

LP 3 – Phénomènes acoustiques

Joachim Galiana/Manon Leconte

Correctrice : Lucile Favreau

14/01/2020

| Élément imposé – Physique de la guitare

Niveau : 1^{re} enseignement scientifique (programme 2019)

Pré-requis :

- Notions de caisse de résonance et d'émission d'un signal sonore [2^{de}]
- Définitions et déterminations de la période/fréquence d'un signal périodique [2^{de}]
- Expression d'une vitesse moyenne [2^{de}]
- Notion de puissance [1^{re}]

Biblio :

- Bordas, 1^{re} enseignement scientifique (2019)
- Nathan, 1^{re} enseignement scientifique (2019)
- Le livre scolaire, 1^{re} enseignement scientifique (2019)
- Nathan, 2^{de} (2019)

Plan proposé

1	Le son, un phénomène vibratoire (7'35")	2
1.1	Caractéristiques d'une onde sonore (8'35")	2
1.2	Intensité et niveau sonore (12'30")	3
1.3	Analyse spectrale d'un son (18'20")	3
2	Autour de la guitare (25'55")	4
2.1	Présentation	4
2.2	Modélisation de la guitare (27'37")	4

Intro pédagogique

Niveau : Nouveau programme, enseignement scientifique → donner de la culture et du sens physique aux élèves plutôt que du calcul. *Dire comment cette leçon s'inscrit dans le programme.*

Retour sur les pré-requis.

Leçons à venir dans la séquence : gammes, traitement/enregistrement d'un signal.

Difficultés :

- Ce sont les intensités et non les niveaux sonores qu'il faut sommer ;
- Différence entre la hauteur et le timbre d'un instrument.

TP : enregistrement et reproduction de sons purs et composés, corde de Melde (petit aperçu au cours de la leçon).

TD : Détermination de fréquences, utilisation de spectres (analyse spectrale).

Leçon

Intro (4'12")

En seconde, on a vu que l'émission d'un signal sonore est permise par la **mise en vibration d'un objet** dans un milieu **matériel**.

On a vu que les signaux sonores étaient périodiques, en particulier sinusoïdaux (*tracer une sinusoïde et montrer la fréquence*). $T = \frac{1}{f}$ (*donner les unités*)

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

1 Le son, un phénomène vibratoire (7'35")

Le son a une origine : la vibration des cordes vocales dans le larynx. On le perçoit car les tympons dans les oreilles vibrent en retour.

1.1 Caractéristiques d'une onde sonore (8'35")

Définition – Onde sonore : propagation d'une perturbation dans un milieu matériel.

L'objet 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

- **Vitesse :** dans l'air, $v = 340$ m/s ;
- **Fréquence :** $f = \frac{1}{T}$, reliée à la vitesse par : $v = \lambda f$, avec λ la longueur d'onde (*faire l'analyse dimensionnelle*) → caractérise si le son est aigu ou grave ;
- **Intensité** → caractérise si le son est fort ou faible ;
- **Onde sphérique :** à partir d'un point source (tracer un schéma).

1.2 Intensité et niveau sonore (12'30")

| **Définition** – Intensité : $I = \frac{\mathcal{P}}{S}$

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

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

| **Définition** – Niveau sonore : $L = 10 \log(\frac{I}{I_0})$, avec $I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12} \text{ W/m}^2$, exprimé en décibels (dB)

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, $L_2 = L - 3 \text{ dB}$.

1.3 Analyse spectrale d'un son (18'20")

| **Projection** – Sinusoïdes tracées sur GeoGebra.

| **Définition** – Son pur : son dont le signal correspondant est sinusoïdal.

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

On peut construire facilement des sons composés à partir de plusieurs sons pur.

| **Projection** – On somme les sinusoïdes précédemment tracées sur GeoGebra.

⇒ Comment décomposer un son composé en plusieurs sons purs ?

On utilise l'analyse spectrale → tracer le spectre de Fourier d'un son composé.

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

Tracer le spectre de Fourier du son composé.

| **Remarque** – Les spectres de Fourier peuvent être utilisés dans d'autres domaines que l'acoustique, à condition que l'on considère des signaux sinusoïdaux.

| **Projection** – Autres exemples d'analyse spectrale.

Cela nous amène à définir deux autres notions :

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

Définition – Timbre : toutes les autres fréquences du spectre d'un son composé.

Un exemple d'objet donnant un son pur est un **diapason** (*le montrer et faire entendre son son*). Les sons composés sont produits par tous les autres instruments de musique.

2 Autour de la guitare (25'55")

2.1 Présentation

Projection – Dessin d'une guitare.

La guitare est composée de :

- une caisse de résonance → amplification du signal sonore créé par les cordes ;
- des cordes composées de matériaux différents pour produire des sons différents ;
- des clés pour accorder la guitare en jouant sur la tension des cordes.

2.2 Modélisation de la guitare (27'37")

Une corde de guitare est caractérisée par :

- sa **tension** T (réglée par les clés) ;
- sa **longueur** L (quand on joue, on pose nos doigts sur la corde ce qui diminue sa longueur) ;
- sa **masse linéique** $\mu = \frac{m}{l}$ (donnée par le matériau de la corde).

On peut modéliser la corde de guitare par une corde de Melde.

Projection – Schéma de la corde de Melde.

Objectif – Lier la fréquence de la corde f à ses trois caractéristiques.

Expliquer le montage expérimental utilisé. 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.

On mesure une fréquence fondamentale $f = 23\,700 \pm 100$ Hz.

En préparation, on a mesuré la fréquence fondamentale f pour d'autres longueurs de corde L . On trace f en fonction de $\frac{1}{L}$ et on observe une fonction linéaire. On a une relation de proportionnalité entre f et $\frac{1}{L}$.

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 la tension. On a remarqué en préparation que f est proportionnelle à $\sqrt{T}$.

- En changeant le matériau de la corde, on joue sur sa masse linéique. On pourrait remarquer que f est proportionnelle à $\frac{1}{\sqrt{\mu}}$.

On a finalement la relation de la corde de Melde :
$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Projection – Bilan : comment on peut jouer sur la hauteur du son d'une guitare.

Conclusion (39'10")

Projection – Bilan

Pour la prochaine fois : comment enregistre-t-on un signal sonore ?

Fin : 40'05"

Questions/Réponses

Questions	Réponses
<i>Fréquences audibles et ultrasons.</i>	
Gamme de fréquence de l'audible ?	Entre 20 Hz et 20 kHz.
Quelles sont les fréquences plus élevées que les fréquences de l'audible ?	Les ultrasons, de fréquence bien supérieure à 20 kHz.
Quelles espèces utilisent les ultrasons ?	Les dauphins les utilisent comme sonar car ils ont une meilleure ouïe que la vue.
<i>Intensité et niveau sonore.</i>	
Gamme de niveau sonore ?	Entre 0 (alors, $I = I_0$) et 140 dB.
D'où vient le "10" dans la définition du niveau sonore ?	L'unité est le décibel , d'où le facteur 10. L'unité d'un logarithme est plutôt le bel.
<i>Echographie.</i>	
Application concrète des ondes sonores autre que la musique ?	Les échographies : propagation d'une onde dans le corps humain, milieu matériel.
Quelles fréquences sont utilisées pour une échographie ?	Des ultrasons, de l'ordre du mégahertz.

Comment fonctionne la sonde utilisée pour une échographie (c'est le même fonctionnement que n'importe quel émetteur sonore) ?

Par l'effet piézoélectrique : le matériau vibre (voire se déforme) quand on lui impose une tension, et inversement.

A quoi sert le gel que l'on met entre la peau et la sonde ?

On diminue les réflexions sur la peau car il sert d'adaptation d'impédance.

Qu'est-ce qui est propre à chaque matériau qui fait qu'il y a moins de réflexion entre le gel et la peau qu'entre l'air et la peau ?

Equation de d'Alembert et vitesse des ondes sonores.

Quelle équation régie les phénomènes ondulatoires ?

L'équation de d'Alembert : $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 T}{\partial t^2}$

Quelle est la vitesse d'une onde sonore dans un gaz parfait ?

$c = \frac{1}{\sqrt{\mu \chi_s}}$ = dans n'importe quel fluide.
Pour un gaz parfait, $PV = nRT = \frac{mRT}{M}$
donc $P = \frac{\rho RT}{M}$ et $\chi_s = \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial P} \dots$ On obtient $c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$

Est-ce que l'assertion "la vitesse du son dans l'air est de 340 m/S" est vraie ?

Non. Ce n'est vrai qu'à température ambiante.

Donner l'ordre de grandeur de la vitesse du son dans l'eau.

De l'ordre de 1000 m/s.

Pourquoi est-elle plus grande dans l'eau que dans l'air ?

L'air est plus compressible que l'eau donc plus facilement déformé au passage de l'onde.

Pourquoi à l'époque les indiens collaient-ils leur oreille sur les rails du train pour savoir s'il allait arriver ?

Les ondes vont se propager plus rapidement dans le fer car il est très peu compressible.

Pourquoi a-t-on une voix plus aigüe quand on prend de l'hélium ?

L'hélium est moins dense que l'air. Donc la vitesse du son dans l'air est plus faible que celle dans l'hélium. D'où la fréquence du son sera plus grande dans l'hélium et le son perçu plus aigu.

Corde de Melde.

Comment s'assure-t-on que la fréquence choisie sur le GBF est bien celle que le vibreur rend ?

On utilise un stroboscope pour vérifier qu'on a bien la bonne fréquence.

Quelle incertitude a-t-on pris pour la mesure de la longueur ?	Il faudrait prendre l'incertitude sur la lecture, soit de l'ordre de 1 cm.
Dessiner les premiers modes de la corde.	
Comment se nomme ces modes ?	Les modes propres de la corde, le 1 ^{er} mode correspond au fondamental. Les autres correspondent aux harmoniques.
Quel est le lien entre le numéro du mode et la longueur de la corde ?	$\frac{2\pi L}{\lambda} = n\pi$ donc $L = \frac{n\lambda}{2}$.
Quel est le lien entre la longueur d'onde et la période ?	$\lambda = c T$

Instruments de musique.

Pourquoi une contrebasse joue plus grave qu'un violon ?	Une contrebasse est bien plus grosse qu'un violon. Les cordes utilisées sont donc plus longues. D'après la relation, la fréquence est plus basse donc le son est plus grave. En fait, la caisse de résonance joue un peu sur la hauteur.
Qu'est-ce qui influence le son dans la caisse de résonance ?	Sa taille, sa forme, le matériau qui la constitue.

Autres.

Comment fonctionne un haut-parleur ?	Une membrane est reliée à un ressort qui oscille.
Est-ce que les ondes sismiques rentrent dans la définition des ondes sonores ?	Ce ne devrait pas être le cas. Il faut compléter la définition d'onde sonore par "la perturbation est une succession de compression-dilatation dans un milieu matériel fluide".

Debrief

La structure de la leçon était bonne. Il faudrait apporter un peu plus de dynamisme pour ajouter des choses à la leçon : dilatation-compression, gamme de l'audible et des niveaux sonores, définitions de fondamental et harmoniques...

L'introduction pédagogique est bonne. Les difficultés ont été bien ciblées, mais il faut en tenir compte dans la leçon et bien appuyer dessus.

On aurait aussi pu parler d'instruments à vent.

Les réponses aux questions étaient correctes.