

# Electronique numérique

Toute chaîne de transmission d'information passe aujourd'hui par un traitement numérique des signaux. Le TP 5 « Electronique numérique » a permis une approche expérimentale dont on fait ici le résumé.

## I - Numérisation d'un signal

### I.A - Signaux analogiques et numériques

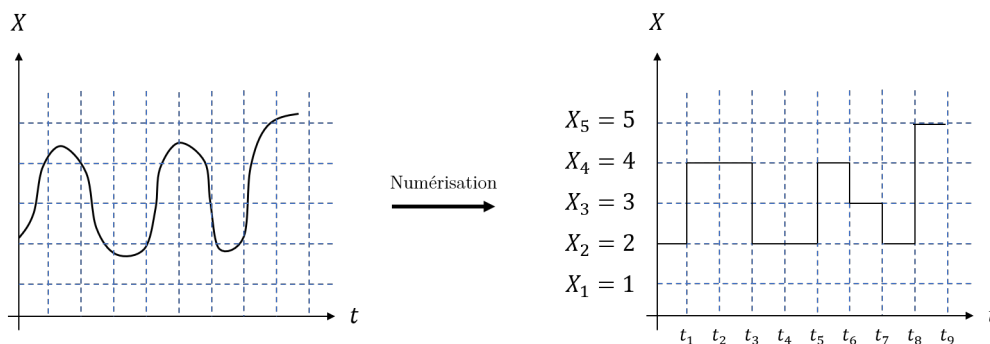
#### Définition (Signal)

**Signal analogique** : Signal dont la grandeur  $X$  associée peut prendre un ensemble continu de valeurs et est définie sur un intervalle de temps continu.

**Signal numérique** : Signal dont la grandeur  $X$  associée ne peut prendre qu'un nombre fini de valeurs discrètes  $X_1, X_2, \dots$  à certains instants discrets  $t_1, t_2, \dots$

#### Remarque

- ▷ Un signal est donc relatif à l'expérimentateur. Pour une même grandeur physique on peut définir plusieurs signaux.
- ▷ On remarque également qu'à un signal analogique donné, plusieurs signaux numériques peuvent correspondre.



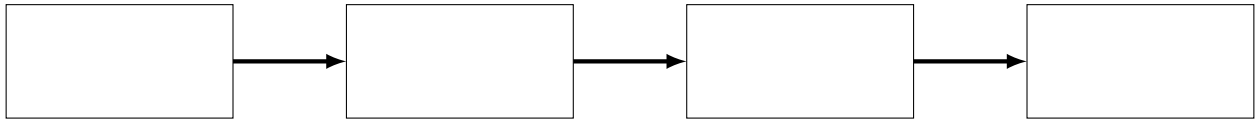
Signal analogique et signal numérique correspondant

### I.B - Avantages de la numérisation

On peut citer trois intérêts de numériser un signal :

- ▷ **Stockage** : Le signal numérique peut être stocké indéfiniment contrairement au signal analogique
- ▷ **Calcul** : Le traitement analogique est plus compliqué que le traitement numérique
- ▷ **Transmission** : Un signal numérique est insensible aux bruits.

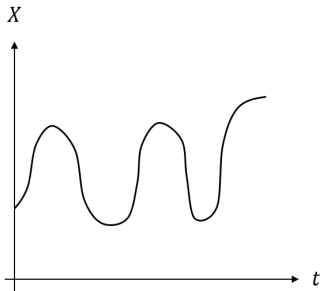
## I.C - Chaîne d'acquisition et de numérisation



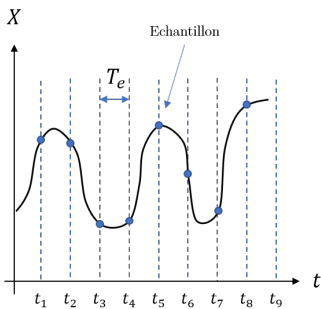
### Résumé de la numérisation

#### Étape n°1 : Transduction

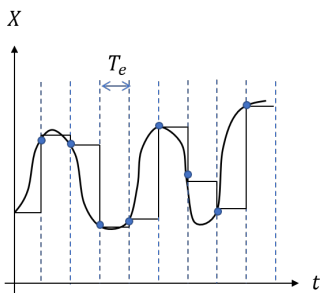
Le signal étudié est converti en une tension analogique



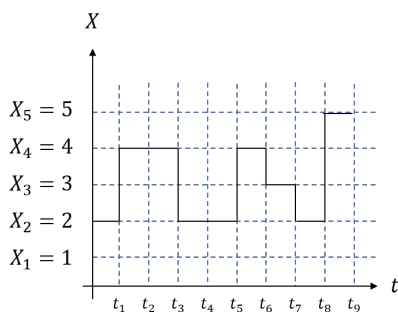
↓ Échantillonnage



↓ Bloquage



↓ Quantification



#### Étape n°2 : Échantillonnage-blocage

Le composant échantillonneur-bloqueur a le rôle de prélever le signal étudié en des instants réguliers (échantillonnage) et de maintenir la tension de sortie constante entre deux instants de prélèvement (blocage). L'intérêt du blocage est de permettre à l'étape n°3 de se produire pendant une durée plus importante.

#### Étape n°3 : Quantification

Un système numérique ne peut utiliser que des données codées sur des bits. Le rôle du convertisseur analogique-numérique (CAN) est donc d'attribuer à la valeur de chaque échantillon, la valeur binaire permise la plus proche. Le signal numérique peut ensuite être stocké dans une mémoire pour être manipulé.

## II - Échantillonnage

### Définition (Échantillonnage)

Prélèvement régulier de la valeur d'un signal en un ensemble discret d'instant successifs. Ces instants sont séparés d'une durée  $T_e$  appelée la période d'échantillonnage.

**Fréquence d'échantillonnage** : Fréquence du processus d'échantillonnage. Elle est définie par :

$$f_e = \frac{1}{T_e}$$

### Remarque

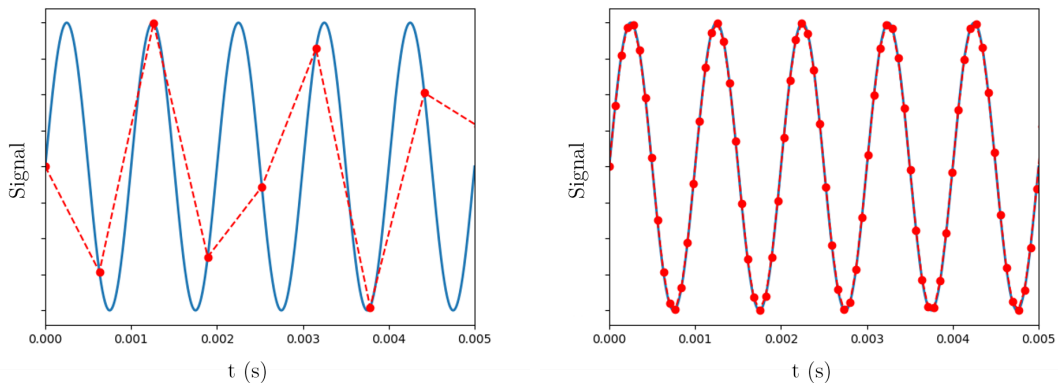
- ▷ Des échantillons étant prélevés tous les instants  $t_i$ , on a ainsi  $T_e = t_n - t_{n-1}$ .
- ▷ En notant  $T_a$  la durée d'acquisition et  $N_e$  le nombre total d'échantillons, on a :

$$T_a = N_e T_e$$

### II.A - Résultats expérimentaux

Dans cette partie, nous allons simuler ce que nous avons observé lors du TP n°5. Un signal de fréquence  $f$  sera échantillonné à une fréquence  $f_e$ .

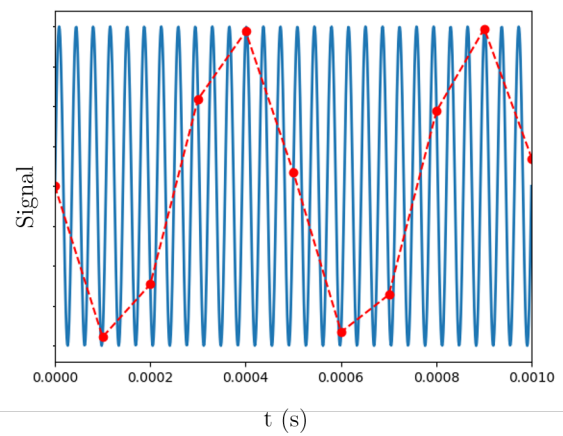
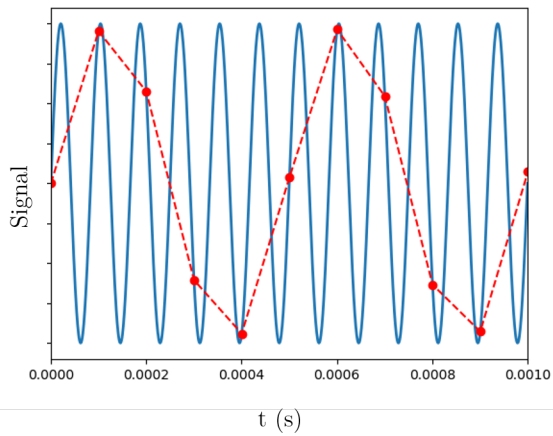
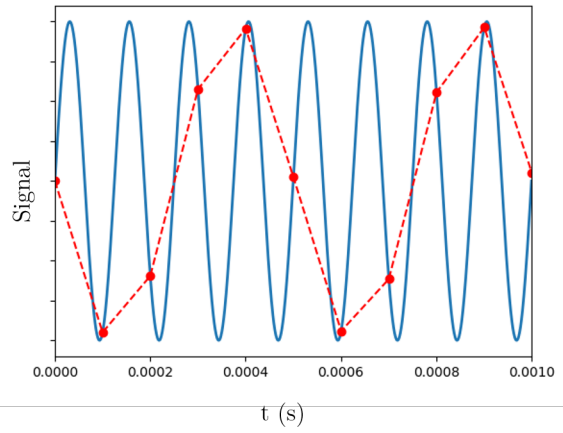
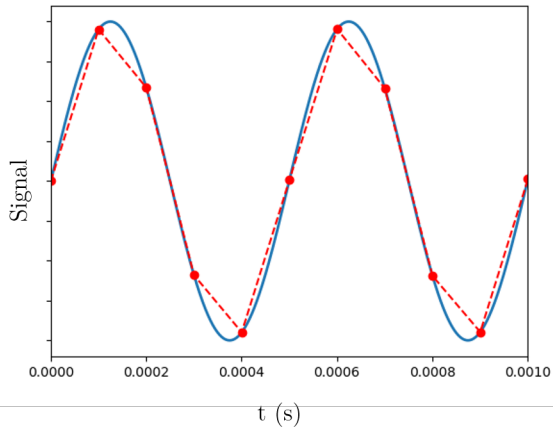
#### 1<sup>er</sup> test : Différents échantillonnages d'un même signal



Comparaison de deux échantillonnages d'un même signal de 1 kHz.  
À gauche : 1,6 kHz. À droite : 14 kHz.



**2<sup>ème</sup> test : Un échantillonnage donné pour plusieurs signaux**



Plusieurs signaux échantillonnés à la même fréquence de 10 kHz.  
De haut en bas et de gauche à droite : 2 kHz, 8 kHz, 12 kHz et 28 kHz



Synthèse des observations

## II.B - Spectre d'un signal échantillonné

### Remarque

Le spectre calculé par l'algorithme FFT est affiché sur l'oscilloscope généralement de 0 à  $\frac{f_e}{2}$ .

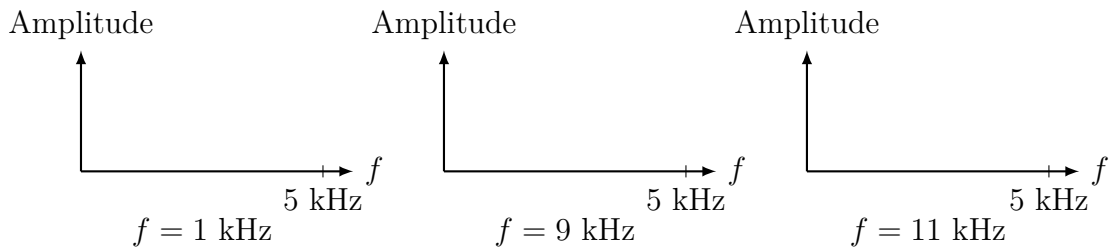


L'échantillonnage d'un signal est associé à une réplication périodique de son spectre : toute composante de fréquence  $f$  est répliquée aux fréquences  $kf_e \pm f$  avec  $k \in \mathbb{Z}$ . C'est une conséquence de la transformée de Fourier.

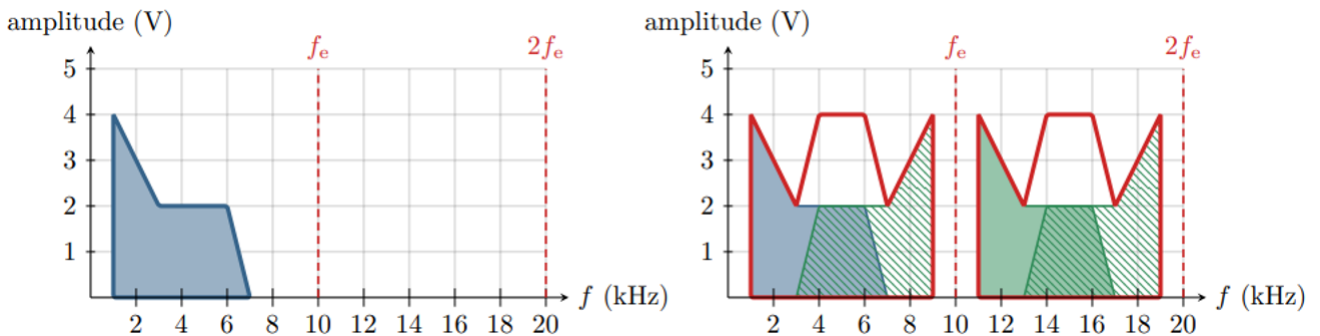


### Application

On échantillonne à  $f_e = 10$  kHz plusieurs signaux sinusoïdaux de fréquences différentes.



Pour un signal quelconque le phénomène est le suivant :



**Repliement spectral**

**Remarque**

On observe notamment ce phénomène en étudiant le spectre d'un signal créneau ou triangle à l'aide d'une fréquence d'échantillonnage trop faible.

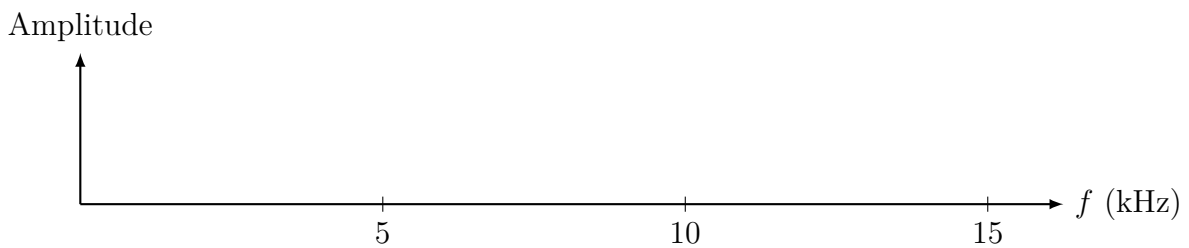


**Application**

Considérons un signal créneau de fréquence  $f_0 = 2$  kHz, décrit par ses premières harmoniques :

$$s(t) = A \sin(2\pi f_0 t) + \frac{A}{3} \sin(2\pi 3 f_0 t) + \frac{A}{5} \sin(2\pi 5 f_0 t) + \frac{A}{7} \sin(2\pi 7 f_0 t)$$

Les suivantes sont supposées négligeables. Ce signal est échantillonné à  $f_e = 15$  kHz. Représenter le spectre du signal échantillonné entre 0 et 15 kHz. A-t-on repliement spectral ?



**II.C - Critère de Nyquist-Shannon**

Pour éviter le désagrément dû au repliement de spectre, on introduit un critère.

**Critère de Nyquist-Shannon**

Ce critère constitue une limite très contraignante à laquelle il faut être attentif lors des manipulations. Il faut donc soit choisir une fréquence d'échantillonnage adaptée au signal étudié, soit filtrer le signal étudié afin de couper toutes les fréquences supérieures à  $\frac{f_e}{2}$ .

### III - Synthèse - Choix des paramètres d'une acquisition numérique

En TP nous serons confrontés à trois dispositifs de conversion analogique-numérique :

- ▷ L'oscilloscope : on peut régler les paramètres en jouant sur les boutons
- ▷ Interface SYSAM : on peut régler les paramètres directement sur Latis Pro
- ▷ Microcontrôleur : on peut régler les paramètres via un script de commande

Les paramètres d'acquisition doivent alors être réglés de manière intelligente afin d'éviter tout repliement de spectre :

- ▷ **Fréquence d'échantillonnage** : Plus elle est élevée, plus le signal échantillonné est fidèle au signal initial mais un signal trop échantillonné peut être lourd à stocker ou à traiter.  
Il faut, *a minima*, respecter le critère de Nyquist-Shannon pour éviter tout repliement de spectre.
- ▷ **Durée d'acquisition** : Plus elle est longue, plus la résolution est élevée. De même que précédemment, une durée trop grande peut alourdir le stockage et le traitement du signal numérique ;
- ▷ **Nombre d'échantillons** : Il est fixé par le produit :  $N_e = f_e \times T_a$ . Il est souvent fixé en pratique, il faut donc trouver un compromis entre fréquence d'échantillonnage et durée totale d'acquisition.

#### Remarque

On peut également noter un dernier réglage très important : le **calibrage vertical** doit être le plus important pour maximiser la résolution verticale. Attention toutefois à ne pas faire saturer le signal affiché.