

# LES QUALITÉS PHYSIOLOGIQUES DES SONS

Les paramètres liés aux qualités physiologiques des sons :

- L'**INTENSITÉ** : s'exprime en **Décibel (dB)** et/ou en **Phone**.
- La **HAUTEUR** : liée à la fréquence du son.
- La différence de hauteur ou intervalle peut s'exprimer en **Savart ou Cent**.
- Le **TIMBRE** : Caractérise la richesse du son ; s'étudie en analysant le spectre du son.

## ANALYSE ET ENREGISTREMENT DE PHÉNOMÈNES PÉRIODIQUES

### Les grandeurs caractéristiques :

- La **Période** (T) s'exprime en seconde (s).
- La **Fréquence** ( f ou N ) s'exprime en Hertz (Hz)

$$T(s) = \frac{1}{f(Hz)}$$

### Dispositifs de mesure :

- La **Stroboscopie** : Lors de l'immobilité apparente de l'oscillateur observé, la plus grande fréquence ( $f_e$ ) du stroboscope permettant cette observation est égale à celle (**f**) de l'oscillateur.
- Les enregistrements **mécanique** (Anciens) : On enregistre directement sur un ruban de papier défilant à vitesse constante.
- L'**Oscilloscope** : Un transducteur fait correspondre l'élongation du phénomène observé à une tension, qui est analysée à l'aide d'un oscilloscope.
- L'**Ordinateur** muni d'une **interface** : idem.

### Exercices :

#### Stroboscope mécanique :

Un disque est percé de 8 trous centrés sur un cercle ayant même axe de symétrie que le disque et présentant un écart angulaire égal à 45°. Le disque tourne à la vitesse de 3000 tours/minute. Un faisceau lumineux convergent peut traverser le disque lorsqu'un trou passe au point de convergence.

1. Quelle est la fréquence ( $f_e$ ) du stroboscope ainsi réalisé ?
2. Ce stroboscope éclaire une lame vibrante.
3. Quelles sont les valeurs de la fréquence de la lame pour lesquelles celle-ci paraît immobile dans une position extrême ?

## Stroboscope mécanique :

1. À chaque tour il se produit 8 éclairs à intervalles réguliers.

La fréquence de rotation du disque est égale à  $\frac{3000\text{tours}}{1\text{minute}} = \frac{3000\text{tours}}{60\text{secondes}} = 50\text{tours/s}$

La fréquence des éclairs est donc  $50 \times 8 = 400$  éclairs / s La fréquence du stroboscope est donc :  $f_e = 400\text{Hz}$ .

1. La lame paraît immobile pour les fréquences de la lame :  $f = k \times f_e$

soit  $f = k \times 400$  avec  $k$  entier.

## Étude d'un diapason :

On stroboscope un diapason qui émet un  $la_3$  (fréquence 440 Hz).

1. Pour quelles fréquences du stroboscope, les branches du diapason paraissent-elles immobiles dans une position écartée ?
2. Quelle est la plus grande fréquence ( $f_e$ ) du stroboscope qui permette cette observation ?
3. Qu'observe-t-on lorsque la fréquence du stroboscope est égale à 442 Hz ?

## Correction :

1. Les branches du diapason paraîtront immobiles lorsque le stroboscope aura pour

fréquences :  $f_e = \frac{f_{\text{diapason}}}{k} = \frac{400}{k}$  avec  $k$  entier

2. La plus grande fréquence du stroboscope qui donne une immobilité apparente est

obtenue pour  $k = 1$  soit :  $f_e = 440\text{Hz}$

3. Si la fréquence du stroboscope est égale à  $442\text{Hz}$  le diapason aura un mouvement apparent lent, en sens inverse du mouvement réel, de fréquence :

$$f_{\text{app}} = f_e - f_{\text{diapason}}$$

$$f_{\text{app}} = 442 - 440 = 2$$

$$f_{\text{app}} = 2\text{Hz}$$

## Stroboscopie d'un ventilateur

On éclaire avec un stroboscope de fréquence  $f_e = 48 \text{ Hz}$ , un ventilateur comportant trois pales identiques écartées de  $120^\circ$  :

1. Quelle est la période  $T_e$  des éclairs produits ?
2. Les pales du ventilateur paraissent alors immobiles ; on suppose que chaque pale n'a effectué qu'un tiers de tour, quelle est la période de rotation du ventilateur ?
3. Exprimer en tours par minute la vitesse de rotation du ventilateur.

### Correction :

$$T_e = \frac{1}{f_e} = \frac{1}{48} = 0,022s$$

- 1.
2. Entre deux éclairs le ventilateur effectue  $1/3$  de tour, ce qui correspond à une durée égale à  $T_e$ . La période de rotation du ventilateur vaut

$$\text{donc } T_{\text{ventilateur}} = 3 \times T_e = 3 \times 0,022 = 0,066s$$

3. La fréquence de rotation du ventilateur

$$\text{vaut } f_{\text{ventilateur}} = \frac{1}{T_{\text{ventilateur}}} = \frac{1}{3}f_e = \frac{48}{3} = 16\text{hz}$$

la vitesse de rotation correspond

$$\text{donc à } 16 \text{ tours/s soit } 16 \times 60 = 960\text{tr}/\text{min}$$

## Stroboscopie d'un disque

Un disque peint en blanc comportant une tache noire, tourne autour de son axe à la vitesse de 3000 tours/minute. On analyse son mouvement à l'aide d'un stroboscope.

1. Quelle est en hertz la plus grande fréquence  $f_e$  des éclairs donnant l'immobilité apparente d'une seule tache noire ?
2. Pour la même vitesse de rotation du disque on observe quatre taches noires paraissant immobiles : Calculer la fréquence  $f'_e$  des éclairs donnant cette image.

### Correction :

1. La fréquence de rotation de la tache noire est égale à celle du disque

$$f_{\text{disque}} = \frac{3000\text{tours}}{1\text{minutes}} = \frac{3000\text{tours}}{60\text{secondes}} = 50 \frac{\text{tours}}{\text{seconde}} = 50\text{hz}$$

soit : La plus grande fréquence des éclairs permettant d'obtenir une immobilité apparente de la tache

noire est telle que :  $f_e = f_{\text{tache}} = f_{\text{disque}} = 50\text{Hz}$

1. Si on observe quatre taches noires immobiles le disque n'effectue qu'un quart de tour entre deux éclairs. La fréquence des éclairs est quatre fois plus grande que celle de la tache noire :  $f'_e = 4 \times f_{\text{tache}} = 4 \times f_{\text{disque}} = 4 \times 50 = 200$  donc  $f'_e = 200\text{Hz}$

### Enregistrement sur un cylindre en rotation

On enregistre les vibrations de l'extrémité d'une branche de diapason, munie d'un stylet, sur un cylindre de rayon  $R = 5 \text{ cm}$ , tournant à la vitesse constante de 2 tours/seconde. On compte 200 oscillations enregistrées sur une longueur de 20 cm de papier enregistreur. Quelle est la fréquence des vibrations du diapason ?

**Correction :** Le cylindre tourne de deux tours en une seconde, donc en une seconde le stylet parcourt :  $L = 2 \times (2 \times \pi \times R)$ . La durée  $\Delta t$  correspondant à l'enregistrement des 30 oscillations est telle

$$\frac{\Delta t}{1(s)} < \frac{20(cm)}{2 \times (2 \times \pi \times R)(cm)} \Rightarrow$$

que :

$$\Delta t = \frac{20 \times 1}{2 \times (2 \times \pi \times R)} = \frac{20}{4 \times \pi \times 5}$$

$$\Delta t = 0,318s$$

La durée d'une oscillation ou période est égale à :

$$T = \frac{\Delta t}{30} = \frac{0,318}{30}$$

$$T = 1,06 \cdot 10^{-2} s$$

La fréquence des vibrations est égale à :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,06 \cdot 10^{-2}}$$

$$f = 94 Hz$$

### Enregistrement sur une plaque en mouvement de translation uniforme

Un papier enregistreur est fixé sur une plaque se déplaçant horizontalement à une vitesse constante, égale à  $2,4 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , sous un pendule portant un crayon enregistreur à son extrémité ; Le pendule écarté de sa position d'équilibre est abandonné à lui même. On constate que l'enregistrement comporte 3 oscillations complètes sur une longueur de 21,2 cm.

1. Quelle est la période d'oscillation du pendule ?
2. Quelle est sa fréquence ?

### Correction :

Durée de l'enregistrement de longueur 21,2 cm :

$$\Delta t = \frac{l}{v} = \frac{0,212m}{0,04m/s} = 5,3s \quad \text{or} \quad v = 2,4 \frac{m}{minute} = \frac{2,4m}{60s} = 0,04m/s$$

$$\Delta t = \frac{0,212}{0,04} \quad \text{soit} \quad \Delta t = 5,3s$$

La durée de 3 oscillations est égale à 5,3 s. La durée de la période est donc :

$$T = \frac{\Delta t}{3} = \frac{5,3}{3} = 1,77$$

$$T = 1,77s$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,77} = 0,56$$

La fréquence du pendule est :

$$f = 0,56Hz$$

### Disque vinyle

Un disque vinyle « 33 tours » tourne sur sa platine à la vitesse de « 33,3 » tours .

1. La vitesse de rotation du disque est-elle égale à : 33 1/3 tours par seconde, ou à 33 1/3 tours par minute ?
2. Un son de fréquence 600 Hz est enregistré sur le sillon de rayon moyen 12 cm. Quel est le nombre de motifs enregistrés sur une longueur de 4 cm ?

### Correction :

1. La vitesse de rotation d'un disque vinyle est : 33 1/3 tours par minute.
2. La durée de un tour (en seconde) est :

$$\Delta t = \frac{1minute}{33,33} = \frac{60secondes}{33,33} = 1,8s$$

durée  $\Delta t$  d'un enregistrement de longueur 4 cm :

$$1 \text{ tour} \Rightarrow \text{périmètre} = 2 \times \pi \times R = 2 \times \pi \times 12 = 75,4cm$$

$$\Delta t \Rightarrow 4 \text{ cm } 1,8 \text{ s} \Rightarrow 75,4 \text{ cm} \text{ donc} \quad \Delta t = \frac{1,8 \times 4}{75,4} \quad \Delta t = 0,095s$$

nombre de motifs (périodes) enregistrés sur 4 cm de sillon :

$$n = \frac{\Delta t'}{\frac{1}{f}}$$

$$n = \Delta t' \times f = 0,095 \times 600 = 57$$

### La<sub>3</sub> enregistré sur un disque vinyle

Un disque vinyle « 33 tours » tourne sur sa platine réglée à la vitesse de 33 1/3 tours par minute, il porte sur un sillon l'enregistrement du La<sub>3</sub> (440 Hz ) sur une circonférence complète.

1. Quelle est la durée du son émis ?
2. Quelle est la fréquence du son restitué lorsque la fréquence de rotation est réglée sur « 45 tours » (par minute) ?

### Correction :

1. La durée de un tour (en seconde) est :

$$\Delta t = \frac{1 \text{ minute}}{33,33} = \frac{60 \text{ secondes}}{33,33} = 1,8 \text{ s}$$

L'enregistrement du <sup>La<sub>3</sub></sup> sur une circonférence complète correspond à 1,8 s.

2. Si la vitesse de rotation du disque augmente en passant de 33 1/3 tours par minute à 45 tours par minute, la fréquence du son restitué augmente proportionnellement :

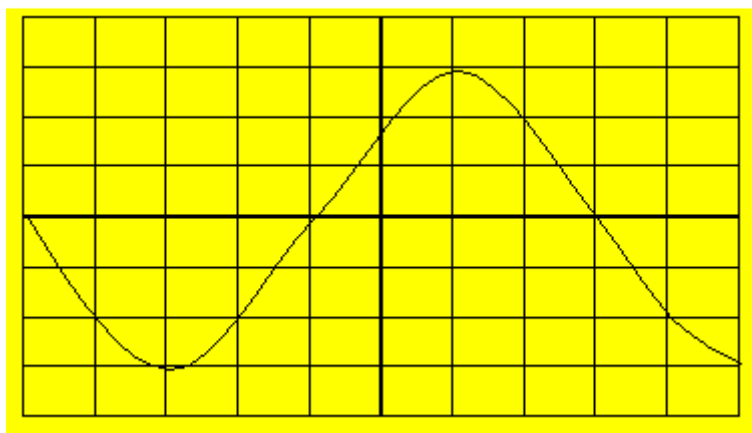
$$f = \frac{40 \times 45}{33,33}$$

$$f = 594 \text{ Hz}$$

(Ce qui est proche d'un ré<sub>4</sub> )

## Étude d'un son à l'oscilloscope

L'étude d'un son à l'aide d'un oscilloscope conduit à l'oscillogramme ci-dessous, lorsque : la sensibilité horizontale est réglée sur 1 ms / div, et la sensibilité verticale est réglée sur 2 V / div.



1. Donnez les différents éléments de la chaîne électro-acoustique permettant l'analyse de ce son produit par un haut-parleur alimenté par un G.B.F (générateur de basses fréquences). Citer cinq éléments au minimum.
2. Quelle est la fréquence du son étudié ?
3. Quelle est l'amplitude de la tension étudiée ?
4. Représentez l'aspect de l'écran si pour l'analyse du même son le balayage horizontal avait été réglé sur 0,5 ms / div, la sensibilité verticale conservant la même valeur.
5. Représenter l'aspect de l'écran si pour l'analyse du même son, le balayage horizontal avait été réglé sur 2 ms / div, et la sensibilité verticale sur 5 V / div.

### Correction :

1- Un G.B.F, un haut-parleur, l'air, un microphone, un amplificateur, l'oscilloscope.

2- On lit sur le graphe que la période correspond à 8 divisions, soit :

$$T = 8 \text{ div} \times 1 \text{ ms/div} = 8 \text{ ms} \Rightarrow 0,008 \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,008} = 125 \text{ Hz}$$

La fréquence est donc :

3 - On lit sur le graphe que l'amplitude correspond à 3 divisions,

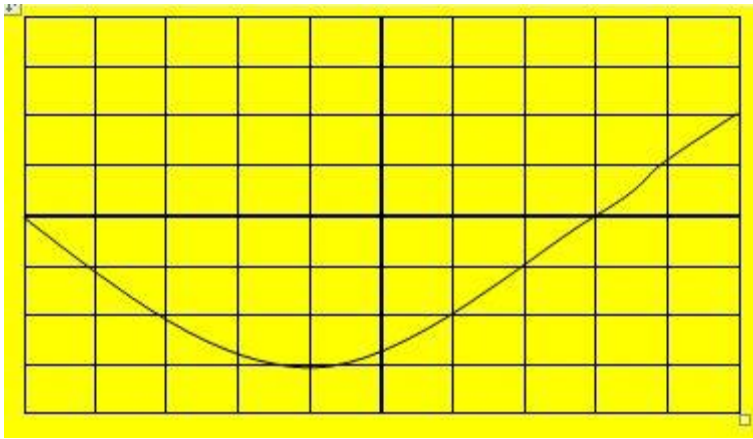
$$3 \text{ div} \times 2 \text{ V/div} = 6 \text{ V}$$

soit :

4 : Avec un réglage du balayage horizontal réglé sur 0,5 ms / div, une période s'étalerait

$$\text{sur : } \frac{8 \text{ ms}}{0,5 \text{ ms/div}} = 16 \text{ div}$$

et un quart de période sur 4 div



5- Avec un réglage du balayage horizontal réglé sur 2 ms / div, une période s'étalerait

sur :  $\frac{8ms}{2ms/div} = 4div$  et un quart de période sur 1 div

