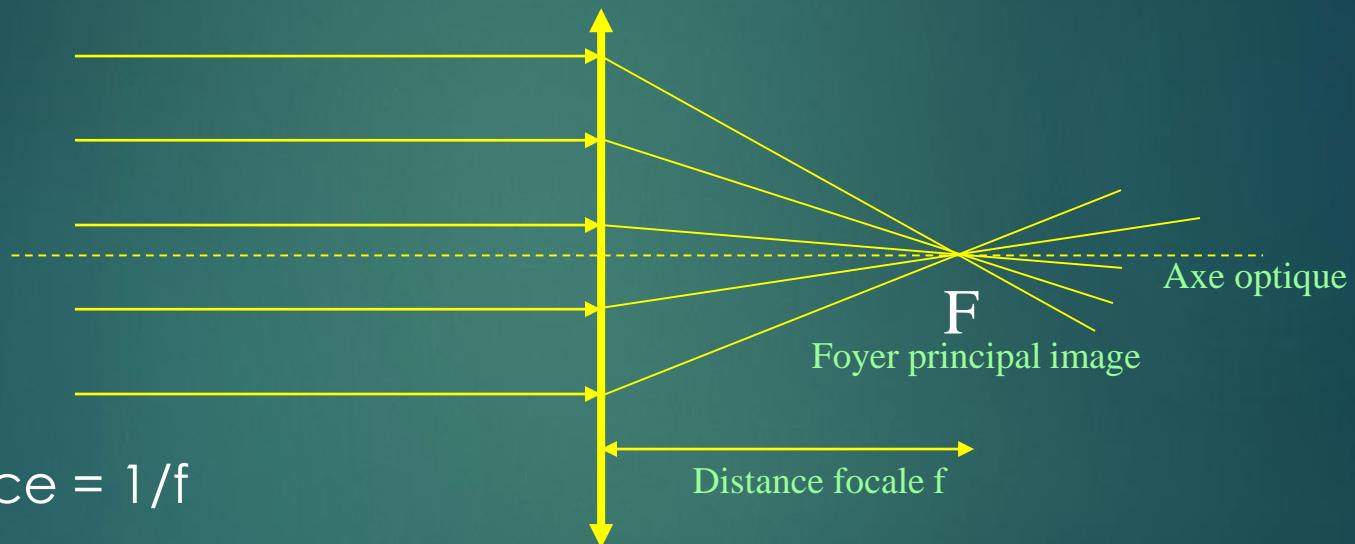


sensible : épaisseur de la plaque et aux positions des sources lumineuses.

III) Formation de l'image

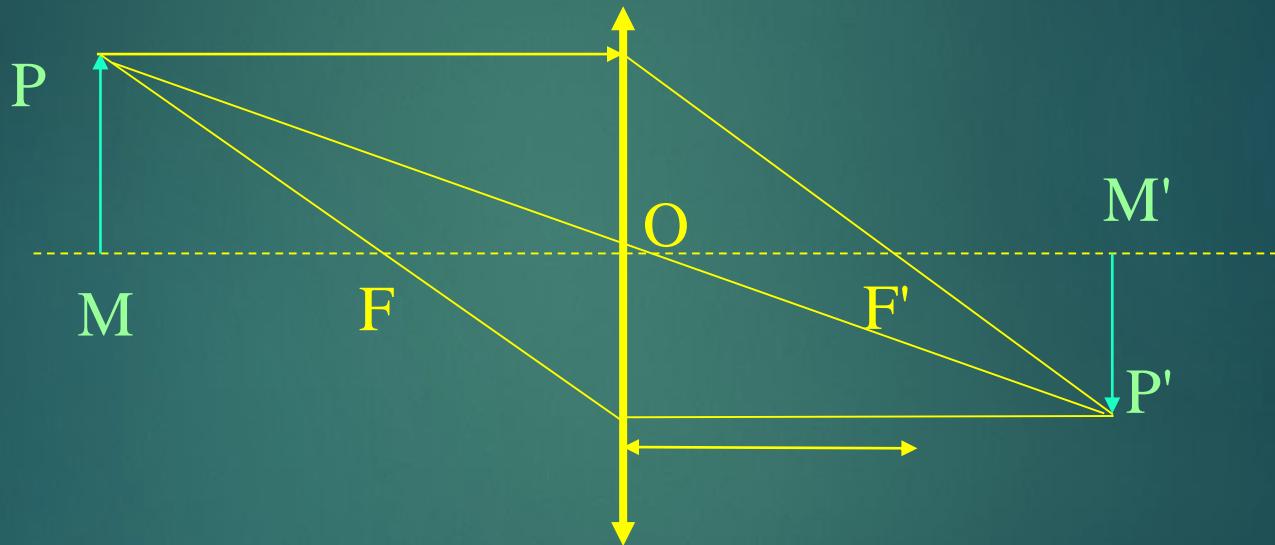
61

4.2 Systèmes optiques à lentilles lentille convergente



III) Formation de l'image

4.2 Formules de DESCARTES lentille convergente



$$\frac{1}{OM} + \frac{1}{OM'} = \frac{1}{OF} = \frac{1}{OF'}$$

$$\frac{M'P'}{MP} = \frac{OM'}{OM}$$

III) Formation de l'image

63

4.2 Aberrations optiques

- ▶ aberration sphérique : les rayons d'un point ne convergent pas tous en un seul point : **flou** .
Si taille lentille ↗ alors flou ↗ : diaphragme
- ▶ astigmatisme : trajet différent en fonction des axes vertical et horizontal de la lentille.
- ▶ Le défaut de coma (forme en goutte d'eau) : grossissement différent par rapport à l'écart à l'axe.

III) Formation de l'image

4.2 distorsions géométriques

- ▶ liées à la qualité de l'optique
 - ▶ objectif grand angle
 - ▶ balayage d'une caméra
- ▶ distorsion tonneau
- ▶ distorsion coussin
- ▶ pour diminuer ces distorsions
 - ▶ ↗ le prix
 - ▶ correction par traitement d'images

IV) Le système visuel humain

La vision humaine

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

IV) La vision humaine

66

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

67

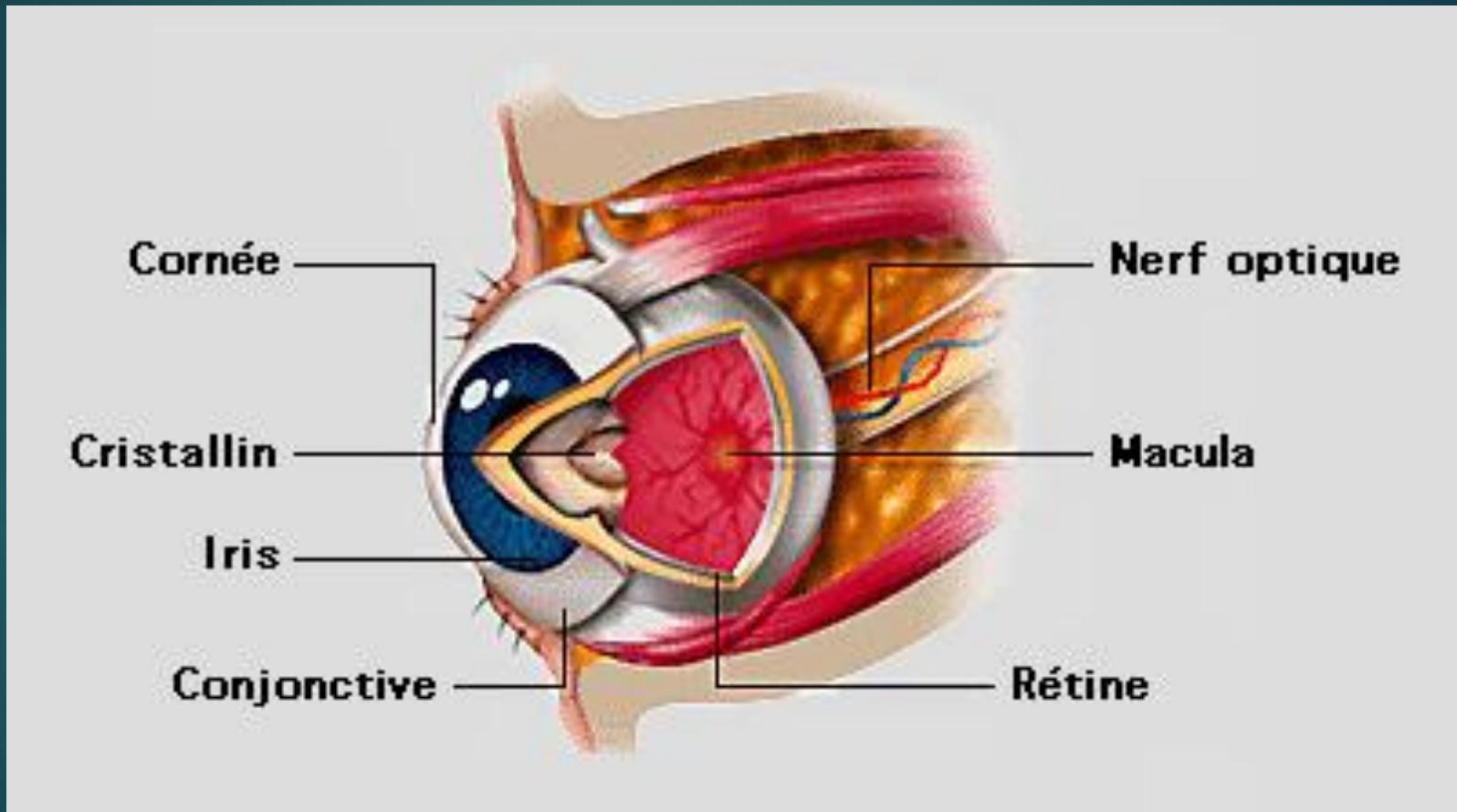
1. Le capteur œil : composants principaux :

- ▶ 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

68

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

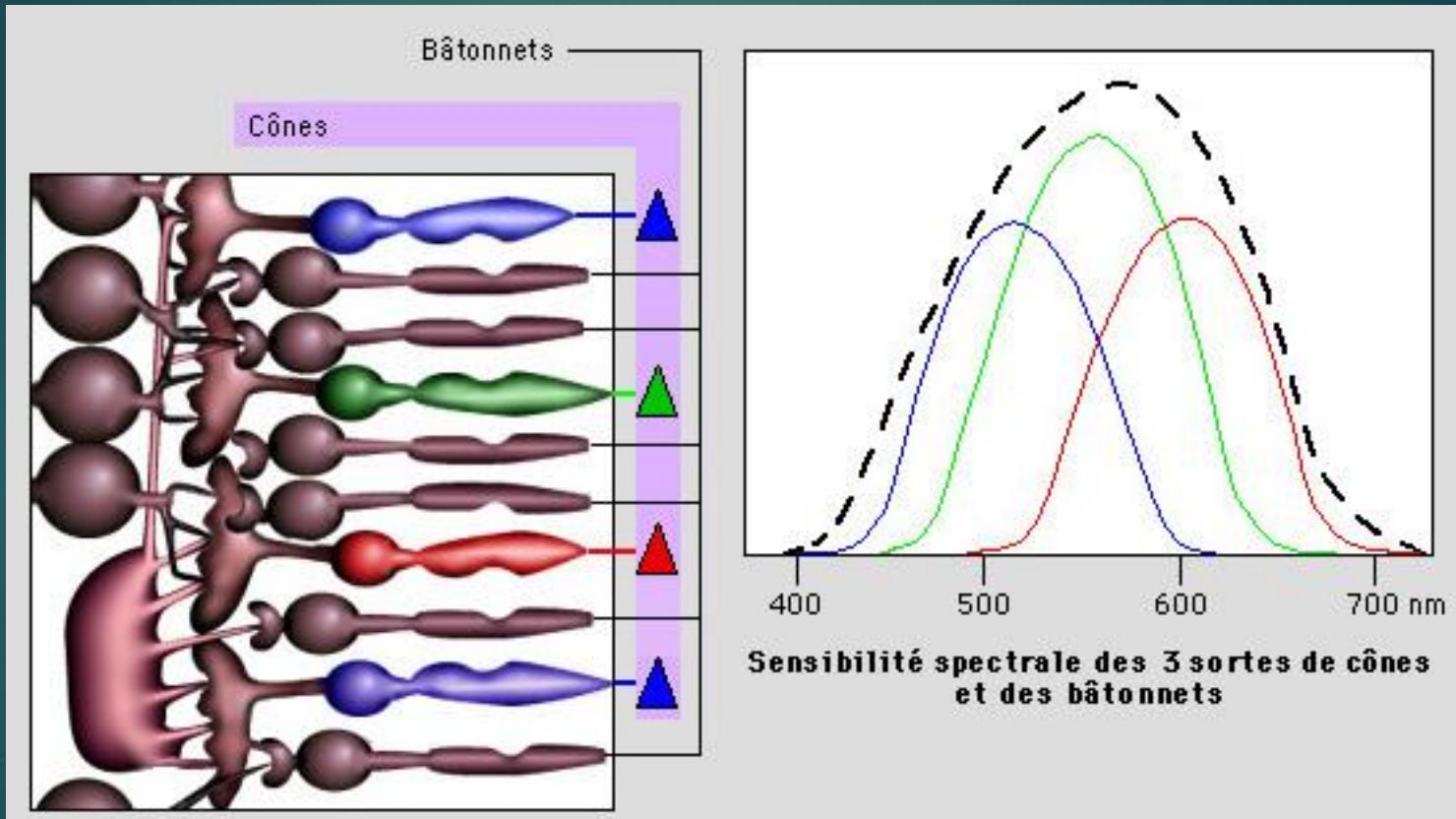
► Bâtonnets :

- ▶ vision scotopique (nocturne)
- ▶ Faible intensité, achromatique
- ▶ 120 millions
- ▶ Zone extra fovéale

IV) La vision humaine

70

1. Les photos-récepteurs de la rétine



IV) La vision humaine

71

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° 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

72

2 . La vision achromatique

Caractéristiques statiques et dynamiques

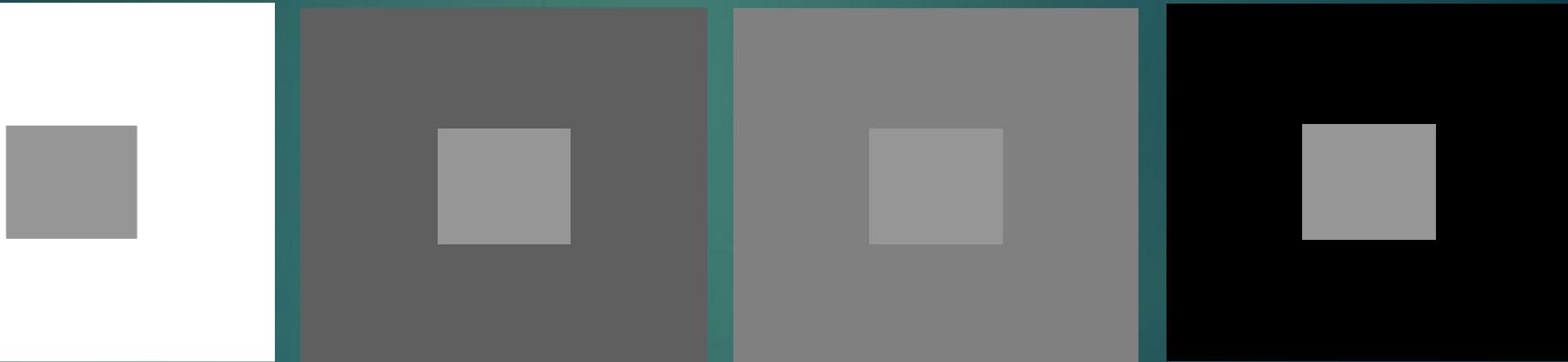
- ▶ Non linéaire.
- ▶ Forte adaptation au niveau de luminance (échelle de 10^{10}).
- ▶ Transition scotopique-photopique graduelle
- ▶ Discrimination de luminance : de 50 à 100 niveaux
- ▶ Constante de temps d'adaptation pour les cônes et les bâtonnets.

IV) La vision humaine

73

2 . La vision achromatique

Seuil différentiel de luminance

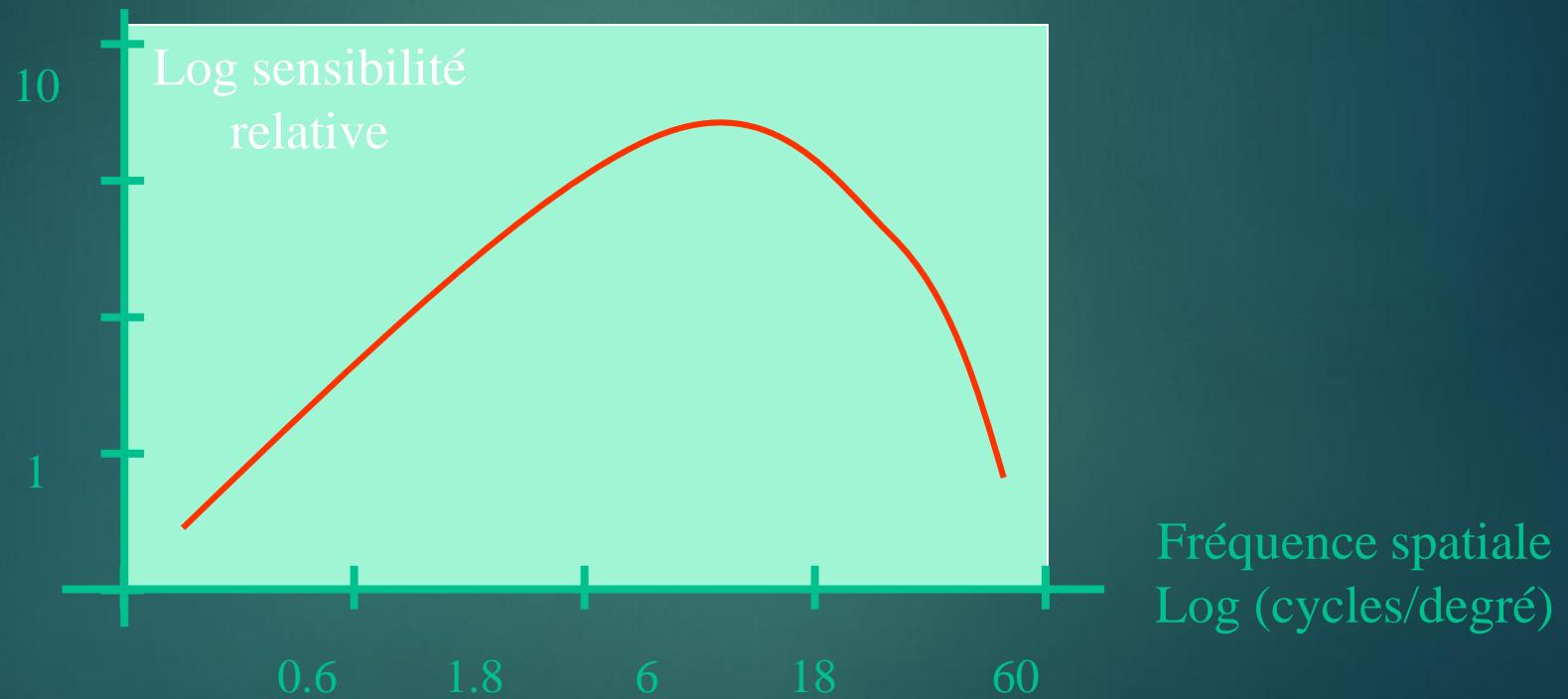


IV) La vision humaine

74

2 . La vision achromatique

Réponse en fréquence spatiale



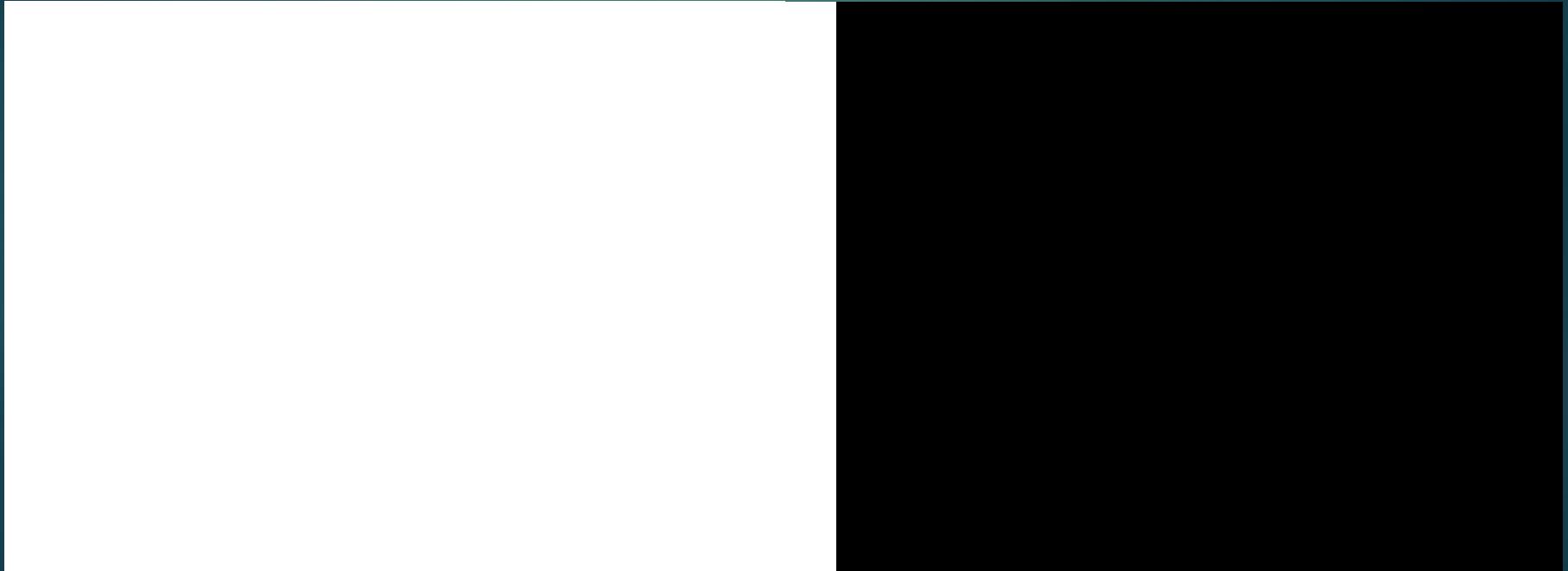
IV) La vision humaine

75

2 . La vision achromatique

Rehaussement physiologique des contours

transition en luminance : objectif \neq subjectif



IV) La vision humaine

76

3 . Autres caractéristiques de la vision

Vision chromatique

Vision tridimensionnelle

Perception du mouvement

IV) La vision humaine

77

4 . Système de traitement visuel humain

Performance

Architecture

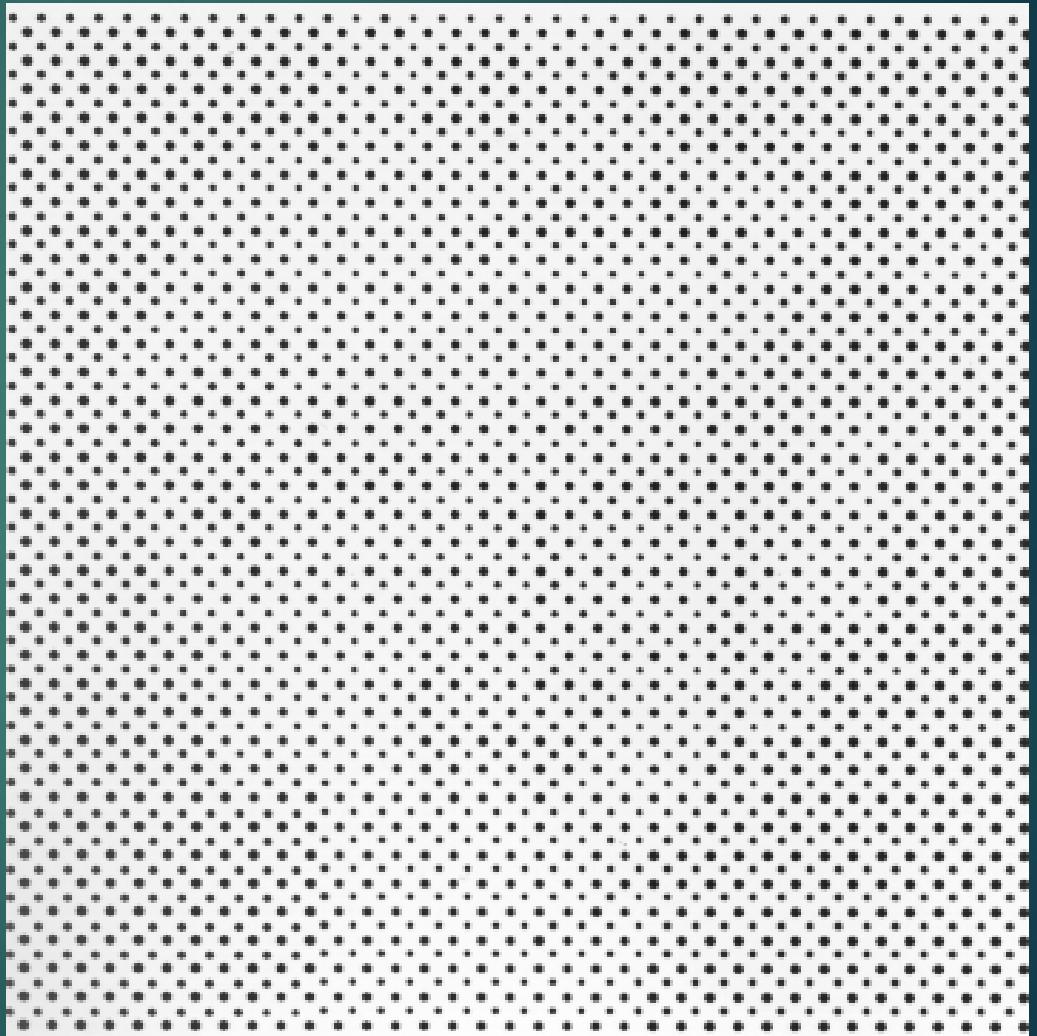
Illusions optiques

IV) La vision humaine

78

Illusions optiques

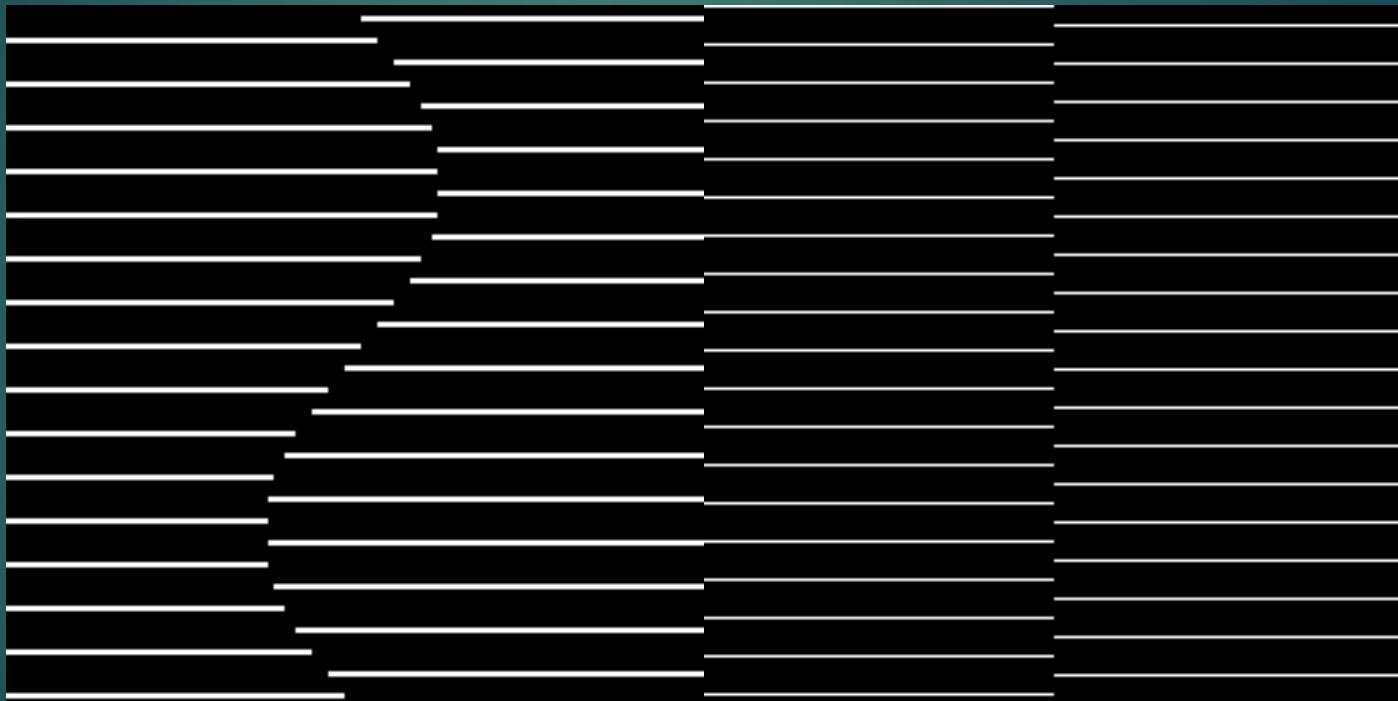
système visuel humain = référence. Pas un système parfait et piégeable : Que voyez-vous ? Rien, alors reculez-vous un peu ...



IV) La vision humaine

79

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

80

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

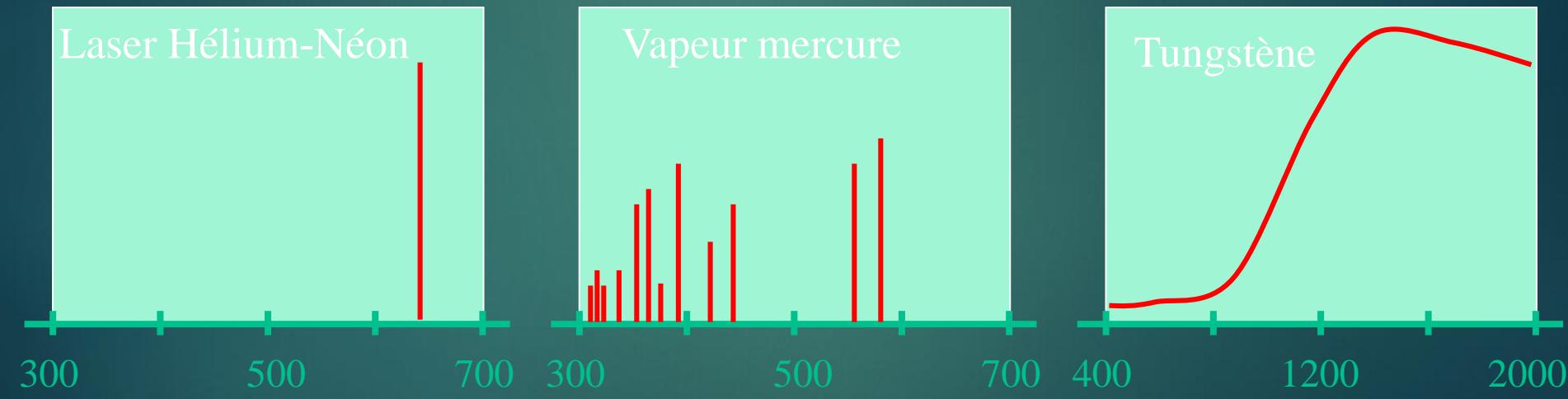
81

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

V.1) Colorimétrie : Principe

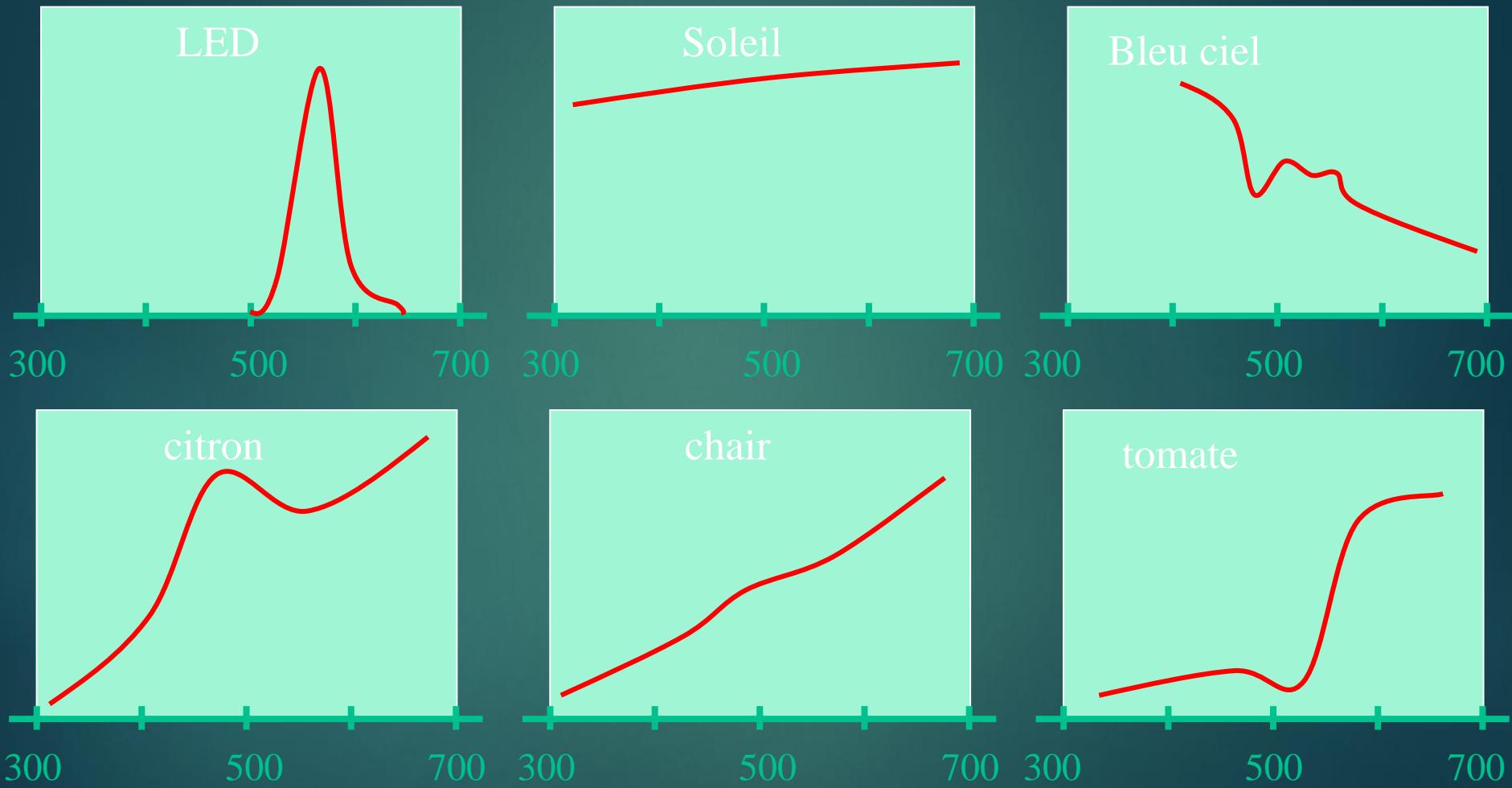
82

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



V.1) Colorimétrie : Principe

83



V.2) Trichromie et trivariance

84

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 λ et des luminances de C_λ et de C_b .

- ▶ C_x : lumière colorée quelconque
- ▶ C_λ : lumière monochromatique
- ▶ C_b : lumière blanche

$$C_x = C_\lambda + C_b$$

V.3) Synthèse soustractive

85

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

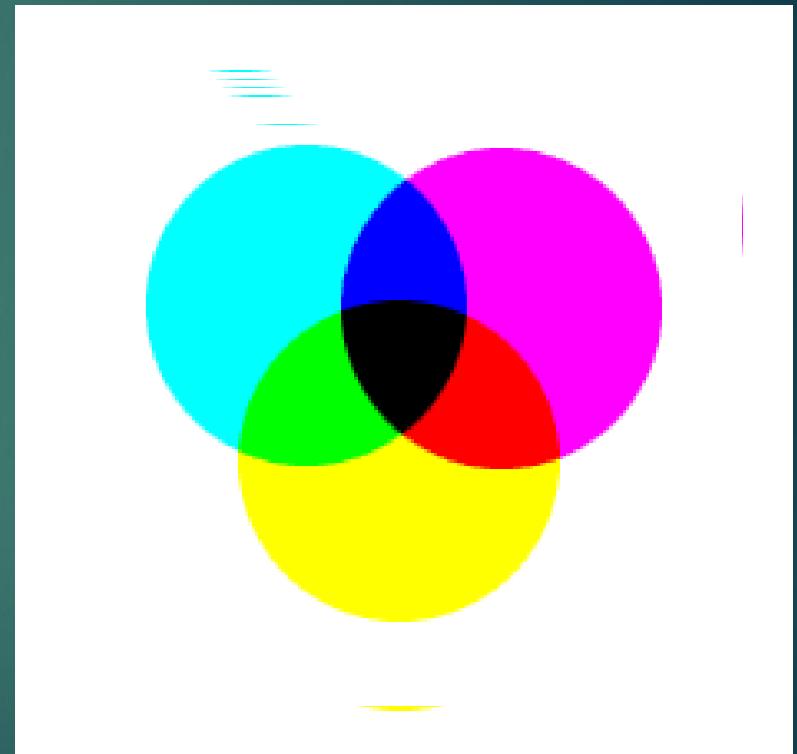
Les nuances intermédiaires par variation de l'absorption des filtres.

Utilisée pour l'impression des couleurs.

V.3) Synthèse soustractive

86

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



V.3) Synthèse additive

87

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

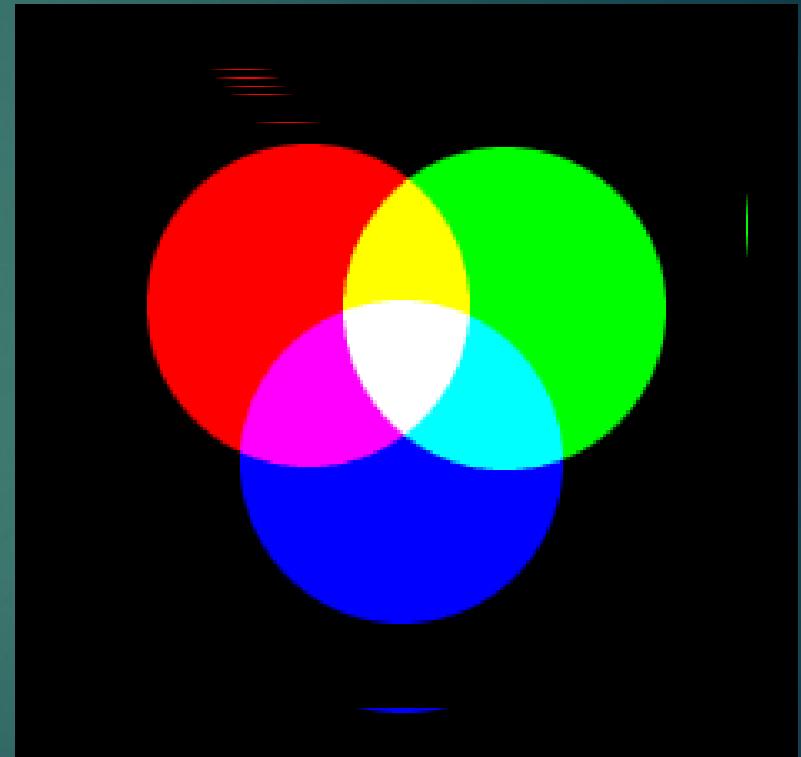
Rouge + Vert + Bleu => Blanc

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

V.3) Synthèse additive

88

⇒ 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.

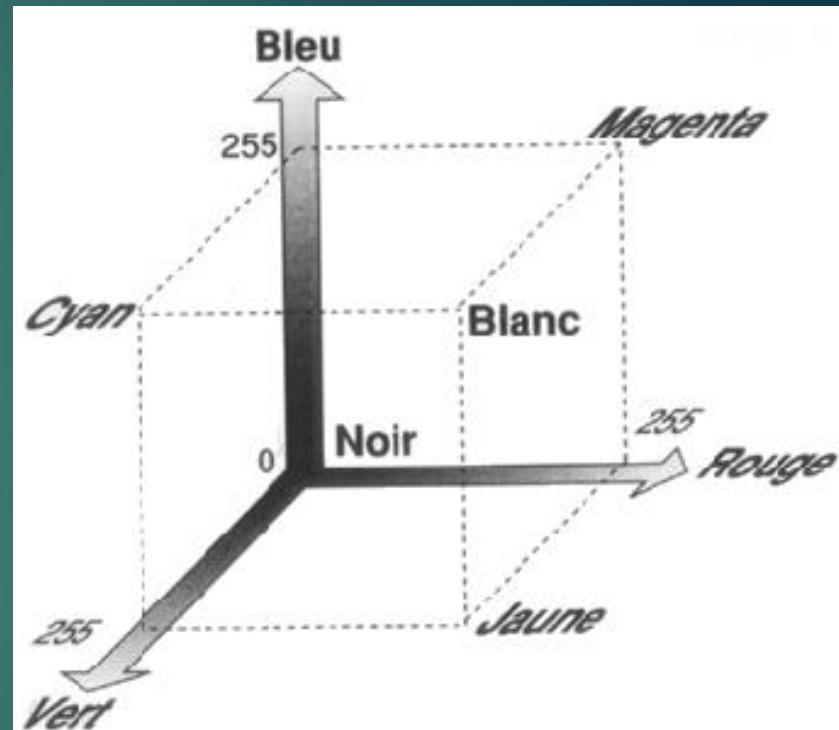
V.4) RVB (RGB): Red Green Blue

90

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

91



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

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

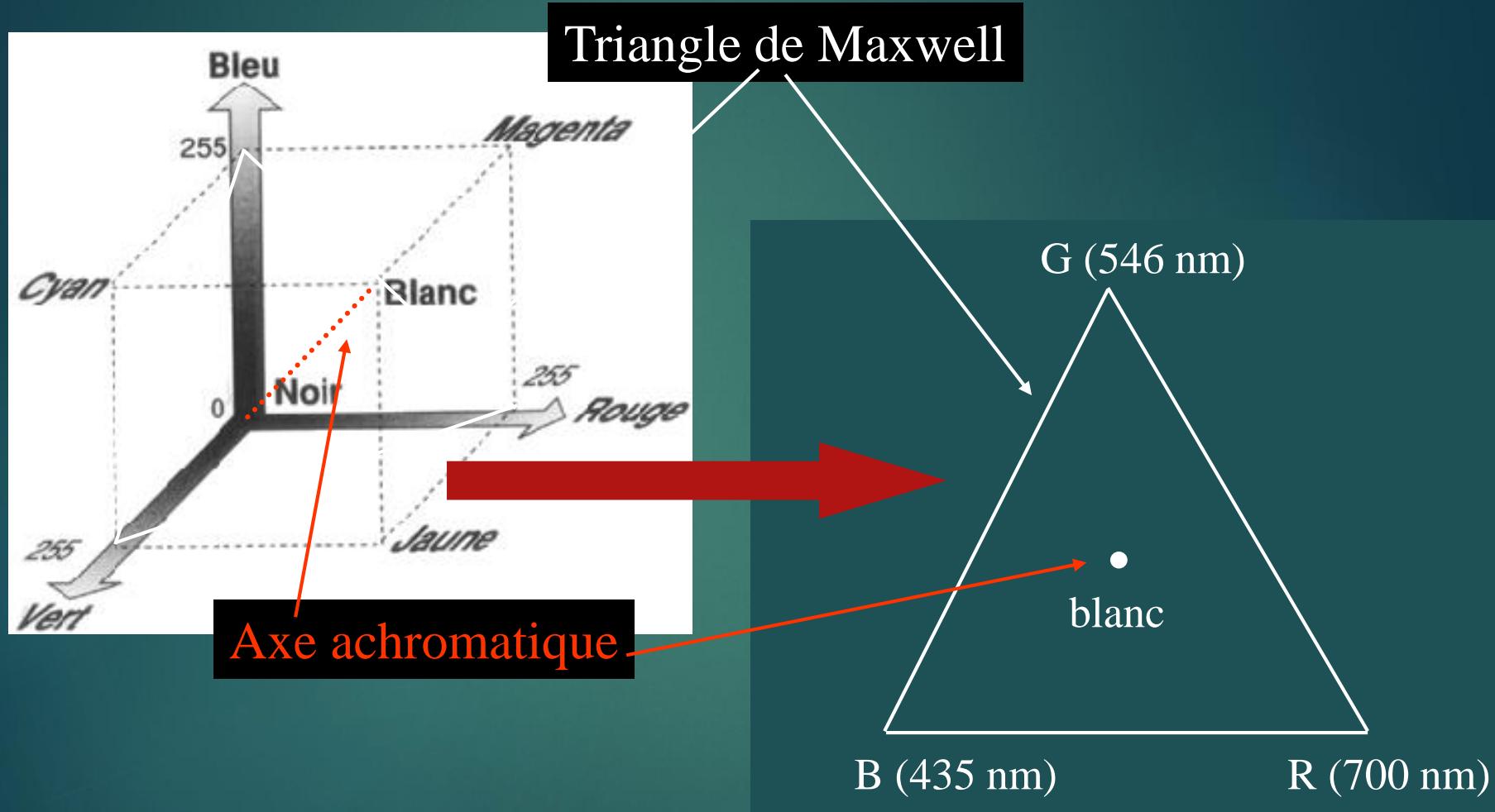
92



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

93

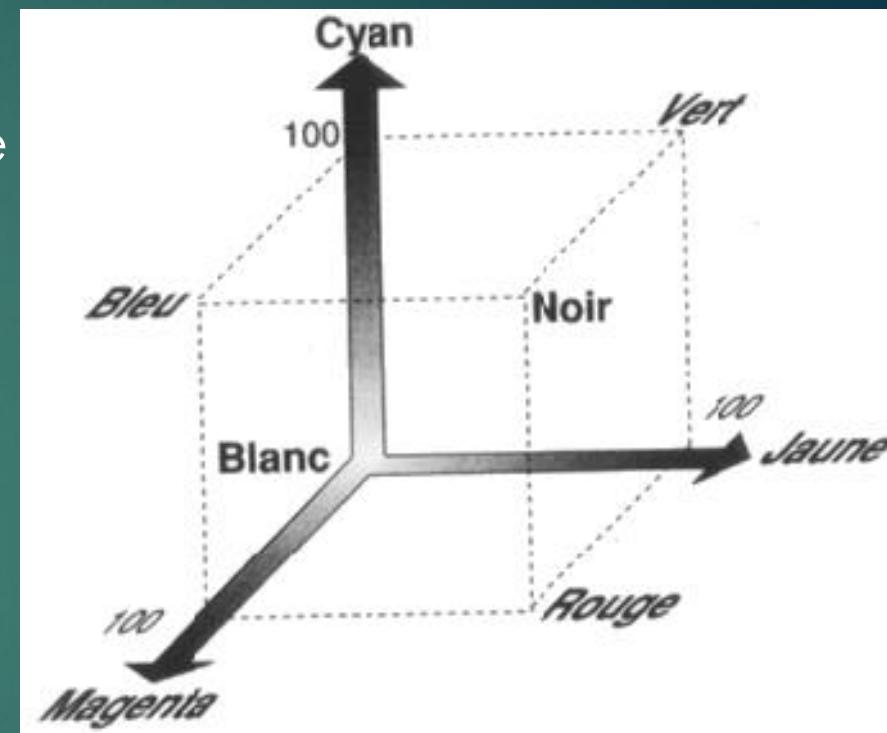


V.4) CMYK : Cyan Magenta Yellow black

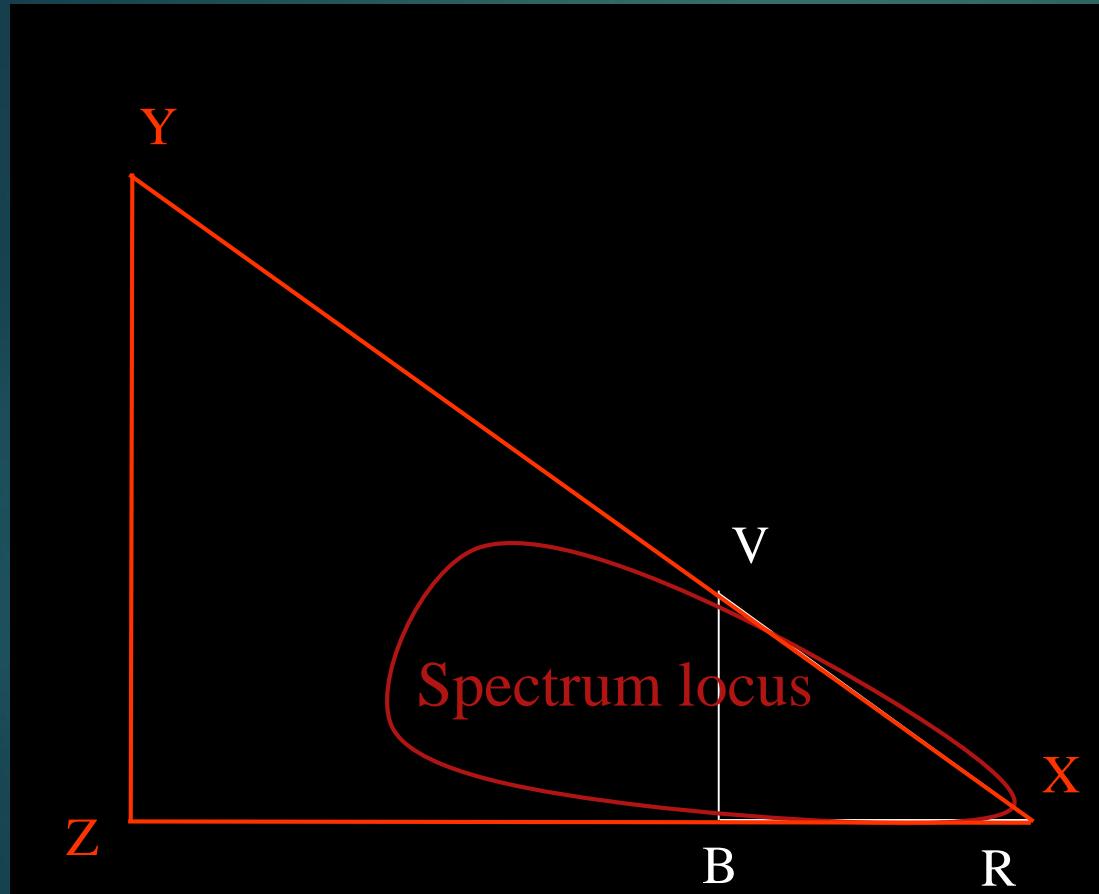
Cyan, magenta, jaune et noir ⇒ quatre couleurs d'encre pour les impressions quadrichromiques et pour tout procédé de reproduction à base de pigments ou de colorants (principe des couleurs soustractives).

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

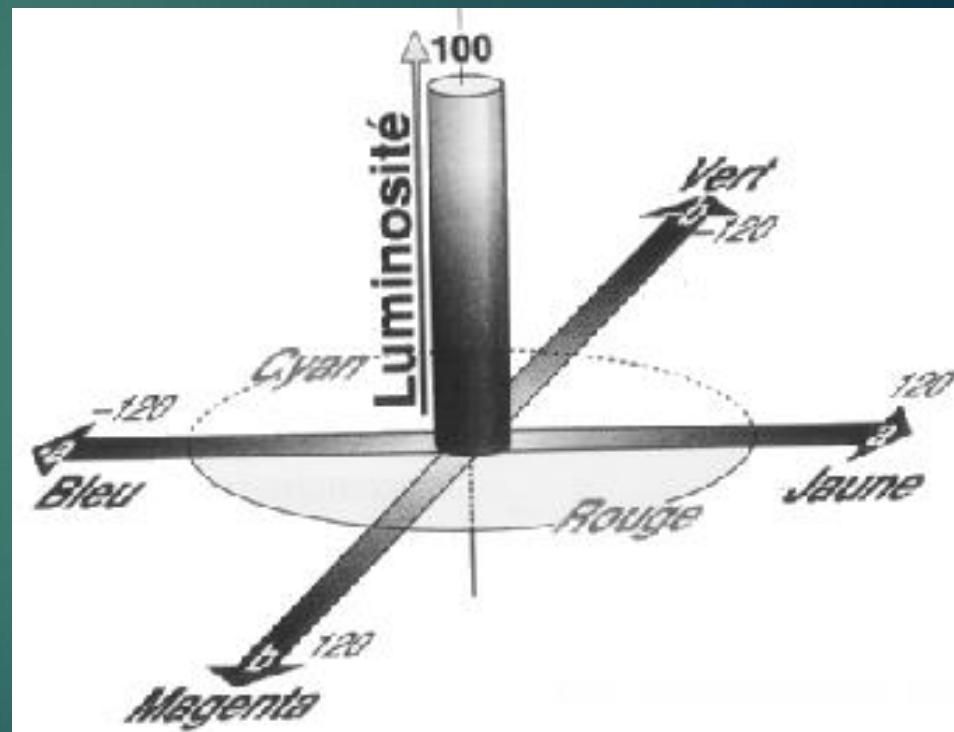


$$\begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.7 & 0.3 & 0.2 \\ 0.3 & 0.7 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} R \\ G \\ B \end{vmatrix}$$

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



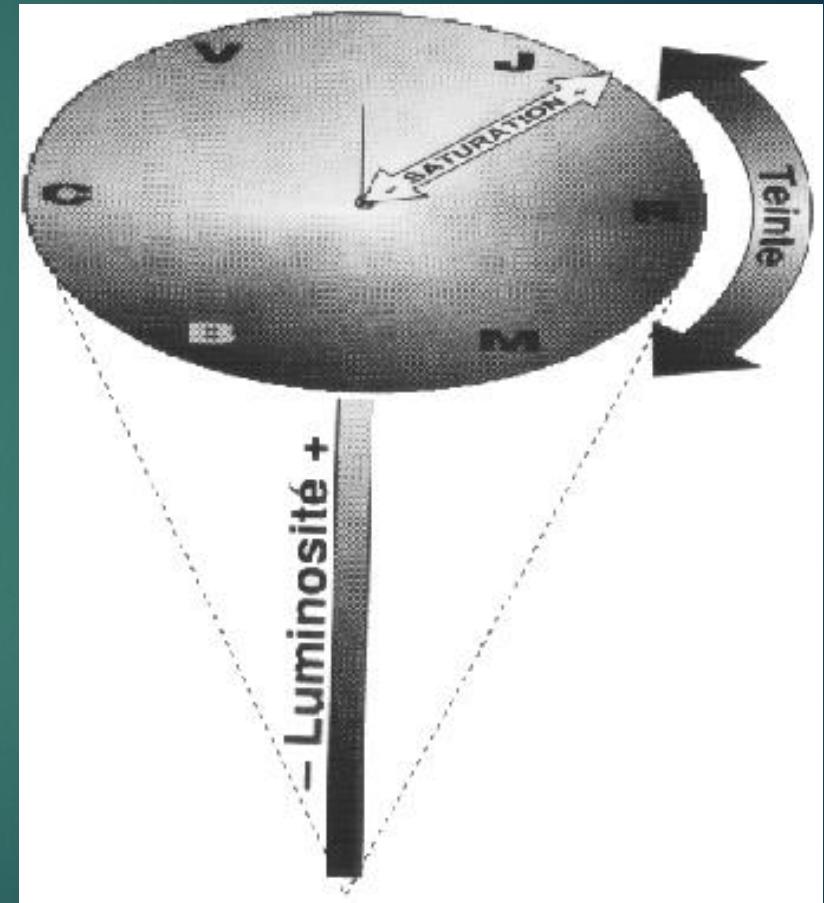
FIG. 3 – a) Image originale "Auto Portrait Oreille Bandée", b) Composante Y, c) Composante u,
d) Composante v, e) Composante Cr, f) Composante Cb.

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

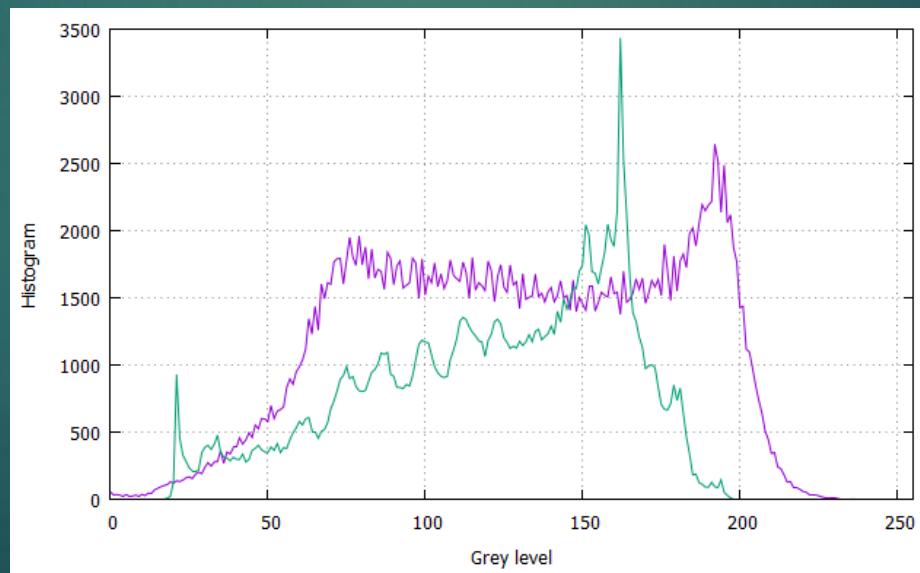
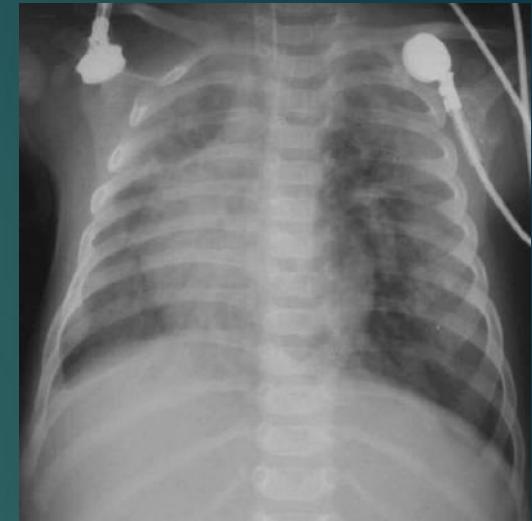
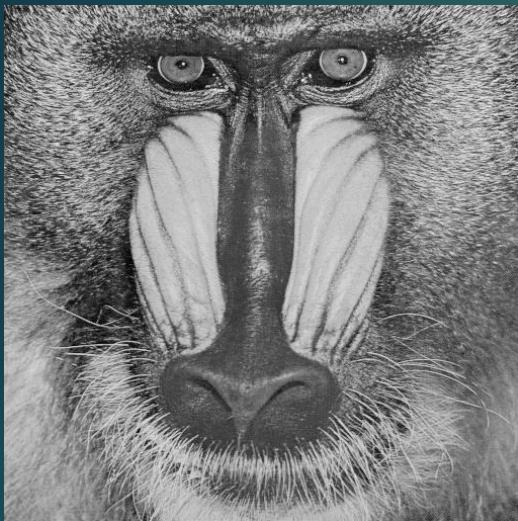
- ▶ Teinte : longueur d'onde de la lumière réfléchie, ou transmise par un objet ⇒ emplacement sur la roue chromatique, ($0^\circ < \text{angle} < 360^\circ$).

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.

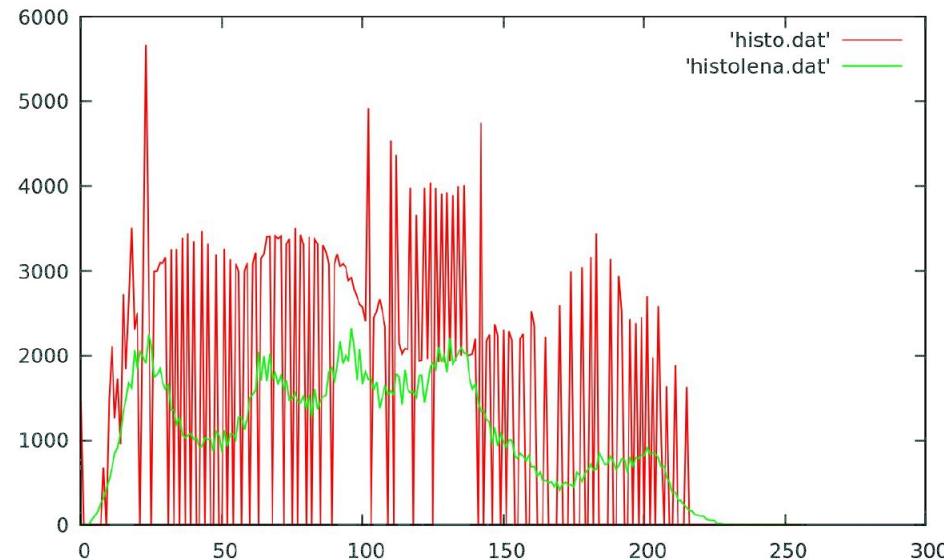


Distances entre histogrammes



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

- ▶ 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

VI) Codage des images binaires

Image binaire : image où chaque pixel ne peut avoir pour valeur que 0 ou 1.

Outils spécialisés et théories mathématiques pour la manipulation d'images binaires.

Début du traitement des images numériques : traitement d'images non complexes : problème de temps de calcul, d'espace mémoire disponible et qualité des périphériques de sortie).

Premières applications : reconnaissance de caractères, analyse de traces laissées dans les chambres à bulles par des particules (1950)

VI) Les images binaires

Contexte simple pour la formalisation mathématique des problèmes par des outils tels que la topologie.

En vision industrielle : détection de défauts, contrôle qualité, mesure : on considère l'image binaire comme un passage obligé, suivant en général la phase de segmentation.

Deux catégories d'outils nécessaires pour :

- ▶ le codage efficace (et éventuellement la compression),
- ▶ et le traitement (analyse et description des formes).

Obtention d'une image binaire à partir d'une image en niveaux de gris par des techniques de seuillage.

VI) Codage des images

binaires

Codage dans le but de compression de données à partir de la matrice binaire.

Description des objets codés : codage faisant ressortir les caractéristiques et/ou facilitant les traitements.

Représentation de départ : matrice de pixels à 0 ou 1 dans laquelle apparaissent les objets.

4 types de codages:

Le codage par segments.

Le codage par contour.

Le codage par région.

Le codage par forme.

VI) Codage par segments

Codage d'une image binaire par segments lignes ou colonnes.

Méthode : on ne conserve pour chaque ligne que la valeur du premier segment et la liste des longueurs des différents segments (dont la valeur change obligatoirement à chaque nouveau segment). Par exemple, la ligne de pixel 1000110 sera codée par (1,1,3,2,1) soit : première valeur 1, longueurs des segments successifs: 1,3,2,1 soit 7 pixels au total. Sur un autre exemple:

1 1 0 0 (1,2,2)

0 1 1 0 (0,1,2,1)

0 0 0 0 (0,4)

1 0 0 0 (1,1,3)

Plus les segments sont courts, moins le codage est efficace car les longueurs sont des entiers et non plus des valeurs binaires. Un codage équivalent est bien sûr possible avec une description en colonnes plutôt qu'en lignes.

Pour réaliser des manipulations de type algébrique (complémentation, ...) plutôt que pour décrire les objets.

VII) Codage par contours

Points de contour : reconnaissables car au moins de leurs points voisins appartient au fond (pas d'ambiguïté de détection). Lors de la recherche du contour d'un objet : inutile de balayer toute l'image; il existe des algorithmes de suivi de contour fournissant un codage sous forme de Freeman de la suite des points du contour.

Soit P_n un point contour courant, le point contour suivant P_{n+1} est un voisin de P_n . Le déplacement de P_n à P_{n+1} ne peut se faire que dans une des 8 directions du voisinage de P_n selon le codage de Freeman:

3 2 1
4 * 0
5 6 7

Dans la majorité des cas le point P_n n'a que deux candidats potentiels pour P_{n+1} dont un est le point P_{n-1} . Il n'y a donc pas d'ambiguïté. Cependant, il faut aussi prendre en compte les points anguleux n'ayant aucun suivant.

VII) Codage par contours

Suppression de l'image de départ de toutes les configurations du type transition L et transition I :

0 0 0	0 0 0
0 1 0	0 1 0
0 1 1	0 1 0

8 configurations de chaque type par rotation de 45°.

Après extraction du contour : mémorisation des coordonnées du point de départ et la suite des directions d (d dans {0, ..., 8}).

La suite des directions traduit la forme et le point de départ de sa localisation spatiale. Très utile pour la reconnaissance de formes car signature invariante d'une forme. De très nombreux paramètres de forme peuvent être mesurés directement sur le codage de Freeman (périmètre, aire, centre de gravité, axes d'inertie, ...).

Le codage plus efficace (compression) si les objets sont gros. Soit O un objet comportant A pixels dont P sont des pixels de son contour.

Codage binaire classique : A bits dans l'image de départ

Codage de Freeman : 3P bits + les coordonnées d'un point de référence.

facteur de compression lié au ratio P/A.

VII) Codage par régions

Il est bien sûr possible de généraliser le codage par segments au codage des entités surfaciques bidimensionnelles. Parmi les nombreuses techniques de codage par région, la plus connue fait appel aux quadtrees. Il s'agit d'un découpage récursif du support image jusqu'à obtention de blocs homogènes (ayant tous la même valeur). A la i ème itération, on définit les carrés de côté 2^{n-i} (où 2^n est le côté de l'image initiale); le plus petit bloc possible est le pixel. Ces primitives sont ensuite organisées de façon arborescente. Exemple :

```
0 | 0 | 0 0 | 0 | 0 | 0 0  
-+-|   | -+-|  
0 | 1 | 0 0 | 1 | 0 | 0 0  
-----  
0 | 1 | 1 1 | 1 | 0 | 0 0  
-+-|   | -+-|  
1 | 1 | 1 1 | 0 | 0 | 0 0  
-----  
1 1 1 1 | 0 0 0 0  
|  
1 1 1 1 | 0 0 0 0  
|  
1 1 1 1 | 0 0 0 0  
|  
1 1 1 1 | 0 0 0 0  
-----
```

VI) Codage par régions

Pour le codage, on utilise une technique de parenthésage (une parenthèse équivaut à un niveau de récursivité dans l'algorithme de recherche de blocs homogènes) et on mémorise uniquement la valeur du bloc. Pour lever toute ambiguïté, on adopte un sens de balayage unique :

1 2
3 4

On obtient alors le codage suivant :

$$I = (((0001)(0)(0111)(1))((0010)(0)(1000)(0))(1)(0))$$

Cette représentation permet des opérations ensemblistes (intersection, union,...), la recherche de contours,...; mais elle n'est pas vraiment adaptée à la description de formes de par sa non invariance en translation.

D'autres types de pavages peuvent être définis, par exemple en polygones de Voronoï, à partir de germes prédéfinis dans l'image.

VI) Codage par forme

Méthodes tenant compte de la morphologie de l'objet : codages par squelettes. Squelette : représentation filiforme centrée sur l'objet initial, obtenu par amincissements successifs. Cet amincissement se réalise sous la contrainte de préservation des points significatifs de son élongation, ou nécessaires à la connexité du squelette résultant (transformation homotope).

Recherche d'algorithmes efficaces (temps de calcul, qualité du résultat), pour la reconnaissance des caractères. Si le squelette est unique et sans problème dans un espace continu, il est beaucoup moins facile à trouver dans un espace discret qu'est une image numérique. Sa définition plus précise nécessite de redéfinir les concepts de base de la géométrie, ce qui a donné naissance à la géométrie discrète.

Transformation en squelette d'un objet irréversible : mais résultat significatif de l'allure de l'objet codé et particulièrement adapté aux objets minces.

Réversibilité du codage primordiale pour des objets à stocker. Notion d'axe médian intéressante: on recouvre l'objet par des boules de taille maximale incluse dans l'objet et centrées sur les points de l'objet. L'axe médian est ensuite formé des centres des boules qui ne sont pas incluses dans aucune autre et l'on associe aux centres conservés la taille de leur boule.

VI) Codage par forme

Dans l'exemple suivant, on représente en chaque point la taille de la plus grande boule centrée sur le point et complètement contenue dans la forme (une taille de 1 équivaut à un carré 1×1 , 2 à un carré 3×3 et 3 à un carré 5×5):

1	1	1	1	1			
1	1	1	2	2	2	1	
1	1	2	2	2	3	2	1
1	1	1	2	2	2	1	
1	1	1	1	1	1		

Les points en noirs sont les trois points de l'axe médian nécessaire pour reconstruire la forme initiale. La taille de la boule correspond en fait à la notion de distance au contour. Le résultat final dépend de la distance utilisée. Le problème de l'axe médian est qu'il n'est pas formé de points consécutifs. Pour le faire "ressembler" à un squelette, on reconnecte les points de l'axe médian par un chemin de crête. On obtient alors la ligne médiane que l'on peut voir comme un squelette pondéré de l'objet initial. La ligne médiane et l'axe médian sont des codages réversibles.