

LP 2 : PHÉNOMÈNES ACOUSTIQUES

Bibliographie

1. Enseignement scientifique, 1^{ère}, Lelivrescolaire
2. Enseignement scientifique, 1^{ère}, Belin
3. L'échelle des dB, Bruitparif, Consulté 24/05/2021

Introduction pédagogique

Niveau : 1^{ère} enseignement scientifique

Prérequis :

1. Description d'un signal périodique (période, fréquence) [2^{de}]
2. Composition d'un gaz [2^{de}]
3. Vitesse du son dans l'air, fréquence audible [2^{de}]
4. Expression d'une vitesse moyenne [2^{de}]
5. Notion de puissance [1^{ère}]

Objectifs :

1. Comprendre les caractéristiques d'un son
2. Se familiariser avec les signaux périodiques

Difficultés :

1. Ne pas confondre intensité et niveaux sonore ! On somme les intensités seulement
2. Ne pas confondre les différentes notions qui sonr nouvelles
3. Comme les cordes, les instruments à vents possède aussi des noueds et des ventres (appelés faisceau dans la leçon)

Exemples de TP enregistrement et reproduction de sons purs et composés, corde de Melde

Exemples de TD Détermination de fréquences, utilisation de spectres (analyse spectrale)

Table des matières

1	Le son, un phénomène vibratoire	3
2	Les instruments de musique	5

Liste de matériel pour TP

Analyse spectrale d'un son :

- Fichiers audio de *la* de trois instruments sur [lelivrescolaire](#)
- Ordinateur avec logiciel Audacity ou LatisPro

Etude de la corde de Melde :

- Corde de Melde
- Plusieurs masselottes
- Réglet
- Plusieurs cordes
- Ordinateur avec Python, LatisPro, Régressi

Introduction pédagogique

L'enseignement scientifique permet de donner de la culture et du sens physique aux élèves plutôt que de s'attarder sur les calculs.

Le cours s'inscrit dans le thème "Son et musique, porteurs d'information". Il sera suivi d'un cours sur les gammes et les accords (plutôt mathématique), un cours sur l'enregistrement des sons et un cours sur l'audition (de biologie).

Ce cours permet également de sensibiliser les élèves aux risques liés à l'audition.

4.1 - Le son, phénomène vibratoire	
La banalité du son dans l'environnement cache une réalité physique précise.	
Savoirs	Savoir-faire
Un son pur est associé à un signal dépendant du temps de façon sinusoïdale. Un signal périodique de fréquence f se décompose en une somme de signaux sinusoïdaux de fréquences multiples de f . Le son associé à ce signal est un son composé. f est appelée fréquence fondamentale, les autres fréquences sont appelées harmoniques. La puissance par unité de surface transportée par une onde sonore est quantifiée par son intensité. Son niveau d'intensité sonore est exprimé en décibels selon une échelle logarithmique.	Utiliser un logiciel permettant de visualiser le spectre d'un son. Utiliser un logiciel pour produire des sons purs et composés. Relier puissance sonore par unité de surface et niveau d'intensité sonore exprimé en décibels.
Une corde tendue émet en vibrant un son composé dont la fréquence fondamentale ne dépend que de ses caractéristiques (longueur, tension, masse linéique). Dans les instruments à vent, un phénomène analogue se produit par vibration de l'air dans un tuyau.	Relier qualitativement la fréquence fondamentale du signal émis et la longueur d'une corde vibrante.

Introduction

Vous connaissez tous le phénomène sonore. En ce moment même vous m'écoutez, ce que vous percevez, le son, provient de la mise en vibration d'un objet dans un milieu matériel.

Objectifs : Appréhender les caractéristiques du son. Aider les élèves à se familiariser avec les signaux périodiques

1 Le son, un phénomène vibratoire

1.1 Caractéristiques d'une onde sonore

Définition : Une onde sonore est un phénomène vibratoire se propageant dans un milieu matériel et entraînant des vibrations locales de pression.

L'objet, source du son, met en vibration l'air qui est autour de lui. IL va y avoir propagation de la perturbation de proche en proche (l'air est un milieu matériel constitué de molécules). Cependant, il n'y a pas de transport de matière lorsque l'onde sonore se propage.

Caractéristiques d'une onde sonore :

- Vitesse : dans l'air, $v = 340$ m/s
- fréquence : $f = \frac{1}{T}$, qui est relié à la vitesse par : $v = \lambda f$, avec λ la longueur d'onde. Elle permet de dire si un son est aigu ou grave.
- Intensité : permet de décrire si un son est fort ou faible
- Onde sphérique : à partir d'un point source, le son se propage dans toutes les directions à la même vitesse.



1.2 Intensité et niveau sonore

Définition : L'intensité sonore : $I = \frac{\mathcal{P}}{S}$, où \mathcal{P} est la puissance sonore émise et S la surface sur laquelle le son se répartit.

Application numérique : Le hurlement d'un coyote qui communique avec son congénère situé à 100 m : $\mathcal{P} = 10$ W ; $S = 4\pi R^2$; donc $I = 8,0 \cdot 10^{-5}$ W/m²

Définition peu pratique pour comparer des sons, on introduit une nouvelle grandeur :

Définition : Le niveau d'intensité sonore s'écrit comme $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ exprimé en décibels (dB) avec $I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12} \text{ W/m}^2$, l'intensité sonore du seuil d'audibilité.

Application numérique : Pour le coyote, $L = 79 \text{ dB}$. Si on considère un jeune coyote, son intensité sonore sera deux fois moindre : $I_2 = \frac{I}{2}$. Alors, $L_2 = L - 10 \log(2) = L - 3 \text{ dB}$.

Il est possible de classer les sons en fonction de leur niveau d'intensité sonore, ou simplement de leur intensité sonore :

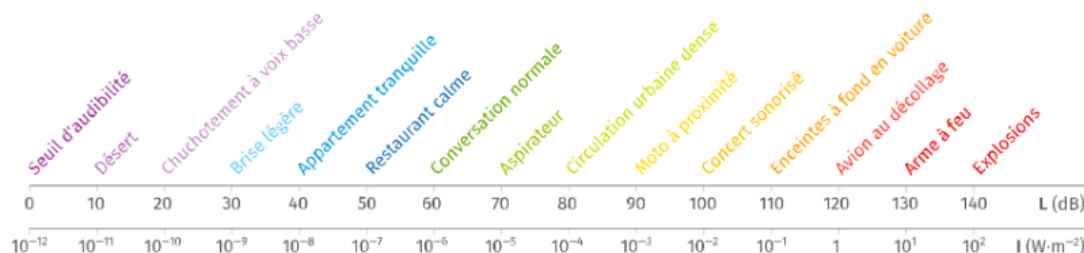


FIGURE 1 – Lelivrescolaire, p. 193

Le seuil de risque pour l'audition se situe à 80 dB. Cela signifie qu'une exposition prolongée à ce niveau d'intensité sonore peut entraîner des acouphènes voire une perte partielle d'audition. Pour pallier ce problème, il faut utiliser des protections auditives. A 120 dB, on atteint le seuil de douleur. Les risques pour l'audition peuvent alors être immédiats.

1.3 Analyse spectrale d'un son

Définition :

- Un son pur est un son dont le signal correspondant est sinusoïdal. Il est caractérisé par une fréquence f .
- Un son composé est un son dont le signal correspondant n'est pas sinusoïdal.

- Son pur : diapason
- Son composé : son de n'importe quel instrument de musique, voix
- Son composé = somme de sons purs : Animation [GeoGebra](#)
- Comment faire le chemin inverse ? Décomposer son composé en sons purs ?
- Analyse spectrale ! On trace spectre Fourier
- Spectre de Fourier utile à condition que les phénomènes de base soient périodiques

Au vu de la complexité que peut avoir un son on va utiliser deux nouvelles notions qui vont nous permettre de caractériser ces sons :

Définitions :

- Hauteur : fréquence fondamentale d'un son, c'est-à-dire : la plus faible.
- Harmoniques : toutes les autres fréquences du spectre d'un son composé. Pour les instruments de musique, il s'agit toujours de multiples de la fréquence fondamentale.

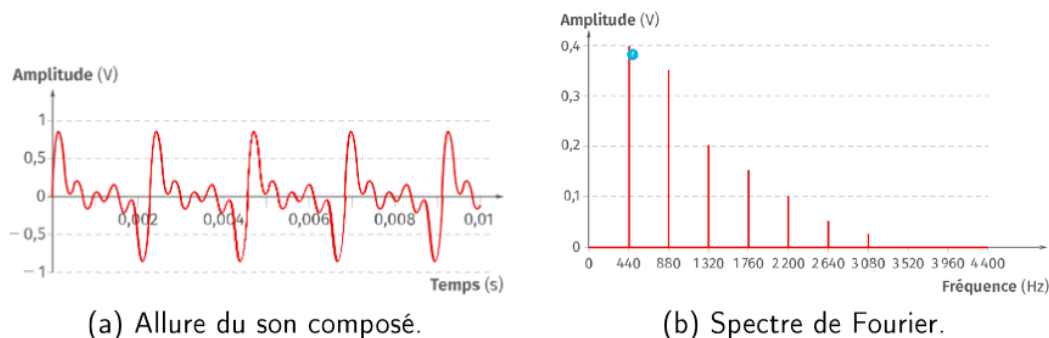


FIGURE 2 – Lelivrescolaire, p. 193

Il est possible de distinguer deux instruments jouant la même note (la même hauteur) à l'aide de leurs timbres (ensemble des harmoniques qu'ils contiennent).

Exemple : le *la* de différents instruments de musique ([lelivrescolaire](#), p. 186)

2 Les instruments de musique

2.1 Le modèle de la corde de Melde

On peut modéliser un grand nombre d'instruments de musique par une corde de Melde.

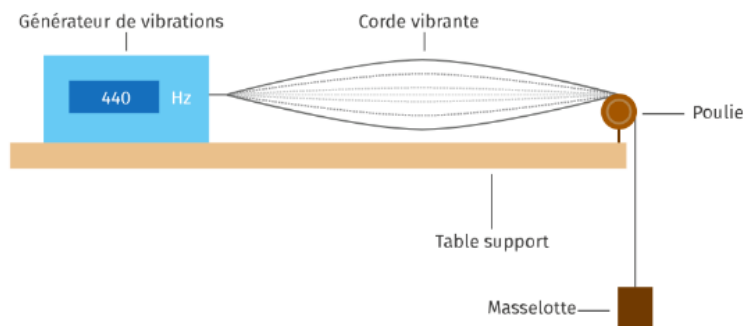


FIGURE 3 – Lelivrescolaire, p. 188

Le vibreur impose une fréquence de vibration à la corde qui est fixée à ses deux extrémités. On cherche la fréquence pour laquelle le fuseau a une amplitude constante et maximale.

Si on mesure une fréquence fondamentale f pour différentes longueurs de corde L et que l'on trace $f = f(\frac{1}{L})$, on observe une fonction linéaire. On a une relation de proportionnalité entre f et $\frac{1}{L}$.

On peut faire l'expérience pour d'autres paramètres de la corde :

- En changeant la masse au bout de la corde, on fait varier la tension
- En changeant le matériau de la corde on joue sur sa masse linéique

Avec ces différentes expériences on peut obtenir la relation qui lie la longueur de corde

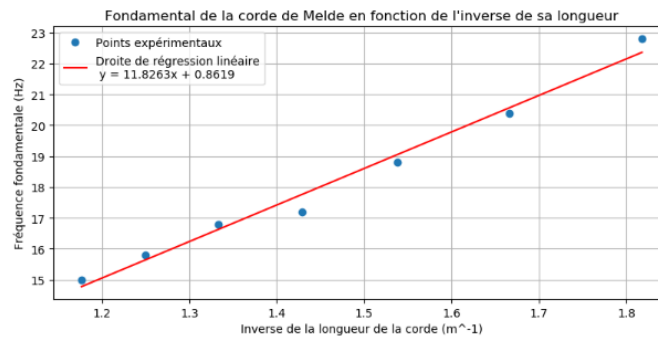


FIGURE 4 – Graphe à tracer soi-même

avec la fréquence :

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

On peut remonter à la masse linéique de la corde.

2.2 Description des instruments à cordes

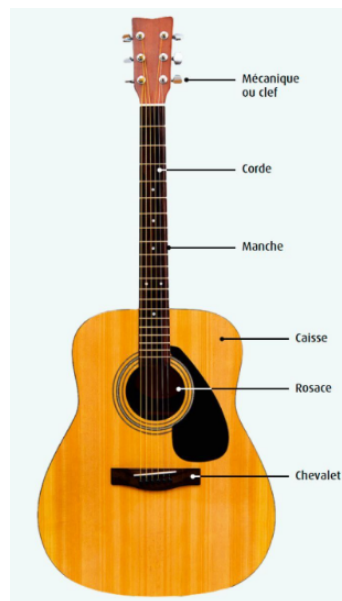


FIGURE 5 – Belin p. 180

La guitare est composé de différents éléments :

- Une caisse de résonance qui amplifie le signal sonore crée par les cordes
- Des cordes composés de matériaux différents pour jouer sur la fréquence
- Des clés pour accorder la tension sur chaque fil

Ainsi on peut jouer sur la hauteur d'un son en modifiant la masse linéique (changeant la corde) ou en modifiant la tension de la corde (on serre les clés).

2.3 Description des instruments à vents

Aussi étonnant que cela puisse paraître, la vibration de l'air dans les instruments à vent présente aussi des fuseaux comme la corde de Melde. La relation précédente n'est pas valable dans ce cas, mais on peut jouer sur la longueur du tuyau de l'instrument pour

obtenir des sons plus aigus. Ainsi, dans une trompette, on fait varier la longueur du tuyau en appuyant sur des pistons (voir Belin (p.180)). Dans un trombone, c'est le fait de bouger la coulisse.

Conclusion

Un son est caractérisé par sa hauteur (fréquence du fondamental), son timbre (ses harmoniques) et son intensité sonore. On peut l'analyser à l'aide d'un spectre de Fourier pour retrouver les deux premières caractéristiques.

Par la suite, on verra comment enregistrer des signaux sonores.