

LP2 : Phénomènes acoustiques

leçon par Tim

Elément imposé : Bang supersonique

Niveau : Tale SPCL : pas d'instruments mais ondes stationnaires

Ici, on a déjà introduit les ondes au cours des années précédentes (programme spiralaire)

Ondes acoustiques	
Propagation. Célérité. Caractérisation d'un son : hauteur, timbre. Niveau d'intensité sonore.	<ul style="list-style-type: none"> - Modéliser une onde acoustique par la propagation d'une vibration mécanique et d'une surpression. - Comparer la célérité du son dans différents milieux, citer des ordres de grandeur des valeurs de célérité dans un gaz, un liquide ou un solide. - Distinguer à partir d'un spectre un son pur d'un son complexe. - Caractériser un son par sa hauteur et son timbre. - Exploiter l'expression du niveau d'intensité sonore en décibel (dB). <p>Capacités expérimentales :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Étudier l'influence d'un paramètre sur la vitesse de propagation des ondes acoustiques. - Réaliser et analyser le spectre d'une onde sonore.
Production d'ondes sonores. Ondes stationnaires. Nœuds, ventres de vibration. Modes propres d'une corde et d'une colonne d'air. Fondamental, harmoniques.	<ul style="list-style-type: none"> - Distinguer une onde stationnaire d'une onde progressive. - Interpréter une onde stationnaire comme la superposition de deux ondes progressives. - Établir la relation entre la longueur d'onde et la distance entre deux nœuds ou deux ventres. - Expliquer le principe des instruments de musique à vent et à corde. - Interpréter les modes propres à l'aide du modèle des ondes stationnaires. - Établir et exploiter la relation entre la longueur de la corde et la fréquence de ses modes propres. - Établir et exploiter la relation entre la longueur d'une colonne d'air dont chaque extrémité est ouverte ou fermée et la fréquence de ses modes propres. - Exploiter des résultats expérimentaux pour caractériser un son. <p>Capacités expérimentales :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mettre en œuvre un protocole pour : <ul style="list-style-type: none"> - mesurer les fréquences des modes propres d'une corde vibrante et identifier des paramètres qui influent sur ces valeurs ; - mesurer les fréquences des modes propres d'une colonne d'air.

Figure 1: Extrait du programme de Tale SPCL concernant les ondes acoustiques

Prérequis :

- Notion de caisse de résonance et d'émission d'un signal sonore (2nde)
- Définition et détermination de la période/fréquence d'un signal périodique (2nd)
- Vitesse et propagation d'un signal sonore (2nde)
- Notion de puissance (1ere)
- Notion d'ultrason (Cycle 4)
- Fonction sinus (Cycle 4)

Difficultés :

- Utilisation de l'échelle logarithmique (décibel) : ce sont les intensités et non les niveaux sonores qu'il faut sommer
- Différence entre la hauteur et le timbre d'un instrument

4 - Son et musique, porteurs d'information	
<p>L'être humain perçoit le monde à l'aide de signaux dont certains sont de nature sonore. De l'Antiquité jusqu'à nos jours, il a combiné les sons de manière harmonieuse pour en faire un art, la musique, qui entretient des liens privilégiés avec les mathématiques. L'informatique permet aujourd'hui de numériser les sons et la musique. La compréhension des mécanismes auditifs s'inscrit dans une perspective d'éducation à la santé.</p>	
<p>Histoire, enjeux, débats L'histoire de l'analyse temps-fréquence depuis Fourier. La controverse entre d'Alembert, Euler et Daniel Bernoulli sur le problème des cordes vibrantes. L'histoire des gammes, de Pythagore à Bach. Des algorithmes au cœur de la composition musicale : de l'Offrande musicale de Bach à la musique contemporaine. Les enjeux culturels et économiques de la numérisation et de la compression des sons. La santé auditive.</p>	
<p>4.1 - Le son, phénomène vibratoire La banalité du son dans l'environnement cache une réalité physique précise.</p>	
Savoirs	Savoir-faire
<p>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.</p>	<p>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.</p>
<p>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.</p>	<p>Relier qualitativement la fréquence fondamentale du signal émis et la longueur d'une corde vibrante.</p>
<p>Prérequis et limites 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.</p>	

Figure 2: Extrait du programme de 1ere enseignement scientifique concernant les ondes acoustiques

séquence pédagogique TP : Enregistrement et analyse fréquentielle d'un son avec un smartphone
 TD : Additionner des signaux sinusoïdaux avec python Approche documentaire sur la guitare
 Activité documentaire : Modélisation de la circulation sanguine

Bibliographie

- Fruchard
- Cours en ligne méca flux de fento physique
- AC montpellier accoustique Tale SPCL, LLS 1ere enseignement scientifique, Belin 1ere scientifique
- Bellier T2 chap 16
- animation harmoniques, animation harmoniques flute guitare

Contents

1	Ondes sonores	3
1.1	Caractéristique d'une onde sonore	3
1.2	Le son "musical"	4
1.3	Intensité sonore et niveau sonore	4
2	Production d'ondes sonores	5
2.1	Fréquence fondamentale d'une corde	5
2.2	Applications aux instruments à corde	5
2.3	Analogie avec les instruments à vent	5

Introduction

On a tous déjà entendu des son, avec le diapason on amplifie le son dans la caisse de résonance. Mais qu'est-ce qu'un son ?

Problématique : Comment générer un son ?

Pour ça on s'intéressera d'abord à la nature d'un son avant de regarder des méthodes pour le générer

C'est une **onde mécanique** donc on a besoin d'un milieu matériel. On a alors déplacement d'une perturbation sans déplacement de matière. C'est une onde mécanique longitudinale progressive périodique qui se propage dans l'espace.

1 Ondes sonores

1.1 Caractéristique d'une onde sonore

On a des zones de dilatation et de compression dont l'amplitude est sinusoïdale dans l'espace.

Diapo schéma AC montpellier

On peut alors caractériser l'onde par sa longueur d'onde λ . (figure 3a).

Si on se place à un point fixe, on observe alors également une amplitude sinusoïdale dont on peut relever la période T (figure 3b).

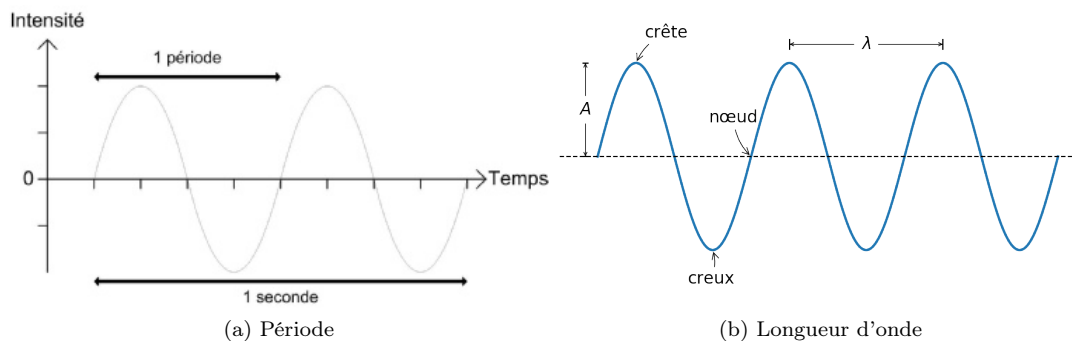


Figure 3: Double périodicité

Manipulation On met en place le montage de la figure 4.

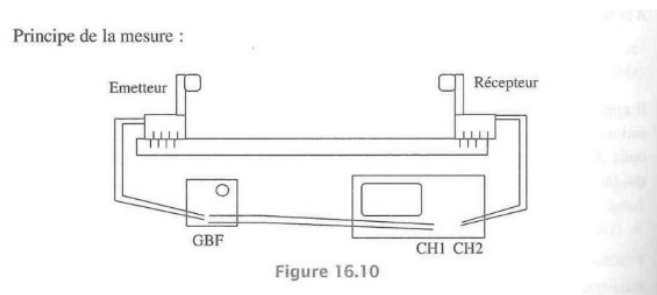


Figure 4: Schéma de la manipulation : piezo électriques, Oscillo, GBF (Bellier T2 p398)

On mesure alors la période de l'onde avec l'oscilloscope : $T = 25 \mu\text{s}$ ce qui donne $f = \frac{1}{T} = 40\,000 \text{ Hz}$

On mesure ensuite sa longueur d'onde en écartant le récepteur jusqu'à ce que le signal soit à nouveau en phase et on mesure la distance pour 10λ .

On obtient : $\lambda = (116,05 \pm 0,44) \text{ m}$ donc $c = \lambda f = (344 \pm 2) \text{ ms}^{-1}$. La vitesse dépend de l'état physique du milieu de propagation et la température selon la relation :

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

(Bellier) avec

- $\gamma = \frac{C_P}{C_V} = 1,4$ pour l'air est un coefficient qui dépend de la forme des molécules constituant le gaz (coefficient isentropique)
- $R = 8,32 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ la constante du gaz parfait
- T la température du gaz en kelvin
- M la masse molaire du gaz ($0,029 \text{ kg mol}^{-1}$)

A 293 K, On trouve $c = 343 \text{ m s}^{-1}$, calculons le z-score pour voir si on est ok

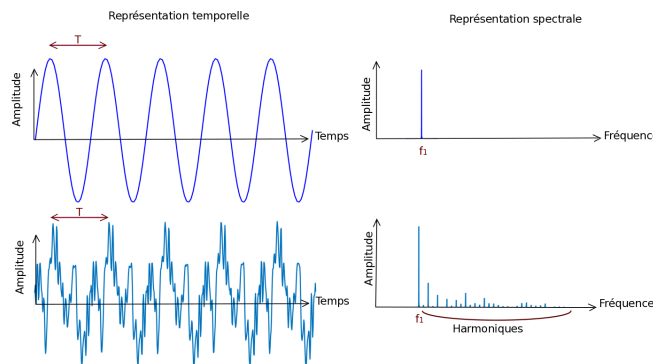
Lorsque l'avion dépasse la vitesse du son, les ondes sonores émises par l'avion se superposent et on a alors une onde de choc. On peut alors définir des régimes différents : sub sonique, transsonique et supersonique.

Maintenant, on s'intéresse à ce qui différencie les mêmes notes mais d'instruments différents : flûte vs diapason.

1.2 Le son "musical"

On introduit alors les notions de **son pur** : son dont l'analyse fréquentielle ne possède qu'une fréquence = fréquence fondamentale et **son composé** : son dont l'analyse fréquentielle fait apparaître plusieurs fréquences : la fréquence fondamentale et les fréquences des harmoniques.

On peut représenter le signal comme une somme de sinusoides.



Les fréquences peuvent être reliées à la hauteur du son : figure Bellier p391

Animation ajout de fréquences

Si on joue la même note avec un instrument différent on observe alors des harmoniques qui diffèrent. On peut comparer sur l'animation les différents spectres de la flûte, dont le son est quasi pur, à celui du violon, qui comporte beaucoup d'harmoniques.

Manipulation Réaliser l'analyse spectrale du la d'une flûte dans laquelle on souffle

La **hauteur du son** est la fréquence du fondamental. Plus la fréquence est élevée, plus le son paraîtra aigu.

Le **timbre** du son est composé des fréquences des harmoniques qui ont des intensités différentes.

1.3 Intensité sonore et niveau sonore

Manipulation on mesure le son de la voie à l'aide d'un **sonomètre**

L'intensité sonore est définie comme : $I = \frac{P}{S}$ avec P la puissance de l'onde et S la surface sur laquelle cette puissance est déployée.

On définit aussi le niveau sonore $L = 10 \log \frac{I}{I_0}$ avec $I_0 = 1 \times 10^{-12} \text{ W m}^{-2}$ le seuil de l'audition humaine. Il faut faire attention à ne sommer que les intensités et non les niveaux.

Figure niveaux sonores de sécurité

On a un *schéma avec le tympan* et c'est le tympan qui vibre et qui donne un signal électrique au cerveau. Elle peut capter des fréquences comprises entre 20 Hz et 20 000 Hz. Avec l'âge, on perd les fréquences aigües et chez les animaux on a des domaines différents.

On doit faire attention aux niveaux sonores afin de limiter les dommages irrémédiables sur l'oreille.

2 Production d'ondes sonores

2.1 Fréquence fondamentale d'une corde

Une corde tendue émet en vibrant un son composé dont la fréquence fondamentale ne dépend que de ses caractéristiques (longueur, tension, masse linéique).

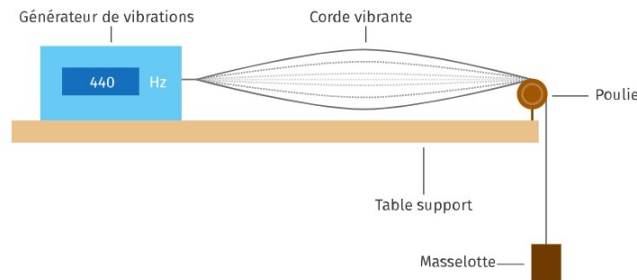


Figure 5: Dispositif expérimental de la corde de Melde (LLS p188)

Manipulation On met en place le dispositif de la figure 5 et on mesure la fréquence du fondamental en fonction de la longueur de la corde, traçons la régression linéaire $f = \frac{1}{L}$

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 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 :

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

2.2 Applications aux instruments à corde

En musique, certains instruments se servent des propriétés vibratoires des cordes tendues pour produire des sons.

Une fois pincées, frappées ou frottées, ces cordes se mettent à vibrer à une fréquence f appelée fréquence fondamentale, proportionnelle à l'inverse de la longueur l de la corde.

Belin p 180 : On a une guitare, dont la vibration des cordes est amplifiée par une caisse de résonance. On voit que les cordes plus grosses ont un son plus grave : on joue sur μ .

Pour accorder une guitare, on serre les vis : on joue sur T .

2.3 Analogie avec les instruments à vent

Idem

Conclusion

Question

- Valeur de la république : Un élève refuse de se mettre en binôme avec une fille ? Comment faire pour éviter qu'une telle situation se produise
- Autres ondes dans l'intro péda, comment on les étudie dans les classes de lycée ? Les ondes lumineuses sont traitées, les ondes mécaniques type ressort et corde de Melde. En 1ere, on ne s'attarde pas sur l'aspect mathématique des ondes mais plus rester sur les effets : interférences.
- Expérience à la maison par eux-même, bonne idée ? Ils n'ont pas forcément tous des smartphones mais permet de faire de la science ailleurs qu'à l'école.
- En intro, diapason : quel est l'objet fixé dessus et à quoi sert-il ? C'est un accordeur car la hauteur du son change en l'enlevant. Il permet de modifier les vibrations de branches en alourdissant la branche de droite.
- Expérience numérique pour la propagation du son, idée d'une expérience dans la salle ? On peut mettre un buzzer sous une cloche à vide pour montrer qu'elle a besoin de milieu matériel et on peut prendre une corde ou un ressort.
- Son = "faire vibrer de molécules" ? ça les fait plus bouger car vibration appelle à la spectro.
- On passe directement d'une onde sonore diapason à un schéma sinusoïdal, diapason réellement sinusoïdal ? non car il ne vibre pas indéfiniment. On aura alors une atténuation du son en enveloppe exponentielle décroissante.
- On a défini l'amplitude, qu'est-elle ? C'est une surpression. Insister sur le fait que l'onde sonore est une onde de pression.
- Différence entre progressive et périodique ? Périodique : on a un motif qui se répète. Progressive : l'onde se déplace.
- Le calcul d'incertitude est-il vu en terminale ? Oui
- On parle de gaz parfait. à partir de l'équation d'état des gaz parfait on peut redémontrer l'équation de propagation du son ? Approx acoustique
- Manipulation pour vérifier que la vitesse dépend des paramètres du milieu ? Dans l'eau
- Dans un son pur, est-ce que la fréquence fondamentale a un intérêt ? Comme elle est la seule c'est redondant. Est-ce qu'il n'y a que des harmoniques dans un son composé ? Accord sur un piano : on n'a pas que des harmoniques dans ce son composé.
- Sur la photo du bang supersonique on voit un cône, expliquer ? On liquéfie l'eau sous forme de vapeur car on augmente la pression. L'angle du cône est reliée à la vitesse par la relation de mach : $\arcsin(c/v)$
- Absorption du son dans l'eau ? c'est plus
- Que fait la caisse de résonance du diapason ? Elle amplifie le son
- pourquoi le son s'atténue ? La surface et dissipation par énergie thermique.
- pourquoi le son est peu directif ? Ses longueur d'ondes sont de l'ordre du mètre donc elle est diffractée par l'environnement.

Retours

- Relier plus la leçon au réel : montrer des instruments de musique, faire plus d'exemple. Montrer une vidéo du bang supersonique.
- Mettre un exemple après la définition. Sur les dessins, mettre des graduations, des axes bien, des temps.
- Préparer l'oscillo avec les curseurs déjà, faire une mesure de période par 5. mettre la formule d'incertitude sur le powerpoint car pas vraiment au programme. On ne prend qu'un chiffre significatif sur l'incertitude.
- Etre prêt à répondre aux questions de musique. Sujet d'agreg de chimie B 2009 sur les membranes vibrantes. Ou agreg blanche de Décembre.
- Insister sur l'échelle logarithmique du seuil de la douleur.