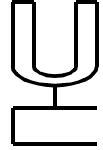


LES ONDES SONORES

1. PRODUCTION ET PROPAGATION

1.1. **Production** : le son est produit par des *corps en vibration* . Les vibrations provoquent alors une perturbation de la pression du milieu .

Exemple : la vibration des branches d'un diapason provoque alternativement compression et dilatation des tranches d'air à proximité de ces branches



1.2. **Propagation** : Ce mouvement vibratoire se propage de proche en proche aux couches suivantes : l'onde sonore est LONGITUDINALE : la direction de propagation et la direction de la perturbation sont les mêmes.

1.3. Caractéristiques d'un son :

* **Fréquence f** : les sons audibles pour l'homme se situent dans le domaine 20 Hz (son grave) < f < 20.000 Hz (son aigu).

Ce qu'on appelle la *hauteur d'un son* est directement lié à sa fréquence :

Exemples : clavier de piano : 25 Hz à 5000 Hz

 Violon : 200 Hz à 4000 Hz

* **Vitesse de propagation : célérité**

Pour les gaz, on démontre que :

Pour l'air : $c = 330 \text{ m.s}^{-1}$

Pour une température de 0°C

Pour les liquides et les solides :

$c_{\text{eau}} = 1600 \text{ ms}^{-1}$; $c_{\text{pierre}} = 4000 \text{ ms}^{-1}$;

$$c = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}}$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

R = Cte gaz parfaits

M = masse molaire

T = température

$$C_{\text{sol}} > C_{\text{liq}} > C_{\text{gaz}}$$

* **Longueur d'onde dans l'air** : $\lambda = \frac{c}{f}$ $c = 340 \text{ m.s}^{-1}$ à temp. ambiante

si $f = 20 \text{ Hz}$ alors $\lambda = \frac{340}{20} = 17 \text{ m}$

si $f = 500 \text{ Hz}$ alors $\lambda = \frac{340}{500} = 0,68 \text{ m}$

Ces valeurs montrent l'importance des phénomènes de *diffraction* pour le son. Les ouvertures (portes et fenêtres) sont de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde λ : ces ouvertures jouent donc le rôle de sources secondaires qui réémettent dans toutes les directions de l'espace.

* **Timbre d'un son** : il est directement lié à la nature du son :

On distingue :

- son pur : c'est une vibration dite simple qui correspond à une vibration sinusoidale ; la pression s'écrit : $p = p_m \sin(2\pi f t + \phi)$

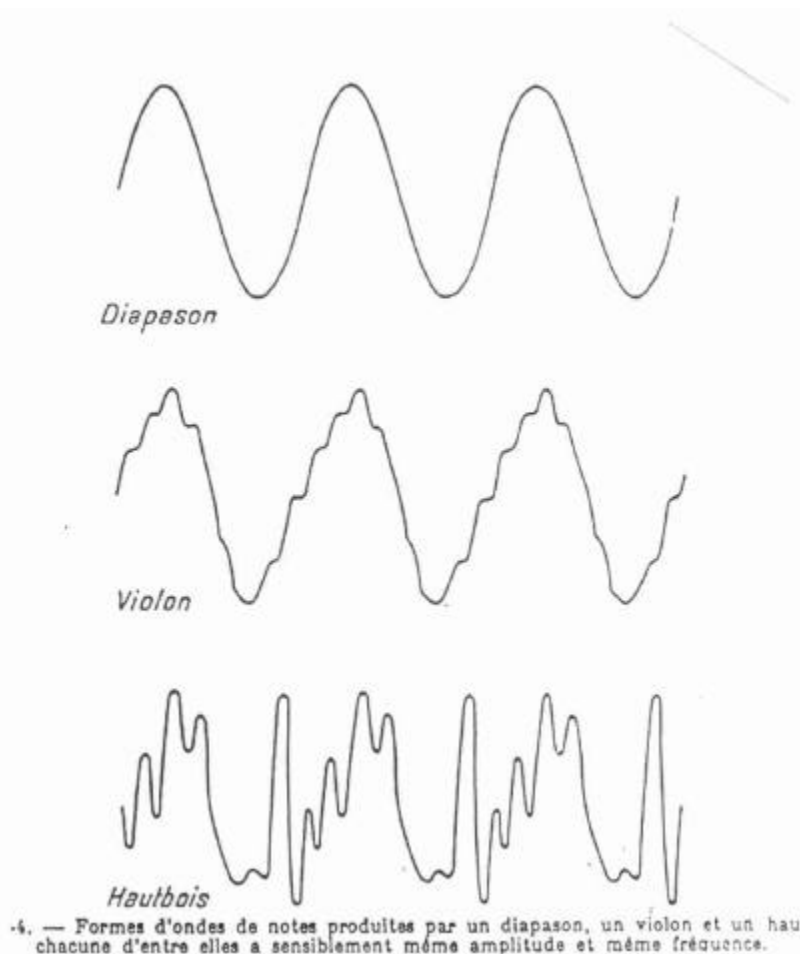
- son quelconque : c'est une vibration dite complexe, périodique. Mais toute vibration périodique peut se décomposer en une somme de fonctions sinusoidales de fréquence f , $2f$, $3f$, ..., kf (décomposition de FOURIER)

Quand le même son (même fréquence fondamentale et même amplitude) est produit par un instrument de musique différent, la forme d'onde est différente.

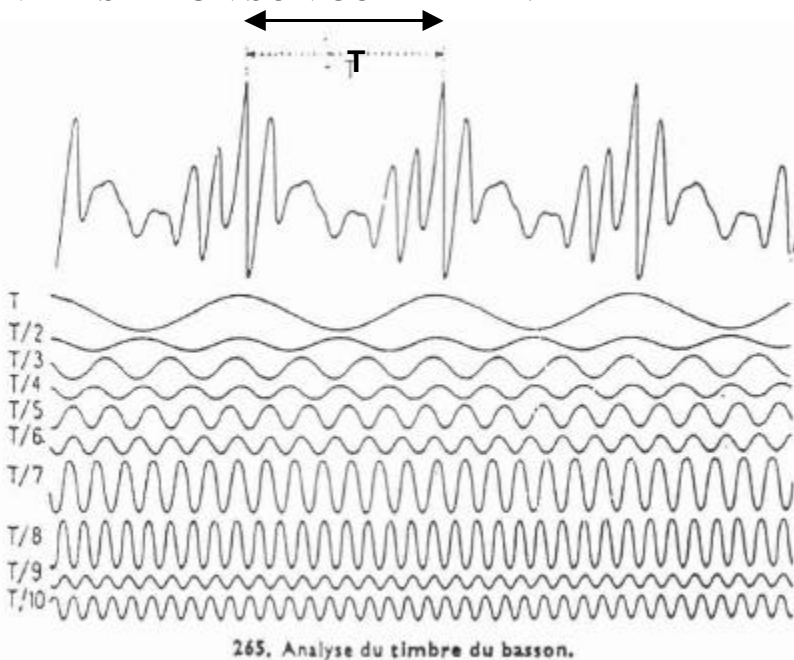
Le diapason émet un son correspondant à une vibration harmonique simple (c'est à dire sinusoïdale)

Le violon et le hautbois émettent des sons complexes : Les formes d'onde sont périodiques mais pas sinusoïdales .

Un son complexe est la superposition de vibrations sinusoïdales : superposition de la vibration fondamentale de fréquence f avec d'autres vibrations simples de fréquence $2f, 3f, \dots, kf$,

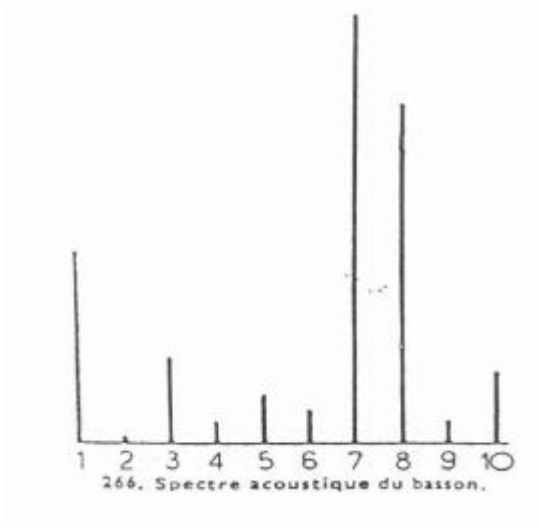


ANALYSE D'UN SON COMPLEXE :



Certaines oreilles sensibles sont capables de reconnaître la présence d'harmoniques. C'est HEMHOLTZ (physicien allemand 1821-1894) qui a mis au point un système de **résonateurs** pour analyser un son complexe. Les progrès de l'électronique ont permis de mettre au point des circuits qui filtrent les harmoniques captées par un micro : fréquence et intensité correspondante.

La figure 265 ci-dessus représente l'analyse du timbre du basson, instrument au son très « timbré » jusqu'à la 10^{ème} harmonique.



On représente le résultat de cette analyse sous la forme d'un *spectre acoustique*. (figure 266)
La figure ainsi obtenue porte en abscisses le numéro des harmoniques et en ordonnées l'intensité de chacune d'elles

On obtient alors une série de « raies » acoustiques correspondant au son émis par le basson.

2. GRANDEURS LIEES A L'INTENSITE D'UN SON

2.1. Pression acoustique ou pression sonore :

$$p = p_m \sin\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t + \phi\right) \quad \text{On définit la pression efficace : } P_s = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2 dt}$$

Le *seuil d'audibilité* correspond à la pression minimale en dessous de laquelle l'oreille ne perçoit plus le son $P_{s0} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$

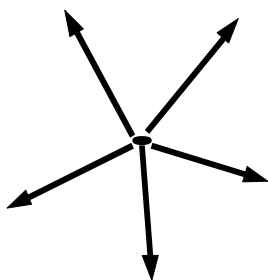
Le *seuil de douleur* correspond à la pression maximale supportable par l'oreille : $P_{s_{\max}} = 63 \text{ Pa}$

2.2. Intensité sonore ou intensité acoustique : I en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$

* relation entre intensité et pression :

$$I = k \cdot P_s^2$$

* relation entre intensité sonore et éloignement : c'est le phénomène d'affaiblissement du son.



Quand on s'éloigne d'une source sonore donnée, le son s'affaiblit à cause de la distance.

Si la source sonore émet dans toute les directions de l'espace, les couches d'air successives concernées par l'onde sonore sont des sphères de rayon R . On dit que le son se propage par ONDES SPHERIQUES.

On peut écrire :

$$I = \frac{P}{4\pi R^2}$$

Seuil d'audibilité : $I_0 = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

Seuil de douleur : $I_{\max} = 10^2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

* P : correspond à puissance de la source (en W)

* $4\pi R^2$ représente la surface de la sphère (en m^2)

* I : représente l'intensité sonore à la distance R de la source (en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

2.3. Niveau sonore ou niveau acoustique en dB (décibels)

On peut définir trois types de niveau acoustique :

NIVEAU D'INTENSITE ACOUSTIQUE : (en dB)

Si $I = I_0$ alors $N_I = 0 \text{ dB}$ (seuil d'audibilité)

$$N_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

NIVEAU DE PRESSION ACOUSTIQUE : (en dB)

$$N_p = 20 \log \frac{P_s}{P_{s_0}}$$

NIVEAU DE PUISSANCE ACOUSTIQUE : (en dB)

$$N_w = 10 \log \frac{W}{W_0}$$

2.4. Niveau acoustique lié à plusieurs sources :

On peut **additionner les intensités** sonores en un point donné.

On calcule alors : $I_{\text{tot}} = I_1 + I_2 + I_3$ à partir des niveaux N_1, N_2, N_3, \dots

Le niveau N_{tot} sera calculer par la formule donnant N_1 .

2.5. Niveau acoustique de SENSATION SONORE : en phones ou dB(A)

L'oreille humaine n'a pas la même sensibilité à toutes les fréquences. Elle est plus sensible aux sons entre 2000 Hz et 5000 Hz (phénomène de résonance avec le tympan) et beaucoup moins sensible aux basses et aux hautes fréquences.

Niveau de référence : $f = 1000 \text{ Hz}$ alors L (en phones) = N (en dB)

Tous les autres niveaux à des fréquences différentes sont comparés à ce niveau

On peut alors tracer, pour les diverses fréquences, des courbes d'EGAL NIVEAU ACOUSTIQUE (Courbes de FLECHTER et MUNSON) :

