

# Signaux et Systèmes MT

## Chapitre 1

## Introduction

Michael Unser, LIB/STI

*Septembre 2025*

## LEÇON D'INTRODUCTION

---

- **But du cours**
- **Tour d'horizon rapide**
  - 1.1 Notions de signal et de système
  - 1.2 Systèmes de communication
  - 1.3 Exemples de traitement du signal
  - 1.4 Exemples de micro-systèmes
- **Contenu du cours**
- **Exercices et travaux pratiques**

## But du cours

---

- Caractérisation des différents types de **signaux**, continus et discrets, analogiques et numériques
- Modélisation des **systèmes** de traitement du signal, utilisés en instrumentation et pour les télécommunications
- Acquisition des bases pour consulter la littérature spécialisée
- Connaissances de base pour concevoir et réaliser de nouveaux micro-systèmes
- Préparation à l'imagerie et au traitement d'images

## Outils de base

---

- **Théorie des systèmes linéaires**
  - Opérateurs linéaires, produit scalaire (rudiments d'analyse fonctionnelle et Hilbertienne)
  - Opérateurs de convolution (filtres)
  - Equations différentielles ordinaires
- **Transformation de Fourier**
  - Représentation des signaux; modélisation/caractérisation des systèmes linéaires invariant dans le temps (e.g. réponse fréquentielle)
  - Techniques de calcul et de résolution dans le domaine de Fourier
  - Utilisation rationnelle et efficace; représentation graphique
  - Implémentation numérique
- **Transformation en z**
  - Signaux et systèmes discrets

# TOUR D'HORIZON RAPIDE

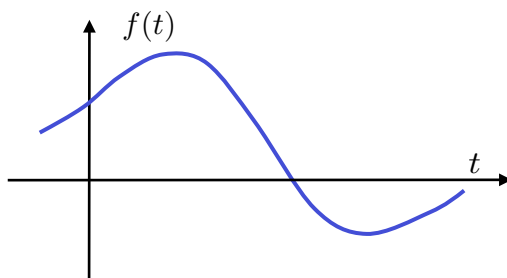
---

- 1.1 Notions de signal et de système
- 1.2 Systèmes de communication
- 1.3 Exemples de traitement du signal
- 1.4 Exemples de micro-systèmes

## Notion de signal

---

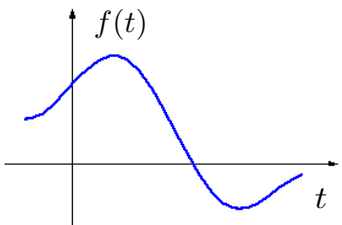
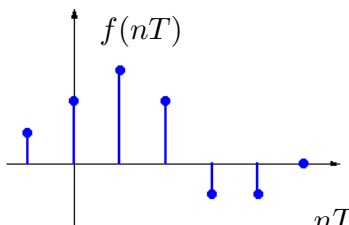
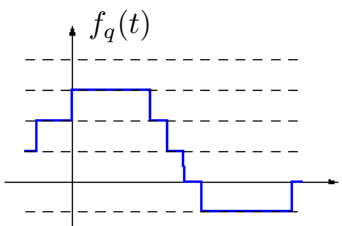
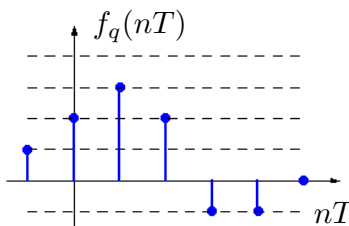
- Signal: support de l'information
- Représentation mathématique: fonction du *temps*



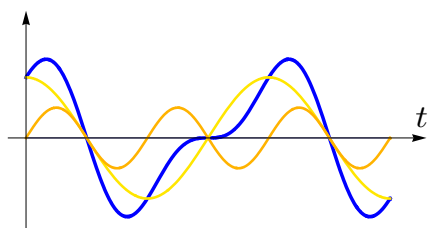
- Exemple: Signaux acoustiques
  - Voix, musique, bruit

*Support physique:*  
ondes de pression

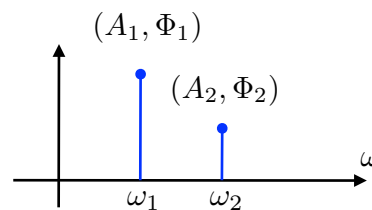
# Classification des signaux

		Temps	
		SIGNAUX CONTINUS	SIGNAUX DISCRETS
Amplitude	SIGNAUX NON-QUANTIFIES	 <p>Analogiques</p>	 <p>Discrets</p>
	SIGNAUX QUANTIFIES	 <p>Analogiques quantifiés</p>	 <p>Discrets numériques</p>

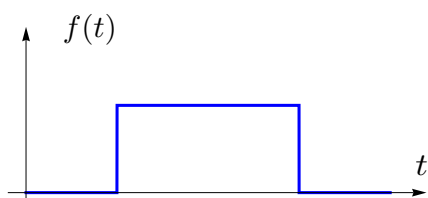
# Notion de spectre



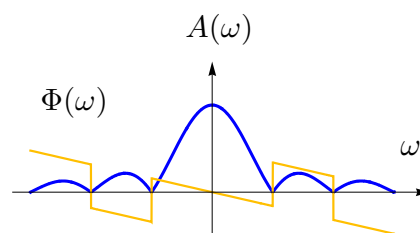
Somme de signaux sinusoïdaux



Spectre discret (raies)



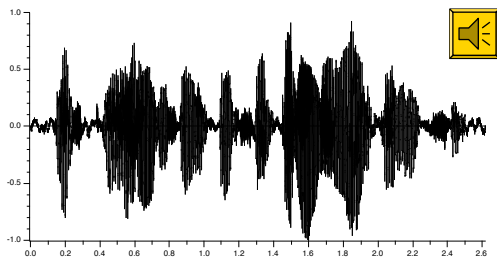
Signal à durée finie



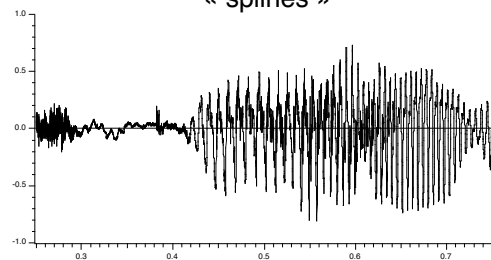
Densité spectrale

# Signal de la parole

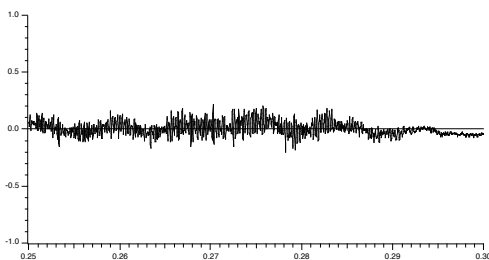
« Les splines sont des fonctions polynomiales par morceaux »



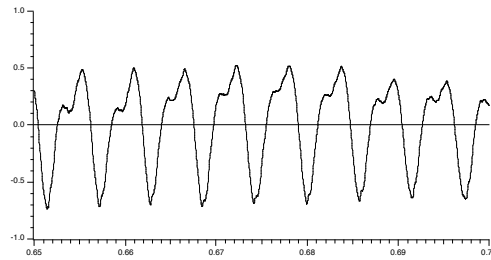
« splines »



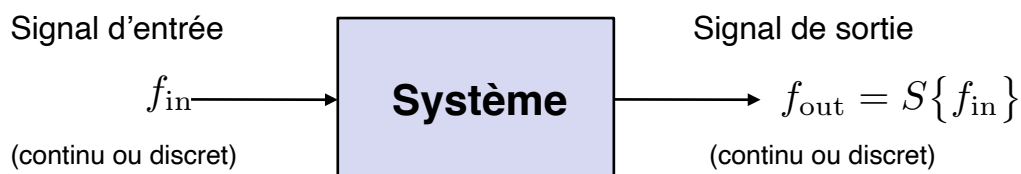
Son non-voisé: « sss »



Son voisé: « iii »

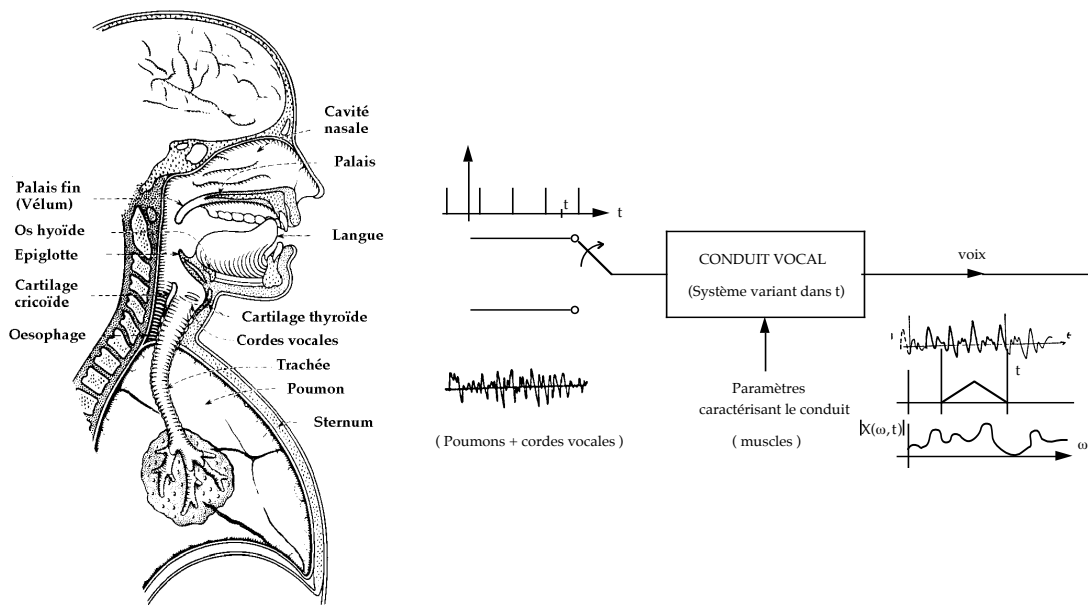


# Notion de système



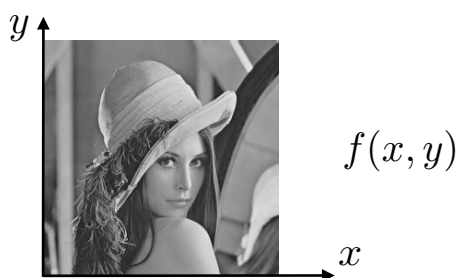
- Canal de transmission (analogique)
  - Equations différentielles à constantes localisées
  - Phénomènes d'atténuation et de dispersion
- Système de traitement
  - Filtre analogique (circuit RLC)
  - Filtre numérique (algorithme Matlab ou DSP)
  - Système hybride

# Modélisation du conduit vocal

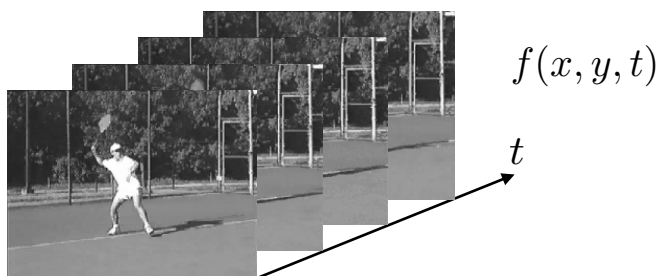


# Signaux multidimensionnels

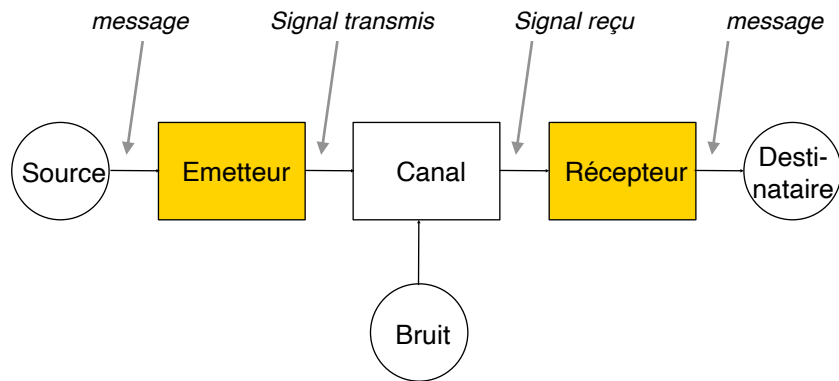
## ■ Signaux visuels (photo, film, vidéo)



Support physique: ondes électromagnétiques modulées en intensité



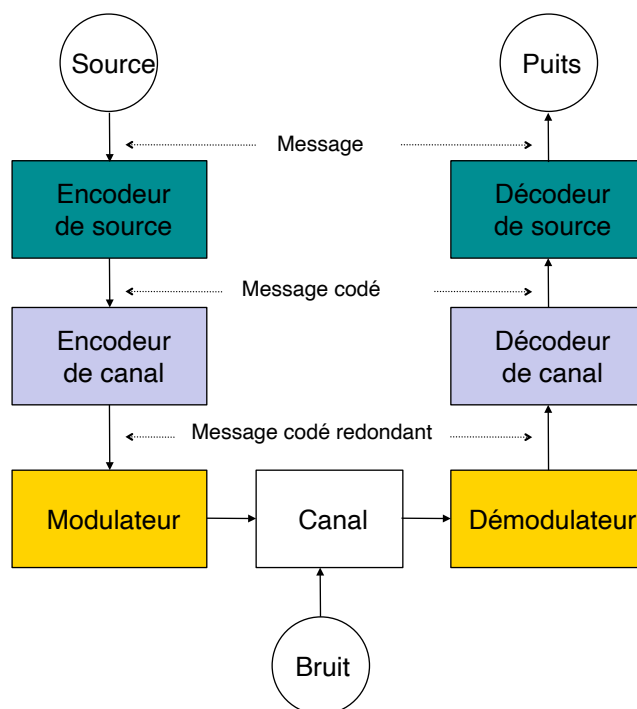
## 1.2 SYSTÈMES DE COMMUNICATION

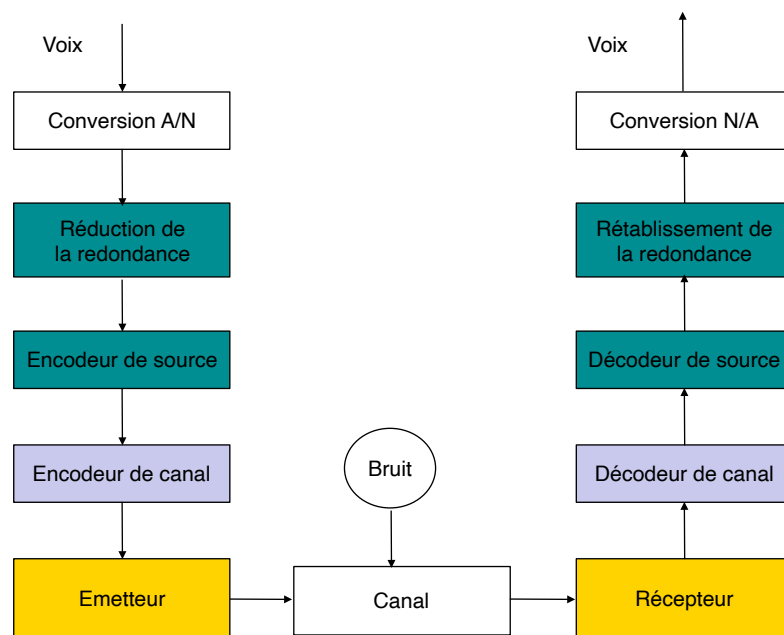


- Canal de transmission
  - Air, vide, eau
  - Ligne ou câble téléphonique
  - Fibre optique
- Types de distorsions
  - Bruit
  - Atténuation
  - Dispersion

### Système de communications numériques

Source discrète — séquence de caractères



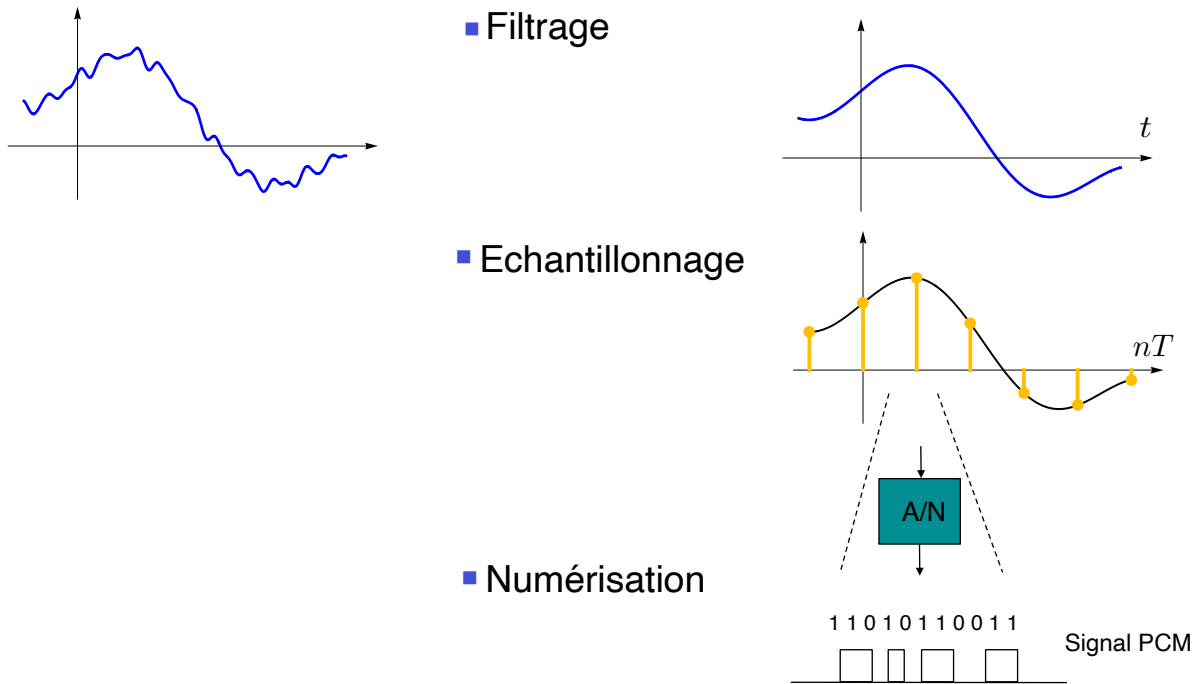


## 1.3 EXEMPLES DE TRAITEMENT DU SIGNAL

- Conversion A/N: modulation PCM
- Modulation impulsionnelle d'amplitude
- Modulation fréquentielle d'amplitude
- Prothèse auditive
- Compression d'images

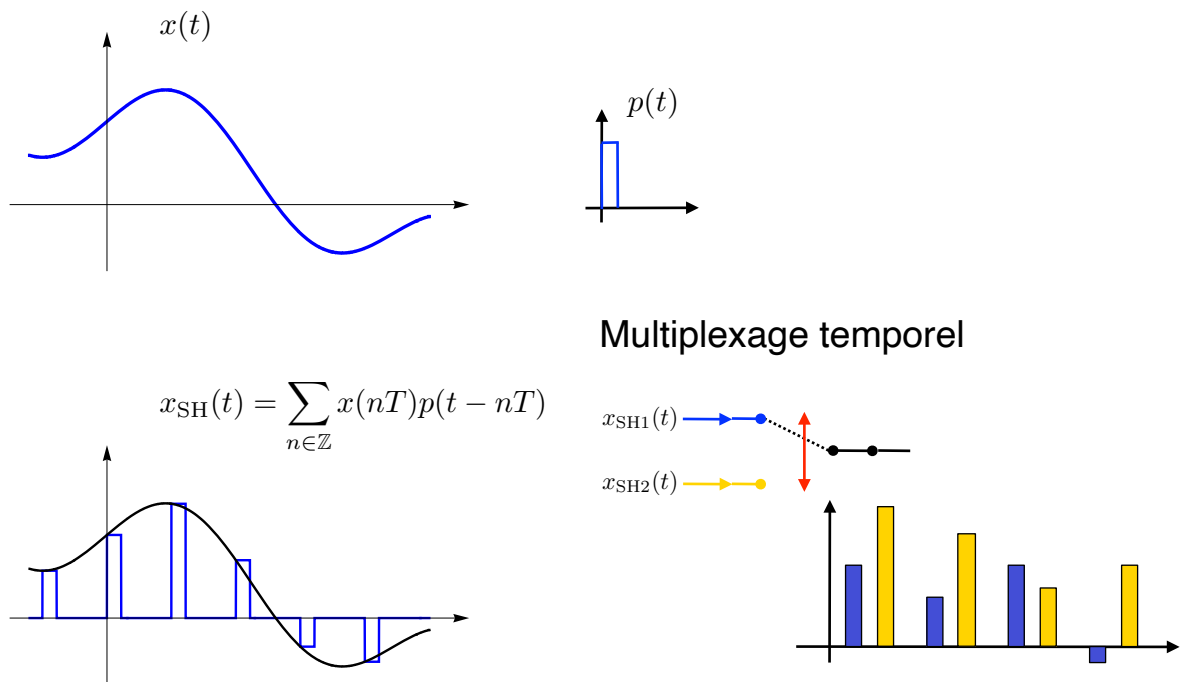
# Exemple de traitement du signal

Conversion A/N: modulation PCM (pulse-coded modulation)



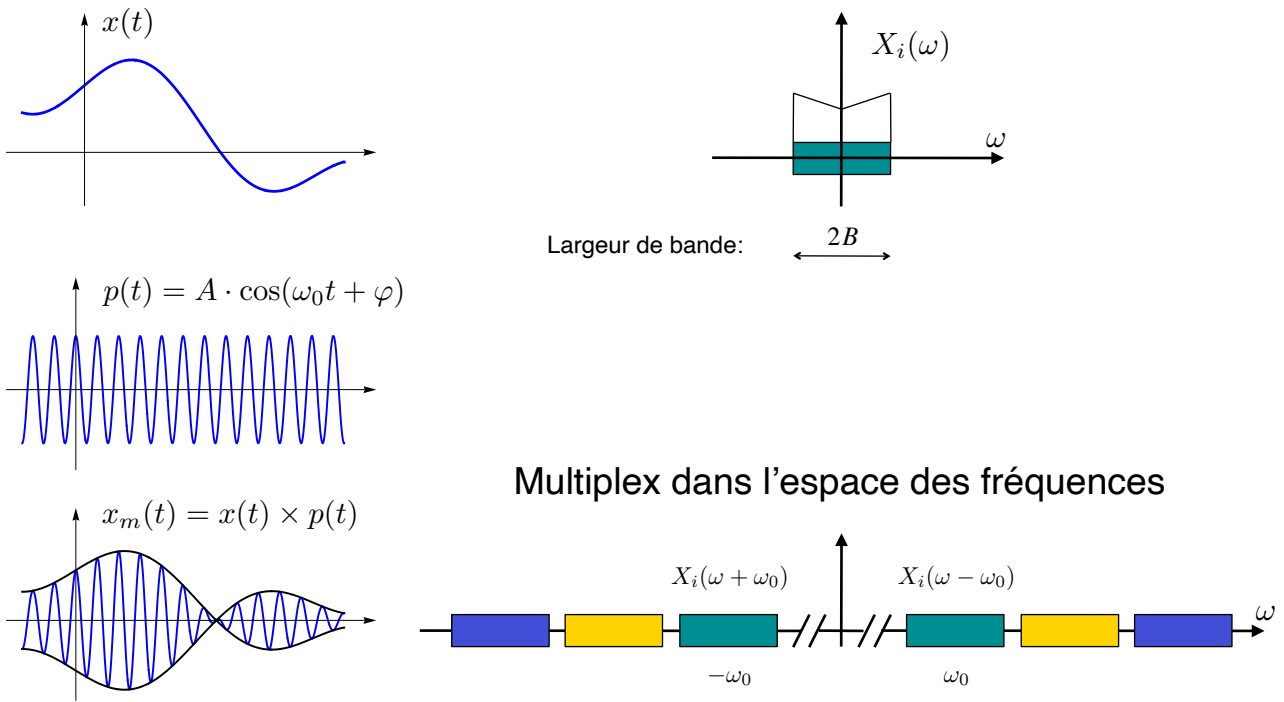
# Exemple de traitement du signal analogique

Modulation impulsionnelle d'amplitude « Sample-and-hold »



# Exemple de traitement du signal analogique

Modulation continue d'amplitude avec double bande latérale



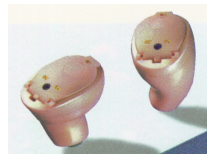
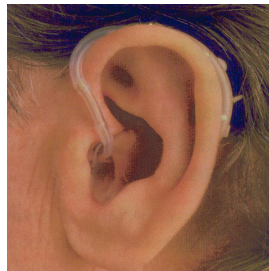
Unser / Signaux & Systèmes

1-19

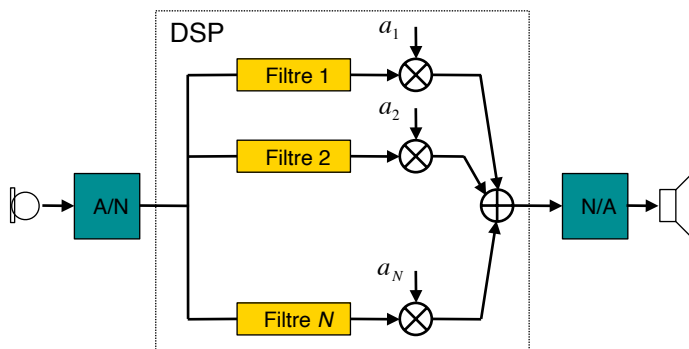
# Prothèse auditive digitale



Prothèses auditives "derrière l'oreille"



Prothèses auditives "dans le canal"

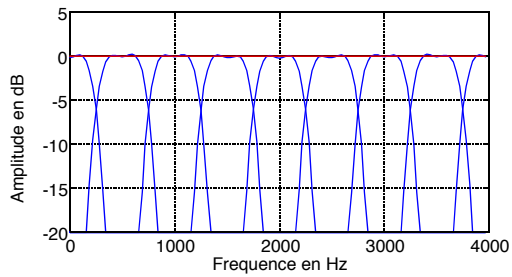


Unser / Signaux & Systèmes SV

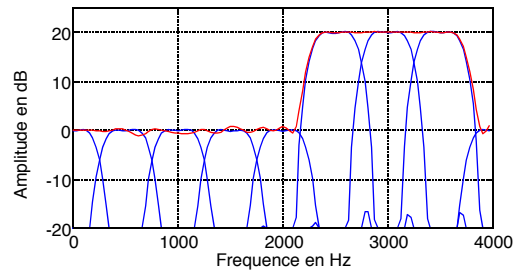
1-20

# Exemples de corrections

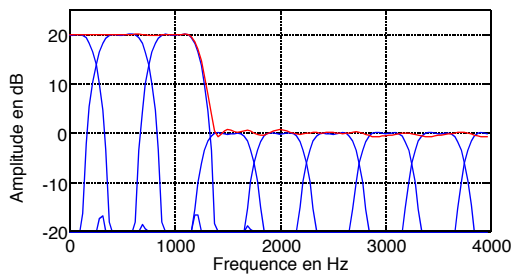
## ■ Passe-tout



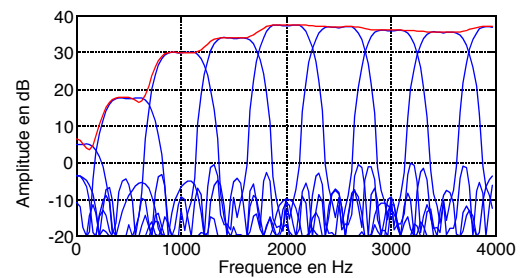
## ■ Passe-haut



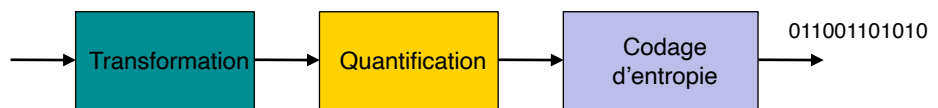
## ■ Passe-bas



## ■ Prescription

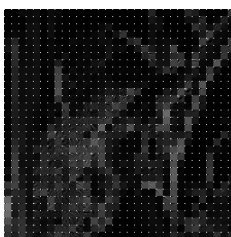


# Traitement d'images: compression

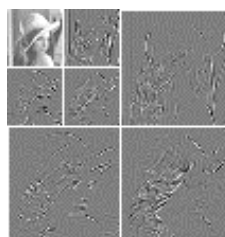


## ■ Transformation d'images

JPEG 8x8 DCT



JPEG2000: Ondelettes



# Compression JPEG

---



Image originale: 256\*256 pixels, 8 bits  
Taille du fichier (TIFF) : 85604 bytes



Facteur de qualité JPEG: 20  
Taux de compression: 10



Facteur de qualité JPEG: 5  
Taux de compression: 22



Facteur de qualité JPEG: 0  
Taux de compression: 27

## 1.4 EXEMPLES DE MICRO-SYSTEMES

---

- Traitement du signal audio
- Communications
- Instrumentation et mesure
- Electronique médicale
- Traitement d'images

# Micro-systèmes

## ■ Traitement du signal audio

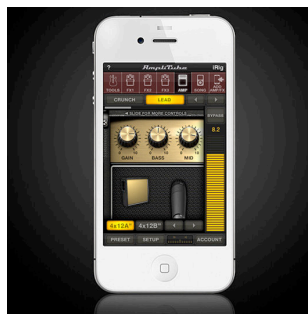
- Filtrage
- Compression
- Effets spéciaux
- Son « surround »



Baladeurs mp3



Guitar processor



Unser / Signaux & Systèmes



Logiciels pour l'écoute et l'enregistrement

1-25

# Micro-systèmes

## ■ Communications

- Modulation, démodulation
- Détection, égalisation
- Compression
- Cryptographie



Bluetooth

Wifi card



Téléphones portables



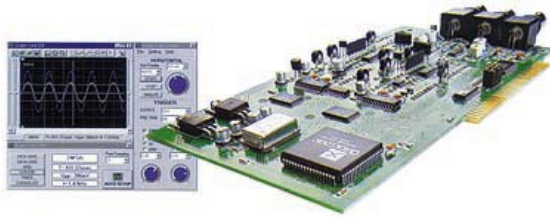
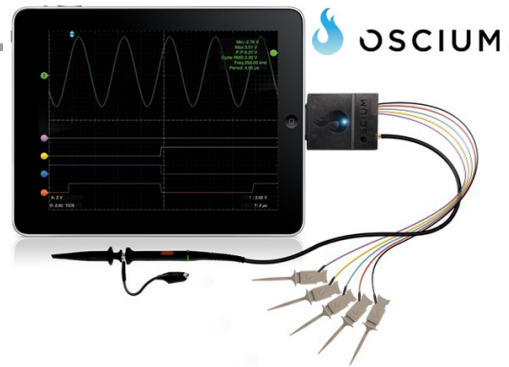
Montres GPS et caméra

Unser / Signaux & Systèmes

1-26

# Micro-systèmes

- Instrumentation et mesure
  - Filtrage
  - Analyse spectrale (FFT)
  - Synthèse de signaux



Oscilloscope numérique



Séismographe

# Micro-systèmes

- Electronique médicale
  - Filtrage
  - Analyse spectrale (FFT)
  - Détection



Moniteur de stress



Echographie fœtale



Prothèse auditive

# Micro-systèmes

---

- Traitement d'images; photographie numérique
  - Filtrage
  - Compression
  - Reconnaissance des formes
  - Analyse et traitement de l'information



Caméras numériques

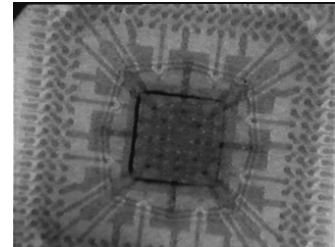


Image originale

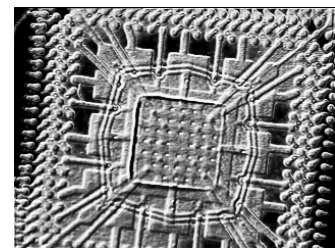


Image traitée

## Contenu du cours: semestre d'hiver

---

- Systèmes analogiques linéaires
- Analyse de Fourier appliquée à la représentation des signaux et aux opérations fondamentales de traitement
- Echantillonnage des signaux analogiques
- Techniques de modulation
- Analyse et synthèse des filtres analogiques

## Contenu du cours: semestre d'été

---

- Signaux discrets et numériques; transformée en  $z$
- Systèmes discrets linéaires; filtres numériques
- Transformée de Fourier discrète; algorithmes rapides (FFT et convolution)
- Compression du signal; codage de source
- Notions de codage de canal
- Processus stationnaires; détection de signaux dans du bruit

## Signaux & Systèmes: travail personnel

---

- Exercices
  - But des exercices
  - Organisation
  - Corrigés
- Travaux pratiques
  - Projets de semestres (7e ou 8e semestre)
  - Projet de master

## Signaux & Systèmes: examens

---

- Midterm
  - Cf. Moodle pour la date, le lieu et l'horaire
  - Optionnel (0% ou 20% de la note finale)
  - Uniquement questions ouvertes
  - Durée et contenu à déterminer (cf. Moodle)
- Examen final
  - Session d'examens
  - 80% ou 100% de la note finale
  - 3h, uniquement questions ouvertes
- Note finale
  - $\text{Max}\{\text{note\_final}, 0.8*\text{note\_final} + 0.2*\text{note\_midterm}\}$

## 1.5 BIBLIOGRAPHIE

---

- Ouvrage conseillé
  - B.P. Lathi, *Signal Processing and Linear Systems*, Oxford University Press, UK, 1998.
- Autres
  - E.W. Kamen, B.S. Heck, *Fundamentals of Signals and Systems*, Prentice-Hall, 1999.
  - B.P. Lathi, *Modern Digital and Analog Communication Systems*, 3rd Edition, Oxford University Press, 1998.