

LP3. Phénomènes Acoustiques

Niveau : Terminal

Prérequis :

- * Ondes mécaniques (progressives, périodiques, λ , f , relations)
- * Pression
- * Fonction logarithme et cosinus
- * Notion de puissance.

Bibliographie:

- * Physique chimie TS - Delagrave
- * " " - Larousse

Expérience : * Mesure de la célérité du son dans l'air

Introduction Pédagogique

- * C'est un cours qui se place dans la partie "observer" du programme de terminal S.
- * Ce cours vient juste après un cours sur les ondes mécaniques, les élèves sont donc familiers avec la notion d'onde, et avec les concepts de propagation.
- * On aura besoin que les élèves soient déjà à l'aise avec la manipulation des fréquences et longueurs d'onde, ainsi qu'avec la fonction logarithme.
- * Les élèves devraient aussi avoir des notions sur la puissance car on va parler d'intensité sonore, et le but n'est pas ici d'introduire la puissance.
- * Le but est de faire comprendre aux élèves que les ondes acoustiques sont en fait des ondes mécaniques et que les outils du cours précédent s'appliquent aussi dans ce cadre.
- * Comme ce cours est dans la partie "observer", on cherchera de faire un maximum d'expérience par que l'élève appréhende plus facilement les notions. On se basera au maximum sur les instruments de musique par les expériences.
- * Ce cours possède de nombreuses difficultés pour les élèves car il aborde plusieurs nouvelles notions.
 - Comprendre ce qu'est une onde sonore peut être compliqué pour l'élève car on ne voit pas l'onde se propager comme dans une corde.
 - La décomposition de Fourier pourra aussi être un passage complexe pour l'élève, on essaiera d'utiliser plusieurs ressources par que la compréhension soit plus aisée.
 - Les notions de hauteur et de timbre étant nouvelles, on cherchera de donner des exemples et un sens physique à ces termes par qu'il soit plus accessibles.
 - Il faudra aussi bien faire la différence entre niveau sonore et intensité sonore, et être vigilant à quelle est la quantité qui s'ajoute avec plusieurs sources.

* TD sur des calculs de puissance sonore et sur la manipulation de
fréquences, longueur d'onde et célérité

* TP : on pourra faire l'analyse spectrale de plusieurs instruments

↳ phénomène de battements

* Etude de Doc sur l'effet Doppler par introduire le cours suivant.

Introduction

- * Comme nous l'avons vu au cours précédent, les ondes mécaniques sont présentes dans un grand nombre de domaines, séismes, vagues, mais aussi dans la musique.
- * En effet le son est une onde mécanique qui se propage dans un milieu matériel, ici dans l'air.
 - ↳ Elle ne se propage donc pas dans le vide, si on met quelque chose qui émet un son dans une cloche à vide on ne l'entendra plus. (Exp)
- * Comme on sait déjà étudier les ondes mécaniques on va voir ce qu'on peut faire dans le cas des ondes sonores.

Objectif : Caractériser les ondes sonores et savoir réaliser une analyse spectrale

I- Les ondes acoustiques

A- Des ondes progressives périodiques.

- * On a déjà vu dans le cours sur les ondes mécaniques les bases, mais on va faire un rappel ici
- * Une onde c'est la propagation d'une perturbation dans un milieu qui produit une variation locale et réversible des propriétés physiques.
- * Les ondes sonores peuvent se propager dans beaucoup de milieux, l'air, l'eau, le fer, partout.
- * Elles se propagent à 3 dimensions, vous allez m'entendre si vous êtes dans la pièce peu importe où.
- * Ce qui est plus compliqué à appréhender c'est qu'elles correspondent à des surpressions et des sous pressions qui se propagent dans le milieu. Et une fois arrivées dans notre oreille elles font bouger le tympan, ce que le cerveau interprète comme des sons. (image)
- * Ce qui nous intéresse c'est quand il y a des ondes périodiques ici
 - ↳ elles ont donc une fréquence et une longueur d'onde, on l'a vu dans le cours sur les ondes mécaniques, ces deux grandeurs sont reliées par la célérité du son: $\lambda = c/f$ (projo)
- * On peut essayer de mesurer la vitesse du son dans l'air.
 - ↳ Très approximativement avec un feu d'artifice
 - ↳ Plus précis avec un émetteur et un récepteur. (expérience) 

Transition Les sons dans la nature sont plus complexes que les ondes sinusoïdales on va voir comment on peut étudier des ondes plus complexes.

B - Analyse spectrale

* Nous savons comment analyser des ondes sinusoïdales, mais un grand nombre de signaux sont périodiques mais non sinusoïdaux

↳ projection + enregistrement son d'une flûte

* En 1822 le mathématicien Joseph Fourier (Photo) a montré que tout signal périodique de fréquence f_0 est en fait une somme de signaux sinusoïdaux de fréquence f_0 , $2f_0$, $3f_0$ etc. (animation)

↳ on appelle ces signaux les harmoniques du son.

↳ L'analyse spectrale correspond à trouver l'intensité de chaque harmonique.

↳ on peut essayer de faire l'analyse par le son de notre flûte 

↳ Si on joue en La on obtient ce spectre. 

* On voit que la première fréquence est 440 Hz ce qui correspond bien au La.

* Mais si je joue en La avec un diapason je n'entends pas la même chose pourtant c'est bien la même note. Comment ça se fait ?

* Il y a deux notions très importantes en acoustique : la hauteur et le timbre.

• La hauteur correspond à la plus petite fréquence qu'on appelle la fondamentale

↳ Quand f_0 est grand on a un son aigé

↳ Quand f_0 est petit on a un son grave 

• Le timbre correspond aux nombres d'harmoniques et à leur intensité.

⇒ En fait la flûte et le diapason ont la même hauteur mais pas le même timbre (cf Fourier) ⇒ on n'entend pas la même chose 

Transition Si je change la fréquence du son je change sa hauteur, mais si je vais trop loin on ne l'entend plus.

C. L'intensité Sonore.

* Si je n'entend plus le son c'est parce que l'oreille humaine ne perçoit que les sons entre 20 Hz et 20 kHz, modulo fluctuations avec l'âge.

↳ différents chez les animaux (tableaux ?)

* Pour entendre un bruit il faut qu'il soit dans la bonne gamme de fréquence, mais aussi qu'il soit assez fort.

↳ On parle d'intensité sonore, on la note I , en $W \cdot m^{-2}$

↳ On perçoit les sons au dessus d'un seuil d'audition, qui dépend de la fréquence, qui vaut $I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12} W \cdot m^{-2}$ à 1000 Hz.

↳ Si le son est trop fort on atteint un seuil de douleur qui dépend lui aussi de la fréquence, qui vaut au max $25 W \cdot m^{-2}$

⇒ On a d'énormes variations d'intensité, pour pouvoir manipuler plus facilement cette grandeur on parlera plutôt de niveau sonore L en dB.

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

↳ On va maintenant de 0 (par I_0) à 135 dB par I_{max} .

↳ On peut maintenant regarder les intensités produites par les objets du quotidien ainsi que les seuils en fonction de la fréquence.

↳ projection

* Comme on est passé au logarithme, il faut bien faire attention au fait qu'on somme les intensités I et pas L .

↳ Si on prend $2I$ on a $L' = 10 \log(2I/I_0) = 10 \log(I/I_0) + 10 \log 2$

↳ Application concert @ barchon
oreilles ? $= L_0 + 3$: on augmente de 3 décibels.

Transition On sait comment analyser un son, trouver sa hauteur et son timbre, mais on peut aussi se servir de phénomènes acoustiques pour des applications.

D. Calcul du niveau sonore

* Dans une salle de concert il faut avoir un niveau sonore de 98 dB à 16 m des enceintes, la question étant de savoir si en s'approchant trop près on atteint le seuil de douleur à 135 dB?

$$\begin{aligned} \rightarrow I_s &= I_0 \cdot 10^{L/10} = 1.0 \cdot 10^{-12} \times 10^{9.8} \\ &= 6.3 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned} \quad \text{reçu par le spectateur à 16 m}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow I_{\text{tot}} &= I_s \times S = I_s \times 4 \times \pi \cdot R^2 \\ &= 20.3 \text{ W. émis par l'enceinte.} \end{aligned}$$

Si on avance le niveau sonore augmente

$\rightarrow$ Juste devant l'enceinte, à 1 m l'intensité reçue est

$$I_{1m} = \frac{I_{\text{tot}}}{S} = 6.46 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\Rightarrow L = 10 \log \left(\frac{6.46}{1.0 \cdot 10^{-12}} \right) = 128 \text{ dB}$$

$\Rightarrow$ Il faut donc bien se rendre compte qu'à 1 m d'une enceinte de 20 W

on reçoit un niveau de 128 dB, limite du seuil de douleur. Donc imaginez avec pleins d'enceintes de 200 W.

II. Accorder une guitare

A. Le phénomène de battements.

* Si je joue d'une corde de guitare en même temps qu'un diapason à deux diapasons j'entends un son particulier, comme si il n'avait pas la même intensité tout le temps.

↳ Que se passe-t-il ?

* Les deux signaux sont sinusoïdaux il s'écrivent: (projection fourrier)

$$p_1(x,t) = A \cos(2\pi f_1 t)$$

$$p_2(x,t) = A \cos(2\pi f_2 t)$$

↳ Le signal total est $p_1 + p_2 = A (\cos(2\pi f_1 t) + \cos(2\pi f_2 t))$
 $= 2A \cos(\pi(f_1 + f_2)t) \cos(\pi(f_1 - f_2)t)$

- partie en $f_1 - f_2$ varie lentement
 } $f_1 + f_2$ varie rapidement.

* ce qu'on obtient: projection

↳ ça ne fonctionne qu'avec des fréquences proches

↳ Quand on fait disparaître les battements on a $f_1 = f_2$: on est accordé

Conclusion On a vu des nouvelles propriétés sur les ondes, et grâce à l'analyse spectrale on arrive à se faciliter les choses et comprendre la différence entre timbre et hauteur.

On a aussi vu que bien comprendre les phénomènes pouvait nous aider pour certaines tâches comme accorder un instrument.