

DIRO  
IFT 3205

# TRAITEMENT DU SIGNAL

## INTRODUCTION

*Max Mignotte*

Département d'Informatique et de Recherche Opérationnelle.

Http : [//www.iro.umontreal.ca/~mignotte/ift3205](http://www.iro.umontreal.ca/~mignotte/ift3205)

E-mail : [mignotte@iro.umontreal.ca](mailto:mignotte@iro.umontreal.ca)

# INTRODUCTION

## SOMMAIRE

Définition du Traitement du Signal .....	2
But du Traitement du Signal .....	3
Historique du Traitement du Signal .....	8
Application du Traitement du Signal .....	9
L'Image ou Signal Numérique .....	10
Échantillonnage & Quantification .....	13
Système de Traitement du Signal .....	16

# INTRODUCTION

## DÉFINITION DU TRAITEMENT DU SIGNAL

### Définition du Traitement du Signal

Le **Traitement numérique du Signal** est utilisé dans une grande variété d'applications (donc difficile de trouver une définition généralisée qui soit acceptable!)

#### 1 Une définition possible

- **Traitement** : Action consistant à réaliser des opérations sur des données en suivant des instructions programmées
- **Numérique** : Se dit de la représentation d'informations ou de grandeurs physiques, au moyen de chiffres ou de ses valeurs discrètes
- **Signal** : Variation d'une grandeur physique de nature quelconque porteuse d'information

**Traitement numérique du signal** : **Analyse ou modification de l'information, pouvant être représentée par une séquence discrète de chiffre**

#### 2 Une autre définition ...

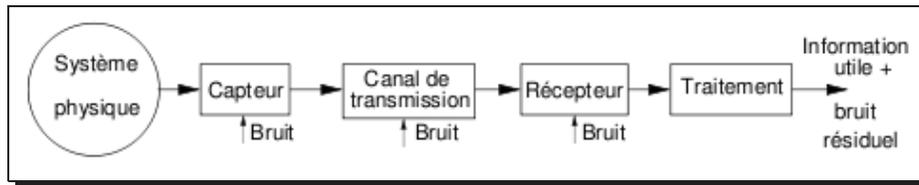
Puisque le signal est le support/véhicule de l'information

*Traiter numériquement un signal consiste à extraire l'information qu'il véhicule au moyen de traitements numériques (pour l'utiliser dans une application)*

# INTRODUCTION

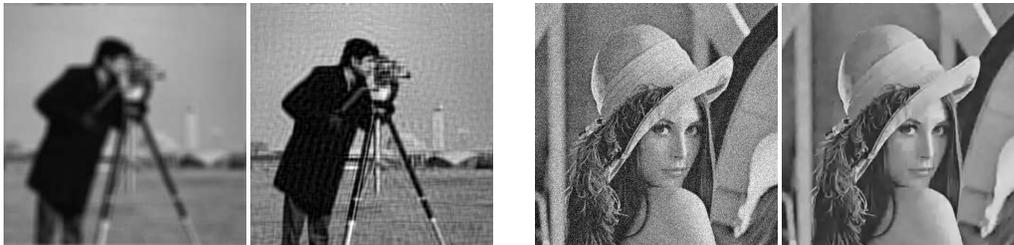
## BUT DU TRAITEMENT DU SIGNAL (1)

*Le Traitement du Signal*  
*Cherche à extraire l'information véhiculée par le signal*



**1** Retrouver l'information avant que celle-ci ne soit altérée par des dégradations : [[Restaurer/Débruiter/Regénérer](#)]

### Pour une Image

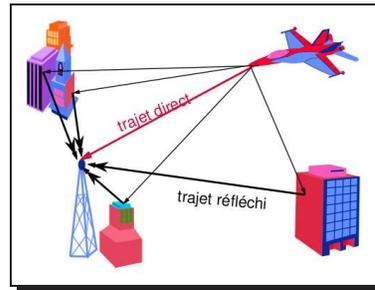


**Déconvolution**

**Débruitage**

### Pour un Signal

- Amélioration des techniques d'enregistrement audio
- Correction ou élimination d'échos
- Élimination des parasites
- Égalisation de canal
- Déconvolution d'appareil
- ...



# INTRODUCTION

## BUT DU TRAITEMENT DU SIGNAL (2)

**2** L'information utile dans le signal est quelquefois le modèle qui a généré le signal que l'on essaie d'**[Interpoler]** ou d'**[Extrapoler]**

- Élimination de scratches ou d'inscriptions sur une image
- Interpolation/Extrapolation d'image ou de signal
- Prédiction de trajectoire
- ...



**Interpolation**



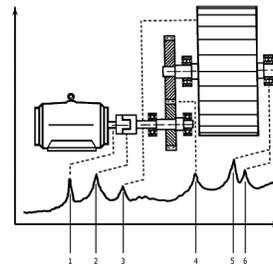
**Extrapolation**

**3** L'information utile dans le signal est quelquefois une de ses composante que l'on essaie de **[Détecter]** et quelquefois de **[Mesurer]**

- Détection d'un défaut
- Détection d'un signal noyé dans du bruit
- Analyse d'électrocardiogramme, d'encéphalogramme
- Recalage de signaux/d'images
- ...



**Mosaïque d'images**



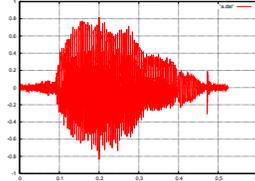
**Détection de défaut**

# INTRODUCTION

## BUT DU TRAITEMENT DU SIGNAL (3)

4 L'information utile dans le signal est quelquefois des informations/propriétés sur la source qui l'a générée : [Reconnaissance] ou [Localisation] de source

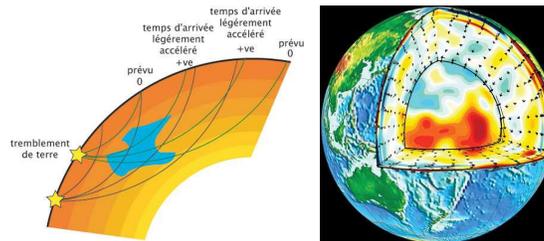
- Reconnaissance de la signature radar/sonar d'une cible
- Reconnaissance du genre du locuteur
- Localisation de défauts
- Sismologie du Soleil
- ...



**Locuteur masculin ou féminin ?**

5 Quelquefois l'information utile est la dégradation qui nous donnera des informations sur le milieu dans lequel le signal évolue : [Cartographie] ou [Analyse]

- En sonar ou radar, l'analyse des échos permet d'obtenir la cartographie du milieu
- En géophysique, l'analyse des réflexion d'ondes acoustiques permet de déterminer l'épaisseur/nature des strates
- Prospection minière
- Prédiction des tremblement de terre
- ...



**Cartographie de la température interne du globe terrestre**

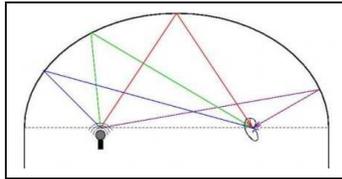
# INTRODUCTION

## BUT DU TRAITEMENT DU SIGNAL (4)

**5** Cherche à extraire l'information utile du signal afin de la traduire en un langage numérique ([Codage]) le plus concis possible ([Compression]) en le brouillant si nécessaire ([Brouillage]) ou en le tatouant ([Watermarking]) ou le décoder ([Décodage]) et bien sur avant tout l'acquérir ([Acquisition])

**6** Cherche à extraire l'information sur la *forme du signal* ou le modèle de dégradation pour pouvoir le [Synthétiser]

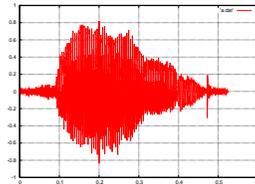
- Synthèse sonore
- Réalisation d'effets spéciaux & sonores
- Synthèse d'instrument
- Image avec bruit synthétique pour tester des algorithmes de restauration/detection
- ...



**Chambre d'échos**

**7** Extraire l'information utile du signal afin de pouvoir le reconnaître ([Reconnaissance]) ou le comprendre ([Compréhension]) et de prendre une [Décision]

- Reconnaissance des formes/signal sonore
- Classification
- ...



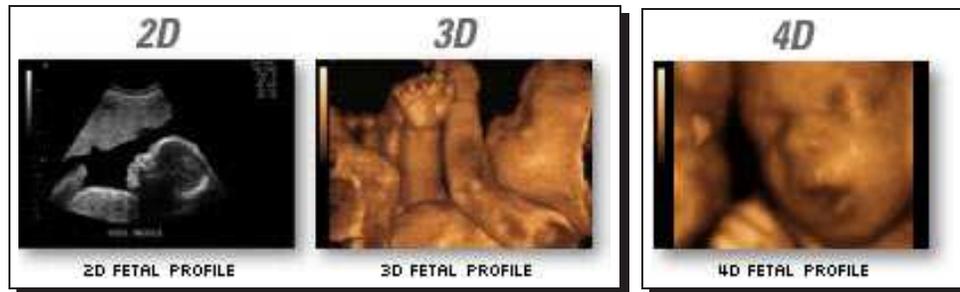
**Phonème prononcé ?**

# INTRODUCTION

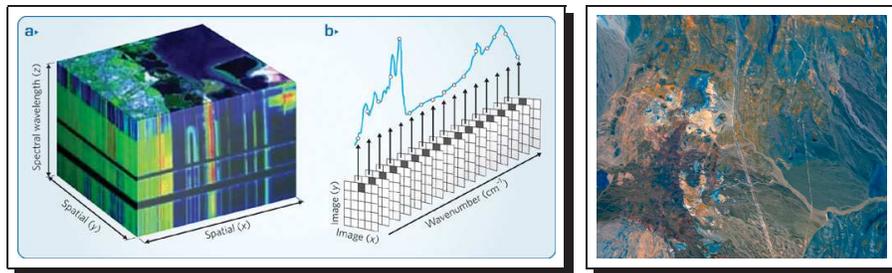
## BUT DU TRAITEMENT DU SIGNAL (5)

8 Extraire l'information d'un ensemble de signaux prise selon des projections/longueurs d'onde/modalités différentes afin de pouvoir le reconstruire en 3D ([[Reconstruction](#)]) ou fusionner [[Fusion](#)] toute cette information

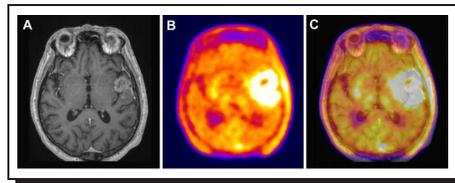
- Reconstruction tomographique
- Imagerie Multispectrale
- Imagerie Multimodalité
- ...



Reconstruction 3D ultrasonore



Visualisation d'image hyperspectrale



Fusion d'imagerie fonctionnelle et anatomique

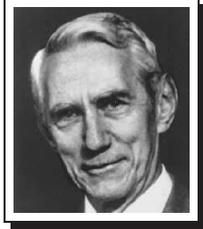
# INTRODUCTION

## HISTORIQUE DU TRAITEMENT DU SIGNAL



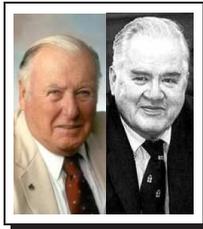
*J.-B. Joseph Fourier (1768-1830)*

En étudiant la propag. de la chaleur, découvrit les séries de Fourier permettant la décomposition d'une fonction en une somme de (co)sinus. Les coefs de cette série représentant le niveau énergétique de chacune des fréq. élémentaires.



*Claude E. Shannon (1916-2001)*

C. Shannon (avec Nyquist) a donné son nom à la fréquence à laquelle on doit échantillonner un signal pour en extraire toute son information



*J. Cooley (1926-) et J. Tukey (1915-2000)*

On leur doit la FFT (Fast Fourier Transform) qui est un algorithme récursif rapide de calcul de la Transformée de Fourier Discrète (TFD) en  $\mathcal{O}(n \ln n)$  (comparativement à  $\mathcal{O}(n^2)$ )

Matériellement, on doit le **traitement du signal** à l'avènement des IC et des  $\mu$ -processeurs qui ont eux même favorisés l'éclosion de  $\mu$ -ordinateurs individuel type PC

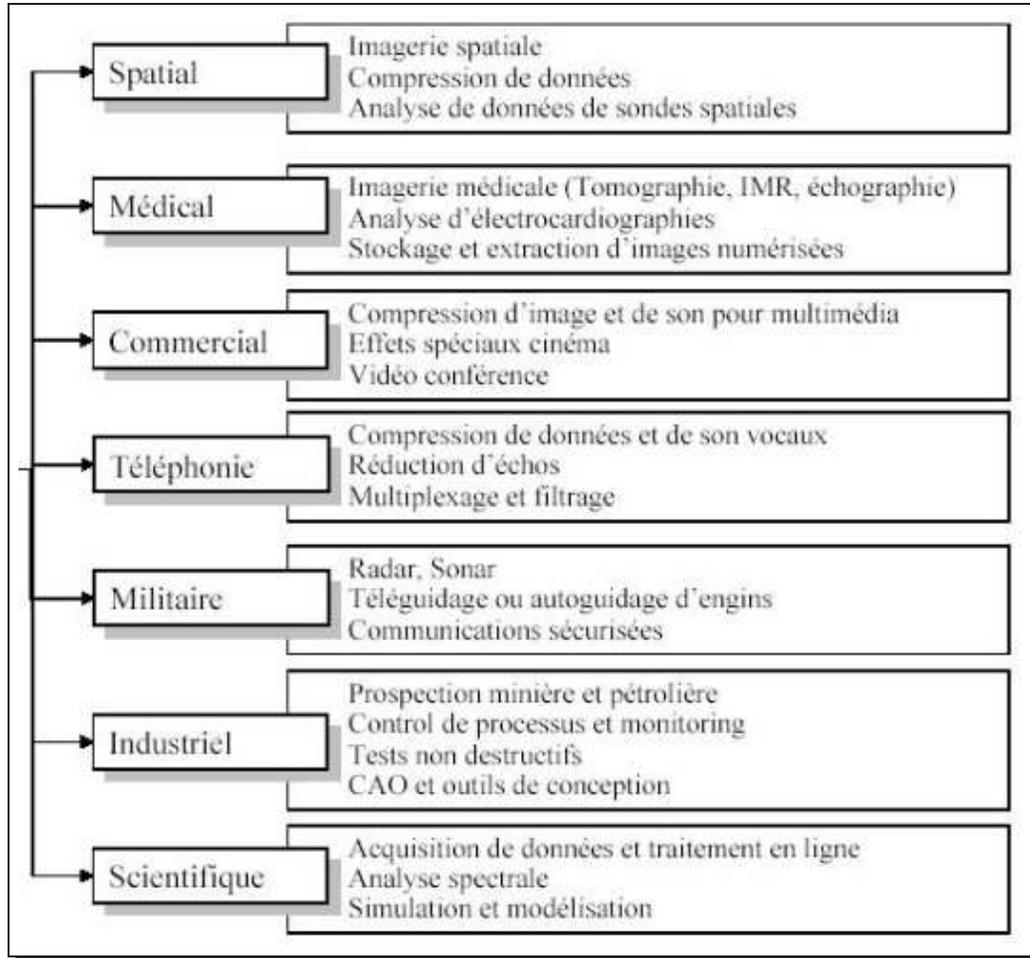
Parallèlement, est apparu les DSP, des processeurs dédiés aux traitement du son de la parole ou la musique

# INTRODUCTION

## APPLICATION DU TRAITEMENT DU SIGNAL

### Application du Traitement du Signal

Quelques unes des **indénombrables** applications du TS

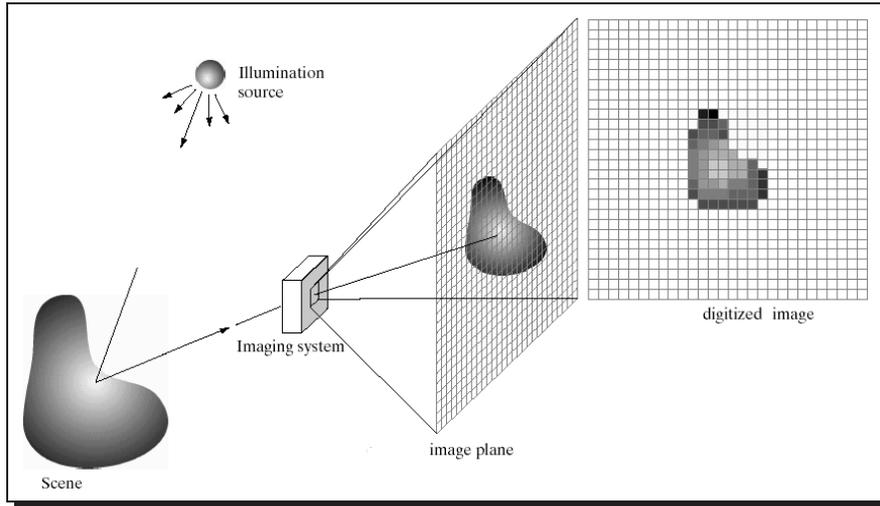


...

# INTRODUCTION

## L'IMAGE OU SIGNAL NUMÉRIQUE (1)

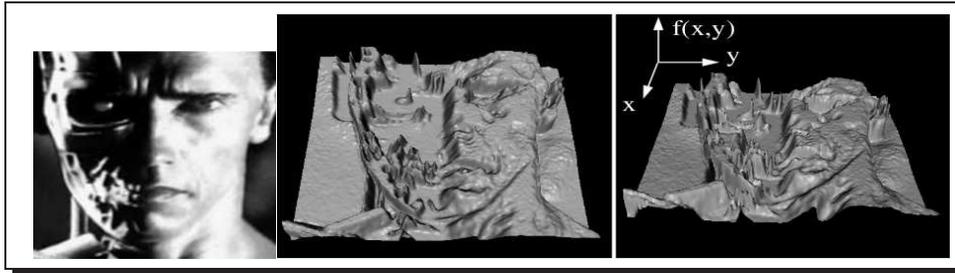
Qu'est ce qu'une image ?



### ► IMAGE : Projection 2D d'une scène 3D

On définit une image comme une fonction  $f(x, y)$  de cette projection dans laquelle chaque  $f(x, y)$  représente l'intensité de la lumière en  $(x, y)$  ou plus précisément

$$f(x, y) = \text{reflectance}(x, y) \times \text{illumination}(x, y)$$



# INTRODUCTION

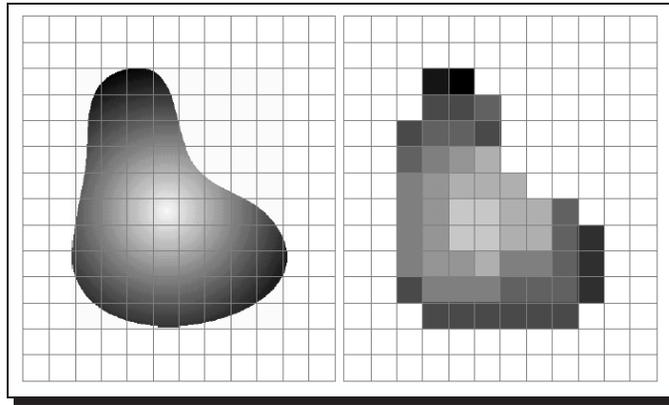
## L'IMAGE OU SIGNAL NUMÉRIQUE (2)

### Image ou Signal Numérique

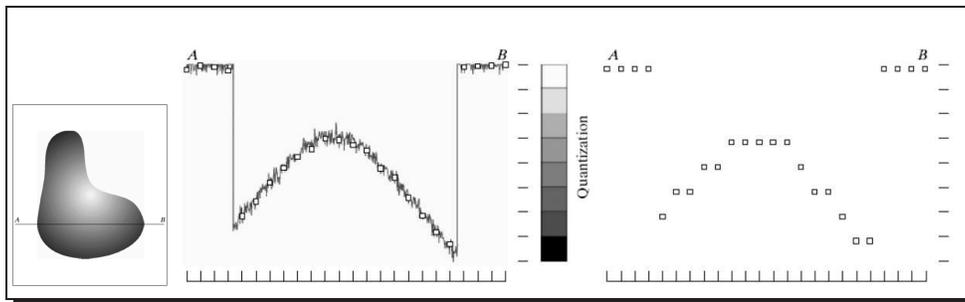
Image ou Signal pour laquelle on a effectué les deux opérations suivantes :

- 1 Échantillonnage
- 2 Quantification

#### Pour une Image



#### Pour un Signal 1D



# INTRODUCTION

## L'IMAGE OU SIGNAL NUMÉRIQUE (3)

### Image Numérique en niveau de gris



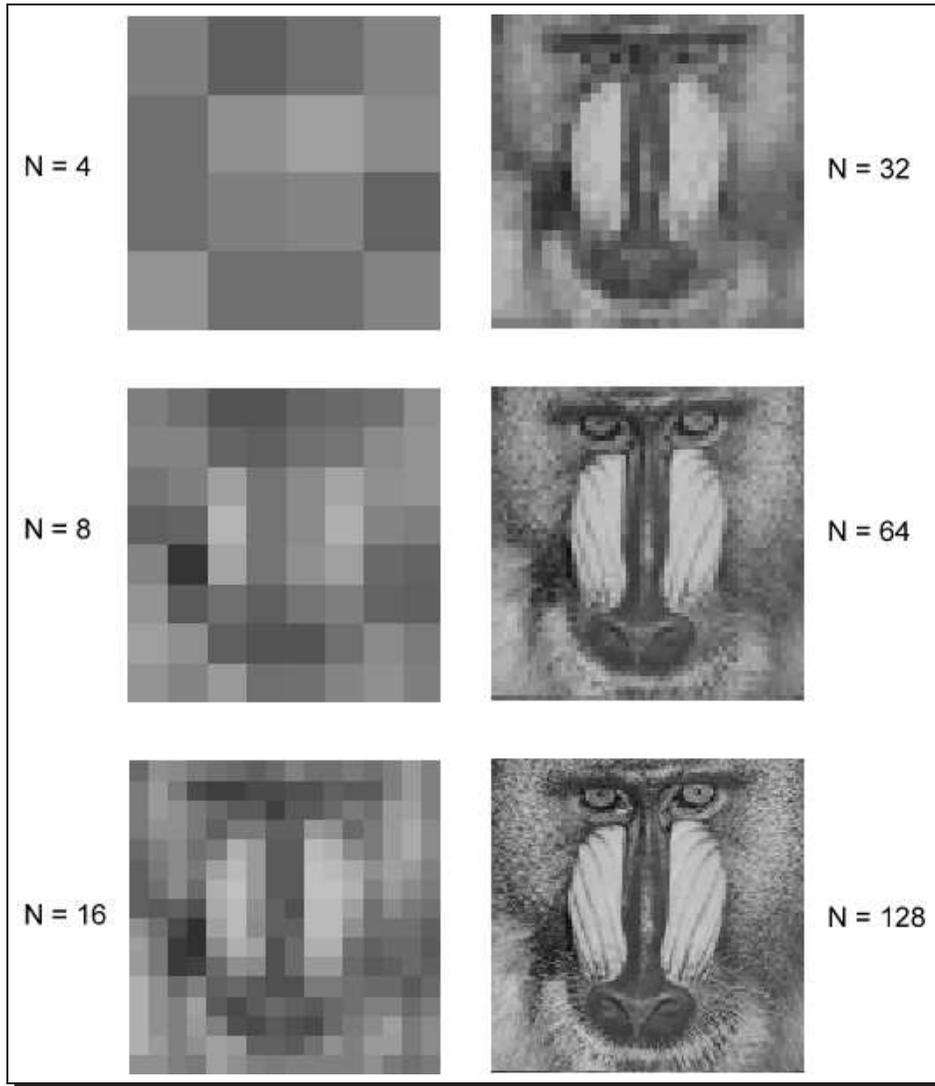
x =	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
y =															
41	210	209	204	202	197	247	143	71	64	80	84	54	54	57	58
42	206	196	203	197	195	210	207	56	63	58	53	53	61	62	51
43	201	207	192	201	198	213	156	69	65	57	55	52	53	60	50
44	216	206	211	193	202	207	208	57	69	60	55	77	49	62	61
45	221	206	211	194	196	197	220	56	63	60	55	46	97	58	106
46	209	214	224	199	194	193	204	173	64	60	59	51	62	56	48
47	204	212	213	208	191	190	191	214	60	62	66	76	51	49	55
48	214	215	215	207	208	180	172	188	69	72	55	49	56	52	56
49	209	205	214	205	204	196	187	196	86	62	66	87	57	60	48
50	208	209	205	203	202	186	174	185	149	71	63	55	55	45	56
51	207	210	211	199	217	194	183	177	209	90	62	64	52	93	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	196	122	63	58	64	66
55	205	210	202	203	199	197	196	181	173	186	105	62	57	64	63

Tableau 2D où la valeur de chaque élément (pixel) représente l'intensité discrète de la lumière au point  $(x, y)$  (0 : noir, 255 : blanc pour un codage des niveaux de gris sur 8 bits)

# INTRODUCTION

## ÉCHANTILLONNAGE & QUANTIFICATION (1)

### 1 Échantillonnage & Aliasing



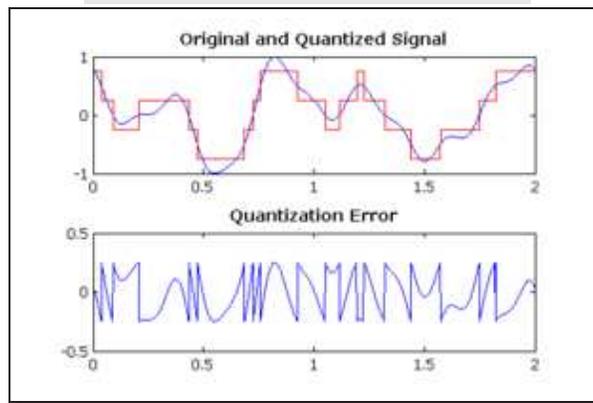
Une résolution trop faible peut causer de l'aliasing

# INTRODUCTION

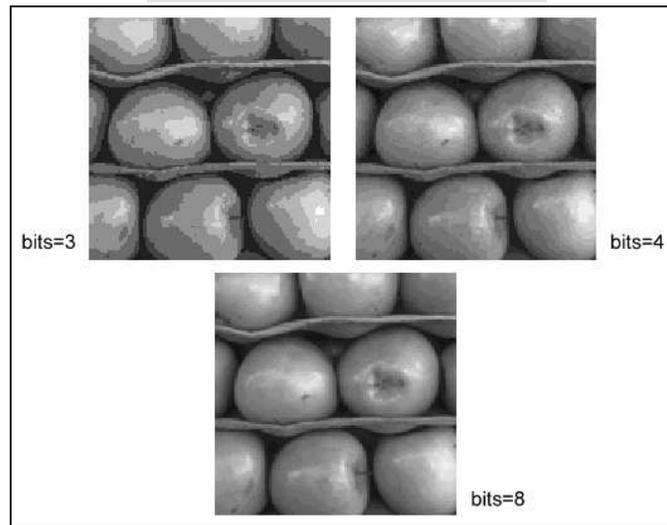
## ÉCHANTILLONNAGE & QUANTIFICATION (2)

### 2 Quantification & Bruit de Quantification

#### Pour un Signal 1D



#### Pour une Image

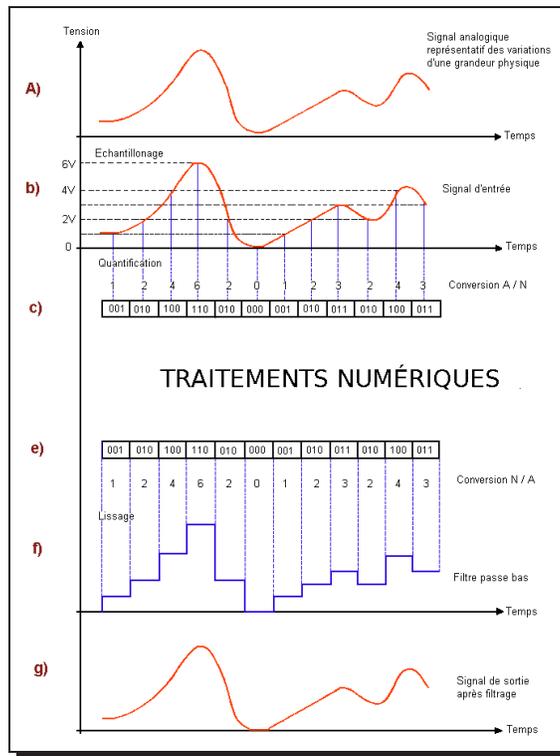
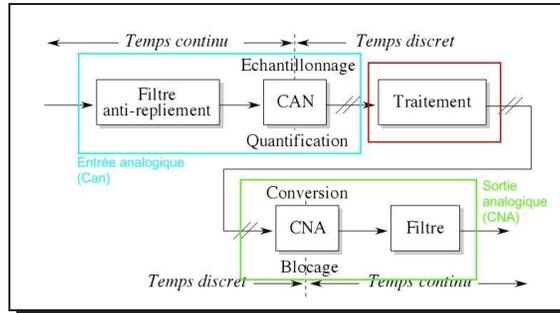


Une quantification trop faible peut causer du bruit de quantification

# INTRODUCTION

## ÉCHANTILLONNAGE & QUANTIFICATION (3)

En traitement du signal, l'opérateur qui réalise cette numérisation est le **convertisseur analogique-numérique** (Convertisseur A/N) associé au **filtre anti-repliement**

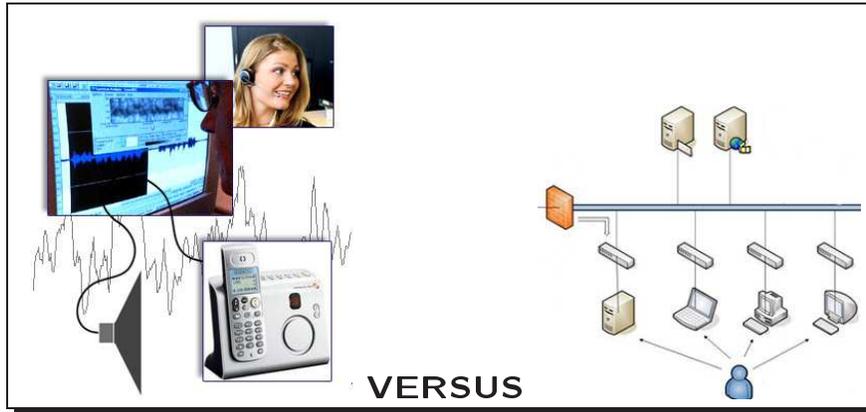


# INTRODUCTION

## SYSTÈME DE TRAITEMENT DU SIGNAL (1)

### Système Temps Réel Versus Temps Différé

Un système de traitement de signal (TS) est temps réel lorsque celui-ci est capable de traiter (numériquement) le signal (approx.) au fur et à mesure de son acquisition



### Nota

- ▶ Le prototypage ou la recherche est généralement fait en temps différé
- ▶ Certain système de TS n'ont d'utilité que si ils sont temps-réel
- ▶ Temps réel lorsque le nb. d'échantillons du signal est très grand
- ▶ Techniques et Outils différents en TS
- ▶ On utilise souvent le logiciel pour le traitement différé et le hardware pour le temps réel (DSP)
- ▶ Un syst. embarqué est généralement tps-réel
- ▶ ...

# INTRODUCTION

## SYSTÈME DE TRAITEMENT DU SIGNAL (2)

### Avantage du Traitement Numérique

En comparaison du traitement analogique, le traitement numérique présente un certain nombre d'avantages

- **Nouveaux filtres** -on peut réaliser des traitements qui n'ont pas d'équivalent analogique
- **Reprogrammation** -avec un même matériel on passe facilement d'un filtre à un autre en changeant l'algo.
- **Répétitivité** -versus- une dispersion sur la fréquence des coupures des filtres analogiques
- **Stabilité** -pas de vieillissement des composants et leur réponse ne varie pas avec la température
- **Simplicité** -de nb. applications se réalisent plus facilement en numérique qu'avec les syst. analogiques
- **Adaptation** -le syst. peut lui-même s'adapter en fonction de l'environnement ou du signal d'entrée
- **Mémorisation** -la facilité de mettre un signal en mémoire permet de réaliser des retards (variété de filtres/trait. itératifs par raffinements succ.)

### Quelques limites :

- **Erreurs numériques** -erreurs d'échantillonnage insuffisant ou de quantification possibles (possible amplification et propagation de ces erreurs)
- **Plus gourmand** en ressources matérielles et plus lent

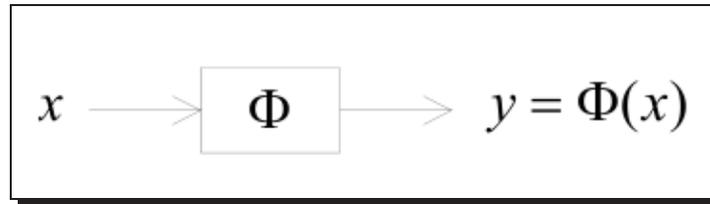
**Cependant les progrès de l'électronique numérique diminuent de plus en plus l'impact de ces défauts**

# INTRODUCTION

## SYSTÈME DE TRAITEMENT DU SIGNAL (3)

### Systemes

Un système est une *entité* possédant une (ou plusieurs) entrées et éventuellement une (ou plusieurs) sorties



L'étude d'un système consiste à rechercher un modèle mathématique du syst., c-a-d ses relations d'entrée-sortie

Ces relations peuvent être des éq. différentielles ou des eq. aux différences (*système dynamique*), algorithmique (cas de la TFD ou la TZ), économiques, descriptives (de type "si ... alors ... " ), etc.

### Systemes Linéaires et Invariant dans le Temps

**Linéarité** : Modèle mathématique régi par le principe de superposition

$$y = \Phi(ax_1 + bx_2) = a\Phi(x_1) + b\Phi(x_2)$$

et l'**Invariance dans le Temps**

$$y(t - \tau) = \Phi\{x(t - \tau)\}$$

Tous les systèmes que l'on va utiliser dans ce cours (exemple : filtrage) ou les outils utilisés (TFD, TZ, etc.) auront cette propriété et celle-ci est à la base du principe du traitement du signal

# INTRODUCTION

## SYSTÈME DE TRAITEMENT DU SIGNAL (4)

### Pourquoi ?

Dans un système LIT (Linéaire & Invar. dans le Tps), la réponse à une sinusoïde de fréquence pure  $x(t)$  sera une sinusoïde de même fréquence  $y(t) = kx(t)$

### Mais

D'amplitude et de phase différente caractérisée par la réponse en fréquence du système

Si on sait décomposer une excitation (ou un signal) en une somme de fonctions simples, il sera possible de calculer la réponse correspondante en additionnant des réponses individuelles calculables explicitement

Cette décomposition (rendu possible grâce à J. Fourier) va faciliter l'étude des systèmes répondant au principe de superposition