

## Electronique numérique



### Questions de cours

*Pour apprendre le cours : vérifiez que vous savez répondre à chaque question.*

1. Quelles sont les étapes de la numérisation d'un signal analogique ?
2. Définir la fréquence d'échantillonnage ? Comment est-elle liée au nombre total d'échantillon et à la durée d'acquisition ?
3. Quel critère doit satisfaire la fréquence d'échantillonnage pour que le signal numérisé soit fidèle au signal analogique ?
4. Quel est l'impact de l'échantillonnage sur le spectre du signal ?
5. Quel est le critère de Nyquist-Shannon ?
6. (cf TP) Quelle est la relation entre le calibre, la résolution et le pas de résolution ?



### Exercices de cours - Savoirs-Faire

#### SF 1 - Choisir les paramètres d'une acquisition

On fournit quelques données sur un oscilloscope :

- ▷ Fréquence maximale d'échantillonnage : 2 GS/s (soit 2 GHz : S/s signifie « échantillon par seconde »)
- ▷ Taille d'un échantillon : 1 octet
- ▷ Taille de la mémoire : 2 Mo
- ▷ Format de l'écran : 10 divisions verticales, 8 divisions horizontales

1. Sur combien de points l'oscilloscope échantillonne-t-il ?
2. Quelle gamme de sensibilités horizontales doit-on utiliser pour que la fréquence d'échantillonnage soit de 2 GHz ?

On envoie un signal sinusoïdal de fréquence 100 MHz et d'amplitude 6,25 V.

3. Quelle base de temps utiliser pour qu'il soit bien échantillonné ?
4. Quelle sensibilité verticale en V/div doit-on utiliser pour que la quantification induise une incertitude de moins de 1% sur la mesure de l'amplitude ?

**SF 2 - Identifier les valeurs limites de fréquence d'un échantillonnage**

On souhaite procéder à l'enregistrement d'un concert, d'une durée  $T = 60$  min, dans un format numérique sans compression (WAV par exemple). La fréquence d'échantillonnage choisie est  $f_e = 44100$  Hz, et les valeurs sont enregistrées en stéréo sur un format 16 bit.

1. Quelle est la fréquence maximale théorique enregistrée dans ces conditions pour respecter le critère de Shannon ?
2. Justifier un tel choix de fréquence d'échantillonnage.
3. Quelle est la fréquence minimale théorique enregistrée dans ces conditions compte tenu de la résolution spectrale du processus ?

Bonus :

4. Quelle taille mémoire doit-on prévoir pour le stockage ?

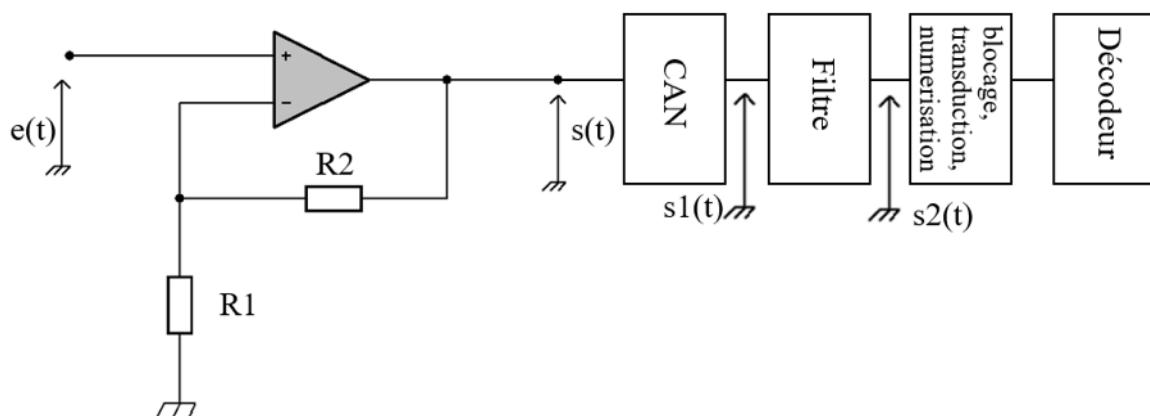
**Exercices****Exercice 1 - Ouverture d'un coffre (Oral 2024)**

Un coffre possède un cadenas avec un code à six chiffres. Le code est associé est au couple de fréquence, comprises entre 40kHz et 70kHz, présentes dans une musique qu'on a obtenue auparavant.

Cette musique est diffusée dans l'air et captée par un micro. Ce micro convertit le signal sonore en une tension.

Cependant, l'amplitude du signal est trop faible pour pouvoir être exploitée. On amplifie le signal et on le fait passer dans un CAN.

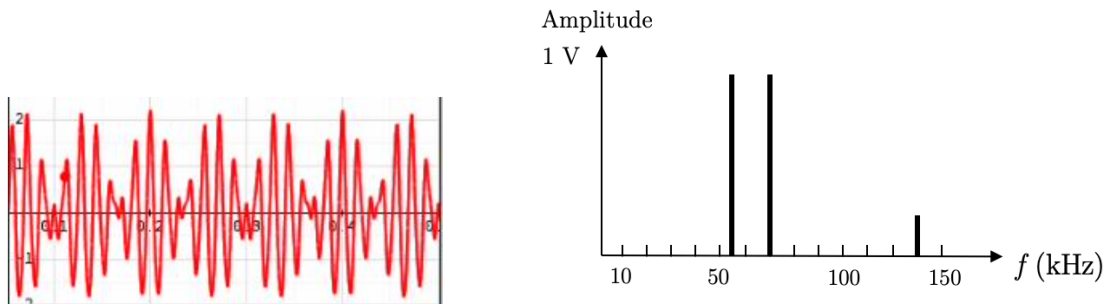
Une fois cette étape passée, il reste des parasites. On utilise alors un filtre. passe-bas. En sortie on a alors le blocage, la transduction et le décodeur qui renvoient le code correspondant au signal en extrayant les fréquences présentes dans le signal.



$e(t)$  est la tension image du micro. On donne  $R_1 = 2 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 28 \text{ k}\Omega$ .

1. Quel est le gain de l'amplification ?

En sortie du CAN, on obtient le signal suivant, dont on trace le spectre avec un oscilloscope dont les paramètres sont donnés dans le document *Informations supplémentaires*.



#### Informations supplémentaires

- ▷ Fréquence d'échantillonnage :  $f_e = 300$  kHz
- ▷ Fréquence du bruit :  $f = 160$  kHz
- ▷ Fonction transfert d'un passe bas d'ordre 1 :  $H(jx) = \frac{1}{1 + jx}$

2. Analyser le spectre : expliquez ce qu'on observe.
3. En déduire l'utilité du filtre et une fréquence de coupure adéquate. Déterminer une relation de récurrence entre le signal de sortie et d'entrée du filtre.
4. Quel est le code pour ouvrir le coffre ?

#### Association codes/couple de fréquences

Fréquence 1	Fréquence 2	Code à 6 chiffres
50	60	202407
45	70	151515
55	70	170720
60	70	498653
55	65	911911
40	70	119712

*Commentaires des étudiants qui ont eu cet exercice en 2024 :*

Pour la question 2, le correcteur peut en demander un peu plus (parler repliement du spectre, la formule générale des échos, montrer qu'ici on a un écho. On mentionne le critère de Niquist Shannon ...)

La question 3 était tournée à peu près aussi floue. En fait, il faut repasser de la fonction transfert à l'équation temporelle. Ici on a plus de  $dt$  mais un  $t_i$  (temps entre deux échantillonnage) et en fin de compte la relation de récurrence est juste du Euler explicite (à mentionner). Pour le coup sur cette question nous avons été un peu guidé car en lisant la question on n'y pense pas.

Pour info, il y avait un 2ème exercice de conduction thermique et les notes obtenues sur l'oral global ont été 12 et 16.