

Signaux et Systèmes SV

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 Exemples de traitement du signal
 - 1.3 Applications dans la vie quotidienne
 - 1.4 Applications en Sciences de la Vie
- Contenu du cours
- Exercices et travaux pratiques

But du cours

- Caractérisation des différents types de **signaux**, continus et discrets
- Maîtrise et pratique des outils mathématiques de l'analyse de Fourier
- Caractérisation des **systèmes linéaires** continus et discrets; modélisation et traitement du signal
- Acquisition des bases pour consulter la littérature spécialisée
- Connaissances de base pour concevoir et réaliser des systèmes simples de traitement du signal
- Préparation à l'imagerie et au traitement d'images

Outils de base

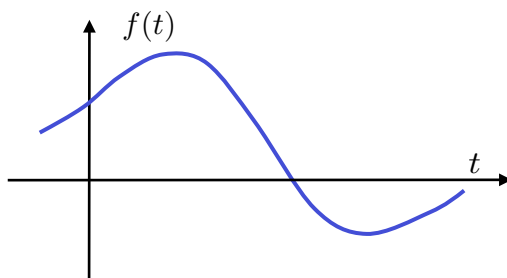
- **Théorie des systèmes linéaires**
 - Opérateurs linéaires, produit scalaire (rudiments d'analyse fonctionnelle et Hilbertienne)
 - **Opérateurs de convolution** (filtres)
 - Equations différentielles ordinaires
- **Transformation de Fourier**
 - Représentation des signaux; modélisation/caractérisation 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 Exemples de traitement du signal
- 1.3 S&S dans la vie quotidienne
- 1.4 S&S et Sciences de la Vie

Notion de signal

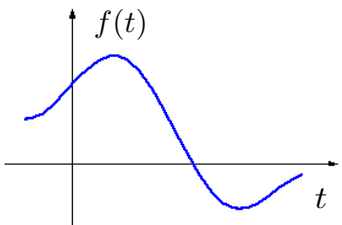
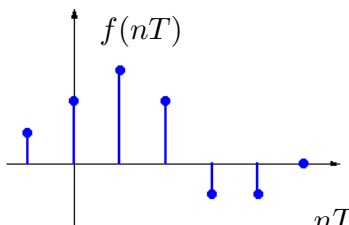
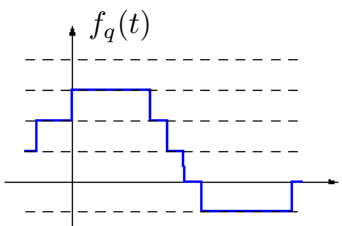
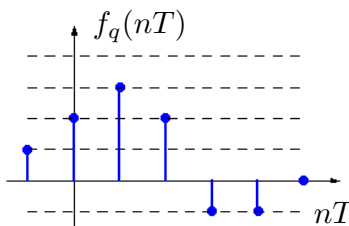
- Signal: support de l'information
- Représentation mathématique: fonction du *temps*



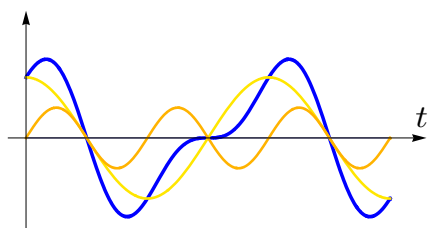
- Exemple: Signaux acoustiques
 - Voix, musique, bruit

Support physique:
ondes de pression

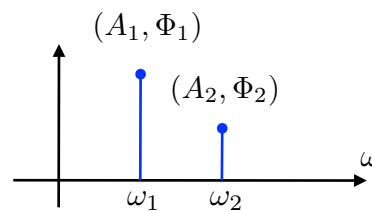
Classification des signaux

		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>

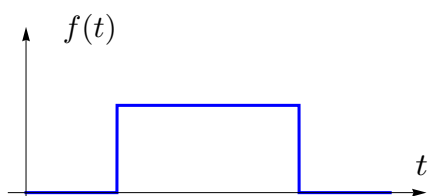
Notion de spectre



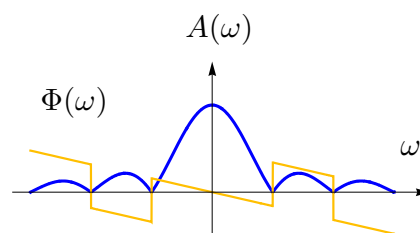
Somme de signaux sinusoïdaux



Spectre discret (raies)



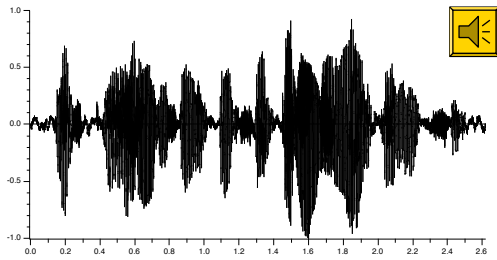
Signal à durée finie



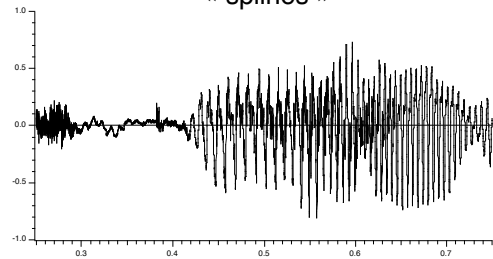
Densité spectrale

Signal de la parole

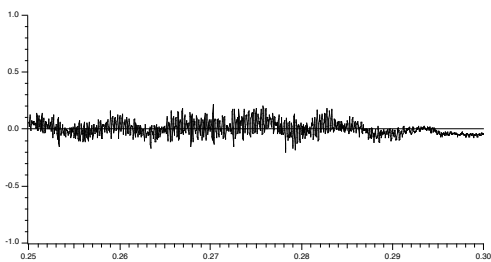
« Les splines sont des fonctions polynomiales par morceaux »



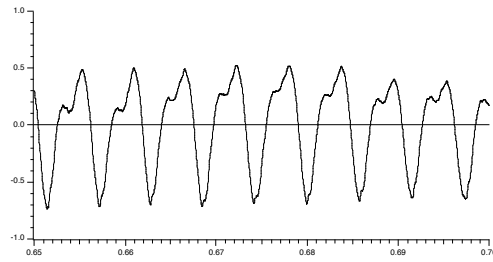
« splines »



Son non-voisé: « sss »



Son voisé: « iii »

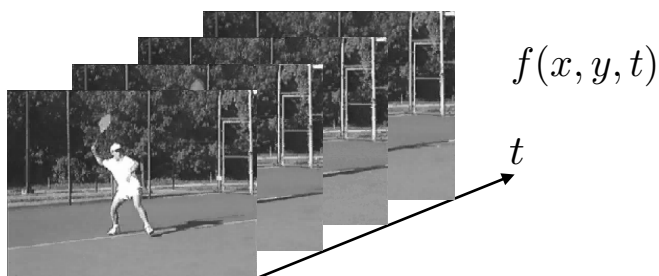


Signaux multidimensionnels

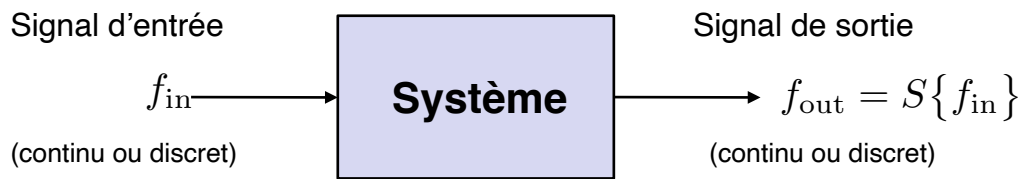
■ Signaux visuels (photo, film, vidéo)



Support physique: ondes électromagnétiques modulées en intensité



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

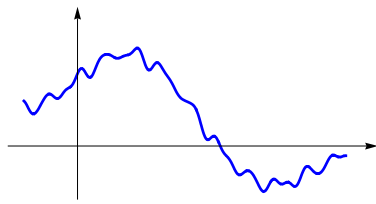
⇔ Système convolutif: $f_{out} = h * f_{in}$

1.2 EXEMPLES DE TRAITEMENT DU SIGNAL

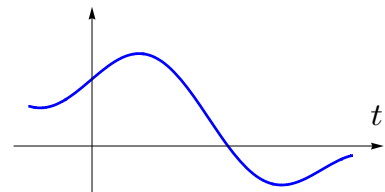
- Conversion A/N: modulation PCM
- Prothèse auditive
- Compression d'images

Exemple de traitement du signal

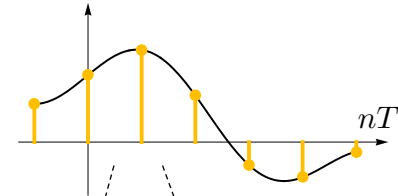
Conversion A/N: modulation PCM (pulse-coded modulation)



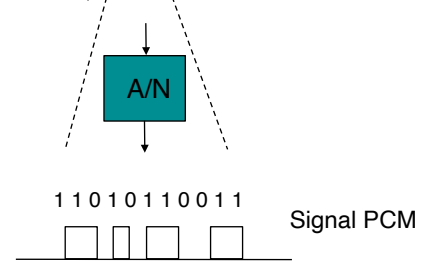
■ Filtrage



■ Echantillonnage



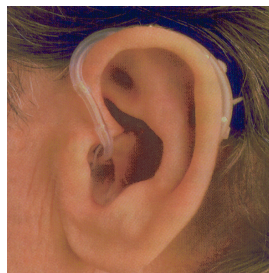
■ Numérisation



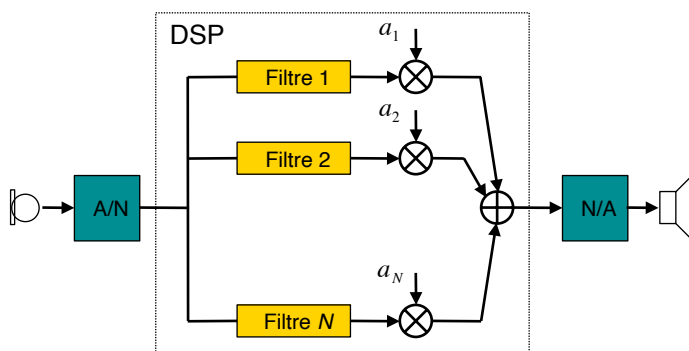
Prothèse auditive digitale



Prothèses auditives "derrière l'oreille"

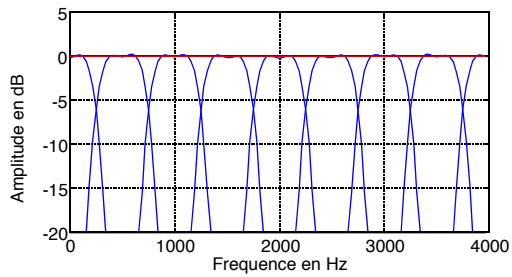


Prothèses auditives "dans le canal"

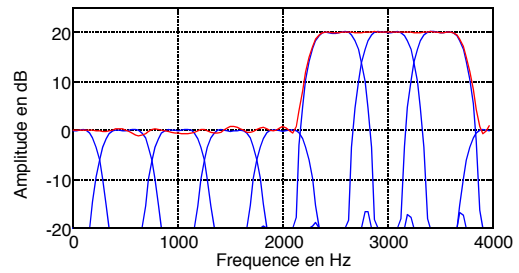


Exemples de corrections

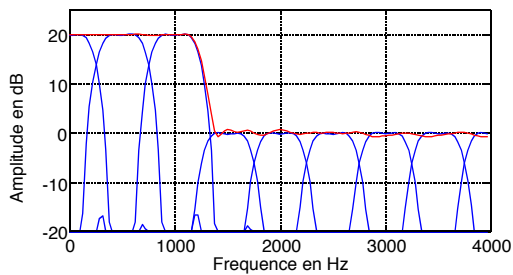
■ Passe-tout



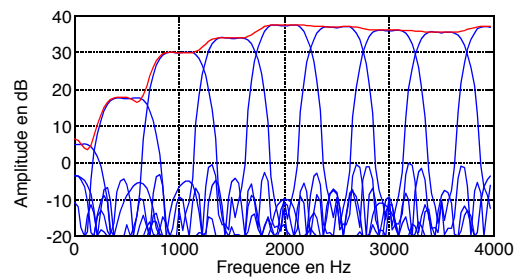
■ Passe-haut



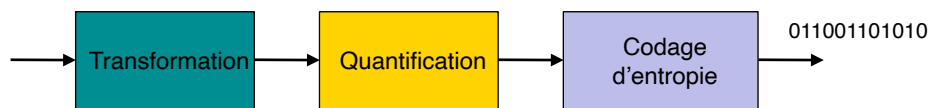
■ Passe-bas



■ Prescription

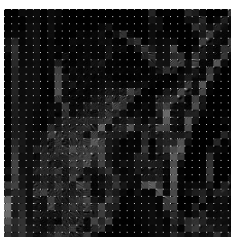


Traitement d'images: compression

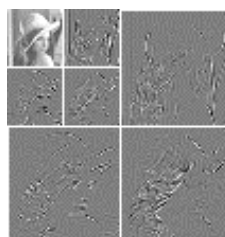


■ Transformation d'images

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



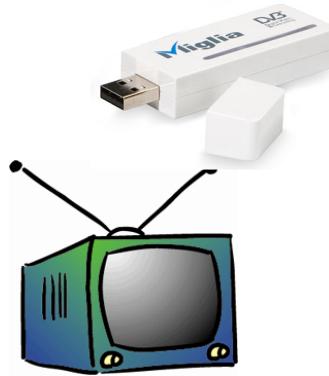
Facteur de qualité JPEG: 0
Taux de compression: 27

1.3 S&S DANS LA VIE QUOTIDIENNE

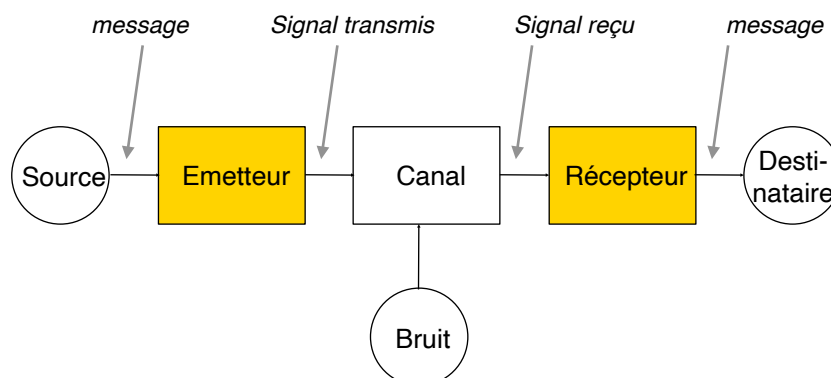
- Communications
 - Sources numériques: signaux discrets, données
 - Sources analogiques: voix
- Multi-médias
- Les micro-systèmes évolués

Communications

- Téléphonie: réseau fixe ou sans fils
- Web
- Télévision: analogique ou numérique
- Radiophonie
- GPS



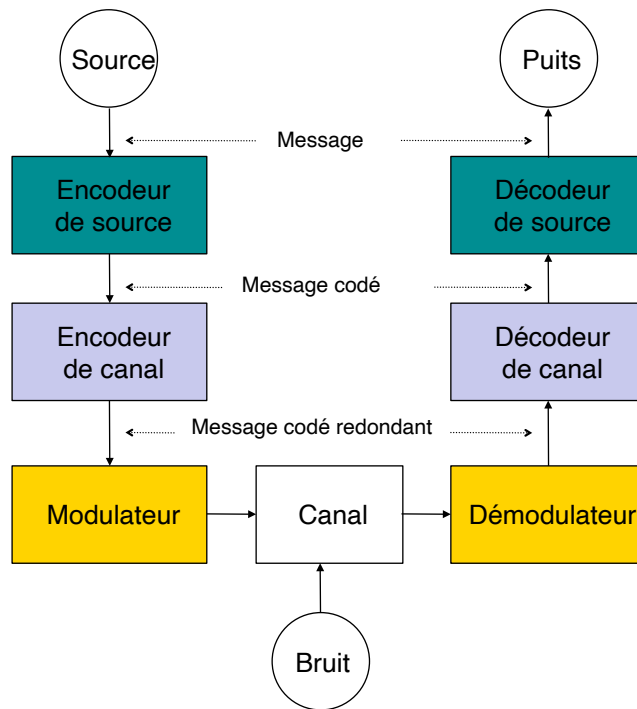
Structure d'un système de communications



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

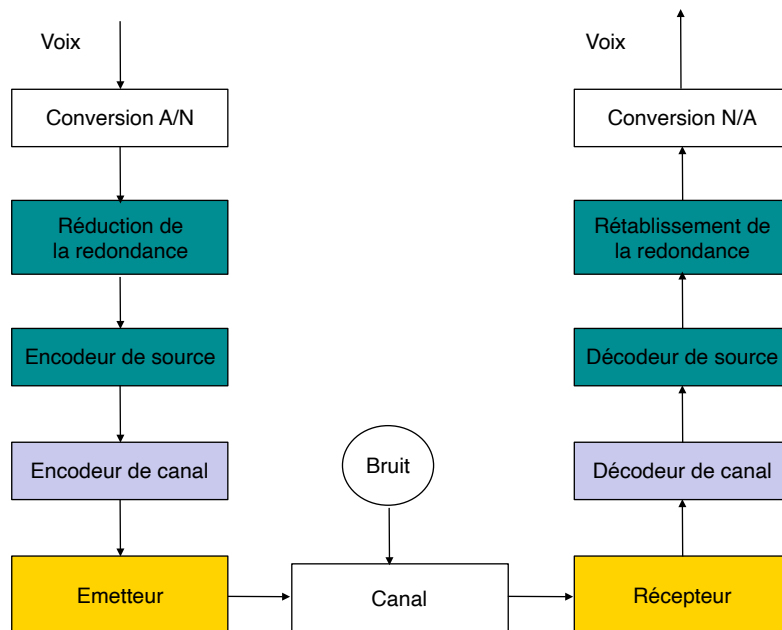
Système de communications numériques

Source discrète — transmission de données (ex. le WEB)



Système de communications numériques

Source continue — Voix (ex. téléphonie)



eLife ou le nouvel univers multi-média

- Photographie numérique: jpeg
- Musique: CD, mp3
- Studio d'enregistrement numérique
- Films: DVD, mpeg
- Vidéo numérique: mpeg
- Web
- Télévision numérique (sur demande)



Unser / Signaux & Systèmes SV

1-23

Micro-systèmes traiteurs d'information

- Aspects techniques
 - Modulation, démodulation
 - Détection, égalisation
 - Compression
 - Cryptographie
 - Traitement du signal



Baladeurs mp3



Téléphones portables



Montre 3ème génération

Unser / Signaux & Systèmes SV

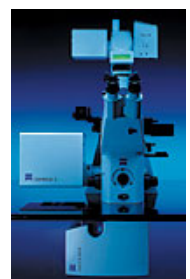
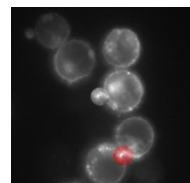
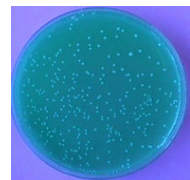
1-24

1.4 S&S ET SCIENCES DE LA VIE

- Théorie des systèmes et modélisation
- Electronique médicale
- Imagerie médicale
- Microscopie et bioimagerie
- Génomique et protéomique
- Fourier au cœur des SV

Modélisation et théorie des systèmes

- Systèmes biologiques et équations différentielles
 - Croissance de micro-organismes (bactéries)
 - Evolution temporelle d'une grandeur physique:
 - pression, flux sanguin, concentration d'un marqueur, etc.
- Systèmes discrets: équations aux différences
 - Modèles de populations
 - Division cellulaire
 - Systèmes écologiques: prédateurs/proies
 - Epidémiologie
- Systèmes physiques convolutifs
 - Propagation d'un signal dans un canal
 - Acquisition de signaux
 - Formation et acquisition d'images
 - «Point spread function» en optique



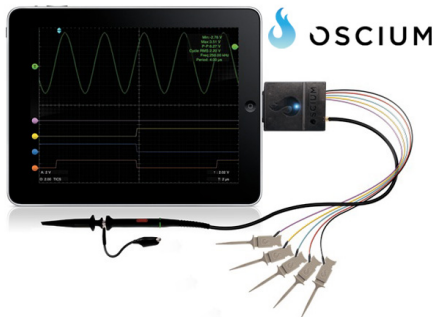
Instrumentation et mesure

■ Aspects techniques

- Echantillonnage; conversion A/N
- Filtrage
- Analyse spectrale (FFT)



Oscilloscope digital



Monitoring

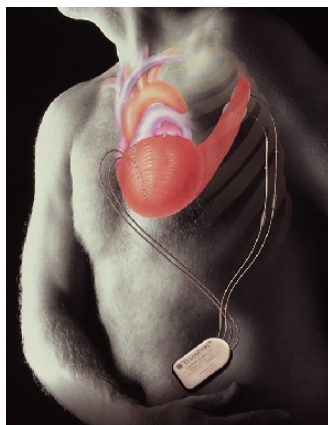


Patch clamp

Electronique médicale

■ Aspects techniques

- Filtrage
- Détection
- Analyse spectrale (FFT)



Pace maker



Moniteur de stress



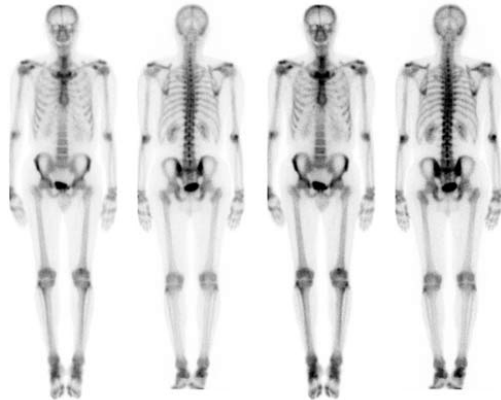
Prothèse auditive



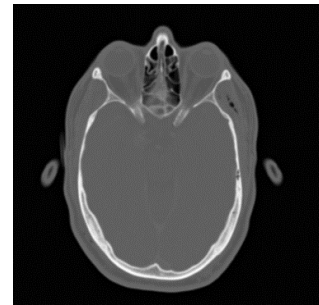
Imagerie médicale

Aspects techniques

- Reconstruction 3D
- Traitement d'images
- Analyse quantitative
- Visualisation



Médecine nucléaire



Tomographie aux rayons X

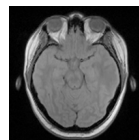


Echographie fœtale

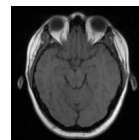
Imagerie par résonance magnétique



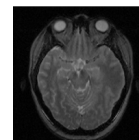
1.5 whole body scanner



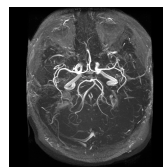
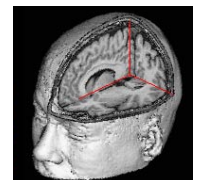
Proton density



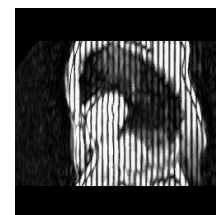
T1-weighted



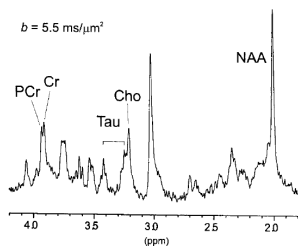
T2-weighted



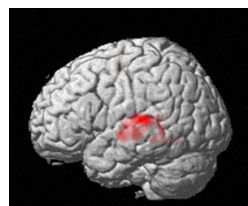
Angiography



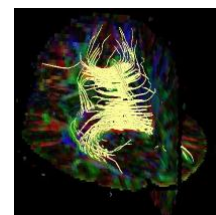
Tagged MRI



NMR spectroscopy imaging



fMRI (T2*)



Tensor diffusion

Microscopie et bioimagerie

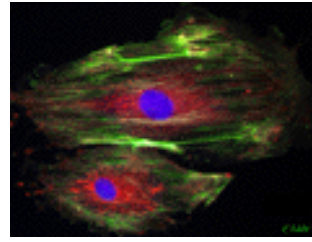
■ Microscopie optique



brightfield

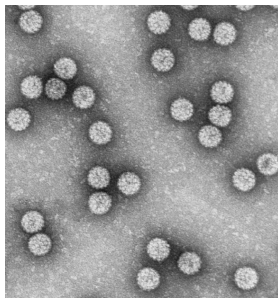


Contraste de phase

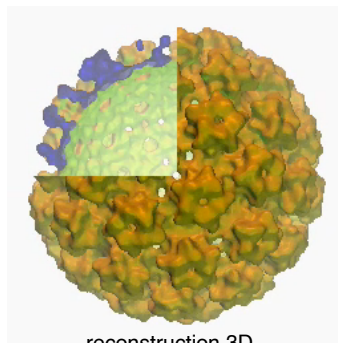


Fluorescence
(microscopie confocale)

■ Microscopie électronique



Cryo-EM



reconstruction 3D
(Papilloma virus)

■ Aspect techniques

- Analyse d'images
- Déconvolution
- Reconstruction 3D

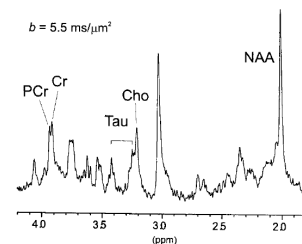
Unser / Signaux & Systèmes SV

1-31

Fourier au cœur des SV

■ Spectroscopie RMN

- Spectroscopie RMN par transf. de Fourier
 - Prix Nobel 1991: Ernst
- Structure 3D des protéines
 - Nobel 2002: Wüthrich



■ Crystallographie

- Diffraction aux rayons X
 - Nobel 1914: von Laue
 - Nobel 1915: Bragg and Bragg
- Cristaux, structures hélicoïdales
- Structure 3D des macromolécules
 - Nobel 1962: Watson, Crick and Wilkins
 - Nobel 1962: Perutz and Kendrew
 - Nobel 1982: Klug
 - Nobel 1988: Deisenhofer, Huber and Michel
 - ...

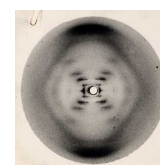
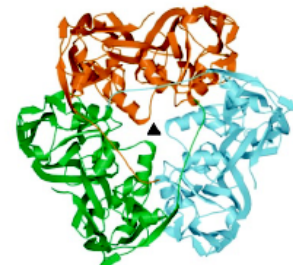


Figure de diffraction de l'ADN
(Rosalind Franklin)

Unser / Signaux & Systèmes SV

32

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
- Introduction à l'imagerie

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.