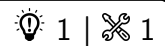





BLAISE PASCAL  
PT 2021-2022

# 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

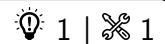
$$p = \frac{40}{256} = 0,15 \text{ V}.$$


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 : 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  $f_{\max} = 450$  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 indiquée entre parenthèses figure 1, on note que la réplique du pic à 250 Hz se superpose au pic lui-même.

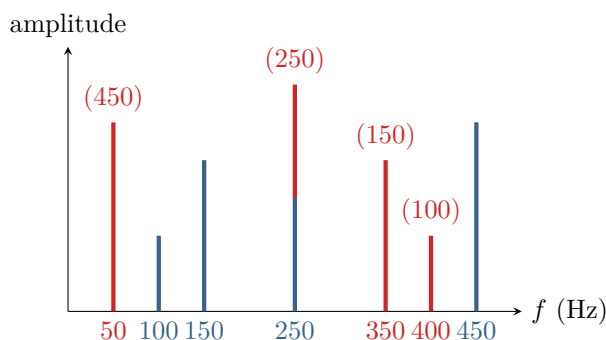


Figure 1 – Construction du spectre B.

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. Le 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.

**Exercice 4 : Effets stroboscopiques**

💡 2 | ✂️ 1 | 🔄



- ▷ Réplication spectrale.

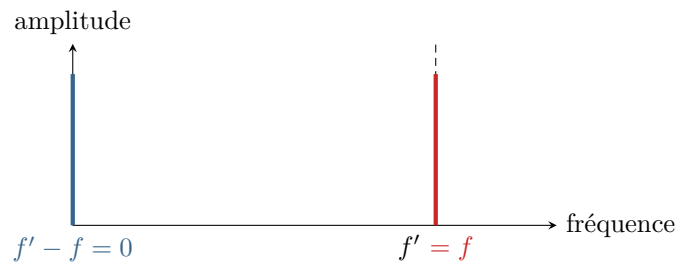
1 Le signal analogique est la **position du repère** (formellement l'angle  $\theta(t)$  qu'il forme avec une direction de référence). Le signal numérique est **ce que perçoit l'œil de l'observateur** sous l'éclairage stroboscopique : grâce à la persistance rétinienne et aux flashes du stroboscope, tout se passe comme si la position du repère était échantillonnée puis bloquée entre deux flashes. La fréquence d'échantillonnage est **celle des flashes** :  $f_e = 1/T'$ .

2 Pour observer fidèlement le mouvement du repère, il faut qu'il reçoive plusieurs flashes au cours d'un tour : il faut donc avoir  $T' \ll T$ .

▮ Cette condition est équivalente à  $f'$  (fréquence d'échantillonnage)  $\gg f$  (fréquence du signal).

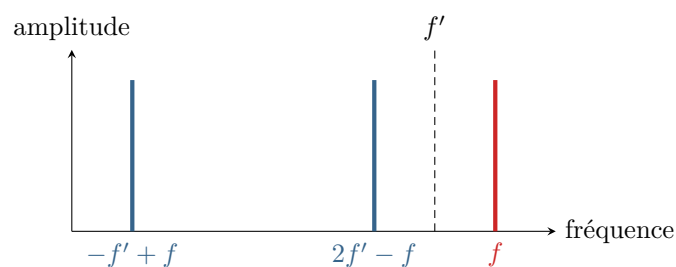
3 Si  $T' = T$ , alors le repère parcourt exactement un tour entre deux flashes : il apparaît donc immobile car toujours à la même position. Dans le domaine fréquentiel, le spectre du signal analogique présente un pic à  $f = f'$ , et donc une réplique à  $f' - f = 0$ , voir figure 2.

4 Si  $T' \gtrsim T$ , alors le repère parcourt un peu plus d'un tour complet entre deux flashes ... mais l'observateur n'a aucun moyen de voir ce tour complet, il ne peut voir que le « un peu plus » ! Le déplacement apparent du repère semble donc très ralenti. En termes de spectre, on constate l'apparition d'une réplique à basse fréquence, voir figure 3, qui donne la fréquence apparente du mouvement du repère.

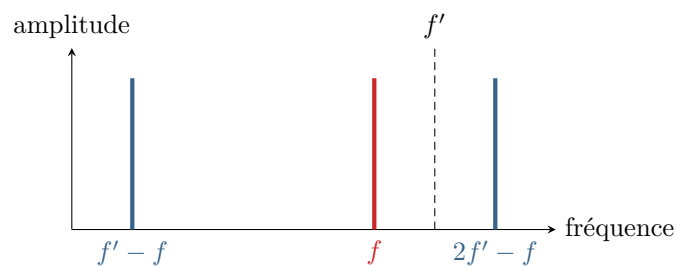
Figure 2 – Spectre pour  $T' = T$ .

Formellement, les répliques sont situées aux fréquences  $kf_e \pm f$  où  $k$  est généralement un entier positif ... mais comme  $f > f'$ , il faut ici inclure  $k = -1$  pour obtenir toutes les répliques de fréquences positives.

On retrouve ici le fait que plusieurs signaux analogiques donnent le même signal échantillonné, celui qui est perçu étant celui de plus basse fréquence (principe de « simplicité » dans le fonctionnement du cerveau ?).

Figure 3 – Spectre pour  $T' \gtrsim T$ .

5 Si  $T' \lesssim T$ , alors le repère parcourt un peu moins qu'un tour complet entre deux flashes. Son mouvement apparent est donc le même que s'il se déplaçait plus lentement mais à l'envers. En termes de spectre, on a là encore apparition d'une réplique à basse fréquence, voir figure 4. En revanche, le sens de rotation du disque ne peut pas s'observer sur le spectre.

Figure 4 – Spectre pour  $T' \lesssim T$ .

6 Un film n'est pas tourné en continu mais ne contient que 24 images par seconde. Cela est suffisant pour donner l'illusion de la continuité compte tenu de la durée de la persistance rétinienne, de l'ordre de 0,1 s, mais cela peut aussi donner lieu à des effets stroboscopiques comme ceux discutés précédemment si la fréquence (apparente) de rotation des roues est proche de 24 Hz.

On parle de fréquence apparente pour tenir compte de la répartition périodique de certains motifs des enjoliveurs, qui ne comptent pas qu'un seul repère comme le disque précédent mais plusieurs rayons.