

# Électronique numérique et filtre actif d'ordre 2

A la fin de ce TP, vous devez savoir :

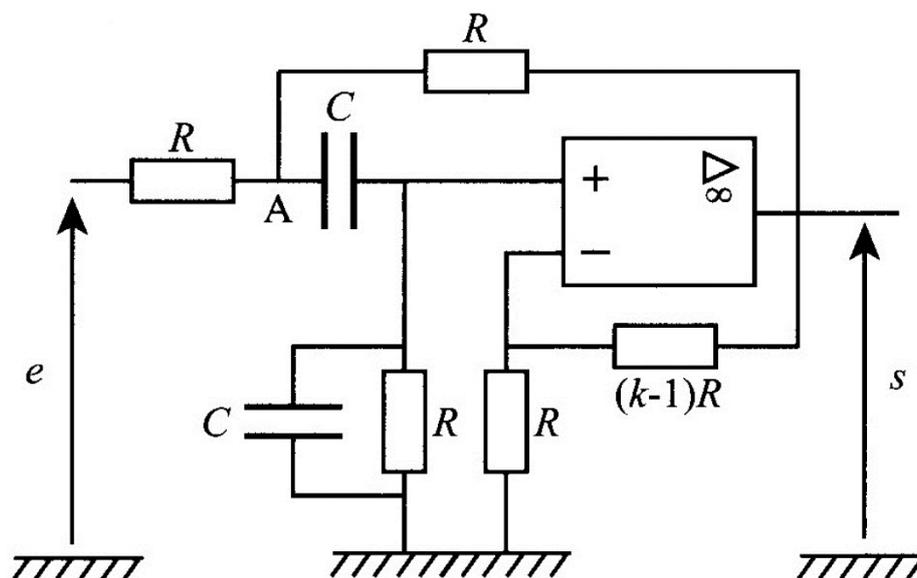
- Déterminer les caractéristiques d'un filtre, en estimant leurs incertitudes-types (incertitude de type B, avec certaines incertitudes composées)
- Choisir les paramètres d'une acquisition numérique (fréquence d'échantillonnage  $f_e$  et durée totale d'acquisition  $T_a$ ) pour respecter le critère de Nyquist-Shannon et optimiser la résolution spectrale.
- Rédiger un compte-rendu de TP.

Ce TP est accompagné d'une fiche-méthode sur la rédaction d'un compte-rendu de TP, d'une fiche-méthode sur les incertitudes et d'un polycopié de type "cours" sur l'échantillonnage qui rassemble les résultats théoriques.

## I Détermination des caractéristiques d'un filtre actif d'ordre 2 et incertitudes-types (1h30)

Dans cette partie du TP, j'attends que vous rédigiez un compte-rendu soigné.

Dans cette partie, on étudie le filtre de Sallen-Key suivant :



Une étude théorique montre que la fonction de transfert se met sous la forme :

$$\underline{H} = \frac{H_0}{1 + jQ \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)} \quad \text{avec} \quad H_0 = \frac{k}{5 - k} \quad \text{et} \quad \omega_0 = \frac{\sqrt{2}}{RC} \quad \text{et} \quad Q = \frac{\sqrt{2}}{5 - k}$$

## I.1 Réalisation du montage expérimental

On décide d'étudier ce filtre pour  $R = 10 \text{ k}\Omega$  et  $C = 100 \text{ nF}$ . La valeur de  $k$  est choisie à l'aide d'un potentiomètre variable (= résistance variable) ; on notera  $R_v$  la valeur de la résistance variable, de telle sorte que  $R_v = (k - 1)R$ .

- Régler le potentiomètre pour qu'on ait environ  $R_v \simeq 30 \text{ k}\Omega$ .
- Une partie du montage électrique est déjà réalisée. L'objectif ici est de comprendre la manière dont elle a été réalisée. A l'aide d'un code couleur, colorier chaque fil électrique du schéma de la couleur de la gaine du fil électrique réel utilisé.
- L'ALI est un composant actif : il doit être alimenté par un potentiel  $+V_{\text{sat}} \simeq 15 \text{ V}$  et par un potentiel  $-V_{\text{sat}} \simeq -15 \text{ V}$ . Alimenter l'ALI par le biais de l'alimentation stabilisée.
- Terminer le montage électrique en câblant le GBF et l'oscilloscope.

## I.2 Étude expérimentale du filtre

- Déterminer la nature du filtre à l'aide d'une rapide étude expérimentale.
- Proposer un protocole de mesure de la fréquence propre  $f_0$  du passe-bande utilisant le gain et un autre utilisant la phase. Mettre en oeuvre ces protocoles puis conclure sur la méthode de mesure minimisant les incertitudes. Estimer alors l'incertitude-type  $u(f_0)$  sur la mesure la plus précise.
- Mesurer également le gain statique  $H_0$ . (Je n'attends pas d'incertitude sur  $H_0$ .)
- Mesurer la largeur de la bande-passante en fréquences  $\Delta f$  et estimer une incertitude  $u(\Delta f)$ .
- En déduire la valeur du facteur de qualité  $Q$  et l'incertitude associée  $u(Q)$ .

### Analyse des valeurs des grandeurs caractéristiques du filtre :

- Comparer les valeurs expérimentales de  $H_0$ ,  $f_0$  et  $Q$  aux valeurs modélisées. En cas d'incompatibilité, proposer une source d'explication.

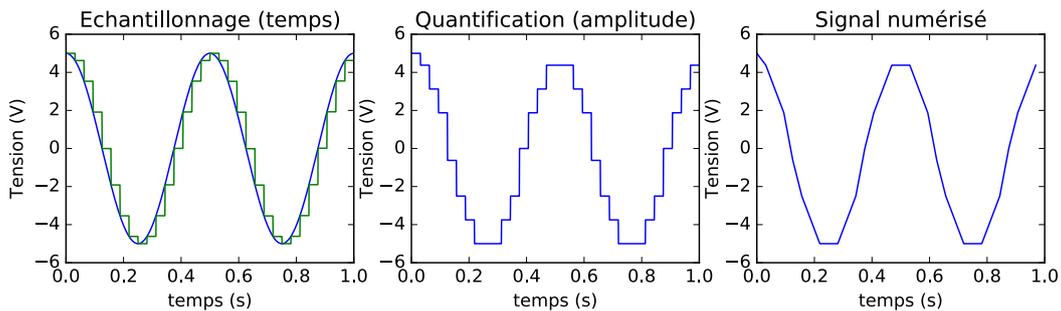
## II Électronique numérique

L'objectif de cette partie n'est pas la rédaction du compte-rendu. Je vous laisse prendre suffisamment de notes pour que tout soit clair pour vous et que vous vous souveniez de vos conclusions.

### II.1 Pourquoi numériser ?

Un signal *analogique* est un signal continu en temps et en amplitude.

Un signal *numérique* est un signal discret en temps et en amplitude : il est échantillonné et quantifié.



La plupart des signaux physiques (la tension aux bornes d'un dipôle ou le son émis par un instrument de musique par exemple) sont par nature analogiques. Pourquoi les numérise-t-on ?

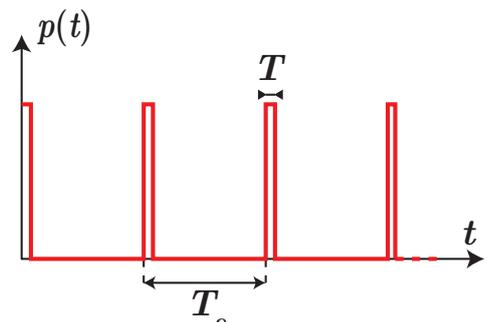
Si l'on souhaite stocker le signal, la capacité de stockage étant limitée, il est obligatoire d'échantillonner et de quantifier le signal. De plus, la numérisation permet des traitements numériques variés (filtrage par exemple) et facilement modifiables : pas besoin de changer ou d'ajouter des composants comme en électronique analogique, une modification de l'algorithme de traitement suffit. Enfin, même pour transmettre une information (radio, télé, internet...), les transmissions numériques permettent d'augmenter la qualité de transmission de l'information en réduisant les problèmes liés aux conditions de propagation, notamment la sensibilité au bruit (on ne transmet que des 0 ou des 1). De plus elle nécessite une plus faible puissance d'émission.

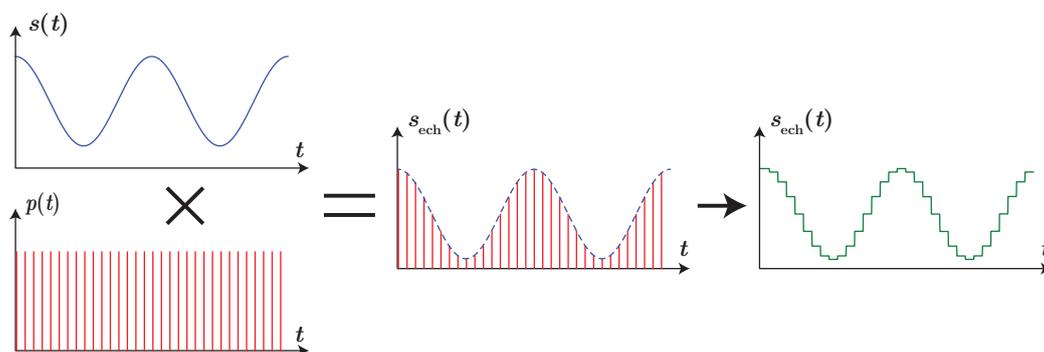
Dans la suite du TP, on ne s'intéresse qu'à la première phase de la numérisation : l'échantillonnage du signal.

### II.2 Echantillonnage

#### a Principe de l'échantillonnage

On considère un signal analogique  $s(t)$ . L'idée consiste à utiliser un interrupteur parfait que l'on ferme pendant un intervalle de temps très court puis que l'on ouvre pendant  $T_e$ . On prélève ainsi les valeurs  $s(nT_e)$ ,  $n \in \mathbb{Z}$ .  $T_e$  est la période d'échantillonnage et  $f_e = \frac{1}{T_e}$  est la fréquence d'échantillonnage.





Le signal échantillonné  $s_{ech}$  peut donc être considéré comme une suite de valeurs discrètes de  $s(t)$ .

**Critère pour réaliser un échantillonnage correct :** On sait que tout signal est caractérisé par son spectre. Ainsi :

**Un échantillonnage bien réalisé ne doit pas détériorer le signal. En particulier il doit conserver le spectre de  $s(t)$  et il doit permettre de restituer ce spectre en fin d'opérations.**

### b Mise en évidence qualitative de l'importance de la fréquence d'échantillonnage par une analogie stroboscopique

On considère un disque blanc avec un rayon noir ; le disque tourne dans le sens horaire à la fréquence  $f = 1/T$ . On éclaire au stroboscope ce disque à la fréquence  $f_e$ , *i.e.* on l'éclaire périodiquement (période  $T_e$ ) avec des flashes très courts (de durée  $\ll T_e$ ).

	0											T	>	
$f_e=6f$ :														
$f_e=3f$ :														
$f_e=2f$ :														
$f_e=3f/2$ :														
$f_e=6f/5$ :														
$f_e=f$ :														
$f_e=6f/7$ :														

- Pour  $f_e = 6f$ , pendant  $t \in [0, 2T]$ , on voit 12 images : le disque tourne dans le sens horaire et on a une bonne "représentation" de sa rotation. De plus, on voit qu'il fait un tour tous les 6 éclairs du stroboscope, soit en  $6T_e$ , ce qui correspond bien à sa vitesse de rotation réelle.
- Pour  $f_e = 2f$ , pendant  $t \in [0, 2T]$ , on voit 4 images : on ne peut pas savoir dans quel sens tourne le disque ! Par contre il fait un tour en  $2T_e$  et la conclusion est la même que précédemment.

- Pour  $f_e = 3f/2$ , pendant  $t \in [0, 2T[$ , on voit 3 images. Le disque semble tourner en sens inverse, et il fait un tour en  $2T$ , on a donc une fréquence apparente  $f_{app} = f/2$ . Dans ce dernier cas, on dit qu'on *sous-échantillonne* le phénomène. On observe cela fréquemment à la télévision ou au cinéma : <http://www.youtube.com/watch?v=jHS9JGkEOmA>

### c Étude expérimentale de l'échantillonnage via une acquisition numérique avec la platine Sysam (30 min)

On cherche ici à tracer le spectre d'un signal sinusoïdal de fréquence 10.1 kHz et d'amplitude  $10V_{pp}$ .

- Représenter graphiquement sur votre compte-rendu le spectre théorique de ce signal.
- Réaliser l'acquisition de ce signal via la platine Sysam d'Eurosmart connectée au logiciel LatisPro. On fera l'acquisition sur une dizaine de périodes en imposant 1024 points de mesure. Faire calculer le spectre (cf. aide ci-dessous) et comparer au résultat théorique.

Deux options de LatisPro vont nous intéresser dans ce TP :

1. Calcul du spectre : Traitement > Calculs spécifiques > Analyse de Fourier
  2. Affichage des points sur les courbes (temporelle et spectrale, faites le pour les deux) : Cliquez droit sur le nom de la courbe au niveau de l'axe du graphe > Propriétés > Style
- Continuer d'imposer 1024 points de mesure mais réaliser différentes acquisitions en augmentant la période d'échantillonnage de  $10\mu s$  à  $100\mu s$ . Quels sont les deux effets que vous observez ?
  - Dans le cas d'une période d'échantillonnage de  $100\mu s$ , mesurer directement la fréquence du signal sur le graphe temporel. Confronter votre mesure avec le spectre calculé par LatisPro et avec la fréquence imposée par le GBF. Comment interpréter ce résultat ?

### d Réalisation d'une analyse spectrale avec l'oscilloscope numérique (45 min)

L'oscilloscope numérique réalise une analyse spectrale grâce à un traitement numérique des données par l'algorithme de transformée de Fourier rapide (Fast Fourier Transform, ou FFT). Cette analyse spectrale est disponible dans le menu MATH de l'oscilloscope.

#### i) Fonctionnement de la FFT

1. L'oscilloscope fait l'acquisition de  $N$  points ( $N = 64\,000$  dans le cas du DSOX2002A) espacés de  $T_e$ . On en déduit donc que la durée totale de l'acquisition affichée sur l'écran de l'oscilloscope est  $T_a = N \times T_e$ .
  2. L'algorithme de calcul de la FFT suppose que le signal acquis est  $T_a$ -périodique.
  3. L'algorithme calcule le spectre en amplitude de ce signal  $T_a$ -périodique. Il n'affiche à l'écran que les fréquences entre 0 et  $f_e/2$ .
- Pourquoi l'oscilloscope se contente-t-il d'afficher le spectre entre 0 et  $f_e/2$  ?

**Remarque :** Dans le mode FFT de l'oscilloscope, vous pouvez aisément zoomer sur votre spectre (changer la plage et la fréquence centrale affichée). Cela est juste une question d'affichage et ne modifie en rien la valeur de  $f_e$ .

- Comment modifier la valeur de  $T_e$  à partir des boutons de l'oscilloscope ?

Dès que vous affichez un spectre sur l'oscilloscope, prenez l'habitude de :

1. Choisir une échelle verticale en tension efficace, et non en dBV : Autre FFT > Unité verticale : V RMS.
2. Imposer à l'oscilloscope d'afficher tous les points calculés du spectre entre 0 et  $f_e/2$  (annule l'opération de zoom) : Autre FFT > Config auto. Ceci vous permet donc de connaître la fréquence d'échantillonnage.

### ii) Manipulation : FFT d'un signal sinusoïdal

- Signal sinusoïdal à  $f_s = 100$  kHz
- Echantillonnage à  $f_e = 500$  kHz
- Augmenter la fréquence du signal à l'aide de la molette du GBF par pas de 10 kHz jusqu'à 700 kHz

### iii) Manipulation : FFT d'un signal triangulaire

- Signal triangle à  $f_s = 24$  kHz
- Choisir une fréquence d'échantillonnage permettant d'observer correctement les 5 premières harmoniques du signal.
- Mesurer la fréquence des harmoniques 1, 3 et 5, ainsi que leur amplitude (en mV). Vérifier que les composantes spectrales du signal triangle évoluent en  $1/n^2$ .

### iv) Manipulation : FFT d'un signal créneau

- Signal créneau à  $f_s = 24$  kHz
- Choisir les paramètres d'acquisition optimaux pour observer le spectre de ce signal.
- Mesurer la fréquence des harmoniques 1, 3 et 5, ainsi que leur amplitude (en mV). Vérifier que les composantes spectrales du signal créneau évoluent en  $1/n$ .