

## TP n° 2

# Série de Fourier-Génération et échantillonnage de signaux

### Introduction

Ce TP se divise en deux parties. Dans la première partie, le but est de tracer différents types de signaux et d'effectuer leur décomposition en série de Fourier, on s'intéressera en particulier à des signaux déphasés et l'incidence de ce déphasage sur la décomposition. Dans la deuxième partie du TP, grâce à la carte son et aux écouteurs, différents types de signaux pourront être écoutés. On déterminera alors la *bande-passante* de l'oreille humaine. Finalement, en utilisant le microphone intégré aux écouteurs, on pourra faire des enregistrements de différents signaux sonores et ainsi les visualiser.

### 2.1 Tracée de signaux déphasés

---

#### Exercice 1

Tracer un signal sinusoïdal d'amplitude 2 et de fréquence 2 Hz sur une durée de 4 secondes. Sur le même graphique, tracer le même signal mais déphasés de  $+\pi/4$  et ensuite  $-\pi/2$ .

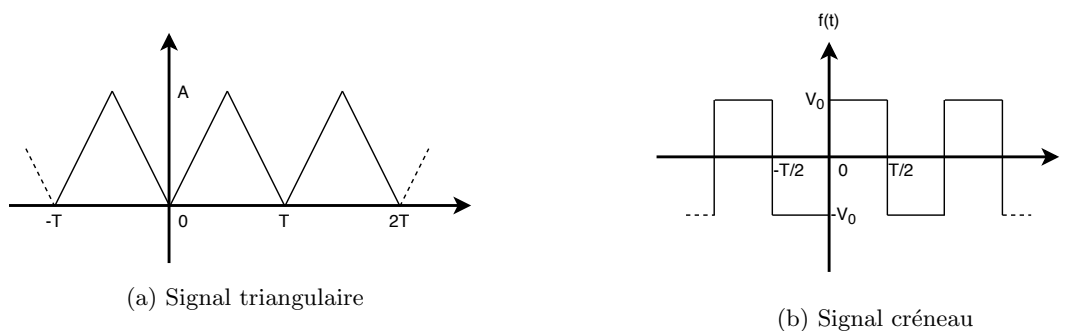


Figure 2.1: Différents types de signaux

Tracer le signal triangulaire de la Figure 2.1a. Prendre  $A = 2$  et  $T = 1$  s et une durée totale  $T_{tot}$  de 5 s. On pourra utiliser la fonction `sawtooth` implémentée dans matlab (`help sawtooth` pour avoir l'aide). Dans la même fenêtre graphique mais sur une sous-fenêtre différente, tracer le signal triangulaire déphasé de  $+\pi$ .

Tracer le signal en créneau de la Figure 2.1b. On gardera les mêmes valeurs de  $T$ ,  $V_0 = A$  et  $T_{tot}$ . Dans une sous-fenêtre différente, tracer le signal créneau déphasé de  $-\pi/2$ .

## 2.2 Synthèse de Fourier

La décomposition en série de Fourier du signal périodique  $e(t)$  s'écrit sous la forme:

$$e(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{n=+\infty} a_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi n t}{T}\right). \quad (2.1)$$

Par exemple, pour créer un signal triangulaire, les coefficients sont

$$a_0 = 0, \quad a_n = 0, \quad b_n = \frac{8V_0(-1)^{(n-1)/2}}{\pi^2 n^2}. \quad (2.2)$$

Essayer et analyser la programme MATLAB ci-dessous.

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%                               Serie de Fourier                               %
%                               Signal Triangulaire                           %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear all
close all
clc

% Declarer les termes constantes
V0 = 2;           % l'amplitude de signal
T = 1;           % periode
dt = 0.001;      % pas d'echantillonnage
t = 0:dt:5*T;    % vecteur de temps
e = 0;           % valeur initiale de e

% Serie de Fourier
for n = 1:100     % nombre de cycles des nth harmoniques
    an = 0;
    bn = V0*8*(-1)^((n-1)/2) / (n^2*pi^2);
    en = an*cos(2*pi*n*t/T) + bn*sin(2*pi*n*t/T);
    e = e + en;   % signal
end

% Afficher le signal
figure(1)
plot(t, e, 'Linewidth', 2)
xlabel('Temps (s)')
ylabel('Amplitude')
title('Signal Triangulaire')

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% END %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

### Exercice 2

Ecrire un programme qui permettra de synthétiser les signaux en dent de scie et en créneau, selon le principe de la décomposition en série de Fourier.

On rappelle les coefficients  $a_n$  et  $b_n$  pour chacun de ces deux signaux:

– Signal en dents de scie:

$$a_0 = 0, \quad a_n = 0, \quad b_n = \frac{2V_0(-1)^{n+1}}{n\pi}. \quad (2.3)$$

– Signal en créneau:

$$a_0 = 0, \quad a_n = 0, \quad b_n = \frac{2V_0}{n\pi} [1 - (-1)^n]. \quad (2.4)$$

Synthétiser  $e(t)$  avec un nombre de coefficients  $n = 3$ ,  $n = 5$ ,  $n = 15$ ,  $n = 30$ ,  $n = 50$ ,  $n = 100$  et  $n = 1000$ . Enregistrer les figures et puis conclure.

## 2.3 Ecoute de signaux

### Exercice 3

Ecrire un programme matlab permettant de produire un signal sinusoïdal  $x(t) = A\cos(2\pi ft)$  de fréquence  $f = 1000$  Hz, d'amplitude  $A = 0.8$  pendant une durée de 4 secondes avec une fréquence d'échantillonnage  $f_e = 44,1$  kHz (c'est la fréquence d'échantillonnage de la carte son du PC).

On utilisera les variables suivantes:

- $dt$  la période d'échantillonnage,  $dt = 1/f_e$ ,
- $duree$  la durée totale,  $duree = 4$ , et
- $t$  pour la variable pour le temps.

Tracer le signal  $x(t)$  avec la commande `plot`.

Utiliser l'aide de matlab sur la commande **sound** (taper `help sound`) afin que le signal  $x(t)$  soit lu par la carte son. Ecouter le son correspondant avec la casque audio. On réglera éventuellement le volume via l'option contrôle du volume du PC.

Faire varier la  $f$  du signal sinusoïdal de 100 Hz à 20000 Hz et écouter le son correspondant pour déterminer grossièrement la bande-passante de votre oreille.

Signaux modulés fréquemment

Remplacer le signal sinusoïdal simple par un signal modulé fréquemment:

$$x(t) = A\cos(2\pi ft + B\cos(2\pi f_2 t)), \quad (2.5)$$

avec  $f = 1000$  Hz,  $f_2 = 10$  Hz,  $A = 1$ ,  $B = 4$  en gardant la même durée. Faire varier  $B$  et écouter le nouveau signal. Que remarquez-vous?

## 2.4 Enregistrement de signaux sonores

### Exercice 4

Utiliser la commande **audiorecorder** pour enregistrer votre voix le micro intégré. Essayer de produire des sons *bas* et *aigus* et visualiser les signaux enregistrés. Sauvegarder ces signaux qui seront utilisés lors du prochain TP.

```
% Enregistrement de signaux sonores
clear all
close all
clc

% Creez un objet audiorecorder avec les valeurs de propriété par défaut.
Fs = 44100 ; % fréquence d'échantillonnage
nBits = 16 ; % nombre de bits par échantillon
nChannels = 1 ; % nombre de canaux
ID = -1; % périphérique d'entrée audio par défaut
recObj = audiorecorder(Fs,nBits,nChannels,ID);
trec = 5; % durée d'enregistrement

% Recueillir un échantillon de trec (secondes) de votre discours avec votre microphone.
disp('Start speaking.')
recordblocking(recObj,trec);
disp('End of Recording.');
```

```
% Lisez l'enregistrement.
play(recObj);

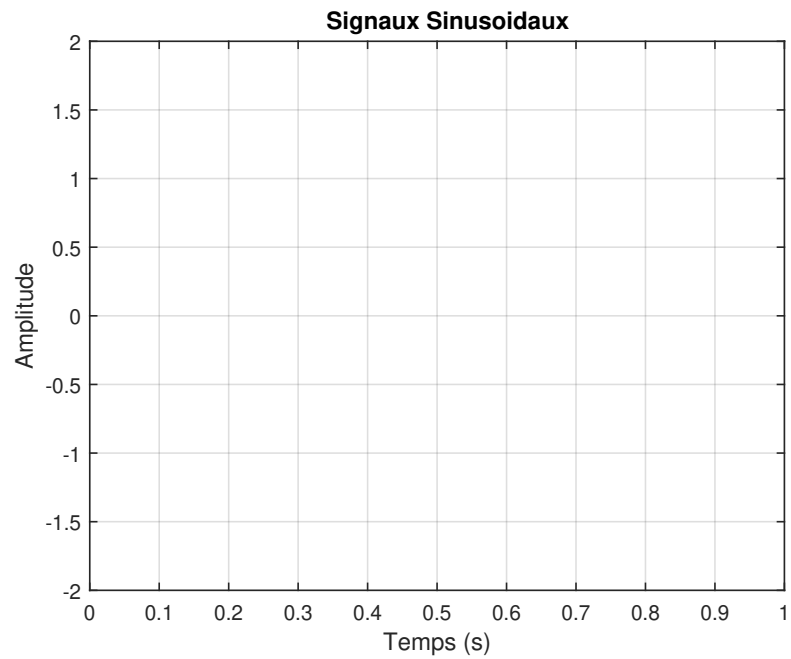
% Afficher le voix
y = getaudiodata(recObj);
t=(0:1/Fs:trec-(1/Fs))';
plot(t,y)
xlabel('Temps (s)')
ylabel('Amplitude')
title('Enregistrement vocal')
```

NOM: \_\_\_\_\_ DATE: \_\_\_\_\_

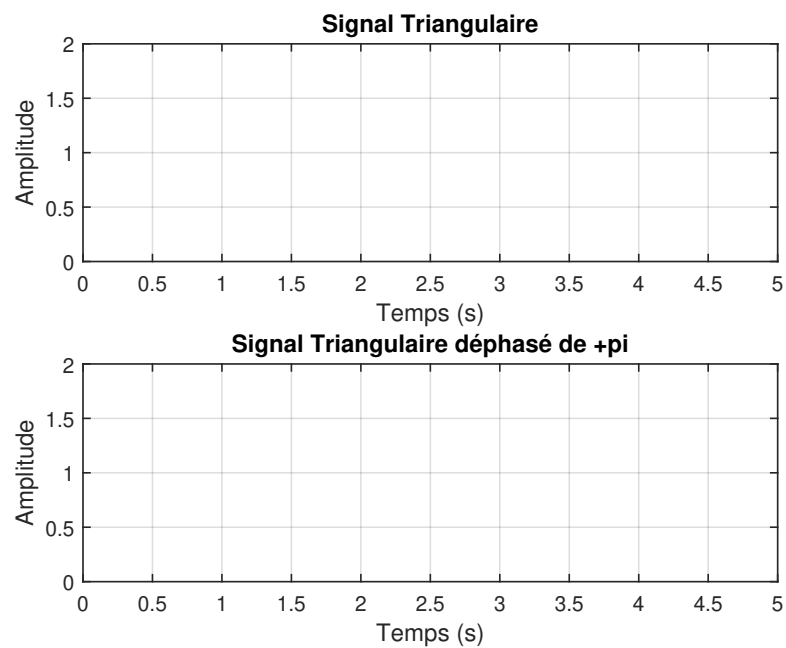
## Traitement du Signal Travaux Pratiques 2

### Exercice 1

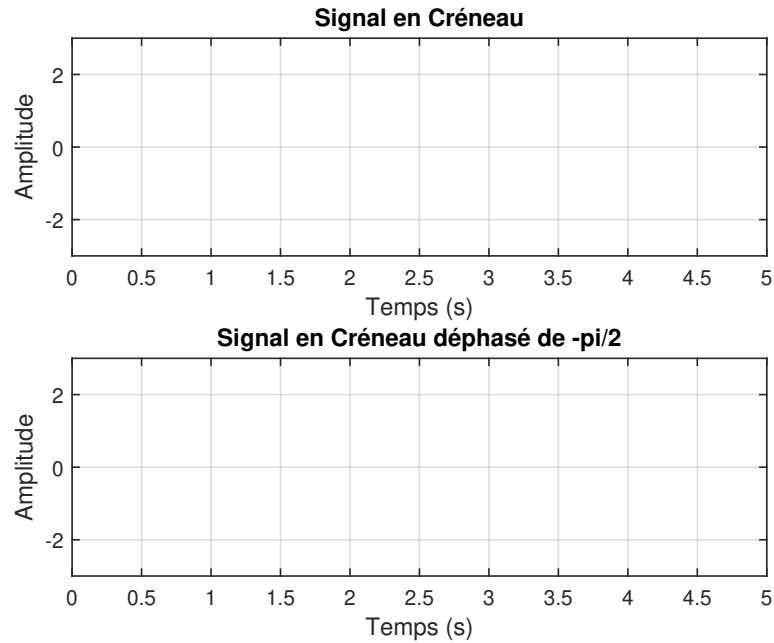
Exercice 1a: Signaux Sinusoïdaux



Exercice 1b: Signaux Triangulaires



## Exercice 1c: Signaux en Créneau



## Exercice 2

Appeler l'enseignante pour vérifier.

Conclusion:

---



---



---



---

## Exercice 3

La bande-passante de votre oreille: \_\_\_\_\_

Reprendre l'étude en écoutant les sons obtenus avec un signal fréquence de 10000 Hz puis 45100 Hz (la fréquence d'échantillonnage est maintenue à 44100 Hz). Que constatez-vous? Pouvez vous expliquer ce phénomène? On pourra par exemple tracer le signal.

---



---



---



---



---



---

Que remarquez-vous lorsque vous modifiez B? Pourquoi cela arrive-t-il?

---



---



---



---



---

**Exercice 4**

Appeler l'enseignante por vérifier l'enregistrement de signaux.

Ecouter le son avec  $F_s$ ,  $2F_s$ , et  $F_s/2$ . Que remarquez-vous?

---

---

---

---

---

---