

Capacités exigibles :

- Définir un signal analogique, échantillonné (discret en temps), quantifié (discret en valeur), numérique.
- Représenter et exploiter un spectre d'amplitude et différencier ce qui relève du signal analogique d'origine de ce qui relève de l'échantillonnage.
- Appliquer la condition de Shannon pour un signal à spectre limité. Justifier le rôle du filtre anti-repliement et déterminer sa fréquence de coupure.

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 sur copie double : préparer l'ensemble de l'appel 0

1. Compléter l'annexe 0 du TP 13.

Lire les paragraphes I.A et I.B du chapitre 07

2. Identifier les signaux présents sur l'annexe 01, en utilisant le vocabulaire suivant : « signal analogique » ou « signal échantillonné » ou « signal échantillonné et bloqué ».

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 $s(t)$.

Lire le paragraphe II.A du chapitre 07

5. Compléter la troisième et 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 2. **La sortie OUTPUT du GBF doit être sur OFF.**

A l'aide de la *fiche méthode expérimentale 06*, connecter la carte d'acquisition SYSAM-SP5 afin de réaliser l'acquisition du signal $s(t)$ sur la voie EA0.

A l'aide de la *fiche méthode expérimentale 05*, ouvrir le logiciel PYZO puis ouvrir le fichier nommé « TP13_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 $f_e = 5000$ 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 plus de précision.

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 $f_e = 5000 \text{ Hz}$.
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 $s(t)$.

Lire le paragraphe IV.A du chapitre 07.

Dans le logiciel PYZO, ouvrir le fichier nommé « TP13_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, 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 les 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 PYZO, dans le script « TP13_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 :

Lire le paragraphe II.C du chapitre 07

On applique un filtre passe-bas sur le signal analogique avant 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.

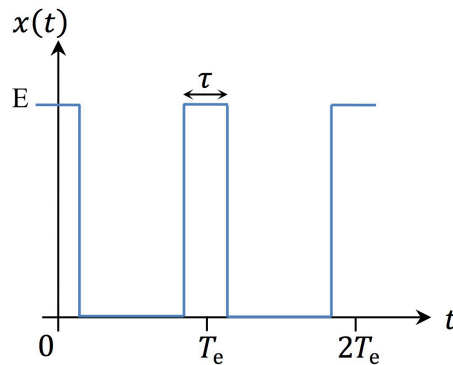
APPEL 8 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.

III. Comment peut-on échantillonner un signal analogique ?

Lire le paragraphe II.D du chapitre 07.

Le signal analogique $s(t)$ que l'on souhaite échantillonner est sinusoïdal alternatif, de fréquence 50 Hz de valeur moyenne $\langle s \rangle = 20 \text{ V}$ et d'amplitude 10 V .

Le signal $x(t)$ nommé « peigne de Dirac » peut être simulé sur Python, en utilisant un signal variable, périodique, rectangulaire dont la représentation temporelle est la suivante :



τ : durée de l'impulsion

On souhaite obtenir un signal « peigne de Dirac » de fréquence $f_e = 500 \text{ Hz}$, de hauteur E .

31. Afin d'obtenir un peigne de Dirac, comment doit-être la durée de l'impulsion τ par rapport à la période d'échantillonnage T_e ?
32. Calculer la période d'échantillonnage T_e (en seconde).
On prend $\tau = 2,0 \mu\text{s}$.
33. Vérifier que cette valeur de τ vérifie la condition de la question 32.
34. Déterminer la valeur du rapport cyclique du signal $x(t)$ « peigne de Dirac ».

Dans le logiciel PYZO, ouvrir le fichier nommé « TP13_peigne_dirac.py ». Compléter les zones « vides » sachant que le « peigne de Dirac » est simulé à l'aide la fonction « sig.square » dont le formalisme est le suivant :

```
sig.square(2*pi*fe*t, rapport cyclique)
```

Lancer l'exécution du script.

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

IV. 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 10 : Appeler le professeur afin qu'il valide et note votre travail.