

TP 11 de Physique : Échantillonner correctement un signal analogique

Capacités exigibles :

- Maîtriser, connaître et savoir démontrer la condition de Shannon
- Savoir interpréter/exploiter le spectre d'un signal échantillonné
- Connaître l'utilité du filtre anti-repliement et savoir déterminer sa fréquence de coupure
- *Mettre en œuvre un convertisseur analogique numérique (CAN) et relever la caractéristique de transfert, la pleine échelle, le temps de conversion et la fréquence d'échantillonnage*

Capacités expérimentales :

- Réaliser une acquisition d'un signal grâce à Python ou à LATISPRO.
- Réalisation et exploitation de spectre à partir de la carte SYSAM SP5

A faire à la maison : préparer l'ensemble de l'appel 0

1. Compléter l'annexe 0 du TP 11.

En vous aidant du paragraphe I du chapitre 06 :

2. A l'aide des signaux présents sur l'annexe 01, compléter les pointillés présents sur cette annexe avec le vocabulaire suivant : « continue » ou « discret ».

APPEL 0 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.I. Échantillonnage d'un signal sinusoïdal alternatif :A. Étude du signal analogique :

On souhaite échantillonner le signal analogique $s(t)$ de fréquence f , dont la représentation temporelle est donnée en *annexe 02*.

3. Compléter l'ensemble de l'annexe 02.
4. A l'aide de votre travail en *annexe 02*, déterminer la valeur de f_{max} pour le signal $s(t)$.
5. Compléter la troisième et la quatrième ligne du tableau de l'annexe 03.
6. A l'aide du critère de Nyquist-Shannon, compléter la cinquième ligne du tableau de l'annexe 03.

B. Première acquisition du signal échantillonné $s_e(t)$:

Régler le GBF Hameg afin de créer le signal analogique $s(t)$, dont la représentation temporelle est donnée en *annexe 02*. **La sortie OUTPUT du GBF doit être sur OFF.**

La carte d'acquisition SYSAM-SP5 possède un numériseur en son sein : elle est donc capable d'échantillonner les signaux analogiques. Connectez-la au GBF, afin de réaliser l'acquisition du signal $s(t)$ sur la voie EA0.

Ouvrir le logiciel EduPython puis ouvrir le fichier nommé « TP11_echantillonnage.py ».

Ce script permet d'acquérir le signal analogique $s(t)$ sur la voie EA0, en affichant en fin d'acquisition la représentation temporelle du signal $s_e(t)$ et sa représentation fréquentielle.

Dans le script, repérer la ligne permettant de régler la fréquence d'échantillonnage et la mettre sur $f_e = 5000 \text{ Hz}$.

APPEL 1 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

Exécuter le script afin d'échantillonner le signal $s(t)$ sur la voie EA0 : on obtient la représentation temporelle et la représentation fréquentielle de $s_e(t)$. En se déplaçant sur le spectre obtenu à l'aide de la souris, le logiciel indique les coordonnées du curseur. On pourra utiliser la fonction Zoom pour réduire les incertitudes.

7. Reproduire le spectre observé pour $s_e(t)$ sur l'annexe 04, en indiquant les coordonnées (avec leurs unités) des sommets de chacune des raies.
8. En comparant le spectre de l'annexe 02 et celui de l'annexe 04, entourer en vert la raie du spectre apparaissant suite à l'échantillonnage, sur l'annexe 04.
9. Donner la nature de filtrage du système ayant comme signal d'entrée, le signal échantillonné (en annexe 04) et permettant d'obtenir en sortie, le signal analogique (en annexe 02).
10. Proposer une valeur pour la fréquence de coupure f_c de ce système.

APPEL 2 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

C. Influence de la fréquence d'échantillonnage :

On nomme f' la fréquence de la raie provenant de l'échantillonnage.

11. Sur l'annexe 03, compléter la colonne $f_e = 5000 \text{ Hz}$.
Conseil : appeler l'enseignant une fois deux colonnes complétées sur l'annexe 03
12. Dans le script, mettre $f_e = 1000 \text{ Hz}$ puis lancer son exécution. Compléter la colonne $f_e = 1000 \text{ Hz}$. Faire de même pour toutes les fréquences f_e indiquées dans le tableau de l'annexe 03.
13. Quelle valeur caractéristique du signal analogique perd-on lorsque l'échantillonnage ne se fait pas correctement ?
14. Quelle formule mathématique simple permet d'obtenir f' à partir des fréquences f et f_e ?
15. A partir de quelle valeur de f_e , le filtre proposé précédemment ne permet-il plus de restituer le signal analogique $s(t)$?
16. Afin d'avoir un signal échantillonné le plus proche du signal analogique, comment doit-être la fréquence d'échantillonnage ? A votre avis, quel(s) problème(s) cela peut-il poser ?

APPEL 3 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

D. Pour aller plus loin :

Sur l'annexe 05, le spectre en amplitude d'un nouveau signal analogique noté $s(t)$, est donné.

17. En déduire l'expression temporelle numérique du signal analogique $s(t)$ (on prendra la phase à l'origine pour chaque harmonique, nulle) ainsi que la fréquence du signal analogique $s(t)$.

Dans le logiciel EduPython, ouvrir le fichier nommé « TP11_pour_aller_plus_loin.py ». Compléter les lignes « vides » et lancer l'exécution du script. La fréquence d'échantillonnage est $f_e = 5000 \text{ Hz}$.

En se servant du spectre obtenu comme exemple *et à l'aide du spectre présent en haut de la page 5 du chapitre 06 (et de la fiche méthode 19)*, répondre aux questions suivantes :

18. Sur l'annexe 05, tracer en rouge, les raies issues de l'échantillonnage de ce signal pour une fréquence $f_e = 800 \text{ Hz}$. On pourra appeler l'enseignant pour vérifier son tracé (**on évitera de tenter de trouver la réponse à cette question en utilisant la simulation, le résultat obtenu est faux**).
19. Sur l'annexe 06, tracer en rouge, les raies issues de l'échantillonnage de ce signal pour une fréquence $f_e = 550 \text{ Hz}$. On s'arrêtera à l'abscisse 700 Hz . Vérifier que les raies tracées ont la bonne abscisse à l'aide de la simulation.
20. Sur l'annexe 06, entourer la zone où l'on observe un repliement du spectre.

APPEL 4 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

II. Échantillonnage d'un signal carré alternatif :

A. Représentation fréquentielle du signal analogique :

On étudie le signal analogique carré alternatif $s(t)$, dont la représentation temporelle est donnée en annexe 07.

Document 01 : décomposition en série de Fourier d'un signal carré

Un signal $s(t)$ périodique, carré, d'amplitude U_m , de fréquence f_1 a pour développement en série de Fourier :

$$s(t) = \langle s \rangle + \frac{4U_m}{\pi} \times \cos\left(2\pi f_1 t - \frac{\pi}{2}\right) + \frac{4U_m}{3\pi} \times \cos\left(2\pi \times 3f_1 t - \frac{\pi}{2}\right) + \frac{4U_m}{5\pi} \times \cos\left(2\pi \times 5f_1 t - \frac{\pi}{2}\right) + \dots$$

21. A l'aide d'une étude théorique et du document 01, tracer sur l'annexe 08, la représentation fréquentielle (ou spectre) du signal analogique $s(t)$: on ne tracera que les premiers harmoniques du signal analogique jusqu'au rang $n = 9$. On rédigera un exemple pour l'un des calculs effectués sur sa copie.
22. Que vaut la grandeur f_{max} pour un signal $s(t)$ périodique, carré ?
23. Est-il possible d'échantillonner correctement un signal carré ? Justifier votre réponse.
24. Déterminer le nombre moyen d'échantillons par motif N si la fréquence d'échantillonnage est $f_e = 1050 \text{ Hz}$.

APPEL 5 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

B. Représentation fréquentielle du signal échantillonné $s_e(t)$:

Régler le GBF HAMEG afin de créer le signal analogique carré alternatif $s(t)$, dont la représentation temporelle est donnée en annexe 07. **La sortie OUTPUT du GBF doit être sur ON.**

Sur EduPython, dans le script « TP11_échantillonnage.py », mettre $f_e = 1050 \text{ Hz}$ puis lancer son exécution.

APPEL 6 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

Mettre en plein écran le spectre obtenu et l'enregistrer au format PDF. Ouvrir le PDF et imprimer le au format paysage.

25. Sur votre impression, entourer en rouge, les raies provenant du signal analogique.

26. Sur votre impression, entourer en noir, les raies ayant pour abscisses $f_e - f_n$. On rappelle que $f_n = n \times f_1$

On remarque alors que certaines raies ne sont pas entourées : afin de ne pas trop s'y perdre, on se focalise sur la raie dont l'abscisse est à 1000 Hz .

27. A l'aide d'un calcul, proposer une explication à la présence de cette raie.

APPEL 7 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

C. Filtre anti-repliement :

On applique un filtre passe-bas sur le signal analogique afin d'éliminer certains de ses harmoniques et de pouvoir l'échantillonner correctement à une fréquence $f_e = 1050 \text{ Hz}$.

28. A l'aide de votre impression, déterminer quels sont les rangs des harmoniques posant problème pour l'échantillonnage.

29. On dispose de deux filtres passe-bas de fréquence de coupure $f_c = 600 \text{ Hz}$ ou $f_c' = 750 \text{ Hz}$: lequel faut-il appliquer au signal analogique avant son échantillonnage ?

30. Tracer sur l'annexe 09 :

- en rouge, le spectre du signal analogique filtré
- en noir, les raies dues à l'échantillonnage

Vérifier enfin l'absence de repliement du spectre.

APPEL 8 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

III. Échantillonnage d'un signal audio non périodique :

Proposer une solution technique permettant d'échantillonner correctement/fidèlement un signal audio non périodique. On précisera les valeurs des grandeurs caractéristiques de cette solution.

On rédigera clairement sur sa copie, la solution technique proposée.

APPEL 9 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.