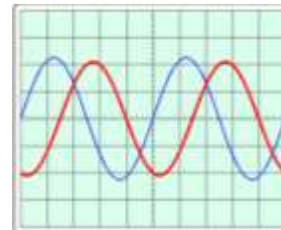


- **But du TP :** Etudier le phénomène de propagation d'une onde. Déterminer la période, la fréquence, la longueur d'onde et la célérité d'une onde mécanique progressive.



Ondes déphasées

I. Caractéristiques d'une onde plane progressive sinusoïdale

1. Période temporelle

- On considère un émetteur **E** d'ultrasons émettant en continu des ondes sinusoïdales.
- Placer deux récepteurs **R₁** et **R₂** côte à côte, face à l'émetteur. Les relier à l'oscilloscope.
- Visualiser les signaux et les repérer en décalant les courbes.
- Eloigner très lentement l'un des deux récepteurs. Observer l'évolution du signal de ce récepteur par rapport au signal de l'autre récepteur.
- Repérer les positions du récepteur pour lesquelles les abscisses de leurs maxima (et de leurs minima) sont confondues. On dit alors que les **ondes sont en phase**.

1.1. L'onde ultrasonore est dite **périodique**. Expliquer ce terme.

1.2. Déterminer la période **T** des signaux reçus et déterminer l'incertitude absolue ΔT sur la mesure de la période.

2. Période spatiale ou longueur d'onde λ

- La longueur d'onde λ est la distance séparant deux points consécutifs pour lesquels les ondes sont en phase. C'est également la distance parcourue par l'onde en une période.

2.1. Avec le réglet, mesurer la longueur d'onde λ des US avec la plus grande précision.

2.2. Pourquoi est-il plus précis de mesurer plusieurs longueurs d'onde qu'une seule ?

2.3. Evaluer l'incertitude absolue $\Delta \lambda$ sur cette mesure. En déduire l'encadrement de la valeur de λ .

3. Célérité

3.1. Donner la relation liant la longueur d'onde, la période d'une onde et sa célérité v . Préciser les unités légales à utiliser.

3.2. En déduire la valeur de la célérité expérimentale v_{exp} de l'onde ultrasonore et son incertitude absolue

$$\Delta v = v_{\text{exp}} \times \sqrt{\left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda}\right)^2}$$

3.3. Calculer la valeur théorique de la célérité (en m/s) des ultrasons : $v_{\text{théo}} = \sqrt{\alpha \times T}$ avec $\alpha_{\text{air}} = 402 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et T en kelvin : $T = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273$.

3.4. Déterminer l'écart relatif entre les valeurs expérimentale et théorique de la célérité des ultrasons :

$$\text{Rappel : écart relatif (en pourcentage)} = \frac{|v_{\text{exp}} - v_{\text{théorique}}|}{v_{\text{théo}}} \times 100$$

II. Etude de sons

- Avant de jouer toute œuvre musicale, les musiciens d'un orchestre accordent leur instrument. Par tradition, c'est le joueur de hautbois (ou le pianiste) qui donne le la , permettant ainsi au premier violon puis à tous les musiciens de s'accorder. «Donner le la » signifie que l'on donne une note de référence, le la , également appelé « la_3 » ou « $la 440$ », qui permet à chaque instrument une fois accordé de produire un son harmonieux.
- Cette note peut aussi être produite par un instrument nommé diapason, qui peut être électronique ou mécanique. Nous allons étudier ces différents sons pour déterminer leurs similitudes et leurs différences.

1. Acquisition et visualisation sous Regressi

- A l'aide d'un microphone relié à la carte son d'un ordinateur, enregistrer le son du diapason et celui de la flûte en La_3 ou $la440$.
- Pour cela brancher le micro sur la prise au devant de l'ordinateur, ouvrir Regressi et suivre la fiche d'instruction fournie pour réaliser les enregistrements.

2. Fréquence des deux sons

- Basculer sur Regressi et observer la page graphe

2.1. Quelle(s) différence(s) y-a-t-il entre l'onde sonore émise par le diapason et par la flûte ?

2.2. En utilisant l'outil graphique *Réticule*, déterminer la période T de l'onde sonore émise par le diapason.

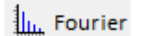
2.3. Quelle est l'incertitude absolue ΔT sur la mesure de la période.

2.4. En déduire la fréquence f des ondes ultrasonores et son incertitude absolue : $\Delta f = f \times \frac{\Delta T}{T}$.

2.5. D'après la littérature, la fréquence d'un la_3 vaut $f_{\text{théo}} = 440$ Hz. Conclure.

2.6. L'onde sonore émise par l'instrument de musique possède-t-elle la même fréquence ? Justifier.

3. Analyse spectrale



- On peut obtenir le spectre de chaque signal périodique grâce à une analyse de Fourier (icône).
- Pour le son du diapason, cliquer sur cette icône.
- Choisir l'icône *Limite / Période*, puis zoomer sur le pic de plus grande amplitude grâce à l'icône *Loupe*.

3.1. Que représentent l'axe des abscisses et l'axe des ordonnées ?

3.2. Comparer la valeur de la fréquence de ce pic avec la valeur précédente.

- Réaliser l'analyse de Fourier pour le son de l'instrument de musique.

3.3. Quelle est sa particularité par rapport au spectre du diapason ?

3.4. Quelle relation existe-t-il entre la fréquence du premier pic f_1 et celle des autres pics ? L'amplitude est-elle la même ?

4. Conclusion

- Les caractéristiques d'un son musical sont :

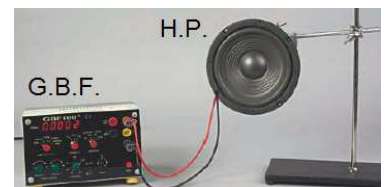
- **L'intensité** d'un son est directement liée à l'amplitude de l'onde.
- **La hauteur** d'un son dépend de la fréquence de la vibration sonore, appelée fréquence fondamentale : Plus cette fréquence est élevée, plus le son est aigu. Plus cette fréquence est faible, plus le son est grave.
- **Le timbre** permet de différencier deux instruments émettant tous les deux un son de même hauteur (même fréquence) mais qui sera perçu différemment.

4.1. Quels sont les points communs et différents entre ces deux sons ?

III. Sensibilité de l'oreille humaine

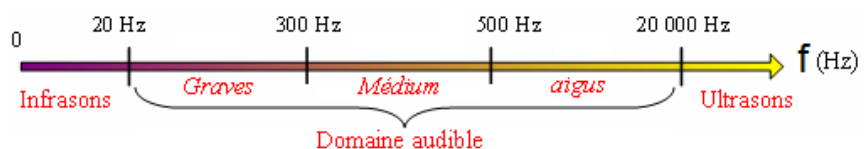
1. Expérience

- Brancher un générateur basses fréquences (G.B.F.) sur un haut-parleur (H.P.).



1.1. Faire varier la fréquence f du signal électrique du G.B.F. et rechercher le domaine des fréquences audibles.

- Le domaine des fréquences audibles par l'oreille humaine varie de 20 Hz



à 20 kHz, mais le seuil d'audibilité dépend des individus et de leur âge.

1.2. Deux sons de fréquence $f_1 = 3$ kHz et $f_2 = 0,0008$ MHz sont-ils audibles ?

2. Niveau sonore

- Expérimentalement on constate que la sensation auditive n'est pas proportionnelle à l'intensité sonore (deux musiciens jouant ensemble ne font pas deux fois plus de bruit qu'un seul).
- Pour qualifier la sensation sonore on utilise une grandeur appelée **niveau sonore** (notée L) que l'on calcule avec la formule :

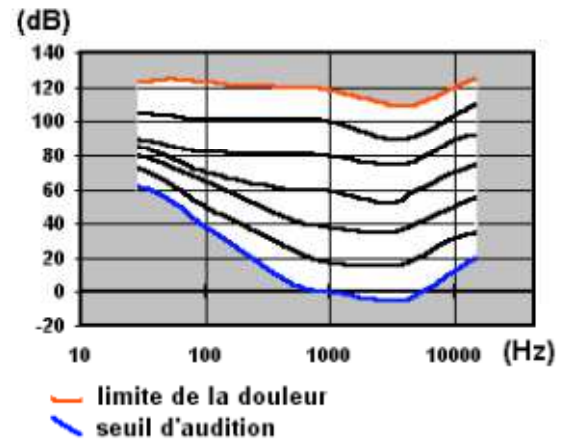
$$L = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \text{ où } I_0 \text{ est l'intensité sonore de référence (elle}$$

correspond au seuil minimum d'audibilité moyenne de l'oreille

humaine : $I_0 = 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$) et I est l'intensité sonore du son émis (valeur comprise dans le domaine audible de

10^{-12} à 25 W.m^{-2} pour le seuil de

douleur). L s'exprime en **décibels (dB)** et se mesure avec un **sonomètre**.



Audition	dB	Types de bruits possibles
Silence	0-10	Laboratoire d'acoustique, désert...
Très calme	11-25	Feuilles agitées par le vent, conversation à voix basse...
Assez calme	26-50	Appartement normal, restaurant tranquille...
Bruits courants	51-75	Grands magasins, circulation importante...
Pénible	76-95	Klaxons d'autos, radio très puissante...
Difficilement supportable	96-120	Marteau piqueur, concert sonorisé de rock...
Seuil de douleur	+de 120	Réacteurs d'avions, bang d'un Mirage III...

2.1. Que vaut le niveau sonore pour $I = I_0$?

2.2. De combien augmente le niveau sonore lorsque l'intensité est multipliée par 10 ? Puis lorsqu'elle est multipliée par 100 ?

- La valeur de 90 dB est considérée comme le seuil de danger. Une exposition prolongée à des niveaux sonores supérieurs entraîne des dégradations irréversibles de l'audition.

2.3. Quelle est l'intensité sonore I correspondant au seuil de danger ?

I. Caractéristiques d'une onde plane progressive sinusoïdale**1. Période temporelle**

- 1.1. L'onde ultrasonore est dite **périodique** : onde dont la perturbation est entretenue et se répète à intervalles de temps réguliers.
- 1.2. Déterminer la période **T** des signaux reçus et déterminer l'incertitude absolue ΔT sur la mesure de la période. $T = 25 \mu s$ $\Delta T = 0,02 \mu s$

2. Période spatiale ou longueur d'onde λ

- 2.1. Avec le réglet, mesurer la longueur d'onde λ des US avec la plus grande précision
 $10\lambda = 8,6 \text{ cm}$ soit $\lambda = 0,86 \text{ cm}$
- 2.2. Pourquoi est-il plus précis de mesurer plusieurs longueurs d'onde qu'une seule ? L'échantillon le plus grand possible en longueurs d'onde permet de minimiser l'erreur sur la valeur unitaire de celle-ci. Ici on minimise de 10 fois l'erreur .
- 2.3. Evaluer l'incertitude absolue $\Delta\lambda = 1\text{mm}/10 = 0,1 \text{ mm}$.
 En déduire l'encadrement de la valeur de **$0,85 < \lambda < 0,87 \text{ cm}$** .

3. Célérité

- 3.1. Donner la relation liant la longueur d'onde, la période d'une onde et sa célérité v . Préciser les unités légales à utiliser. $c = \frac{\lambda}{T}$
- 3.2. En déduire la valeur de la célérité expérimentale $c = \frac{\lambda}{T} = \frac{0,86 \cdot 10^{-2}}{25 \cdot 10^{-6}} = 344 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- 3.3. de l'onde ultrasonore et son incertitude absolue

$$\Delta v = v_{\text{exp}} \times \sqrt{\left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda}\right)^2} = 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$
- 3.4. Calculer la valeur théorique de la célérité (en m/s) des ultrasons : $v_{\text{théo}} = \sqrt{\alpha \times T} = 345 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
 avec $\alpha_{\text{air}} = 402 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ et T en kelvin : $T = 22,3(^{\circ}\text{C}) + 273$.
- 3.5. Déterminer l'écart relatif entre les valeurs expérimentale et théorique de la célérité des ultrasons :

Rappel : écart relatif (en pourcentage) $\frac{|v_{\text{exp}} - v_{\text{théorique}}|}{v_{\text{théo}}} \times 100 = 0,3\%$

II. Etude de sons

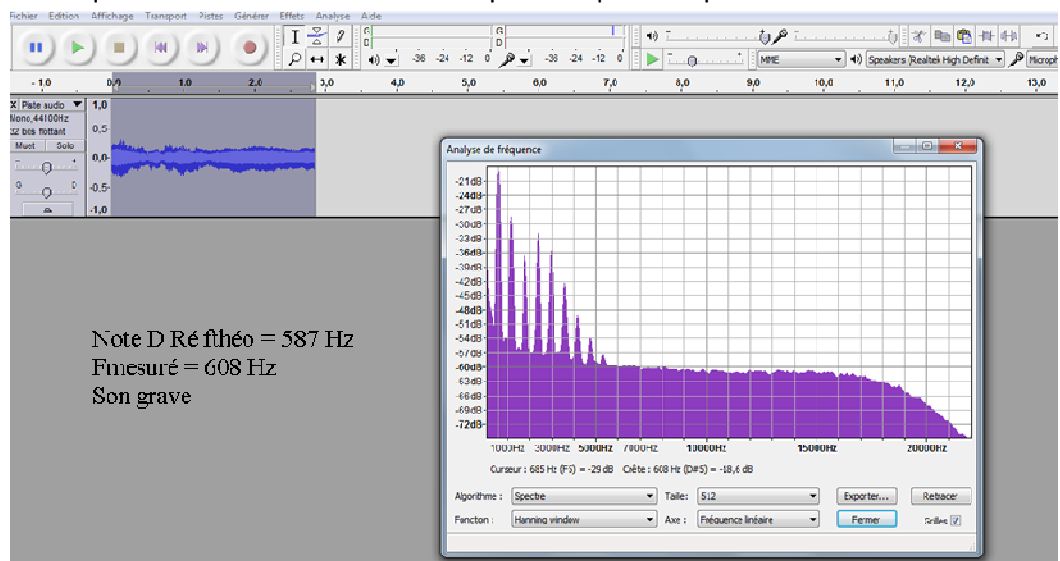
- Avant de jouer toute œuvre musicale, les musiciens d'un orchestre accordent leur instrument. Par tradition, c'est le joueur de hautbois (ou le pianiste) qui donne le *la*, permettant ainsi au premier violon puis à tous les musiciens de s'accorder. «Donner le *la*» signifie que l'on donne une note de référence, le *la*, également appelé «*la₃*» ou «la 440», qui permet à chaque instrument une fois accordé de produire un son harmonieux.
- Cette note peut aussi être produite par un instrument nommé diapason, qui peut être électronique ou mécanique. Nous allons étudier ces différents sons pour déterminer leurs similitudes et leurs différences.

1. Acquisition et visualisation sous Regressi

2. Fréquence des deux sons : corrigé avec la note ré !

- Basculer sur Regressi et observer la page graphe

2.1. Quelle(s) différence(s) y-a-t-il entre l'onde sonore émise par le diapason et par la flûte ? Le diapason est un son presque pur alors que la flûte émet un son et timbre plus complexe comportant une multitude



d'harmoniques

2.2. En utilisant l'outil graphique *Réticule*, déterminer la période $T = 1,64$ ms.

2.3. Quelle est l'incertitude absolue $\Delta T = 0,1$ ms.

2.4. En déduire la fréquence $f = 1/T = 608$ Hz des ondes ultrasonores et son $\Delta f = f \times \frac{\Delta T}{T} = 37$ Hz

2.5. D'après la littérature, la fréquence d'un *la₃* vaut $f_{\text{théo}} = 587$ Hz.

Ecart relatif $\frac{\Delta f}{f} = \frac{608 - 587}{587} = 3,5\%$ d'écart concordance entre la théorie et l'expérience.

2.6. L'onde sonore émise par l'instrument de musique possède-t-elle la même fréquence ? oui, ils ont la même fondamentale mais des harmoniques d'intensité différentes.

3. Analyse spectrale

- 3.1. Que représentent l'axe des abscisses et l'axe des ordonnées ? fréquence et intensité sonore.
- 3.2. Comparer la valeur de la fréquence de ce pic avec la valeur précédente. Même valeur
 - Réaliser l'analyse de Fourier pour le son de l'instrument de musique.
- 3.3. Quelle est sa particularité par rapport au spectre du diapason ? le spectre de l'instrument de musique possède de nombreuses harmoniques.
- 3.4. Quelle relation existe-t-il entre la fréquence du premier pic f_1 et celle des autres pics ? L'amplitude est-elle la même ? ce sont des multiples de la fondamentale.

4. Conclusion

- 4.1. Quels sont les points communs : même fondamentale et différents entre ces deux sons : harmoniques différentes en nombres et intensité

III. Sensibilité de l'oreille humaine

1. Expérience

- 1.1. Faire varier la fréquence f du signal électrique du G.B.F. et rechercher le domaine des fréquences audibles.
- 1.2. Deux sons de fréquence $f_1 = 3$ kHz et $f_2 = 0,0008$ MHz sont-ils audibles ? le premier oui et le deuxième oui (800Hz)

2. Niveau sonore

- Expérimentalement on constate que la sensation auditive n'est pas proportionnelle à l'intensité sonore (deux musiciens jouant ensemble ne font pas deux fois plus de bruit qu'un seul).
- Pour qualifier la sensation sonore on utilise une grandeur appelée **niveau sonore** (notée L) que l'on calcule avec la formule :

$L = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ où I_0 est l'intensité sonore de référence (elle correspond au seuil minimum d'audibilité moyenne de l'oreille humaine : $I_0 = 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$) et I est l'intensité sonore du son émis (valeur comprise dans le domaine audible de 10^{-12} à 25 W.m^{-2} pour le seuil de douleur). L s'exprime en **décibels (dB)** et se mesure avec un **sonomètre**.

- 2.1. Que vaut le niveau sonore pour $I = I_0$? $L = 0$ dB
- 2.2. De combien augmente le niveau sonore lorsque l'intensité est multipliée par 10 ?
 $L_2 - L_1 = 10 \log(10) = 10$ dB
 Puis lorsqu'elle est multipliée par 100 ?
 $L_2 - L_1 = 10 \log(100) = 20$ dB
- La valeur de 90 dB est considérée comme le seuil de danger. Une exposition prolongée à des niveaux sonores supérieurs entraîne des dégradations irréversibles de l'audition.
- 2.3. Quelle est l'intensité sonore I correspondant au seuil de danger ? $I = I_0 \cdot \exp(L/10) = 8 \cdot 10^{-9} \text{ W.m}^{-2}$

