



Chapitre A4 - Ondes progressives périodiques, cas particulier de l'analyse d'un son

Si la perturbation qui se propage est un phénomène périodique, on parle alors d'ondes périodiques.

Activité 1 Simulation de deux ondes périodiques

☞ Dans cette activité nous allons utiliser deux simulateurs :

« *simulaSON* » anime un modèle microscopique du son dans un tuyau sonore.

« *simulaCORDE* » anime un modèle de l'onde qui se propage le long d'une corde horizontale.

A- Période temporelle

En observant les animations données par les logiciels, on peut vérifier que, dans le cas d'une onde mécanique progressive *périodique*, en un endroit donné, la perturbation est périodique dans le temps.

☞ Vérifier que

- si la perturbation est périodique à $x = 0$, alors la perturbation est périodique en tout point.
- si la perturbation est sinusoïdale à $x = 0$, alors la perturbation est sinusoïdale en tout point.

1) Expliquer par écrit comment on peut mesurer cette période pour une onde périodique à la surface de l'eau si on dispose d'une vidéo.

B- Période « spatiale » : longueur d'onde

Au bout d'un certain temps, tout le milieu est perturbé. On peut donc trouver, à chaque instant, différents points du milieu pour lesquels la perturbation est la même.

Lire le § B du modèle

☞ Vérifier que vous êtes capable d'estimer la longueur d'onde dans le cas de la simulation d'une onde le long d'une corde (*simulaCORDE*) et dans le cas de la simulation d'une onde sonore (*simulaSON*).

☞ **Appeler le professeur pour lui montrer comment vous mesurez la longueur d'onde.**

2) Expliquer par écrit comment on peut mesurer la longueur d'onde pour une onde périodique à la surface de l'eau si on dispose d'une vidéo.

C- Lien entre période et longueur d'onde

3) A l'aide des simulateurs, comparer la distance dont s'est déplacée une perturbation pendant une période et la longueur d'onde ?

4) En déduire une relation entre période T , longueur d'onde λ et célérité de l'onde v

☞ **Après validation par le professeur compléter le § C du modèle**

*Pour rendre plus simples les études et représentations futures, on utilisera souvent à partir de maintenant des perturbations variant sinusoïdalement avec le temps. Les ondes correspondantes sont alors appelées **sinusoïdales**.*

Activité 2 (exp) $\lambda=vT$: est-ce bien le cas à la surface de l'eau ?

Une cuve à ondes est un dispositif qui permet de voir l'état de surface d'un plan d'eau sur lequel se propage une onde.

La perturbation est créée par un dispositif qui souffle de l'air verticalement de façon périodique.

Vous disposez d'une vidéo qui a enregistré pendant 2 secondes à 250 images par seconde. Vous disposez du logiciel Aviméca pour exploiter cette vidéo.

Vous devez proposer et réaliser des démarches expérimentales qui permettent de mesurer :

1. la période temporelle
2. la longueur d'onde
3. la célérité, considérée constante.

Vous mènerez une analyse critique des mesures, en particulier en vérifiant la validité de la relation entre période et longueur d'onde. Vous exposerez méthodes et mesures sur une feuille A4.

**Activité 3 (exp) Détermination de la célérité des ultrasons dans l'air**

Grâce à la relation entre période et longueur d'onde, on peut déterminer la vitesse du son dans l'air. Pour ceci il faut pouvoir mesurer T et λ pour un son donné. On en déduit *par calcul* l'expression de la célérité v .

Pour plus de confort auditif on utilise des ultrasons. L'émetteur d'ultrasons délivre une onde sinusoïdale. Le récepteur d'ultrasons délivre une tension électrique qui rend compte de l'état de l'air à l'endroit où il se trouve (air plus ou moins comprimé). Cette tension est visualisée selon un axe temporel grâce à un *oscilloscope*.

1) Mesure de la période de l'onde sonore reçue.

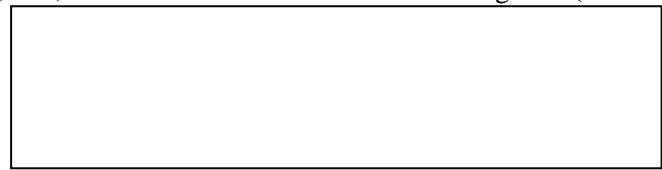
- Placer un récepteur face à l'émetteur.
- Mesurer la période T du signal électrique délivré par le récepteur (période égale à celle de l'onde perçue).

**2) Calculer la fréquence de l'onde sonore et vérifier qu'elle est voisine de 40 kHz.****3) Mesure de la longueur d'onde**

- Brancher à l'oscilloscope un deuxième récepteur noté $R2$ et le positionner, à proximité de $R1$, de façon à ce que les deux tensions soient *en phase* (maximum et minimum aux mêmes instants).

À l'aide de *simulaSON*, simuler une onde de fréquence 1,8Hz, et utiliser les fonctionnalités du logiciel (en particulier les capteurs !) pour en déduire une condition pour que les deux signaux délivrés soient *en phase*.

Trouver alors une méthode expérimentale utilisant les deux récepteurs pour mesurer la longueur d'onde λ (l'émetteur reste fixe) : faire ci-contre un schéma du dispositif proposé.



Appeler le professeur pour lui exposer ce que vous pensez faire

Après accord, décrire les actions et mesures effectuées (en pensant à minimiser l'incertitude sur la mesure).

Noter le résultat sous la forme : $\lambda = \dots \pm \dots$ (unité)

4) Calcul de la célérité

En déduire une valeur de la célérité du son dans le cas présent.

Pour aller plus loin :

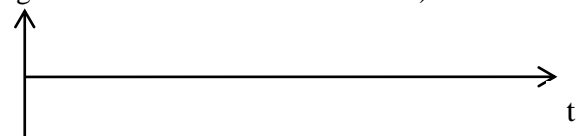
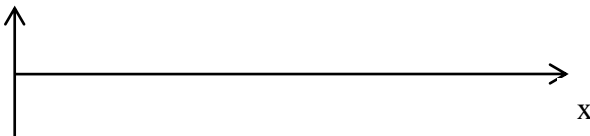
Calculer l'écart relatif avec la valeur théorique pour l'air à la température de la pièce (voir chapitre précédent).

Pour s'entraîner... ReprésentationS d'une perturbation dans le cas d'une onde sonore

Dans le logiciel *simulaSON*, on simule une onde sonore (elle est sinusoïdale par soucis de simplification) de fréquence environ 1,5 Hz. Dans la situation réelle, la grandeur physique qui caractérise le milieu de propagation et qui varie lors de la propagation d'un son est la pression acoustique, différence entre la pression et la pression atmosphérique : $p = P - P_0$.

- 1) Représenter ci-dessous la variation spatiale de la pression acoustique dans le tuyau sonore à un instant donné (échelle des ordonnées arbitraire).

- 2) Prévoir la variation temporelle de la pression acoustique à un endroit donné pour un capteur qui serait placé dans le milieu (on placera des graduations sur l'axe des abscisses).



- 3) Dans le repère précédent de droite (représentation au cours du temps), tracer en rouge la courbe donnant l'évolution de la pression acoustique pour un 2^e capteur éloigné d'une demi-longueur d'onde du capteur 1.

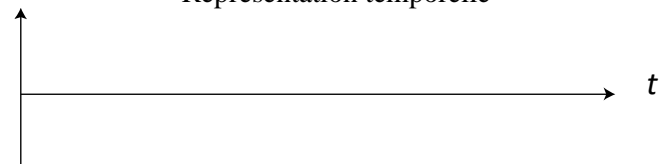
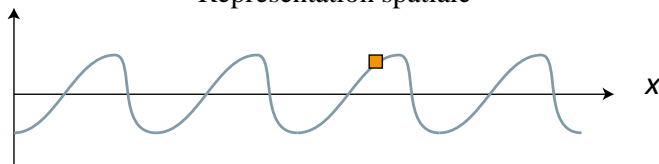
Appeler le professeur pour lui montrer.

Vérification à l'aide du simulateur.

- 4) On peut simuler avec *simulaCORDE* une onde périodique non sinusoïdale. La représentation spatiale de la grandeur aura l'allure représentée à gauche ci-dessous. Sur le graphique de droite, représenter l'allure des variations temporelles de la hauteur en un point de la corde (par exemple celui repéré par le petit carré) :

Représentation spatiale

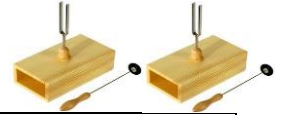
Représentation temporelle



Vérification à l'aide du simulateur.

**Activité 4 (exp) Comment modéliser notre perception du « niveau sonore » ?**

On dispose de deux diapasons identiques. Le premier diapason est frappé. Peu après, le second diapason est frappé de la même façon. **Quel changement de perception auditive ?**



	Prévision	Après expérience
le son est deux fois plus fort	1 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
le son est légèrement plus fort	2 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
le son est plus faible	3 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rien ne change	4 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

On admet la propriété suivante pour l'intensité sonore :

Deux sources d'intensité sonore I sont équivalentes à une source d'intensité sonore $2I$.

- 1) Exploitation de l'expérience : l'intensité sonore est-elle la grandeur qui rend compte de notre perception du « volume sonore » ?

Lire le § F du modèle "Intensité et niveau d'intensité sonore"

- 2) Montrer que lorsqu'on double l'intensité sonore (par exemple comme dans le cas des deux diapasons ou en branchant un deuxième haut-parleur alimenté de la même façon que le premier), le niveau sonore augmente de 3 dB quelle que soit l'intensité sonore initiale.
- 3) Interpréter alors l'impression auditive ressentie lorsqu'on branche un second haut-parleur.

Quelques propriétés de la fonction logarithme...
La fonction \log a quelques propriétés particulières :
 $\log(ab) = \log(a) + \log(b)$; $\log(a/b) = \log(a) - \log(b)$
 $\log(1) = 0$

Activité 5 Écoutez (et voir) la différence

On émet deux sons différents avec la voix :

- on se racle la gorge ;

- on chante ou joue une note de musique.

☞ Dans chacune de ses situations, on affiche l'évolution temporelle de la tension fournie par un micro (par exemple avec le logiciel *Audacity* ou *Regressi* mais de nombreuses applications pour smartphone le permettent).

- 1) D'après les évolutions temporelles des signaux enregistrés dans ces deux situations, indiquer ce qui distingue un son musical d'un bruit.

SON MUSICAL



BRUIT



- 2) Contrairement à la plupart des autres instruments, un diapason émet un **son pur** ; caractériser la vibration associée à un son pur.
- 3) Expérimenter pour savoir si la flûte à bec émet un son pur ou un son complexe.



Activité 6 Changer de note, changer d'instrument...

Spectre d'un son ou d'un bruit

Un résultat mathématique très important permet de justifier qu'on va utiliser pour ceci une représentation particulière, le **spectre en fréquence**.

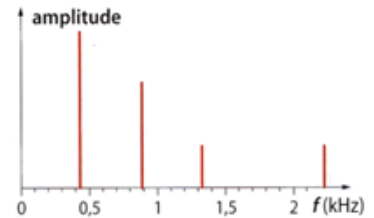
En effet, le mathématicien français Joseph Fourier a démontré que

Toute fonction périodique peut toujours être décomposée en une somme de fonctions sinusoïdales de fréquences multiples de la fréquence de la fonction.

Un spectre en fréquence représente graphiquement l'amplitude de ces fonctions sinusoïdales en fonction de leurs fréquences.

☞ Vérifier avec le simulateur *HarmoniSON* que si les fréquences ne sont pas toutes des multiples d'une fréquence donnée, alors le signal n'est pas périodique.

☞ En écoutant avec un casque les signaux générés, justifier la nuance que l'on fait en science entre *son* et *bruit*.



☞ **Appeler le professeur lorsque vous considérez que vous avez généré un bruit.**

On s'intéresse dans ce qui suit à la caractérisation de sons et non de bruits. On étudie donc des signaux périodiques.

Activité 6 - Hauteur

On cherche ici à faire un lien entre la hauteur d'un son et une (ou plusieurs) caractéristique(s) de l'onde sonore. A l'aide d'un GBF, on alimente avec une tension sinusoïdale un haut-parleur.



- 1) Avec le haut-parleur débranché, régler la fréquence à la valeur que vous indique le professeur : Hz puis brancher le haut-parleur un court instant à tour de rôle. Décrire ce que vous avez entendu et en déduire l'effet de la fréquence sur le son perçu.
- 2) Compléter les phrases ci-dessous avec un des adjectifs suivants : *faible, fort, aigu, grave*.
Si l'amplitude de vibration augmente, le son vous paraît plus
Si la fréquence de vibration augmente, le son vous paraît plus

Activité 6 - Son pur et timbre d'un son complexe

On peut reconnaître facilement la plupart des instruments grâce à leur timbre... mais comment l'expliquer à l'aide de nos connaissances sur la physique des ondes ?

On laisse dorénavant la note inchangée, par exemple un LA440, et on joue cette note à l'aide de plusieurs instruments. La caractéristique physiologique qui change entre ces deux sons s'appelle le **timbre**.

- 1) Par observation au tableau avec le logiciel *WinOscillo* ou avec *Audacity*, indiquer ce qui change pour les signaux correspondants lorsqu'on change d'instrument.

Les courbes ci-dessous sont obtenues par enregistrement de la tension délivrée par un micro percevant trois sons différents. Les spectres en fréquence correspondant sont donnés en-dessous.

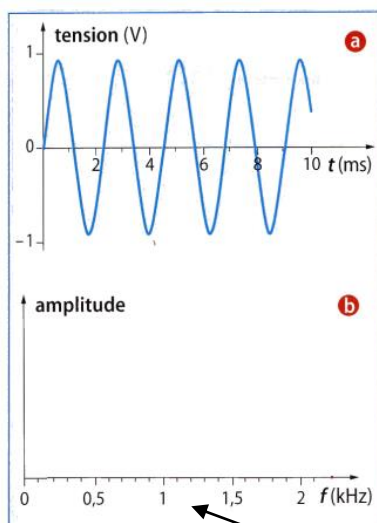


Fig. 1 a) Enregistrement et b) spectre en fréquence du la 440 du diapason.

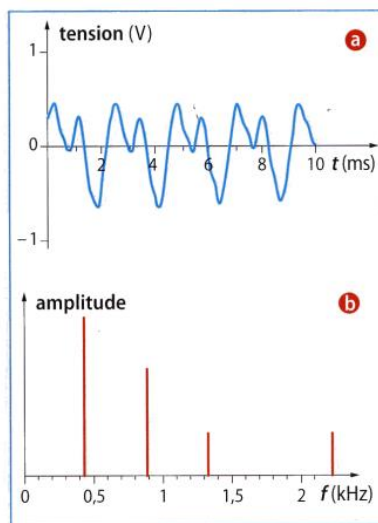


Fig. 2 a) Enregistrement et b) spectre en fréquence du la 440 du piano.

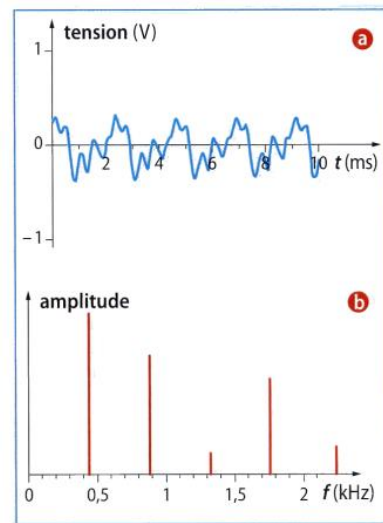


Fig. 3 a) Enregistrement et b) spectre en fréquence du la 440 de la flûte.

- 2) Compléter le spectre correspondant au diapason.
- 3) Sur les spectres de fréquences obtenus, indiquer en vert ce qui correspond à la caractéristique commune aux deux sons et en rouge ce qui les distingue.

**Pour conclure le chapitre A4****Résolution de problème - Le signal national d'alerte**

Le signal national d'alerte sert à alerter la population d'un danger imminent, soudain et imprévisible. Il est diffusé via le Réseau National d'alerte (RNA).

Il consiste en trois cycles successifs d'une durée de 1 minute et 41 secondes chacune séparées par un intervalle de 5 secondes d'un son modulé en amplitude ou en fréquence. Chaque cycle comporte 5 périodes de fonctionnement au régime nominal. La fréquence fondamentale du son émis au régime nominal est [REDACTED].

Source : <http://www.sdis30.fr>



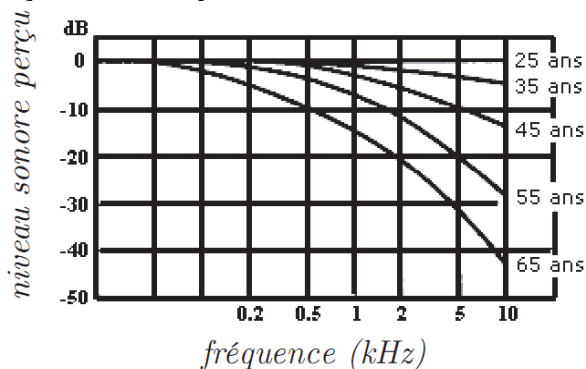
À l'aide du logiciel Regressi (voir notice) et du fichier son fourni, répondre aux deux questions suivantes.

- Le signal d'alerte est-il un son pur ?
- Quelle est sa fréquence ?

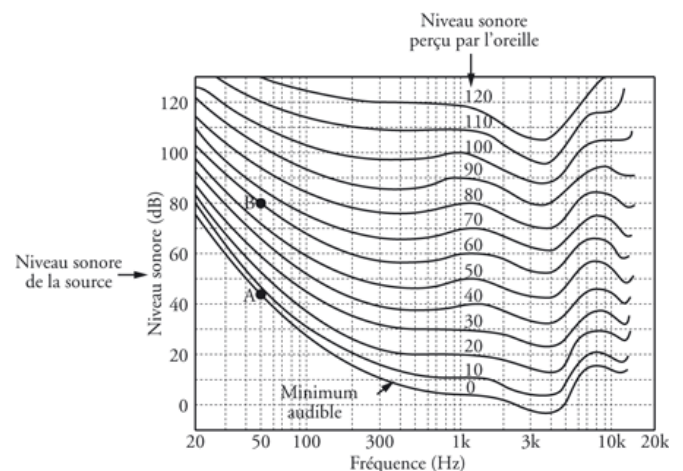
On exposera les démarches et on pourra valider la valeur trouvée pour la fréquence par une recherche en ligne.

Pour aller plus loin...

Le niveau d'intensité sonore dépend de certains paramètres, comme la fréquence du son ou l'âge de la personne qui reçoit le son. En particulier, le seuil d'audibilité à fréquence donnée dépend beaucoup de la personne.



Commentaire : tout le monde entend de la même façon en basses fréquences mais par exemple pour un même son à 2kHz, une oreille de 65 ans entend 20 dB de moins.

**La gamme tempérée, une suite géométrique...**

La gamme tempérée est la gamme connue couramment dans le monde occidental : Do Ré Mi Fa Sol La Si Do....

Rappel : à chaque note correspond une fréquence de la vibration. Avec les dièses et les bémols on a donc 13 fréquences et 12 intervalles (appelés des demi-tons) : voir tableau ci-dessous. Par exemple entre Do et Do# il y a un demi-ton.

Vous devez trouver les fréquences manquantes dans le tableau en utilisant les deux informations suivantes :

- Les fréquences sont en progression géométrique
- La fréquence du Do₄ est le double de celle du Do₃ (on dit qu'on a parcouru une octave, soit 8 notes).

Note	Do ₃	Do#	Ré	Ré#	Mi	Fa	Fa#	Sol	Sol#	La	La#	Si	Do ₄
Fréquence	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄	f ₅	f ₆	f ₇	f ₈	f ₉	f ₁₀	f ₁₁	f ₁₂	f ₁₃
Valeur (en Hz)	261,6	277,2		311,1			370,0		415,3	440,0	466,2		