Notions de Physique Acoustique

1A Orthophonie (UE2.2)

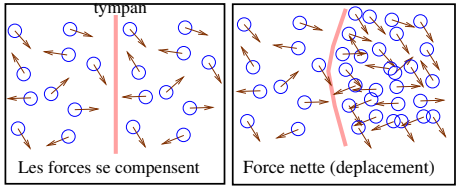
Dr. Christophe A. Adessi
(christophe.adessi@univ-lyon1.fr)

Plan du cours :

1. : Grandeurs Physiques Relatives à l'Acoustique
2. : Propagation des sons
3. : Niveau Sonore
4. : Résonateur Acoustique

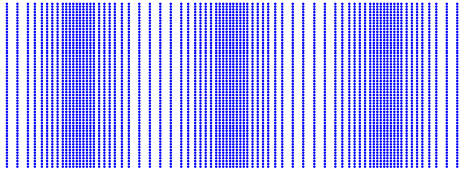
http://ilm-perso.univ-lyon1.fr/∼cadessi/orthophonie.html

Notion de pression acoustique



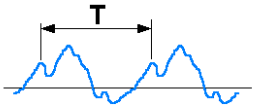
- La pression correspond à l'application d'une force par l'intermédiaire d'une surface (unité N/m^2 ou Pa).
- La force provient des "chocs" des molécules d'air sur la surface du tympan
- Un son correspond à des variations locales de la pression de l'air

Onde Acoustique (sons)



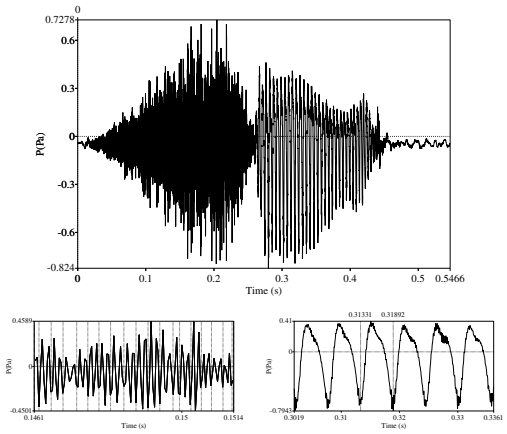
- La succession de surpressions et de dépressions va faire vibrer le tympan
- Un son est caractérisé par la Pression Acoustique (Pa) (variation de pression)
- Pression atmosphérique : 100 000 Pa
- Son audible : $0,000002$ Pa à 20 Pa

Son périodique



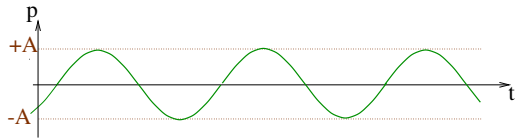
- Un son périodique correspond à une répétition à intervalles réguliers (T) d'une variation de la pression
- Un son périodique se caractérise par sa fréquence f (Hz) (nombre d'oscillations par seconde)
- Plage audible : 20 Hz à 20 kHz
- Sons voisés : 100 Hz à 300 Hz

Chronogramme /si/

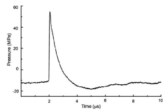


Consonne [s] non voisée pseudo-périodique $< f >\simeq 3$ kHz
Voyelle [i] périodique $f = 178$ Hz

Son Pur / Son Complexe

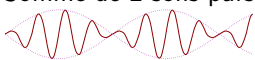


- Un son pur correspond mathématiquement à une sinusoïde
- Les sons purs n'existent pas naturellement
- Son complexe ⇒ somme de sons purs
- Un son complexe n'est pas obligatoirement périodique



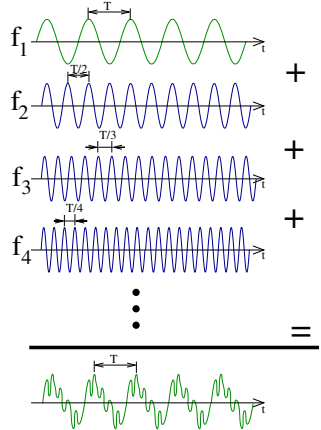
Onde de Choc

Somme de 2 sons purs



Battement

- Un son périodique (ou harmonique) est constitué uniquement de sons purs de fréquences multiples d'un fondamental

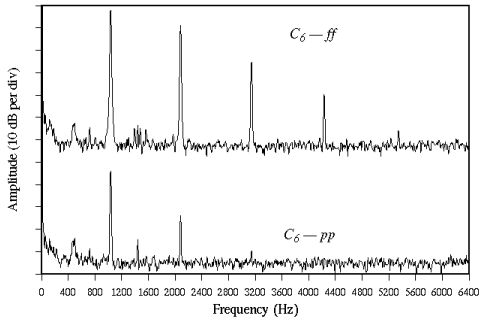


Spectre d'un son périodique ou harmonique

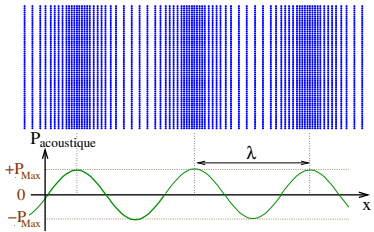
Spectre : Graphique représentant l'amplitude (en dB) des différents harmoniques

- Le fondamental (f_1 ou f_0) correspond au pic à la plus basse fréquence
- Les autres pics apparaissant sont les harmoniques
- L'amplitude des harmoniques tend à décroître jusqu'à devenir nulle

- Spectre du Do (C) de la 6^{e} octave (1046 Hz) d'un piano joué *fortissimo (ff)* et *pianissimo (pp)*.
- Les harmoniques ont des fréquences multiples du fondamental (2092 Hz, 3138 Hz...)



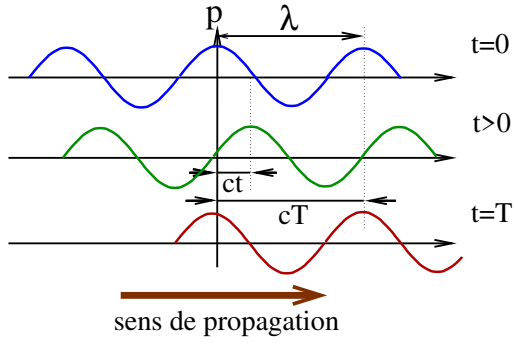
Propagation d'une onde sonore



Une onde est une perturbation en mouvement qui transporte de l'énergie mais sans transport de matière

- C'est une propagation de proche en proche (effet domino)

- La propagation est caractérisée par la célérité c (m/s)
- À T_{amb}, $c = 340$ m/s= 1224 km/h
- La périodicité dans l'espace est caractérisée par la longueur d'onde λ (m)
- λ et f sont liés par la célérité : $\lambda = c/f$
- $f = 100$ Hz $\Rightarrow \lambda = 3,4$ m
- $f = 2$ kHz $\Rightarrow \lambda = 17$ cm



Intensité Acoustique / Niveau sonore

- La transmission d'un son se fait obligatoirement par une surface.
- Intensité acoustique $\Rightarrow$ énergie véhiculée par un son pendant une seconde et sur une surface de 1 m^2.
- $I = \frac{\text{Energie}}{\text{Surface} \times \text{Temps}} = \frac{\text{Puissance}}{\text{Surface}}$
- Unité : Watt/m^2
- L'intensité acoustique est liée à la pression acoustique par l'Impédance acoustique (Z).
- Z traduit la résistance à la mise en mouvement des molécules d'air. Pour l'air $Z = 400$ Pa.s/m. $I = P^2/Z$

Ordres de grandeur

seuil d'audition		seuil douleur
$10^{-12}\,\text{W/m}^2 <$	I	$< 1\,\text{W/m}^2$
$2 \times 10^{-5}\,\text{Pa} <$	P	$< 20\,\text{Pa}$

- **La sensibilité à l'intensité acoustique n'est pas linéaire.** (Notion de Psycho-Acoustique)
- Son perçu 2 fois plus fort $\Rightarrow$ Intensité $\times 10$
- Le ressenti auditif à l'intensité n'est pas linéaire
- Pour exprimer l'intensité d'un son on effectue un changement d'échelle $\Rightarrow$ échelle logarithmique ou échelle en Décibel.

Niveau sonore / Echelle Logarithmique

Niveau physique **SPL**

$$L_{SPL} = 10 \times \log\left(I/10^{-12}\right)$$

SPL = Sound Pressure Level

10^{-12} W/m^2: Seuil d'audition à 1 kHz

Niveau audiométrie **HL**

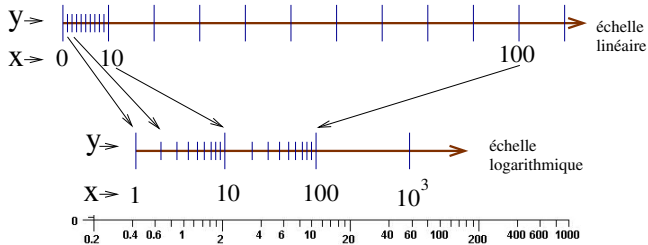
$$L_{HL} = 10 \times \log\left(I/I_S\right)$$

HL = Hearing Loss

I_S : Seuil d'audition (dépend de la fréquence)

- L n'a pas de dimension physique et donc pas d'unité $\Rightarrow$ indice.
- Autre formulation:
  $L_{SPL} = 20 \times \log\left(P/2.10^{-5}\right)$
- Il s'agit du décibel noté dB
- Le terme "déci" est lié au préfixe "$10\times$"
- Un niveau se mesure à l'aide d'un sonomètre.

Échelle logarithmique (base 10 et 2)



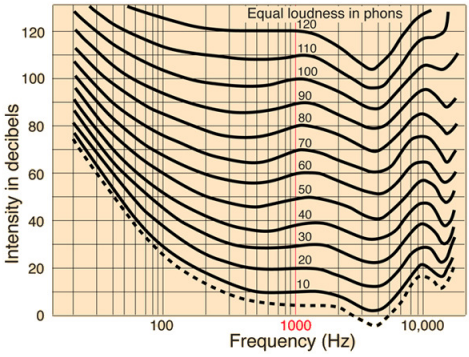
Permet de représenter plusieurs ordres de grandeur.

Audible

0 dB	....	Seuil d'audition à 1 kHz
10 dB	....	chambre anéchoïque (**très calme**)
20 dB	....	studio d'enregistrement
30 dB	....	résidence tranquille (**calme**)
40 dB	....	conversation normale
50 dB	....	restaurant tranquille
60 dB	....	voiture sur route (**bruyant**)
70 dB	....	Rue animée, petit orchestre
80 dB	....	Niveau standard d'écoute d'une stéréo, usine
85 dB	....	Seuil de dommage pour l'oreille en exposition continue (**danger**)
100 dB	....	Tronçonneuse, moteur deux temps
110 dB	....	Concert de rock, boîte de nuit
120 dB	....	voiture de course (**Seuil de douleur**)
130 dB	....	Marteau piqueur
140 dB	....	Détonation d'une arme à feu
150 dB	....	Trompette jouée à 15 cm
160 dB	....	A proximité d'un réacteur d'avion

Décibel Pondéré

Diagramme de Fletcher et Munson

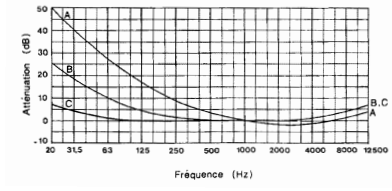


- La perception de l'intensité des sons varie avec la fréquence
- Problème pour la mesure des sons complexes et l'évaluation des nuisances sonores

- Basses moins bien perçu que les médiums (au voisinage de 4 kHz)

Principe de la Pondération A

- Les niveaux sonores sont corrigés pour tenir compte de la variation de la perception avec la fréquence
- On atténue les basses et les trèbles et on amplifie légèrement les médiums
- Les niveaux corrigés s'expriment en dB(A)

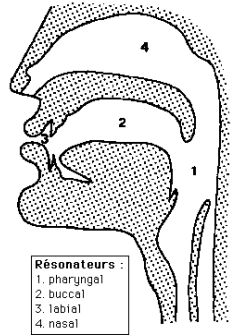


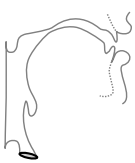
Résonateur Acoustique

Définition : Système acoustique pouvant entrer en résonance à des fréquences propres données.

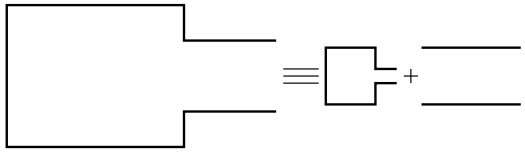
- Un résonateur **n'est pas une source sonore**.
- La résonance correspond à une "amplification" de la pression acoustique aux fréquences de résonance.
- Un résonateur est **passif**, il n'apporte pas d'énergie.
- Exemples : Bouteille en verre, tuyaux d'orgues, flûte.

- Les sons voisés sont produits par la glotte et se propagent jusqu'aux lèvres.
- L'ensemble du tractus vocal correspond à une succession de résonateurs.
- Il joue un rôle de filtre en fréquence sur le son produit par la glotte.



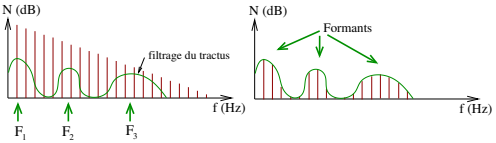

antérieur rétractée

[i]


Résonateur de Helmholtz + tuyau ouvert

$F_1 = 400\,\text{Hz}$ *(Helmholtz)* | $F_2 = 2500\,\text{Hz}$ *(Tube ouvert)*

Spectre/Spectrogramme d'un son voisé



- Le son produit se décompose toujours en harmoniques mais leurs amplitudes ont été modulées selon leurs fréquences.

- Un spectrogramme représente l'évolution au cours du temps du spectre.
- Les variations d'amplitude apparaissent en "niveaux de gris". noir $\rightarrow$ intense.
- "bande étroite", "bande large" : Précision sur les fréquences

- Le son issu de la glotte fait apparaître des harmoniques.
- Le tractus vocal va filtrer ce son (filtrage selon la fréquence).

