

# Type 1 - correction : Monophonie et diphonie chez les orques

UE Sciences et Lumière, Ingénierie physique, Traitement du signal

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

23/05/2022

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.**

Les orques émettent des sons *monophoniques*, qui ne contiennent qu'une fréquence, lorsqu'ils communiquent avec les membres de leur *pod* (groupe) ou des sons *diphoniques*, qui contiennent deux fréquences, lorsqu'ils communiquent avec des membres d'un autre pod.

Un échantillon d'un son monophonique  $s_{\text{mono}}$  s'écrit :

$$s_{\text{mono},k} = A \cos(2\pi M \frac{k}{N}) \quad (1)$$

alors qu'un échantillon d'un son biphonique  $s_{\text{bi}}$  s'écrit :

$$s_{\text{bi},k} = A_1 \cos(2\pi M_1 \frac{k}{N}) + A_2 \cos(2\pi M_2 \frac{k}{N}) \quad (2)$$

On suppose ici que  $A = A_1 = A_2$ . Les fréquences émises sont comprises entre 6 et 12 kHz.

Vous cherchez à développer un algorithme pour détecter automatiquement si un son d'orque est monophonique ou diphonique.

## 1 Questions ouvertes (10 points)

### 1. Représentation temporelle du signal (3 points)

Les signaux temporels sont représentés à la figure 1 pour **un dixième du signal**. Malheureusement, les titres des axes ne sont pas renseignés.

- a) Le signal (b) est monofréquentiel car on reconnaît les oscillations caractéristique d'un cosinus échantillonné, dont on peut estimer la période par lecture graphique. Le signal (a) est multifréquentiel car les oscillations ne sont pas visibles.
  - b) L'abscisse du graph représente le numéro d'échantillon. **Plusieurs d'entre vous ont associé l'axe des abscisse au temps, mais n'ont pas réussi à trouver une unité (s, ms, ...) qui était cohérente avec l'énoncé. Dans ce cas n'hésitez pas à dire que votre réponse n'est pas cohérente avec l'énoncé ce qui montre que vous avez tenté de la valider.**
  - c) Sur le graph, on peut lire que le dixième du signal compte 20 échantillons. Le signal total compte donc 200 échantillons. **Attention, il y a avait bien 20 et pas 19 échantillons. Vous pouviez soit compter les valeurs, soit voir que le numéro du 1er échantillon est 0.**
  - d) L'ordonnée du graph représente les valeurs que prend le signal au cours du temps, soit  $s_{mono,k}$  ou  $s_{bi,k}$
  - e) En utilisant le graph du signal mono-fréquentiel, on peut voir que la valeur minimale du signal est -2, et que la valeur maximale est 2. Sur le graph du signal bi-fréquentiel, on peut voir que le minimum du signal est de 4, quand à la fois  $\cos(2\pi M_1 \frac{k}{N})$  et  $\cos(2\pi M_2 \frac{k}{N})$  valent 1 et -4 quand à la fois  $\cos(2\pi M_1 \frac{k}{N})$  et  $\cos(2\pi M_2 \frac{k}{N})$  valent -1. Le paramètre  $A = A_1 = A_2 = 2$ .
  - f) Oui pour le signal monophonique mais pas pour le signal biphonique. La période du signal bi-fréquentiel n'est pas visible sur le graph. C'est pour ça qu'il faut utiliser un spectre pour estimer les fréquences présentes dans un signal.
2. **La fréquence d'échantillonnage (2 points)**
- a)  $f_e = \frac{N}{T}$
  - b)  $N = 200$  et  $T = \frac{1}{300}$  s. On a donc une fréquence d'échantillonnage de  $f_e = 6 \times 10^4$  Hz
  - c) Oui car le théorème de Shannon nous dit que  $f_e \geq 2f_{max}$ . Comme  $f_{max} = 12$  kHz et  $f_e = 60$  kHz, le théorème de Shannon est bien respecté.
3. **Détection des signaux mono ou bi-fréquentiels grâce au spectre des signaux (5 points)**
- Le spectre du signal est représenté à la figure 2.
- a) 2 pics sont visibles sur le spectre du signal (a), il est donc bi-fréquentiel, alors que le signal (b) est monofréquentiel car un seul pic est présent sur le spectre.
  - b) L'axe des abscisses représente le nombre d'oscillations  $M$ , sans unité.
  - c) La formule de la fréquence est  $f = \frac{M}{T}$  ou  $M$  est le nombre d'oscillations et  $T$  la durée. Il faut donc diviser le nombre d'oscillations correspondant à l'ordonnée des pics par la durée totale du signal.
  - d) La valeur maximale de l'axe des abscisse correspond à  $f_{max} = \frac{M_{max}}{T}$  ou  $M_{max} = 100$ . Or l'énoncé nous dit que  $f_{max} = \frac{f_e}{2} = \frac{N}{2T}$ . On trouve donc que  $N = 2 * M_{max}$ . Le signal compte bien 200 échantillons.
  - e) L'axe des ordonnées du spectre représente la valeur absolue de la TFD du signal, soit produit scalaire entre le signal et un signal monofréquentiel complexe de nombre d'oscillation égal à la valeur de l'abscisse.
  - f) Si  $A$  vaut 1, la valeur du pic sera de  $\frac{N}{2}$ .
  - g) Si  $A$  est quelconque, la valeur du pic sera de  $A \frac{N}{2}$  car le produit scalaire est linéaire.
  - h) Comme la valeur des pics est de 200, et que  $N = 200$ , on retrouve bien que  $A = A_1 = A_2 = 2$  comme à la question 1.
  - i) Pour chaque spectre, on peut compter le nombre de valeur de la TFD qui sont supérieur à un seuil. Si  $A$  est constant, ce seuil peut être égal à la moitié de la valeur des pics, soit  $\frac{N}{2}$ , mais si  $A$  est variable, il vaut mieux un seuil plus bas.

- j) Lorsque l'on détecte qu'un élément de la transformée de Fourier a une valeur supérieure au seuil, son abscisse nous donne le nombre d'oscillations auquel il correspond, que l'on peut convertir en fréquence en connaissant la durée du signal. On peut ensuite ne garder que les pics qui correspondent à des fréquences qui sont dans l'intervalle d'émission des orques. Ceci revient à filtrer le signal, opération dont l'on reparlera en L2.

Numéro de copie :

## 2 QCM (10 points)

Cocher la bonne réponse.

1. Le résultat de l'algorithme de détection des orques peut prendre 3 valeurs : "orque monophonique", "orque biphonique" ou une valeur de rejet "pas orque". Quel est le plus petit nombre de bits nécessaires pour coder cette information ?
  - ☐ 1
  - ☒ 2
  - ☐ 3
  - ☐ 4
2. Le signal représenté, dont le dixième est représenté sur la figure 1b, a pour fréquence :
  - ☐ 0.01 Hz
  - ☐ 0.1 Hz
  - ☐ 900 Hz
  - ☒ 9000 Hz
3. La fréquence maximale que peut entendre un orque est de 100 000 Hz. Si les orques définissait un standard d'enregistrement type MP3, la fréquence d'échantillonnage serait :
  - ☐ 50 000 Hz
  - ☐ 100 000 Hz
  - ☒ 200 000 Hz
4. Vous enregistrez le chant d'un orque près d'un phare puis vous allez au large et enregistrez le son d'un autre orque, que vous comparez par produit scalaire. Que ce serait-il passer si vous aviez enregistré d'abord le chant de l'orque au large, puis le chant de l'orque près d'un phare et que vous les aviez comparé par produit scalaire ?
  - ☒ Le produit scalaire aurait eu exactement la même valeur
  - ☐ Le produit scalaire aurait eu la même valeur absolue, mais il aurait changé de signe.
  - ☐ Le produit scalaire aurait eu une valeur différente qu'on ne peut pas prévoir
5. La fréquence maximale que peut entendre un orque est de 100 000 Hz, alors que celles des humains est de 20 000 Hz. Une méthode facile pour qu'un humain puisse écouter le son d'un orque est de :
  - ☐ Diviser la durée (signal.duree) par 5 dans le convertisseur analogique numérique
  - ☒ Multiplier la durée (signal.duree) par 5 dans le convertisseur analogique numérique
  - ☐ Diviser le tableau de valeur (signal.val) par 5 dans le convertisseur analogique numérique
  - ☐ Multiplier le tableau de valeurs (signal.val) par 5 dans le convertisseur analogique numérique
6. Soit  $s$ , un signal mono-fréquentiel s'écrivant  $S_A = \cos(2\pi \frac{AB}{C})$ . Que représente  $A$ 
  - ☐ Le nombre d'oscillations
  - ☐ Le nombre d'échantillons
  - ☒ Le numéro d'échantillon

7. Quelle est la valeur de la fréquence entendue pour un son de fréquence 1500 Hz lorsque le son a été enregistré avec une fréquence d'échantillonnage de 2000 Hz, ne respectant pas le critère de Shannon ?

- ☒ 500 Hz
- ☐ 1000 Hz
- ☐ 1500 Hz

8. Soit  $s$  un signal de  $N$  échantillons. Soit  $S$  le vecteur représentant la transformée de Fourier de  $s$ . J'ajoute artificiellement  $N_z$  zéros au milieu du vecteur  $S$ .

- ☐ J'ai augmenté la valeur des fréquences présentes dans mon signal de  $\frac{N_z}{T}$
- ☐ J'ai diminué la valeur des fréquences présentes dans mon signal de  $\frac{N_z}{T}$
- ☒ J'ai augmenté le nombre d'échantillons de mon signal de  $N_z$
- ☐ J'ai diminué le nombre d'échantillons de mon signal de  $N_z$

9. Que code la fonction suivantes :

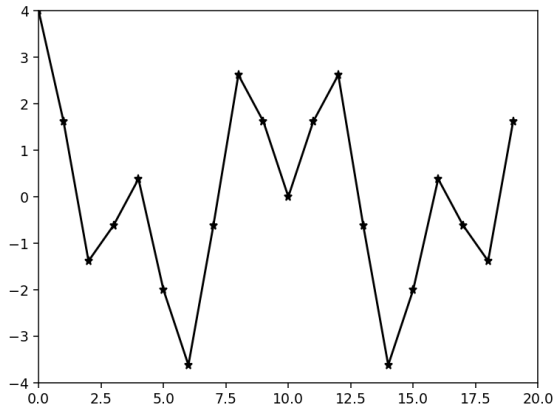
```
1 def ma_fonction(signal_1, signal_2)
2     output = np.sum(signal_1.val * signal_2.val)
3     return output
```

- ☐ La multiplication entre les signaux 1 et 2
- ☒ Le produit scalaire entre les signaux 1 et 2
- ☐ L'EQM entre les signaux 1 et 2
- ☐ La transformée de Fourier des signaux 1 et 2

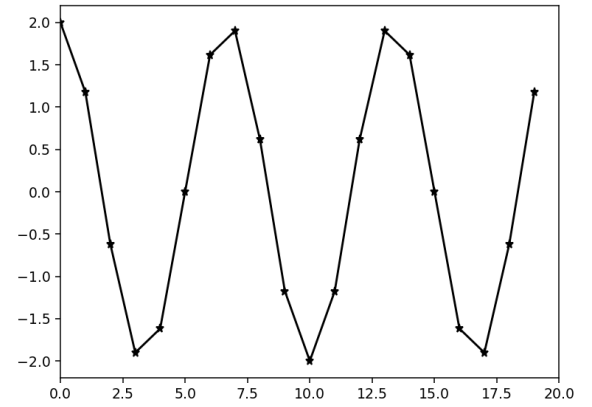
10. Que code la fonction suivantes :

```
1 def ma_fonction(signal_1)
2     tabfft=np.abs(scipy.fft.fft(signal_1.val))
3     N = signal_1.val.shape[0]
4     ind_max = int(N/2)
5     plt.plot(tabfft[0:ind_max])
```

- ☐ La valeur absolue de transformée de Fourier Discrète du signal entre  $M_0 = 0$  et  $M_0 = N$
- ☐ La valeur absolue de transformée de Fourier Discrète du signal entre  $M_0 = 0$  et  $M_0 = \frac{N}{2}$
- ☐ La représentation graphique de la valeur absolue de transformée de Fourier Discrète du signal entre  $M_0 = 0$  et  $M_0 = N$
- ☒ La représentation graphique de la valeur absolue de transformée de Fourier Discrète du signal entre  $M_0 = 0$  et  $M_0 = \frac{N}{2}$

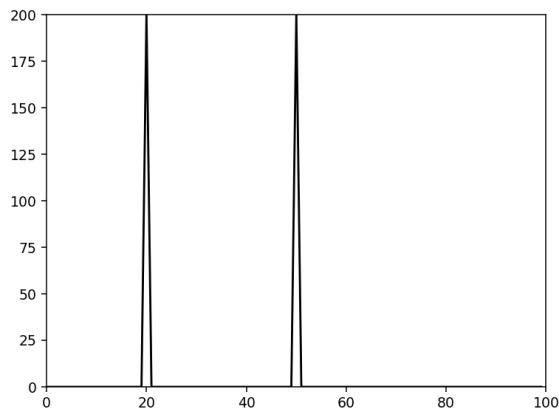


(a)

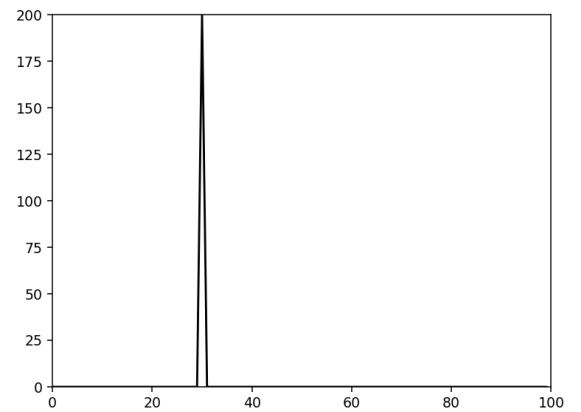


(b)

FIGURE 1 – Représentation temporelle d'un signal monophonique et d'un signal biphonique émis par un orque sur un dixième du signal. La durée total du signal est de  $T = \frac{1}{300}$  s



(a)



(b)

FIGURE 2 – Spectre d'un signal monophonique et d'un signal biphonique émis par un orque. Tous les pics ont une valeur de 200. La durée total du signal est de  $T = \frac{1}{300}$  s