

# Type 1 - correction : Les pouillots véloce

UE Sciences et Lumière, Ingénierie physique, Traitement du signal

Flora Weissgerber, flora.weissgerber@onera.fr  
Sophie Tran, sophie.tran1@universite-paris-saclay.fr

21/03/2022

Numéro de copie :

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

Toutes les réponses doivent être justifiées par une phrase ou les détails de calcul.

## 1 Questions ouvertes (10 points)

### 1.1 Représentation temporelle du signal

Sur la sortie de la fonction loupe contenant le signal à 0.2 seconde, on peut compter  $M = 4$  oscillations pour une durée de  $T = 1\text{ms}$ . La fréquence représentée sur ce signal est donc de

$$f_{0.2} = \frac{M}{T} = \frac{4}{10^{-3}} = 4 \times 10^3 = 4000\text{Hz}.$$

Sur la sortie de la fonction loupe contenant le signal à 0.7 seconde, on peut compter 4.5 oscillations pour une durée de 1ms. La fréquence représentée sur ce signal est donc de

$$f_{0.7} = \frac{M}{T} = \frac{4.5}{10^{-3}} = 4.5 \times 10^3 = 4500\text{Hz}.$$

Plus une fréquence est élevée, plus le signal correspondant est aigu. On en déduit donc que la fréquence  $f_{chi} = f_{0.7} = 4500\text{Hz}$  alors que  $f_{cha} = f_{0.2} = 4000\text{Hz}$ .

Sur les deux sorties de la fonction loupe, on compte  $N = 10$  échantillons (10 croix) pour une durée de 1ms. La fréquence d'échantillonnage de notre appareil est donc  $f_{ech} = \frac{N}{T} = \frac{10}{10^{-3}} = 10 \times 10^3 = 10000\text{Hz}$ .

### 1.2 Le spectre du signal

L'ordonnée du spectre du signal représente le module de la transformée de Fourier discrète du signal.

La fréquence maximale présente sur l'axe des abscisses est 5000Hz. En court, on a vu que le spectre est généralement représenté jusqu'à  $\frac{f_{ech}}{2}$  qui correspond à la fréquence limite avant repliement. La fréquence d'échantillonnage du signal est donc de 10 000Hz, ce qui correspond à la fréquence trouvée à l'exercice précédent.

Le signal d'une durée  $T$  de 2.2 secondes contient donc  $N_{ech} = f_{ech} \times T = 2.2 \times 10^4 = 22000$  échantillons.

Par lecture graphique, on voit que pic correspondant à la fréquence  $f_{cha}$  (4000Hz) a une valeur de 5000, et le pic correspondant à la fréquence  $f_{chi}$  (4500Hz) a une valeur de 6000. D'après le cours, on sait que la valeur de la transformée de Fourier d'un signal monofréquentiel de fréquence non nulle et d'amplitude égale à 1, a pour valeur  $\frac{N}{2}$ . Or la somme des valeurs des deux pics est  $5000+6000 = 11\,000$ , ce qui correspond bien à  $\frac{N}{2}$ . De plus, on a pu voir sur les graphiques de la question précédente que l'amplitude des signaux était bien égale à 1.

On en déduit donc que la fréquence  $f_{chi}$  est présente plus longtemps que la fréquence  $f_{cha}$  dans notre signal. Comme l'énoncé indique que le motif "chiff-chaff" dure environ 1 seconde, et que les notes "chiff" et "chaff" ont la même durée, on peut en déduire que l'enregistrement contient 2 motifs "chiff-chaff" complets, commençant par "chaff" et le début du motif suivant.

### 1.3 Détection des pouillots véloce

Pour détecter les pouillots véloce dans nos rush, on peut découper le signal en sous-signaux durant 1 seconde (la durée d'un motif "chiff-chaff"). Pour chacun de ces sous-signaux de taille  $N$ , on va tester s'il contient le motif "chiff-chaff" ou le motif "chaff-chiff" par produit scalaire entre le signal de test et des signaux de références contenant soit le motif "chiff-chaff" soit le motif "chaff-chiff" (car on ne sait pas par quelle fréquence commence l'oiseau).

On parcourt l'ensemble de sous-signaux grâce à une boucle "for". Pour rendre la détection automatique, on définit un seuil à  $\frac{N}{4}$ . Si le produit scalaire entre le sous-signal de test et l'un des signaux de référence est supérieur à ce seuil, on en déduit que le motif "chiff-chaff" ou le motif "chaff-chiff" est présent et on ajoute "1" à la liste de détection. Sinon on ajoute 0.

Comme on connaît l'instant de début de chacun des sous-signaux, on pourra construire une liste qui contient l'instant de début de chaque motif à partir de la liste de détection. Si l'oiseau chante plus que 1 seconde et qu'il y a plusieurs "chiff-chaff" d'affilé, on pourra choisir de ne garder que l'instant de début du 1er motif.

## 2 QCM (10 points)

**Cocher la bonne réponse.**

- Pour un signal numérique mono-fréquentiel de fréquence  $f$ , si je double le nombre d'oscillations, je double :
  - ☐ le nombre d'échantillons
  - ☒ la valeur de la durée
  - ☒ la valeur de la fréquence

- ☐ la fréquence d'échantillonnage

*Cette question n'était pas claire : si la fréquence est du signal reste constante, c'est la durée qui est doublé; si la durée reste constante, c'est la fréquence qui est doublé. Mais on a pas indiqué clairement quel paramètre restait constant.*

2. Si j'enregistre un signal avec une fréquence d'échantillonnage  $f_e$  sur une durée  $T$ , j'obtiens :

☐  $\frac{f_e}{T}$  échantillons

☐  $\frac{T}{f_e}$  échantillons

☒  $f_e T$  échantillons

3. La fréquence d'échantillonnage du MP3 est de 44 MHz. Elle a été choisi car l'oreille humaine n'est pas capable de différencier les fréquences supérieurs à :

☒ 22MHz

☐ 33MHz

☐ 44MHz

4. Lorsque les signaux sont différents :

☒ le produit scalaire est nul et EQM est élevée

☐ le produit scalaire est nul et EQM est nulle

☐ le produit scalaire est élevé et EQM est élevée

☐ le produit scalaire est élevé et EQM est nulle

5. Soit  $s$ , un signal mono-fréquentiel de  $A$  oscillations. Chaque échantillon peut s'écrire :

☐  $s_A = \cos(2\pi \frac{AB}{C})$

☐  $s_B = \cos(2\pi \frac{CB}{A})$

☒  $s_C = \cos(2\pi \frac{AC}{B})$

6. J'enregistre un son à 500 Hz pendant 4s, avec une fréquence d'échantillonnage à 1100 Hz. Lorsque je veux écouter ce son, je donne au convertisseur numérique analogique la fréquence d'échantillonnage de 2200 Hz, la durée d'écoute sera :

☒ 2s

☐ 4s

☐ 8s

7. Si la valeur du produit scalaire entre deux signaux  $s_A \cdot s_{B,k} = V$ , la valeur du produit scalaire  $5s_A \cdot s_B$  :

☐  $V$

☒  $5 V$

☐  $25 V$

8. Quelle est la valeur de la fréquence entendue pour un son de fréquence 1300 Hz lorsque le théorème de Shannon n'est pas vérifié avec une fréquence d'échantillonnage de 2100 Hz ?

☒ 800 Hz

☐ 1050 Hz

☐ 1300 Hz

*Lorsque le théorème de Shannon n'est pas vérifié, on a un repliement autour de  $\frac{f_{ech}}{2}$ , la fréquence qui est supérieure à  $\frac{f_{ech}}{2}$  deviendra autant inférieure à  $\frac{f_{ech}}{2}$  qu'elle lui est supérieure. Pour obtenir la valeur de la fréquence après repliement, on peut résoudre l'équation suivant :*

*$f' = \frac{f_{ech}}{2} - (f - \frac{f_{ech}}{2}) = f_{ech} - f$ . On obtient donc ici  $2100-1300 = 800Hz$*

9. Indiquez si chaque proposition est vraie ou fausse. Je veux coder en binaire des nombres entre 0 et 30 avec le moins de bits possible :
- a) J'aurai besoin de signaux binaires de taille 5 c'est-à-dire de 5 bits. **VRAI**
  - b) Le chiffre 4 sera codée par 00011. **FAUX**, 4 est codé par 00100 car  $00000 = 0$
  - c) Le nombre le plus grand que je pourrais coder sera 32. **FAUX**, comme je peux coder 32 nombre différents et que 0 est inclus, le plus grand nombre que je code est 31
  - d) Je pourrais coder 32 nombres différents **VRAI**