# T4C01 - Effet Doppler

E. Machefer

10 janvier 2024

# 1 Niveau d'intensité sonore

## 1.1 Intensité acoustique

Elle est définie comme étant la puissance transportée par les ondes sonores par unité de surface dans une direction perpandiculaire à ce transfert. L'unité SI de l'intensité est le $W/m^2$

Pour une onde sonore sphérique, elle est définit par

$$I = \frac{P}{S},$$

avec P la puissance sonore en watt (W) et S la surface en $m^2$.

**Rappel :** **rappel**

la célérité du son dans des condition normales de température, de pression et d'humidité dans l'atmosphère est $c_s = 340$ m/s

L'oreille humaine perçoit les son dont l'intensité est comprise entre le *seuil d'audibilité* ($10^{-12}$ $W/m^2$) et le *seuil de douleur* (10 $W/m^2$).

## 1.2 Niveau d'intensité sonore

L'intensité acoustique est peu pratique a utilisé étant donné la différence de l'ordre de $10^{14}$ $W/m^2$ entre les deux extrémités, on lui préfère le niveau d'intensité sonore définit à partir du logarithme de l'intensité sonore.

Il est noté L (*level*), et s'exprime en dB

$$L = 10 \log(I/I_0),$$

avec $I_0 = 1.0 \times 10^{-12}$ $W/m^2$ correspond à l'intensité sonore de référence à 1kHz.

./data/echelle_intensite.pdf

**Remarque** **remarque**

**Remarque 1.**

Lorsque plusieurs instruments jouent ensemblent, les intensités sonores s'ajoutent, les niveaux d'intensité ne s'ajoutent pas.
Pour passer du niveau d'intensité à l'intensité acoustique

$$I = I_0 \times 10^{L/10}$$

**Exercice : preuve** **exercice**

**Ex 3 p 358** **exercice**

Calculer le niveau d'intensité sonore correspondant à chacune des intensité sonores suivantes.

| Intensité (W/m$^2$) | 1.2e-7 | 7.3e-5 | 2.3e-3 |
|---|---|---|---|
| Niveau (dB) | 50.791812 | 78.633229 | 93.617278 |

## 1.3 Atténuation géométrique

L'atténuation géométrique A (dB) correspond à la diminution du niveau d'intensité lorsque la distance par rapport à la source sonore augmente

$$A = L_{proche} - L_{loin}$$

Lorsque la distance est multipliée par 2, le niveau est réduit de 6 dB

**Preuve** **preuve**

*Démonstration.* Soit $r_2 = 2 * r_1$

$S_2 = 4\pi\ {r_2}^2 = 4\pi\ {r_1}^2 * 2^2$

$I_2 = I_1\ /\ 2^2$

$L_2 = 10\log(I_1/2^2\ I_0) = L_1 - 10\log(2^2) = L_1 - 6$

$A = L_1 - L_2 = 6$ dB □

## 1.4 Atténuation par absorption

L'atténuation par absorption A (dB) évalue l'efficacité d'un matériau à lutter contre la transmission de bruit

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

**Ex 16 p 360** **exercice**

**TODO Ex 21 p 360** **exercice**

1. $I = P/S = P/(4\pi\ r^2/2) = P/(2\pi\ r^2)$
   Soit r = 1.0 m
   $I = 0.12/(2*\pi*1.0) = 0.01909 = 1.9e\text{-}2\ W/m^2$
2. $L = 10\log(I/I_0) = 103$ dB
3. L' = L - 6 = 97 dB

# 2 Effet Doppler

## 2.1 PrésentationDEFINITION

**Définition 1.**

**Effet Doppler** correspond au décalage entre la *fréquence d'émission* ($f_E$) d'une onde et la fréquence de réception lorsque la distance entre l'émetteur et le receveur varie.
Le décalage est $\Delta\ f = f_R - f_E$

./data/doppler.pdf

### Émetteur immobile

$\Delta$ f = 0

### Émetteur se rapproche du récepteur

$\lambda_R < \lambda_E$, donc
$\Delta$ f > 0

### Émetteur s'éloigne du récepteur

$\lambda_R > \lambda_E$, donc
$\Delta$ f < 0

## 2.2 Expression du décalage Doppler

$f_R = f_E \times c_{onde}/(c_{onde}$ - $v_E)$,
le décalage Doppler est donc $\Delta$ f = $f_E$ $v_E$ / ($c_s$ - $v_E$).
Pour $v_E$ « $c_{onde}$, $\Delta$ f = $f_E$ $v_E/c_{onde}$

### Démonstration

Soit un émetteur (E) mobile par rapport à un récepteur (R), de vitesse $v_E$ dans le référentiel propre à R.

À $t_1$, la distance entre l'émetteur et le récepteur est D, l'onde transmise est reçue en R à $t_2$ = $D/c_{onde}$.

À $t_3 = T_E$, la distance [ER] est D' = D - $v_E$ * $T_E$, l'onde transmise est reçue en R à $t_4 = T_E + (D\text{-}v_E\ T_E)/c_{onde}\}$.

La période de l'émetteur est $T_E = t_3 - t_1$, celle reçue par le récepteur est

$T_R = t_4 - t_2 = T_E(1 - v_E/c_{onde})$

D'où $f_R = f_E * c_{onde} / (c_{onde} - v_E)$

Donc, $\Delta$ f = $f_E\ v_E / (c_s - v_E)$

## 2.3 Radar Doppler

Un radar Doppler émet une radiation micro-onde d'une fréquence connue $f_E$, cette onde est réfléchie par la cible puis reçue avec une fréquence $f_R$.

$f_R = f_t\ (c + v)/(c - v)$

Soit $\Delta$ f = $2vf_t/(c\text{-}v)$, avec v « c,

$\Delta$ f = $2vf_E/c$, l'effet Doppler est une méthode permettant de mesurer les vitesses.

## 2.4 Redshift, blueshift

Connaissant le spectre d'émission d'une galaxie, on peut déterminer si cette galaxie s'éloigne ou se rapproche avec le spectre reçu.

Si son spectre est décalé vers le rouge, alors la galaxie s'éloigne. Si son spectre est décalé vers le bleu, alors la galaxie se rapproche.

$1 + z = \lambda_R / \lambda_E$

**Remarque 2.**

L'Univers est en expansion, la plupart des galaxies visible s'éloignent par rapport à la Terre.
Le décalage de la fréquence induit un décalage de l'énergie, $\Delta$ E = h $\Delta\nu$.
D'après le modèle de Friedmann-Lemaître, la différence d'énergie mesurée correspond à l'énergie nécessaire pour l'expansion de l'Univers (diminution locale de l'énergie gravitationnelle et travail de l'expansion se compensent localement).

**Ex 8 p 358**

La situation est la *c* : modification de la fréquence de la sirène. La situation *b* correspond à l'atténuation géométrique.

**Ex 10 p 359**

Décalage vers le rouge, l'étoile s'éloigne.

**Ex 22 p 361**

**Ex 26 p 363**

**Ex 27 p 363**