

Notes du cours

TECHNIQUES MULTIMÉDIA

Mohamed Othmani

I

CHAPITRE I

INTRODUCTION

Othmani Mohamed

INTRODUCTION

3

Multimédia?

- **Media** Vient du pluriel du mot latin « **medium** » : lieu exposé aux regards de tous.
- Un média est un mode de représentation de l'information
→ un moyen de communication (comme la presse, la radio, la télévision, Internet, etc.)
- Il peut être
 - Discret (indépendant du temps)
 - Graphique
 - Image fixe
 - Continu (dépendant du temps)
 - Son
 - Video
 - Images animées

INTRODUCTION

4

Multimédia?

- Le mot **multimédia** est apparu vers la fin des années 1980, lorsque les supports de stockage se sont développés comme les CD-ROM.
- Aujourd'hui, le mot **multimédia** est utilisé pour désigner toute application utilisant ou traitant au moins un média spécifique.
- **Support Multimédia** : c'est un support qui réunit plusieurs médias en vue de leur manipulation (utilisation ou traitement).

INTRODUCTION

5

□ Intérêt

□ Des études portant sur l'interactivité montrent que l'être humain ne retient que :

- 10 % de ce qu'il LIT
- 50 % de ce qu'il ENTEND et LIT
- 70 % de ce qu'il ENTEND, LIT et VOIT

INTRODUCTION

6

□ Cycle de vie d'un projet Multimédia

1. Analyse et conception:

- Identification des besoins du projet
- Conception des informations, des interfaces et scénarisation de l'interactivité
- Rédaction d'un document la conception

Prototype



2. Production et validation :

- Crédit des éléments multimédia
- Intégration et la programmation des éléments
- Evaluation de la maquette par un groupe témoin

Besoin de stockage



3. Diffusion et maintenance

- Commercialisation, puis évaluation et maintenance

Transmission



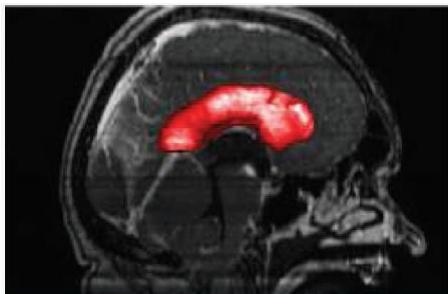
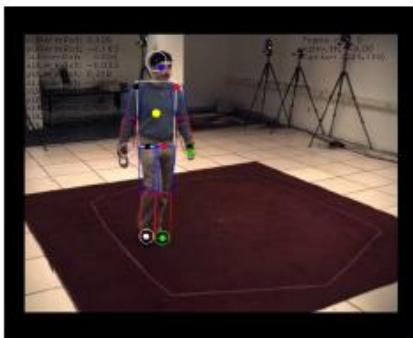
Applications

7

- Restauration des images
- Réduction de l'espace
- Correction de la transmission
- Rajout d'effets spéciaux sur les vidéos/images
- Correction des erreurs dans les séquences
- Catalogues interactifs, journaux en ligne
- Encyclopédies ou livres (papiers, électroniques)
- TV et cinéma (2D ou 3D)
- Vidéoconférences
- Construction (architecture, simulation)
- Vision artificielle

Applications intelligentes

8



- Reconnaissance d'objets
- Segmentation,
- Extraction de formes,
- Reconnaissance de Visages,
- Expressions faciales,
- Mouvements des mains,
- Réalité augmentée,
- télédiagnostic médical,
- Surveillance,
- Reconstruction 3D

Vision artificielle (Computer Vision)

9

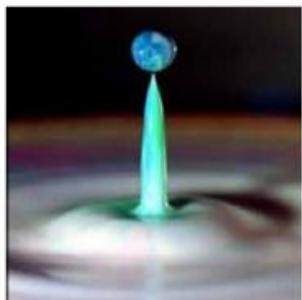
Qu'est ce que c'est ?

- connaissances et technologies qui permettent de concevoir des machines qui peuvent « voir »
- Premier niveau : vision
- acquiert une image grâce à une chaîne intégrant des éléments optiques et un capteur
- Deuxième niveau : traitement de l'image
- modifie le contenu de l'image afin de mettre en évidence des éléments d'intérêt (objets, contours)
- Troisième niveau : reconnaissance
- utilise des techniques d'intelligence artificielle pour identifier des formes connues dans l'image

Extension de la perception humaine ?

Oui

10



- Capteurs meilleurs que l'oeil humain
 - voient ce que nous ne voyons pas directement, du fait de la limitation de notre système visuel
- Autres propriétés optiques
 - problème d'échelle, de résolution, de point de vue (ex : images satellitaires)
- Autres gammes de longueurs d'onde
 - caméras multispectrales, infrarouge proche, thermiques
- Autres cadences
 - caméras à haute cadence, plusieurs milliers d'images par seconde.

Vision industrielle : contrôle de la qualité, de l'aspect, ...

11



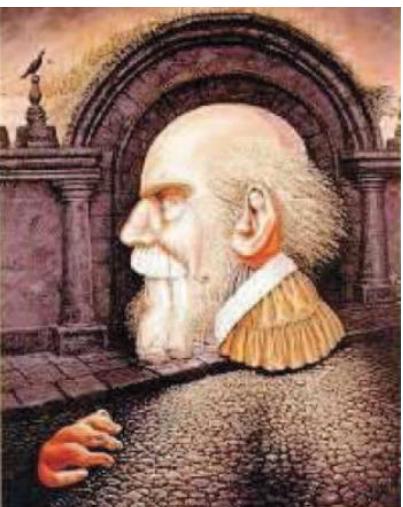
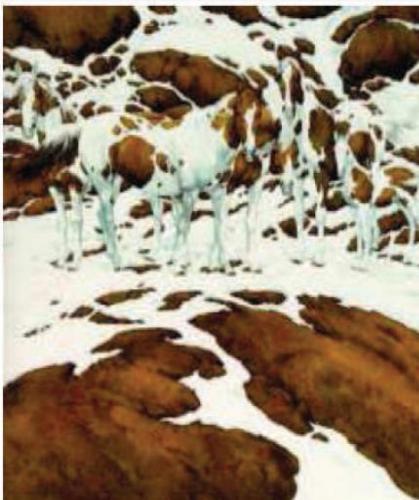
Objectifs

- éviter le contrôle visuel par un opérateur (tâche répétitive peu valorisante)
 - Contrôle dimensionnel
- le système de vision détermine la dimension, la forme, la position de l'objet qu'il observe
 - Contrôle d'aspect
- le système détermine la couleur, la texture des objets observés
 - Contrôle de la qualité
- à partir des données précédentes, le système détermine la qualité d'un produit

Mieux que la perception humaine ?

Non

12



- Moins « intelligent » que l'humain même si les images initiales sont parfois très riches, le résultat de leur traitement par un système de VA reste souvent basique
- Puissance de calcul
 - les systèmes de VA ont une capacité de calcul infiniment plus limitée que celle du cerveau humain, ou de celui des animaux évolués
- Connaissance et reconnaissance
 - nous exploitons nos connaissances pour interpréter le contenu de l'image : on reconnaît parfois des objets alors qu'ils ne sont pas visibles

INTRODUCTION

13

□ Métiers du multimédia

- Journaliste
- Graphiste
- Webdesigner
- Animateur 3d
- Monteur vidéo
- Infographiste
- Art numérique
- Développement
- Impression...

DES EXEMPLES D'APPLICATION

14

- Navigation et recherche dans les documents
- Identifier :
 - Changements de plan
 - Changements de scène
 - Mouvement de caméra
 - Mouvements des objets
 - ...



Othmani Mohamed

DES EXEMPLES D'APPLICATION

15

- Vidéo-surveillance
 - Lieux publics
 - Détection d'activités «anormales»

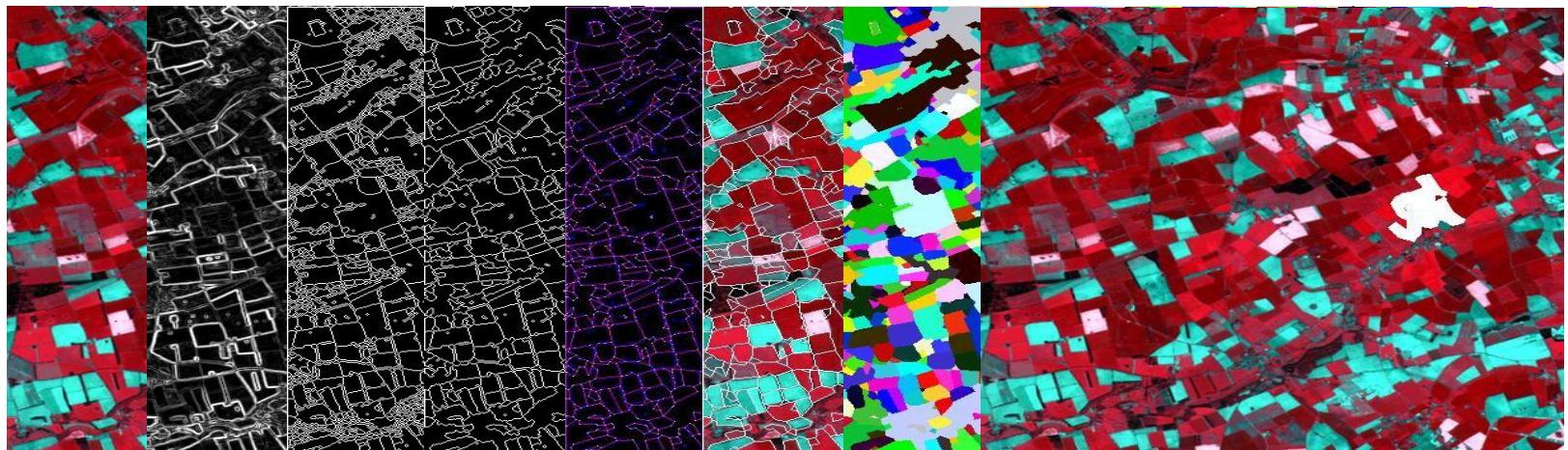


DES EXEMPLES D'APPLICATION

16

○ Imagerie satellite

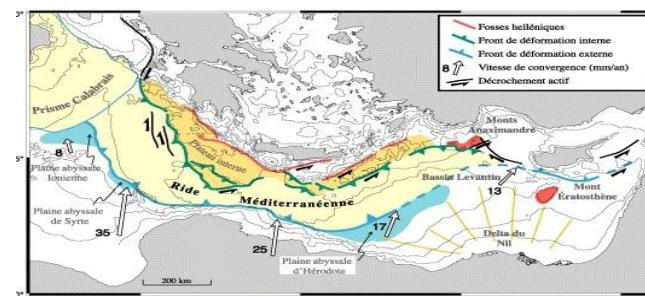
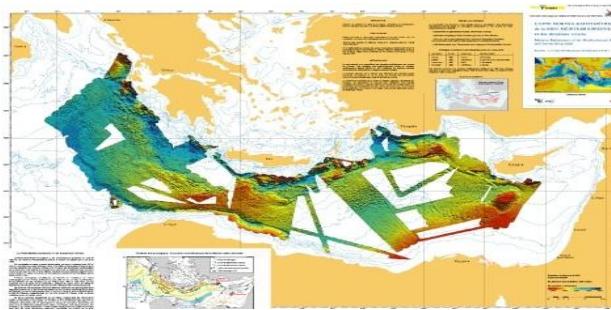
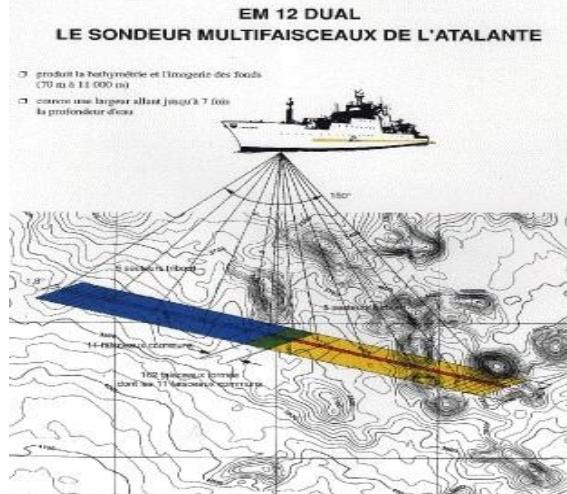
Généralement multispectrale, hyperspectrale...



DES EXEMPLES D'APPLICATION

17

○ Imagerie sonar

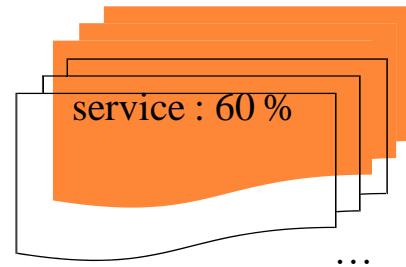
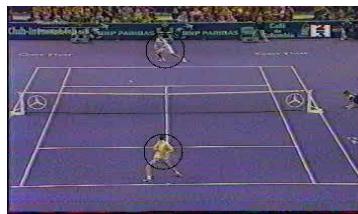


DES EXEMPLES D'APPLICATION

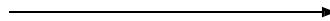
18

- Analyse sportive

- Satisfaire l'entraîneur



- Satisfaire le supporter



DES EXEMPLES D'APPLICATION

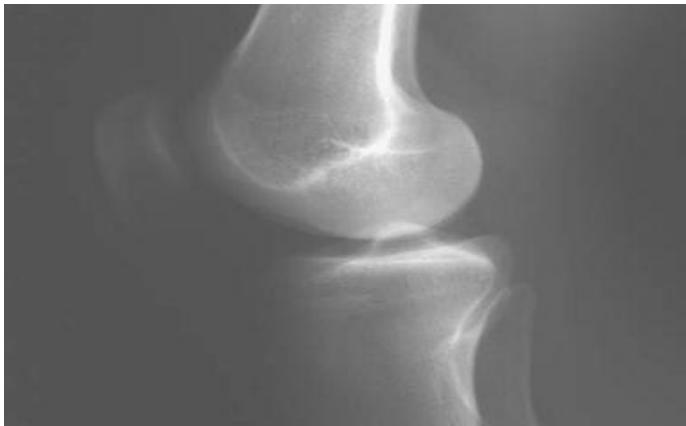
19

- Imagerie médicale
 - Différentes modalités :
 - IRM
 - Scanner
 - Radiologie
 - Echographie
 - De nombreux problèmes à résoudre
 - But : aide au praticien (localisation, mesure)

DES EXEMPLES D'APPLICATION

20

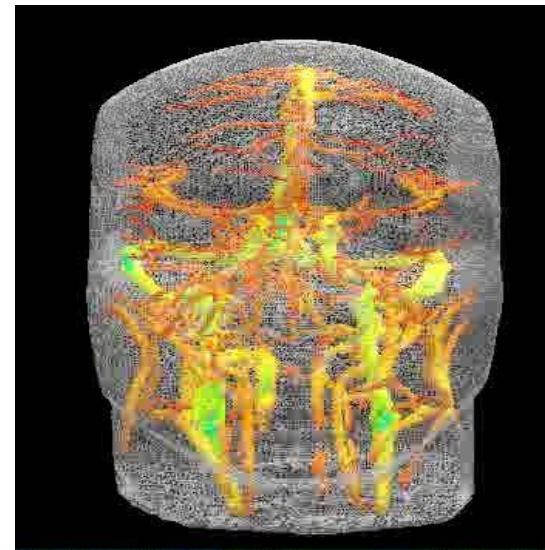
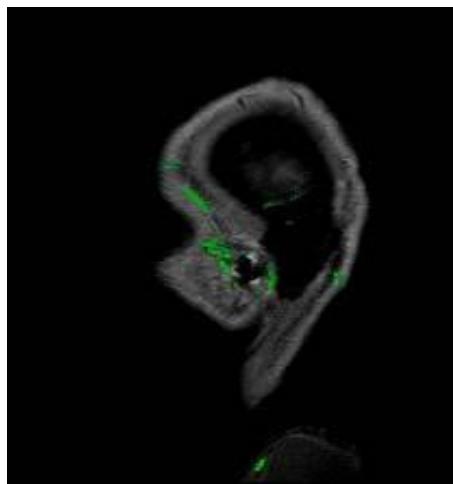
- Imagerie médicale
- Mesures automatiques



DES EXEMPLES D'APPLICATION

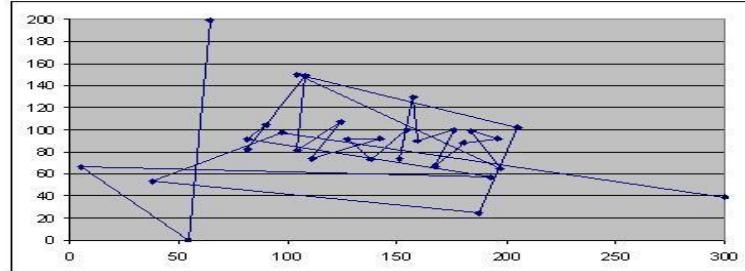
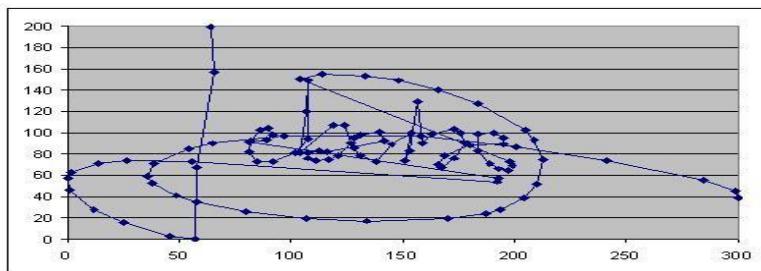
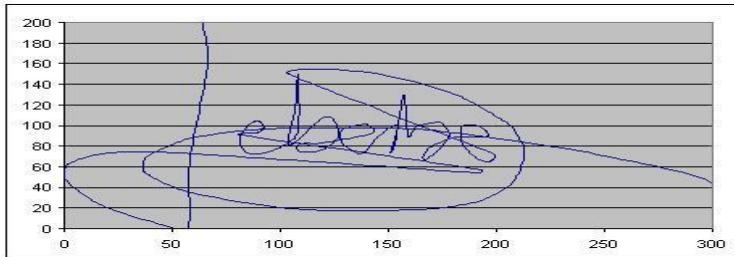
21

- Imagerie médicale
- Analyse et reconstruction



DES EXEMPLES D'APPLICATION

22



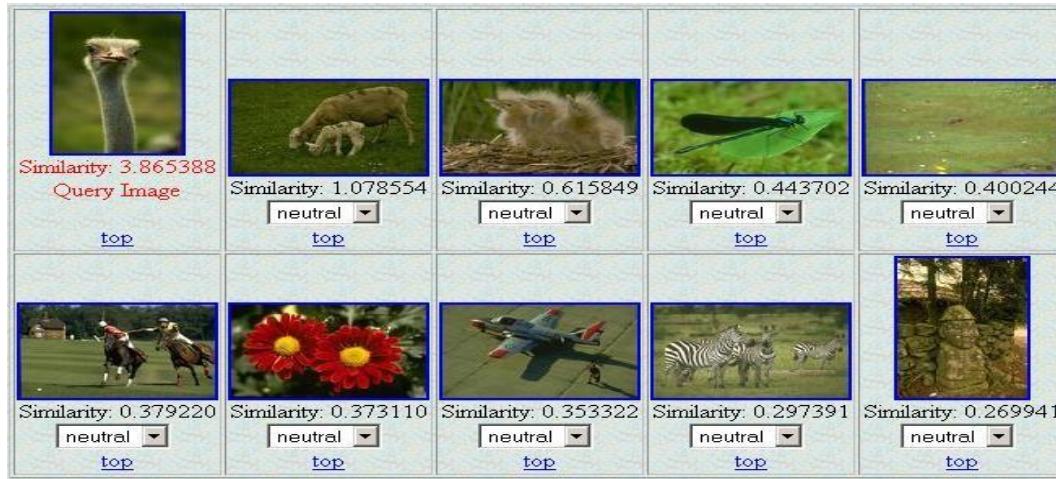
Othmani Mohamed

DES EXEMPLES D'APPLICATION

23

□ Bases de données

BDD image, BDD multimédia

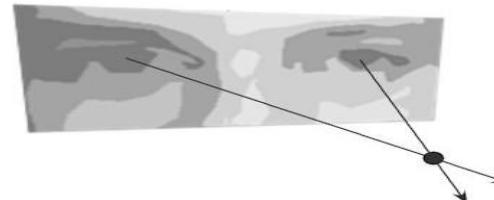


DES EXEMPLES D'APPLICATION

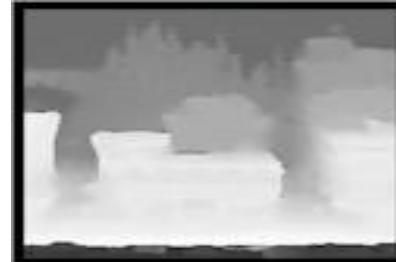
24

□ Robotique

Vision stéréoscopique



Reconnaissance de scène



DES EXEMPLES D'APPLICATION

25

- Véhicules intelligents
 - Aide au conducteur
 - Conduite automatique

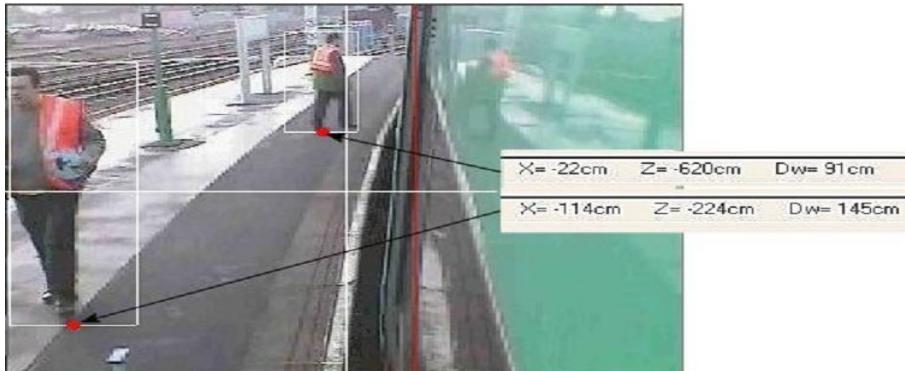


DES EXEMPLES D'APPLICATION

26

Chemins de fers

- Aide au conducteur : surveillance de quai



DES EXEMPLES D'APPLICATION

27

Réalité augmentée
Analyse/Traitement + Synthèse



DES EXEMPLES D'APPLICATION

28

Biométrie

- Différentes modalités : iris, empreinte, visage, signature, ...



DES EXEMPLES D'APPLICATION

29

□ Détection de visages



Othmani Mohamed

DES EXEMPLES D'APPLICATION

30

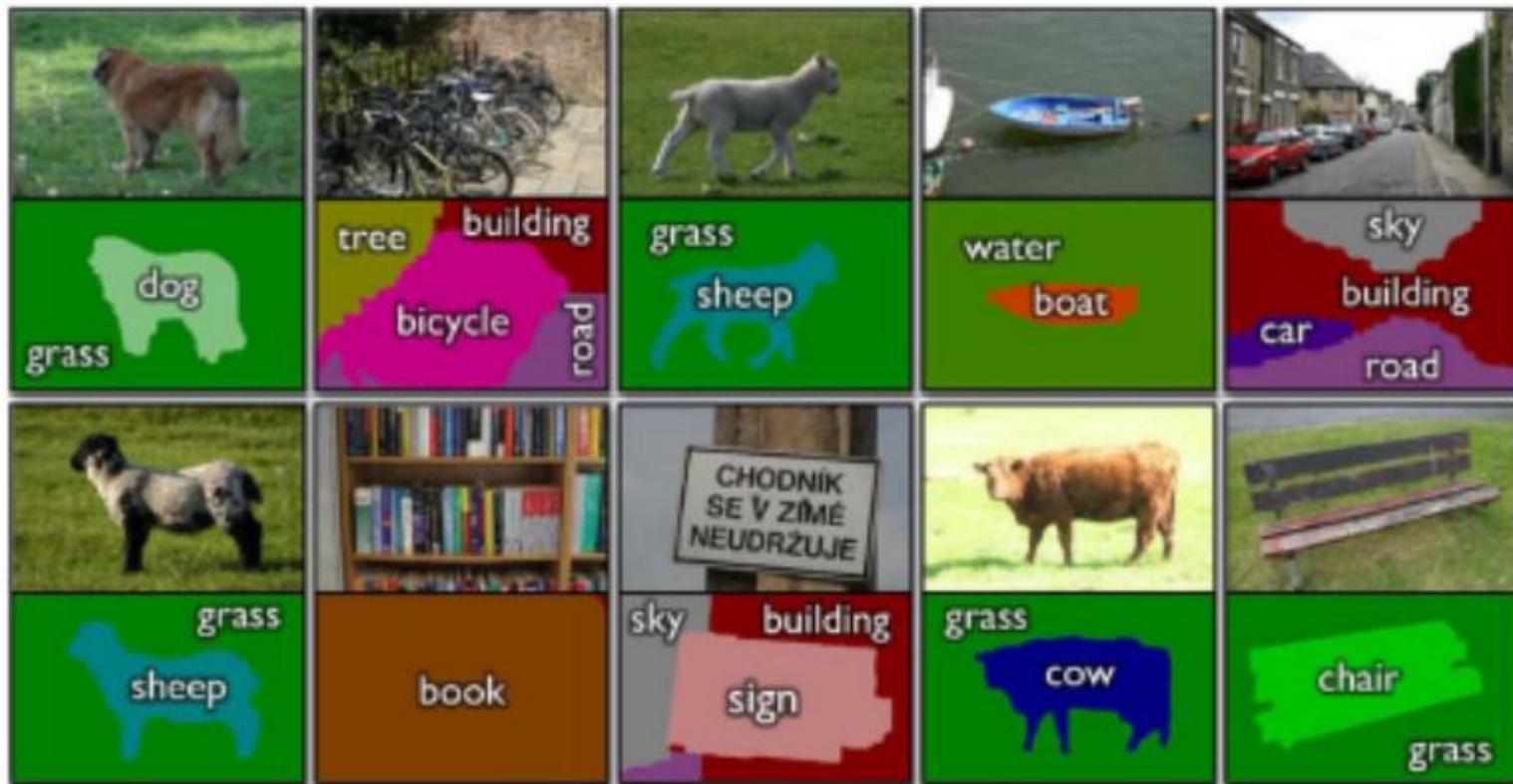
□ Analyse d'images: Détection de personnes



DES EXEMPLES D'APPLICATION

31

- Analyse d'images: Reconnaissance d'objets
(Segmentation sémantique)



DES EXEMPLES D'APPLICATION

32

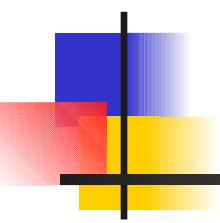
Et bien d'autres encore...

II

CHAPITRE II

Traitements d'Images

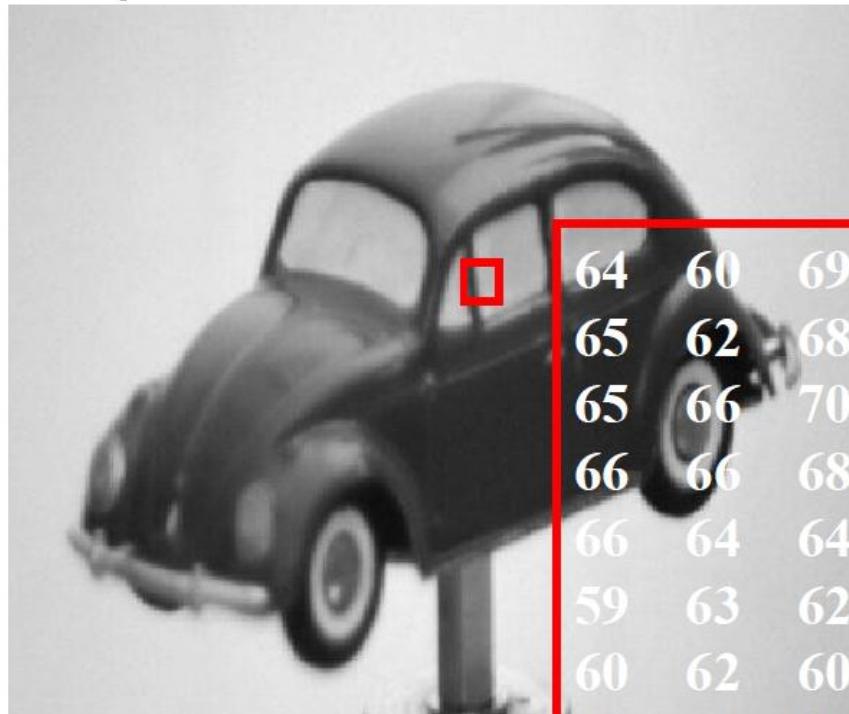
Othmani Mohamed



Introduction à l'image

Qu'est-ce qu'une image ?

35



64	60	69	100	149	151	176	182	179
65	62	68	97	145	148	175	183	181
65	66	70	95	142	146	176	185	184
66	66	68	90	135	140	172	184	184
66	64	64	84	129	134	168	181	182
59	63	62	88	130	128	166	185	180
60	62	60	85	127	125	163	183	178
62	62	58	81	122	120	160	181	176
63	64	58	78	118	117	159	180	176

Qu'est-ce qu'une image ?

36

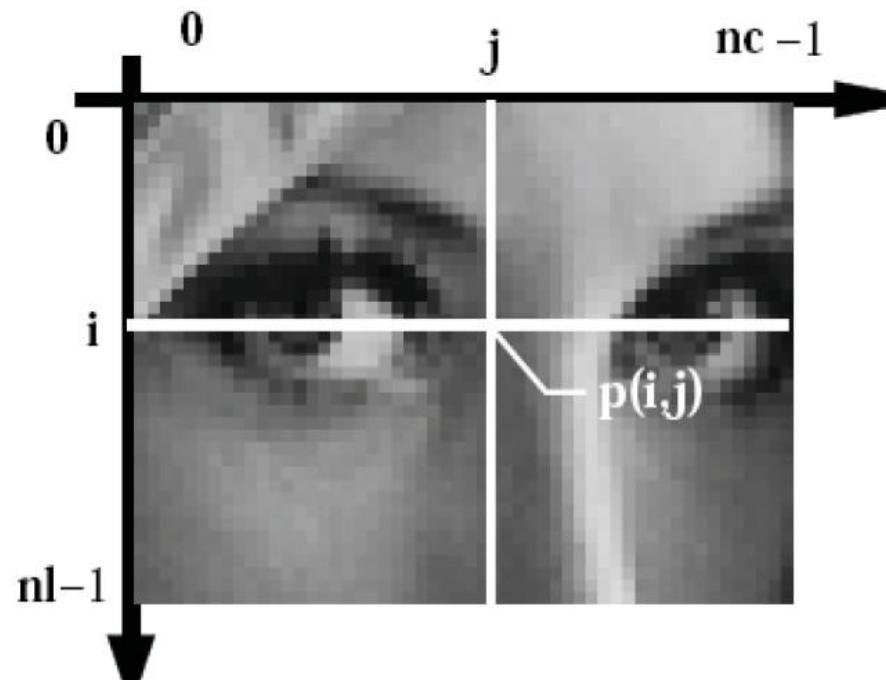
- Une image est avant tout un signal 2D (x,y)
- Souvent, cette image représente une réalité 3D (x,y,z)
- D'un point de vue mathématique :
 - Une image est une matrice de nombres représentant un signal
 - Plusieurs outils permettent de manipuler ce signal
- D'un point de vue humain :
 - Une image contient plusieurs informations sémantiques
 - Il faut interpréter le contenu au-delà de la valeur des nombres

Qu'est-ce qu'une image ?

37

Une image numérique est un tableau de pixels. Un pixel p est décrit par :

- ses coordonnées dans l'image (i, j)
- sa valeur $p(i, j)$, représentant sa couleur (ou son niveau de gris)



Images naturelles et artificielles

38

- Image naturelle – Plusieurs moyens d'acquisition
caméra, microscope, infra-rouge, satellite, ...
- Image artificielle – Plusieurs outils de représentation
synthèse d'images, réalité virtuelle, visualisation scientifique,
...



Image naturelle



Image artificielle

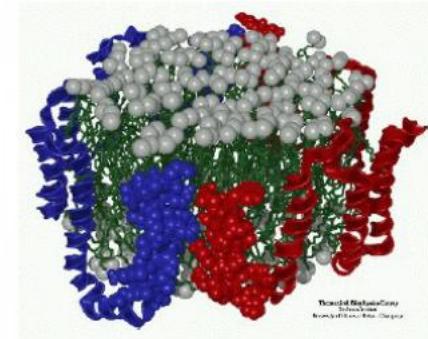


Image artificielle

Images matricielles et Images vectorielles

39

L'image matricielle (bitmap)

- Elle est formée d'une grille de points ou pixels.
- Chacun pouvant avoir une couleur différente.
- Elle est caractérisée notamment par:
 - Sa *dimension en pixels*
 - Sa *résolution*
 - Son *mode colorimétrique*

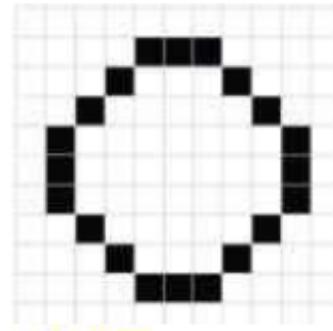


Image matricielle
(bitmap)

Images matricielles et Images vectorielles

40

L'image vectorielle

- Elle n'est pas composée de pixels mais définie par des fonctions mathématiques qui décrivent des lignes, des courbes etc. Dans ce cas on manipule des objets et non des pixels.
- **Exemple:** un cercle est décrit par une fonction du type (cercle, position du centre, rayon).
- Ces images sont essentiellement utilisées pour réaliser des schémas ou des plans.
- **Avantages :** elles occupent peu de place en mémoire et peuvent être redimensionnées sans perte

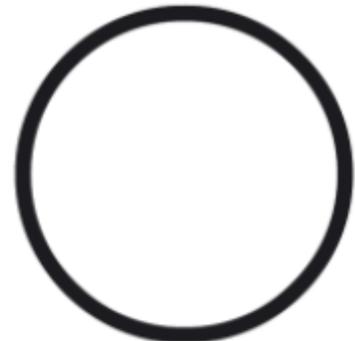


Image vectorielle

Trois principaux types d'images



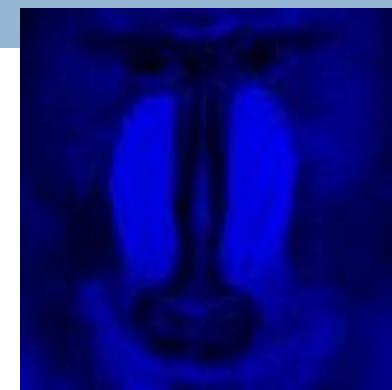
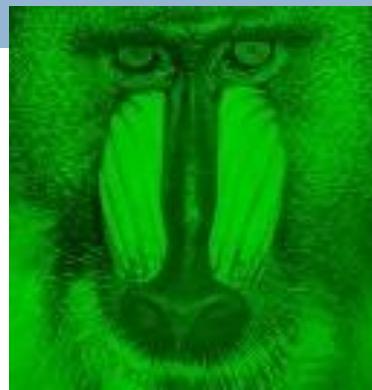
Images en niveaux de gris $I(x,y)$
 $\in [0..255]$

Images binaires $I(x,y)$
 $\in \{0, 1\}$

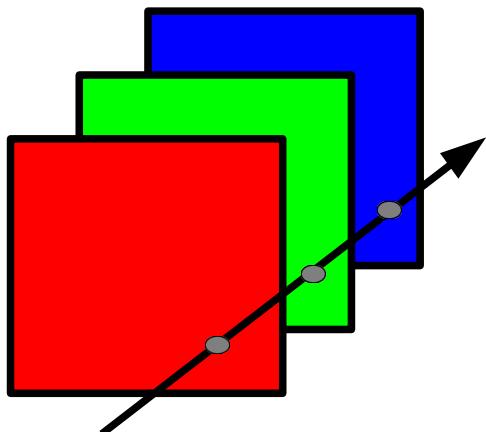
Images couleurs
 $I_R(x,y)$ $I_G(x,y)$ $I_B(x,y)$

... et plus encore (image 3D, image ...)

Image couleur dans l'espace RVB



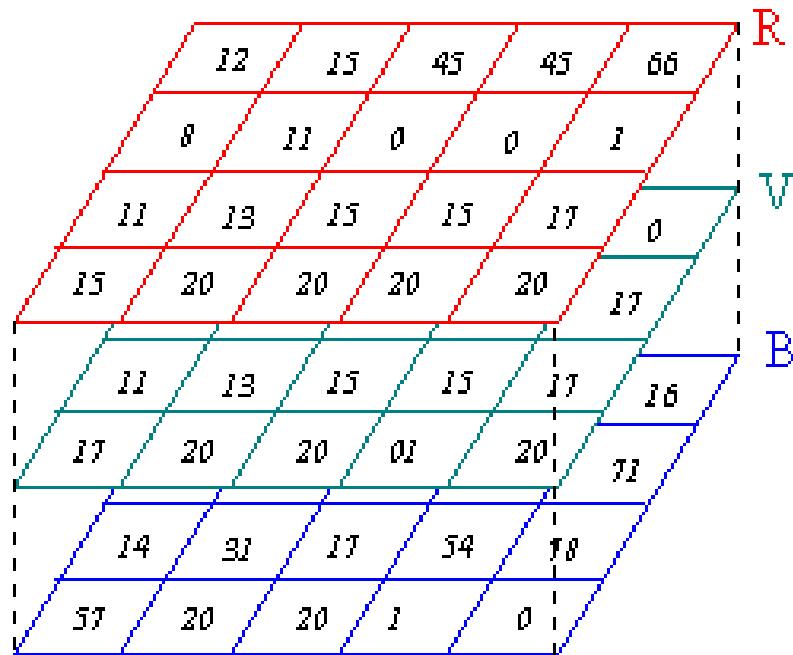
(trois intensités lumineuses rouge, vert, bleu.)



*Mais il existe aussi
d'autres codages de
la couleur que
RVB...*

Image couleur dans l'espace RVB

- une image couleur se présente comme la donnée de 3 matrices :

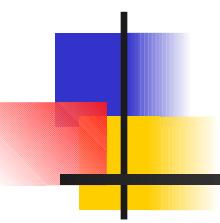


IMAGES CODÉES PAR POINTS

44

□ Formats de fichiers

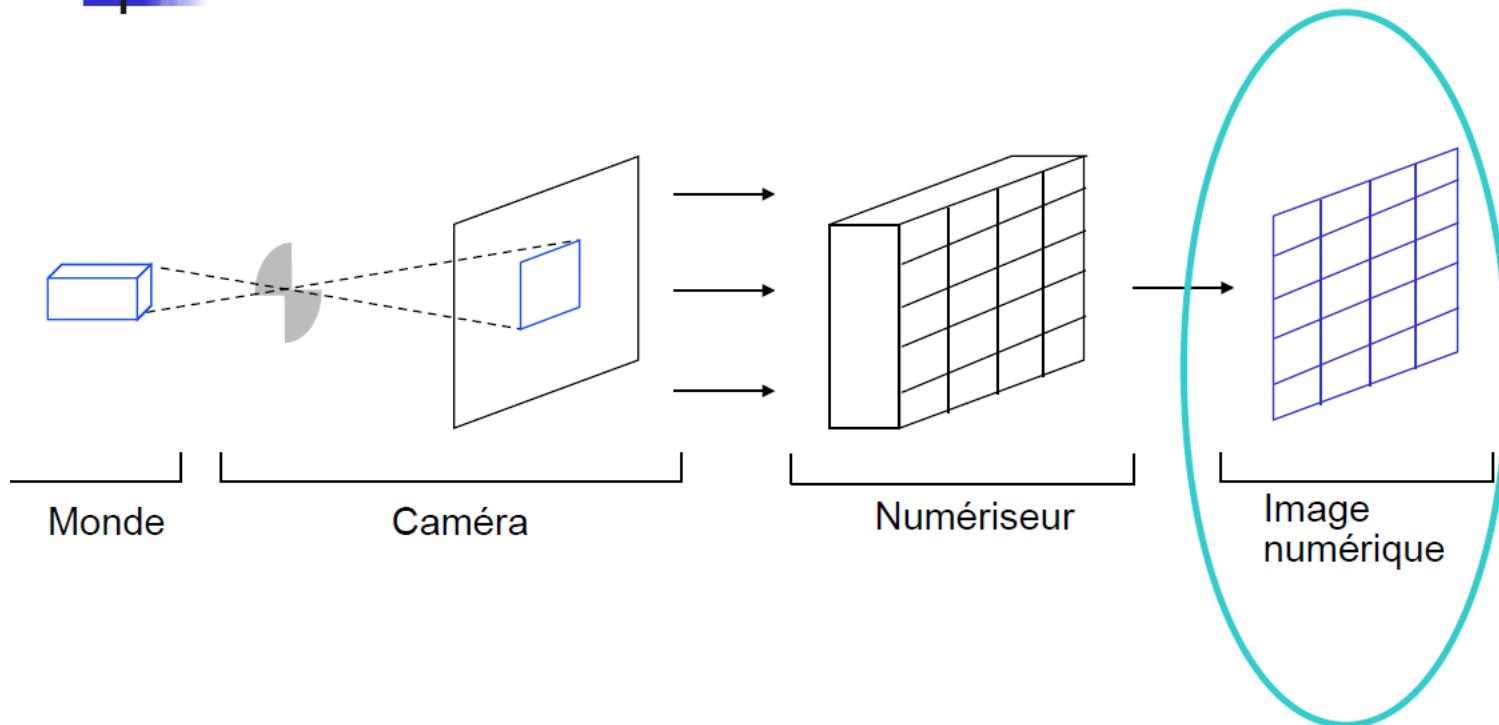
extension	nombre de couleurs	Compression	Commentaires
BMP	16 M	Non	format standard Windows
JPG	16M	Oui	format courant sur Internet
Gif	256	Oui	permet les animations (Gif animés) ainsi que le mode transparence. Très utilisé sur Internet modèle de compression déposé ©
ICO	16 ou 256	Non	format des icônes sous Windows
Tiff	16M	Oui	(Tagged image format) utilisé en gestion de document, supporte différents formats.
PCX	16M	Non	ancien format (Paintbrush)
PNG	16M	Oui	concurrent libre du Gif
TGA	16M	Oui / Non	
...			



Acquisition des images

Acquisition des images

46

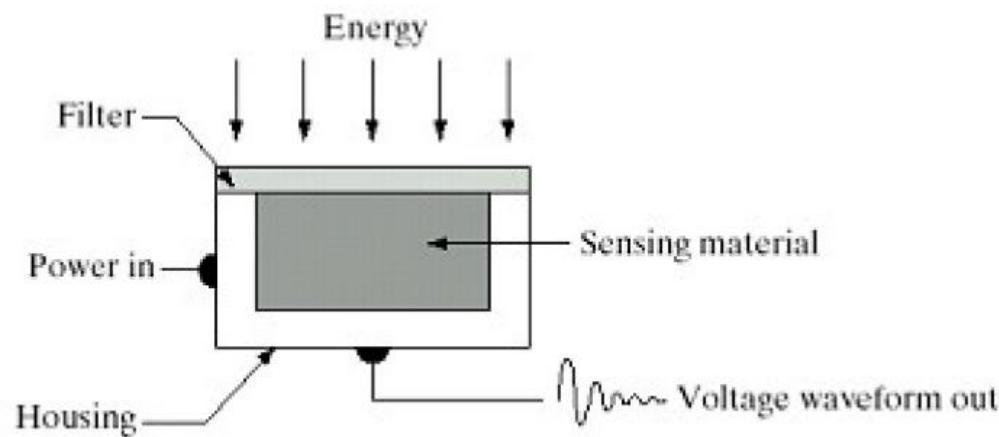


Capteur – Principe général

47

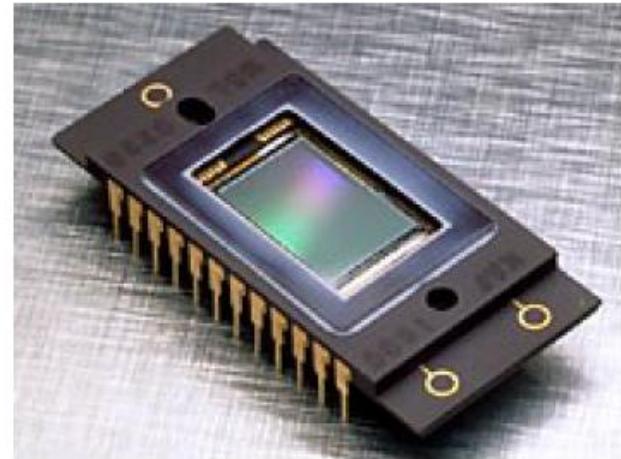
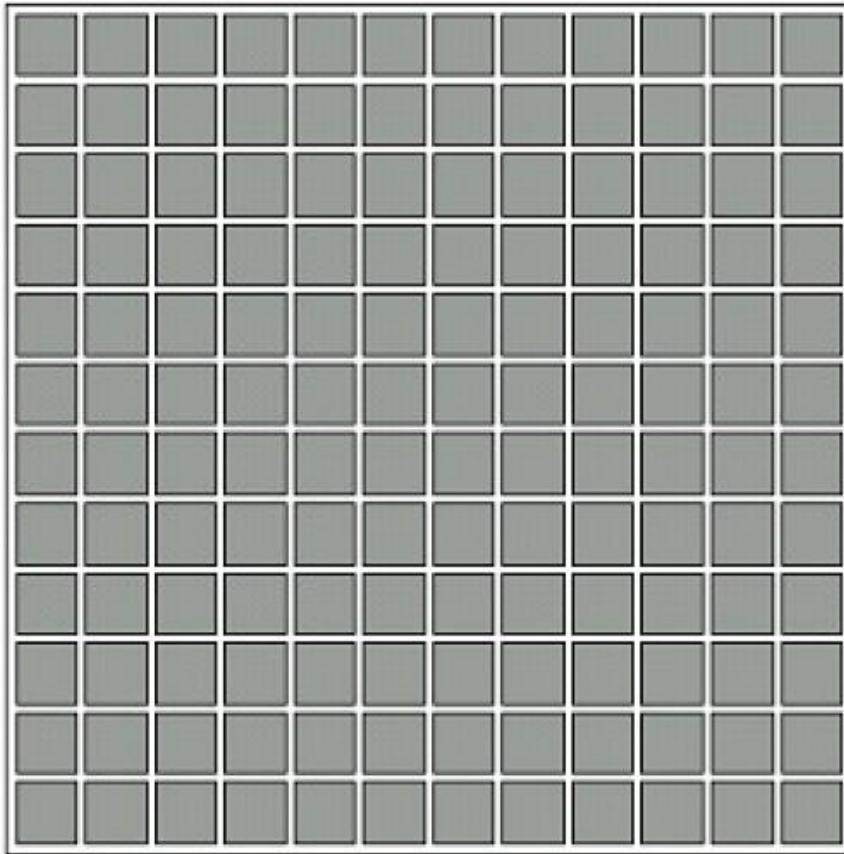
Principe général (ex: photodiode)

- L'énergie incidente est convertie en signal électrique
- Sortie est proportionnelle à la lumière
- Filtre pour augmenter la sélectivité



Capteurs – Matrice 2D

48



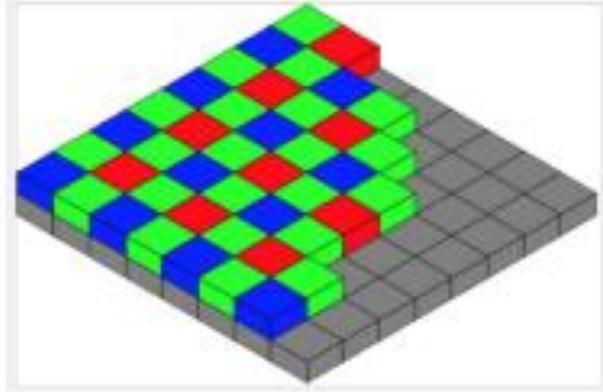
KAF-1600 - Kodak.

Capteur CCD

49

Caméras numériques CCD

- Matrice CCD (Charged Coupled Devices)
- Système d'acquisition numérique 2D le plus utilisé
- La réponse est proportionnelle à l'intégrale de l'énergie lumineuse qui atteint chaque élément
- Pour la couleur, on utilise trois capteurs par pixel réagissant à des longueurs d'ondes différentes (rouge, vert et bleu)



Othmani Mohamed

Image numérique

50

- Les valeurs de $f(x,y)$ sont la réponse du capteur au phénomène observé
- Les valeurs de $f(x,y)$ sont des valeurs de « voltage » continu
- Les valeurs de $f(x,y)$ doivent être converties vers le domaine numérique

Conversion Analogique/Numérique (A/N)

- Deux procédés sont impliqués pour numériser une image :
Numérisation = Échantillonnage + Quantification

Image numérique

51

- Image analogique → image numérique : numérisation en deux étapes:

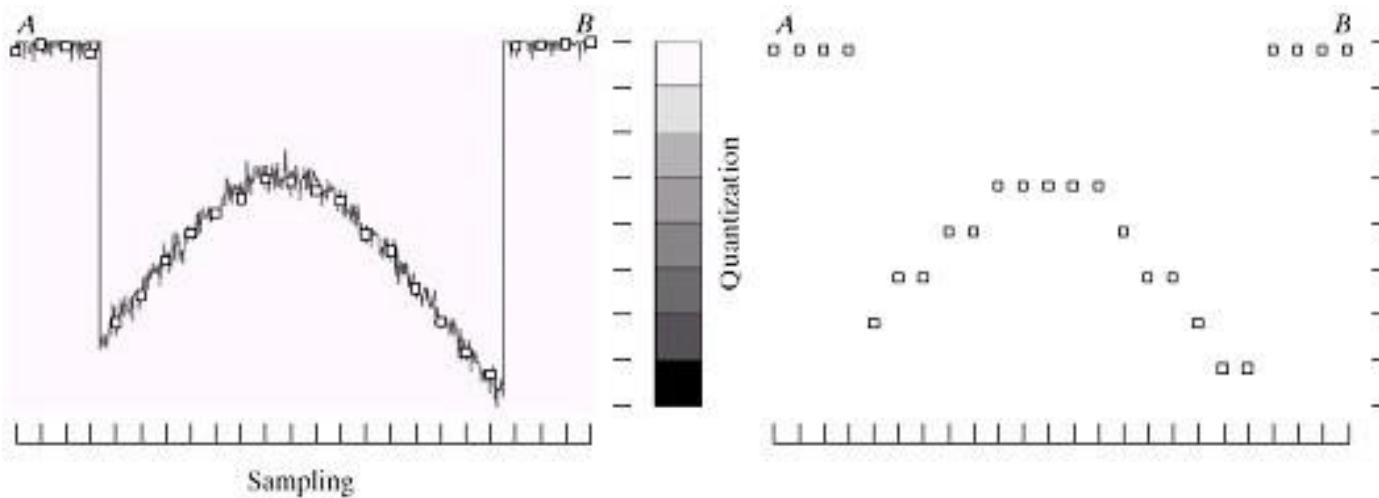
échantillonnage spatial: discréétisation des coordonnées de l'image réelle ;

quantification des luminances: discréétisation des intensités de l'image réelle.

Une image numérique est composée d'un ensemble fini d'éléments, appelés picture element, ou pixels (voxels en 3D)

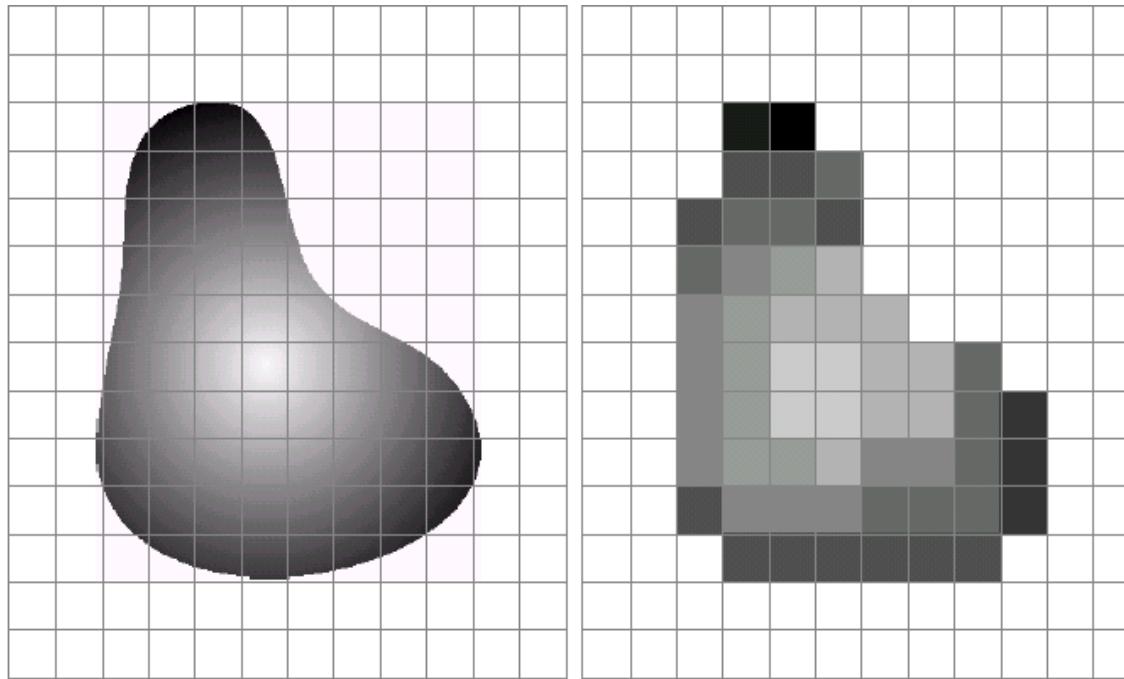
Echantillonnage et quantification

- L'**échantillonnage** est limité par la capacité du capteur, donc le nombre de pixels disponible.
- La **quantification** est limitée par la quantité de tons (de gris) définie dans l'intervalle



Echantillonnage et quantification

Avec un capteur à matrice :

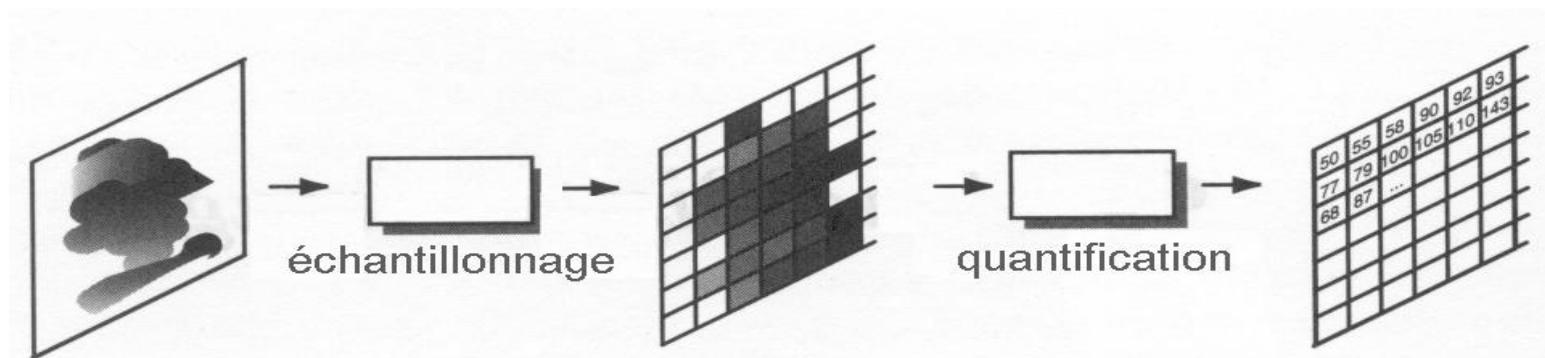


a b

FIGURE 2.17 (a) Continuos image projected onto a sensor array. (b) Result of image sampling and quantization.

Echantillonnage et quantification

54



Représentation des images

- Matrice de dimension $M \times N$
- Chaque élément à une valeur entière dans l'intervalle $[L_{min}, L_{max}]$
- Le nombre de « bits » requis pour représenter les niveaux de gris dans l'intervalle « L » est « K »
- La relation entre « K » et « L » est :
$$L = 2^K$$
- Le nombre de bits pour entreposer une image est donc :
$$b = M \times N \times K$$

Résolutions des images

- **Résolution spatiale (L'échantillonnage spatial)**
 - définit la taille du plus petit élément de l'image (pixel)
- **Résolution tonale (de tons de gris) (quantification des luminances)**
 - définit le plus petit changement d'intensité dans l'image
- Une image a donc une résolution spatiale de $M \times N$ pixel et une résolution de tons de gris de K bits ou de L niveaux ou tons

Résolutions spatiale et tonale

Résolution spatiale : échantillonage



256x256



128x128



64x64



32x32

Résolution tonale : quantification



6 bits



4 bits



3 bits



2 bits

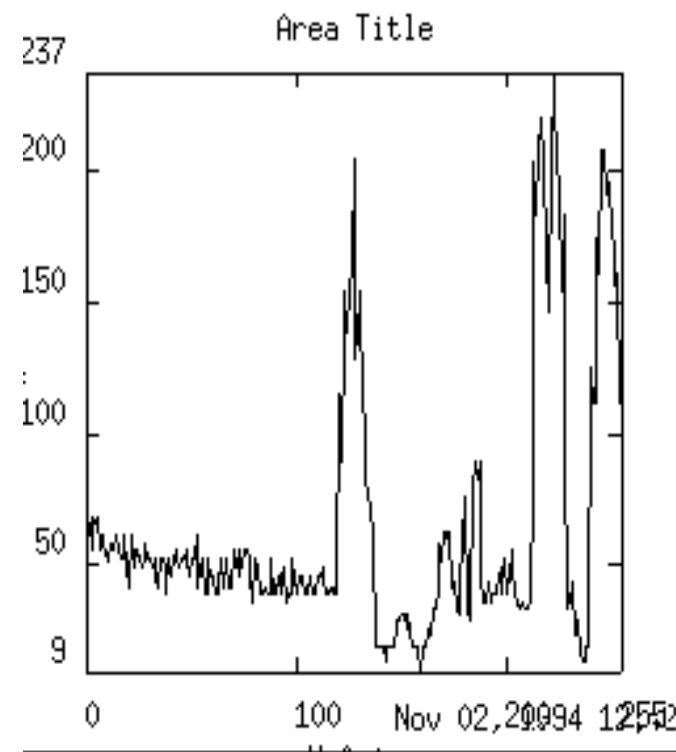
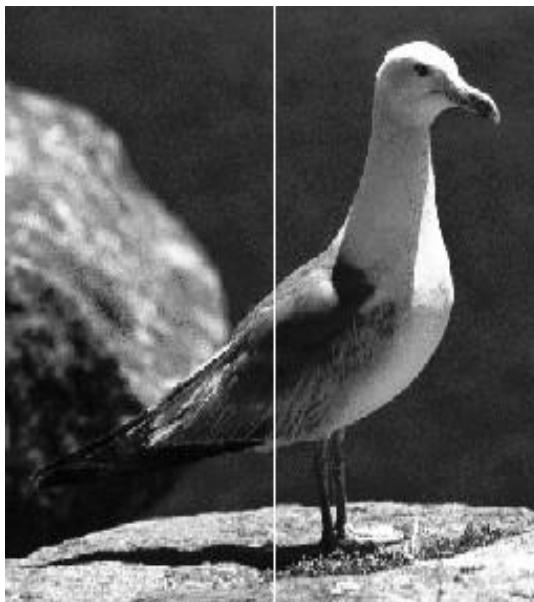


1 bit

Profil d'intensité d'une image

58

- Un profil d'intensité d'une ligne dans une image est représenté par des signaux 1D.

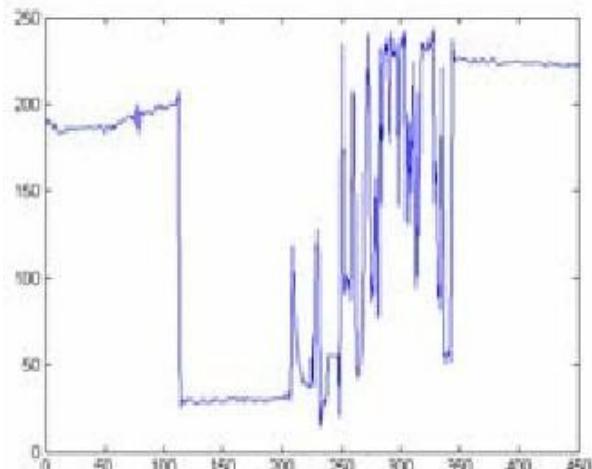


Affiche l'intensité en fonction de la coordonnée x

Othmani Mohamed

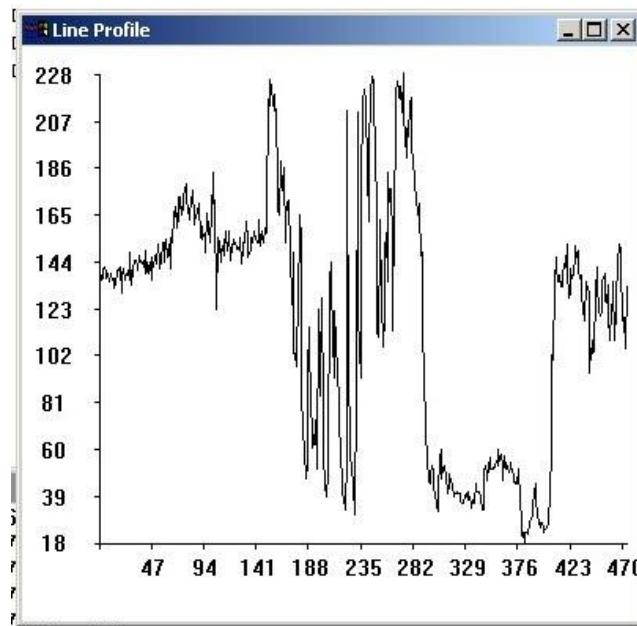
Profil d'intensité d'une image

59

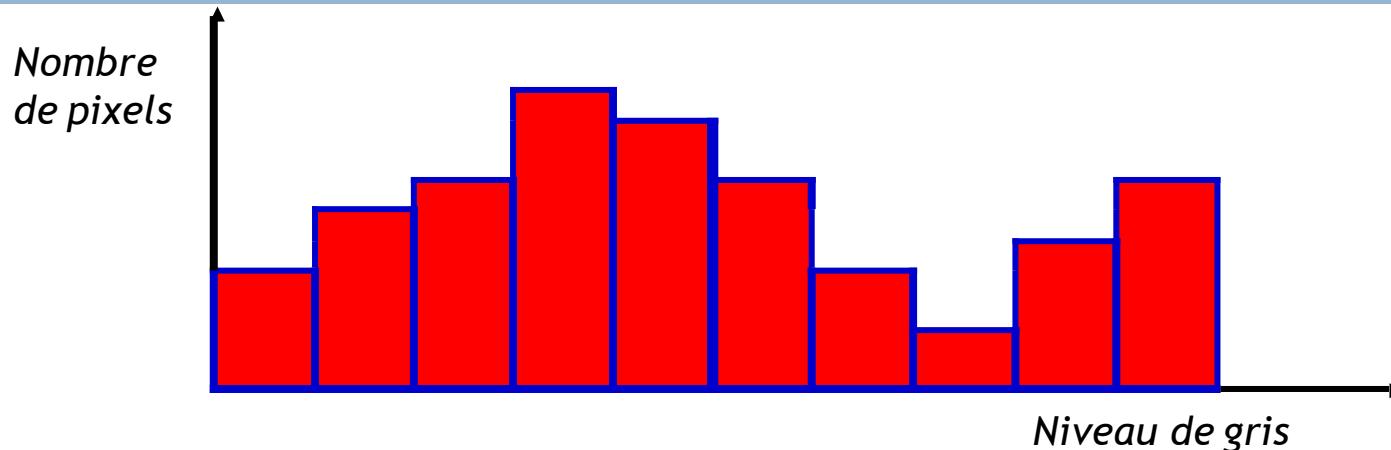


Profil d'intensité d'une image

60



Histogramme d'une image



L'histogramme d'une image est une fonction discrète. Elle représente le nombre de pixels en fonction du niveau de gris.

- L'histogramme représente la distribution des niveaux de gris (ou de couleurs) dans une image
- $H(k)$ = nombre de pixels de l'image ayant la valeur k .

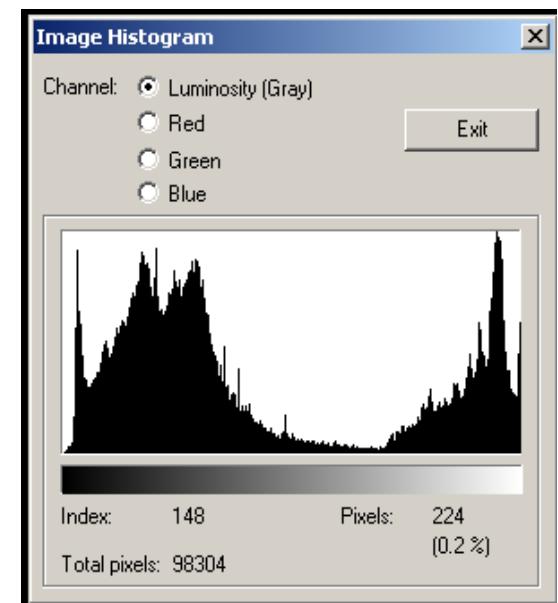
Histogramme d'une image

62

- Fournit des informations propres à l'image, telles que :
 - La distribution statistique des niveaux de gris
 - Les bornes de répartition des niveaux de gris
- Mais aucune information spatiale !

Outil permettant :

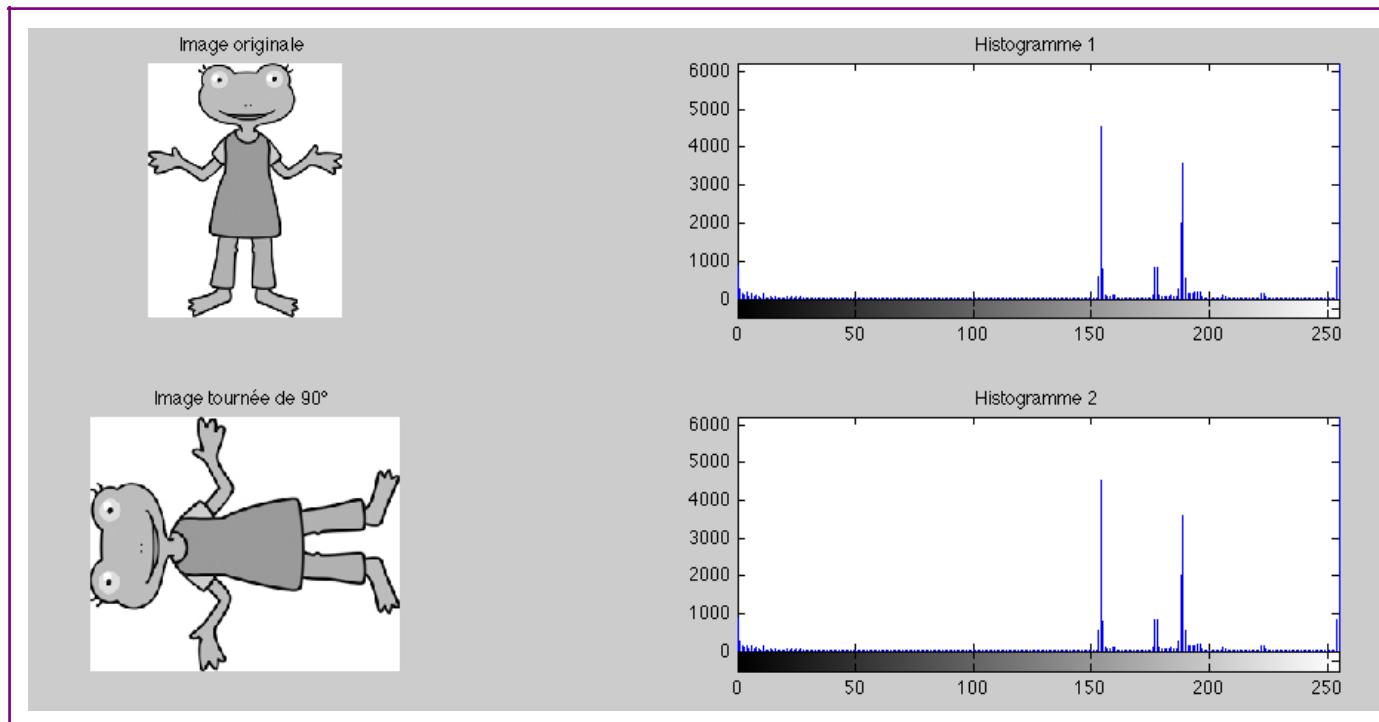
- D'analyser les statistiques de l'image (moyenne, dynamique, écart type ...)
- De séparer les pixels de l'image en plusieurs **classes**, de **déetecter** des objets dans l'image,..
- D'améliorer visuellement l'image : normalisation, égalisation, augmenter le **contraste**



Histogramme d'une image

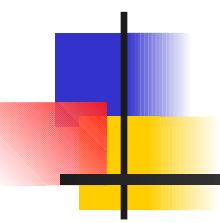
63

Il ne code pas d'information spatiale



Deux images différentes (en termes de contenu sémantique) peuvent aussi avoir le même histogramme

Othmani Mohamed



Systèmes de couleurs

Systèmes de couleurs

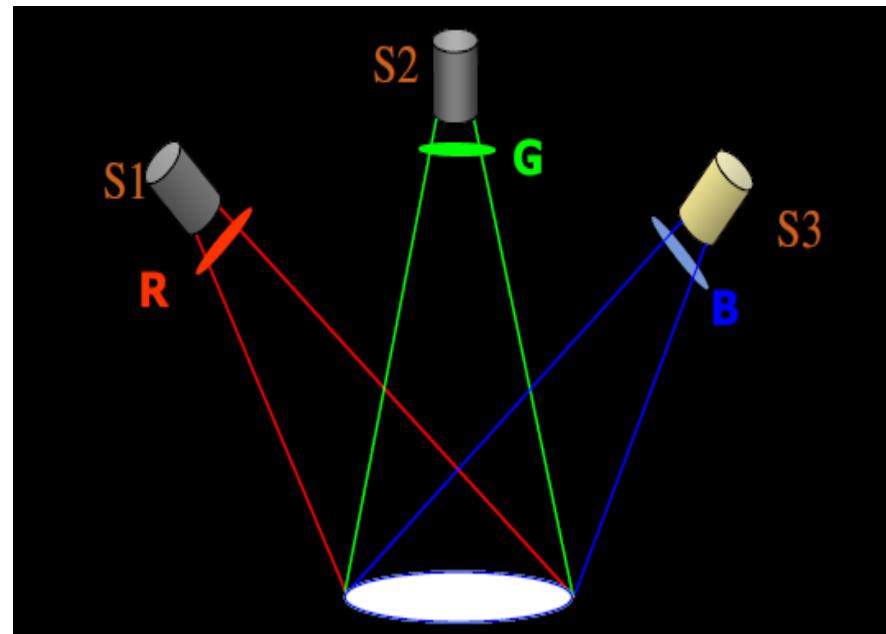
65

- En combinant trois longueurs d'ondes , il est possible de synthétiser presque toutes les couleurs existantes.
- Une couleur peut donc être représentée dans un espace à 3 dimensions:
 - Système RGB (Red Green Blue)
 - Système CMY (Cyan Magenta Yellow)
 - Système YUV
 - Système YIQ
 - Système HSL (Hue Saturation Luminance)

Principe de la synthèse additive

66

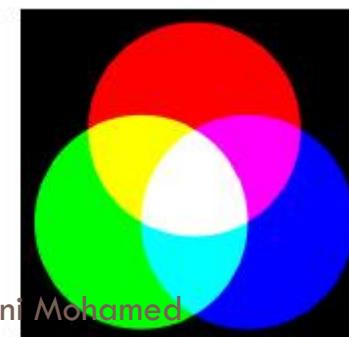
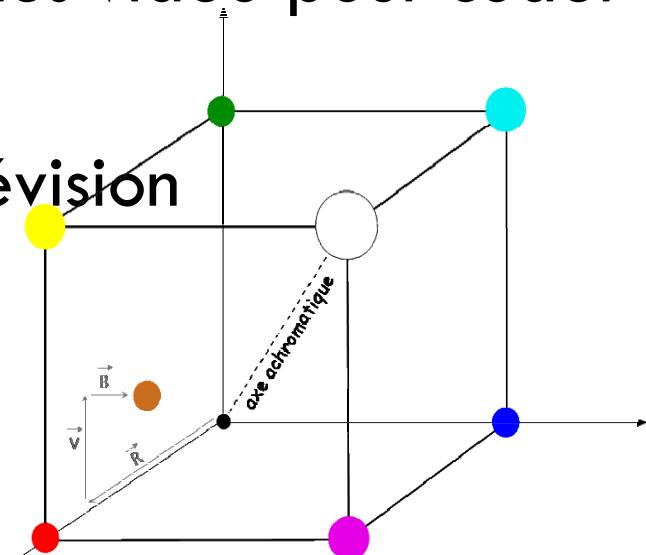
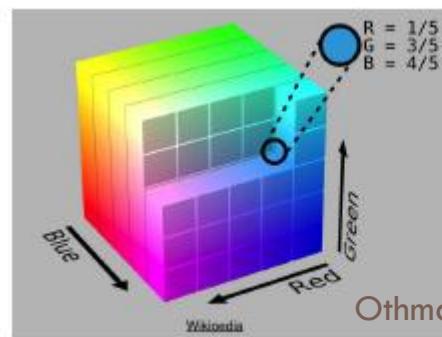
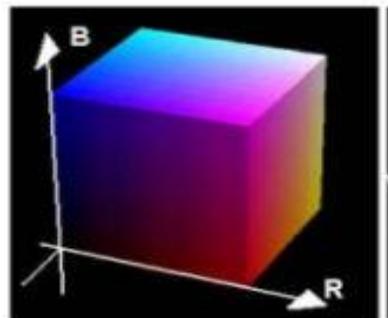
- Combinaison de trois faisceaux lumineux rouge, vert et bleu (RVB)
- Aussi appelé RGB en Anglais
- Résultat de la somme : couleur blanche
- On peut varier les proportions pour avoir d'autres résultats
- Le rouge, vert et bleu sont appelées couleurs primaires



Espace couleur RGB

67

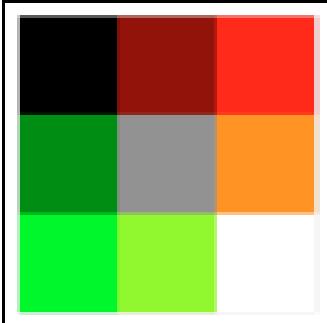
- C'est le système colorimétrique standard utilisé dans la plupart des systèmes vidéo pour coder une couleur.
- RGB est Utilisé dans la télévision



Othmani Mohamed

Espace couleur RGB

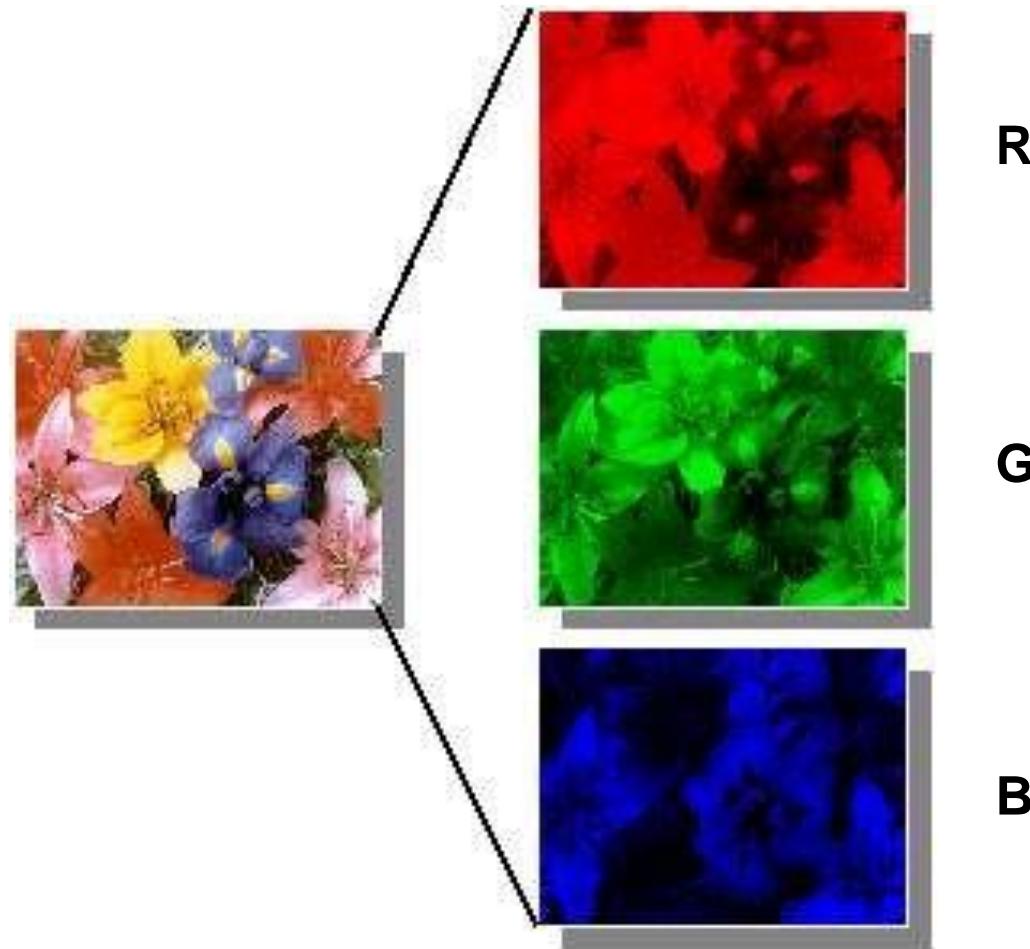
68


$$\longleftrightarrow \begin{bmatrix} (0, 0, 0) & (128, 0, 0) & (255, 0, 0) \\ (0, 128, 0) & (128, 128, 128) & (255, 128, 0) \\ (0, 255, 0) & (128, 255, 0) & (255, 255, 255) \end{bmatrix}$$

ou encore $\rightarrow \left(\begin{bmatrix} 0 & 128 & 255 \\ 0 & 128 & 255 \\ 0 & 128 & 255 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 128 & 128 & 128 \\ 255 & 255 & 255 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 128 & 0 \\ 0 & 0 & 255 \end{bmatrix} \right)$

Espace couleur RGB

69



Othmani Mohamed

Espaces colorimétriques : YIQ

70

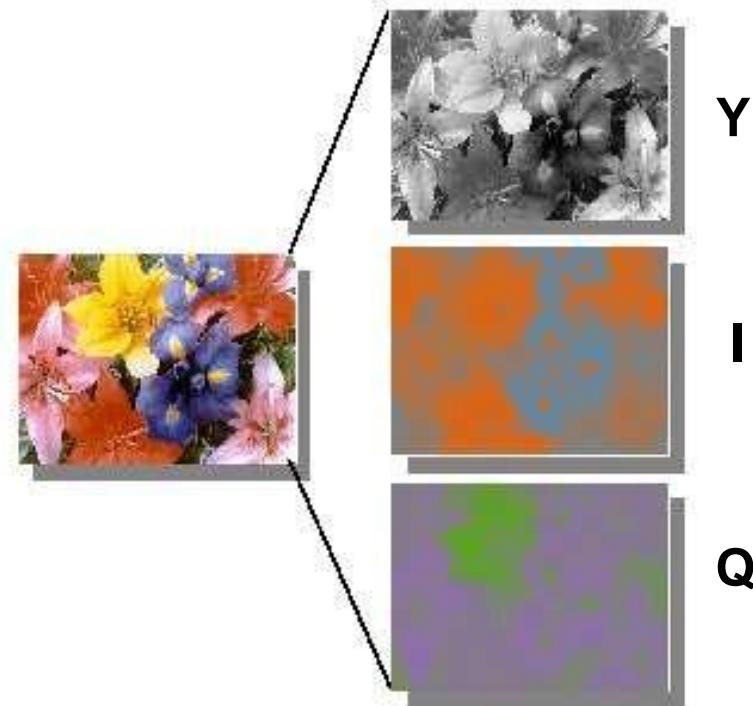
Y - Luminance

$$Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B$$

Chrominance

$$I = 0.6R - 0.28G - 0.32B$$

$$Q = 0.21R - 0.52G + 0.31B$$



Espaces colorimétriques : Yuv

71

$$U = B - Y$$

$$V = R - Y$$

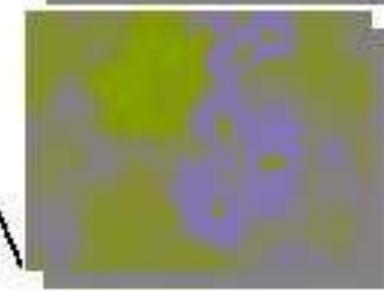
$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0, 299 & 0, 587 & 0, 114 \\ -0, 14713 & -0, 28886 & 0, 436 \\ 0, 615 & -0, 51498 & -0, 10001 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$
$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1, 13983 \\ 1 & -0, 39465 & -0, 58060 \\ 1 & 2, 03211 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix}$$



Y



U



V

Othmani Mohamed

CODAGE DES IMAGES

72

- Il existe actuellement une très grande diversité de formats d'images. Chaque logiciel ne peut traiter qu'un nombre limité de ces formats. On peut les classer en deux grandes catégories :
 - Les images vectorisées*
 - Les images codées par points (codage Bitmap ou matriciel)*

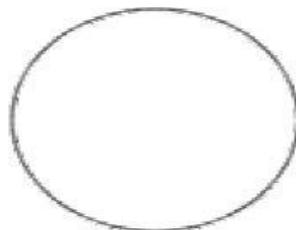


image vectorielle

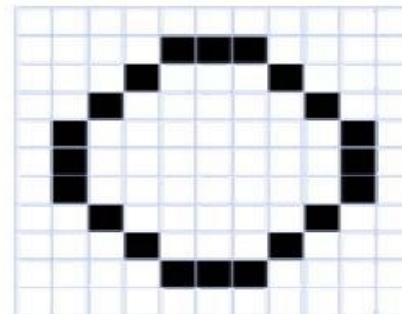
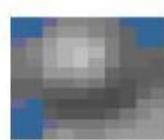


image bitmap

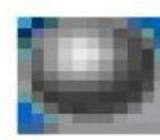
Notions élémentaires

73

- Définition: Une Image possédant 640 pixels en largeur et 480 en hauteur aura une définition de 640 pixels par 480, notée 640x480.
- Les définitions courantes correspondent souvent aux résolutions des écrans (800 * 600, 1024 * 768...)
- Résolution : détermine le nombre de points par unité de surface, exprimé en points par pouce (PPP, en anglais DPI pour Dots per Inch)
 - Un pouce représentant 2.54 cm
 - Une résolution de 300 dpi signifie donc 300 colonnes et 300 rangées de pixels sur un pouce carré -> 90000 pixels sur un pouce carré



8 Dpi



16 Dpi



72 Dpi

LES IMAGES CODÉES PAR POINTS

74

- Le nombre de couleurs à coder est un facteur déterminant:
 - la qualité de l'image restituée
 - la taille du fichier.
- Suivant le nombre de couleurs, le codage de chaque pixel se fait sur
 - un bit (noir et blanc)
 - 2 bits (quatre nuances de gris)
 - 4 bits (16 couleurs)
 - 8 bits (256 couleurs)
 - 16 bits (65536 couleurs)
 - True color :
 - 24 bits (plus de 16 millions de couleurs)
 - Rajouter une information de transparence : 32 bits

LES IMAGES CODÉES PAR POINTS

75

- Taille de l'image en fonction du nombre de couleurs choisies

Nombre de couleurs	Codage sur	Taille
noir et blanc	1 bit	480 000 bits ou 60 Ko
4 nuances de gris	2 bits	960 000 bits ou 120 Ko
16 couleurs	4 bits	1 920 000 bits ou 240 Ko
256 couleurs	8 bits	480 Ko
65 536 couleurs	16 bits	960 Ko
plus de 16 millions de couleurs	24 bits	1,92 Mo

IMAGES CODÉES PAR POINTS

76

- Exemple :
 - Image de dimension 640x480 codée en 256 couleurs
 - → $640 * 480 * 1$ (256 couleurs correspondent à 1 octet)
 - = 307200 Octets <> 300 Ko

Exemple

77

- a 512x512 Grey scale image takes up 1/4 MBytes,
- a 512x512 24 bit image takes 3/4 MBytes with no compression.

- This overhead soon increases with image size — modern high digital camera 10 Megapixels (A 10 megapixel photo measures 3872 pixels wide by 2592 pixels high) uncompressed!

- Compression is commonly applied.

II

CHAPITRE III

Traitement du Signal Numérique: Le son

Othmani Mohamed

Introduction

79

- Le traitement du signal est la discipline qui développe et étudie les techniques de traitement, d'analyse et d'interprétation des signaux.
- Parmi les types d'opérations possibles sur ces signaux, on peut dénoter:
 - le filtrage,
 - la compression de données,
 - la numérisation,
 - le codage,
 - le chiffrement
 - la transmission de données.

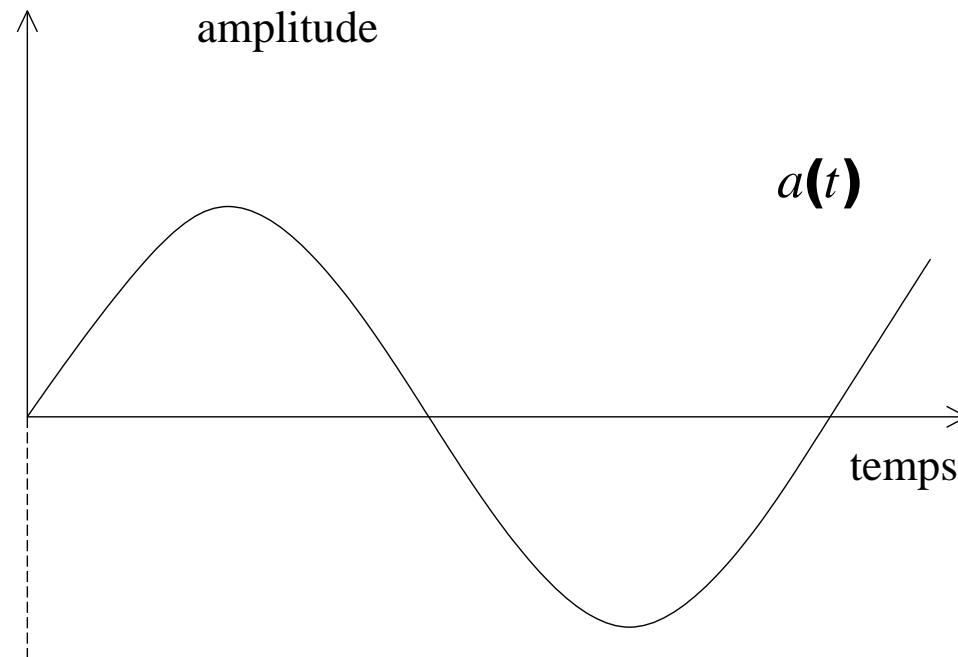
Signaux de base

80

Signaux sinusoïdaux

$$s(t) = A \cos(\omega t + \phi)$$

- A amplitude de la sinusoïde
- ϕ la phase à l'origine ($t = 0$)
- ω la pulsation ($\omega = 2\pi f$).



Energie/RMS

81

Energie :

$$E = \int_{t_1}^{t_2} s^2(t) dt$$

rapport signal sur bruit (SNR) :

$$\text{SNR} = \frac{E_s}{E_b}$$

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \log_{10}(\text{SNR})$$

Puissance

82

puissance moyenne:

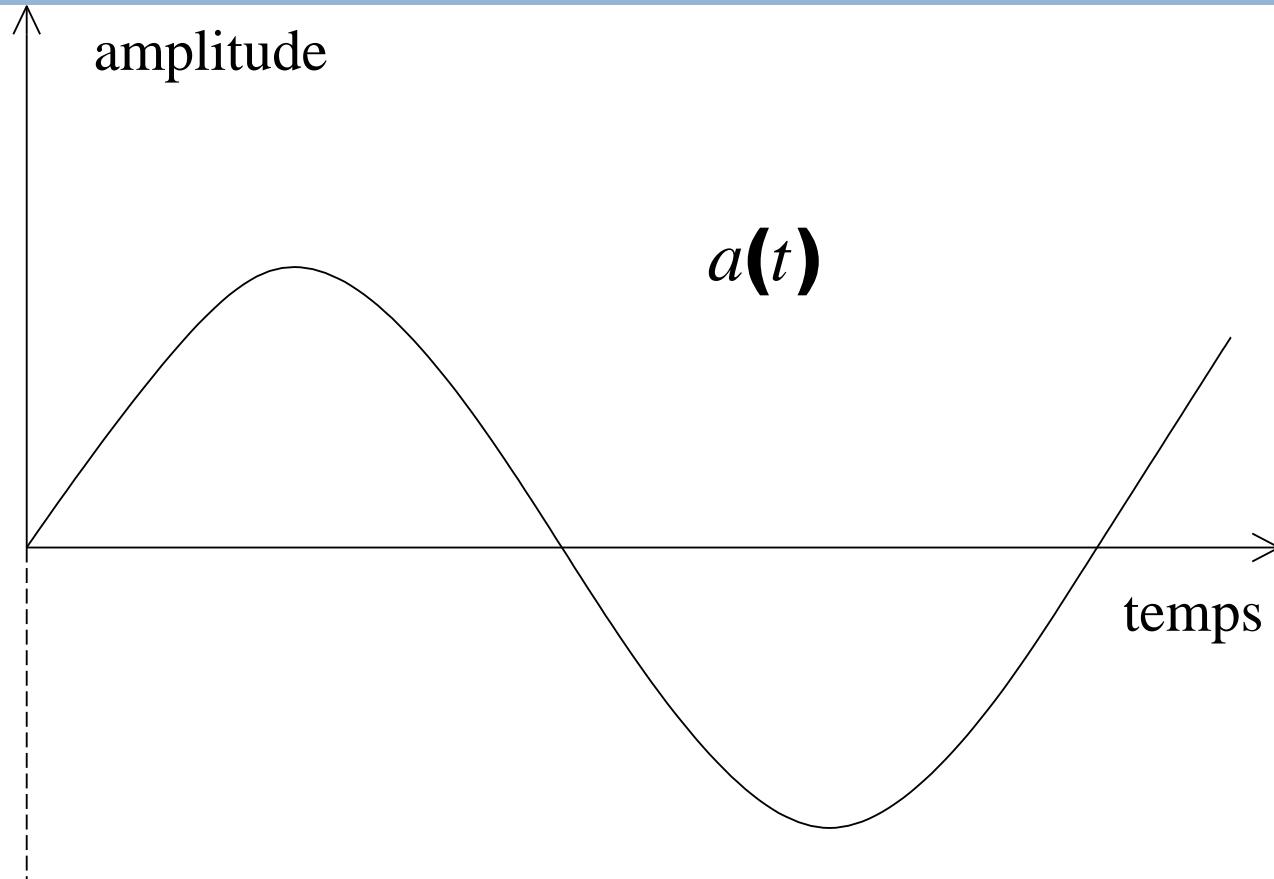
$$P = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} s^2(t) dt$$

RMS (Root Mean Square)

$$A_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int s^2(t) dt}$$

Représentation temporelle d'un signal

83



$s(t)$: amplitude du signal en fonction du temps

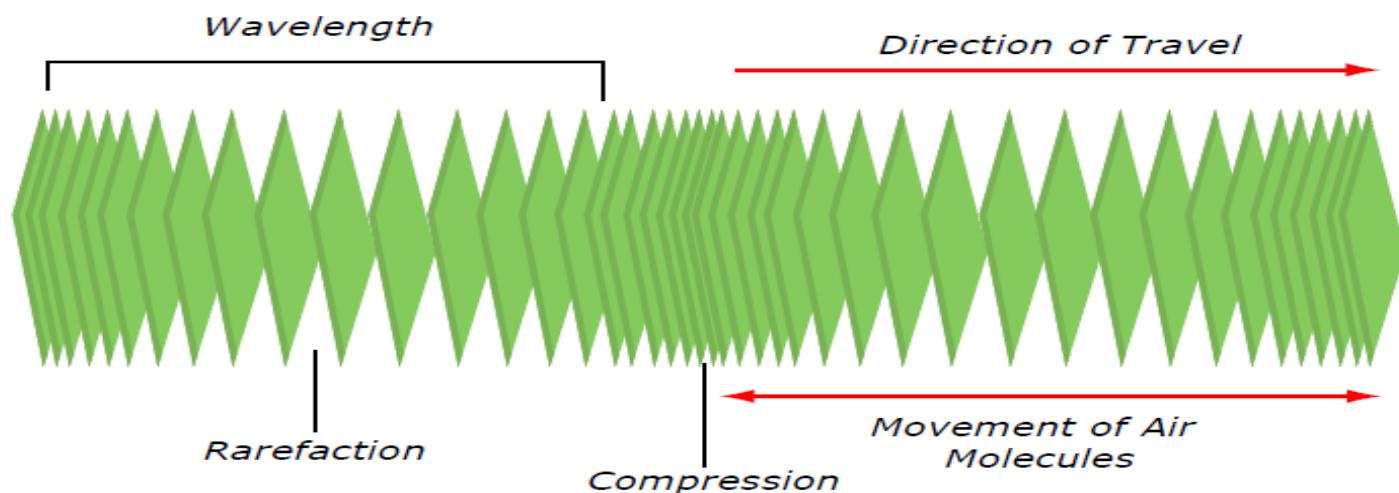
Traitement du son

84

- Le traitement du son est la branche du traitement du signal qui s'applique aux signaux audio,
- L objectif :
 - d'améliorer la qualité,
 - de les compresser,
 - d'extraire de l'information.
 -
- La science qui étudie les sons s'appelle **l'acoustique**.

Le son

- Le son est une vibration de l'air,
- une suite de surpressions et de dépressions de l'air par rapport à une moyenne, qui est la pression atmosphérique.
- D'un point de vue physique, un son est une énergie qui se propage sous forme de vibrations dans un milieu compressible



Les caractéristiques du son

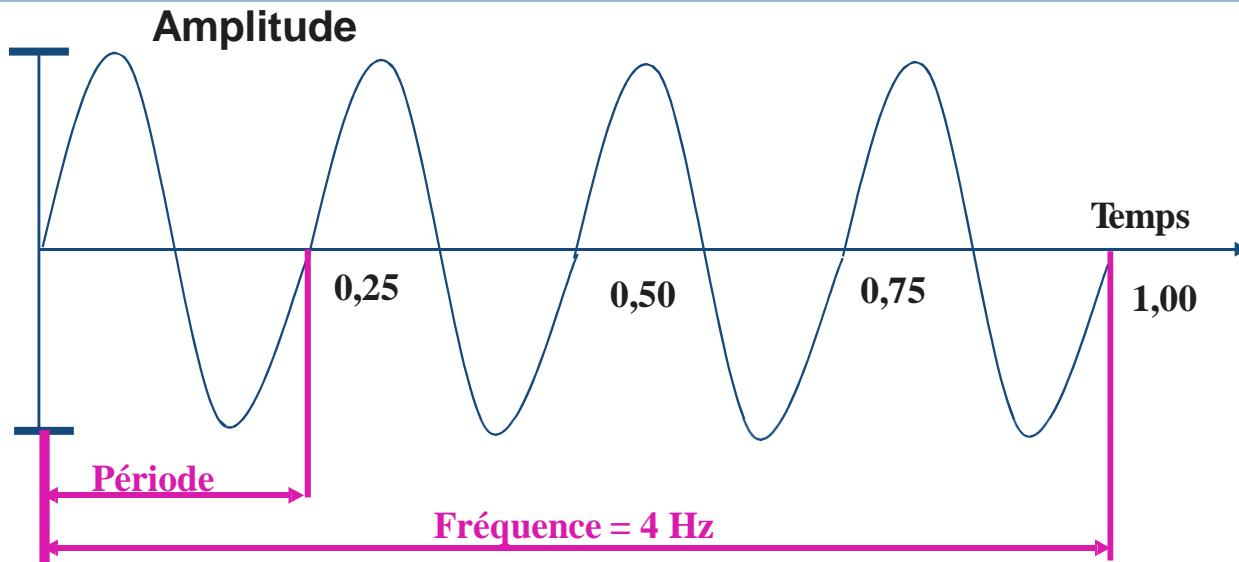
- La **fréquence**: (f) définit le nombre de périodes par unité de temps : il s'agit de cycles par secondes ou Hertz (Hz)
- L'amplitude: hauteur du son ou volume: elle est exprimée en dB (décibels)
- Le timbre (qualité de la sensation auditive): signature du son
- La vitesse de propagation

Le seuil de sensibilité de l'oreille humaine

L'oreille humaine peut percevoir en théorie toutes les fréquences comprise entre 20 et 20 000 Hz

Système	Bandé passante (Hz)
Téléphone	300 - 4 000
Radio AM	50 - 6 000
Radio FM	50 - 15 000
Magnétophone K7	40 - 15 000
CD audio et matériel professionnel	20 - 20 000

Période, Fréquence



Caractéristiques temporelles de la vibration génératrice du son

Exemple : mouvement périodique dont la fréquence est de 4Hz

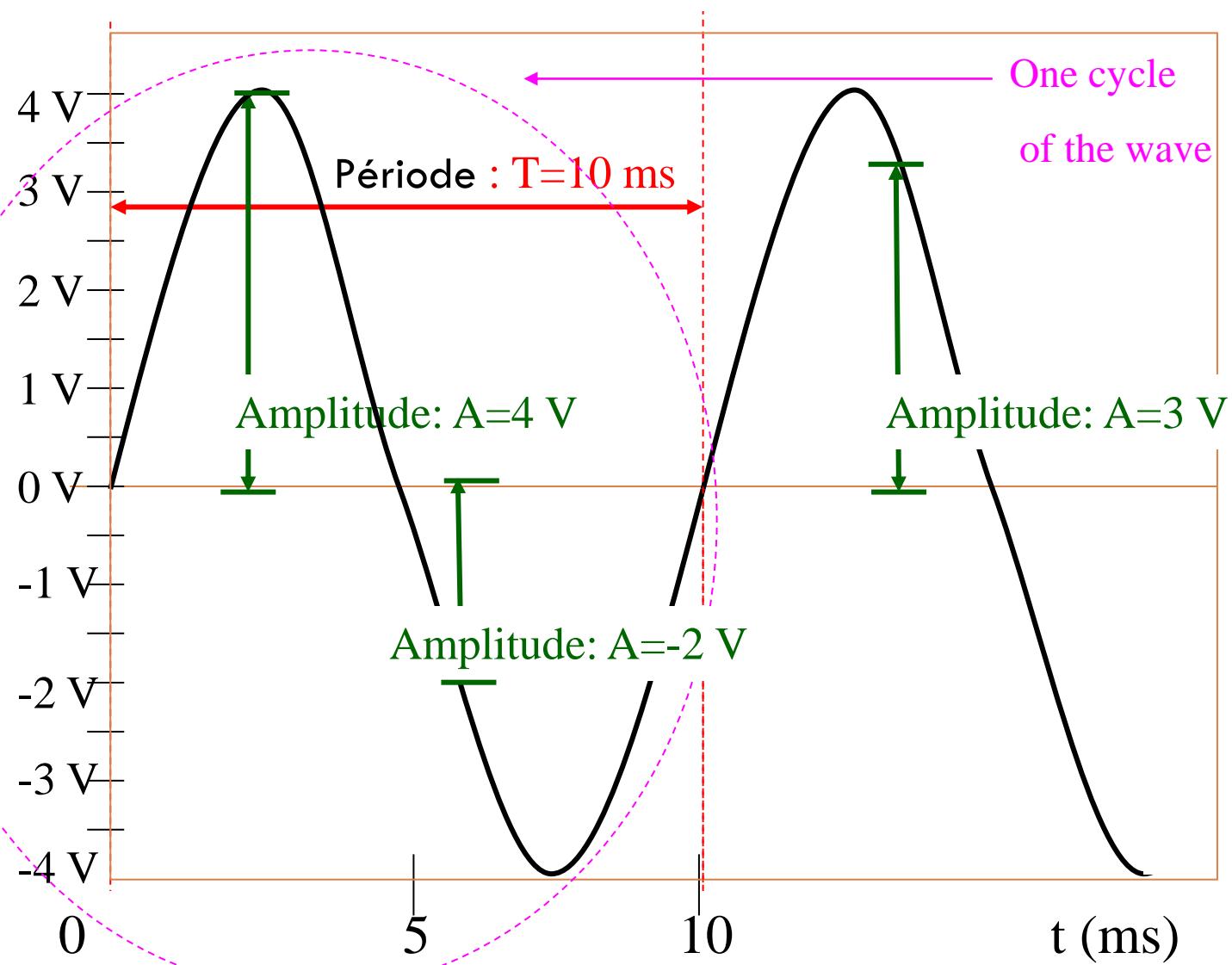
La Période est 0,25 s

Plus la période est petite, plus la fréquence est grande

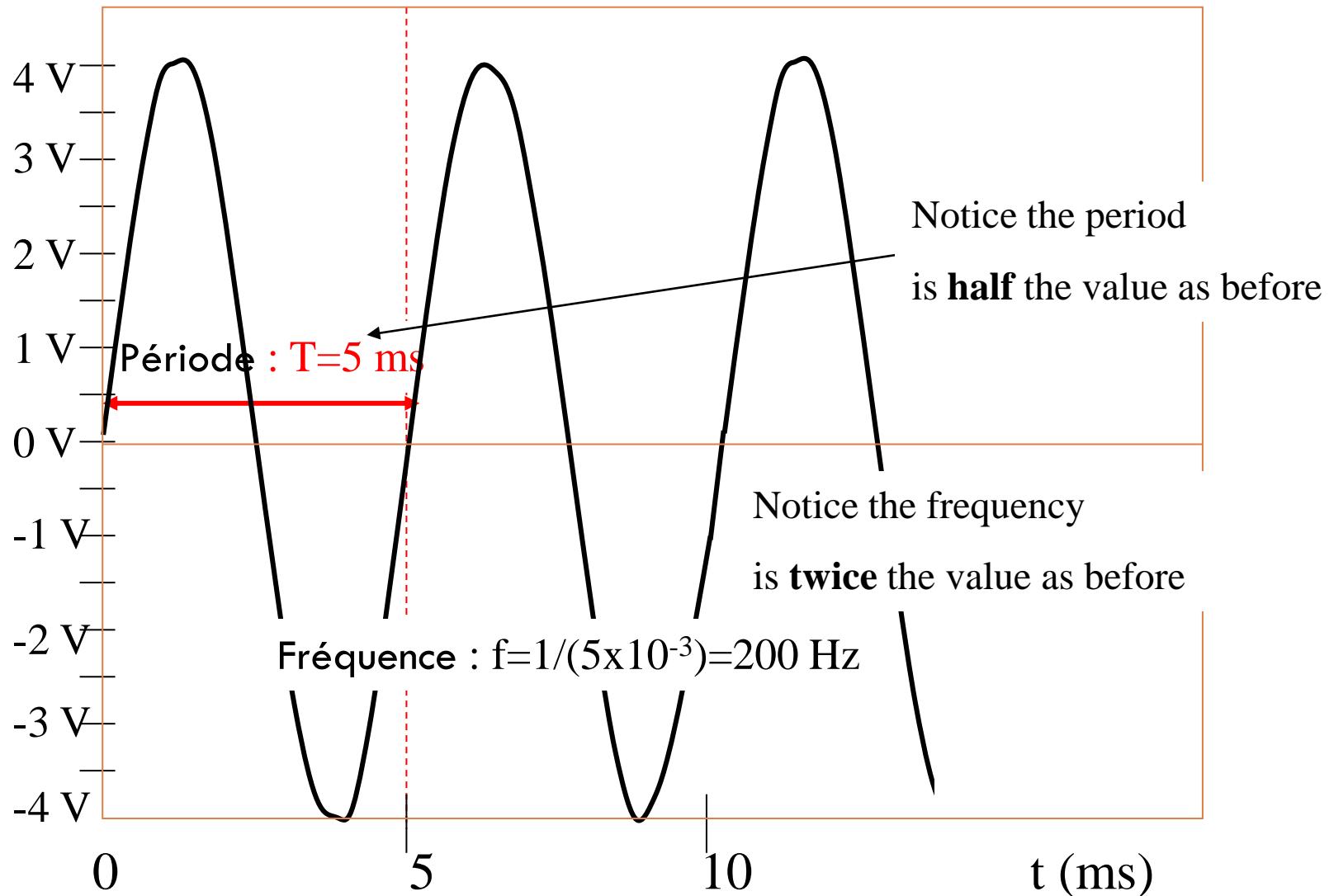
La fréquence est l'inverse de la période : **$f=1/T$**

Exemple

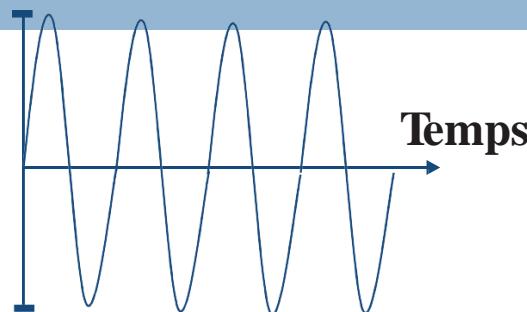
Fréquence : $f=1/(10 \times 10^{-3})=100 \text{ Hz}$



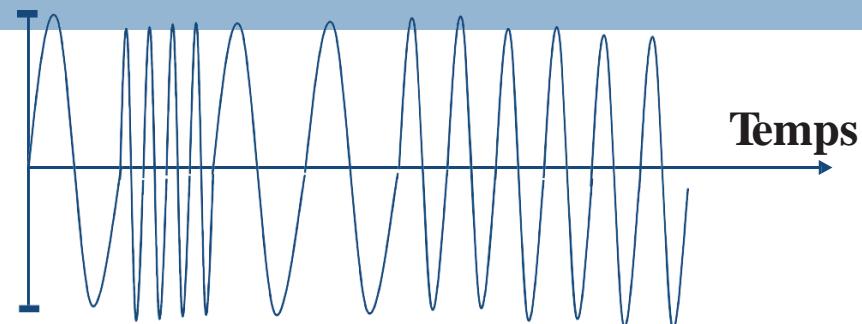
Exemple



Signal pur, signal complexe

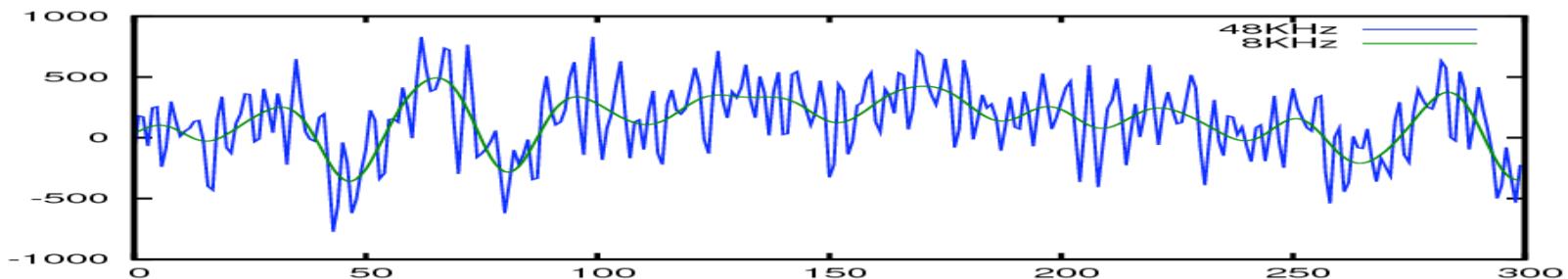


Son pur

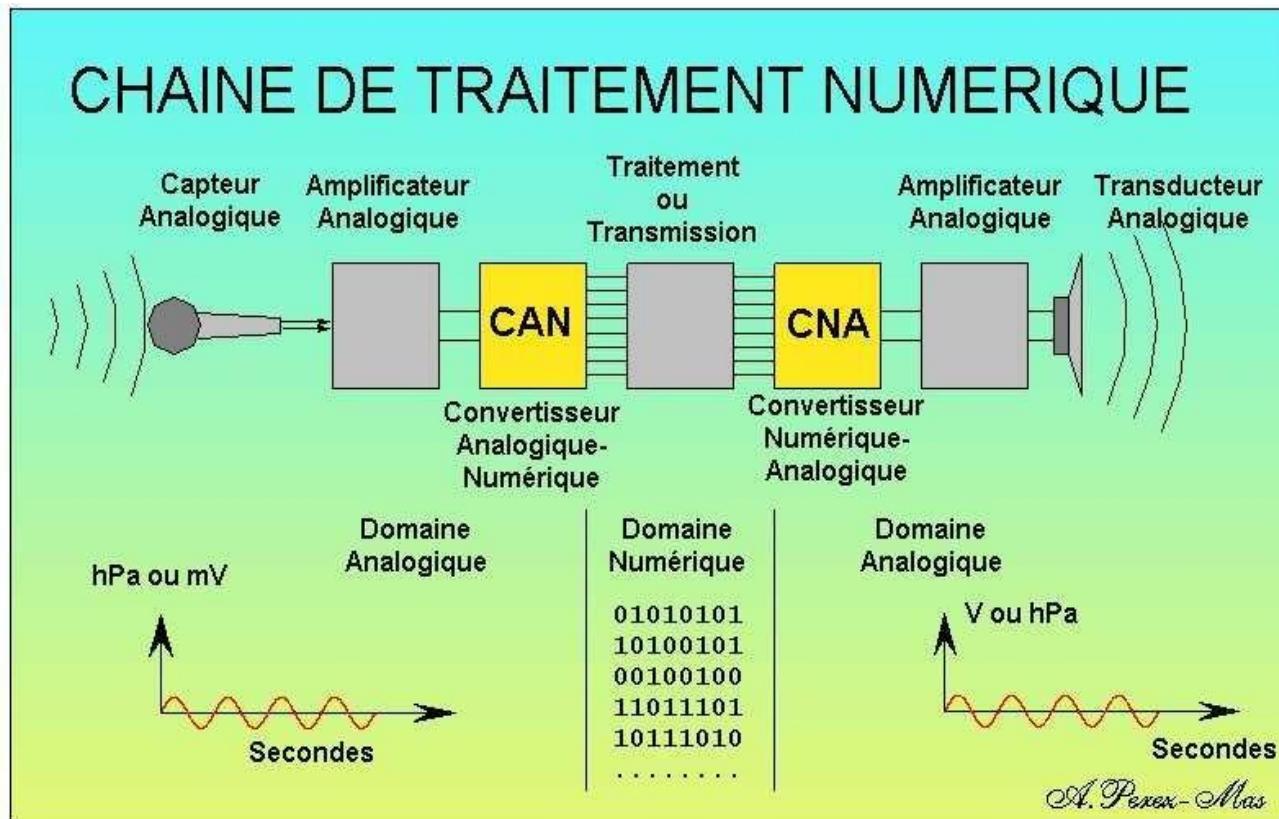


Son complexe

- Un son pur est défini par une seule fréquence
- Les sons que l'on rencontre généralement ne sont pas purs, constitués de plusieurs fréquences, ils sont dits complexes



Chaine de traitement numérique



Étapes du traitement numérique

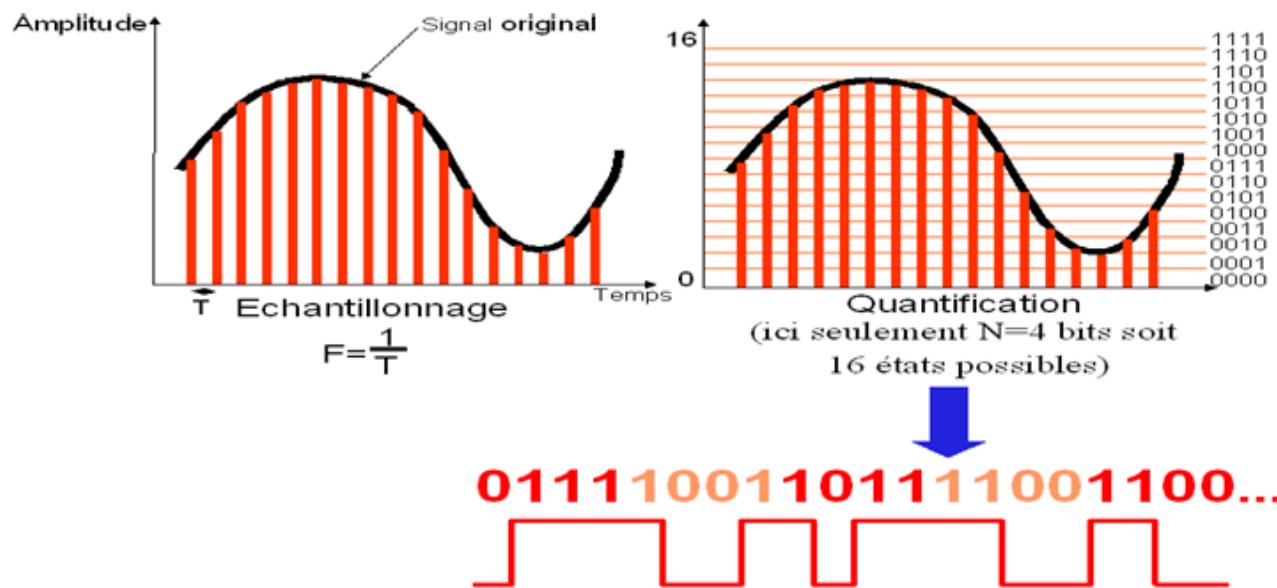
92

- Transformer le signal analogique en signal électrique : capture/acquisition du signal (microphones) : **étape analogique**.
- Convertir le signal électrique en une suite de valeurs numériques binaires: **conversion analogique-numérique CAN**
- Lancer le programme de calcul mathématique censé opérer le traitement voulu: **Traitement ou transmission**.
- Convertir les codes binaires résultant du calcul en un signal électrique : **conversion numérique-analogique CNA**
- Reconvertir le signal électrique dans la grandeur physique initiale : haut parleurs, écrans vidéo, transducteurs industriels.

Numérisation d'un signal sonore

2 étapes:

- Echantillonnage :
 - Discréétisation dans le temps.
 - Choix du nombre d'échantillons par seconde.
- Quantification :
 - Discréétisation de l'amplitude.
 - Choix de la précision de représentation d'un échantillon.



Échantillonnage

94

consiste à passer d'un signal à **temps continu** à une suite **discrètes** de valeurs.

- Ces valeurs sont mesurées à des intervalles réguliers : échantillonnage **uniforme**.
- intervalles irréguliers : échantillonnage non uniforme

Cas général : échantillonnage uniforme

Échantillonnage

95

$$s(nT_e) = s(t) \times u(t)$$

où la fonction u est une somme de fonctions de Dirac:

$$u(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_e)$$

Impulsions de Dirac

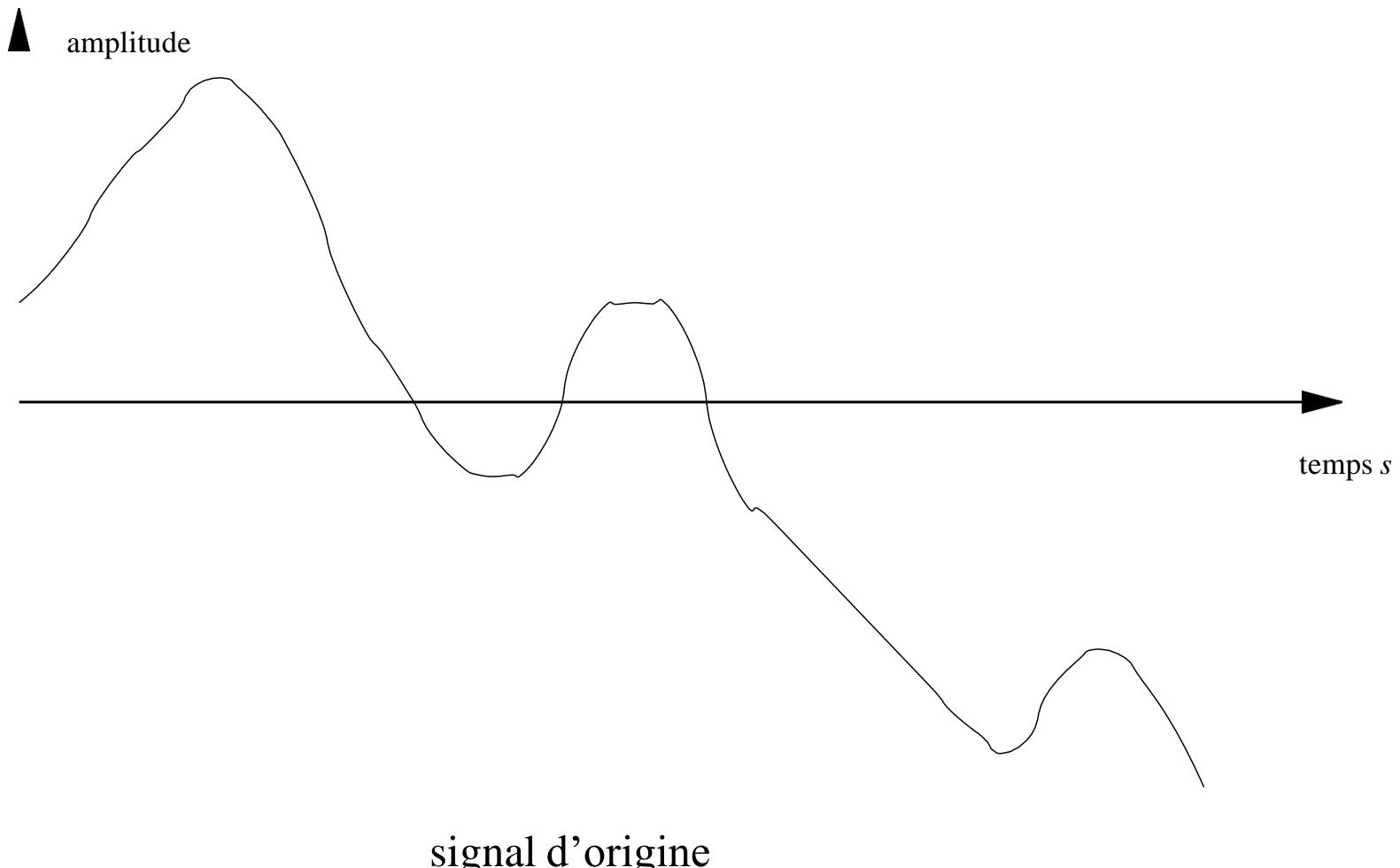
$$\delta(t) = 0 \quad \text{si} \quad t \neq 0$$

$$\delta(t) \neq 0 \quad \text{si} \quad t = 0$$

Othmani Mohamed

Échantillonnage : principe

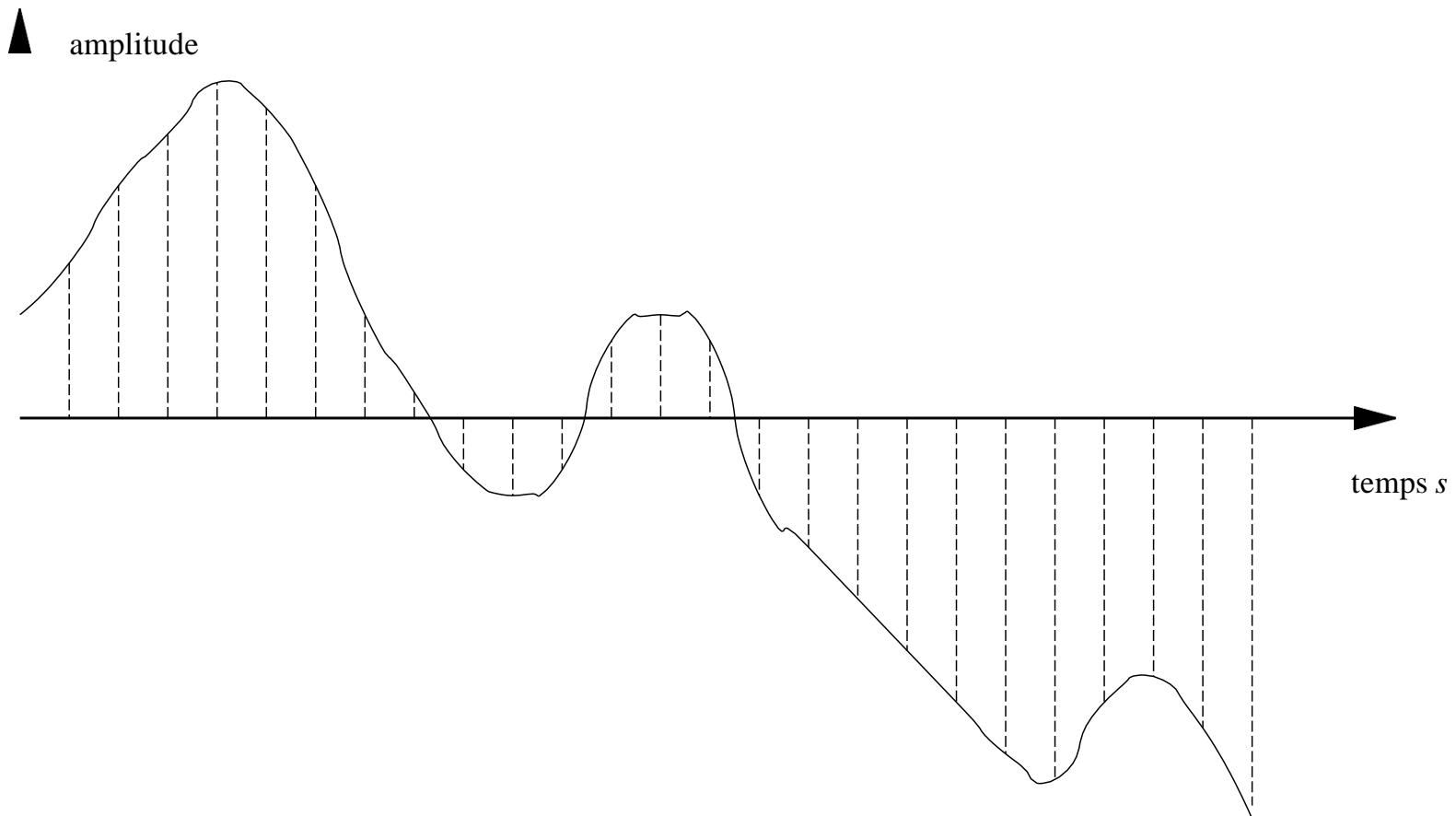
96



Othmani Mohamed

Échantillonnage : principe

97

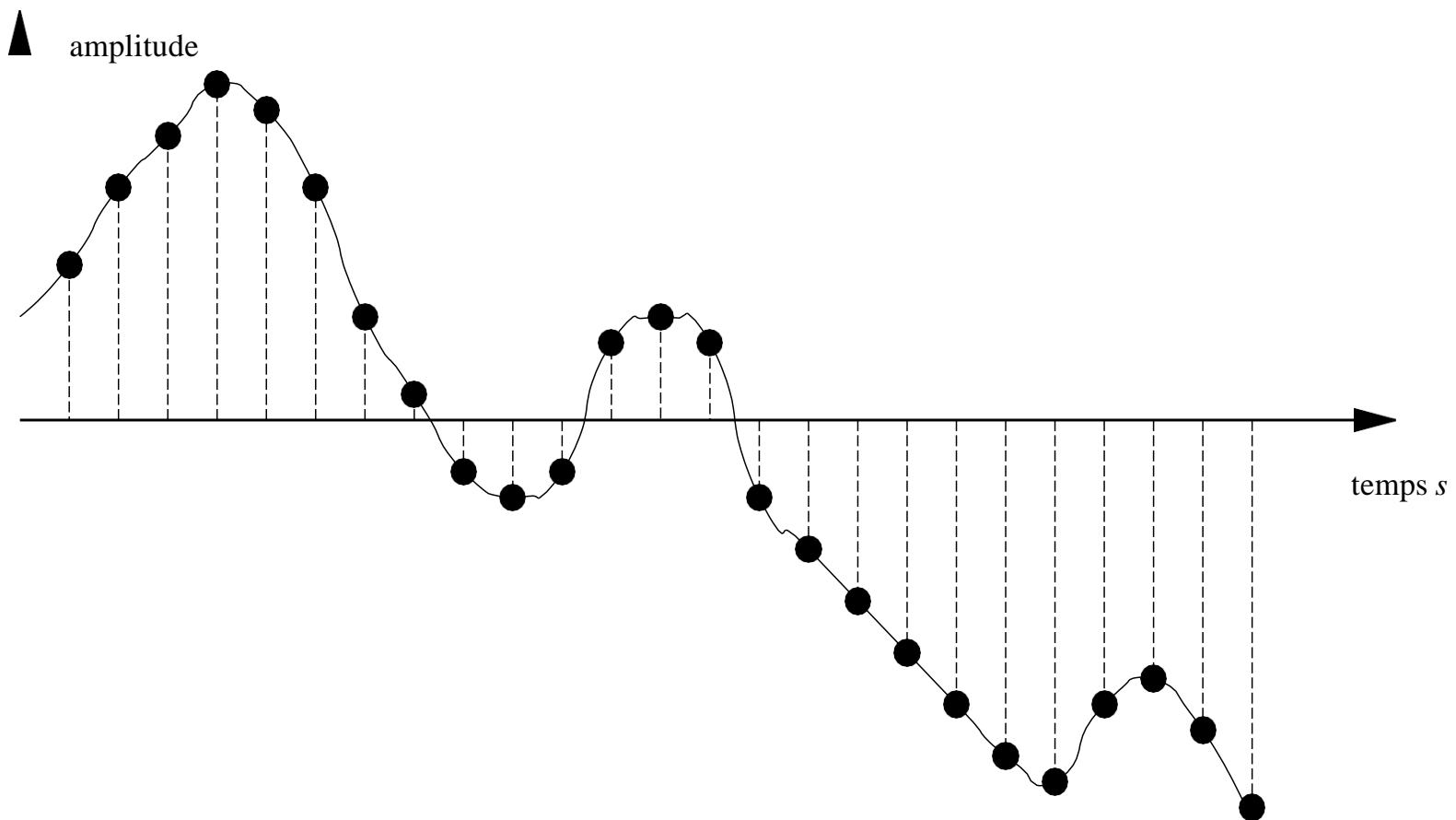


top d'horloge réguliers

Othmani Mohamed

Échantillonnage : principe

98

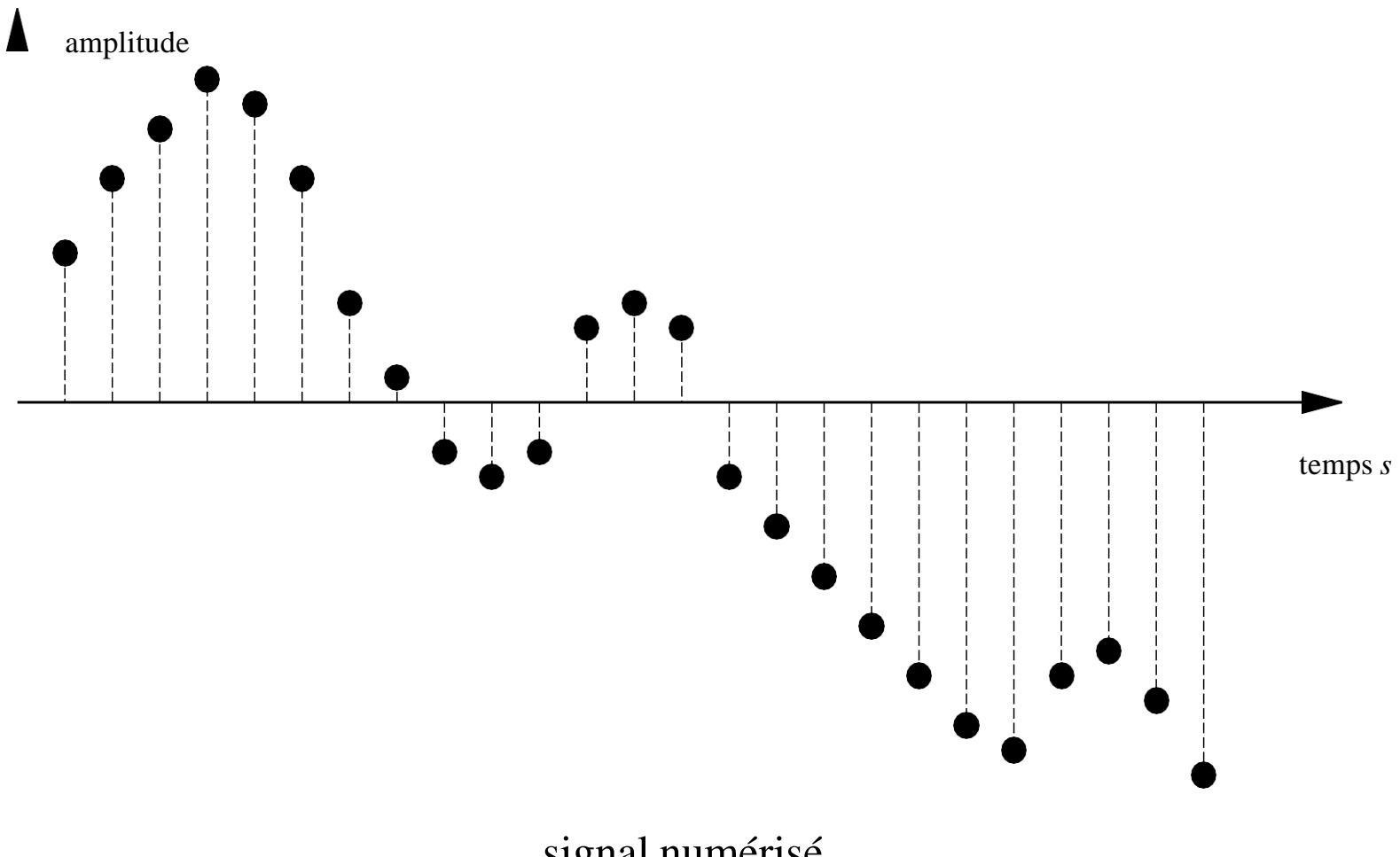


top d'horloge réguliers

Othmani Mohamed

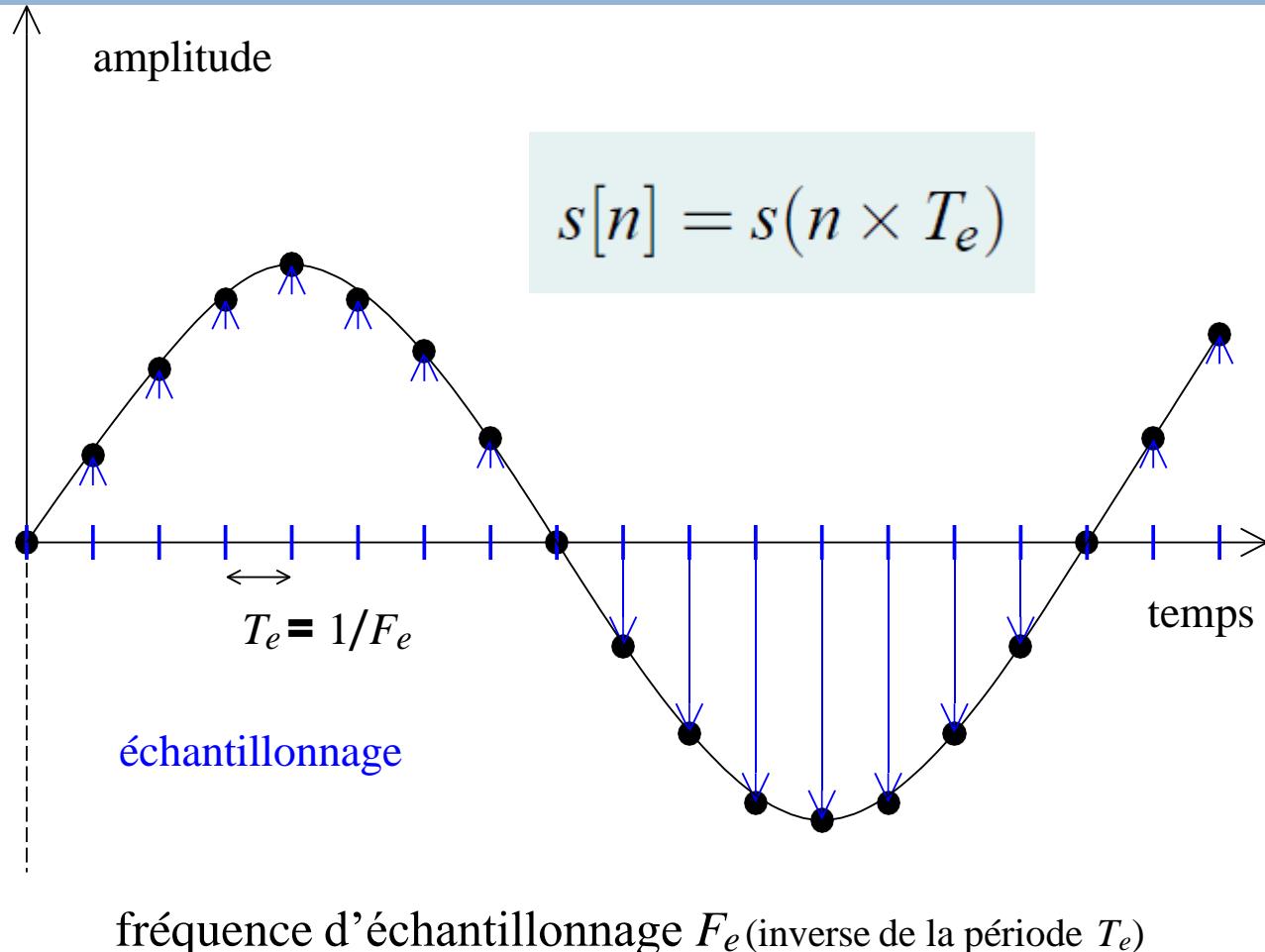
Échantillonnage : principe

99



Discrétisation : échantillonnage

100



Échantillons

101

- Chaque mesure est un **échantillon** (*sample*)
- Le temps T_e séparant deux échantillons est le **temps d'échantillonnage**
- La **fréquence d'échantillonnage** F_e ou **taux d'échantillonnage** (*sampling rate*) est l'inverse de cette période.

Unités, unités normalisées

102

- L'unité de temps est la **seconde**.
- L'unité des fréquences est le **Hertz** (s^{-1}).

unités normalisées :

- Unité normalisée en temps : T_e secondes
- Unité normalisée en fréquence : F_e Hertz

Le signal échantillonné $s(nT_e)$ pourra s'écrire $s[n]$, ou encore s_n .

Théorème de l'échantillonnage

35

Théorème de Shannon:

Pour pouvoir numériser correctement un signal, il faut échantillonner à une fréquence double (ou supérieure) à la fréquence du signal analogique que l'on échantillonne.

Théorème de Nyquist-Shannon

104

La fréquence $f = 1/T$ d'échantillonnage d'un signal doit être égale ou supérieure au double de la fréquence maximale contenue dans ce signal

$$\text{Freq. Echantillonnage} \geq 2 * \text{Freq. Signal}$$

Exp:

Freq. Ech. CD-Rom: 41.1KHz

$41.1 > 20\text{KHz} \times 2$ (capacité humaine)

Théorème de Nyquist-Shannon

105

Un signal analogique de largeur de bande finie $2F$ Hz ne peut être reconstitué exactement à partir de ses échantillons que si ceux-ci ont été prélevés avec une période T_e :

$$T_e = \frac{1}{F_e} \leq \frac{1}{2F}$$

Fréquence d'échantillonnage limite

106

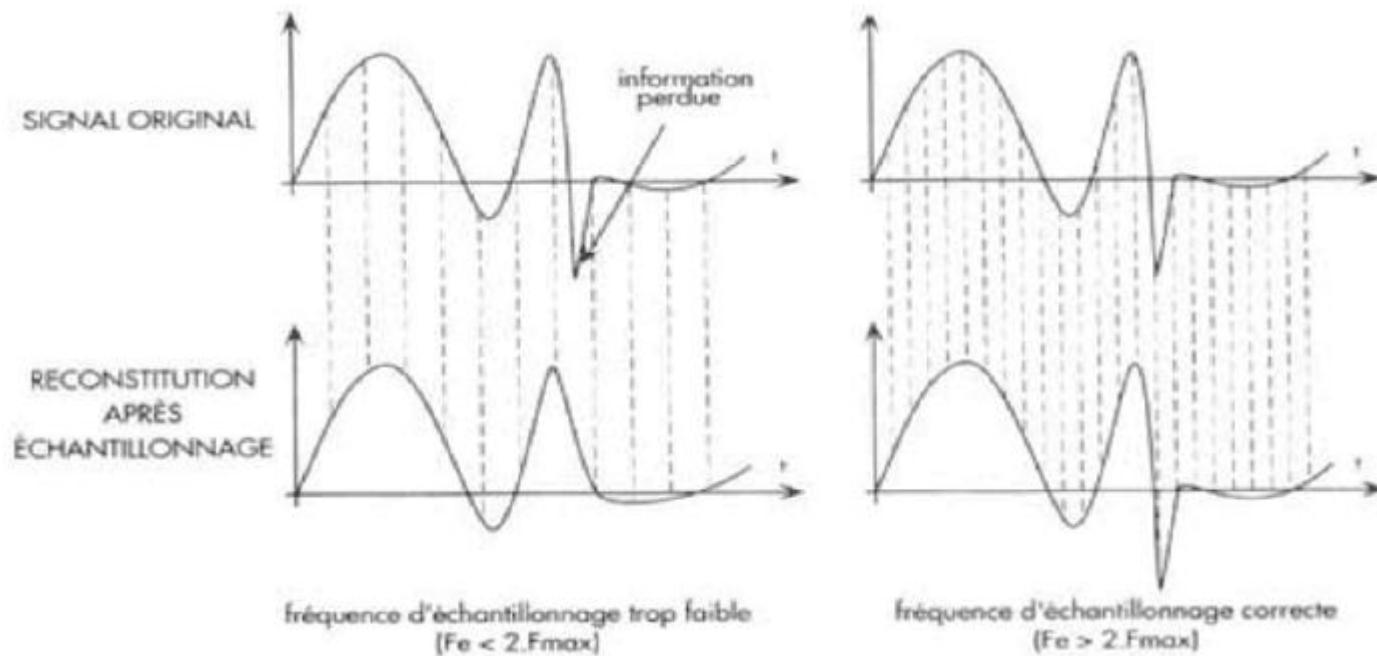
Il faut que la fréquence d'échantillonnage soit supérieure ou égale à deux fois la fréquence maximum F du signal.

Cette fréquence limite est appelée **fréquence de Nyquist**:

$$F \leq f_{\text{Nyquist}} = \frac{F_e}{2}$$

Exemple

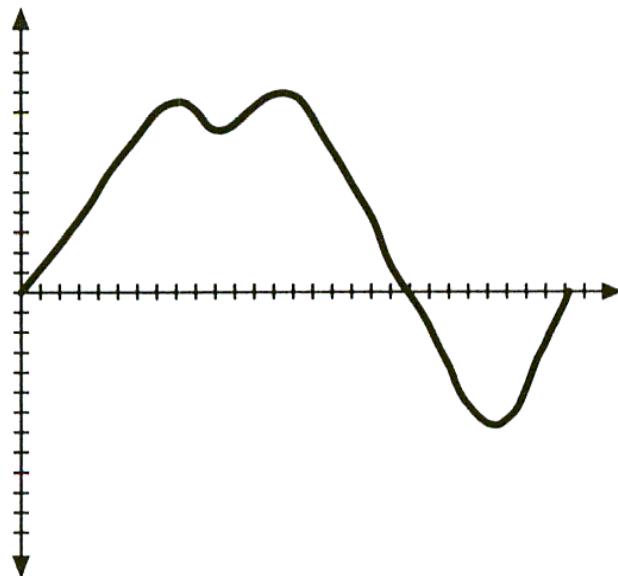
107



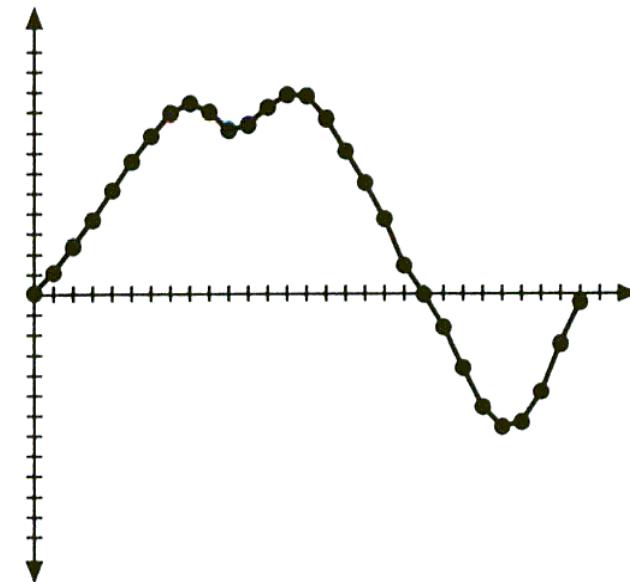
Exemple

108

a. Original Analog Waveform



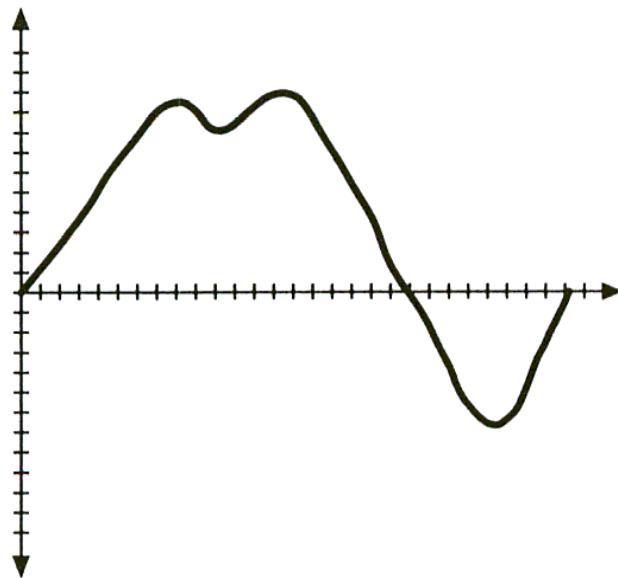
b. Sampling Rate N



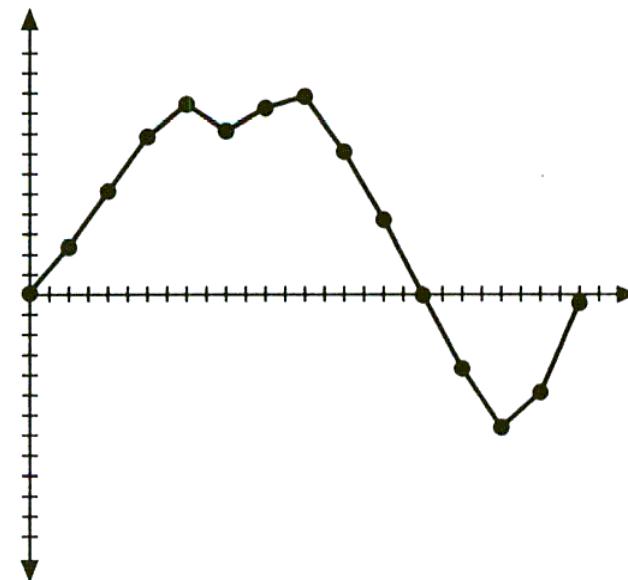
Exemple

109

a. Original Analog Waveform



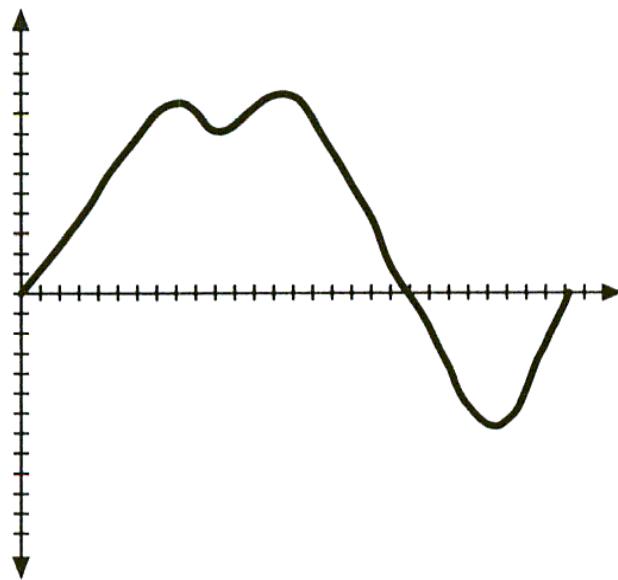
c. Sampling Rate $N/2$



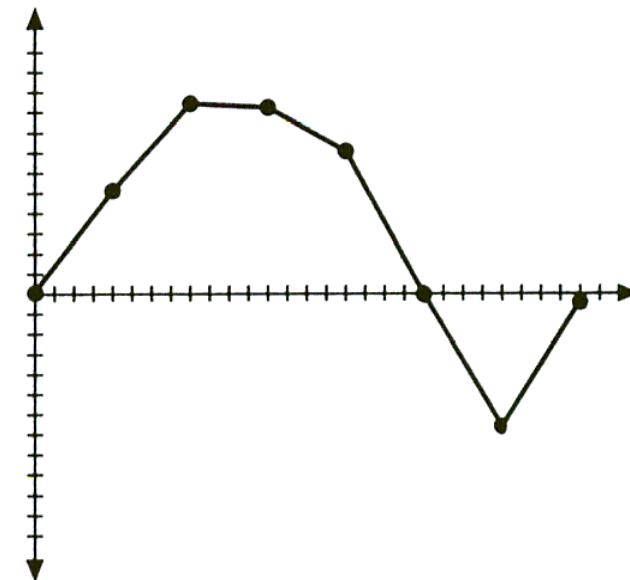
Exemple

110

a. Original Analog Waveform



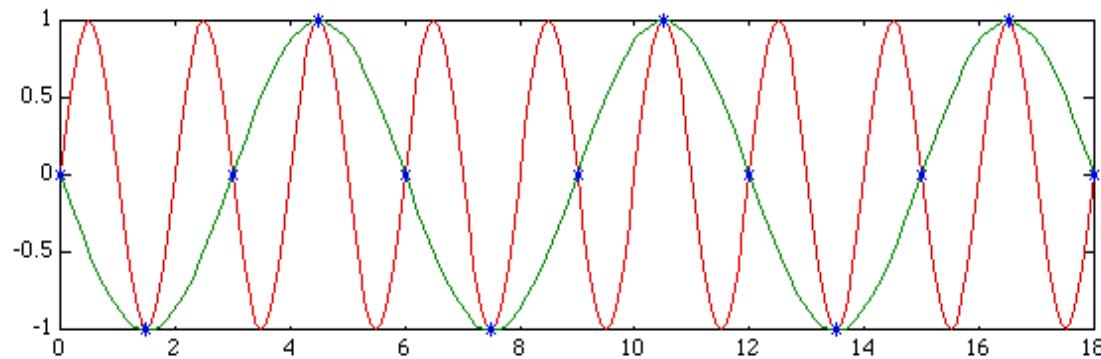
d. Sampling Rate $N/4$



Repliement/Aliasing

111

Exemple d'une fréquence d'échantillonnage F_e trop faible :



Signal rouge original de fréquence F

$$F_e = \frac{4F}{3}$$

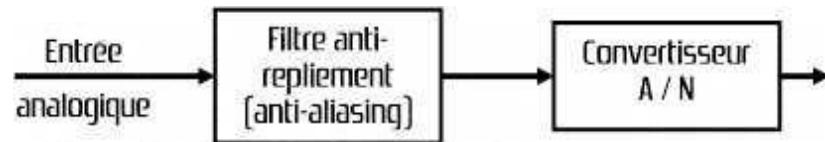
⇒ la *reconstruction la plus normale* d'une sinusoïde passant par les échantillons : sinusoïde de fréquence $\frac{F}{3}$ (signal vert).

Filtre anti-Repliement/Aliasing

112

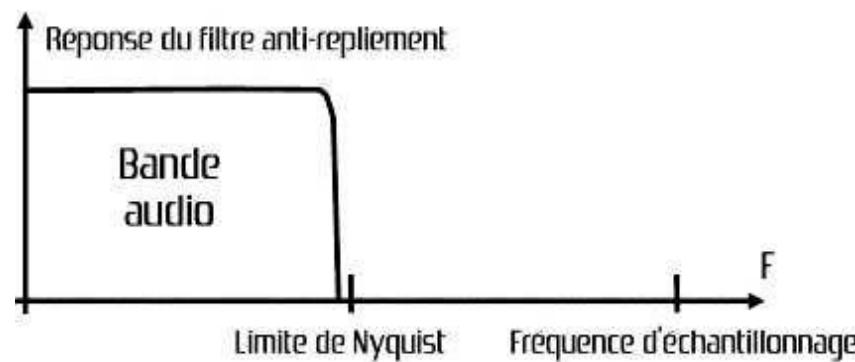
Ne pas prendre en compte les fréquences $f > \frac{F_e}{2}$

⇒ Avant la conversion analogique numérique : filtre anti-repliement ou anti-aliasing



Réponse du filtre passe-bas anti-repliement

:



Reconstruction...

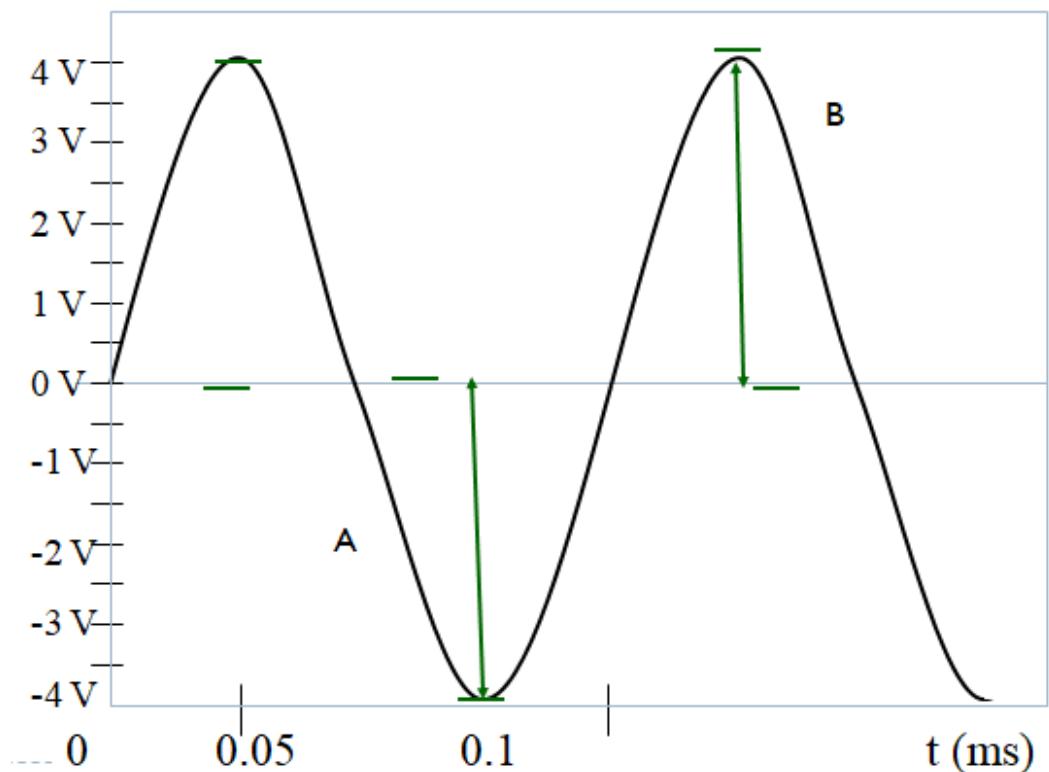
113

- condition de Nyquist: $F_e > 2 \times F_{\max}$
(F_{\max} : plus grande fréquence présente dans le signal a)
- théorème de Shannon:
 - le signal continu $a(t)$ peut être reconstruit parfaitement
(sans erreur) à partir du signal discret $a[n]$
 - si et seulement si**
 - la condition de Nyquist est respectée
- exemples:
 - CD: $F_e = 44100 \text{ Hz} \Rightarrow F_{\max} < 22050 \text{ Hz}$
 - DVD: $F_e = 96000 \text{ Hz} \Rightarrow F_{\max} < 48000 \text{ Hz}$
 - Parole : $F_e = 8000 \text{ Hz}$
 - radio FM numérique : $F_e = 32000 \text{ Hz}$

Exercice

114

1. Calculer la période, la fréquence du signal et l'amplitude en A et en B
2. déterminer le taux d'échantillonnage
3. Déduire le temps d'échantillonnage



Quelle fréquence d'échantillonnage ?

115

Une voix parlée est compréhensible si les fréquences comprises entre 20 et 4000 Hz sont perçues.

Questions:

- Quelle fréquence d'échantillonnage doit-on choisir pour numériser une voix parlée ?
- Que se passe-t-il si on choisit plus ?
- Que se passe-t-il si on choisit moins ?

Choix de la fréquence d'échantillonnage

116

- Sur-échantillonnage : *trop* de valeurs représentent le signal
 - temps d'échantillonnage important
 - taille des données importante
 - Plus de temps de traitement (calcul) pour un résultat proche
 - Sous-échantillonnage : trop *peu* de valeurs représentent le signal
 - Variations du signal entre deux échantillons sont perdues
 - Qualité du signal insuffisante
- ⇒ Compromis à trouver

Choix de la fréquence d'échantillonnage

117

Applications	f_{\max}	F_e
Géophysique	500 Hz	1 kHz
Biomédical	1 kHz	1 kHz
Mécanique	2 kHz	4 kHz
Parole	4 kHz	8 kHz
Audio	20 kHz	40 kHz
Vidéo	4 MHz	8 MHz

Quantification

118

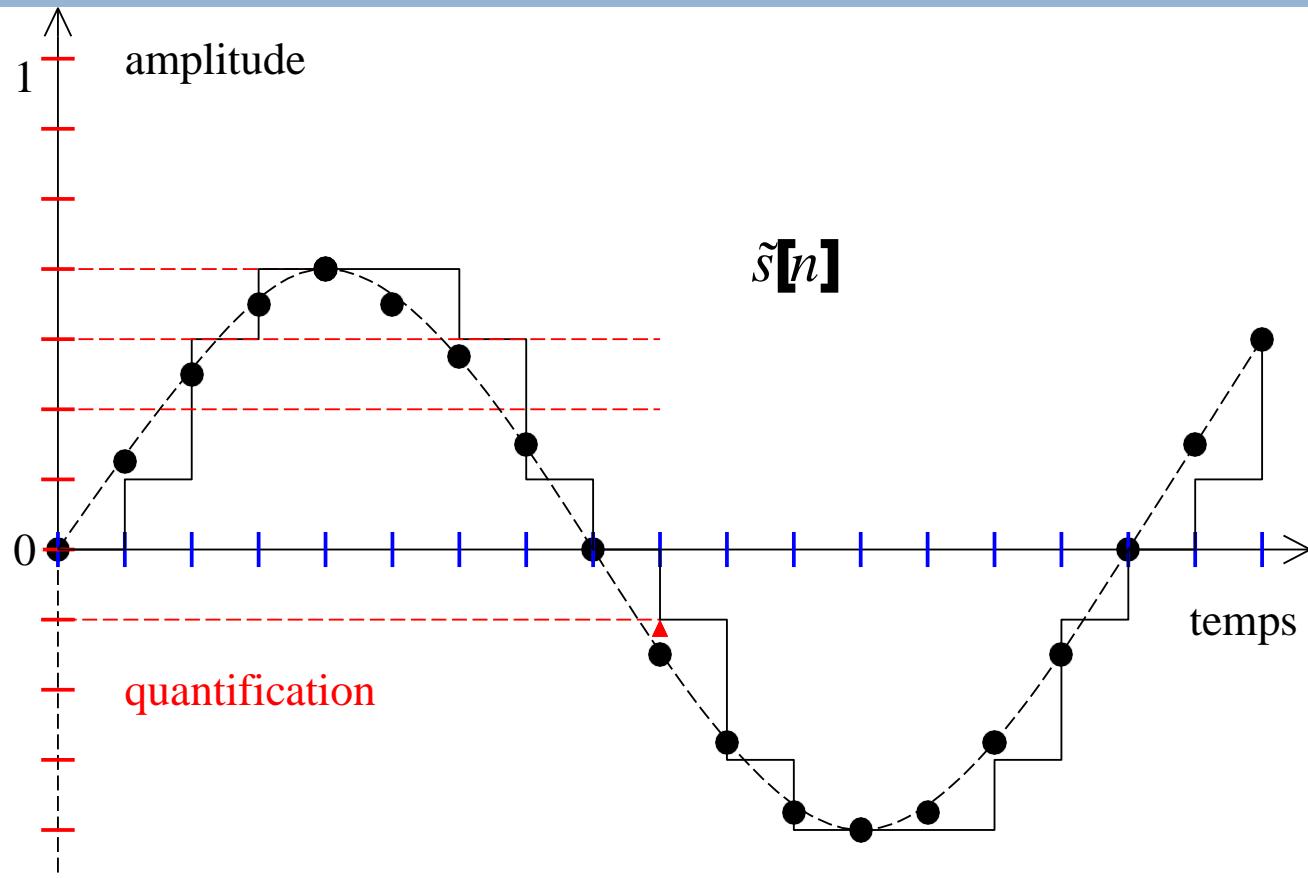
- Échantillonnage : temps continu → temps discret
- Quantification : amplitude continue → amplitude discrète

La précision de cette étape de quantification est donnée par un **nombre de bits**

Ce nombre de bits indique le nombre de valeurs discrètes utilisées pour quantifier l'amplitude du signal analogique

Discrétisation : quantification

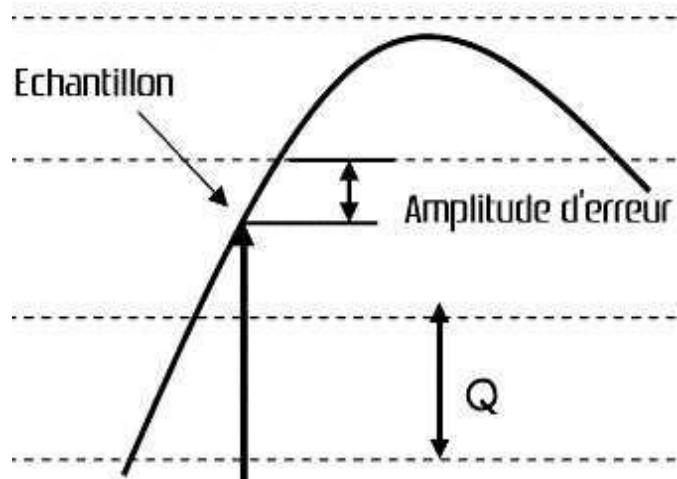
119



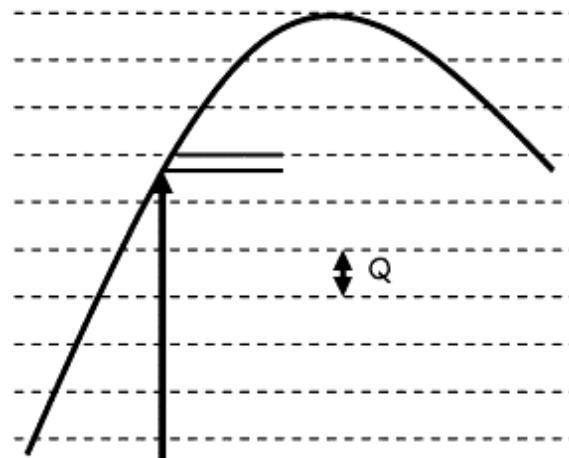
Erreur de quantification

120

→ erreur de quantification



faible nombre de bits

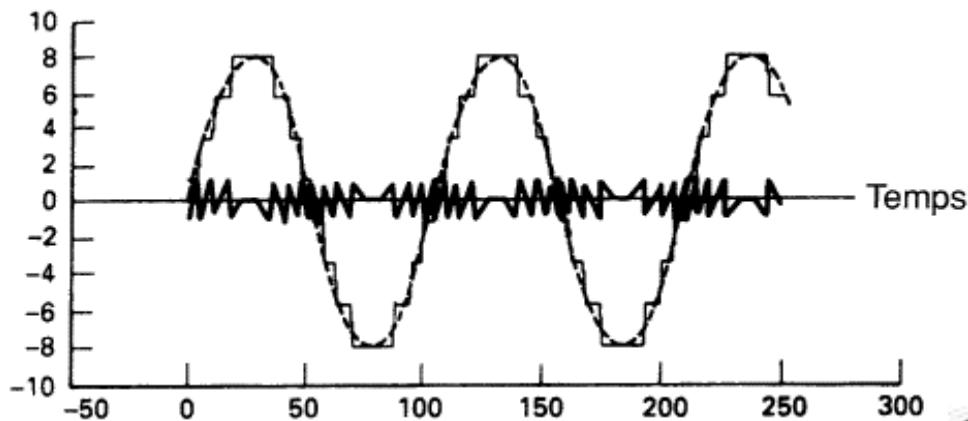


important nombre de bits

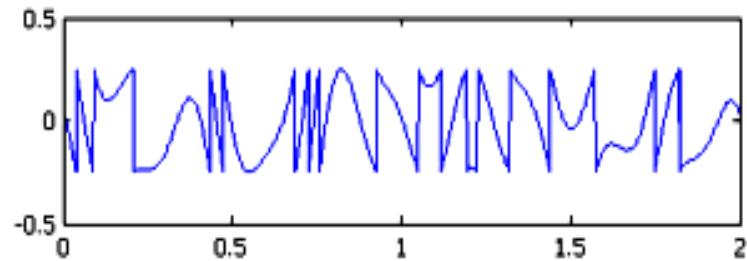
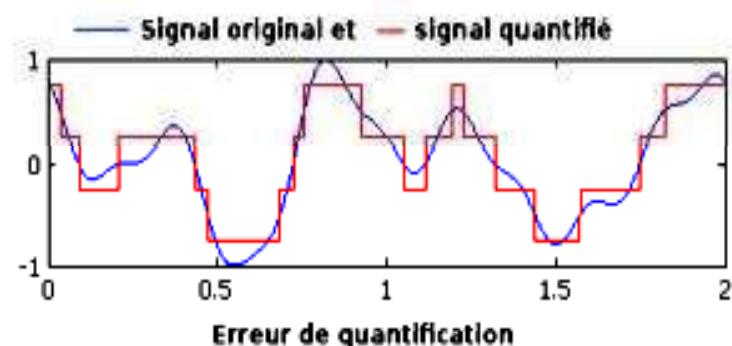
=⇒ signal indésirable ajouté au signal utile

Bruit de quantification

121



$$s(t) = s_q(t) + e(t)$$



Erreur de quantification (3)

122

Rapport signal/bruit théorique : à peu près 6 dB par bit.

- convertisseur 16 bits doit afficher un rapport signal/bruit autour de 98 dB
- convertisseur 8 bits autour de 50 dB.

Quantification

123

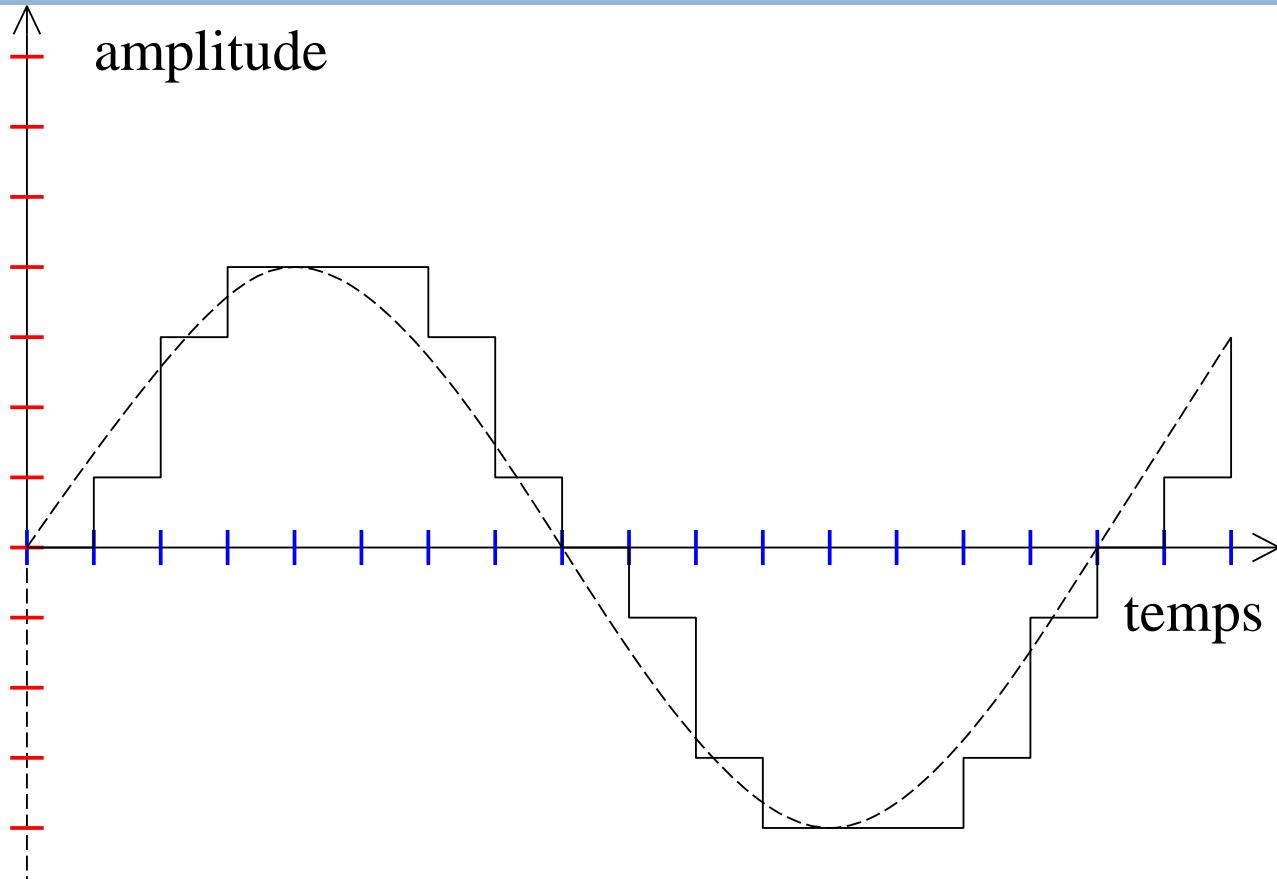
En général:

- quantification linéaire (ou uniforme)
- quantification logarithmique

- Plus le nombre de bits est important, plus la qualité est bonne (erreur faible)
- Plus le nombre de bits est important, plus la taille des données est importante (exemples : 8 bits, CD: 16 bits, DVD Audio: 24 bits)

Représentation discrète

124

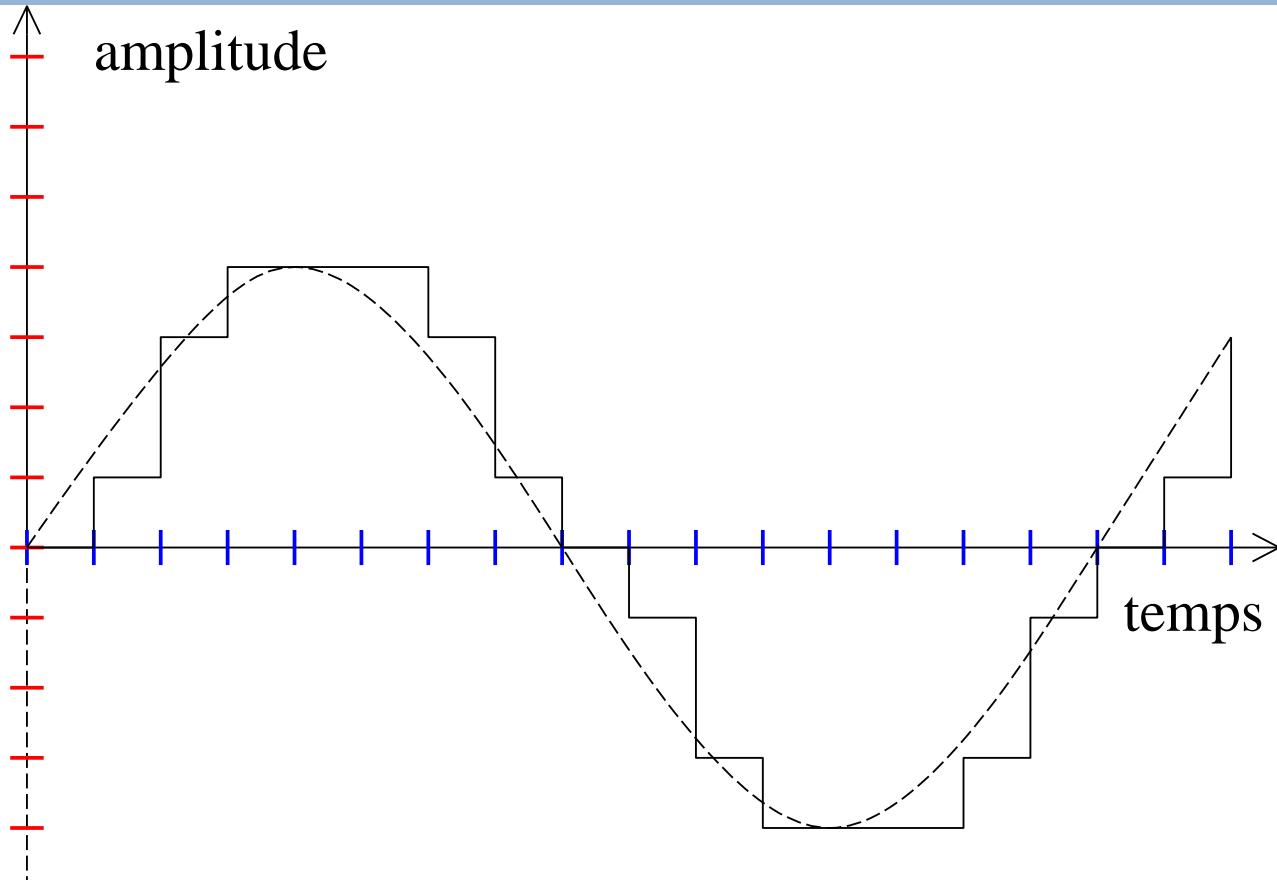


discrétisation (numérisation) =
échantillonnage + quantification

Othmani Mohamed

Représentation discrète

125



discrétisation (numérisation) =
échantillonnage + quantification

[0, 1, 3, 4, 4, 4, 3, 1, 0, -1, -3, -4, -4, -4, -3, -1, 0, 1, 3]

Othmani Mohamed

Spécification usuelles de qualité :

Qualité	Fe (Hz)	Nb de bits	Nb canaux	Débit (Bit Rate)
DVD-audio	48 kHz	16 ou 32	Jusqu'à 6	
CD	44.1 kHz	16	Stéréo: 2	172 Ko/s
Radio FM	22 kHz	16	Stéréo: 2	86 Ko/s
Radio AM	11025	8	Mono: 1	11 Ko/s
Téléphone	8 kHz	8	Mono: 1	8 Ko/s

Le son: monophonique / stéréophonique

Le son monophonique est enregistré sur un seul canal

Le son stéréophonique est enregistré sur deux canaux

Taille d'un fichier son numérique

La taille d'un fichier audio (en bit) numérisé est donné par :

$$L = Fe.Q.P.T$$

avec

Fe : la fréquence d'échantillonnage

Q : le nombre de bit utilisé pour la quantification (bit)

P : le nombre de canaux (2 canaux pour les fichiers stéréo, 1 seul pour les fichiers mono ...)

T : la durée en seconde du fichier audio (sec)

CD audio stéréo d'une heure :

$$44100 * 16 * 2 * 3600 = 5\ 080\ 320 \cdot 10^3 \text{ bits} = 635 \cdot 10^6 \text{ octets} = 635 \text{ Mo}$$

DVD audio quadriphonique d'une heure :

$$48000 * 16 * 4 * 3600 = 11\ 059 \cdot 10^6 \text{ bits} = 1\ 382 \cdot 10^6 \text{ octets} = 1.382 \text{ Go}$$

CHAPITRE IV

La vidéo

Introduction

129

- Ensemble des techniques permettant la visualisation ou l'enregistrement d'images animées accompagnées de son
Une vidéo est une succession d'images fixés à une certaine (cadence)
- **Flux vidéo** : information continu composé d'une succession d'images et de son (25/ secondes en Europe et 30/ seconde en USA)
- **Mixage**: Consiste à équilibrer les fréquences et amplitude relatives d'un certains nombre de sources audio
- **Montage** : C'est l'action d'agencer images et sons. Exemple: Assembler de bout à bout plusieurs plans pour former des séquences...
- **On distingue deux types de vidéos:**
 - **Vidéo analogique**
 - **Vidéo numérique**

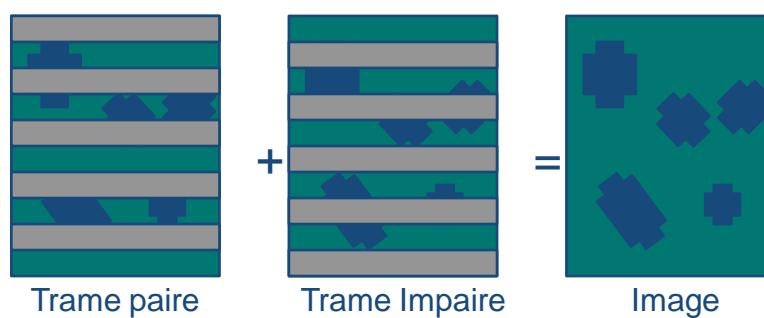
La vidéo analogique

130

- La vidéo analogique, représente l'information comme un flux continu de données analogiques, destiné à être affichées sur un écran de télévision (basé sur le principe du balayage).
- Normes de la vidéo analogique (PAL, SECAM et NTSC)
- Format utilisé en Europe pour la télévision hertzienne Permet de coder les vidéos sur 625 lignes à raison de 25 images par seconde à un format 4:3 (c'est-à-dire que le rapport largeur sur hauteur vaut 4/3).
- NTSC (National Television Standards Committee),
 - Norme utilisée aux Etats-Unis et au Japon
 - Utilise un système de 525 lignes entrelacées à 30 images/sec (à une fréquence de 60Hz) à un format 4:3

Tramage

- **Entrelacement:** : Le téléviseur PAL/SECAM affiche 50 trames (demi image) par seconde (à une fréquence de 50 Hz), soit 25 images par seconde.



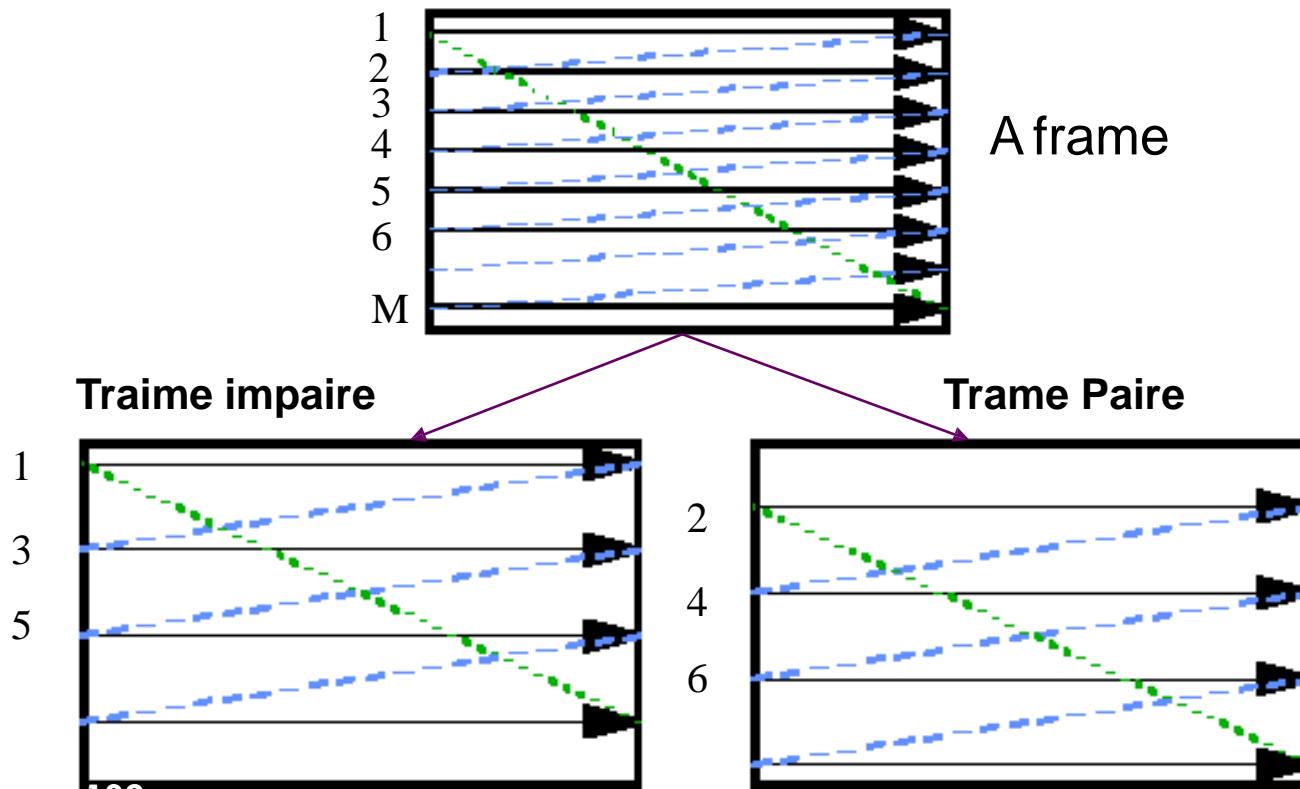
- le but est d'économiser la moitié de la bande passante au prix de quelques défauts peu visibles sur un petit écran



Tramage

132

- Le spot lumineux « affiche » d'abord les lignes de la trame « impaire » (1, 3, 5, ...) en 1/50 de sec (PAL/SECAM)
- Ensuite les lignes de la trame paire (2, 4, ...)



La vidéo numérique

133

- consiste à afficher une succession d'images numériques.
- Puisqu'il s'agit d'images numériques affichées à une certaine cadence, il est possible de connaître le débit nécessaire pour l'affichage d'une vidéo,
- c'est-à-dire le nombre d'octets affichés (ou transférés) par unité de temps.

Débit=Taille d'une image * Nbre d'images par seconde

Exemple

134

- Soit une image *true color (24 bits)* ayant une définition de 640 pixels par 480.
- Pour afficher correctement une vidéo possédant cette définition il est nécessaire d'afficher au moins 30 images par seconde, c'est-à-dire un débit égal à :

Débit=Taille d'une image * Nbre d'images par seconde

$$= 900 \text{ Ko} * 30$$

$$= 27 \text{ Mo/s}$$

Caractéristiques

135

Vidéo numérique

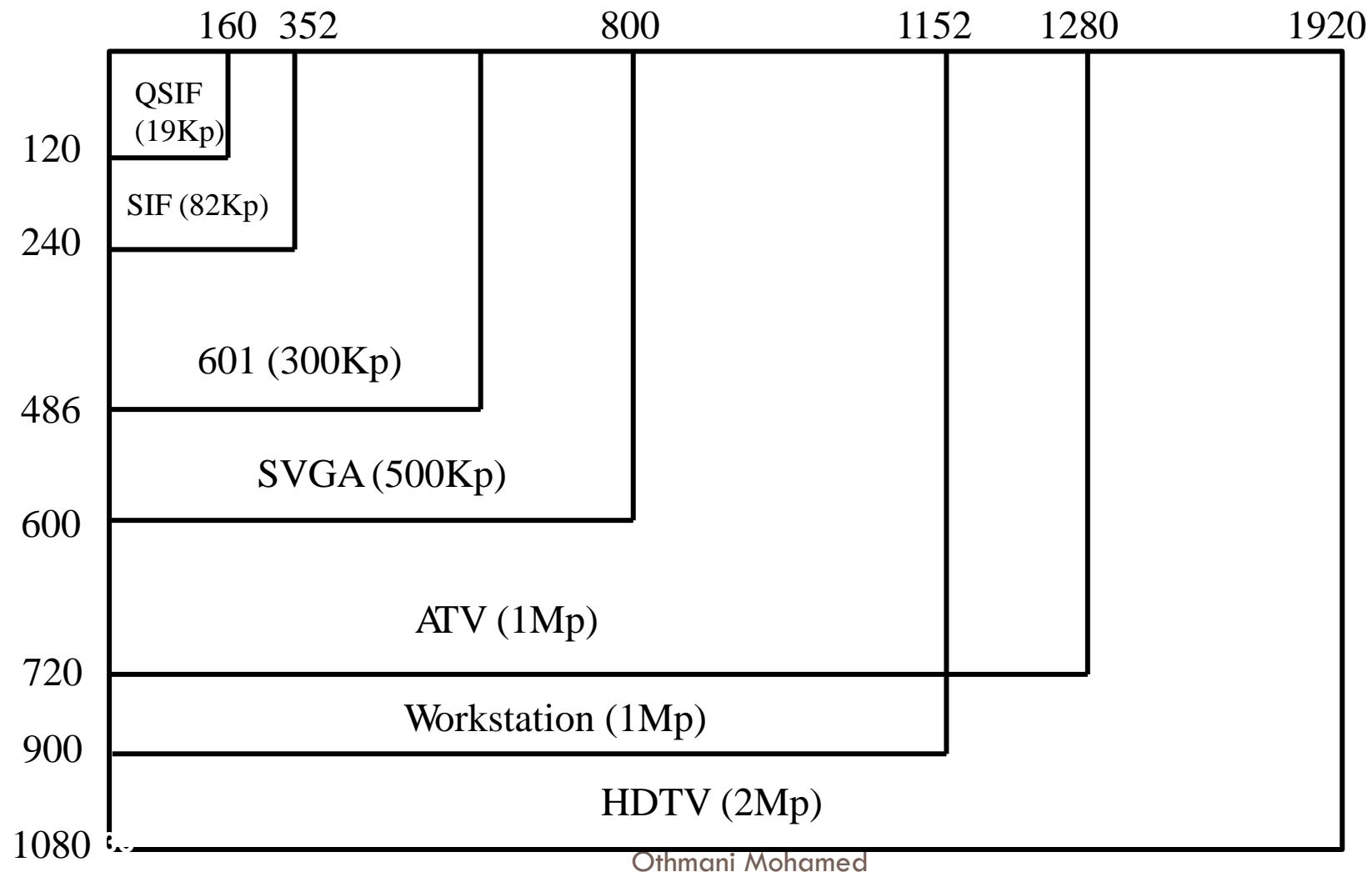
- Suite rapide d'images
- Numérisée à partir d'une source vidéo analogique (caméra, magnétoscope,...)
- Séquence audio synchronisée avec les images

Animation

- Suite d'images de débit plus faible
- Images synthétisée avec un logiciel de dessin
- Aspect visuel proche des dessins animés
- Peut comporter du son

Vidéo numérique : Résolution

136



Critères de qualité

137

Nombre d'images/trames par seconde

- Mouvements fluides : 20 ou +
- Cinéma : 24
- Télévision : 25 (France), 30 (USA, Japon).

Qualité propre aux images

- Définition
- Nombre de couleurs.

Qualité du son

Qualité de la synchronisation entre images et son.

Débit

□ Débit (octet/sec) = taille image * nb images/sec

□ Exemple

□ Image 24 bits 640 *480 à 30 images/sec

⇒ Taille image ~ 1Mo

⇒ Débit ~30Mo/s

Formats vidéo

138

*.avi (*Audio Video Interleave*):

Mis au point par Microsoft : conçu pour stocker des données audio et vidéo

▣ Lisible par le lecteur Windows Media Player.

▣ Séquences vidéos avec en moyenne 15 images par seconde.

*.wmv (*Windows Media Video*):

- C'est un format propriétaire de Microsoft lisible sur PC mais pas sur platine de salon.
- Obtenus, par exemple, lors de la création d'un diaporama avec Windows Movie Maker.

Formats vidéo

139

*.mpeg. (Moving Pictures Experts Group):

- Format de fichier audio et vidéo utilisant la compression avec perte.
- Utilisé pour la diffusion en continu sur Internet.
- Le principe est d'obtenir des fichiers légers en supprimant les parties d'images fixes lors du passage d'une image à une autre image.
- Il existe plusieurs standards de MPEG comme le MPEG-1, le MPEG-2, le MPEG-4.

*.mov:

- Fichiers vidéos au standard Quicktime et donc lisibles avec le lecteur QuickTime.
- Il est utilisé par quelques marques d'appareils photonumériques comme Sony, pour créer des séquences vidéos.