

Traitement Numérique de l'Image

Le Système d'Acquisition - Numérisation

TELECOM Nancy 2^{ème} Année

Vincent Bombardier
(MdC 61^{ème} Section)

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



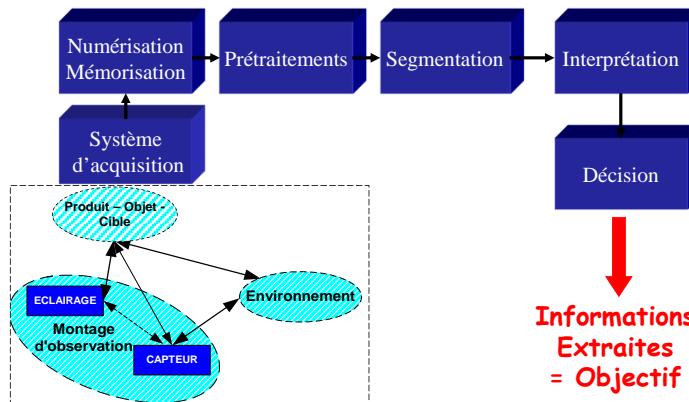
Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

**Informations
Extraites
= Objectif**

2

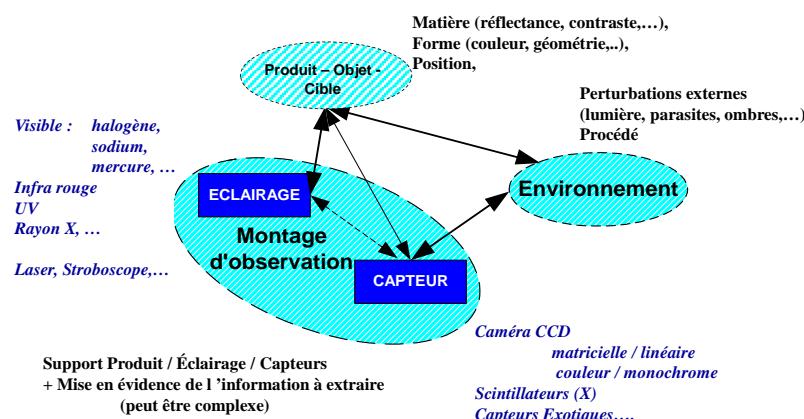
Acquisition Numérisation : Modèle de vision artificielle



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

Acquisition Numérisation : Les différentes entités

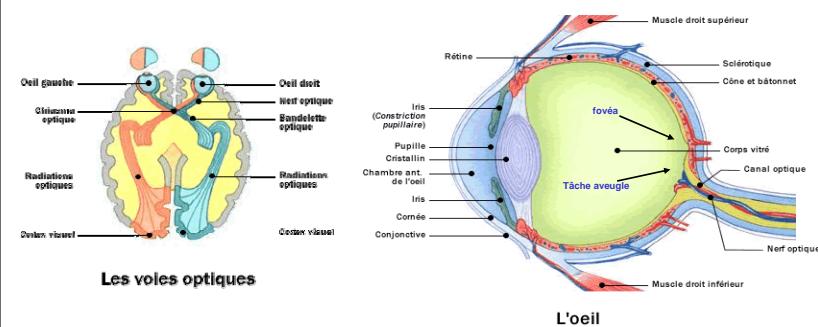


Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

3

Acquisition Numérisation : Le système visuel Humain



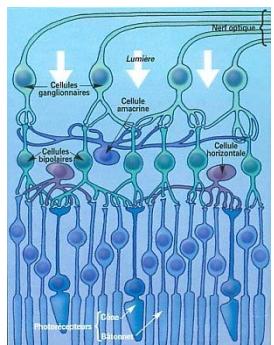
Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

4

Acquisition Numérisation :

La rétine



Les différentes couches de la rétine

➤ Comparaison :

- Rétine : **140 millions** de photorécepteurs
- Appareil photo numérique haut de gamme (2004) : **10 millions** de pixels

➤ Cellules photo-réceptrices :

- Cônes
- Batonnets

Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

5

Acquisition Numérisation : Les cônes et les bâtonnets

➤ Bâtonnets :

- ↳ Vision scotopique (faible illumination)
- ↳ Très sensible (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 sensible (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

Mardi 14 janvier 2020

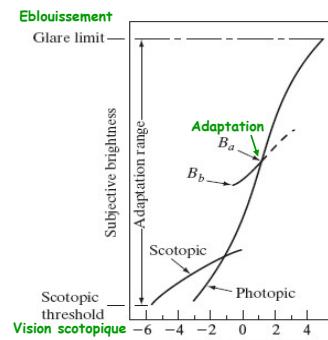
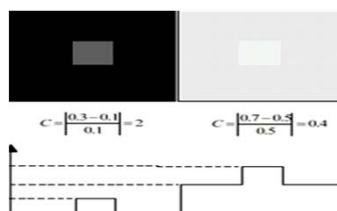
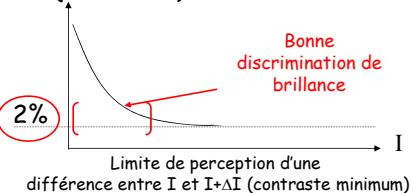
Vincent Bombardier

6

Acquisition Numérisation :

Contraste - Loi de Weber

$\Delta I/I$ (contraste)



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

$$B \approx \log I$$

$\Delta B \neq \Delta I$

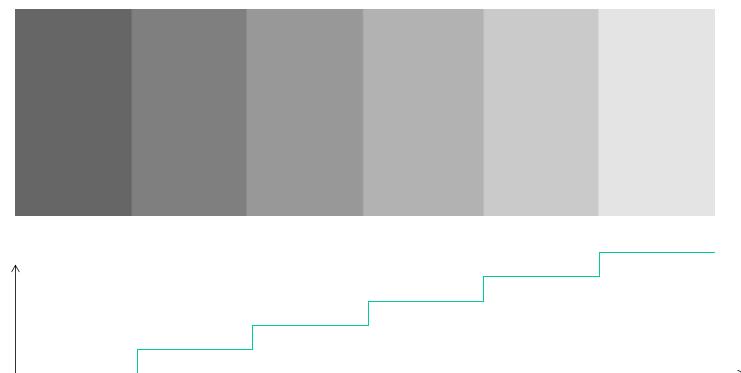
Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

7

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.



Mardi 14 janvier 2020

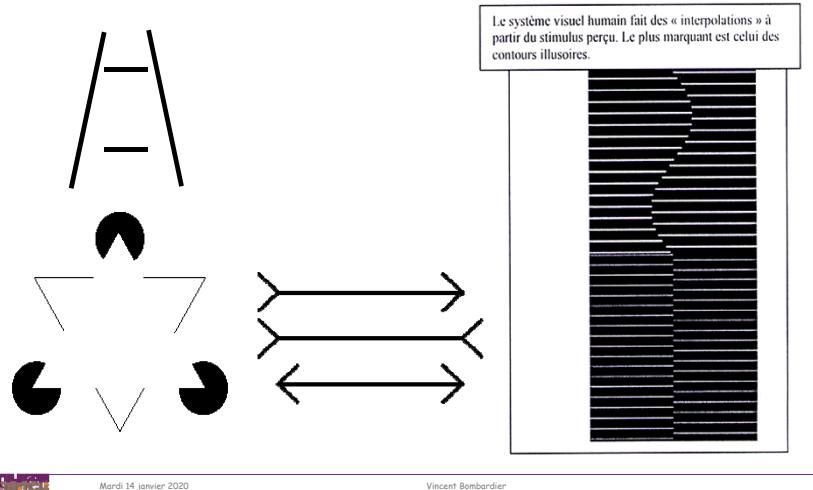
Vincent Bombardier

8

Acquisition

Numérisation :

Effets sur la perception de la luminance



Acquisition

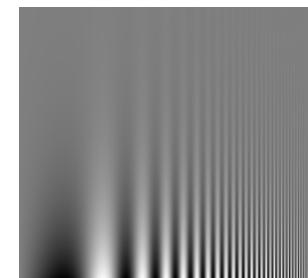
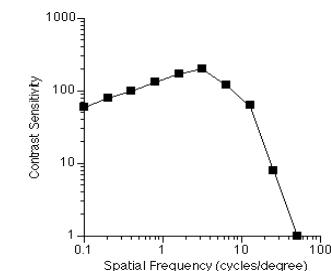
Numérisation :

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



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

10

Acquisition

Numérisation :

Définitions - Unités photométriques

- **Flux Lumineux : F en Lumen (lm)**
 - ↳ Puissance totale de la lumière émise ou reçue par une surface donnée
- **ECLAIRAGE : 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

Mardi 14 janvier 2020

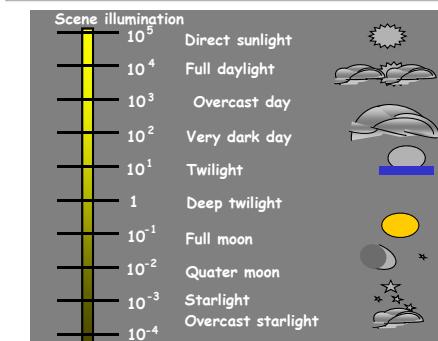
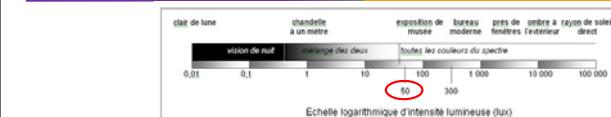
Vincent Bombardier

11

Acquisition

Numérisation :

ECLAIREMENT D'UNE SCÈNE



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

12

Acquisition

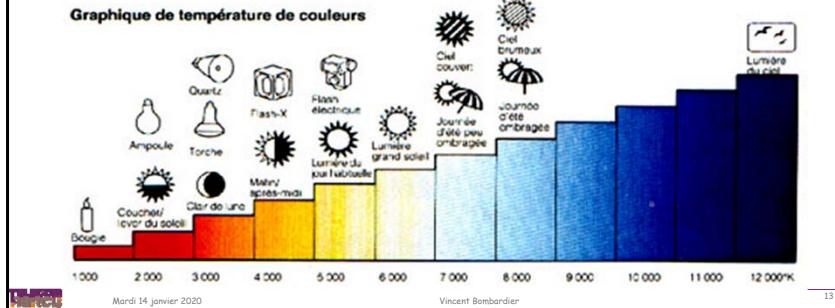
Numérisation : Température de couleur

➤ 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.

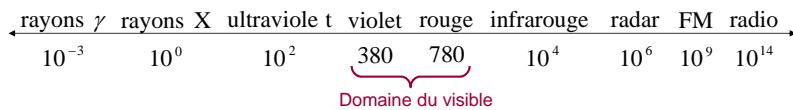
$$\text{Valeur mired} = 1\ 000\ 000 / T \text{ (K).}$$

Graphique de température de couleurs

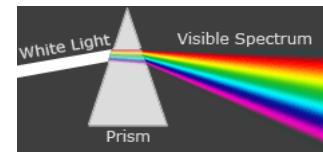


Acquisition

Numérisation : Lumière: onde électromagnétique



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

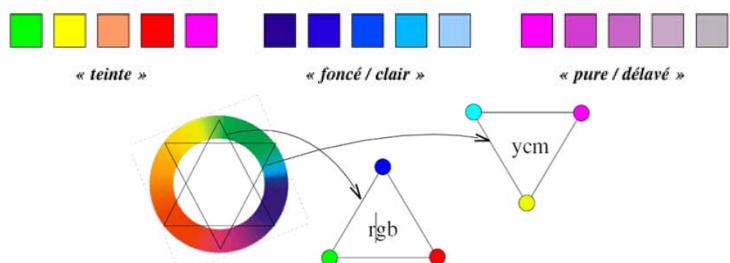


Mardi 14 janvier 2020
Vincent Bombardier
14

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 ? »

Mardi 14 janvier 2020

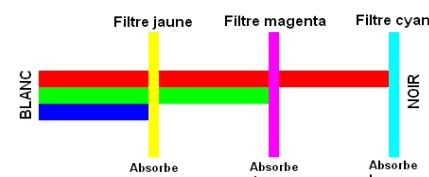
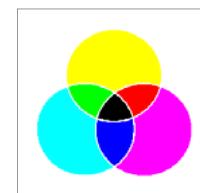
Vincent Bombardier

15

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



Ex : Blanc - Bleu = Rouge + Vert = Jaune
➤ Ex : les imprimantes utilisent la synthèse soustractive

Mardi 14 janvier 2020

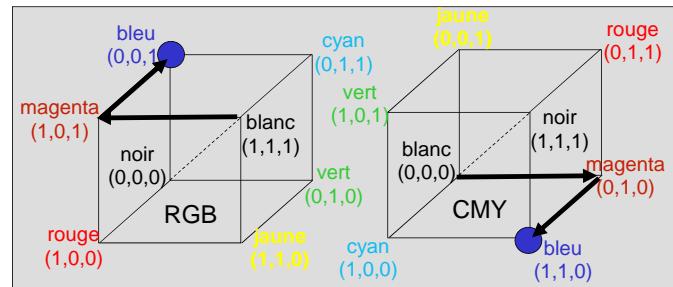
Vincent Bombardier

16

Acquisition

Numérisation :

CMY(K) (imprimante)



$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

bleu_{CMY} bleu_{RGB}

- Soustratif : dans l'espace RGB, on commence avec le blanc, puis on soustrait la quantité voulue de vert (avec encre magenta), puis de rouge (avec encre cyan), etc...

Mardi 14 janvier 2020

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.

Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

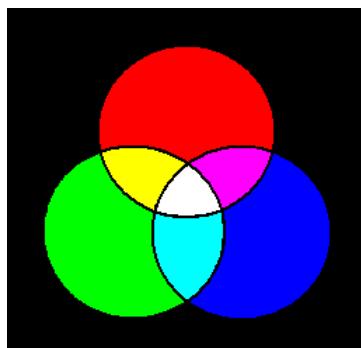
18

Acquisition

Numérisation :

Système de couleurs additif

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



Bleu + Vert = Cyan
 Bleu + Rouge = Magenta
 Vert + Rouge = Jaune
 Bleu + Vert + Rouge = Blanc

Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

19

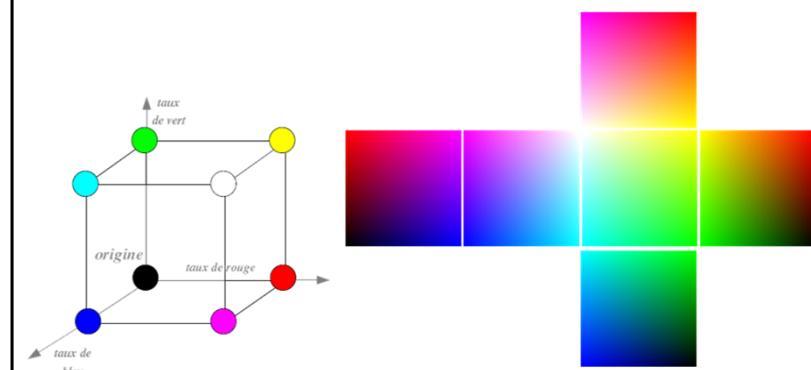
Acquisition

Numérisation :

Espace Colorimétrique RGB (Moniteur)

- Additif

- La couleur obtenue dépend des phosphores de chaque moniteur



Mardi 14 janvier 2020

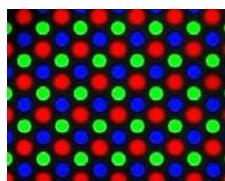
Vincent Bombardier

20

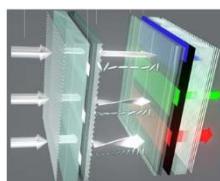
Acquisition

Numérisation : Système de couleurs additif

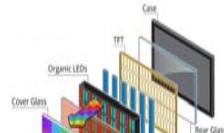
- Ce principe de synthèse additive de la couleur se retrouve dans la plupart des dispositifs lumineux de restitution de la couleur : CRT, LCD, LED, OLED.



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 qui change l'orientation des cristaux, 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.

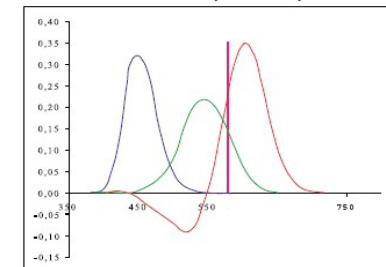
Acquisition

Numérisation :

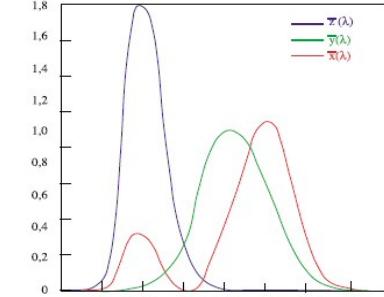
Expérience de la CIE

CIE: Commission Internationale de l'Éclairage, Paris

Fonctions colorimétriques du système RVB



Fonctions colorimétriques du système CIE



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

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

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 $\notin [0,1]$ 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)

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

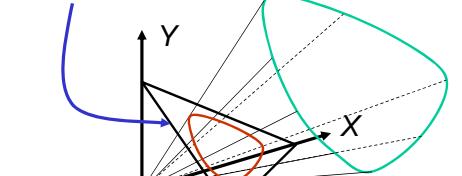
Espace chromatique xy

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

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

$$X + Y + Z = 1$$

Plan X+Y+Z=1



Cône des couleurs visibles dans l'espace XYZ

Diagramme de chromaticité CIE
Intersection du cône et du plan X+Y+Z=1

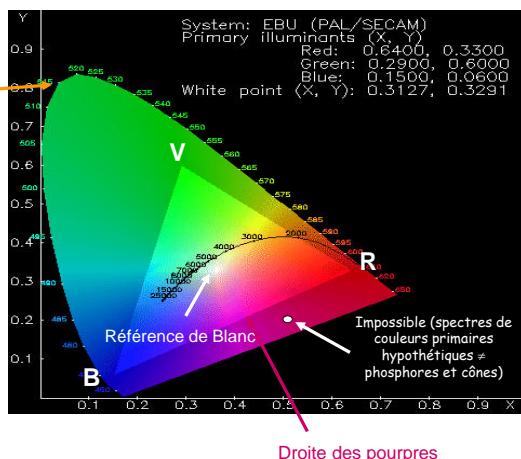
Acquisition Numérisation :

Diagramme de chromaticité CIE xy

Contour : coordonnées des sources monochromatiques
→ Couleurs pures

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



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

25

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 reflète/transmet
- ↳ Brillance (brightness) pour émission



Les modèles basés sur ces propriétés sont appelés HSL

Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

26

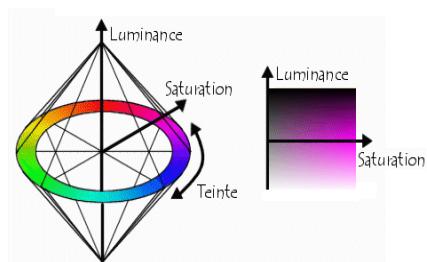
Acquisition Numérisation :

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

Mardi 14 janvier 2020

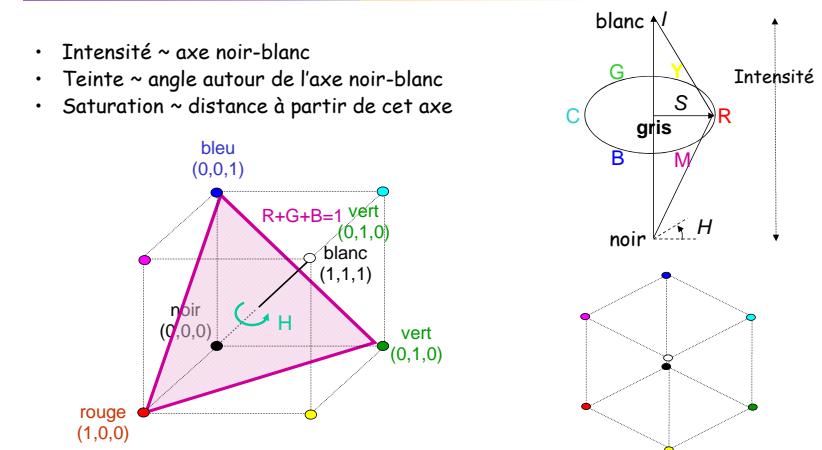
Vincent Bombardier

27

Acquisition Numérisation :

Espace HSI

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



Mardi 14 janvier 2020

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



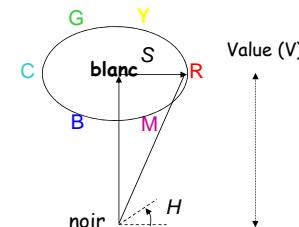
Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

29

Espace HSV

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



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

30

Acquisition

Numérisation :

Espace HSV



Teinte



Valeur



Saturation



Mardi 14 janvier 2020

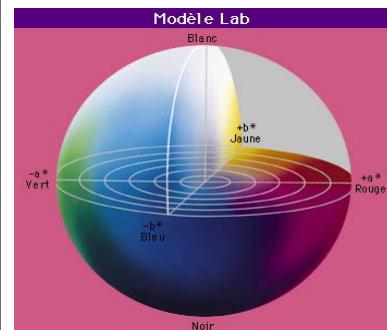
Vincent Bombardier

31

Acquisition

Numérisation : Modèles basés sur la perception

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



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

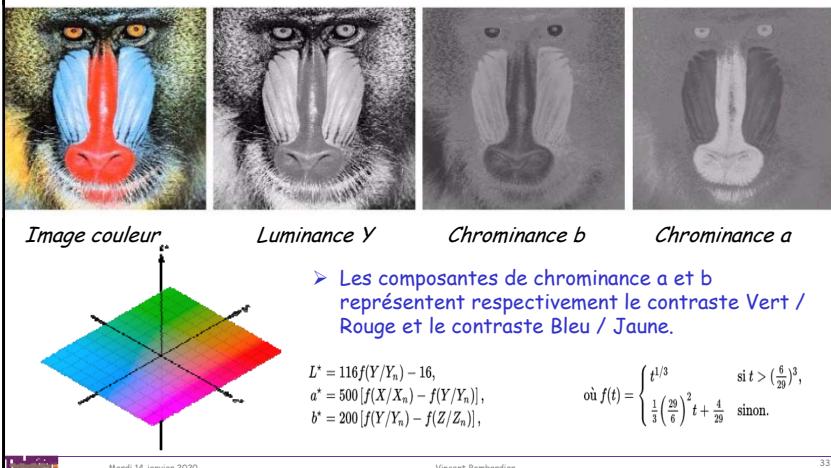
32

- 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

Acquisition

Numérisation : Modèles basés sur la perception



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

33

Acquisition

Numérisation : Repère YIQ (NTSC)

- Les téléviseurs noir&blanc n'affichent que Y
- Conversion couleur vers noir&blanc ?

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

- $Y = 0.299*R + 0.587*G + 0.114*B$
- $Y \approx G$ (et R)
- $I = 1/3 (R+V+B)$ (système HSI)

Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

35

Acquisition

Numérisation : Repère YIQ (NTSC)

- Créé par le National Television Standards Committee (NTSC)

- ↳ Pour rendre plus efficace la transmission des signaux de télévision
- ↳ Pour assurer la compatibilité avec les écrans noir-blanc.

- Basé sur la perception visuelle humaine

- ↳ Oeil plus sensible aux variations de luminosité que de teinte
 - Plus d'information sur la composante Y ~ luminance
 - 2/3 de la largeur de bande du signal transmis
- ↳ Oeil plus sensible aux transitions dans une plage orange-bleue que vert-magenta
 - I chrominance (en phase) ~ Couleur orange-cyan (teinte peau), 1/4 du signal
 - Q chrominance (en quadrature) ~ Couleur vert-magenta, 1/12 du signal

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.956 & 0.621 \\ 1 & -0.272 & -0.647 \\ 1 & -1.105 & 1.702 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix}$$

Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

34

Acquisition

Numérisation : Eclairage : les différents types

- Eclairages Non Collimatés ou Diffus

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



- Eclairage Collimatés ou Structuré

- ↳ 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, ...



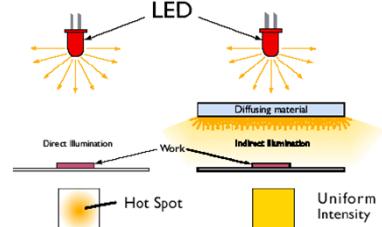
Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

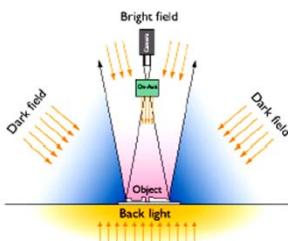
36

Acquisition

Numérisation : L'Eclairage



Lumière Diffuse (pas de reflet)



Différents Types d'Eclairage

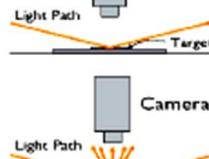
Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

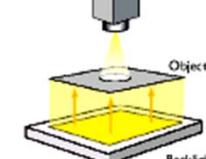
37

Acquisition

Numérisation : L'Eclairage



Eclairage rasant (Dark field)



Eclairage « ombre chinoise » (Back field)



Mardi 14 janvier 2020

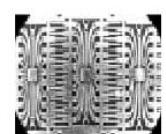
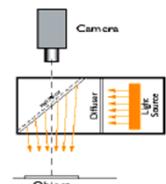
Vincent Bombardier

38

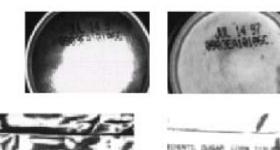
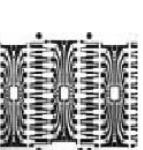
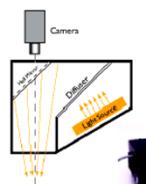
Acquisition

Numérisation : L'Eclairage

Eclairage Coaxial:



Eclairage Dome:



Mardi 14 janvier 2020

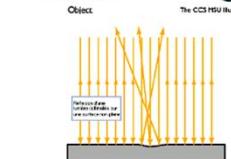
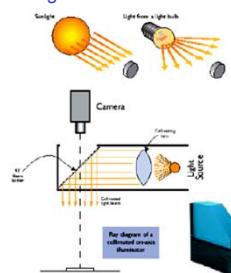
Vincent Bombardier

39

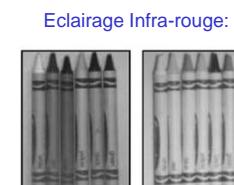
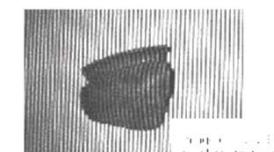
Acquisition

Numérisation : L'Eclairage

Eclairage Collimaté:



Eclairage Structuré (laser):



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

40

Acquisition

Numérisation : Profilométrie laser



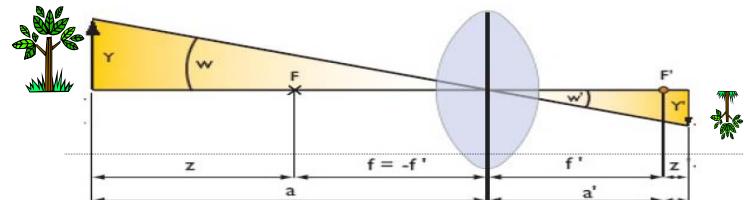
Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

41

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 $m = a'/a = 20\text{mm}/100\text{m} = 2.10^{-4}$

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

Mardi 14 janvier 2020

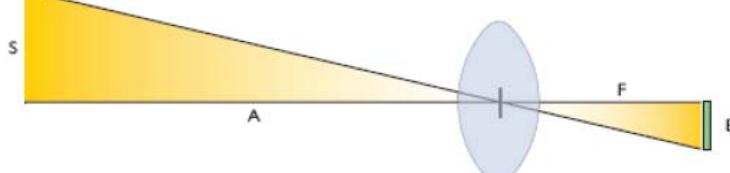
Vincent Bombardier

46

Acquisition

Numérisation : La focale

- Calcul de la longueur focale et de l'angle de champ:



$$S = (A \cdot B) / F$$

$$F = (A \cdot B) / S$$

$$\text{Angle de champ} = 2 \times \arctg(B/F) = 2 \times \arctg(S/A)$$

A= distance objet-lentille
S= objet
B= hauteur du capteur
F= distance focale

Mardi 14 janvier 2020

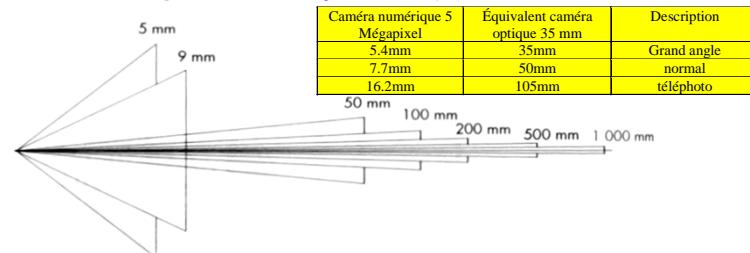
Vincent Bombardier

47

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,...



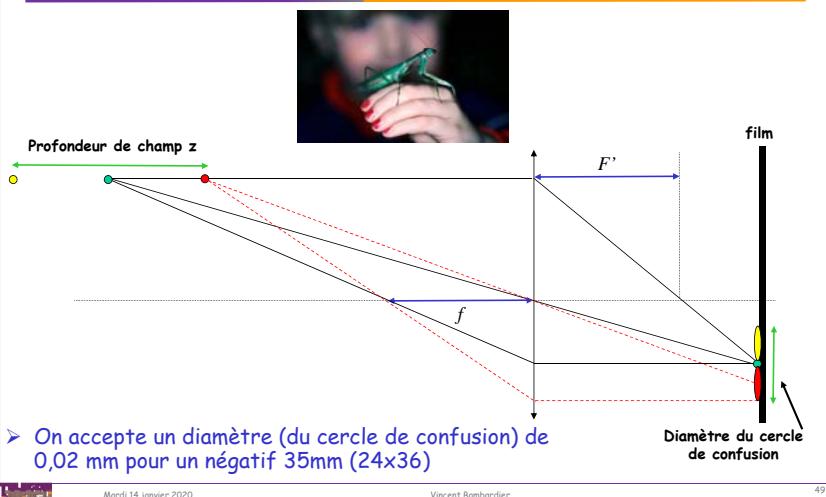
Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

48

Acquisition

Numérisation : Profondeur de champ



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

49

Acquisition

Numérisation : Exemples d'Objectifs

JENmetar

Objectifs Télescopiques de précision pour Traitement d'Images

- Optiques idéalement adaptées pour :
- Mesure par système de vision,
- Inspection de surface,
- Reconnaissance d'objets,
- Analyse d'objets,
- Détermination de la position.
- Très grande précision
- Haute fiabilité,
- Matériel durci.
- JENmetar 1x/12 LD *C.O : 8,8x6,6mm²*D. : 153mm
- JENmetar 0,4x/12 LD C.O : 22x16,5mm² D. : 97mm
- JENmetar 0,2x/12 LD C.O : 44x33mm² D. : 95mm
- JENmetar 1:1,0/05/18 A C.O : 8,8x6,6mm² D. : 83mm
- JENmetar 1:2,5/0,05/12 A C.O : 22x16,5mm² D. : 84mm
- JENmetar 1:6,6/0,067/9 LD C.O : 42X31,6mm² D. : 295mm
- JENmetar 1:6,6/0,067/9 ALD C.O : 42X31,6mm² D. : 288mm
- JENmetar 0,3x/12 C.O : 66X49,5mm² D. : 102mm
- JENmetar 1:10/0,05/12 C.O : 88x66mm² D. : 97mm
- *C.O. : Champ de l'objectif
- *D. : Distance de travail



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

51

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 :

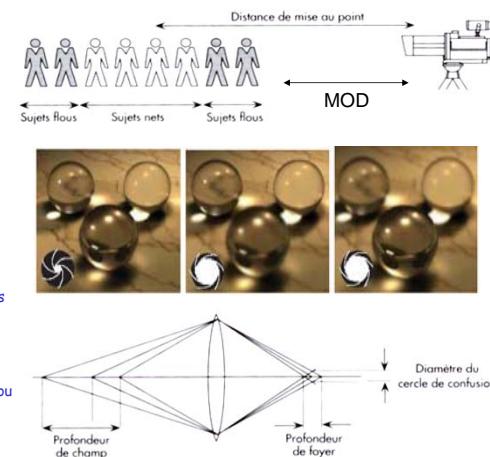
Plus l'ouverture du diaphragme diminue, plus la profondeur de champ augmente

➤ 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



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

50

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 / Télescopique

➤ Ouverture

➤ Monture : F, C, CS, ...

Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

52

12

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 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 (frelon, ...)
- 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 $\alpha \square \rho + \tau = 1$



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

53

Acquisition

Numérisation : Les Capteurs

Phénomène physique	Grandeur mesurée	Capteur
Émission et réflexion de la lumière visible	Réflectance, luminance,...	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,...

Mardi 14 janvier 2020

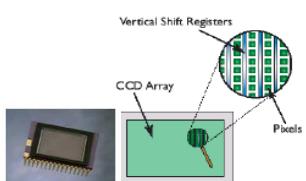
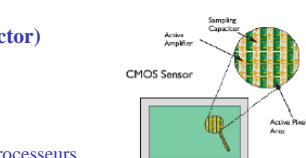
Vincent Bombardier

54

Acquisition

Numérisation : Caméras actuelles

- Les deux technologies sont sous forme d'une grille ou matrice de capteurs photosensibles convertissant la lumière en signal électrique
- CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)
 - ↳ Senseur de bonne qualité mais plus sujet au bruit
 - ↳ Moins sensible à la lumière en partie interceptée par le réseau de transistors du CMOS
 - ↳ Moins cher car utilise une procédure de construction plus classique comme pour manufacturer des microprocesseurs.
 - ↳ Faible consommation d'énergie
 - ↳ Pour la plupart des caméras et webcams bon marché
- CCD (Charge-Coupled Device)
 - ↳ Senseur de haute qualité: bruit faible, sensibilité à la lumière, haute résolution
 - ↳ Plus cher car procédure de construction particulière
 - ↳ Forte consommation d'énergie (~ 100 x CMOS)
 - ↳ Pour les caméras de haute qualité



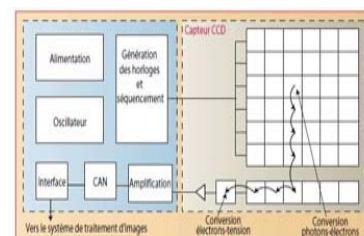
Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

56

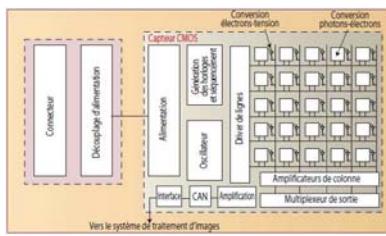
Acquisition

Numérisation : Capteurs Caméras



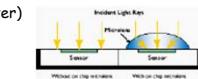
- Avantages:**
- Qualité d'images élevée (taux de remplissage)
 - Bruit très faible
 - Haute sensibilité

- Points négatifs:**
- Saturation du capteur aux fortes luminosités (blooming)
 - Consommation



- Avantages:**
- Consommation faible
 - Fenêtrage (Rolling Shutter)
 - Compacité

- Points négatifs:**
- Faible remplissage
 - Sensibilité modérée + bruit



Mardi 14 janvier 2020

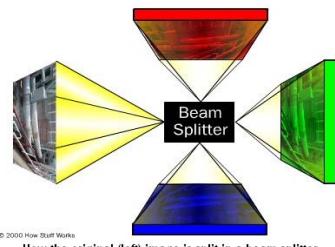
Vincent Bombardier

57

Acquisition

Numérisation : Capteurs Couleur

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



- Mono- ➔ un filtre rotatif (“spinning disk filter”) devant la matrice de capteurs (caméra fixe)



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

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

56

Acquisition

Numérisation : Capteurs Caméras

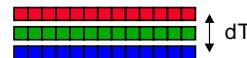
➤ Caméras matricielles

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



➤ Caméras linéaires (Noir & blanc ou Couleur)

- ↳ Adapté au produit en défilement
- ↳ Caméras mono-CCD / cameras tri-CCD
- ↳ Synchronisation de l'acquisition (cellule + codeur)



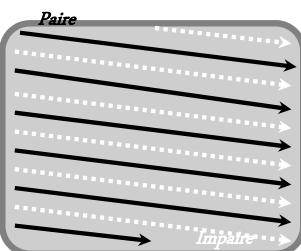
Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

66

Acquisition

Numérisation : Entrelacement/ Progressive Scan

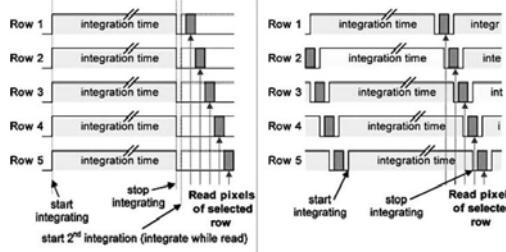


Acquisition

Numérisation :

Caméras CMOS : Rolling Shutter

Temps d'intégration : Shutter



Déformation



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

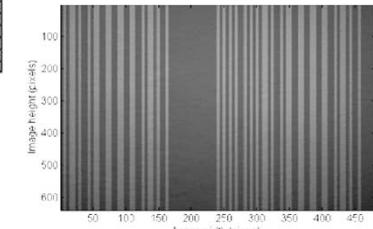
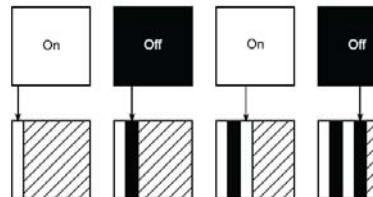
71

Acquisition

Numérisation :

Caméras CMOS : Rolling Shutter

Visible light: communiquer une information via la lumière visible



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

72

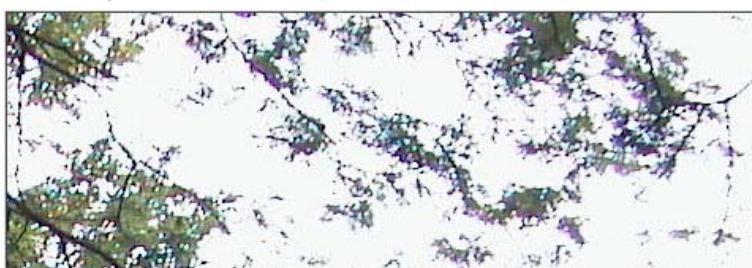
Acquisition

Numérisation :

Blooming

➤ A **pixel** on a digital camera **sensor** collects photons which are converted into an electrical charge by its photodiode. As explained in the **dynamic range** topic, once the "bucket" is full, the charge caused by additional photons will overflow and have no effect on the pixel value, resulting in a clipped or overexposed pixel value. Blooming occurs when this charge flows over to surrounding pixels, brightening or overexposing them in the process.

➤ In the example below, the charge overflow of the overexposed pixels in the sky causes the dark pixels at the edges of the leaves and branches to be brightened and overexposed as well. As a result detail is lost. Blooming can also increase the visibility of **purple fringing**.



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

73

Acquisition

Numérisation :

Caméras Numériques « Intelligentes »

Matrox (MIL)



Cognex



IDS



Stemmer Imaging (CVB)



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

80

Acquisition

Numérisation :

Caméra Matricielle Numérique

AVT MARLIN F-201C

caméra IEEE1394 couleur en 1600x1200

- 1/1.8" pouce Sony Progressive Scan CCD couleur
- 1628 (h) x 1236 (v)
- 15 Images/seconde full frame
- Pixels carrés
- Full Frame Shutter
- Shading correction temps réel
- Look up tables entièrement programmables
- Conversion couleur temps réel
- FPGAs embarqué
- Mémoire d'image embarquée
- Mémoire FIFO embarquée
- Convertisseur A/D 12 bits / Sortie 8-10 bits
- Entrées et Sorties programmable (2 entrées et 2 sorties)
- Format 7 supporté
- Dimensions 58 mm x 44 mm x 29 mm (L x W x H)
- Monture C



VCM30/VCM40/VCM50
World's smallest intelligent cameras

Specifications

	VCM30	VCM40	VCM50
Sensor:	640x480	1/3"CMOS	1/4" CCD
Shutter:	0.5 µsec - 4 sec in 0.5 µsec steps	>= 20/sec	
Integration:	electronic rolling snap	programmable	
Acquisition:	asynchronous, program-controlled, or triggered externally, full-frame or partial scan possible, B/W or color	FIFO, full resolution, 2x binning or 4x binning, mode change on the fly	
A-D conversion:	6.25 MHz, 8/10 bit	18.75MHz	
Processor:	375 MIPS, 75 MHz Analog Devices ADSP2185		
Image data memory:	None	8 Mbyte	
Display memory:	none		
Flash memory:	512 KBytes flash EEPROM (nonvolatile memory) for programs and data, programmable in the system		
Process interface:	2 inputs - 4 outputs @ 24V, outputs 4 x 400mA, with LED monitoring		
Serial interface:	10mA current loop, RS232 available by converter, 115200 baud max.		
Video output:	by serial JPEG transfer		
Supply voltage:	24V +/-10% DC, max. 50 mA		
Electrical connections:	12-pin VCM sensor connector		
Dimensions:	100mm long, 30mm diameter, threaded		
Lens connection:	12mm diameter, Lens included		
Housing:	DIN7		
Illumination:	Program controllable LED ring strobe included		
Weight:	approx. 100g		

Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

81

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

Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

82

Acquisition

Numérisation :

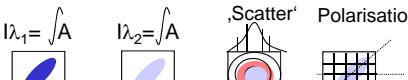
multi-sensors Laserscanner

Laser

λ_1

λ_2

λ_n



Polarisation

Scatter

3D

Triangulation

- Time stability, definite Spectrum, Polarised light
- Kongruenz Beleuchtung / Beobachtung
- Strong Point Illumination
- Telecentric Optic

Mardi 14 janvier 2020

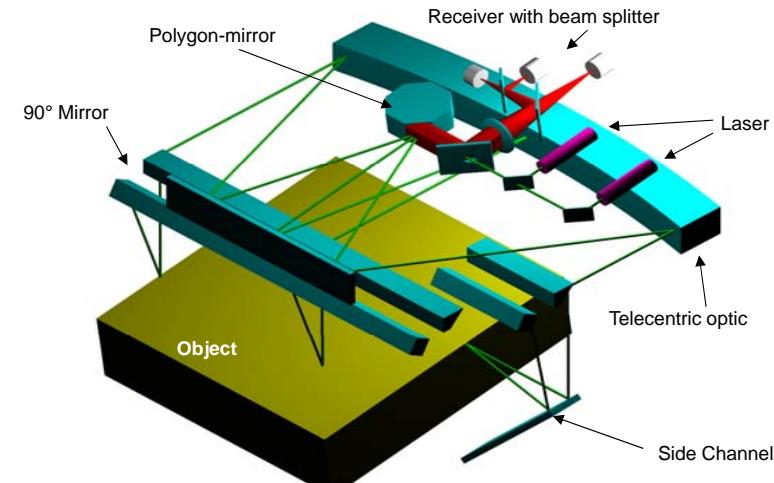
Vincent Bombardier

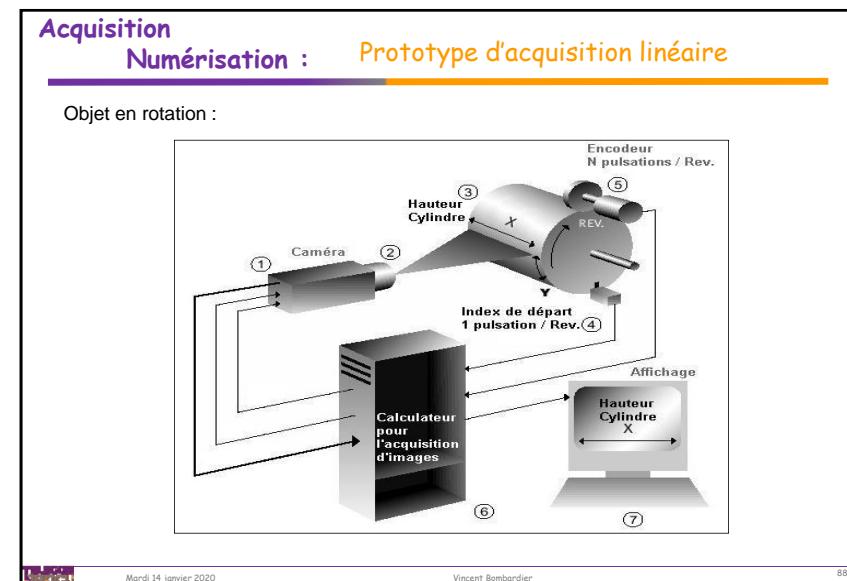
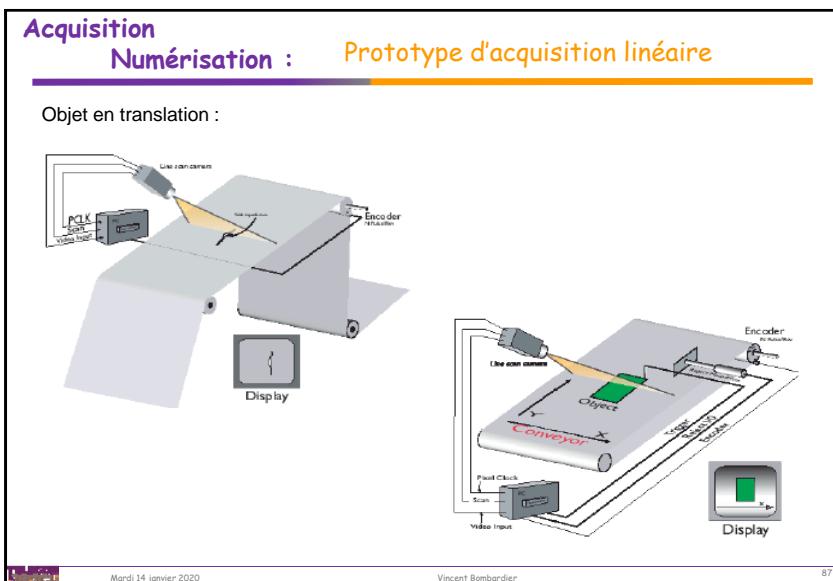
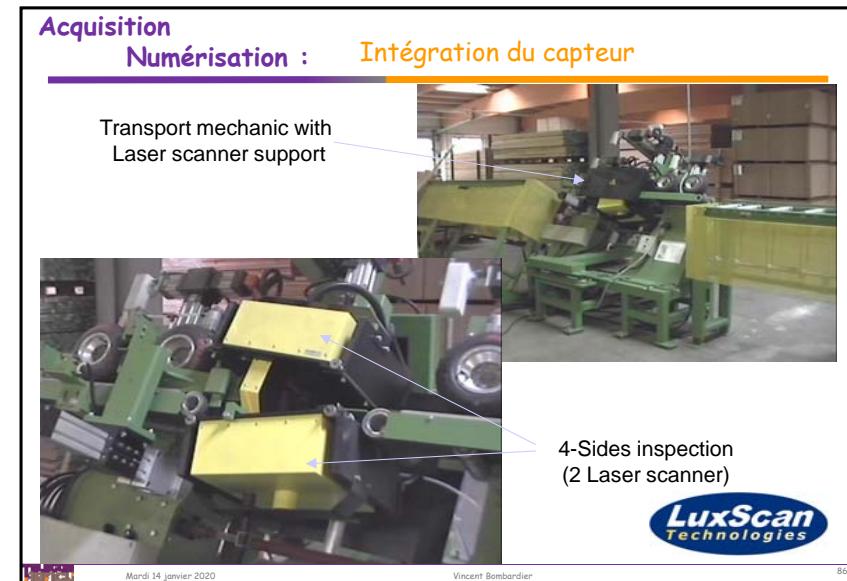
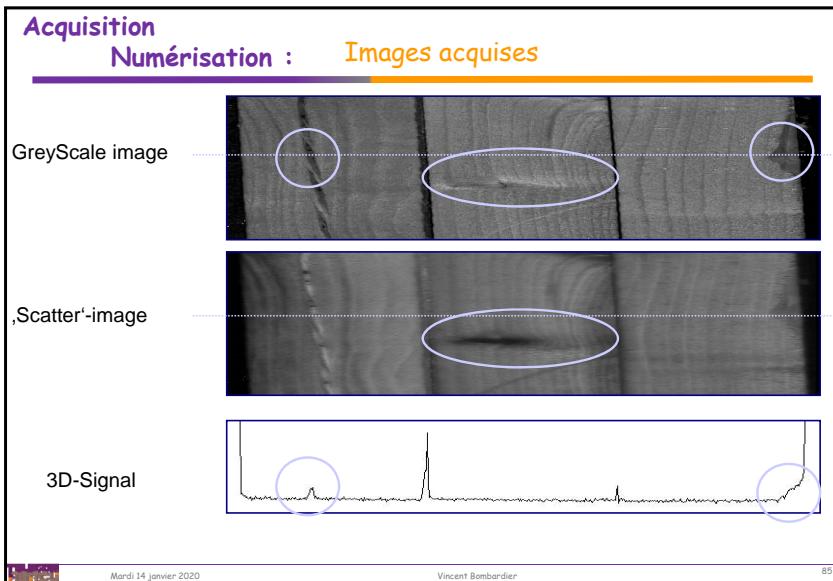
83

Acquisition

Numérisation :

Optical mounting





Acquisition

Numérisation :

Exemple de montage d'observation



Mardi 14 janvier 2020

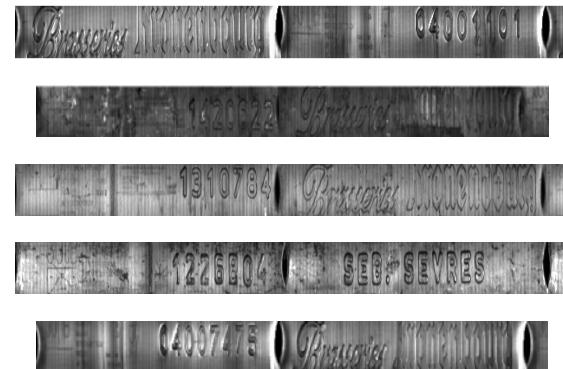
Vincent Bombardier

89

Acquisition

Numérisation :

Exemples d'images linéaires



Mardi 14 janvier 2020

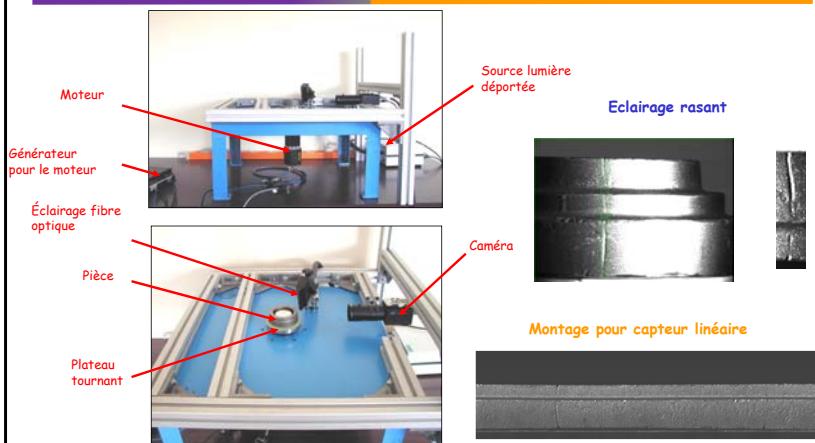
Vincent Bombardier

90

Acquisition

Numérisation :

Exemple de montage d'observation



Mardi 14 janvier 2020

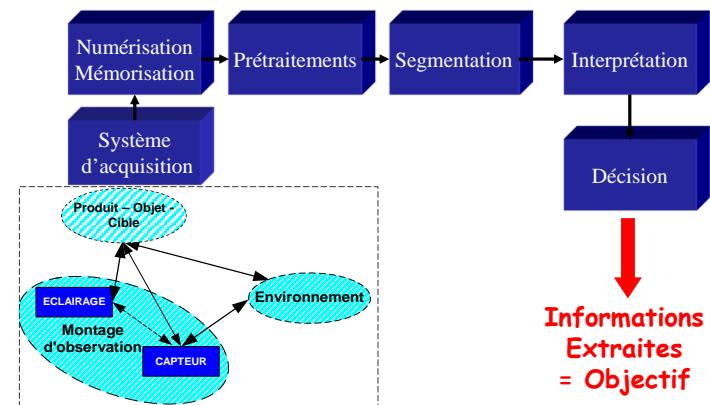
Vincent Bombardier

91

Acquisition

Numérisation :

Modèle de vision artificielle



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

93

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



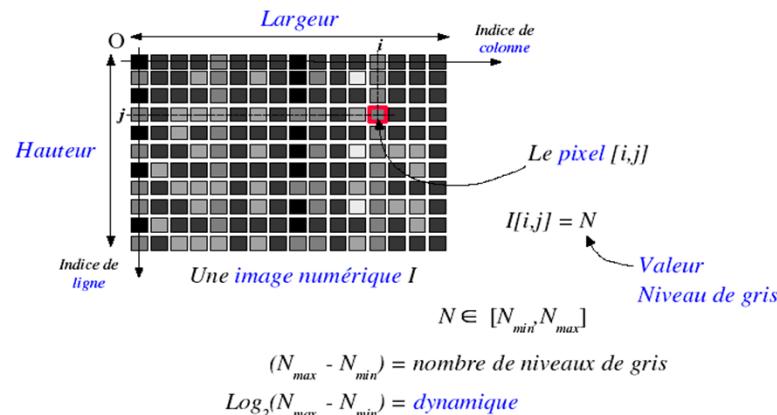
Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

94

Acquisition

Numérisation : Pixels et Niveaux de gris



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

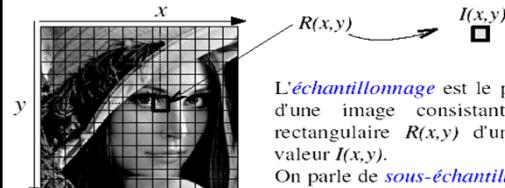
95

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.



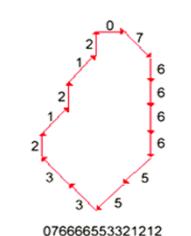
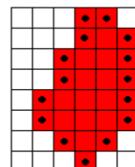
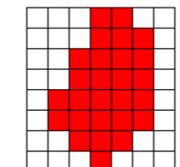
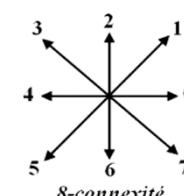
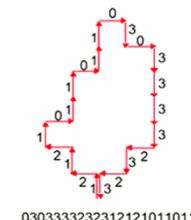
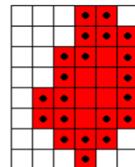
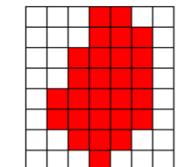
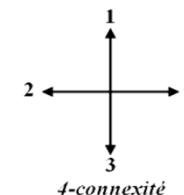
Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

95

Acquisition

Numérisation : Connexité - Notion de voisinage



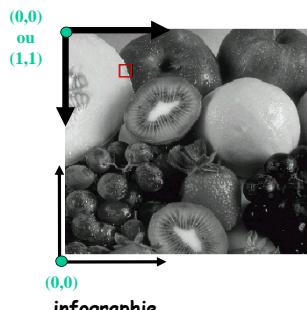
Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

97

Acquisition

Numérisation : Représentation d'une image



```
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
46 209 214 224 189 194 193 204 173 64 60 59 51 62 56 48
47 204 212 213 208 191 190 191 214 60 62 66 76 51 49 55
48 212 210 211 209 195 194 195 188 64 62 66 46 66 52 50
49 209 205 214 205 196 195 196 188 64 62 66 87 57 57 48
50 208 205 209 209 197 194 183 187 187 239 58 68 61 51 56
51 207 210 211 199 217 194 183 177 209 90 62 64 62 63 52
52 208 205 209 209 197 194 183 187 187 239 58 68 61 51 56
53 204 206 203 209 195 203 188 185 183 221 75 61 58 60 60
54 200 203 199 236 188 197 183 190 183 195 122 63 58 64 66
55 205 210 202 203 199 197 196 181 173 186 105 62 57 64 63
```

infographie

- Pour numériser des images, deux opérations :
 - Echantillonnage
 - Quantification

Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

98

Acquisition

Numérisation : Représentation d'une image couleur

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



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

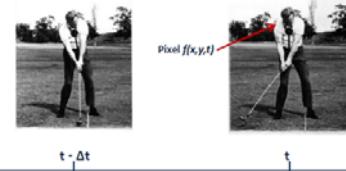
99

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).



$f(x,y,t)$

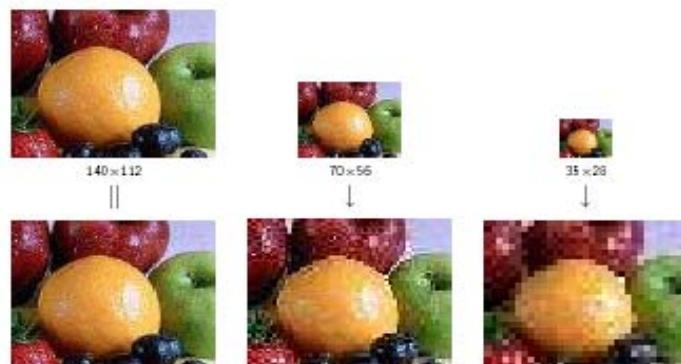
Vincent Bombardier

100

Acquisition

Numérisation : Echantillonnage

➤ Un tableau dont la taille est synonyme de précision



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

101

Acquisition

Numérisation : Echantillonnage et quantification

Résolution...

...spatiale :

Échantillonnage



256x256

128x128

64x64

32x32

...tonale :

Quantification



6 bits

4 bits

3 bits

2 bits

1 bit



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

102

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	$(2^{24}) = 16.7 \text{ millions}$



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

103

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.



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

104

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).



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

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.



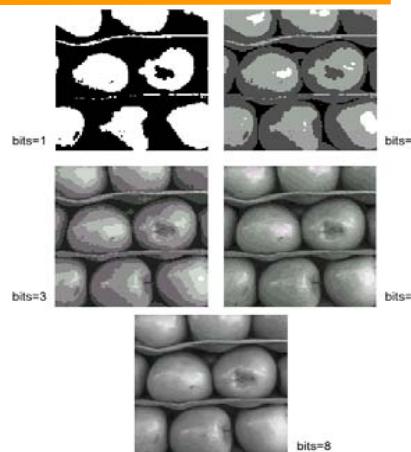
Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

105

Acquisition Numérisation : Quantification

→ Discréttisation de l'espace des couleurs ou niveaux de gris



Une quantification trop faible peut causer des problèmes de faux contours



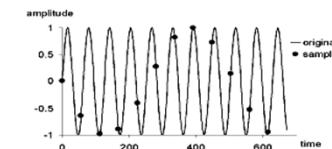
Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

106

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 :



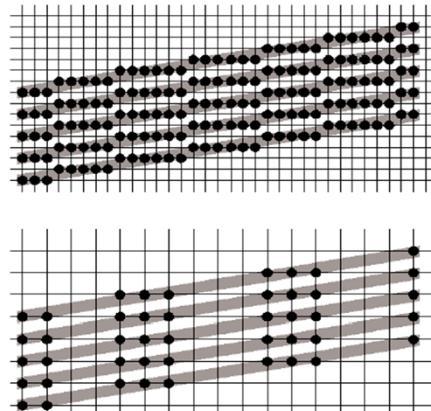
Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

107

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 :



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

108

Acquisition Numérisation : Sous-échantillonage - Moiré

Un exemple, sur une image de synthèse :



Image originale

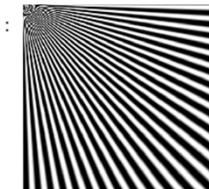


Image sous-échantillonnée

Et sur une image naturelle :



Mardi 14 janvier 2020

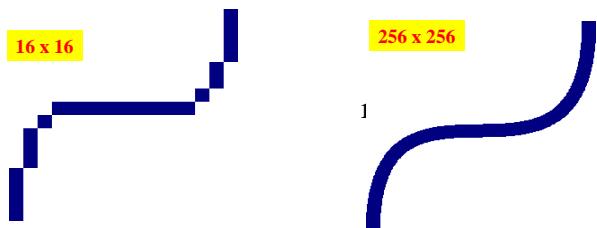
Vincent Bombardier

109

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?



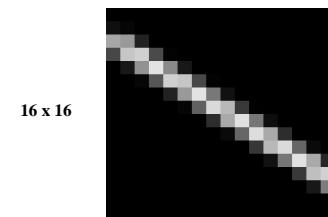
Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

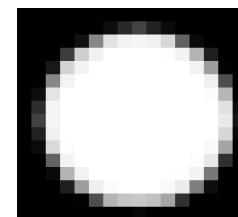
111

Acquisition

Numérisation : Anticrénelage (ou antialiasing)



16 x 16



256 x 256



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

112

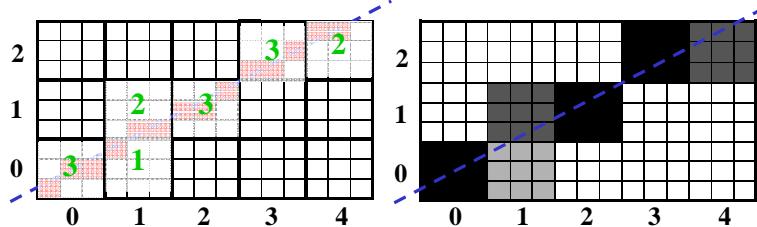
Acquisition

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



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

113

Acquisition

Numérisation : Sur échantillonnage (supersampling)

Exemple sur images réelles



Super-résolution
(image virtuelle en mémoire)



Résolution normale
(affichage)



Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

114

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

Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

117

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 ?

Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

118

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'emplier les images pour en faire un gif animé

Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

119

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.

Mardi 14 janvier 2020

Vincent Bombardier

120