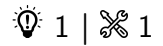




BLAISE PASCAL
PT 2020-2021

Électronique numérique

Exercice 1 : Pas de quantification d'un oscilloscope



▷ Quantification.

1 L'oscilloscope peut afficher $2^8 = 256$ valeurs.

2 Pour une échelle de 5 V par carreau, le calibre (ou la tension de pleine échelle) correspond à $4 \times 5 = 20$ V donc le pas de quantification est

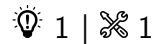
$$p = \frac{40}{256} = 0,15 \text{ V}.$$

Pour une échelle de 200 mV,

$$p = \frac{4 \times 0,2}{256} = 3 \text{ mV}.$$

3 Adapter la fenêtre de visualisation ne signifie pas seulement changer le zoom à l'écran, mais impacte tous les paramètres de l'acquisition. Avec une fenêtre adaptée, les valeurs obtenues par les fonctionnalités de l'oscilloscope sont plus précises, comme le montre la question précédente.

Exercice 2 : Enregistrement d'un concert



▷ Quantification ;
▷ Échantillonnage ;
▷ Critère de Shannon.

1 Le critère de Shannon devant être respecté pour un bon enregistrement, la fréquence maximale enregistrable est

$$f_{\max} = \frac{f_e}{2} = 22 \text{ kHz}.$$

Cette fréquence correspond approximativement à la limite supérieure du domaine audible, ce qui justifie le choix de la fréquence d'échantillonnage. La fréquence minimale est donnée par la résolution spectrale, liée à la durée totale d'acquisition par

$$f_{\min} = \frac{1}{T} = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ Hz}.$$

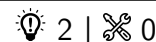
2 L'enregistrement stéréo se fait sur deux pistes différentes. Le nombre de valeurs enregistrées est

$$N = 2 \times T \times f_e \simeq 317 \cdot 10^6.$$

Chaque valeur occupe 16 bit, soit un total de

$$5,08 \text{ Gbit} = 635 \text{ Mo}$$

Exercice 3 : Repliement de spectre



▷ Modification du spectre par échantillonnage.

1 Le spectre du signal échantillonné est représenté figure 1. Il est proche de celui du signal analogique sur la gamme de fréquences $[0, 400 \text{ Hz}]$, au pic à 3 kHz près, mais la suite est très différente en raison du repliement de spectre. Le son perçu (et donc le message transmis) est éloigné du signal original.

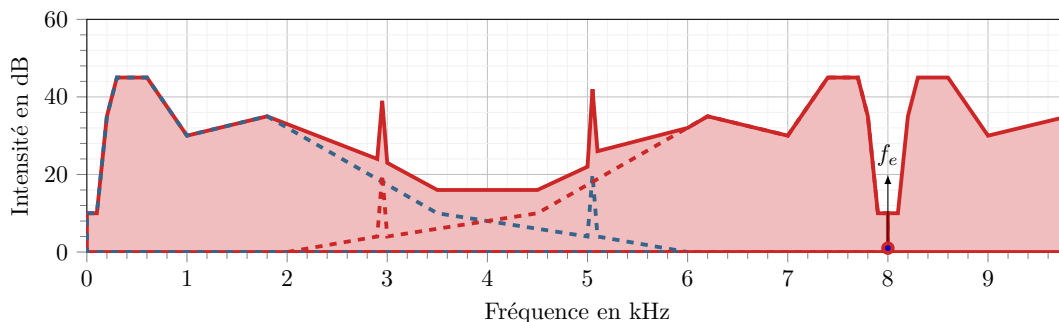


Figure 1 – Spectre du signal échantillonné.

2 Comme la fréquence d'échantillonnage est de 8 kHz, il y a recouvrement spectral pour toutes les fréquences supérieures à 4 kHz, incluant le pic parasite. Éviter cet effet exige d'extraire du signal analogique (donc avant numérisation) uniquement les fréquences inférieures à cette limite, ce qui est possible avec un filtre passe-bas de fréquence de coupure (inférieure à) 4 kHz. Le résultat obtenu avec un filtre idéal est présenté figure 2.

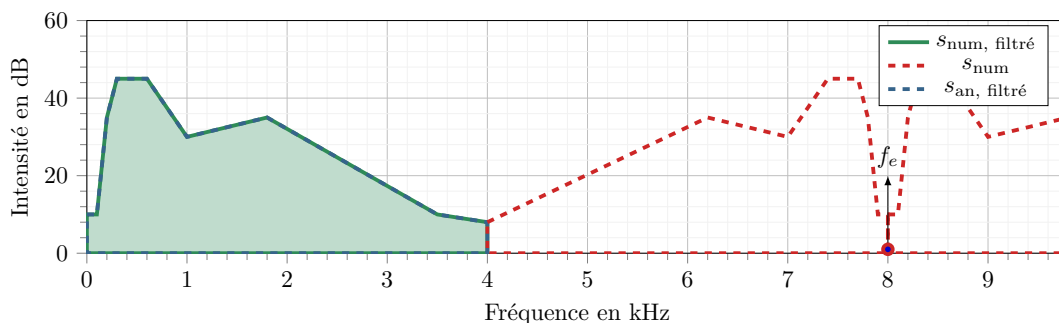


Figure 2 – Spectre obtenu avec filtre anti-repliement.

Exercice 4 : Spectres d'un signal échantillonné

oral banque PT | 2 | 0 |



▷ Modification du spectre par échantillonnage ;
▷ Critère de Shannon.

1 Le critère de Shannon stipule qu'un signal est correctement échantillonné si la fréquence d'échantillonnage f_e et la fréquence maximale du spectre du signal f_{\max} sont telles que

$$f_e > 2f_{\max} .$$

On déduit du spectre A $f_{\max} = 450 \text{ Hz}$, le critère de Shannon n'est donc **pas vérifié** pour le spectre B.

2 L'allure du spectre B s'explique par un phénomène de **repliement spectral** : au cours du processus d'échantillonnage, chaque pic à la fréquence f du signal analogique est répliqué à la fréquence $f_e - f$. La fréquence originale de chaque pic répliqué est indiqué entre parenthèses figure 3, on note que la réplique du pic à 250 Hz se superpose au pic lui-même.

3 Il faut utiliser un **filtre anti-repliement**, c'est-à-dire un filtre passe-bas, placé en amont de l'échantillonneur-bloqueur, qui va couper toutes les composantes du spectre dont on sait que la réplification va poser problème. La

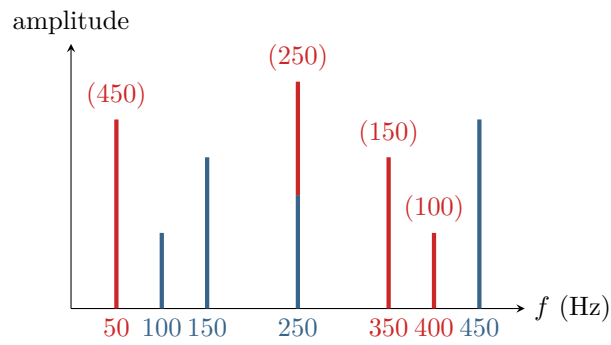


Figure 3 – Construction du spectre B.

repliement spectral apparaît pour les fréquences $f > f_e/2$, il faut donc choisir une fréquence de coupure inférieure à 250 Hz. Ce filtre permet certes d'éviter le repliement spectral, mais il enlève deux harmoniques parmi les quatre contenues dans le signal d'entrée : le signal est fortement affecté par l'opération.