






Traitement Numérique de l'Image

Le Système d'Acquisition - Numérisation

TELECOM Nancy 2^{me} Année FISA - FISE

Vincent Bombardier
(MdC 61ème Section)

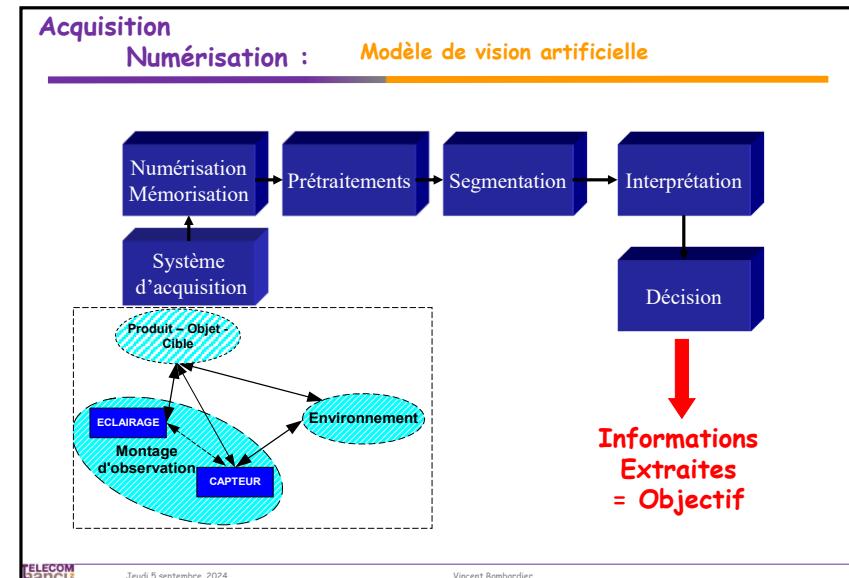
Centre de Recherche en Automatique de Nancy -UMR CNRS 7039-
Département: Ingénierie des Systèmes Eco-Technique
Projet Systèmes Intelligents Ambients

Version du jeudi 5 septembre 2024

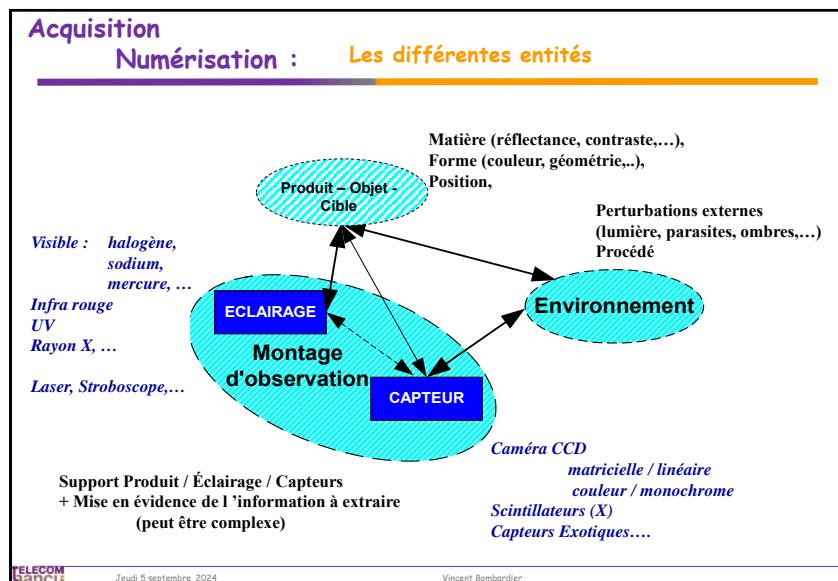
Vincent Bombardier

ISET

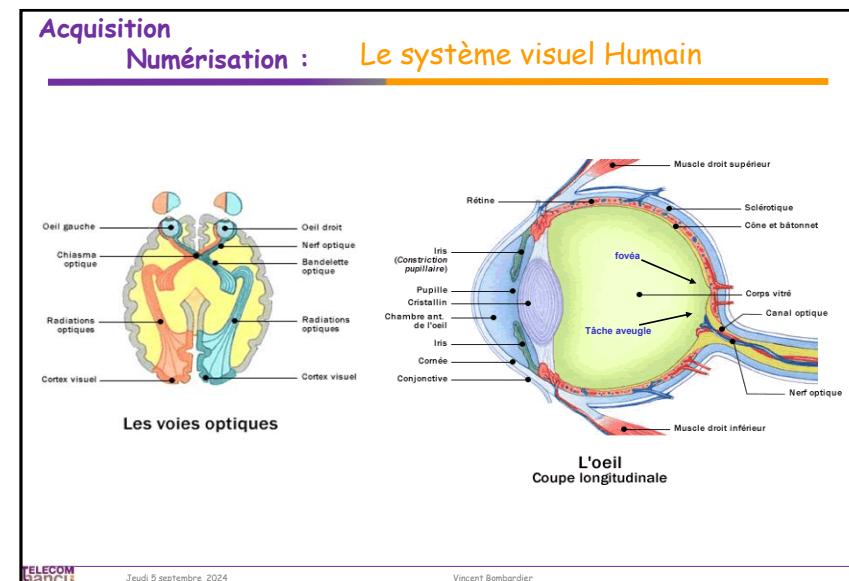
1



3



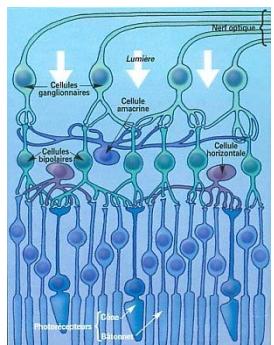
4



5

Acquisition Numérisation :

La rétine



Les différentes couches de la rétine

➤ Comparaison :

- Rétine : **140 millions** de photorécepteurs
- Appareil photo numérique haut de gamme (2020) : **50 millions** de pixels
- Norme 4K: **8 millions** de pixels

➤

➤ Cellules photo-réceptrices :

- **Cônes**
- **Bâtonnets**

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

6

Acquisition Numérisation : Les cônes et les bâtonnets

➤ Bâtonnets :

- ↳ Vision scotopique (faible illumination)
- ↳ Très sensibles (répondent à un seul photon)
- ↳ 120 millions dans chaque œil
- ↳ Absents de la fovéa. Situés en périphérie de la rétine



Test d'Ishihara : Un individu à vision normale voit un 8. Un déficient rouge-vert voit un 3.

➤ Cônes :

- ↳ Vision photopique (illumination forte)
- ↳ Moins sensibles (que les bâtonnets)
- ↳ 6 à 7 millions dans chaque œil
- ↳ Principalement situés dans la fovéa
- ↳ La densité diminue en fonction de la distance à la fovéa
- ↳ 3 types de cônes → modèle de couleur 3D
- ↳ Type de cône manquant → daltonisme

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

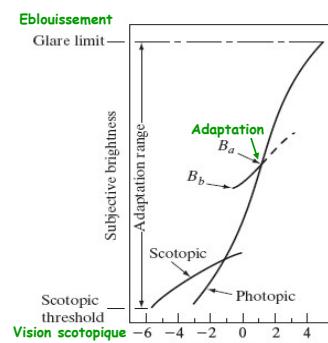
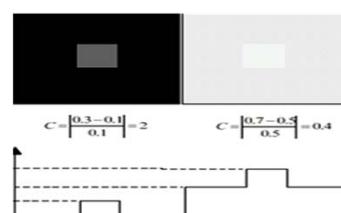
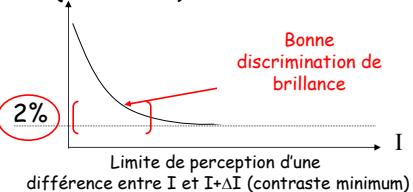
Vincent Bombardier

7

Acquisition Numérisation :

Contraste - Loi de Weber

$\Delta I/I$ (contraste)



$$\Delta B = \frac{\Delta I}{I}$$

$$B \approx \log I$$

$\Delta B \neq \Delta I$

TELECOM
Bordeaux

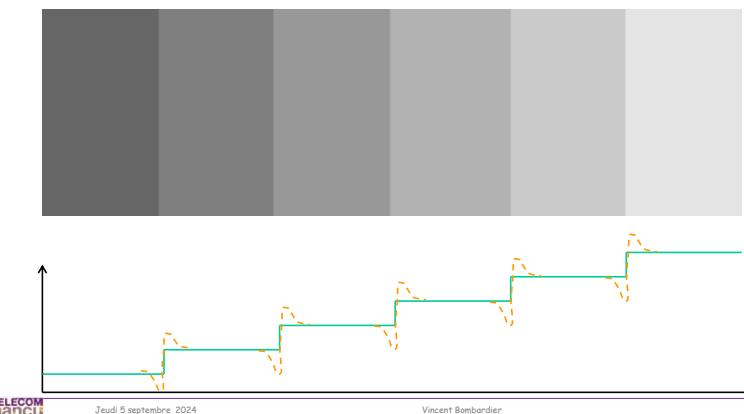
Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

8

Acquisition Numérisation : Perception des fréquences spatiales

- Phénomène de Mach : L'œil agit comme un dérivateur dans les basses fréquences et un intégrateur dans les hautes fréquences.



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

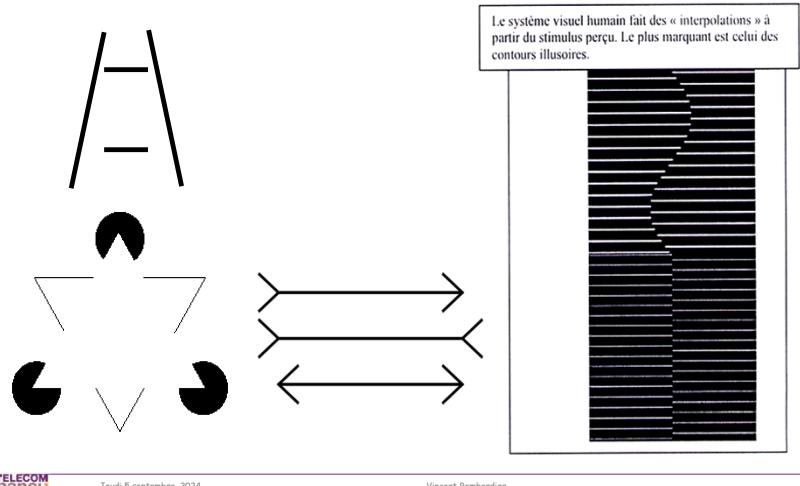
9

2

Acquisition

Numérisation :

Effets sur la perception de la luminance



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

10

Acquisition

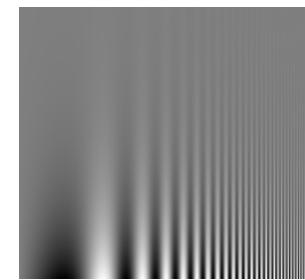
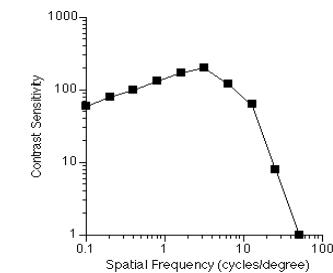
Numérisation :

Perception des fréquences spatiales

➤ Sensibilité au contraste optimale entre 3 et 5 cycles/deg (rad)

➤ Résolution maximale pour une mire verticale ou horizontale. Sensibilité minimale lorsque l'on incline la tête à 45° (système visuel adapté à un environnement où les changements d'intensité verticaux et horizontaux sont prédominants).

Fonction de sensibilité au contraste



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

11

Acquisition

Numérisation :

Définitions - Unités photométriques

- **Flux Lumineux : F en Lumen (lm)**
 - ↳ Puissance totale de la lumière émise ou reçue par une surface donnée
- **ECLAIREMENT : E en Lux (lx ou lm/m²)**
 - ↳ Flux lumineux reçu par unité de surface (0.0003 à 100000 lx)
 - ↳ Flux émis : Emissance
- **Intensité lumineuse : I en Candela (Cd)**
 - ↳ Donnée pour une source ponctuelle dans une direction donnée : Flux lumineux émis par unité d'angle solide (stéradian)
- **Luminance : L en nit (Cd / m²)**
 - ↳ Intensité lumineuse pour des sources non ponctuelles, par unité de surface ⊥ à la direction d'émission
- **Efficacité Lumineuse : K en lm / W**
 - ↳ Rapport entre le flux lumineux et le flux de puissance rayonnée

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

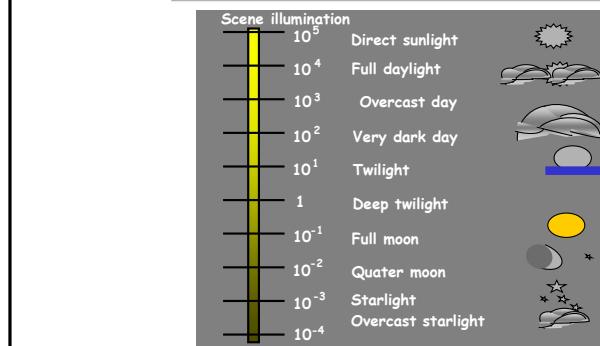
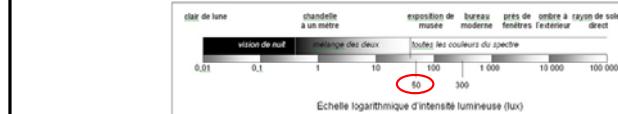
Vincent Bombardier

12

Acquisition

Numérisation :

ECLAIREMENT D'UNE SCÈNE



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

13

Acquisition

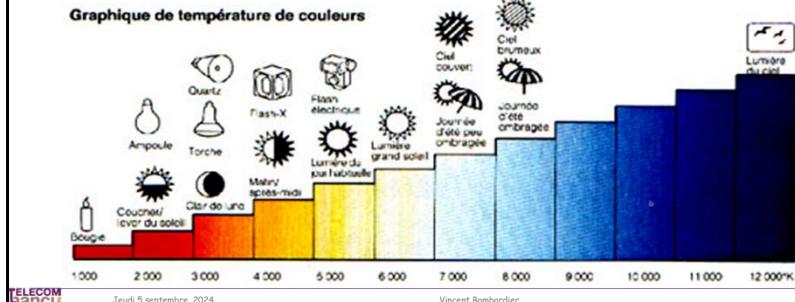
Numérisation : Température de couleur

➤ La composition spectrale d'une source de lumière incandescente à spectre continu, comme l'est celle du soleil, peut être définie avec précision par sa **température de couleur** (ou "Tc") en kelvins (K) ou en mired.

En effet, pour les corps incandescents - dits "corps noirs" - il y a un rapport constant entre la température du corps chauffé et la composition de la lumière qu'il émet.

$$\text{Valeur mired} = 1\ 000\ 000 / T \text{ (K).}$$

Graphique de température de couleurs



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre 2024

Vincent Bombardier

14

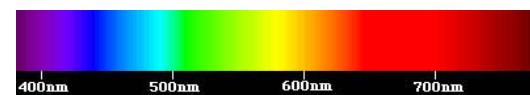
Acquisition

Numérisation : Lumière: onde électromagnétique

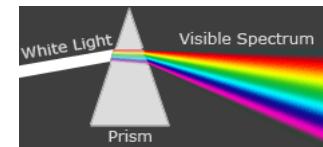
rayons γ rayons X ultraviolets violet rouge infrarouge radar FM radio

$10^{-3} \quad 10^0 \quad 10^2 \quad 380 \quad 780 \quad 10^4 \quad 10^6 \quad 10^9 \quad 10^{14}$

Domaine du visible



La couleur varie en fonction de la longueur d'onde entre 380 et 780 nm



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre 2024

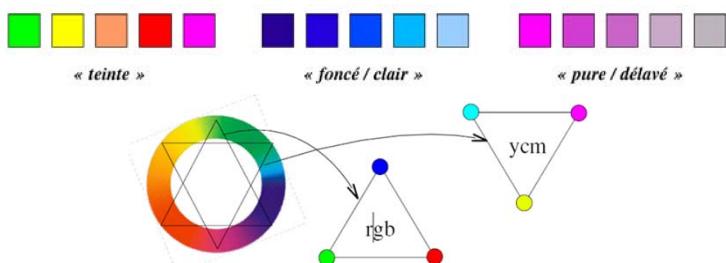
Vincent Bombardier

15

Acquisition

Numérisation : Couleur: La tri-chromie

➤ Le principe de la trichromie réside dans la découverte qu'il suffit d'un triplet de couleurs pures pour restituer - par mélange de ces 3 composantes qu'on peut qualifier de primaires - l'intégralité des couleurs.



➤ La question principale que nous allons considérer dans la suite est :
 « Comment représenter ces couleurs dans un espace qui soit à la fois facile à manipuler et qui soit pertinent en termes d'analyse d'images couleur ? »

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre 2024

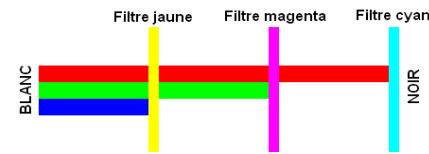
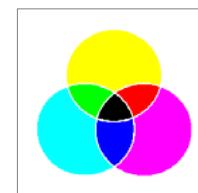
Vincent Bombardier

16

Acquisition

Numérisation : Système de couleurs soustractif

➤ Cette lumière interagit avec son environnement qui altère sa couleur. Ainsi une surface rouge吸tote les longueurs d'onde sauf le rouge qu'elle ré-émet (système soustractif): CMJ



$$\text{Ex : Blanc - Bleu = Rouge + Vert = Jaune}$$

➤ Ex : les imprimantes utilisent la synthèse soustractive

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre 2024

Vincent Bombardier

17

Acquisition

Numérisation :

CMY(K) (imprimante)

$$\begin{bmatrix} C_k \\ M_k \\ Y_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} K \\ K \\ K \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0.0_k \\ 0.0_k \\ 0.1_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ 0.6 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0.5 \\ 0.5 \end{bmatrix}$$

- $K = \min(C, M, Y) \rightarrow$ Encre noire
- Si on veut générer un gris moyen légèrement jaune, au lieu d'avoir $(C, M, Y) = (0.5, 0.5, 0.6)$, on aura $(C, M, Y, K) = (0.0, 0.0, 0.1, 0.5)$ c-à-d qu'on utilise la cartouche d'encre noire pour la composante grise (0.5) et un peu de jaune (0.1) au lieu d'utiliser les 3 cartouches C,M,Y.

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

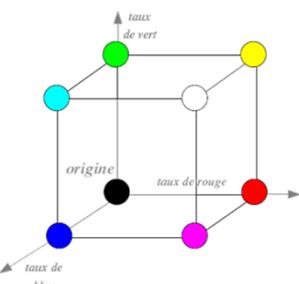
18

Acquisition

Numérisation :

Espace Colorimétrique RGB (Moniteur)

- Additif
- La couleur obtenue dépend des phosphores de chaque moniteur



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

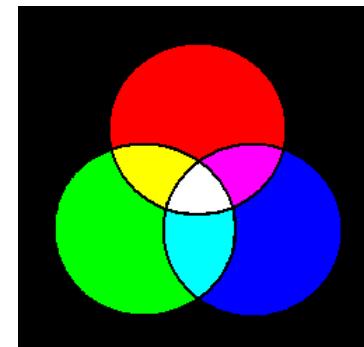
21

Acquisition

Numérisation :

Système de couleurs additif

- La lumière (couleur) est émise d'une source lumineuse (système additif): RVB



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

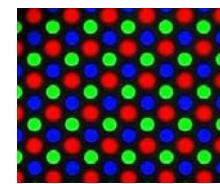
20

Acquisition

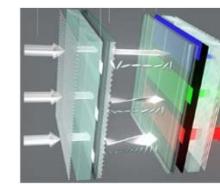
Numérisation :

Système de couleurs additif

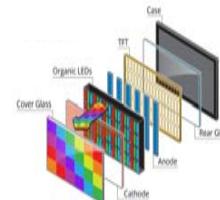
- Ce principe de synthèse additive de la couleur se retrouve dans la plupart des dispositifs lumineux de restitution de la couleur : CRT, LCD, LED, OLED.



Dans les écrans cathodiques (CRT), 3 canons à électrons balayent une grille de photophores rouges, verts et bleus, avec une intensité variable.



Dans les écrans à cristaux liquides (LCD), 3 matrices de cristaux liquides sont contrôlées par un couple de polariseurs, rouges, verts et bleus, avec une intensité variable, en modifiant la transparence de chaque pixel, ces matrices sont rétroéclairées par LED à travers des filtres rouge, vert et bleu.



Dans les écrans à LED organiques (OLED), chaque pixel est formé par 3 LEDs émettant dans le rouge, vert et bleu. Une LED blanche peut être ajoutée pour augmenter le contraste.

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

22

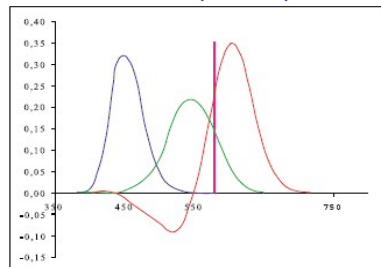
Acquisition

Numérisation :

Expérience de la CIE

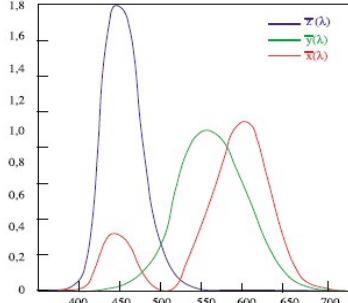
CIE: Commission Internationale de l'Éclairage, Paris

Fonctions colorimétriques du système RVB



- Une couleur → combinaison linéaire de 3 couleurs primaires R, V, B (synthèse additive)
- Problème: recours à des coefficients négatifs
Ex : $C(500\text{nm}) = -0.07[R] + 0.08[V] + 0.04[B]$

Fonctions colorimétriques du système CIE



- Pour ne pas avoir de réponse négative: Modèle basé sur 3 primaires standard X, Y, Z

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

23

Acquisition

Numérisation :

Changement de repère colorimétrique RGB ↔ XYZ

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.240479 & -1.537150 & -0.498535 \\ -0.969256 & 1.875992 & 0.041556 \\ 0.055648 & -0.204043 & 1.057311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

Exemple: (0.950, 1.000, 1.089) → (1,1,1)

Si les valeurs R, G ou B ∉ [0,1] alors la couleur ne peut être réalisée

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.412453 & 0.357580 & 0.180423 \\ 0.212671 & 0.715160 & 0.072169 \\ 0.019334 & 0.119193 & 0.950227 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Exemple: (1,1,1) → (0.950, 1.000, 1.089)

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

24

Acquisition

Numérisation :

Système de référence de la CIE

Proportion de primaires pour obtenir une couleur

$$X = \int_{\lambda} \bar{x}(\lambda) P(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int_{\lambda} \bar{y}(\lambda) P(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_{\lambda} \bar{z}(\lambda) P(\lambda) d\lambda$$

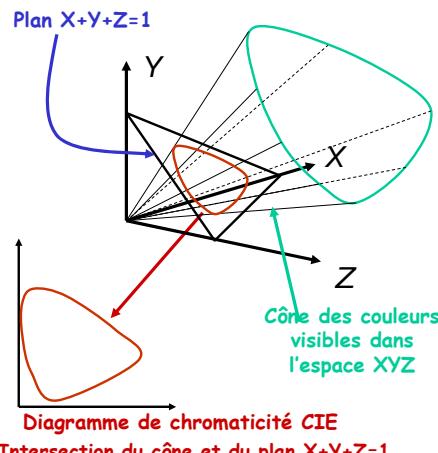
Répartition spectrale d'énergie

Espace chromatique xy

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

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

$$X + Y + Z = 1$$



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

25

Acquisition

Numérisation :

Diagramme de chromaticité CIE xy

Contour : coordonnées des sources monochromatiques → Couleurs pures

System: EBU (PAL/SECAM)
Primary illuminants (x_i, y_i)
Red: 0.6400, 0.3300
Green: 0.2900, 0.6000
Blue: 0.1500, 0.0600
White point (x_w, y_w): 0.3127, 0.3291

Couleurs affichables par un moniteur

| Source | x | y |
|--|-------|-------|
| Lumière du jour D65 | 0.313 | 0.329 |
| Lampe fluorescente 4800 deg.K | 0.35 | 0.37 |
| Soleil 6000 deg.K | 0.32 | 0.33 |
| Phosphore rouge (europium yttrium vanadate): R | 0.68 | 0.32 |
| Phosphore vert (zinc cadmium sulfide): V | 0.28 | 0.60 |
| Phosphore bleu (zinc sulfide): B | 0.15 | 0.07 |

Référence de Blanc

Impossible (spectres de couleurs primaires hypothétiques ≠ phosphores et cônes)

Droite des pourpres

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

26

Acquisition

Numérisation :

Perception de la couleur

➤ Teinte (Hue)



- ↳ Déterminée par la longueur d'onde dominante
- ↳ Ex : rouge, jaune, pourpre, ...

➤ Saturation



- ↳ Indice de pureté

- ↳ Distance du gris de même intensité de gris (blanc) à pure

➤ Luminance (Lightness)



- ↳ Intensité de lumière que la couleur réfléchit/transmet
- ↳ Brillance (brightness) pour émission

Les modèles basés sur ces propriétés sont appelés HSL

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

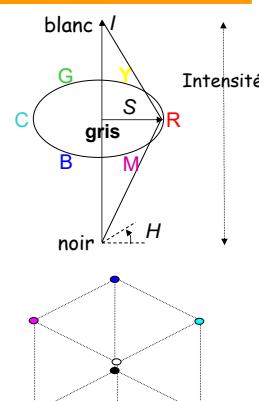
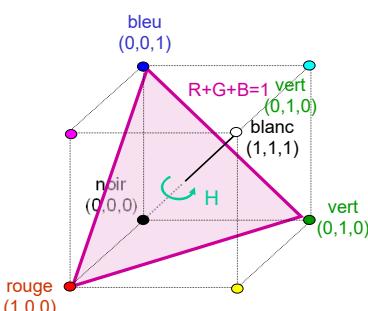
27

Acquisition

Numérisation :

Espace HSI

- Intensité ~ axe noir-blanc
- Teinte ~ angle autour de l'axe noir-blanc
- Saturation ~ distance à partir de cet axe



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

29

Acquisition

Numérisation :

Espace HSI

- Proche des systèmes utilisés par les artistes et de la perception humaine de la couleur

➤ Hue → teinte

- ↳ Angle entre 0 et 360°
- ↳ $H=0^\circ \rightarrow$ rouge

➤ Saturation

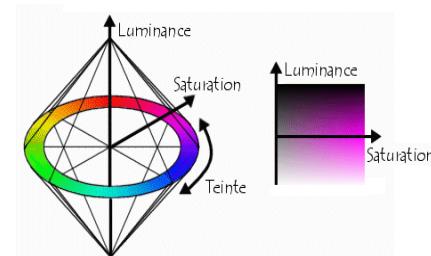
→ pureté de la couleur

- ↳ Valeur entre 0 et 1
- ↳ $S=0 \rightarrow$ gris
- ↳ $S=1 \rightarrow$ couleur saturée

➤ Intensité

→ Eclat de la couleur

- ↳ Axe noir-blanc du cube RGB



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

28

Acquisition

Numérisation :

Espace HSI

➤ Formules de conversion RVB → HSI

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B)$$

$$S = 1 - \frac{3}{R + G + B} \min(R, G, B)$$

$$H = \arccos \left(\frac{\frac{1}{2}(R - G) + \frac{1}{2}(R - B)}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right)$$

$$H = 360^\circ - H \text{ si } B > G$$

Rmq : R, G, B doivent être normalisés entre 0 et 1

➤ La transformation inverse HSI → RGB est un peu plus compliquée

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

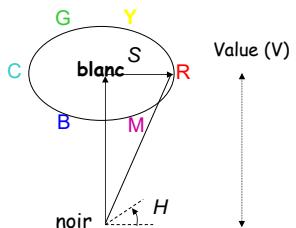
30

Acquisition

Numérisation :

Espace HSV

- Le modèle HSV utilise le même principe que HSI mais avec un seul cône plutôt que deux :



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

31

Acquisition

Numérisation :

Espace HSV



Teinte



Valeur



Saturation



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

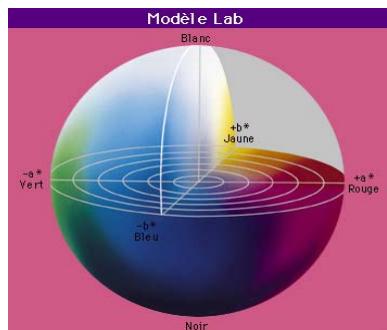
Vincent Bombardier

32

Acquisition

Numérisation : Modèles basés sur la perception

CIE 1976 L*a*b*, CIE 1976 L*u*v*



- Transformation NON-linéaire de l'espace CIE XYZ
- Espace quasi-uniforme
→ Si une couleur est 2 fois plus loin d'une autre dans l'espace L*a*b* alors elle sera perçue comme deux fois plus "différente" ce qui n'est pas le cas pour les modèles RGB ou HSI...
→ utilisé pour faire des mesures de couleur
- Cie Luv réservé aux écrans et lumières

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

33

Acquisition

Numérisation : Modèles basés sur la perception

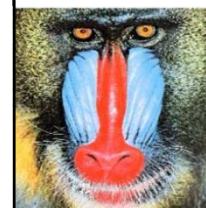
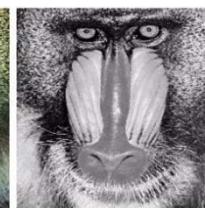
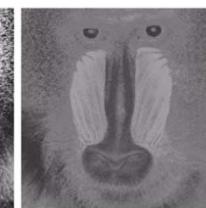


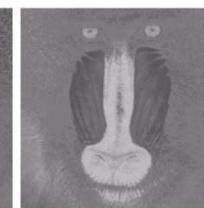
Image couleur



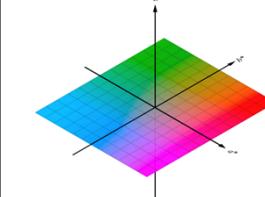
Luminance Y



Chrominance b



Chrominance a



- Les composantes de chrominance a et b représentent respectivement le contraste Vert / Rouge et le contraste Bleu / Jaune.

$$L^* = 116f(Y/Y_n) - 16,$$

$$a^* = 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)],$$

$$b^* = 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)],$$

$$\text{où } f(t) = \begin{cases} t^{1/3}, & \text{si } t > (\frac{6}{29})^3, \\ \frac{1}{3}(\frac{29}{6})^2 t + \frac{4}{29}, & \text{sinon.} \end{cases}$$

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

34

Acquisition

Numérisation : Eclairage : les différents types

Eclairages Non Collimatés ou Diffus

- Lampes à incandescence (2800 à 3200K)
 - Halogène (forte puissance, faible durée)
 - Sodium, Mercure, ... (spectre spécifique)
- Tubes Néons (forme qqconque, faible puissance, faible cout, longue durée, instable, ht fréquences)



Eclairages Collimatés, Structurés ou Polarisés

- LED (forte puissance, facilité d'intégration, stable)
- Laser (longueur d'onde spécifique, lumière cohérente)



Eclairages « hors visible » (capteurs spécifiques)

- Rayons X, Infra rouge, Ultra violet, ...



Utilisation

- Ombre Chinoise (silhouette)
- Diffus (pas d'ombre portée)
- Rasant (reliefs : rayures)
- Coaxial (objets contrastés : caractères)
- Stroboscopique (objets en mouvement périodique)
- Fibre Optique (éclairage déporté)

TELECOM
Bordeaux

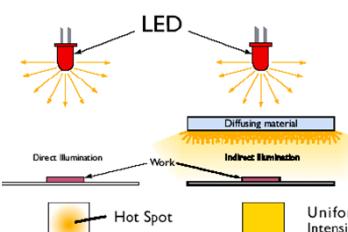
Jeudi 5 septembre 2024

Vincent Bombardier

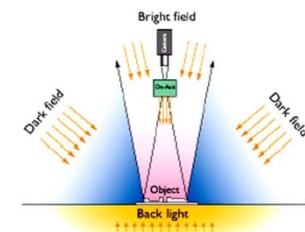
37

Acquisition

Numérisation : L'Eclairage



Lumière Diffuse (pas de reflet)



Différents Types d'Eclairage

TELECOM
Bordeaux

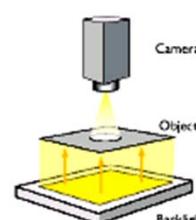
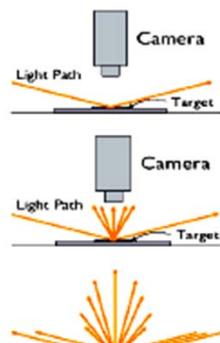
Jeudi 5 septembre 2024

Vincent Bombardier

38

Acquisition

Numérisation : L'Eclairage



Eclairage « ombre chinoise » (Back field)

Eclairage rasant (Dark field)

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre 2024

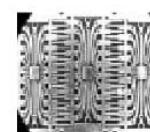
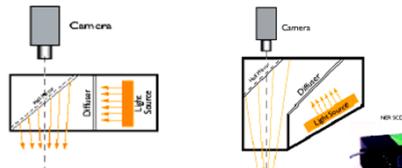
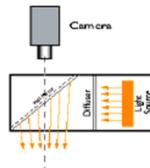
Vincent Bombardier

39

Acquisition

Numérisation : L'Eclairage

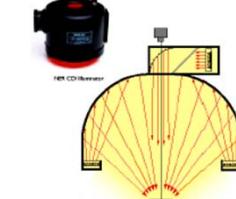
Eclairage Coaxial:



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre 2024

Eclairage Dome:



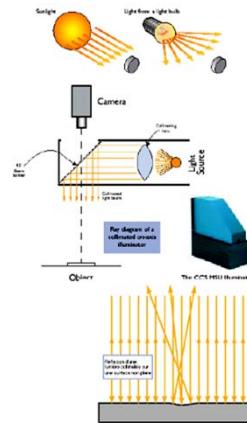
Vincent Bombardier

40

Acquisition

Numérisation : L'Eclairage

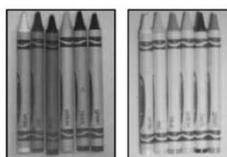
Eclairage Collimaté:



Eclairage Structuré (laser):



Eclairage Infra-rouge:



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

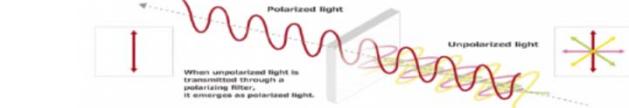
Vincent Bombardier

41

Acquisition

Numérisation : L'Eclairage

Eclairage Polarisé:



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

42

Acquisition

Numérisation : Profilométrie laser



TELECOM
Bordeaux

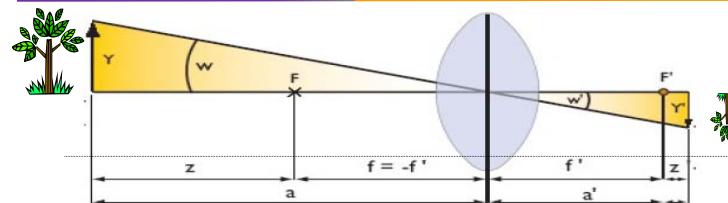
Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

43

Acquisition

Numérisation : Système Optique d'une caméra



f : focale
a : distance objet
a' : distance image
Y : taille objet
Y' : taille image
2w : angle de vue image

$$\text{agrandissement : } m = \frac{\text{grandeur de l'image}}{\text{grandeur de l'objet}} = \frac{Y'}{Y}$$

Note: si a est grand alors $f \approx a'$

Un arbre de 10 m à une distance de 100 m mesure combien sur la rétine?

Pour l'œil, $a \approx 20\text{mm} (\approx f)$ alors $m = a'/a = 20\text{mm}/100\text{m} = 2.10^{-4}$

Grandeur de l'image = $m * \text{grandeur de l'objet} = 2.10^{-4} * 10\text{m} = 2\text{mm}$

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

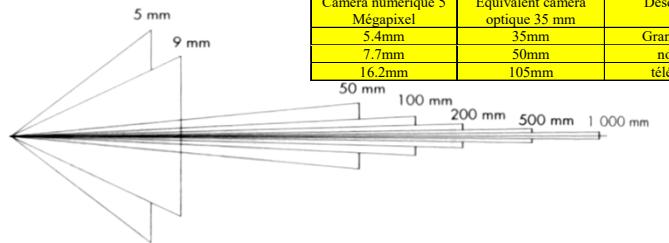
Vincent Bombardier

48

Acquisition

Numérisation : La focale

- Focale courte → grand angle → plan large
- Focale longue → téléobjectif → plan serré



➤ Netteté : MOD (Minimal Object Distance)

- ↳ Possibilité d'utilisation de bague allonge
 - Perte luminance, distorsion,...



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

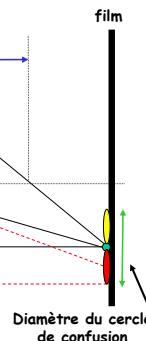
50

Acquisition

Numérisation : Profondeur de champ



Profondeur de champ z



- On accepte un diamètre (du cercle de confusion) de 0,02 mm pour un négatif 35mm (24x36)

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

52

Acquisition

Numérisation : Profondeur de champ

➤ Dépend de la focale :

Plus la focale est grande, plus la profondeur de champ diminue.
Ex : téléobjectif

➤ Dépend du diaphragme :

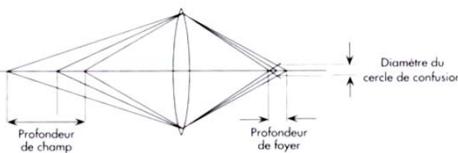
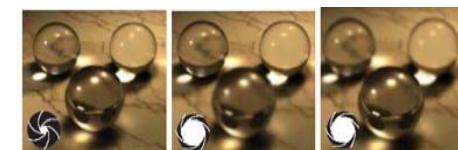
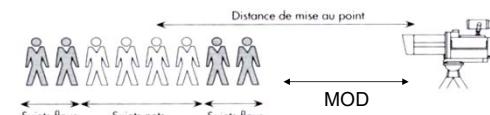
Plus l'ouverture du diaphragme diminue, plus la profondeur de champ augmente

➤ Dépend de la distance entre l'objectif et le sujet principal (distance de mise au point) :

Plus le sujet est éloigné de l'objectif, plus la profondeur de champ est grande

➤ Dépend du format du capteur :

Plus l'image est grande, moins on a de profondeur de champ → Qualité du film ou résolution du capteur CCD



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

51

Acquisition

Numérisation : Choix d'Objectifs

- Taille du capteur (en pouces mais valeur réelle divisée par 2)
 - Qualité de l'optique

$$\text{Résolution optique requise} = \frac{500}{\text{taille du capteur en } \mu\text{m}}$$

➤ Aberrations

- Lumineuse : Vignetage

• Géométrique

- ✓ Lentilles asphériques

• Chromatique

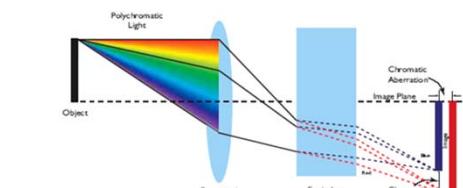


➤ Focale Fixe / Variable

➤ Objectif Motorisé / Télécéntré

➤ Ouverture

➤ Monture : F, C, CS, ...



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

54

Acquisition

Numérisation : Les filtres

Conversion - Compensation :

- L'échelle mired simplifie les calculs de filtres de conversion : chacun d'entre eux à une valeur mired fixe : si vous mesurez en mired l'écart de T_c entre la source et la T_c désirée.
 - Pour utiliser, en lumière du jour "moyenne" de 5500°K une caméra calibrée pour 3200°K, il faut placer sur l'objectif de la caméra un filtre de :
$$(1\ 000\ 000 / 5500) - (1\ 000\ 000 / 3200) = +131 \text{ mired}$$
 (filtre "saumon" W85B)

Sélection - Couleur :

- Sélectionne une certaine bande passante (nm)
 - Filtre orange-jaune pour le relief
 - Filtre à 732 nm pour éclairage laser Hélium-Néon



Polarisant :

- Sélectionne une certaine incidence
 - Anti-reflets



Lentilles particulières (frelen, ...)

Les filtres réduisent la quantité de lumière parvenant au capteur

Prise en compte des Facteurs d'Absorption ($\alpha = Fa/Fi$), de réflexion ($\rho = Fr/Fi$) et de transmission ($\tau = Ft/Fi$) avec $\alpha \square \rho + \tau = 1$

TELECOM
Bordeaux

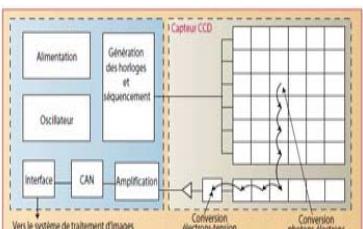
Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

55

Acquisition

Numérisation : Capteurs Caméras

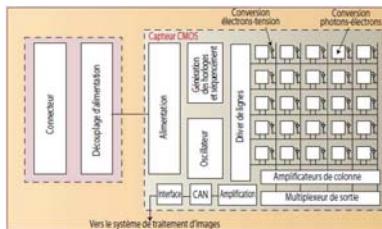


Avantages:

- Qualité d'images élevée (taux de remplissage)
- Bruit très faible
- Haute sensibilité

Points négatifs:

- Saturation du capteur aux fortes luminosités (blooming)
- Consommation



Avantages:

- Consommation faible
- Fenêtrage (Rolling Shutter)
- Compacité

Points négatifs:

- Faible remplissage
- Sensibilité modérée + bruit

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

59

Acquisition

Numérisation : Les Capteurs

Phénomène physique

Émission et réflexion de la lumière visible

Grandeur mesurée

Réflectance, luminance,...

Capteur

CCD, CMOS, Barettes CCD,...

Rayonnement infra-rouge

Luminance IR (chaleur), ...

Bolomètres, ...,

Écho ultrasonore

Distance, densité de tissus,...

Échographie, sonar,...

Résonance magnétique

Présence d'un corps chimique,...

IRM, RMN,...

Écho électromagnétique

Distance, spécularité de surfaces,...

Radar, SAR,...

Absorption des rayons X

Densité de tissus,...

Radiographie, tomographie,...

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

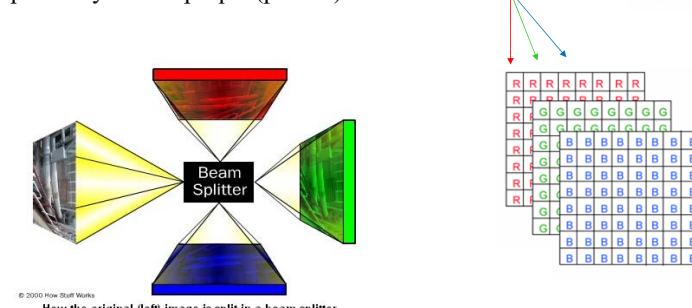
Vincent Bombardier

56

Acquisition

Numérisation : Capteurs Couleur

- Tri- → 3 capteurs, la lumière entrant par l'objectif est séparée par un système optique (prisme)



TELECOM

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

<http://electronics.howstuffworks.com/digital-camera10.htm>

60

Acquisition Numérisation : Capteurs Couleur

Filtres (Bayer) : 2 G pour 1 R et 1 B

Interpolation

Mono-CCD/CMOS → un filtre rotatif ("spinning disk filter") devant une grille CCD (caméra fixe)

Mono-CCD/CMOS → Chaque photorécepteur est recouvert d'un filtre coloré
Interpolation de couleurs

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

61

Acquisition Numérisation : Capteurs Caméras

- **Caméras matricielles**
 - ↳ Analogique / Numérique
 - ↳ Noir & Blanc / Couleur
 - ↳ Résolution - fréquences
 - ↳ Caméras mono-coup

- **Caméras linéaires (Noir & blanc ou Couleur)**
 - ↳ Adapté au produit en défilement
 - ↳ Caméras mono-Capteur / cameras tri-Capteur
 - ↳ Synchronisation de l'acquisition (cellule + codeur)

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

68

Acquisition Numérisation : Entrelacement/ Progressive Scan

Paire

Impaire

Mode Interlace

Mode Progressive Scan

- 625 lines per frame
- 25 frames per second
- Interlaced 2 : 1
- 1 frame = 2 fields, each with 312.5 lines
- Hor. line 52 usec video 12 usec blank
- 575 active lines per frame with video
- 50 lines with vertical blank and sync

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

69

Acquisition Numérisation : Caractéristiques

Temps d'exposition : Shutter

1/24th Second Exposure

1/800th Second Exposure

Mode de déclenchement : Monoshot / Acquisition libre

Camera

Framegrabber

Trigger

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

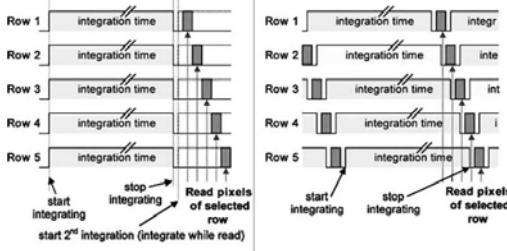
Vincent Bombardier

72

Acquisition Numérisation :

Caméras CMOS : Rolling Shutter

Temps d'intégration : Shutter



Déformation



TELECOM
Bordeaux

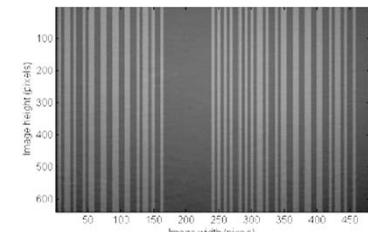
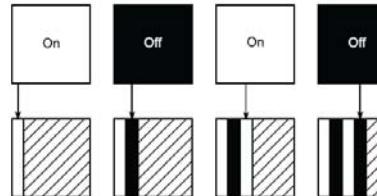
Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

Acquisition Numérisation :

Caméras CMOS : Rolling Shutter

Visible light: communiquer une information via la lumière visible



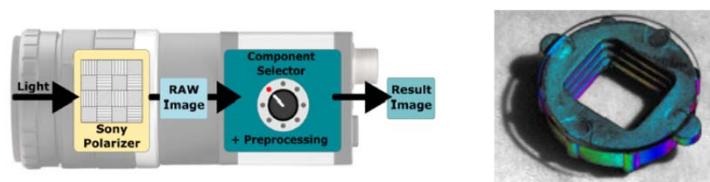
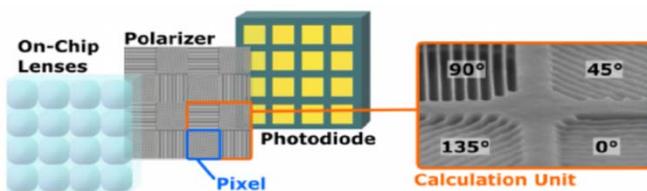
TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

74

Acquisition Numérisation : Acquisition Polarisée



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

Acquisition Numérisation : Caméras Numériques « Intelligentes »

Matrox (MIL)



Cognex



IDS



Stemmer Imaging (CVB)



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

83

76

Acquisition

Numérisation :

The Baumer Optronic LSC-Laser Scanner

- 4 simultaneous channels
 - ↳ 10 Bit Greyscale (Red: 680nm)
 - ↳ 10 Bild Greyscale (Infrared: 830nm)
 - ↳ 8 Bit 3D Triangulation Channel (0.2mm)
 - ↳ Scatter-channel: micro timber structure analysis
- Width of view 300mm
- Resolution 1700 Pixels
- Line frequency 2 kHz
- Exact telecentric optic
- Set-up
 - ↳ 1 side or 2-sides versions
 - ↳ Compact sensor (300 x 400 x 150 mm³)
 - ↳ Optical Link PCI-Interface
 - ↳ Driver for windows NT



TELECOM
Bâncu

Jeudi 5 septembre, 2024

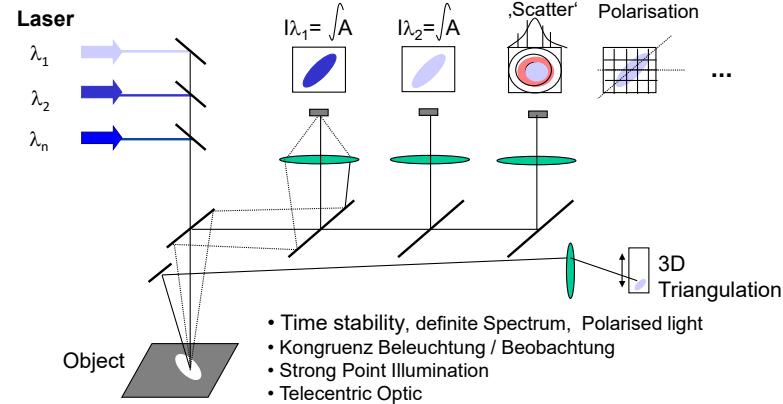
Vincent Bombardier

85

Acquisition

Numérisation :

multi-sensors Laserscanner



TELECOM
Bâncu

Jeudi 5 septembre, 2024

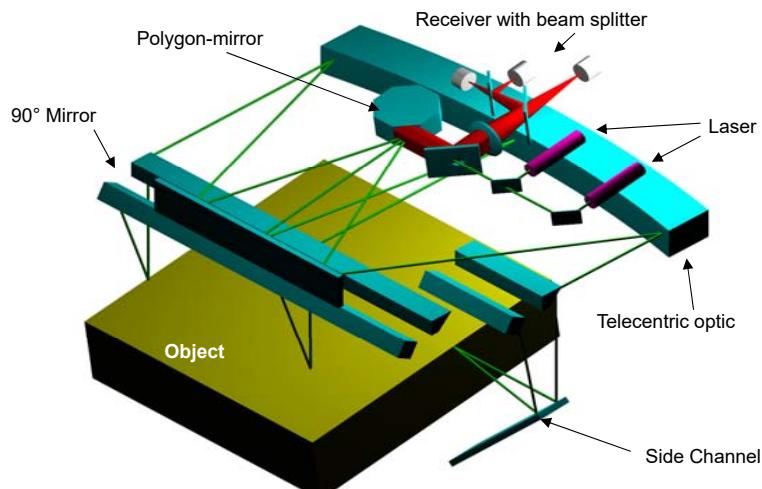
Vincent Bombardier

86

Acquisition

Numérisation :

Optical mounting



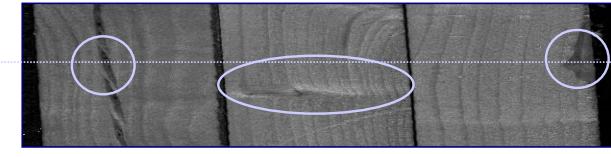
87

Acquisition

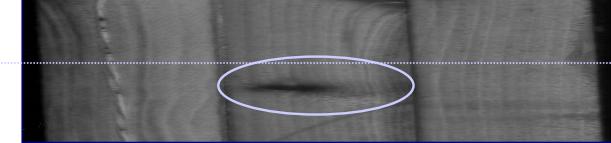
Numérisation :

Images acquises

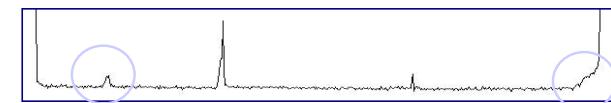
GreyScale image



Scatter'-image



3D-Signal



TELECOM
Bâncu

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

88

Acquisition

Numérisation : Intégration du capteur

Transport mechanic with
Laser scanner support



4-Sides inspection
(2 Laser scanner)



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre 2024

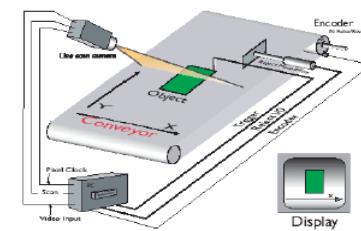
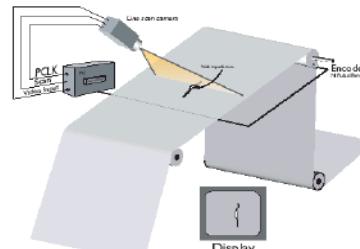
Vincent Bombardier

89

Acquisition

Numérisation : Prototype d'acquisition linéaire

Objet en translation :



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre 2024

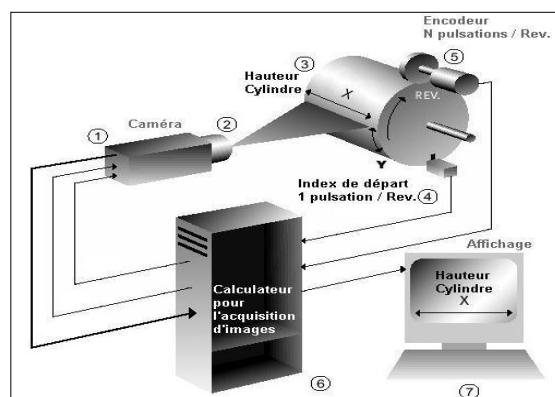
Vincent Bombardier

90

Acquisition

Numérisation : Prototype d'acquisition linéaire

Objet en rotation :



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre 2024

Vincent Bombardier

91

Acquisition

Numérisation : Exemple de montage d'observation



TELECOM
Bordeaux

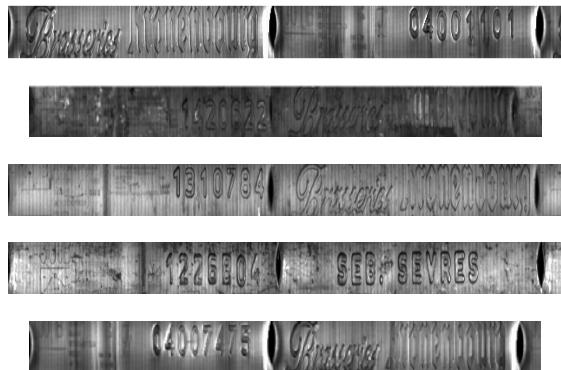
Jeudi 5 septembre 2024

Vincent Bombardier

92

Acquisition

Numérisation : Exemples d'images linéaires



TELECOM
Bordeaux

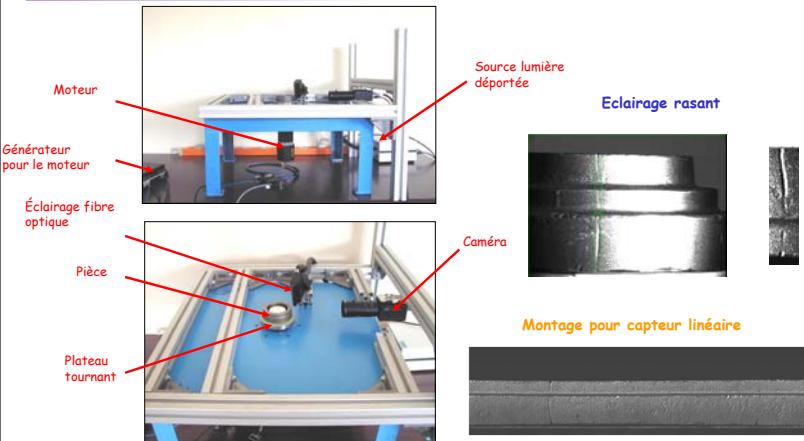
Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

93

Acquisition

Numérisation : Exemple de montage d'observation



TELECOM
Bordeaux

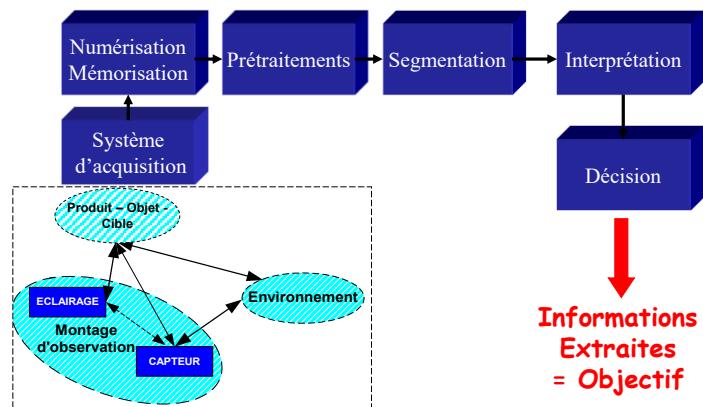
Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

94

Acquisition

Numérisation : Modèle de vision artificielle



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

96

Acquisition

Numérisation : Modèle de vision artificielle

- Intégrée au système d'acquisition ou au système de traitement.
- Numérisation : Echantillonnage et Quantification
- Mémorisation : dépend de la cible, avec ou sans compression



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

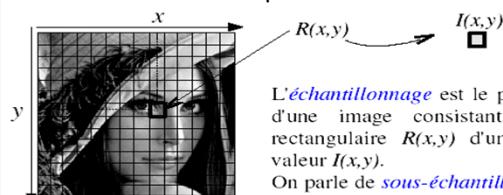
97

Acquisition

Numérisation : Image Numérique

Pixel est l'abréviation de « picture elements ».

Un pixel correspond à l'unité indivisible permettant de stocker l'information relative à une luminosité en une certaine position.



L'**échantillonnage** est le procédé de discréttisation spatiale d'une image consistant à associer à chaque zone rectangulaire $R(x, y)$ d'une image continue une unique valeur $I(x, y)$.

On parle de **sous-échantillonnage** lorsque l'image est déjà discréttisée et qu'on diminue le nombre d'échantillons.

La **quantification** désigne la limitation du nombre de valeurs différentes que peut prendre $I(x, y)$.



Une **image numérique** est une image échantillonnée et quantifiée.

TELECOM
Bordeaux

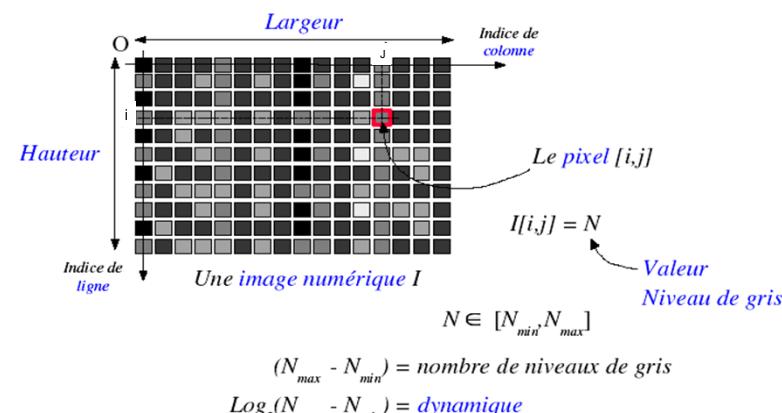
Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

98

Acquisition

Numérisation : Pixels et Niveaux de gris



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

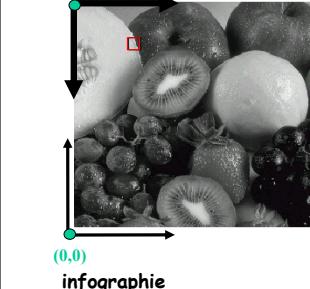
Vincent Bombardier

100

Acquisition

Numérisation : Représentation d'une image

(0,0)



infographie

| x = | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | |
|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|
| y = | 41 | 210 | 209 | 204 | 202 | 197 | 247 | 143 | 71 | 64 | 80 | 84 | 54 | 54 | 57 | 58 |
| | 42 | 206 | 196 | 203 | 197 | 195 | 210 | 207 | 56 | 63 | 58 | 53 | 53 | 61 | 62 | 51 |
| | 43 | 201 | 207 | 192 | 201 | 198 | 213 | 156 | 69 | 65 | 57 | 55 | 52 | 53 | 60 | 50 |
| | 44 | 216 | 206 | 211 | 193 | 202 | 207 | 208 | 57 | 69 | 60 | 55 | 77 | 49 | 62 | 61 |
| | 45 | 221 | 206 | 211 | 194 | 196 | 197 | 220 | 56 | 63 | 60 | 55 | 46 | 97 | 58 | 106 |
| | 46 | 209 | 214 | 224 | 199 | 194 | 193 | 204 | 173 | 64 | 60 | 59 | 51 | 62 | 56 | 48 |
| | 47 | 204 | 212 | 213 | 208 | 191 | 190 | 191 | 214 | 60 | 62 | 66 | 76 | 51 | 49 | 55 |
| | 48 | 214 | 219 | 215 | 207 | 208 | 180 | 172 | 184 | 69 | 72 | 55 | 49 | 56 | 52 | 56 |
| | 49 | 209 | 205 | 214 | 205 | 204 | 196 | 187 | 196 | 86 | 62 | 66 | 87 | 57 | 60 | 48 |
| | 50 | 203 | 201 | 205 | 202 | 203 | 205 | 146 | 149 | 63 | 55 | 55 | 45 | 46 | 45 | 46 |
| | 51 | 207 | 210 | 210 | 199 | 217 | 194 | 183 | 177 | 149 | 90 | 62 | 54 | 52 | 52 | 52 |
| | 52 | 208 | 205 | 209 | 209 | 197 | 194 | 183 | 187 | 187 | 230 | 58 | 68 | 61 | 51 | 66 |
| | 53 | 204 | 206 | 203 | 209 | 195 | 203 | 188 | 185 | 183 | 221 | 75 | 61 | 58 | 60 | 60 |
| | 54 | 200 | 203 | 196 | 236 | 188 | 197 | 163 | 190 | 163 | 196 | 122 | 63 | 58 | 64 | 66 |
| | 55 | 205 | 210 | 202 | 203 | 199 | 197 | 196 | 181 | 173 | 186 | 105 | 02 | 57 | 64 | 63 |

TELECOM
Bordeaux

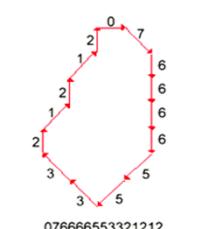
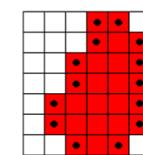
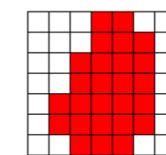
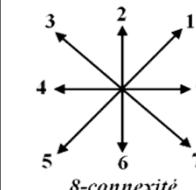
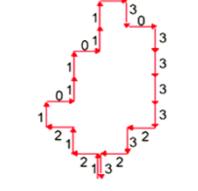
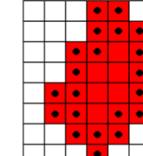
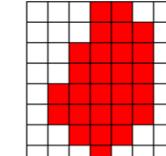
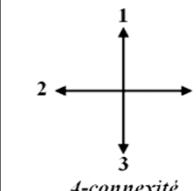
Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

99

Acquisition

Numérisation : Connexité - Notion de voisinage



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

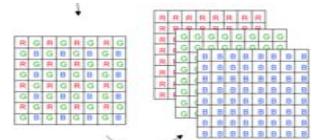
Vincent Bombardier

101

Acquisition

Numérisation : Représentation d'une image couleur

Une image couleur est un vecteur à trois composantes par position spatiale.



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

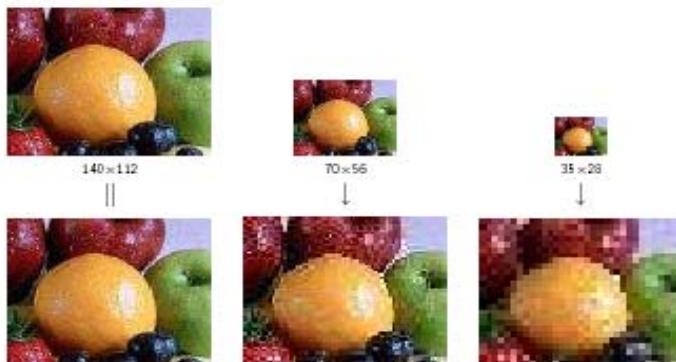
Vincent Bombardier

102

Acquisition

Numérisation : Echantillonnage

➤ Un tableau dont la taille est synonyme de précision



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

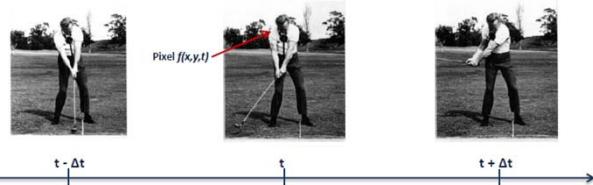
104

Acquisition

Numérisation : Représentation d'une suite d'images

Vidéo numérique

- Le mot **vidéo** vient du latin **video** qui signifie « **je vois** ». C'est un terme qui regroupe l'ensemble des techniques permettant la visualisation ou l'enregistrement d'**images animées accompagnées de son**, sur un support électronique et, non de type pellicule argentique.
- Une **vidéo** est une succession d'images à une certaine cadence. L'œil humain est capable de distinguer environ 20 images par seconde.
- On caractérise la **fluidité (vitesse)** d'une vidéo par le nombre d'images par secondes (en anglais **frame rate**), exprimé en **FPS** (Frames per second).



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

103

Acquisition

Numérisation : Echantillonnage et quantification

Résolution...

...spatiale :



Échantillonnage

...tonale :



Quantification

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

105

Acquisition

Numérisation : Quantification

- Pour une image en niveaux de gris, si l'on code les niveaux sur 8 bits, on pourra décrire 256 valeurs entières (nuances), de 0 (noir) à 255 (blanc).
- Dans le cas d'une image couleur, si chaque canal, rouge, vert et bleu, est codé sur 8 bits (24 bits au total), on pourra donc décrire 16.7 millions de couleurs. Une image 24 bits est dite en "vraies couleurs" (*true colors*) et elle est de qualité photographique.

| Nombre de bits | Nombre de couleurs possibles |
|----------------|------------------------------------|
| 2 bits | $(2^2) = 4$ |
| 4 bits | $(2^4) = 16$ |
| 8 bits | $(2^8) = 256$ |
| 16 bits | $(2^{16}) = 65536$ |
| 24 bits | $(2^{24}) = 16.7 \text{ millions}$ |

Acquisition

Numérisation : Echantillonnage et information

Outre les capacités du capteur, le nombre de bits réellement nécessaires pour coder une image varie d'une image à l'autre, en fonction de leur *contenu informationnel*.

Ce nombre dépend de l'*entropie*, définie à partir de la distribution des niveaux de gris de l'image (cf plus loin, modèle statistique).

$$E = \sum_{i < N} -p_i \log_2(p_i)$$

Où N est le nombre de niveaux de gris présents, p_i est la proportion ($0 < p_i < 1$) de points de l'image ayant pour niveau de gris i . Cette grandeur représente le nombre moyen de bits par pixel nécessaires pour coder toute l'information présente. Elle est utilisée dans les techniques de compression sans perte pour adapter le volume de donnée des images à leur contenu informationnel.



Acquisition

Numérisation : Quantification

La quantification peut également faire apparaître des distorsions dans les images :

$$SNR = \frac{\sigma_s}{\sigma_n}$$



Comme pour l'échantillonnage, il existe des règles pour déterminer la bonne quantification (le bon nombre de bits) pour coder les images numériques.

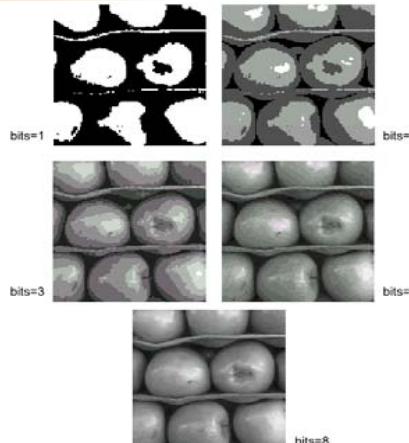
L'une dépend du *capteur*, et de sa capacité effective à observer des signaux de valeurs différentes : le *rapport signal sur bruit*.

Le rapport signal sur bruit est défini à partir du rapport entre l'*amplitude des niveaux de gris* mesurables par le capteur ($n_{\max} - n_{\min}$) et le *niveau du bruit*, en gros l'écart-type s_n de la perturbation aléatoire qui affecte les niveaux de gris. En prenant le logarithme, on a le nombre de bits utile au capteur pour coder les images.

Acquisition

Numérisation : Quantification

→ **Discretisation de l'espace des couleurs ou niveaux de gris**

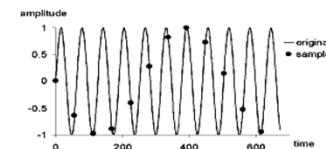


Une quantification trop faible peut causer des problèmes de faux contours

Acquisition

Numérisation : Echantillonnage et information

L'échantillonage est une étape fondamentale qui doit tenir compte du contenu informationnel pertinent de l'image à analyser. Sur l'exemple ci-dessous, en 1d, le signal échantillonné « ressemble » à une sinusoïde de fréquence 8 fois plus faible :



Ce phénomène appelé *aliasing* est encore pire en 2d, car il affecte la *fréquence et la direction* des structures périodiques. Imaginons par exemple qu'on souhaite échantillonner l'image correspondant aux bandes noires ci-dessous :



TELECOM
Barcelone

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

110

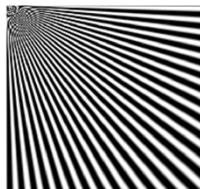
Acquisition

Numérisation : Sous-échantillonage - Moiré

Un exemple, sur une image de synthèse :



Image originale



Et sur une image naturelle :



Image sous-échantillonnée

TELECOM
Barcelone

Jeudi 5 septembre, 2024

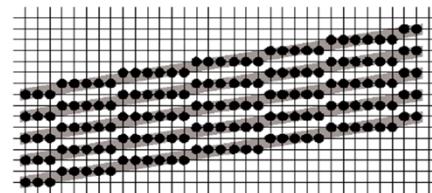
Vincent Bombardier

112

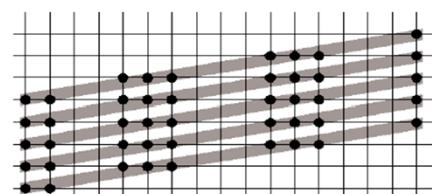
Acquisition

Numérisation : Aliasing - Crénelage

Avec un échantillonage adapté, l'image numérique fait apparaître des structures conformes à l'information présente dans l'image :



Mais en considérant seulement 1 échantillon sur 2, une structure différente apparaît, dont l'analyse (ici des bandes verticales, plus épaisses) ne sera pas conforme à la réalité de l'objet :



TELECOM
Barcelone

Jeudi 5 septembre, 2024

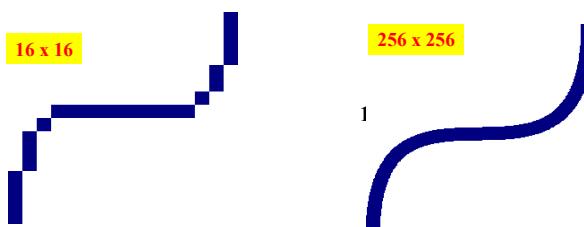
Vincent Bombardier

111

Acquisition

Numérisation : Anticrénelage (ou antialiasing)

- Utilisé dans plusieurs autres contextes (animation, rendu etc.).
- Anticrénelage ➔ Pour diminuer l'effet d'escalier



- Solution matérielle: augmenter la résolution \$\$\$
- Solution logicielle?

TELECOM
Barcelone

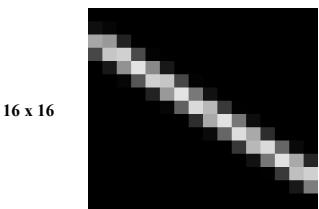
Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

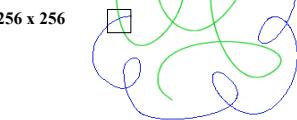
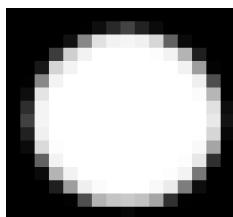
114

Acquisition

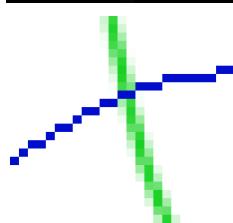
Numérisation : Anticrénelage (ou antialiasing)



16 x 16



256 x 256



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

115

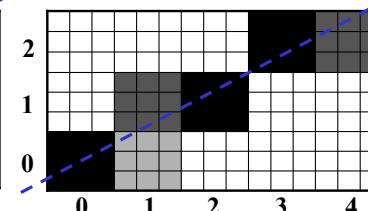
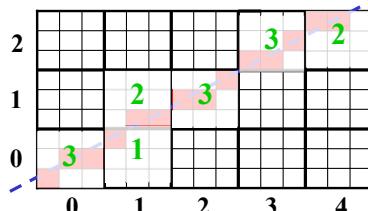
Acquisition

Numérisation : Sur échantillonnage (supersampling)

- Sur-échantillonnage = échantillonner l'objet à une plus forte résolution et utiliser les résultats pour reconstruire l'objet à une résolution plus basse

- Ex avec une ligne tracée par Bresenham :
Chaque pixel est divisé en 9 sous pixels
Ligne Bresenham → 4 niveaux de gris

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |



TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

116

Acquisition

Numérisation : Sur échantillonnage (supersampling)

Exemple sur images réelles



IFT2730
Super-résolution
(image virtuelle en mémoire)



IFT2730
Résolution normale
(affichage)

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

117

Acquisition

Numérisation : Compression

But :

- faciliter le stockage des images
- faciliter la transmission des images

| | Compression sans perte | Compression avec perte |
|-----------|---|--|
| Exemples | Compression delta Compression RLE Compression de Huffman Compression arithmétique Compression LZW | Compression JPEG Compression fractale Compression des couleurs |
| Remarques | Taux de compression limité Aucune perte d'information | Meilleurs taux de compression Perte d'information |

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

120

Acquisition

Numérisation : Caractéristiques intrinsèques à un format

- **Le statut par rapport aux brevets :** La plupart des formats sont libres mais certains sont "propriétaires", comme le format GIF.
- **Le nombre de couleurs supportées**
- **La compression des données :**
 - ↳ Utiliser les redondances:
 - Les redondances de code, quand des niveaux de couleur sont codés d'une façon qui utilise plus de symboles que strictement nécessaire.
 - Les redondances inter-pixels, quand des niveaux de couleurs se répètent de façon périodique.
 - Les redondances psychovisuelles.
 - ↳ On distingue les compressions sans pertes, qui compactent l'information des intensités sans changer leur valeurs, et les compressions avec pertes, comme JPEG, où le contenu est altéré.
- **Transparence :** La caractéristique de transparence permet de spécifier que l'une des couleurs de la palette peut être ignorée lors de l'affichage de l'image sur le moniteur (Par extension : alpha channel).
- **Entrelacage :** C'est un mécanisme qui permet de faire apparaître plus rapidement les images à l'écran, en affichant une version basse résolution raffinée au fur et à mesure du chargement.
- **Animation :** Certains formats permettent de stocker dans le même fichier plusieurs images qui représentent une animation. C'est le cas du format GIF. Des navigateurs, comme Netscape, sont alors capables d'afficher ces fichiers comme une séquence jouée.
- **Les usages !!** internet ? archivage ? calcul scientifique ?

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

121

Acquisition

Numérisation : Format de fichiers

➤ Format BMP (BitMaP de Microsoft)

- Format brut ("raw") ou binaire
- Image NON compressée → gros fichiers
- De 2 à 16 millions de couleurs
- Papiers peints, icônes... de Windows (rapide mais gros)

➤ Format TIFF (Tagged Image File Format)

- Très "ouvert", permet différents formats, différentes options et compressions (différenciable par des "tags")... donc pas très standard
- Pixel 24 bits (16,7 millions de couleurs)
- Difficile pour un logiciel de supporter TOUS les TIFF

➤ Format GIF (Graphics Interchange Format)

- Image compressée avec algorithme LZW (Lempel-Ziv & Welch) sous licence UniSys (gratuit depuis 2003)
- Palette de couleur de maxi 256 couleurs
 - Petits fichiers → Utilisé pour les sites Internet
 - Peu adapté pour la photographie. Utilisé pour les dessins.
- Possibilité de transparencies
- Possibilité d'empiler les images pour en faire un gif animé

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

122

Acquisition

Numérisation : Format de fichiers

➤ Format JPEG (Joint Photo Expert Group) Statut libre

- Nb couleurs 16 millions (vraies couleurs)
- Compression avec perte. Il est cependant possible de plus ou moins compresser les données. L'utilisateur peut faire varier le taux de compression de 1% (qualité la meilleure) à 99% (qualité la moins bonne).
- Transparence : Non
- Entrelacage Supporté. La visualisation de l'image s'effectue d'abord à très faible qualité (faible encombrement) puis la qualité augmente au fur et à mesure des passages jusqu'à atteindre la qualité finale de l'image.
- Animation : Non
- Usages Adapté aux images "naturelles" avec des grands dégradés de couleurs.

➤ Format JPEG 2000

- Meilleure compression (ondelettes) au prix du téléchargement d'un plug-in
- Aquamurquage Il s'agit de la gestion du copyright. En effet, l'insertion d'image sur internet, pose le problème de la propriété intellectuelle, et du droit d'auteur. L'aquamurquage est invisible et non effaçable.
- Manipulations géométriques
- Résolution progressive :Coder l'image afin que la lecture soit dans le sens de la qualité croissante
- Méta données : L'idée est d'ajouter dans le header de l'image des informations complémentaires non prévues initialement comme par exemple l'auteur, le lieu ou les conditions d'acquisition.

TELECOM
Bordeaux

Jeudi 5 septembre, 2024

Vincent Bombardier

123