

## LP 3 – Phénomènes acoustiques

Manon LECONTE et Joachim GALIANA - ENS de Lyon

Dernière mise à jour : 23 juin 2020

*Merci à Lucile Favreau pour sa précieuse aide.*

**Mots-clé :** onde sonore, intensité sonore, niveau d'intensité sonore, son pur, son composé, spectre de Fourier, hauteur, timbre, corde de Melde.

**Niveau :** 1<sup>re</sup> enseignement scientifique

**Pré-requis :**

- Description d'un signal périodique (période, fréquence) [2<sup>de</sup> ]
- Composition d'un gaz [2<sup>de</sup> ]
- Vitesse du son dans l'air, fréquence de l'audible [2<sup>de</sup> ]
- Expression d'une vitesse moyenne [2<sup>de</sup> ]
- Notion de puissance [1<sup>re</sup> ]

**Bibliographie :**

- *Enseignement scientifique 1<sup>re</sup>* , Lelivrescolaire
- *Enseignement scientifique 1<sup>re</sup>* , Belin
- "L'échelle des décibels", Bruitparif

### Plan proposé

<b>I - Le son, un phénomène vibratoire</b>	<b>3</b>
A/ Caractéristiques d'une onde sonore . . . . .	3
B/ Intensité et niveau sonore . . . . .	3
C/ Analyse spectrale d'un son . . . . .	4
<b>II - Les instruments de musique</b>	<b>5</b>
A/ Modèle de la corde de Melde . . . . .	6
B/ Description des instruments à cordes . . . . .	7
C/ Description des instruments à vent . . . . .	7

## Liste de matériel

### Analyse spectrale de sons

- enregistrement du *la* de plusieurs instruments (à télécharger sur [lelivrescolaire.fr](http://lelivrescolaire.fr));
- ordinateur muni des logiciels Audacity ou Latispro.

### Etude de la corde de Melde

- corde de Melde;
- plusieurs masselottes;
- réglet;
- plusieurs cordes;
- ordinateur muni du logiciel Python.

## 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.

<b>4.1 - Le son, phénomène vibratoire</b>	
La banalité du son dans l'environnement cache une réalité physique précise.	
<b>Savoirs</b>	<b>Savoir-faire</b>
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.
<b>Prérequis et limites</b>	
Les notions de son et de fréquence, déjà connues des élèves, sont remobilisées. La sinusoïde est définie à partir de sa représentation graphique. Aucune construction mathématique de la fonction n'est attendue. La formule donnant la fréquence fondamentale d'une corde vibrante en fonction de ses caractéristiques n'est pas exigible.	

Figure 1 – Extrait du programme d'enseignement scientifique de première générale.

### Difficultés :

- Ce sont les intensités et non les niveaux sonores qu'il faut sommer ;
- Le cours définit un certain nombre de nouvelles notions que les élèves pourraient confondre. On s'attache à bien illustrer chacune d'entre elles pour éviter au maximum les confusions ;
- Les instruments à vents présentent des nœuds et des ventres (on dira faisceaux dans la leçon), tout comme les instruments à cordes.

**Exemples de TD :** détermination de fréquences, utilisation de spectres (analyse spectrale).

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

## Introduction

L'émission d'un signal sonore est permise par la **mise en vibration d'un objet** dans un milieu **matériel**.

**Objectifs** – Appréhender les caractéristiques du son.  
Se familiariser avec les signaux périodiques.

## I - Le son, un phénomène vibratoire

### A/ Caractéristiques d'une onde sonore

**Définition** – **Onde sonore** : phénomène vibratoire se propageant dans un milieu matériel et entraînant des variations locales de pression.

L'objet, source du son, que l'on fait vibrer met en vibration l'air autour de lui. Il y a donc propagation de la perturbation de proche en proche. (L'air est un milieu matériel car 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** :  $f = \frac{1}{T}$ , reliée à la vitesse par :  $v = \lambda f$ , avec  $\lambda$  la longueur d'onde. Elle permet de dire si un son est aigu ou grave ;
- **Intensité**. Elle permet de dire 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.



### B/ Intensité et niveau sonore

**Définition** – **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* : hurlement d'un coyote qui communique avec son congénère situé à 100 m :  $\mathcal{P} = 10$  W ;  $S = 4\pi R^2$  ;  $R = 100$  m ; donc  $I = 8,0 \cdot 10^{-5}$  W/m<sup>2</sup>.

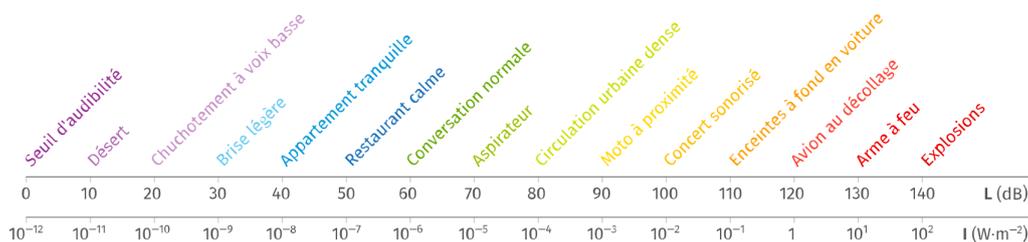
Cette définition est peu pratique pour comparer des sons. On introduit une autre grandeur :

**Définition – Niveau d'intensité sonore** :  $L = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$  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 est deux fois moindre :  $I_2 = \frac{I}{2}$ . Alors,  $L_2 = L - 3 \text{ dB}$ .

On peut classer les sons en fonction de leur intensité ou niveau d'intensité sonores :



**Figure 2** – Exemples de sons gradués en fonction de leurs intensités et niveaux d'intensité sonores (**Source** : 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.

## C/ Analyse spectrale d'un son

**Définition – Son pur** : son dont le signal correspondant est sinusoïdal. Il est caractérisé par une fréquence  $f$ .

Un exemple d'objet donnant un son pur est un **diapason**.

**Définition – Son composé** : son dont le signal correspondant n'est pas sinusoïdal.

Les sons composés sont produits par tous les autres instruments de musique.

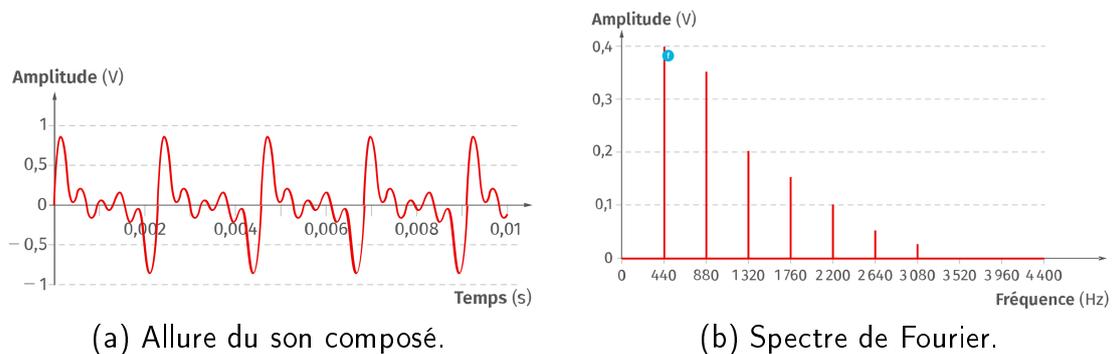
On peut construire facilement des sons composés à partir de plusieurs sons purs : il suffit de les sommer.

**Voir en ligne** – De plusieurs sons purs à un son composé (sur GeoGebra).

⇒ Comment décomposer un son composé en plusieurs sons purs ?

Si le son composé est périodique, on utilise l'**analyse spectrale** et on trace un spectre de Fourier.

**Définition – Spectre de Fourier** : représentation des fréquences des différents signaux sinusoïdaux.



**Figure 3** – Analyse spectrale d'un son composé (**Source** : Lelivrescolaire (p. 193)).

Les spectres de Fourier peuvent être utilisés dans d'autres domaines que l'acoustique, à condition que l'on considère des signaux périodiques.

Cela nous amène à définir deux autres notions :

**Définition – Hauteur** : fréquence **fondamentale** d'un son, c'est-à-dire la plus faible.

**Définition – Harmoniques** : toutes les autres fréquences du spectre d'un son composé. Pour les instruments de musiques, il s'agit toujours de multiples de la fréquence fondamentale.

On peut ainsi distinguer des instruments jouant la même note (ayant la même hauteur) à l'aide de leurs **timbres** (harmoniques qu'ils contiennent).

**Exemple** – Le *la* d'une guitare, d'un ukulélé et d'un téléphone (**Source** : Lelivrescolaire (p. 186)).

## II - Les instruments de musique

On continue la description physique des instruments de musique en essayant cette fois de les modéliser afin de déterminer la relation entre la fréquence d'un son et certaines caractéristiques.

## A/ Modèle de la corde de Melde

On peut modéliser un grand nombre d'instruments de musique à l'aide d'une corde de Melde.

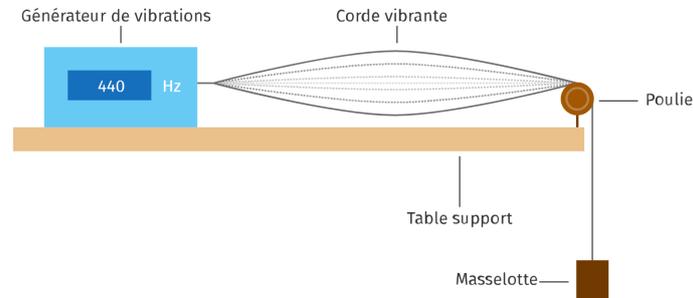
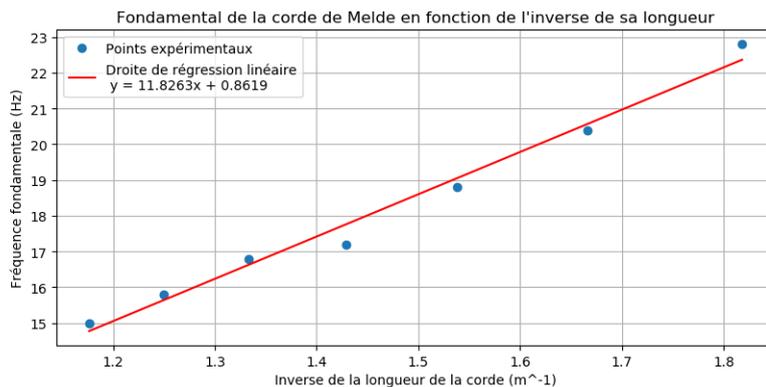


Figure 4 – Schéma d'une corde de Melde (Source : Lelivrescolaire (p. 188)).

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 l'on mesure la fréquence fondamentale  $f$  (telle qu'on n'observe qu'un seul fuseau) pour différentes longueurs de corde  $L$  et que l'on trace  $f$  en fonction de  $\frac{1}{L}$ , on observe une fonction linéaire. On a une relation de proportionnalité entre  $f$  et  $\frac{1}{L}$ .

**Script Python** – Evolution du fondamental de la corde de Melde en fonction de l'inverse de sa longueur.



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

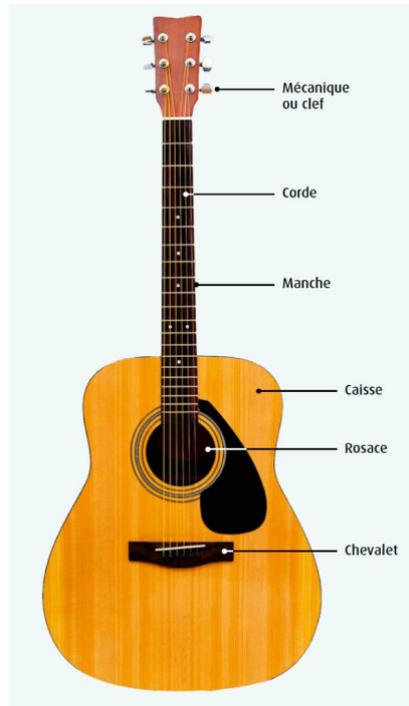
- En changeant la masse au bout de la corde : on joue sur sa tension.
- En changeant le matériau de la corde, on joue sur sa masse linéique (rapport de la masse de la corde par sa longueur).

On obtient finalement la relation de la corde de Melde :

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

## B/ Description des instruments à cordes

Considérons une guitare :



**Figure 5** – Photographie d'une guitare (**Source** : Belin (p. 180)).

Elle est composée de :

- une caisse de résonance qui permet d'amplifier le signal sonore créé par les cordes ;
- de cordes composées de matériaux différents pour produire des sons différents ;
- de clés pour accorder la guitare en jouant sur la tension des cordes.

On voit ainsi qu'on peut jouer sur la hauteur d'un son en modifiant la masse linéique (en changeant de corde) ou en modifiant la tension de la corde (en serrant les clés).

## C/ Description des instruments à vent

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 1 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.