
TP TRAITEMENT DE
SIGNAUX PRINTEMPS 2025

TP 1: Échantillonnage d'un signal audio

26 Février 2025, 14h15 - 17h

On souhaite étudier l'effet de l'échantillonnage d'un signal audio et proposer une solution pour remédier à la distorsion du signal.

Signal synthétique (cosinus)

1. Télécharger le morceau **sinusoides.wav** sur Moodle. Charger le morceau en utilisant la commande **audioread**. Quelle est la fréquence d'échantillonnage du signal? Écouter avec la commande **sound**.
(a) Tracer les 100 premiers échantillons du signal en fonction du temps.
2. Le signal correspond à une somme de cosinus :

$$f(t) = \sum_{i=1}^n A_i \cos(2\pi f_i t)$$

- où f_i sont les fréquences des cosinus en Hz et $t \in [0 : 6s]$. (a) Tracer le spectre du signal. (b) De combien et de quelles fréquences est-il composé ? (c) Retrouvez le coefficient A_i pour chaque cosinus.
3. Sous-échantillonner le signal à 3'000. Écouter le nouveau signal. (a) Tracer son spectre. (b) Quelles sont les fréquences f_i composant le nouveau signal ? Comparez-les aux fréquences observées dans le signal original. (c) Quelle différence observez-vous au niveau de l'écoute et des spectres ? (d) Générer la fonction sinusoïdale $f(t) = \sum_{i=1}^n A_i \cos(2\pi f_i t)$ avec un échantillonage de $F_s = 12'000$ Hz et les fréquences f_i observées. Superposer les 100 premiers échantillons de ce signal au signal original, ainsi que les échantillons à $F_s = 3'000$ Hz.
 4. Maintenant sous-échantillonner le signal original à 1'500 Hz. (a) Tracer son spectre. (b) Quelles sont les fréquences f_i composant le nouveau signal ? Comparez-les aux fréquences observées dans le signal original. (c) Quelle différence observez-vous au niveau de l'écoute et des spectres ? (d) Générer la fonction sinusoïdale $f(t) = \sum_{i=1}^n A_i \cos(2\pi f_i t)$ avec un échantillonage de $F_s = 12'000$ Hz et les fréquences f_i observées. Superposer les 100 premiers échantillons de ce signal au signal original, ainsi que les échantillons à $F_s = 1'500$ Hz. Comment expliquez-vous ce qui se passe lors du sous-échantillonage à 1'500 Hz ? De quel phénomène s'agit-il ?

Signal réel

1. Télécharger le morceau **musique.wav** sur Moodle. En utilisant la commande **audioread**, charger le morceau et l'écouter avec la commande **sound**. Tracer le spectre du signal.
2. Ecoutez le signal sous-échantillonné à $f_{se} = 4410$ Hz, tracez son spectre et superposez-le au spectre original. Quelle différence observez-vous au niveau de l'écoute et du spectre? Expliquez brièvement.
3. On souhaite concevoir un filtre passe-bas pour remédier à la limitation du sous-échantillonnage que vous avez mise en évidence lors de la question précédente. Pour cela, utilisez un filtre de votre choix (par exemple Butterworth) qui atténue ≥ 60 dB en bande atténuée. Quelle serait la fréquence minimale de la bande coupée idéale pour éviter tout repliement spectrale? Appliquez ce filtre au signal original et sous-échantillonnez-le ensuite à $f_{se} = 4410$ Hz. Tracer le nouveau spectre et superposez le au spectre original. Commentez brièvement.