



Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg  
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

---

# Signaux & Systèmes Électroniques

Laboratoire 02 : Théorème de l'échantillonnage & filtrage

---

*Auteur :*

Marc ROTEN

Vincent VONLANTHEN

*Professeur :*

Daniel OBERSON



3 décembre 2018

# 1 Introduction

Le but de ce travail est de nous familiariser avec différents concepts tels que le théorème d'échantillonnage, appelé aussi théorème de Nyquist-Shannon, ainsi qu'avec la notion de filtrage (passe-haut, passe-bas, et j'en passe...). Nous allons donc réaliser un petit montage pour les expérimenter et en déduire leur fonctionnement.

## 2 Théorème de l'échantillonnage

### 2.1 Mesure

L'oscilloscope a été fixé sur une fréquence de  $1kS/s$  et notre générateur de fréquence sur une fréquence 10x plus basse, comme demandé, de  $100Hz$  et  $500mV_{pp}$ .

### 2.2 Observations

L'erreur de ne pas changer l'impédance sur l'oscilloscope, fixé à  $1M\Omega$ , a été commise et notre mesure fut inférieure à ce à quoi l'on pouvait s'attendre. En effet, si l'on n'adapte pas la résistance, elle se met en diviseur de tension par rapport à la résistance interne de notre générateur de fréquence.

Suite à cette correction et à l'adaptation en  $50\Omega$ , on constate, sur notre oscilloscope, que les mesures sont correctes vis-à-vis des résultats attendus.

- **Mesure Fréquence :**  $F_{in} = 100Hz$  et  $F_{observée} = 100,1596Hz$
- **Mesure de  $V_{pp}$  :**  $V_{pp_{in}} = 500mV_{pp}$  et  $V_{pp_{Observée}} = 500mV_{pp}$

### 2.3 Conclusion Théorème échantillonnage

On augmente la fréquence jusqu'à ce que l'on retombe sur notre fréquence. On retrouve notre fréquence à  $900Hz$  comme on peut le constater sur la figure 3

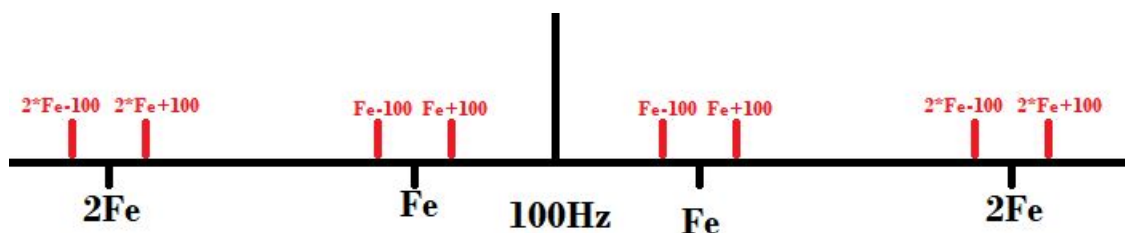


FIGURE 3 – Schéma de compréhension

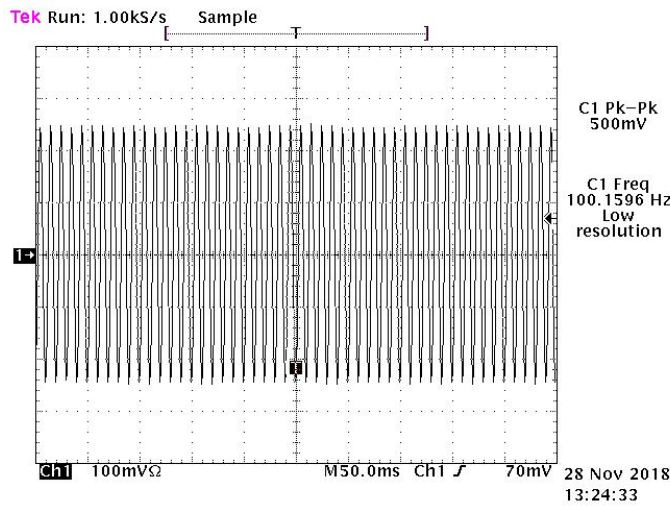


FIGURE 1 – Capture avec 100Hz en entrée

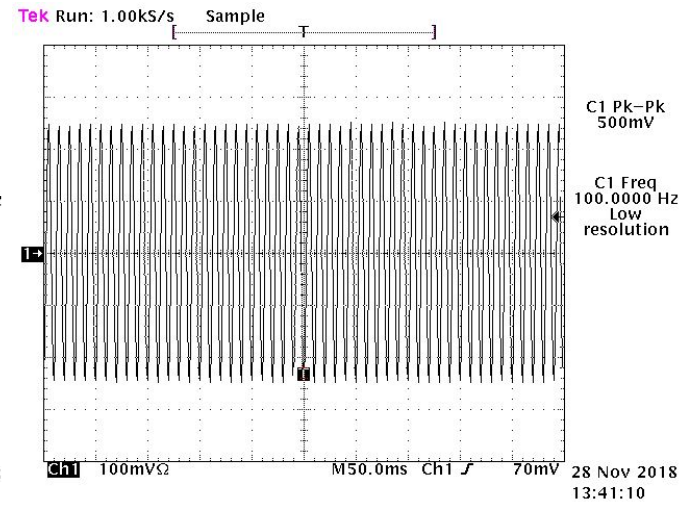


FIGURE 2 – Capture avec 900Hz en entrée

On remarque en Figure 3 que nous retrouvons notre fréquence de base à tous ses multiples plus ou moins notre fréquence. C'est à dire que pour une fréquence de 100 Hz et une fréquence d'échantillonnage de 1000Hz, on la retrouvera à 900, 1100, 1900, 2100 et ainsi de suite...

On en déduit donc que la fréquence d'échantillonnage doit être adaptée à la fréquence mesurée. En effet si on n'adapte pas cette fréquence, on peut avoir des mesures erronées, cf Figure 1 et 2, où à deux fréquences différentes, respectivement 100 et 900, on obtient exactement le même résultat à l'affichage.

On en conclut donc que :  $F_{\text{échantillonnage}} < \frac{F_{\text{entrée}}}{2}$

### 3 Le filtrage

Pour effectuer le filtrage les paramètres de base donnés sont les suivants :

- $R = 1k\Omega$
- $RC = 40\mu s$

Ce qui a permis de trouver la capacité nécessaire à notre montage grâce à la formule suivante :

$$C = \frac{RC}{R} = \frac{40 * 10^{-6}}{1000} = 40 * 10^{-9} = 40nF$$

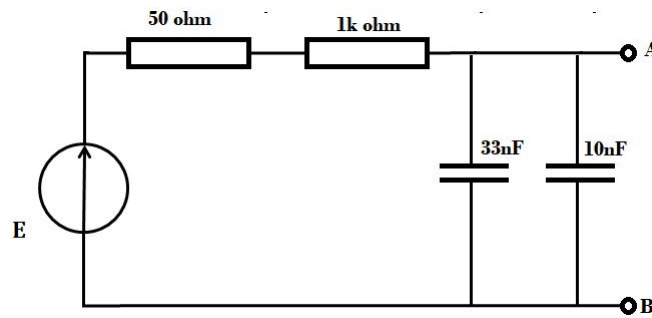


FIGURE 4 – Schéma de notre montage

Avec le matériel à notre disposition, nous avons choisi de mettre en parallèle deux condensateur de  $33nF$  et de  $10nF$ , ce qui nous donne donc une capacité de  **$43nF$** , et de prendre notre tension aux bornes de ce dernier. Sur notre oscilloscope nous allons donc voir sur le channel 1 la tension d'entrée  $U_{in}$  et sur le channel 2 la tension de sortie  $U_{out}$  afin de mesurer le rapport  $\frac{U_{out}}{U_{in}}$

### 3.1 Calcul Décibels

$$dB = 20 * \log_{10}\left(\frac{U_{out}}{U_{in}}\right)$$

$$\frac{dB}{20} = \log_{10}\left(\frac{U_{out}}{U_{in}}\right)$$

$$10^{\frac{dB}{20}} = \frac{U_{out}}{U_{in}}$$

### 3.2 Atténuation de 3dB et de 20dB

On reprend la formule du point 4.1 avec nos 3 dB.

$$\frac{U_{out}}{U_{in}} = 10^{\frac{3}{20}} = 1.412$$

On constate une atténuation de plus ou moins 3dB à 4kHz, soit 4 fois la fréquence de base observée. Voir Figure 7 en annexe en page 6.

On reprend la formule du point 4.1 avec nos 20 dB.

$$\frac{U_{out}}{U_{in}} = 10^{\frac{20}{20}} = 10$$

On constate qu'à  $50kHz$ , il se produit une atténuation de 20 dB. Ce qui représente 50 fois notre signal d'entrée. Voir Figure 8 en annexe en page 6.

### 3.3 Affichage rapport Uout sur Uin

Fréquence kHz	Uin(C1) mv	Uout (C2) mv	Rapport Uout/Uin
1	500	488	0.976
4	496	356	0.718
7	496	248	0.500
10	496	192	0.387
13	496	152	0.306
16	496	128	0.258
19	496	112	0.226
22	496	96	0.194
25	496	88	0.177
28	496	80	0.161
31	492	72	0.146
34	492	68	0.138
37	492	60	0.122
40	488	48	0.098

FIGURE 5 – Tableau des mesures

On retrouve ci-contre le tableau des différentes mesures effectuées. Dans la première colonne on retrouve la fréquence et dans la deuxième la tension d'entrée en mV, stable à 500mV, mais qui subie quelques variations dues uniquement au générateur de fréquence.

Les valeurs qui nous intéressent sont dans les deux autres colonnes. On remarque que, plus on augmente la fréquence, plus la tension Uout diminue. De ce fait, le rapport  $\frac{U_{out}}{U_{in}}$  diminue. On peut le constater sur le graphique Matlab en Figure 6 qui nous montre l'évolution du rapport  $\frac{U_{out}}{U_{in}}$  en fonction de la fréquence.

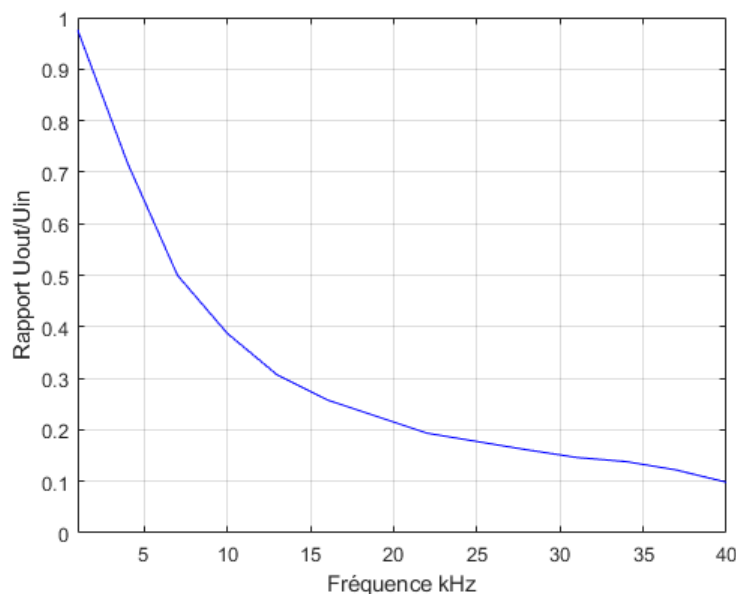


FIGURE 6 – Schéma de compréhension

On voit en Figure 6 que plus on augmente en fréquence, plus le dit-rapport diminue. On a parlé en cours de filtre passe-haut, passe-bas, passe-bande. Mais quel type de filtre est-ce? Nous sommes en face d'un filtre de type passe-bas. En effet, on voit que l'amplitude (le rapport  $\frac{U_{out}}{U_{in}}$ ) est maximale. Contrairement à un filtre passe-haut où la courbe serait inversée.

## 4 Annexe

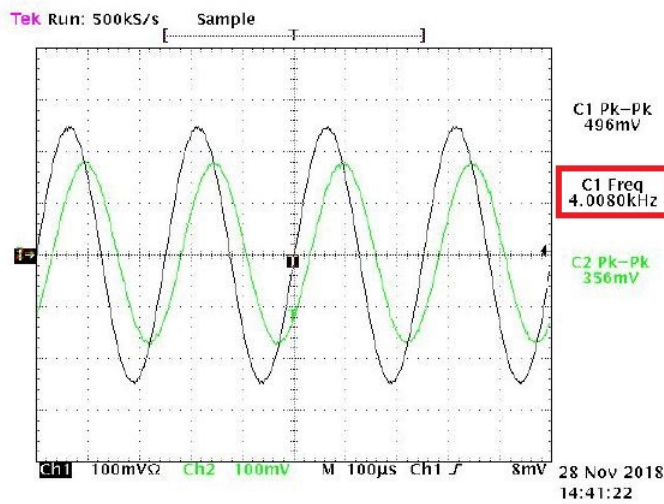


FIGURE 7 – Atténuation de 3 dB

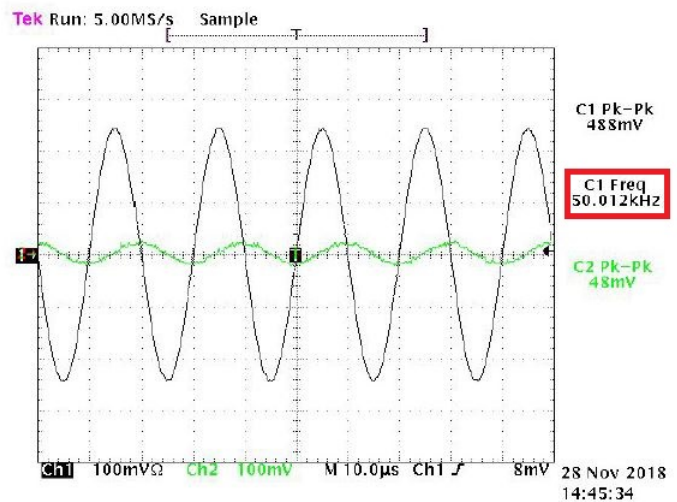


FIGURE 8 – Atténuation de 20dB

## 5 Matériel utilisé

- Un générateur Keysight 33500B Series
- Un oscilloscope Tektronix TDS 744A *impédance* =  $50\Omega$
- Deux condensateurs de  $33nF$  et  $10nF$
- Une résistance de  $1K\Omega$

## 6 Conclusion

Avec ce travail pratique, nous avons pu déduire le fonctionnement du théorème de l'échantillonnage. Nous avons donc compris que quand il s'agit de capturer de signal à l'oscilloscope, il est nécessaire d'adapter la fréquence d'échantillonnage pour éviter les erreurs. Comme constaté au point 2.3 de ce TP, il est possible, si la fréquence d'échantillonnage n'est pas adaptée, d'avoir un signal qui nous semble correct à l'oscilloscope mais qui, en vrai, peut être totalement erroné.

On a pu aussi, en fonction de la courbe du rapport  $\frac{U_{out}}{U_{in}}$  déterminer le type de filtre mis en place. Ce qui nous a permis d'améliorer nos connaissances sur les notions de filtrage, de filtre passe-haut et de filtre passe-bas.