

Traitement du signal

Introduction

El-Hadi Djermoune

20 janvier 2026

Université de Lorraine
Faculté des Sciences et Technologies
L3 Sciences Pour l'Ingénieur

CRAN UL CNRS – département BioSiS
Bureau: 422, Bât. Henri Poincaré 4^e étage
email: el-hadi.djermoune@univ-lorraine.fr

Objectifs de l'UE

Organisation

Méthodologie de travail attendu

Définitions et illustrations

Traitement numérique du signal et des images

Bruit – signal utile

Exemples d'applications

Séparation de sources

Surveillance vibratoire

Analyse sonore

Bibliographie

Objectifs

- Introduction à la *théorie et au traitement du signal*
- Etude des signaux **déterministes** : leur valeur peut-être déterminée (connue, prédite) précisément à n'importe quel instant t , par exemple :

$$x(t) = a \cos(2\pi ft + \phi)$$

Questions : Que vaut l'angle ? Varie-t-il au cours du temps ?

Objectifs

- Introduction à la *théorie et au traitement du signal*
- Etude des signaux **déterministes** : leur valeur peut-être déterminée (connue, prédite) précisément à n'importe quel instant t , par exemple :

$$x(t) = a \cos(2\pi ft + \phi)$$

Questions : Que vaut l'angle ? Varie-t-il au cours du temps ?

- Signaux à temps continu (TC) $x(t)$ et signaux à temps discret (TD) $x[k]$

- Introduction à la *théorie et au traitement du signal*
- Etude des signaux **déterministes** : leur valeur peut-être déterminée (connue, prédite) précisément à n'importe quel instant t , par exemple :

$$x(t) = a \cos(2\pi ft + \phi)$$

Questions : Que vaut l'angle ? Varie-t-il au cours du temps ?

- Signaux à temps continu (TC) $x(t)$ et signaux à temps discret (TD) $x[k]$
- Compréhension de notions fondamentales :
 - Système linéaire invariant - Réponse impulsionnelle - Convolution
 - Analyse de Fourier en temps continu
 - Échantillonnage
 - Analyse de Fourier en temps discret

- Introduction à la *théorie et au traitement du signal*
- Etude des signaux **déterministes** : leur valeur peut-être déterminée (connue, prédite) précisément à n'importe quel instant t , par exemple :

$$x(t) = a \cos(2\pi ft + \phi)$$

Questions : Que vaut l'angle ? Varie-t-il au cours du temps ?

- Signaux à temps continu (TC) $x(t)$ et signaux à temps discret (TD) $x[k]$
- Compréhension de notions fondamentales :
 - Système linéaire invariant - Réponse impulsionnelle - Convolution
 - Analyse de Fourier en temps continu
 - Échantillonnage
 - Analyse de Fourier en temps discret
- Exercices d'accompagnement **écrits** ou effectués à l'aide de **simulations** numériques en utilisant le logiciel de calcul scientifique Matlab

Objectifs

- Introduction à la *théorie et au traitement du signal*
- Etude des signaux **déterministes** : leur valeur peut-être déterminée (connue, prédite) précisément à n'importe quel instant t , par exemple :

$$x(t) = a \cos(2\pi f t + \phi)$$

Questions : Que vaut l'angle ? Varie-t-il au cours du temps ?

- Signaux à temps continu (TC) $x(t)$ et signaux à temps discret (TD) $x[k]$
- Compréhension de notions fondamentales :
 - Système linéaire invariant - Réponse impulsionnelle - Convolution
 - Analyse de Fourier en temps continu
 - Échantillonnage
 - Analyse de Fourier en temps discret
- Exercices d'accompagnement **écrits** ou effectués à l'aide de **simulations** numériques en utilisant le logiciel de calcul scientifique Matlab
- À l'issue de ce cours, il est attendu une **maîtrise des concepts de base**, une aptitude à la **mise en œuvre d'algorithmes** courts et la capacité à **interpréter et analyser** des résultats expérimentaux.

Objectifs de l'UE

Organisation

Méthodologie de travail attendu

Définitions et illustrations

Traitement numérique du signal et des images

Bruit – signal utile

Exemples d'applications

Séparation de sources

Surveillance vibratoire

Analyse sonore

Bibliographie

- **Organisation de l'UE** : EC1 « 602.1 Traitement du signal » / EC2 « 641.2 TP Traitement du signal »
 - CM : $9 \times 2h$ (E.-H. Djermoune) – toute la promotion
 - TD : $6 \times 2h$ (V. Laurain, E.-H. Djermoune) – 2 groupes
 - TP : $10 \times 2h$ (V. Laurain, E.-H. Djermoune, P. Catala) – 3 groupes
- **Mise en œuvre** : exercices écrits et programmation Matlab
- **Evaluation** : 2 examens écrits (1h et 2h) + 1 examen TP (1h)
- **Contenu (CM)** :
 1. Signaux et systèmes
 2. Espaces vectoriels
 3. Analyse de Fourier en temps continu : série et transformée de Fourier
 4. Échantillonnage
 5. Analyse de Fourier en temps discret : TFtd / SFD / TFD

Table des matières

Objectifs de l'UE

Organisation

Méthodologie de travail attendu

Définitions et illustrations

Traitement numérique du signal et des images

Bruit – signal utile

Exemples d'applications

Séparation de sources

Surveillance vibratoire

Analyse sonore

Bibliographie

Travail à rendre au début de chaque séance de TD ou de TP

- Fiche **manuscrite** d'une page (*a minima* un recto) résumant le cours de la semaine (en vous appuyant sur le diaporama **et les explications orales**) et se terminant par les questions non éclaircies que vous vous posez sur le cours.
- Encadrez les **formules essentielles** associées à des définitions (énergie, convolution, produit scalaire, série de Fourier, ...).
- Les fiches seront **notées** (0 ou 1) et les **points cumulés**. Ils apporteront un bonus à la notation de l'UE. Les fiches vous seront rendues rapidement après vérification.

Numérotez la fiche, donnez lui un titre, ne faites pas de phrases.

Travail à rendre au début de chaque séance de TD ou de TP

- Fiche **manuscrite** d'une page (*a minima* un recto) résumant le cours de la semaine (en vous appuyant sur le diaporama **et les explications orales**) et se terminant par les questions non éclaircies que vous vous posez sur le cours.
- Encadrez les **formules essentielles** associées à des définitions (énergie, convolution, produit scalaire, série de Fourier, ...).
- Les fiches seront **notées** (0 ou 1) et les **points cumulés**. Ils apporteront un bonus à la notation de l'UE. Les fiches vous seront rendues rapidement après vérification.

Numérotez la fiche, donnez lui un titre, ne faites pas de phrases.

Travail à rendre au début de chaque séance de TD ou de TP

- Fiche **manuscrite** d'une page (*a minima* un recto) résumant le cours de la semaine (en vous appuyant sur le diaporama **et les explications orales**) et se terminant par les questions non éclaircies que vous vous posez sur le cours.
- Encadrez les **formules essentielles** associées à des définitions (énergie, convolution, produit scalaire, série de Fourier, ...).
- Les fiches seront **notées** (0 ou 1) et les **points cumulés**. Ils apporteront un bonus à la notation de l'UE. Les fiches vous seront rendues rapidement après vérification.

Numérotez la fiche, donnez lui un titre, ne faites pas de phrases.

Elaborer un résumé de cours

Il doit vous aider à :

1. vous remettre en tête les idées principales de la leçon : définitions, vocabulaire spécifique, formules, schémas importants, méthode de démonstration ou de calcul
2. détecter ce que vous n'avez pas compris
3. vous approprier un cours en l'interprétant avec votre propre mode de réflexion (*les fiches ne peuvent donc pas être identiques et il n'y a pas de fiche type*)
4. résoudre les exercices en TD et en TP

Elaborer un résumé de cours

Il doit vous aider à :

1. vous remettre en tête les idées principales de la leçon : définitions, vocabulaire spécifique, formules, schémas importants, méthode de démonstration ou de calcul
2. détecter ce que vous n'avez pas compris
3. vous approprier un cours en l'interprétant avec votre propre mode de réflexion (*les fiches ne peuvent donc pas être identiques et il n'y a pas de fiche type*)
4. résoudre les exercices en TD et en TP

Elaborer un résumé de cours

Il doit vous aider à :

1. vous remettre en tête les idées principales de la leçon : définitions, vocabulaire spécifique, formules, schémas importants, méthode de démonstration ou de calcul
2. détecter ce que vous n'avez pas compris
3. vous approprier un cours en l'interprétant avec votre propre mode de réflexion (*les fiches ne peuvent donc pas être identiques et il n'y a pas de fiche type*)
4. résoudre les exercices en TD et en TP

Elaborer un résumé de cours

Il doit vous aider à :

1. vous remettre en tête les idées principales de la leçon : définitions, vocabulaire spécifique, formules, schémas importants, méthode de démonstration ou de calcul
2. détecter ce que vous n'avez pas compris
3. vous approprier un cours en l'interprétant avec votre propre mode de réflexion (*les fiches ne peuvent donc pas être identiques et il n'y a pas de fiche type*)
4. résoudre les exercices en TD et en TP

Objectifs de l'UE

Organisation

Méthodologie de travail attendu

Définitions et illustrations

Traitement numérique du signal et des images

Bruit – signal utile

Exemples d'applications

Séparation de sources

Surveillance vibratoire

Analyse sonore

Bibliographie

Traitement (numérique) du signal et des images

Art de transformer les signaux pour :

- améliorer la représentation de l'information ;
- analyser leur contenu ;
- extraire l'information nécessaire à la prise de décision.

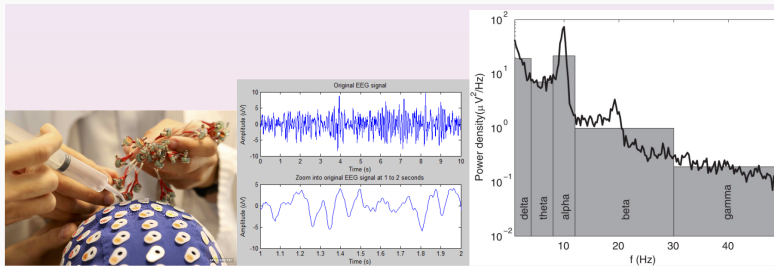


Figure 1: Traitement d'un signal électroencéphalographique (EEG). Crédits illustrations : CRAN - <https://biomedicalsignalandimage.blogspot.com> - van Albada and Robinson (2013), Frontiers in Human Neuroscience

Traitement (numérique) du signal et des images

Art de transformer les signaux pour :

- améliorer la représentation de l'information;
- analyser leur contenu;
- extraire l'information nécessaire à la prise de décision.

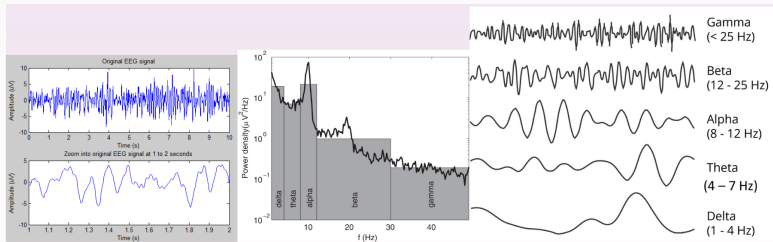


Figure 1: Traitement d'un signal électroencéphalographique (EEG). Crédits illustrations : CRAN - <https://biomedicalsignalandimage.blogspot.com> - van Albada and Robinson (2013), Frontiers in Human Neuroscience

Bruit vs Signal utile

- Est appelé **bruit** tout phénomène perturbateur qui dégrade la perception ou l'interprétation d'un **signal utile**.

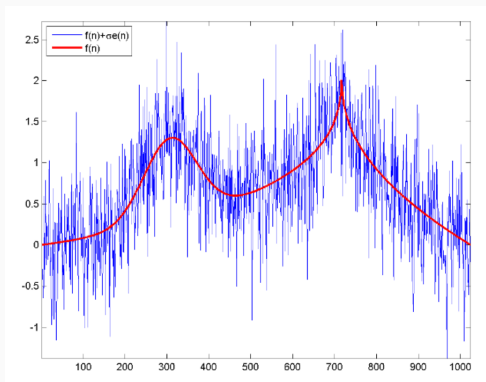


Figure 2: **Signal utile** – **signal bruité**. Crédits illustrations : <https://fr.mathworks.com/help/wavelet/ug/wavelet-denoising-and-nonparametric-function-estimation.html>

Bruit vs Signal utile

- Est appelé **bruit** tout phénomène perturbateur qui dégrade la perception ou l'interprétation d'un **signal utile**.

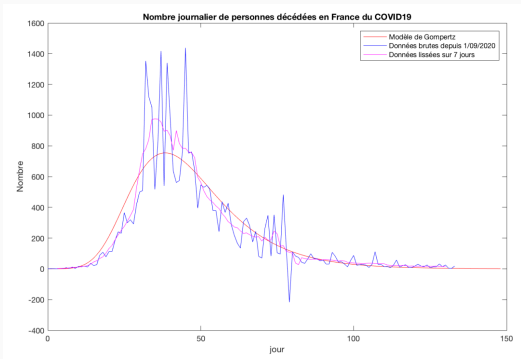


Figure 2: Signal moyenné sur 7 jour – Signal bruité (données journalières)

Bruit vs Signal utile

- Est appelé **bruit** tout phénomène perturbateur qui dégrade la perception ou l'interprétation d'un **signal utile**.



Figure 2: Image bruitée (poivre et sel) – image filtrée (filtre médian)

Bruit vs Signal utile

- Est appelé **bruit** tout phénomène perturbateur qui dégrade la perception ou l'interprétation d'un **signal utile**.
- La dichotomie signal utile - bruit est artificielle et dépend de l'application : le signal utile en radio-astronomie est considéré comme du bruit pour les télécommunications.
- La dégradation d'un signal est mesurée classiquement par le **rapport signal sur bruit** (RSB) exprimé en **décibels** :

$$RSB = 10 \cdot \log \left(\frac{\text{puissance du signal}}{\text{puissance du bruit}} \right)$$

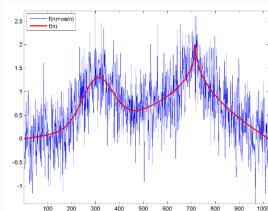


Table des matières

Objectifs de l'UE

Organisation

Méthodologie de travail attendu

Définitions et illustrations

Traitement numérique du signal et des images

Bruit – signal utile

Exemples d'applications

Séparation de sources

Surveillance vibratoire

Analyse sonore

Bibliographie

Domaines d'application

Les domaines d'applications sont nombreux en allant de l'ingénierie biomédicale à l'astrophysique en passant par l'acoustique :

- instrumentation
- communications
- archivage, multi-média, télétraitement
- défense, surveillance, télédétection
- imagerie (médicale, satellitaire, sismique, radar, sonar, ...)
- maintenance, contrôle non destructif, contrôle qualité, vision industrielle
- automobile, robotique mobile, véhicules autonomes.

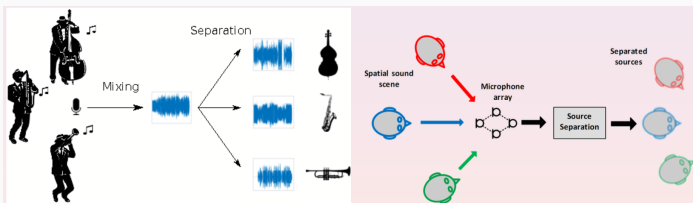
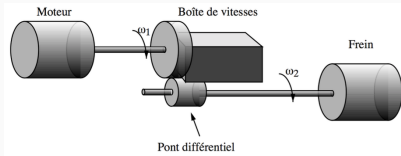
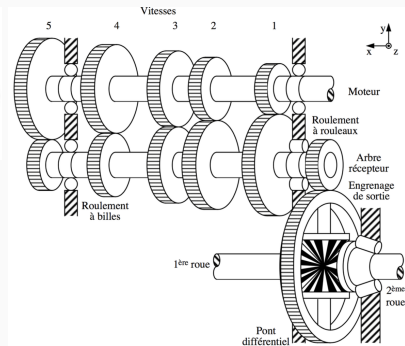
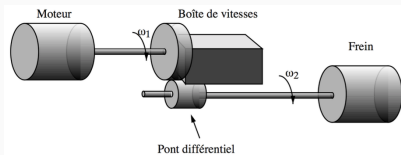


Figure 2: Séparations de sources musicales ou spatiales. Crédits illustrations : Audio Research Group, Tampere University (Finlande)

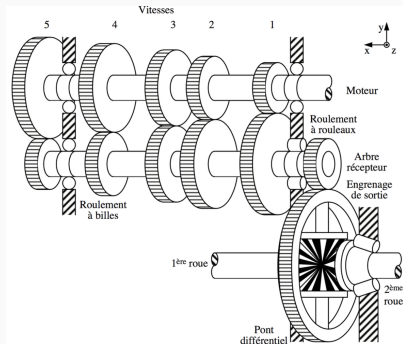
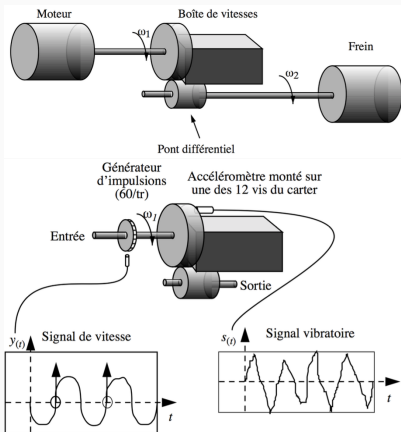
Surveillance vibratoire d'une boîte de vitesses



Surveillance vibratoire d'une boîte de vitesses



Surveillance vibratoire d'une boîte de vitesses



Surveillance vibratoire d'une boîte de vitesses

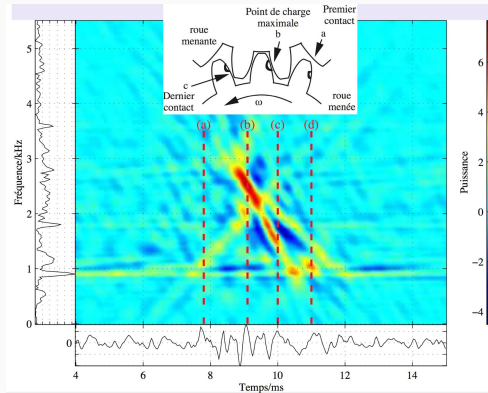


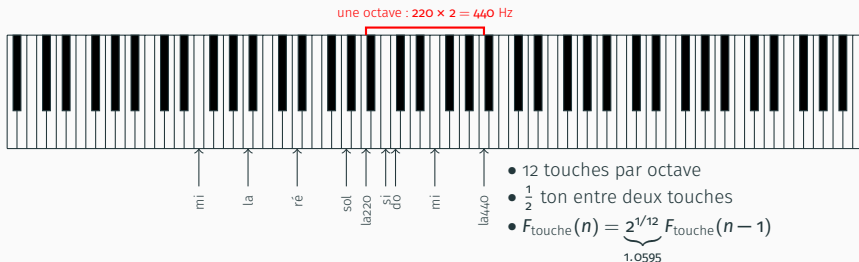
Figure 3: Représentation temps-fréquence du signal vibratoire

Exercice :

Ecouter un chirp (modulation linéaire de fréquence) ici :

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Linchirp.ogg>

Détour par la musique (gamme tempérée)



$$f = 55 \times 2^{\text{octave} + \frac{\text{demiton} - 9}{12}} \quad la_{440} = 55 \times 2^{3 + \frac{9-9}{12}}$$

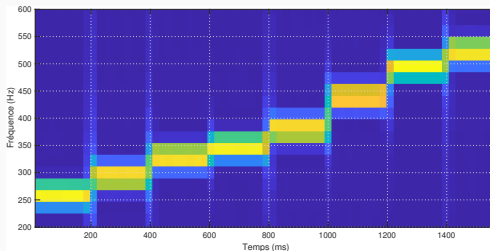
où octave et demiton sont des nombres entiers, correspondant à la note, de « do » (demiton = 0) à « si » (demiton = 11).

Exercice :

1. Appréhender les fréquences des différentes notes de musique - https://fr.wikipedia.org/wiki/Note_de_musique
2. Quelles sont les gammes de fréquence de la voix humaine ?

Détour par la musique (gamme tempérée)

do 262 Hz | ré 294 | mi 330 | fa 349 | sol 390 | la 440 | si 494 | do 523



Objectifs de l'UE

Organisation

Méthodologie de travail attendu

Définitions et illustrations

Traitement numérique du signal et des images

Bruit – signal utile

Exemples d'applications

Séparation de sources

Surveillance vibratoire

Analyse sonore

Bibliographie

1. F. Auger (1999), *Introduction à la théorie du signal et de l'information*. Editions Technip.
2. R. Baraniuk et M. Moravec (2018), *Discrete-Time Signals and Systems*. <http://cnx.org/content/col11868/1.5/>
3. G. Blanchet et M. Charbit (1998), *Traitement numérique du signal. Simulation sous Matlab*. Hermès.
4. F. de Coulon (1984), *Théorie et traitement des signaux*. Dunod.
5. P. Gaillard et R. Lengellé (2006), *Analyse et traitement du signal*. Ellipses Edition.
6. H. Kwakernaak et R. Sivan (1991), *Modern Signals and Systems*. Prentice Hall.
7. J. Max (1989), *Méthodes et techniques de traitement du signal*. Masson.
8. A. Oppenheim, A. Willsky et W. Young (1983), *Signals and Systems*. Prentice Hall.
9. B. Picinbono (1989), *Théorie des signaux et des systèmes*. Dunod.
10. Y. Thomas (1995), *Signaux et systèmes linéaires*. Masson.