

CHAPITRE 1 : LES ONDES SONORES

À l'eurovision 2021 la chanteuse française Barbara Pravi a interprété son titre « Voila ». Elle terminera 2^e du concours et sera désignée révélation féminine de l'année lors de la cérémonie des Victoires de la Musique 2022.

Quels sont les caractéristiques des notes qu'elle chante ? Comment analyser ces sons ?



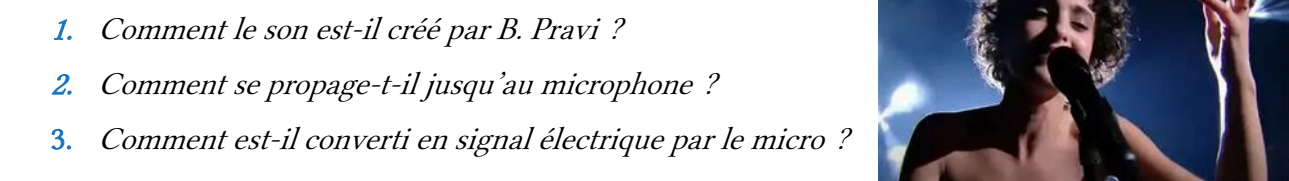


1 Les ondes sonores

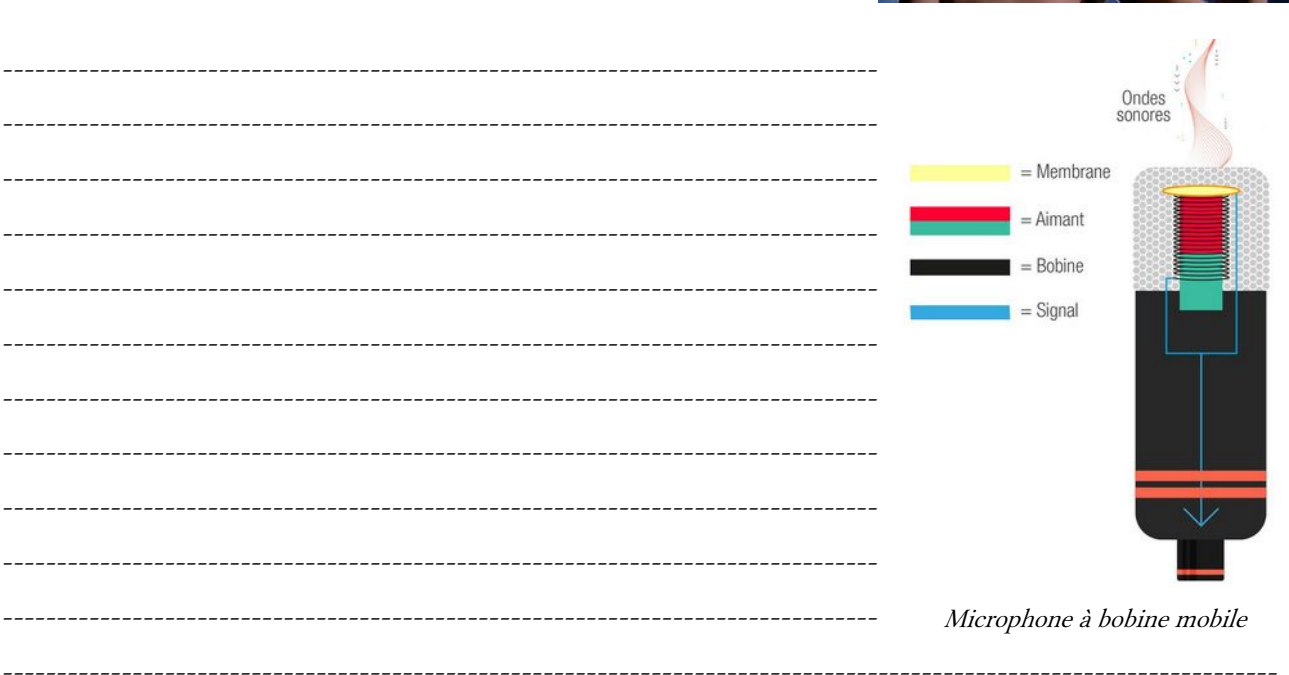
Le son est une **onde mécanique** de **surpression/dépression** qui nécessite un **milieu matériel** pour se propager. Capté par un micro il se traduit par un signal électrique que l'on peut visualiser grâce à un oscilloscope ou une interface d'acquisition.

Application 1 :

1. Comment le son est-il créé par B. Pravi ?
2. Comment se propage-t-il jusqu'au microphone ?
3. Comment est-il converti en signal électrique par le micro ?



The diagram illustrates the internal structure of a dynamic microphone. At the top, a yellow horizontal bar represents the **Membrane**. Below it is a red horizontal bar representing the **Aimant** (magnet). Underneath the magnet is a black horizontal bar representing the **Bobine** (coil). A blue horizontal bar represents the **Signal** output. The entire assembly is housed within a grey, textured casing. A blue arrow points downwards from the coil area, indicating the signal path. Above the microphone, a red and white wavy line represents the **Ondes sonores** (sound waves) entering the device.



----- *Microphone à bobine mobile*

- ★ **Animation** : propagation d'une onde sonore
- ★ **Vidéo** : fonctionnement des microphones
- 



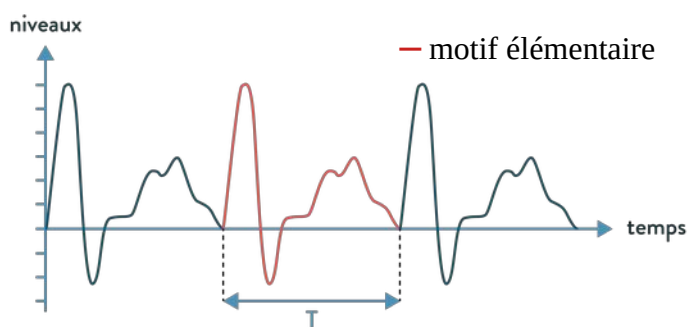
2 Signal périodique, décomposition de Fourier et spectre d'amplitude

Un signal est dit **périodique** s'il se répète identique à lui-même au cours du temps. Dans ce cas le plus petit motif qui se **répète** identique à lui-même est appelé **motif élémentaire**.

La durée de ce motif est appelée **période**, elle est notée **T** et s'exprime **en s**.

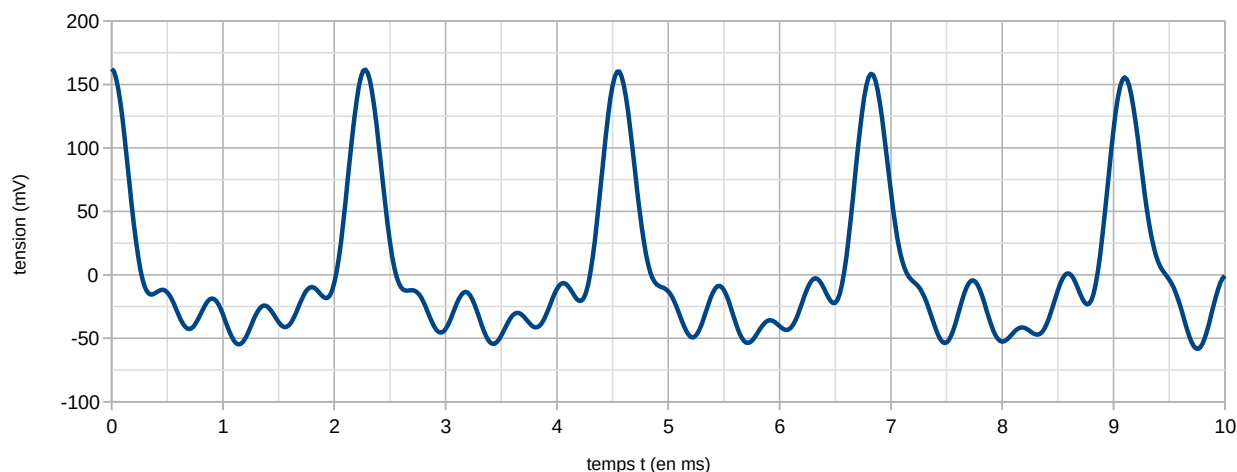
La **fréquence fondamentale** f_1 (en Hz) du signal est l'inverse de la période T (en s) :

$$f_1 = \frac{1}{T}$$



Application 2 : On donne ci-dessous 10 ms du signal temporel issu du micro lors de la prestation de B. Pravi.

1. Ce signal est-il périodique ?
2. Si oui détermine le plus précisément possible sa fréquence fondamentale f_1 .



Théorème de Fourier : Tout **signal périodique** $s(t)$ peut être décomposé en une **somme de signaux périodiques sinusoïdaux** dont les **harmoniques de fréquences** $f_2, f_3, \dots$ sont des **multiples de la fréquence fondamentale** f_1 .

$$s(t) = A_0 + A_1 \times \sin(2 \times \pi \times f_1 \times t + \varphi_1) + A_2 \times \sin(2 \times \pi \times f_2 \times t + \varphi_2) + \dots$$

Avec :

- A_0 l'amplitude de la composante continue (valeur moyenne de $s(t)$)
- $A_1, A_2, \dots$ les amplitudes (en V) des signaux sinusoïdaux de fréquence $f_1, f_2, \dots$ (en Hz)
- $\varphi_1, \varphi_2, \dots$ les phases de ces signaux (comprises entre $-\pi$ rad et $+\pi$ rad)
- t la variable temps (en s)

★ **Animation** : synthétiseur de son



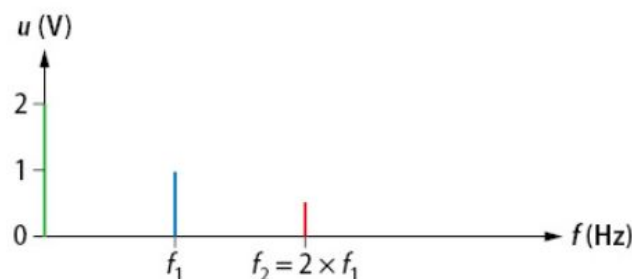
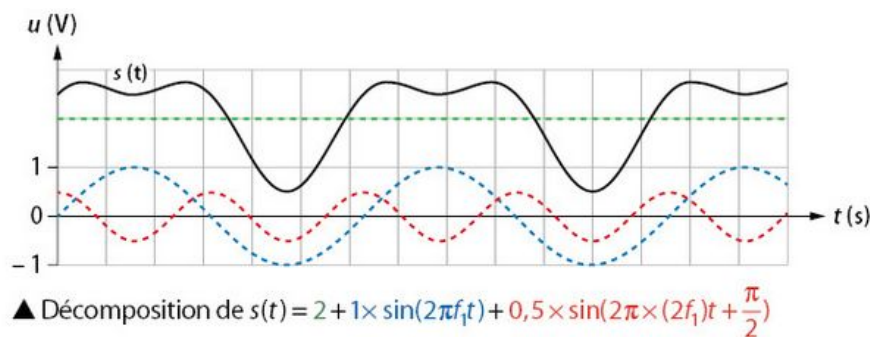
La décomposition de Fourier d'un signal périodique permet de tracer son **spectre d'amplitude**.

Le pic à la fréquence nulle $f_0 = 0$ Hz correspond à la **composante continue**.

La **1^{ère} fréquence non nulle** f_1 du pic suivant est appelée **fréquence fondamentale**.

Les fréquences f_n des pics suivants sont appelées **harmoniques**. Leur **rang** r est donné par :

$$r = \frac{f_n}{f_1}$$

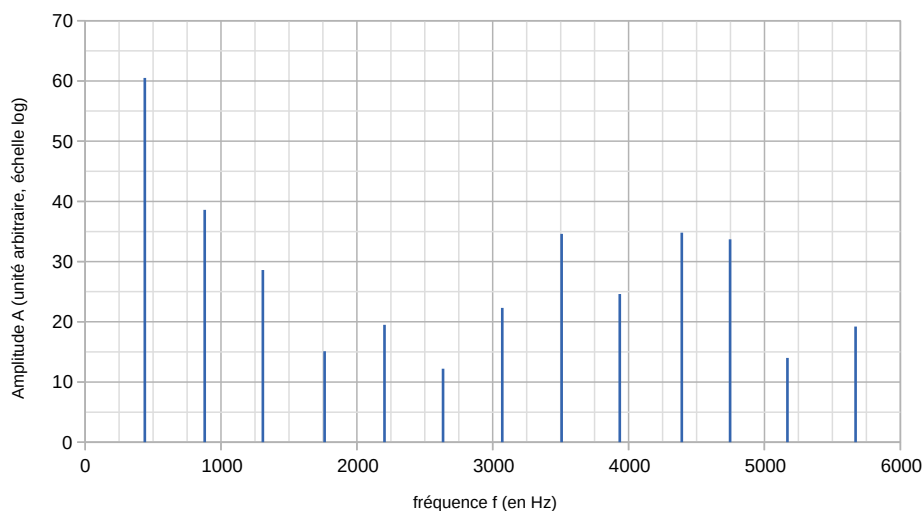


Spectre d'amplitude du signal décomposé ci-dessus

Application 3 : On donne ci-dessous le spectre d'amplitude simplifié du signal de l'application 2.

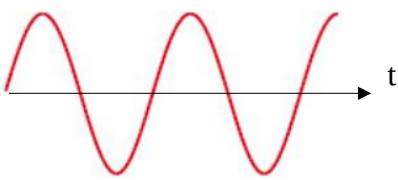
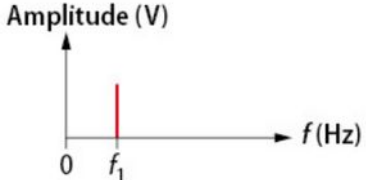
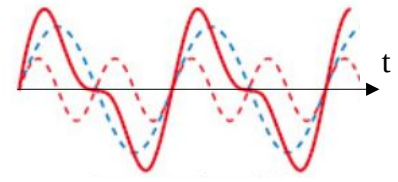
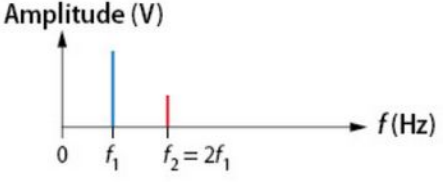
1. Présente-t-il une composante continue ?
2. Détermine le plus précisément possible sa fréquence fondamentale f_1 .

3. Quel est le rang de son harmonique de plus faible amplitude ?



3 Sons purs et sons complexes

Un **son est audible** lorsque sa fréquence est comprise entre **20 Hz et 20 kHz**. En deçà on parle d'**infrasons**, au-delà on parle d'**ultrasons**. On distingue les sons **purs** dont le spectre ne comporte qu'**une seule fréquence** des sons **complexes** qui comportent des **harmoniques**.

Type de son	Représentation temporelle	Spectre d'amplitude
Son pur		
Son complexe		

Application 4 :

1. Vérifie que le son associé au signal des applications 2 et 3 est bien audible.
2. S'agit-il d'un son pur ou complexe ?

4 Lien entre signal et son

Les caractéristiques du signal électrique issu d'un microphone sont liées aux caractéristiques du son capté :

Caractéristiques du signal électrique
Fréquence fondamentale
Amplitude du signal
Amplitude et fréquence des harmoniques

→

Caractéristiques du son
Hauteur du son (en Hz)
Intensité sonore (W/m^2) et niveau sonore (dB)
Timbre sonore (cuivré, brillant, feutré, ...)

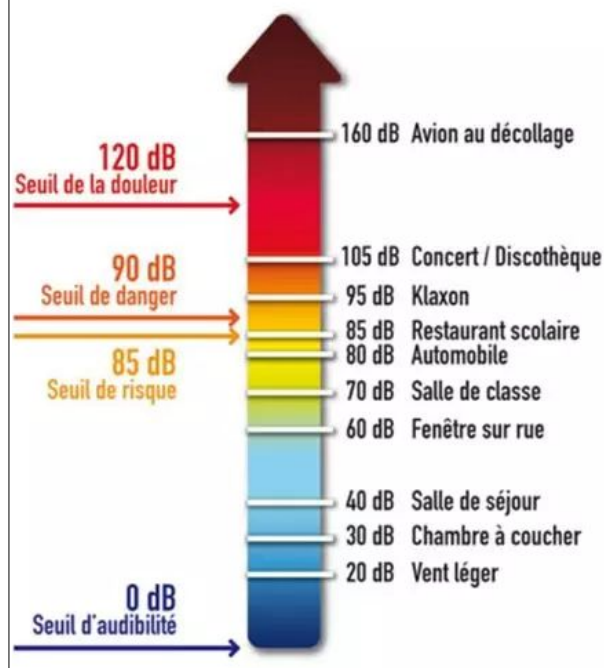
L'intensité acoustique I d'un son s'exprime en W/m^2 . En présence de plusieurs sons, **les intensités sonores s'additionnent** :

$$I_{\text{tot}} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

L'oreille est sensible selon le logarithme de l'intensité acoustique. Ainsi on utilisera plutôt la grandeur **L** appelée « **niveau sonore** » qui s'exprime en **dB** et vaut :

$$L = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Avec $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ le seuil d'audibilité à 1 000 Hz de l'oreille humaine.



★ **Point maths** : Propriétés du logarithme décimal

- $\log(a \times b) = \log(a) + \log(b)$
- $\log\left(\frac{a}{b}\right) = \log(a) - \log(b)$
- $\log(a^b) = b \times \log(a)$
- $\log(10^a) = a$

Application 5 :

1. On donne ci-dessous les fréquences de notes de la gamme tempérée. Détermine la hauteur du son et déduis en la note chantée par B. Pravi pour obtenir le signal de l'application 2 (spectre d'amplitude de l'application 3).

<i>Note</i>	<i>do</i>	<i>do#</i>	<i>ré</i>	<i>mi♭</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>fa#</i>	<i>sol</i>	<i>sol#</i>	<i>la</i>	<i>si♭</i>	<i>si</i>	<i>do</i>
<i>Fréquence (Hz)</i>	264	275	297	316	330	352	371	396	412	440	475	495	528

2. Une chanteuse comme B. Pravi peut émettre un son d'intensité sonore $I = 10^{-3} \text{ W/m}^2$. Calcule le niveau sonore associé.

3. En 2018 le chanteur britannique Calum Scott sortait son titre « You Are The Reason » en duo avec Barbara Pravi. Les dernières notes sont chantées à l'unisson avec un niveau sonore de 90 dB pour chacun des deux chanteurs. Quel est le niveau sonore total ?



Calum Scott et Barbara Pravi en duo

[illegible]

Notes de cours et exercices

[illegible]

