

# Thème 4 : Ondes et signaux

## Partie 1. Caractériser les phénomènes ondulatoires

### CHAP 18-COURS Caractéristiques des ondes sonores-Effet Doppler

#### 1. RAPPEL DE 1 ÈRE SPE :

cf Physique chap 10 :les ondes mécaniques

#### 2. CARACTERISTIQUES D'UN SON

##### 2.1. Hauteur d'un son

- La hauteur d'un son est égale à sa **fréquence**
- Plus elle est élevée, plus le son est **aigu**, plus elle est basse, plus le son est **grave**.

Remarques :

- Les sons audibles, car perceptibles par l'oreille humaine sont entre **20 Hz et 20 000 Hz**
- Les **infrasons**, trop graves pour l'oreille humaine ont une fréquence  $< 20$  Hz
- Les **ultrasons**, trop aigus pour l'oreille humaine ont une fréquence  $> 20\ 000$  Hz

ANIMATION: [Hearing Test HD.mp4](#)

##### 2.2. Timbre

- La même note jouée par deux instruments différents, par exemple flûte et clarinette, procure deux sensations sonores différentes. C'est ce qu'on appelle le **timbre**
- Le timbre est la qualité du son qui permet de distinguer deux notes de **même** hauteur (fréquence) jouée par deux instruments **différents**.

ANIMATION: [Cours de Physique TS Ondes 1.4.2 Analyse spectrale d'un son.mp4 \(2 min 30 sec\)](#)

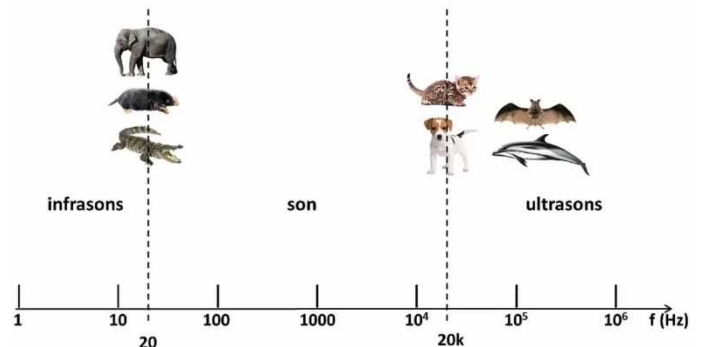
##### 2.3. Intensité sonore :

- L'intensité d'un son est la qualité qui donne la sensation qu'un son est plus ou moins **fort**.
- L'intensité d'un son est liée à **l'amplitude** de la vibration sonore perçue.
- L'intensité sonore se note avec la lettre **I** et s'exprime en watt par mètre carré ( $W.m^{-2}$ ). Cette unité indique qu'elle correspond à un « débit » d'énergie par unité de surface.

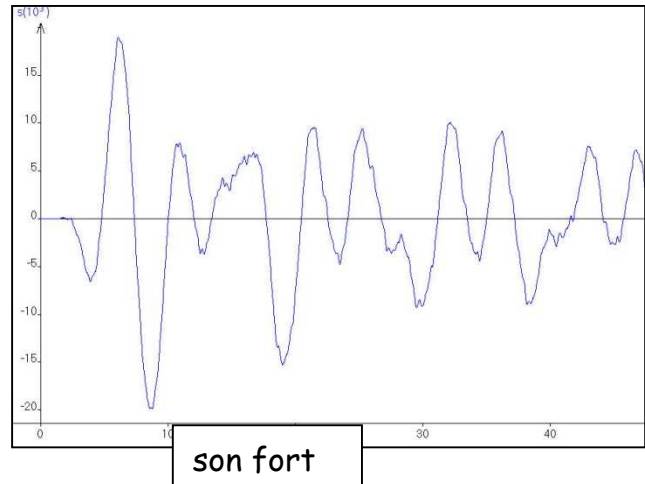
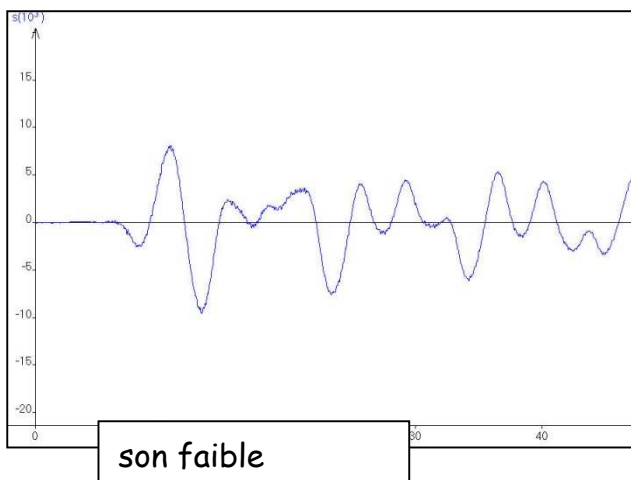
L'intensité sonore dépend de plusieurs paramètres :

- l'intensité sonore à l'émetteur
- la distance du récepteur à la source sonore

#### Sons, infrasons, ultrasons



- la présence d'obstacles :
  - absorbants l'intensité sonores (double vitrage, mur antibruit),
  - réfléchissants les ondes (écho).



**Remarque :**

La sensation d'intensité sonore perçue par l'oreille dépend de la fréquence du son :

la sensibilité de l'oreille humaine est maximale aux environs de 3 000 Hz.

**ANIMATION :** <https://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/sound-pitch-loudness-timbre.htm#sub3>

#### 2.4. Les intensités sonores maximale et minimale chez l'humain

- Toutes les ondes sonores ne sont pas perceptibles par l'oreille humaine. A l'inverse, des intensités sonores trop élevées peuvent être dangereuses.

- L'oreille humaine peut en moyenne percevoir des sons ayant une intensité sonore supérieure à  $10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$ . Cette intensité sonore minimale est noté  $I_0$  et appelée **seuil d'audibilité**.

- Par ailleurs, un son dont l'intensité sonore est très forte peut provoquer une douleur, ainsi qu'une perte d'audition partielle ou totale : on estime en général que le **seuil de douleur** correspond à une valeur d'environ  $10 \text{ W.m}^{-2}$ .

- L'exposition répétée à des ondes sonores d'intensité élevées mais inférieures aux intensités maximales, sans protections appropriées, peut également engendrer des dommages sur l'oreille humaine.

#### 2.5. Puissance sonore

Elle est notée P et s'exprime en Watt (W).

Elle est liée à l'intensité sonore par la formule

$$P = I \cdot S$$

⇔

$$I = P/S$$

Avec S, la surface en  $\text{m}^2$

## 2.6. Le niveau d'intensité sonore : le Décibel

- L'intensité sonore perceptible prend des valeurs sur un intervalle extrêmement large qui va de  $10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$  jusqu'à  $10 \text{ W.m}^{-2}$  soit un facteur de 10 000 milliards ! entre la limite inférieure et la limite supérieure. Afin d'utiliser une échelle de grandeur plus simple et plus significative on définit le niveau d'intensité sonore de la manière suivante :

**Le niveau sonore L, exprimé en décibels acoustiques (dB)** est défini par la relation suivante :

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

$I_0$  : seuil d'audibilité de l'oreille humaine ( $10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$ )

$I$  : est l'intensité sonore de la vibration acoustique ( $\text{W.m}^{-2}$ )

La notation « log » fait référence à la fonction logarithme décimal.

L'échelle de Niveau sonore est graduée de 0 à 140 dB environ

Ou si l'on veut I et pas L :

$$I = I_0 \cdot 10^{\frac{L}{10}}$$

- La mesure des niveaux sonores s'effectue avec un **sonomètre**.

**Applications :** Montrer que doubler l'intensité sonore revient à augmenter le niveau sonore de **3 dB**

Si  $I' = 2 \times I$  alors  $L' = 10 \log(2 \times I/I_0) = 10[\log 2 + \log(I/I_0)] = 10\log 2 + 10\log(I/I_0) = 3\text{dB} + L$

## 2.7. Le danger du « bruit »

### Les niveaux d'apparition des effets extra-auditifs du bruit : 40-50 dB

Pour des niveaux d'exposition à des niveaux supérieurs à 40 dB la nuit et à 50-55 dB en journée, l'OMS considère que des effets extra-auditifs du bruit peuvent se manifester :

Troubles du sommeil, gêne, risques cardiovasculaires accrus, difficultés de concentration et retards dans les apprentissages.

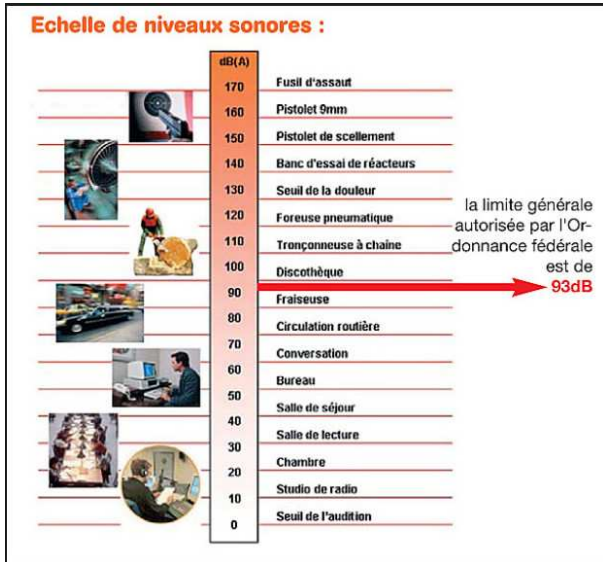
### Le seuil de risque pour l'audition : 80 dB

- Il s'agit d'une valeur importante qui sert de base à la réglementation « bruit au travail ».
- A partir de ce seuil, l'employeur se doit d'apporter une information sur les risques auditifs encourus, de proposer un contrôle de l'audition (facultatif) et de mettre à disposition de ses salariés des protections auditives adaptées.
- A partir de 80 dB(A), la durée d'exposition à la source de bruit est un facteur important de risque.
- Toujours selon la réglementation « bruit au travail », lorsque le salarié est exposé à un niveau de 85 dB(A) sur une période de 8h, le port de protections auditives est obligatoire.

### Le seuil de douleur : 120 dB

- Le seuil de 120 dB marque le début de la douleur. Nos oreilles nous font mal. C'est un message d'alerte... qui arrive bien tard !

## Quelques graphiques



### Niveau d'intensité sonore et risques pour l'audition

| AU QUOTIDIEN                 | NIVEAU SONORE (dB) | AU TRAVAIL                       | LES EFFETS                   | RISQUE  |
|------------------------------|--------------------|----------------------------------|------------------------------|---------|
| Décollage de la fusée Ariane | 180                |                                  |                              | Avéré   |
| Turbo - réacteur             | 140                |                                  |                              |         |
| Coup de fusil                | 130                | Bancs d'essai moteurs            | Seuil de la douleur          |         |
| Passage d'une Formule 1      | 120                | Marteau piqueur                  |                              |         |
| Orchestre de musique Pop     | 110                | Atelier de chaudronnerie         |                              |         |
| Passage d'un train en gare   | 100                | Scies circulaires                |                              |         |
| Walkman volume à fond        | 90                 | Ponceuses                        |                              | Présumé |
| Radio à fond                 | 80                 | Machine à tailler les outillages |                              | Aucun   |
| Restaurant bruyant           | 70                 | Bureau avec machines à écrire    | Travail de bureau difficile  |         |
| Conversation animée          | 60                 | Bureau bruyant                   |                              |         |
| Conversation calme           | 50                 | Grand bureau calme               | Travail intellectuel pénible |         |
| Appartement tranquille       | 40                 | Petit bureau calme               |                              |         |
| Promenade en forêt           | 30                 |                                  |                              |         |
| Campagne paisible            | 20                 |                                  |                              |         |
| Studio d'enregistrement      | 10                 |                                  |                              |         |
| Silence                      | 0                  |                                  | Seuil d'audibilité           |         |



> 105 dB(A) : Risques immédiats/ court terme pour l'audition : surdité, acouphènes...

85-105 dB(A) : Risques à moyen/long terme pour l'audition si exposition chronique : pertes auditives

A partir de 40 dB(A) la nuit et de 55 dB(A) le jour : effets extra-auditifs du bruit (fatigue, stress, troubles du sommeil, troubles de l'humeur, troubles cardiovasculaires, troubles des apprentissages, gêne...)

Plusieurs facteurs entrent en considération : niveau sonore, fréquence, caractère continu ou intempêtif du bruit, durée d'exposition, sensibilité individuelle...

## 2.8 Atténuation

### a) définition

L'atténuation d'un son dont le niveau sonore passe de L à L' :

$$A(\text{dB}) = L - L' = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I'}\right)$$

**Application :** Calculer l'atténuation lorsque l'intensité sonore est divisée par 10.

$$I' = I/10 \Rightarrow I/I' = 10 \text{ d'où } A = 10 \log 10 = 10 \text{ dB}$$

### b) atténuation géométrique

On entend moins bien un son au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source.

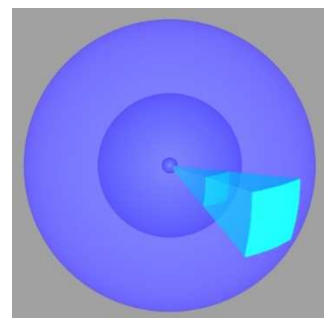
L'atténuation géométrique mesure la **diminution** du niveau sonore lorsque l'on s'éloigne de la source.

$$A = L_{\text{proche}} - L_{\text{éloigné}}$$

Lorsqu'une onde se propage dans toutes les directions à partir d'une source ponctuelle, l'énergie transportée par l'onde se répartit sur une sphère dont la surface est de plus en plus grande.

L'intensité qui représente la puissance de l'onde par unité de surface :

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



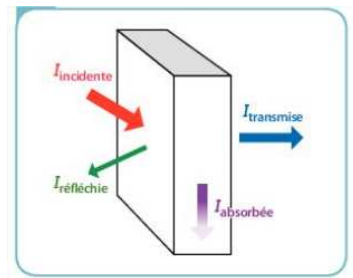
**Application :** Calculer l'intensité sonore puis l'atténuation lorsque la distance à la source est doublée.

Si  $R' = 2R$  alors  $I' = I/2^2 = I/4$  d'où  $A = L_{\text{proche}} - L_{\text{éloigné}} = 10 \log 4 = 6 \text{ dB}$   
**le niveau sonore est diminué de 6dB lorsque la distance à la source est doublée**

### c) atténuation par absorption

On entend moins bien un son lorsque l'on place un obstacle entre la source et son oreille.

Lorsqu'une onde sonore rencontre une paroi, elle peut être transmise, réfléchiée ou absorbée.



**L'atténuation par absorption mesure l'efficacité d'un matériau à lutter contre la transmission du bruit.**

$$A = L_{\text{incident}} - L_{\text{transmis}}$$

## 3. EFFET DOPPLER

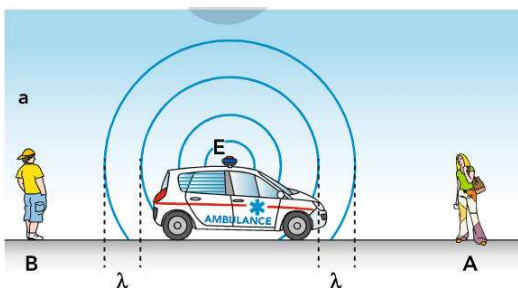
cf vidéo L\_Effet Doppler - The Doppler Effect+ vidéo nouvelle effet klaxon

### 3.1. Définition

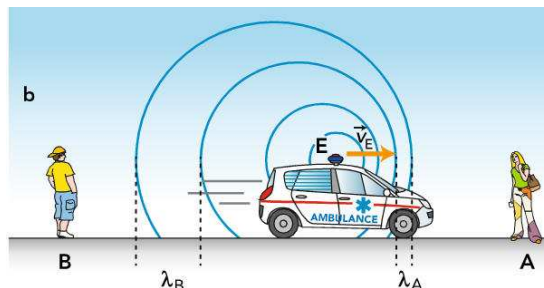
Le son d'un moteur ou d'une sirène est perçu plus aigu quand le véhicule qui l'émet s'approche d'un observateur et plus grave quand il s'en éloigne.

- Une onde électromagnétique ou mécanique émise avec une fréquence  $f_{\text{émise}}$  est perçue avec une fréquence  $f_{\text{perçue}}$  **différente** lorsque l'émetteur et le récepteur sont en **déplacement relatif** : c'est l'effet Doppler.
- L'effet Doppler constitue une méthode de mesure des vitesses.

### 3.2. Démonstration Animation sur le principe de l'effet Doppler



**Doc. 13** Lorsque l'émetteur est immobile, les observateurs immobiles A et B perçoivent des ondes de même longueur d'onde :  $\lambda = \frac{v}{f_E}$ .



**Doc. 14** Lorsque l'émetteur se déplace à la vitesse  $v_E$  en s'approchant de l'observateur A et en s'éloignant de l'observateur B, ceux-ci perçoivent des ondes de longueurs d'onde  $\lambda_A < \lambda$  et  $\lambda_B > \lambda$ .

produit des ondes sonores de fréquence  $f_E$  à la vitesse  $v$ .

- Les vitesses sont mesurées dans un référentiel terrestre.

- La vitesse de déplacement de l'émetteur  $v_E$  est faible et inférieure à la vitesse de l'onde dans le milieu de propagation

- L'émetteur E qui se propagent

#### a) lorsque l'émetteur s'approche de l'observateur, le son de la sirène est perçu plus aigu

- Quand l'émetteur est immobile, la longueur d'onde est  $\lambda$



- Lorsque l'émetteur s'approche de l'observateur, la longueur d'onde perçue par l'observateur est plus petite que la longueur d'onde émise, on a donc :

$$\lambda_A < \lambda \Rightarrow \frac{\lambda_A}{v} < \frac{\lambda}{v} \Rightarrow \frac{1}{f_A} < \frac{1}{f} \Rightarrow \mathbf{f_A > f} \quad \text{CQFD}$$

### b) lorsque l'émetteur s'éloigne de l'observateur, le son de la sirène est perçu plus grave

$$\lambda_B > \lambda \Rightarrow \frac{\lambda_B}{v} > \frac{\lambda}{v} \Rightarrow \frac{1}{f_B} > \frac{1}{f} \Rightarrow \mathbf{f_B < f} \quad \text{CQFD}$$

### 3.3. Relations

Pour l'observateur A :

$$v_E = v \cdot \frac{f_A - f_E}{f_A}$$

Pour l'observateur B :

$$v_E = v \cdot \frac{-f_B + f_E}{f_B}$$

$v_E$  : Vitesse de l'ambulance (voiture) ( $m.s^{-1}$ )  
 $v$  : Vitesse de l'onde ( $m.s^{-1}$ )  
 $f_E$  : Fréquence de l'onde produite par l'émetteur (pin-pon de la sirène de l'ambulance)  
 $f_A$  : Fréquence de l'onde perçue par l'observateur A (Hz) (l'ambulance s'approche de A)  
 $f_B$  : Fréquence de l'onde perçue par l'observateur B (Hz) (l'ambulance s'éloigne de B)

### 3.4. Utilisation

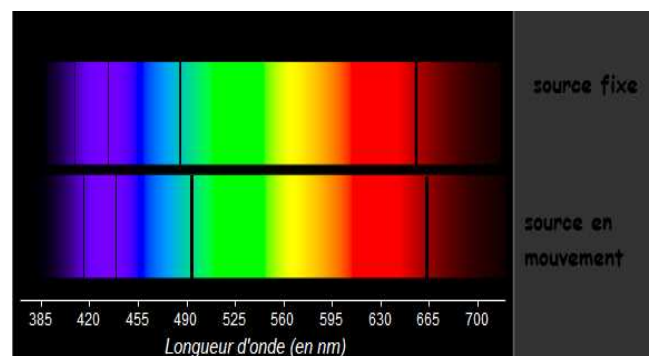
- Les radars routiers (**cinémomètres**) utilisent l'effet Doppler avec des ondes **électromagnétiques** pour mesurer la valeur de la vitesse des véhicules (doc. 1 5). Leur fonctionnement est différent de l'exemple de l'ambulance, car ils sont à la fois émetteurs et récepteurs.
- De même, en imagerie médicale, la valeur de la vitesse de déplacement du **sang** est mesurée par effet Doppler

### 3.5. Effet Doppler-Fizeau en astronomie

- L'effet Doppler-Fizeau permet de calculer la valeur de la vitesse radiale d'une étoile en comparant les longueurs d'onde de son spectre d'absorption à celles d'un spectre de référence.  
 Rappel : [spectres de raies d'émission et d'absorption](#) (Animation)

- Lorsqu'une étoile ou une galaxie **s'éloigne** de la Terre, on observe un décalage vers les grandes longueurs d'onde (vers le rouge pour les raies du visible); ce **décalage vers le rouge** est appelé « **redshift** ».
- Lorsqu'une étoile ou une galaxie se **rapproche** de la Terre, on observe un décalage vers les petites longueurs d'onde (vers le bleu) ; ce **décalage vers le bleu** est appelé « **blueshift** ».

**Application:** Voici le spectre d'absorption de l'hydrogène si la source est fixe par rapport au récepteur, puis si la source est en mouvement. La source s'éloigne ou se rapproche de l'objet?



[Résumé Applications Effet Doppler](#) (Animation CEA)