



BLAISE PASCAL  
PT 2022-2023

TP 2 – Séquence 1 : Électronique

# Échantillonnage

## Techniques et méthodes

- ▷ Mode FFT de l'oscilloscope et de la carte SYSAM ;
- ▷ Réplication et repliement spectral ;
- ▷ Multiplieur analogique.

## Matériel sur votre paillasse :

- ▷ Oscilloscope et notice ;
- ▷ Ordinateur avec le logiciel LatisPro ;
- ▷ Centrale d'acquisition Sysam ;
- ▷ Deux GBF ;
- ▷ Un multiplieur ;
- ▷ Alimentation continue  $\pm 15\text{ V}$  ;
- ▷ Une plaquette de branchement.

Ce TP a pour objectif d'observer les phénomènes associés à la numérisation d'un signal, en particulier la réplication spectrale due à l'échantillonnage. Il sera en outre l'occasion d'apprendre à observer un spectre à l'oscilloscope.

## I - Génération d'un signal à trois composantes



Pour réaliser les expériences suivantes, nous allons générer « à la main » un signal à trois composantes par multiplication de deux signaux sinusoïdaux grâce à un multiplieur. Un multiplieur est un quadripôle prenant deux tensions d'entrée  $e_1$  et  $e_2$  et délivrant en sortie la tension

$$s(t) = k \times e_1(t) \times e_2(t).$$

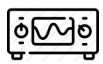
Le gain des multiplieurs du lycée vaut  $k = 0,1\text{ V}^{-1}$ . Pour ce TP, on choisit deux signaux sinusoïdaux de fréquences respectives  $f_1$  et  $f_2 > f_1$ , le signal de haute fréquence contenant également une composante continue,

$$e_1(t) = E_1 \cos(2\pi f_1 t) \quad \text{et} \quad e_2(t) = E_0 + E_2 \cos(2\pi f_2 t).$$

✎ Écrire le signal  $s$  sous forme d'une somme de signaux sinusoïdaux.

$$\begin{aligned} s &= kE_0E_1 \cos(2\pi f_1 t) + kE_1E_2 \cos(2\pi f_1 t) \cos(2\pi f_2 t) \\ &= kE_0E_1 \cos(2\pi f_1 t) + \frac{kE_1E_2}{2} \cos(2\pi(f_2 - f_1)t) + \frac{kE_1E_2}{2} \cos(2\pi(f_2 + f_1)t). \end{aligned}$$

✎ Représenter son spectre pour  $E_0 = 2\text{ V}$ ,  $E_1 = E_2 = 4\text{ V}$ ,  $f_1 = 1\text{ kHz}$  et  $f_2 = 5\text{ kHz}$ .



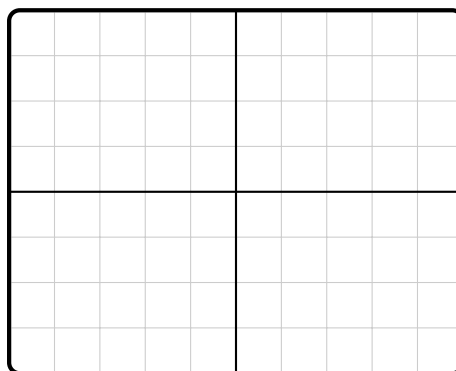
En utilisant le GBF gris pour le signal de plus basse fréquence et le GBF bleu pour celui de plus haute fréquence, générer le signal  $s(t)$ .

**Utilisation du multiplieur :**

- ▷ il doit être alimenté par une source continue  $\pm 15\text{ V}$  ;
- ▷ il dispose de cinq entrées, et renvoie en sortie la tension  $s = k(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2) + Z$  : il est donc nécessaire de relier à la masse les trois entrées  $X_2, Y_2$  et  $Z$ .

Comme les signaux sinusoïdaux sont produits par deux GBF différents dont les fréquences ne peuvent pas être parfaitement réglées et synchronisées, le signal  $s$  ne peut pas être rigoureusement périodique, ce qui complique son observation à l'oscilloscope : utiliser la touche **Run/Stop** pour l'observer (ce qui n'est en général pas la méthode à utiliser!).

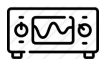
✎ Allure du signal  $s$  observé à l'oscilloscope :



## II - Spectres numériques

### II.A - Étude du spectre après numérisation par la carte Sysam

La carte SYSAM est constituée de quatre CAN de calibre 5 V et de fréquence d'échantillonnage réglable (mais toujours inférieure à 10 MHz. Elle comporte aussi un CNA échantillonnant à 5 MHz. Les signaux numérisés seront visualisés sur l'ordinateur grâce au logiciel LatisPro, qui permet également de piloter la carte d'acquisition. Il est possible de régler séparément le nombre d'échantillons, la période d'échantillonnage et la durée d'acquisition.



Commencer par choisir des paramètres d'acquisition permettant d'obtenir une image du signal voisine de celle observée à l'oscilloscope précédemment. L'acquisition se lance en appuyant sur la touche F10.

Une fois l'acquisition réalisée, le spectre du signal numérisé s'obtient par le menu Traitements → Calculs spécifiques → Analyse de Fourier. La fenêtre qui s'ouvre propose d'ouvrir un menu d'options avancées, dans lesquelles on choisira d'afficher le résultat sur l'intervalle  $[0, f_e]$ .



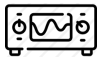
✎ Le spectre est-il conforme au spectre théorique? Expliquer les différences en lien avec les phénomènes présentés en cours.

Vérifier les valeurs des fréquences

Réplication spectrale

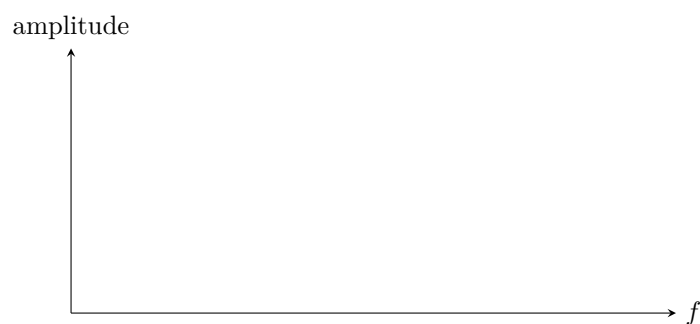
Largeur des pics, ou petits pics parasites = fuites spectrales

Espace 2

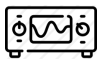


Proposer et mettre en œuvre un protocole permettant d'observer le phénomène de repliement spectral. Interpréter chaque pic présent dans le spectre : s'agit-il d'une fréquence présente dans le spectre du signal analogique ou d'une réplique?

✎ Allure du spectre observé :



## II.B - Étude du spectre après numérisation par l'oscilloscope



La fréquence d'échantillonnage de l'oscilloscope est directement contrôlée par le bouton tournant d'échelle horizontale : contrairement aux apparences, **ce bouton n'est PAS un zoom**, mais modifie directement les paramètres de l'acquisition. Elle est indiquée en bas de l'écran en nombre d'échantillons par seconde, de symbole MS/s (parfois kS/s) pour « megasamples per second », ce qui équivaut à des MHz.

✎ Comment faut-il régler l'échelle temporelle de l'oscilloscope pour observer convenablement le spectre?

Il faut que la base de temps permette d'observer un grand nombre de périodes, sinon la résolution du spectre  $1/T_a$  n'est pas suffisante pour distinguer les différentes harmoniques.

Espace 3

✎ Reproduire l'expérience conduisant à du repliement spectral. Qu'observe-t-on?

Rien de radicalement différent! Il y a aussi du repliement spectral.

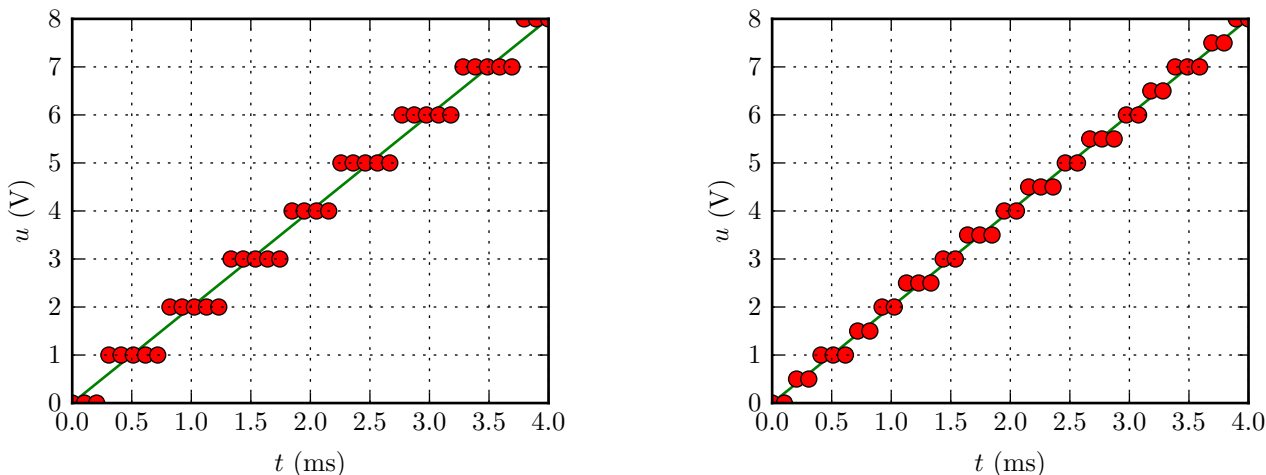
Espace 4

### III - Quantification par la carte Sysam

**Rappel de vocabulaire :**

- ▷ Le **pas** ou **quantum de quantification**  $q$  est l'écart (en volt) entre deux valeurs binaires successives.
- ▷ Le **calibre**  $C$  donne la gamme de valeurs  $\pm C$  que le signal numérisé est susceptible de prendre. La valeur  $2C$ , c'est-à-dire la largeur de l'intervalle de valeurs permises, est la **tension de pleine échelle** du CAN.
- ▷ La **résolution**  $N$  indique le nombre de bits sur lequel le signal numérisé est codé :  $2^N$  valeurs sont possibles dans l'intervalle  $[-C, +C]$ , ou autrement dit cet intervalle est divisé en  $2^N - 1$  intervalles de largeur identique.

**Illustration :** L'influence du pas de quantification sur le signal numérisé est représenté figure 1.



**Figure 1 – Deux exemples de numérisation d’une même tension.** Le signal analogique est représenté en trait plein bleu, le signal numérisé par les points verts. Dans les deux cas la période d’échantillonnage est de 0,1 ms. Sur la figure de gauche le pas de quantification vaut 1 V alors qu’il vaut 0,5 V sur la figure de droite.

✍ Exprimer le pas de quantification  $q$  en fonction du calibre et de la résolution exprimée en bits.

$$p = \frac{2C}{2^N - 1} \simeq \frac{C}{2^{N-1}}$$

Espace 5



Proposer et mettre en œuvre un protocole permettant de déterminer la résolution de la carte Sysam.

Imposer une tension triangulaire basse fréquence, échantillonnée à fréquence suffisamment élevée pour voir apparaître les groupements par palier des échantillons.

$$\ln p = \ln C - (N - 1) \ln 2 \text{ d'où on déduit } N = 1 + \frac{\ln C - \ln p}{\ln 2}$$

A priori on doit trouver 10 bits.

Espace 6