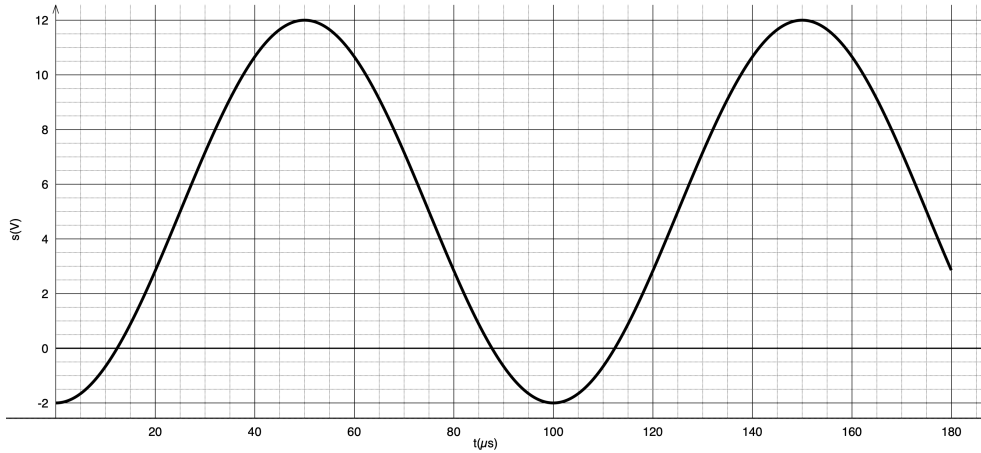


Exercice 01 : échantillonnage simple

On échantillonne le signal analogique  $s(t)$  avec une période d'échantillonnage de  $T_e = 10,0\mu s$  :

1. Tracer en vert, sur la représentation temporelle, les valeurs échantillonnées du signal (la première valeur échantillonnée est à  $t = 0s$ )



2. Déterminer la valeur de la fréquence du signal  $f$  (en Hertz)
3. Déterminer la valeur de la fréquence d'échantillonnage  $f_e$ , dans la même unité.
4. Sur le papier millimétré ci-après, tracer le spectre du signal analogique  $s(t)$ .

5. La condition de Shannon est-elle respectée ici ? Justifier.

6. Déterminer la valeur de la profondeur de mémoire de ce système, notée  $N_{tot}$



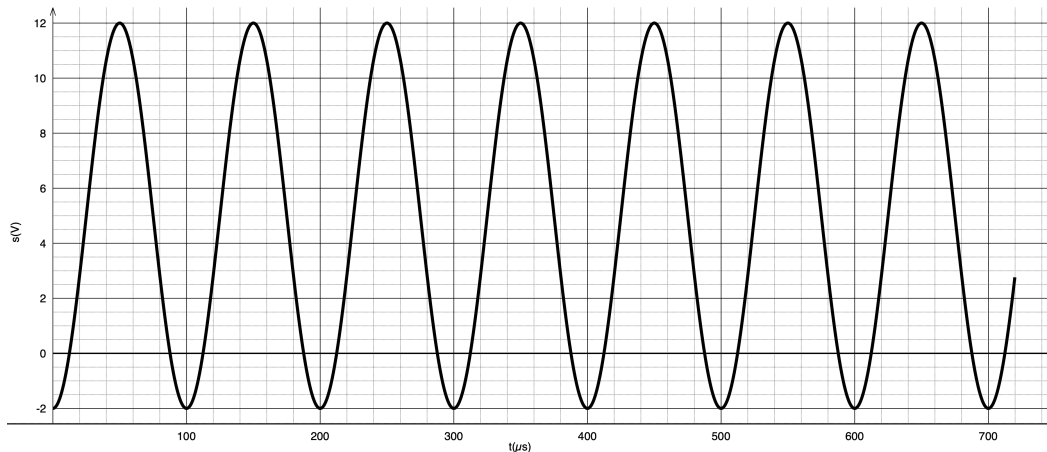
7. Sur le même papier millimétré, tracer le spectre du signal échantillonné  $s_e(t)$ .

A partir du signal échantillonné, on souhaite restituer le signal analogique :

8. Quel type de filtre doit-on utiliser ? Proposer une valeur pour sa fréquence de coupure.

Afin de diminuer le nombre d'échantillons et donc le nombre d'informations stockées, on échantillonne le signal  $s_e(t)$  avec une période d'échantillonnage de  $T_e' = 80,0 \mu s$  :

9. Tracer en vert, sur le graphe ci-dessous, les valeurs échantillonnées du signal (la première valeur échantillonnée est à  $t = 0s$ )



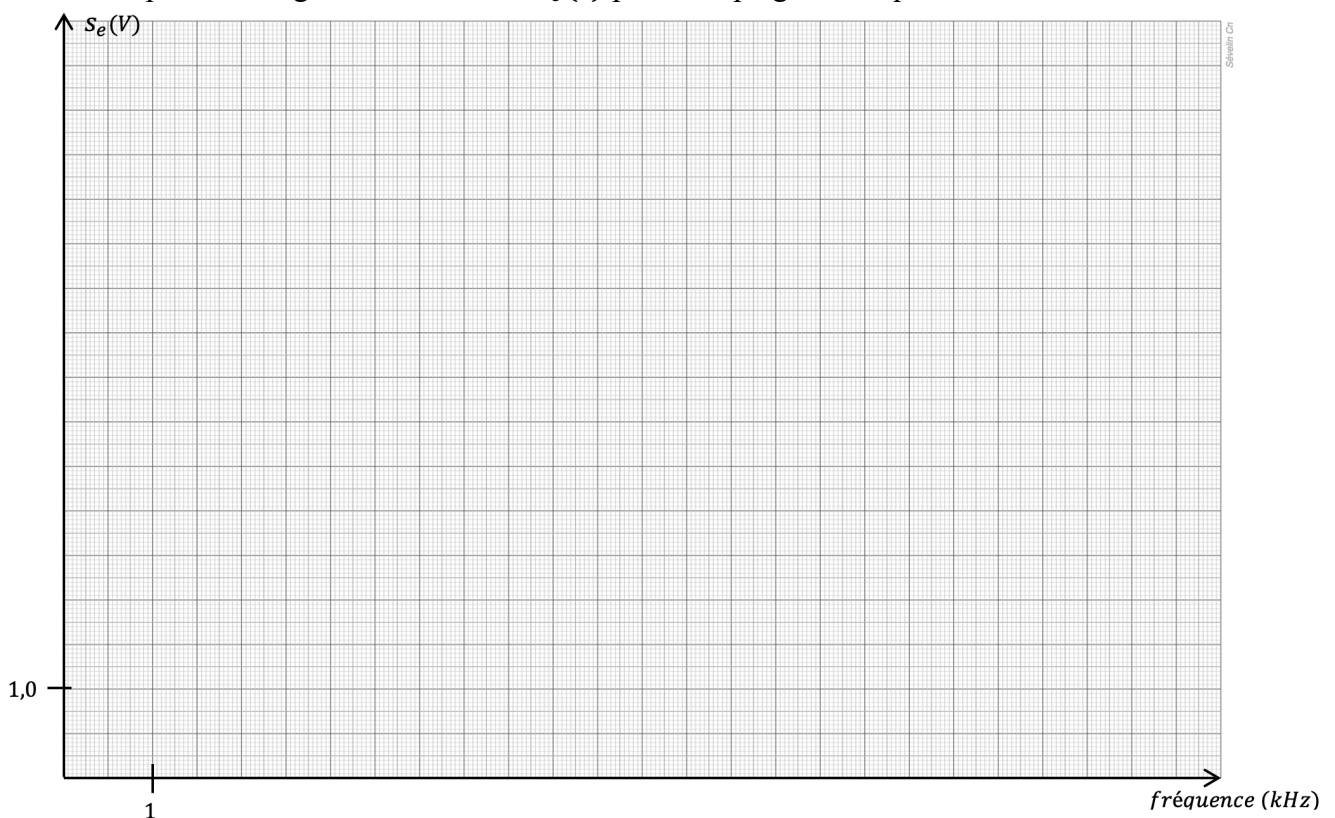
10. Déterminer la valeur de la profondeur de mémoire de ce système, notée  $N'_{tot}$  : a-t-elle évolué ?

11. La condition de Shannon est-elle respectée ici ? Justifier.

12. Déterminer alors graphiquement la période  $T'$  du signal échantillonné. En déduire la valeur de la fréquence  $f'$  du signal échantillonné : est-elle égale à la valeur de la fréquence  $f$  du signal analogique ?

13. Quel lien mathématique existe-il entre  $f'$ ,  $f$  et  $f'_e$  ?

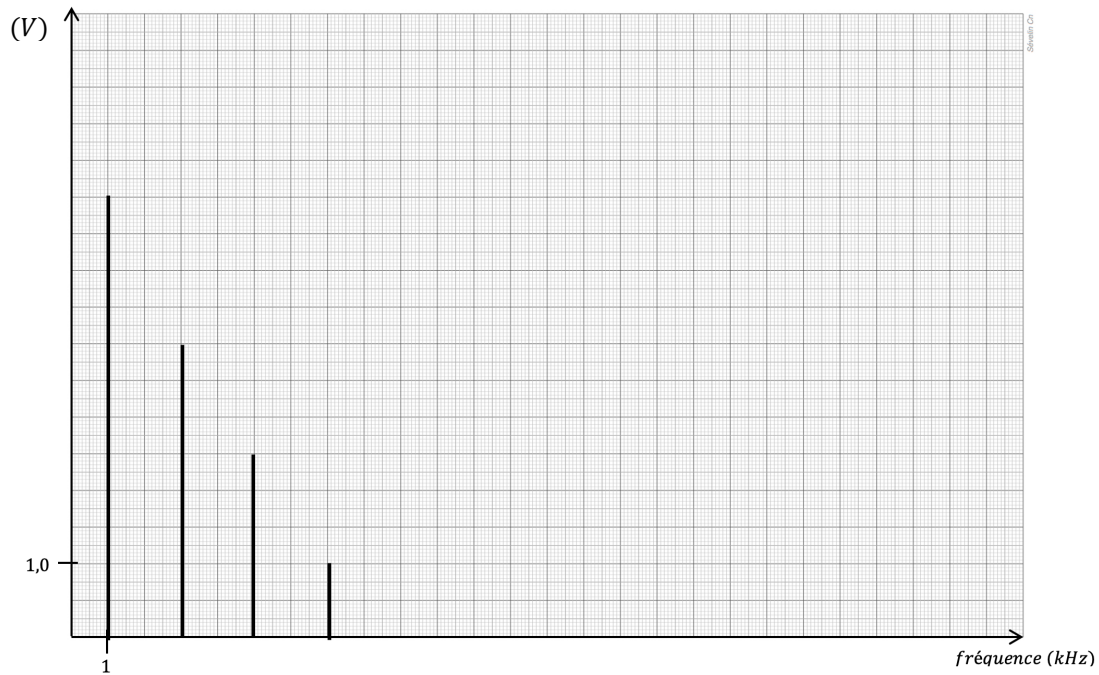
14. Tracer le spectre du signal échantillonné  $s_e(t)$  pour une plage de fréquence allant de 0 Hz à 12,5 kHz.



15. Quel phénomène observe-t-on ici ? Peut-on restituer le signal analogique à partir du signal échantillonné avec le même type de filtre que précédemment ?

Exercice 02 : filtre anti-repliement

On souhaite échantillonner le signal analogique nommé  $s(t)$  dont le spectre est représenté ci-dessous :

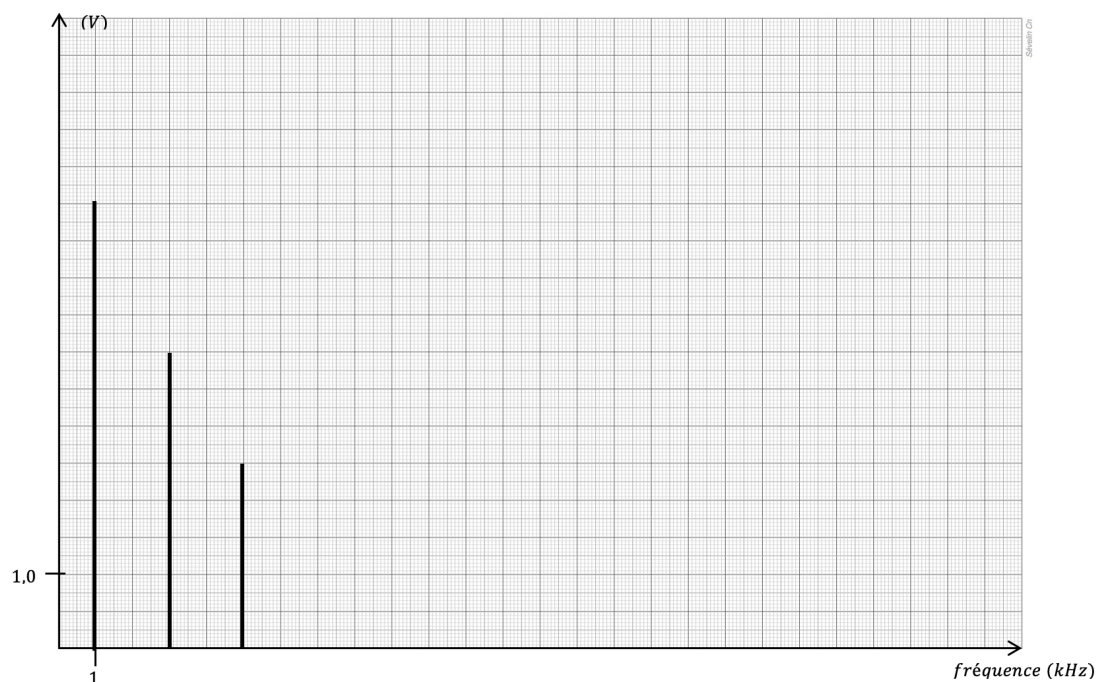


On réalise un échantillonnage simple à la fréquence  $f_e = 13 \text{ kHz}$ .

1. La condition de Shannon est-elle respectée ici ? Justifier.
2. Sur le papier millimétré ci-dessus, tracer le spectre du signal échantillonné.
3. Quel(s) harmonique(s) du signal analogique doit-on éliminer ? Avec quel type de filtre peut-on l'éliminer ? Quelle doit-être sa fréquence de coupure ?

Avant l'échantillonneur, on place un filtre anti-repliement dont la fréquence de coupure est  $f_c = 5,9 \text{ kHz}$ .

4. Quel(s) harmonique(s) du signal analogique a-t-on éliminé ?
5. Le critère de Nyquist-Shannon est-il respecté ici ? Justifier.
6. Sur le papier millimétré ci-après, tracer le spectre du signal échantillonné.



7. Y-a-t-il repliement du spectre ici ?

Exercice 03 : (d'après SNIR 2016)

L'expression temporelle du signal analogique  $v_f(t)$  est :

$$v_f(t) = 1,60 + 0,020 \times \cos(100\pi t)$$

L'échantillonneur prélève un échantillon toutes les  $10,0\text{ms}$ . L'échantillon est ensuite converti par un convertisseur analogique numérique sur  $3\text{ bits}$ , avant d'être traité numériquement (figure 1).

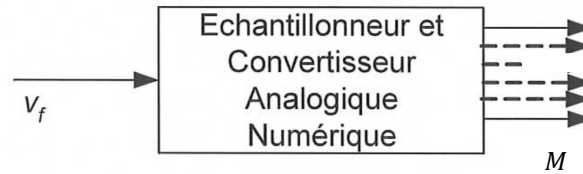


Figure 1

1. Calculer la fréquence d'échantillonnage en hertz, notée  $f_e$ .
2. Le signal  $v_f(t)$  est-il échantillonné correctement ? Justifier en citant la condition utilisée.

La tension pleine échelle du CAN, notée  $V_{PE}$ , vaut  $5,00\text{ V}$ .

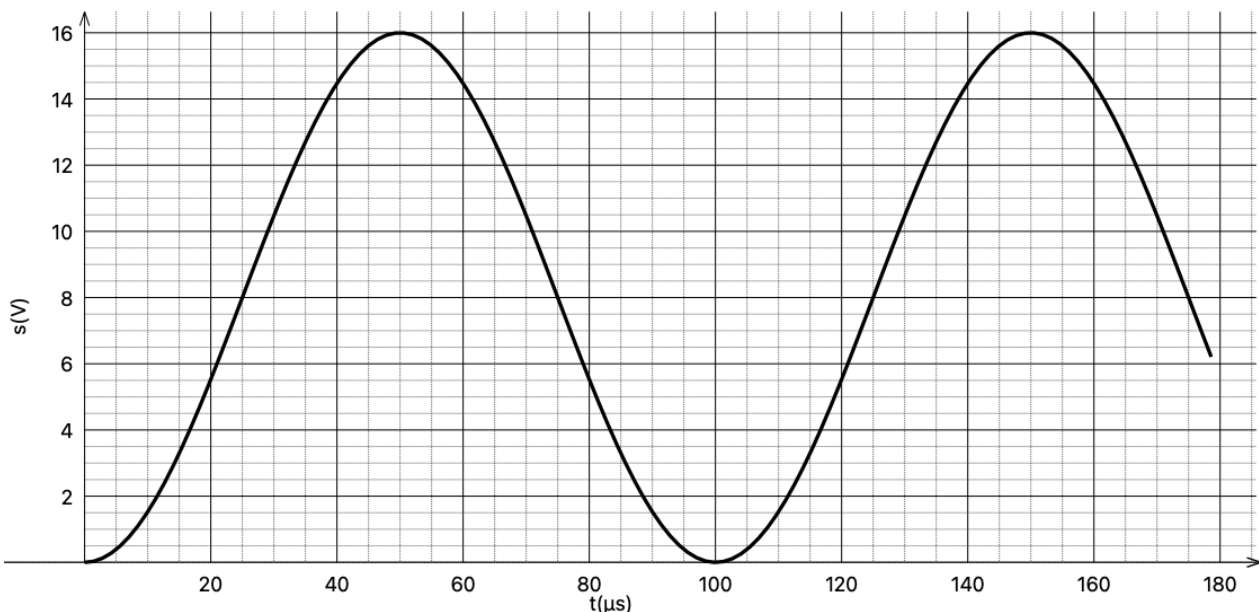
3. Déterminer la valeur du quantum  $q$  du CAN.
4. Déterminer la valeur décimale  $M$  lorsque  $v_f = 3,40\text{ V}$ .
5. En déduire le code binaire associé à cette valeur échantillonnée

Ce code est ensuite envoyé à l'entrée d'un CNA possédant les mêmes grandeurs caractéristiques que le CAN, en quantifiant par valeur inférieure.

6. En déduire la valeur quantifiée attribuée à cet échantillon, sortant du CNA.
7. En déduire la valeur de l'erreur  $e$  due à la quantification.
8. Déterminer la valeur du rapport signal sur bruit en  $dB$  pour ce CAN, sachant que  $SNR_{dB} \approx 1,8 + 6n$

Exercice 04 : numérisation du signal de l'exercice 01

On numérise le signal analogique  $s(t)$  avec une période d'échantillonnage de  $T_e = 20\ \mu\text{s}$  et un CAN de  $3\text{ bits}$  dont le calibre est de  $0\text{ V}$  à  $12\text{ V}$ .



1. Le choix du CAN est-il pertinent afin de numériser ce signal analogique ? Justifier votre réponse.
2. Déterminer le code binaire sortant du CAN, pour un motif du signal analogique.

Exercice 05 : caractéristiques d'un CAN

Sur un smartphone, le CAN d'entrée d'une carte son (partie acquisition) possède les caractéristiques suivantes : « gamme de 0 à 5,12 V et 4 bits ». Pour restituer le signal aux haut-parleurs, le CNA intégré au smartphone quantifie par valeur centrale.

1. Quel sera le nombre binaire en sortie, correspondant à la valeur maximale de tension (5,12V) en entrée de ce CAN ?
2. Que vaut la tension pleine échelle  $\Delta U$  ?
3. Déterminer la valeur du pas de quantification, noté  $q$  dont l'unité est le volt.

Si la tension échantillonnée en entrée est de 4,00 V :

4. Quel sera le nombre décimal en sortie du CAN ?
5. Quel sera le nombre binaire correspondant ?
6. A quelle valeur de tension quantifiée (en sortie du CNA), cela correspond-il ?

Si la tension échantillonnée en entrée est de 2,50 V :

7. Quel sera le nombre décimal en sortie du CAN ?
8. Quel sera le nombre binaire correspondant ?
9. A quelle valeur de tension quantifiée (en sortie du CNA), cela correspond-il ?

10. Calculer l'erreur de quantification, notée  $b$ , pour les deux dernières questions.
11. Calculer le rapport signal sur bruit  $SNR_{dB}$  pour ce CAN.
12. Comment diminuer le bruit dû à la quantification du signal ?

Suite à une hausse de budget, le CAN d'entrée d'une nouvelle carte son, possède maintenant les caractéristiques suivantes : « gamme de 0 à 5,12V et 6 bits » (ainsi que le CNA).

13. Déterminer la valeur du pas de quantification, noté  $q$  dont l'unité est le volt.

Si la tension échantillonnée en entrée est de 4,00 V :

14. Quel sera le nombre décimal en sortie du CAN ?
15. A quelle valeur de tension quantifiée (en sortie du CNA), cela correspond-il ?

Si la tension échantillonnée en entrée est de 2,50 V :

16. Quel sera le nombre décimal en sortie du CAN ?
17. A quelle valeur de tension quantifiée (en sortie du CNA), cela correspond-il ?

18. Calculer l'erreur de quantification  $b$  pour les deux dernières questions.
19. Calculer le rapport signal sur bruit  $SNR_{dB}$  pour ce CAN. Conclure.

Exercice 06 : choix d'un CAN

On souhaite numériser une tension variant de 0 à 5,0V, qui a été échantillonnée à la fréquence  $f_e = 50 \text{ kHz}$ . Pour cela, on dispose des convertisseurs analogique-numériques suivants :

Référence	Résolution (bits)	$T_c$ ( $\mu\text{s}$ )	Linéarité
ADC08832IM	8	4	$\pm 0,2q$
AD5240	12	5	$\pm 0,5q$
ADC0809	8	100	$\pm 0,5q$

1. Quelle doit-être la valeur maximale du temps de conversion  $T_c$ ? Quels sont les CAN respectant cette condition ?
2. Calculer le pas de quantification des CAN choisis à la question 1.
3. Sachant que l'on souhaite la plus faible erreur de linéarité, en déduire le CAN à utiliser.
4. Déterminer la valeur décimale en sortie de ce CAN lorsque la tension d'entrée est de 1,9600 V.