

# Type 1 : 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.

- Parmi les graphes (a) et (b) lequel est monofréquentiel et lequel est bifréquentiel ?
- Que représente l'abscisse des graphes ?
- Combien d'échantillons compte le signal ?

- d) Que représente l'ordonnée des graphs
- e) A partir des graphs, donnez les valeurs de  $A = A_1 = A_2$ .
- f) Pouvez-vous estimer les fréquences des signaux à partir de ces graphs ?

**2. La fréquence d'échantillonnage (2 points)**

- a) Donnez la formule reliant la fréquence d'échantillonnage au nombre d'échantillons
- b) A partir de votre réponse à la question précédente, déterminez la valeur de la fréquence d'échantillonnage.
- c) Le théorème de Shannon est-il 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) Parmi les graphs (a) et (b) lequel est monofréquentiel et lequel est bifréquentiel ?
- b) Que représente l'axe des abscisses du spectre ?
- c) Donnez la formule reliant la fréquence au nombre d'oscillation.
- d) Sachant que le spectre est représenté jusqu'à  $\frac{f_e}{2}$ , vérifiez la valeur du nombre d'échantillons trouvé à la question précédente.
- e) Que représente l'axe des ordonnées ?
- f) Que vaut la valeur du pic si  $A$  vaut 1 ?
- g) Que vaut la valeur du pic si  $A$  est quelconque ?
- h) La valeur des pics est-elle cohérente avec la valeur de  $A$  et la valeur du nombre d'échantillons trouvé à la question précédente ?
- i) Comment déterminer si un spectre correspond à un signal monophonique ou biphonique ?
- j) Que se passe-t-il si l'on enregistre aussi des signaux parasites comme des sons de bateaux ?

## 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 duree (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

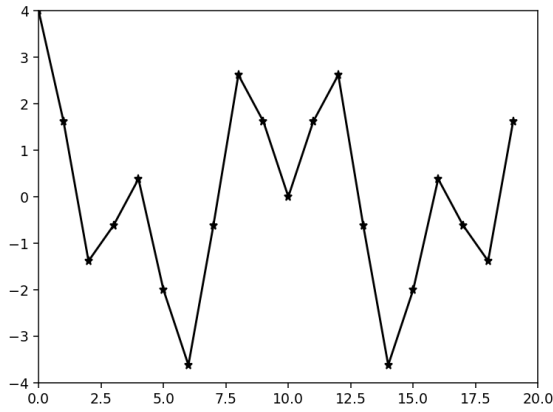
- ☐ 1000 Hz
- ☐ 1500 Hz
8. Soit  $s$  un signal de  $N$  échantillons. Soit  $S$  le vecteur représentant la transformée de Fourier de  $s$ . J'ajoute artificiellement  $N_z$  zéros au milieu du vecteur  $S$ .
- ☐ J'ai augmenté la valeur des fréquences présentes dans mon signal de  $\frac{N_z}{T}$
- ☐ 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

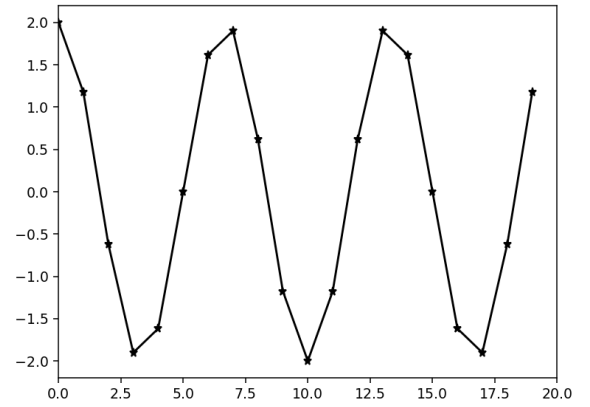
```
- ☐ La multiplication entre les signaux 1 et 2
- ☐ Le produit scalaire entre les signaux 1 et 2
- ☐ L'EQM entre les signaux 1 et 2
- ☐ La transformée de Fourier des signaux 1 et 2
10. Que code la fonction suivantes :
- ```

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  $M_0 = \frac{N}{2}$

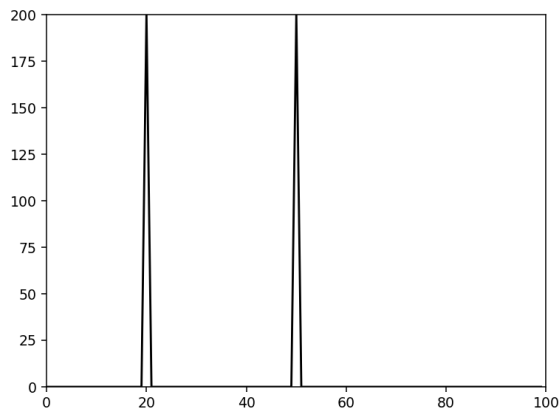


(a)

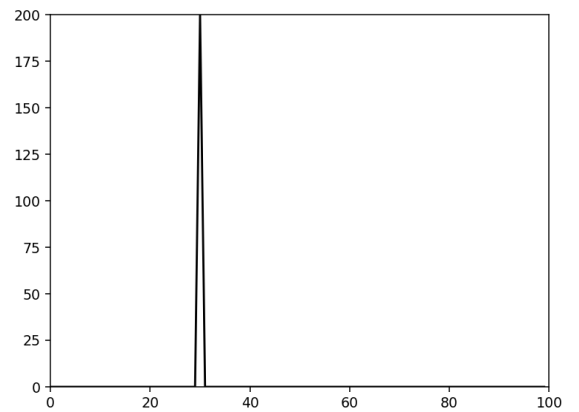


(b)

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