



BLAISE PASCAL
PT 2023-2024

TD 2 – Électronique

Correction

Électronique numérique

Exercice 1 : Enregistrement d'un concert

💡 1 | ✂ 1

- 
- ▷ 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, reliée 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 2 : Échantillonnage et spectre

exemple officiel banque PT | 💡 2 | ✂ 0

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

1 Comme le critère de Shannon est vérifié pour le spectre 1, alors la fréquence maximale du signal analogique est $f_{\max} = 450 \text{ Hz}$. Puisque $f_{\max} > f_{e2}$, alors le critère de Shannon **n'est pas respecté** pour le spectre 2.

2 Lors de l'échantillonnage, toute composante de fréquence f se retrouve répliquée à la fréquence $f_e - f$. Ainsi, le pic présent dans le spectre 1 à 300 Hz a une réplique dans le spectre 2 à 200 Hz.

3 Le pic à 450 Hz du spectre 1 se trouve répliqué à 50 Hz lors de l'échantillonnage à f_{e2} , où le spectre 1 possède déjà un pic de même amplitude. Les deux composantes se somment alors dans le signal échantillonné. Si jamais les deux composantes sont en opposition de phase, comme elles sont de même amplitude, alors elles s'annulent dans le signal échantillonné, qui en fin de compte ne fait plus apparaître de composante à 50 Hz.

Exercice 3 : Effets stroboscopiques



▷ 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 1.

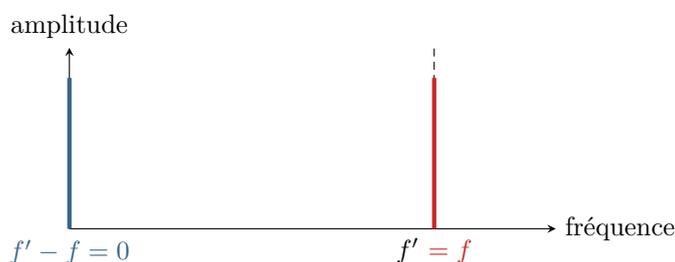


Figure 1 – Spectre pour $T' = T$.

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 2, qui donne la fréquence apparente du mouvement du repère.

| Formellement, les répliques sont situées aux fréquences $k f_e \pm f$ 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 ?).

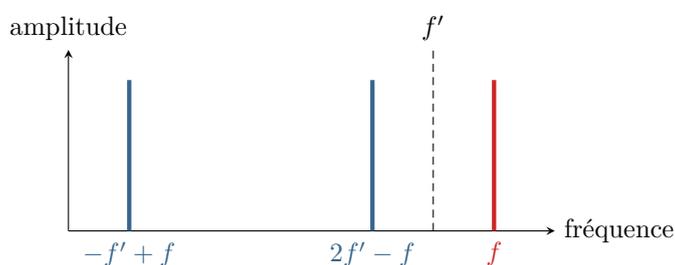
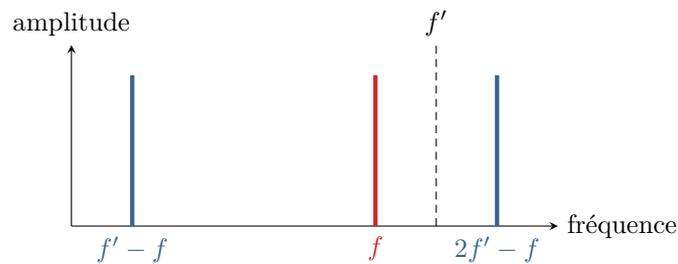


Figure 2 – Spectre pour $T' \gtrsim T$.

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 3. En revanche, le sens de rotation du disque ne peut pas s'observer sur le spectre.

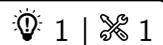
6 Un film n'est pas tourné en continu mais ne contient que 24 images par seconde. Cela est suffisant pour donner l'illusion de la continuité compte tenu de la durée de la persistance rétinienne, de l'ordre de 0,1 s, mais cela peut aussi

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

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.

Exercice 4 : 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.