

Ainsi sont ces sons : explications

Anne-Catherine Quewet et Michel Hyuberecht

1. L'échelle de perroquet

Matériel :

- Des piques à brochette, des petites boules en papier et un élastique large de couture

Manipulations :

- Déséquilibrer une fois l'échelle
- Déséquilibrer de manière répétitive l'échelle

Observations et analyse :

- La perturbation se propage comme une onde tout le long de l'échelle. Il y a transport d'énergie sans transport de matière. Attention, il s'agit ici d'une onde transversale alors que les ondes sonores sont longitudinales.
- Les perturbations peuvent se réfléchir et interagir comme les ondes.



2. Communiquer avec des gobelets

Matériel :

- Deux gobelets en plastique, deux morceaux d'allumettes (ou deux trombones) et un fil en coton

Manipulations :

- Après avoir troué les gobelets, nouer le fil grâce aux trombones, tendre celui-ci et parler doucement dans un gobelet pendant qu'une autre personne écoute dans l'autre.

Observations et analyse :

- L'onde sonore se propage dans le fil solide et tendu. On entend ce que la personne dit alors que sans gobelet, ce ne serait pas possible. Les vibrations se sont propagées dans le fil.



3. Propagation en fonction du milieu

Matériel :

- 2 tubes en PVC coupés en deux longitudinalement.
- Une dizaine de billes

Manipulations :

- Disposer des billes à 5 cm l'une de l'autre dans le tube sur la table
- Incliner le 2^{ème} tube et l'utiliser pour libérer une bille qui percutera la suite de billes du tube horizontal
- Recommencer avec des billes espacées de 1 cm

Observations et analyse :

- On observe que la vitesse de propagation est plus élevée lorsque les billes sont rapprochées.
- Cela explique que la vitesse du son augmente avec la densité du milieu dans lequel il se propage.

<https://www.edumedia-sciences.com/fr/media/572>

4. Vitesse du son dans l'air (Phyphox)

Matériel :

- 2 smartphones avec l'application Phyphox
- Un décimètre

Manipulations :

- Disposer 2 personnes, chacune avec un smartphone, en mode chronomètre acoustique à une distance connue l'un de l'autre
- Démarrer les chronomètres dans le silence absolu
- La première personne (GSM A) frappe dans les mains puis la seconde personne frappe à son tour (GSM B)
- Calculer la différence de temps entre les 2 chronomètres.

Observations et analyse :

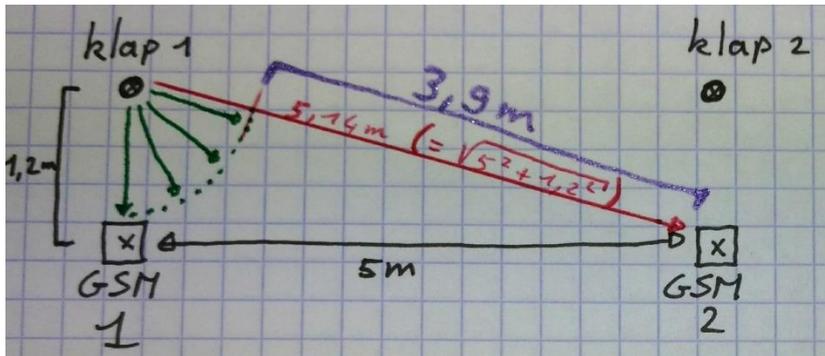
- Le premier chronomètre (GSM A) démarre directement et le 2^{ème} (GSM B) avec un décalage lié au temps nécessaire pour l'onde sonore d'y arriver.
- Au second claquement de main, le GSM B s'arrête alors que le GSM A s'arrête un peu après, le temps que le son lui arrive.
- La différence de temps entre les 2 GSM correspond au temps mis par le son pour faire 2 fois la distance qui sépare les GSM
- Calcule $v = 2d/t = 2 * 10 / 0,06 \approx 340 \text{ m/s}$

Remarque

Pour obtenir de bons résultats, il faut que la source du bruit soit près du smartphone.

Par exemple, on pose les smartphones sur une table et on laisse tomber une bille juste à côté du smartphone sur les tables.

Ou alors, on doit tenir compte de la distance parcourue par le son entre les mains et le smartphone. (voir schéma, par ex 1,2 m)



Le son parcourt d'abord une distance de 1,2 m dans toutes les directions.

Entre « klap1 et GSM 2 », le son parcourt d'abord 1,2 m et il ne faut donc considérer que le reste de la distance soit 3,9 m.

5. Une histoire de fréquence...et de résonance !

Matériel :

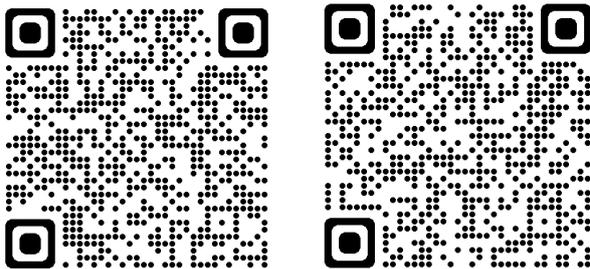
- 2 diapasons de 440 Hz + balle de ping-pong + statif/ pince/noix
- Un haut-parleur pour générer une fréquence + smartphone

Manipulations :

- Frapper un diapason 440 Hz placé à côté d'un 2ème diapason de 440 Hz puis le tenir pour l'arrêter
- Placer la balle de ping-pong tout juste contre une des lames du diapason 440 Hz puis utiliser un smartphone pour émettre un son à proximité de la caisse de résonance, tester plusieurs fréquences dont celle de 440Hz. (attendre quelques secondes à chaque fois)

Observations et analyse :

- Le 2^{ème} diapason (de même fréquence) s'est mis à vibrer par résonance mais uniquement parce que les fréquences sont identiques
- Lorsque la fréquence est de 440 Hz, la balle se met à osciller de plus en plus fort.
- La longueur de la caisse de résonance des diapasons n'est pas choisie au hasard. Elle vaut le quart de la longueur d'onde du son produit afin de correspondre à la longueur du mode fondamental et ainsi, d'augmenter l'intensité du son émis.



[Diapason — Wikipédia \(wikipedia.org\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Diapason)

<https://www.youtube.com/watch?v=rYrdiQckGhw&feature=share&si=ELPmzJkDCLju2KnD5oyZMQ>

https://www.youtube.com/watch?v=3UiMNrir_M4 (test fréquence)

6. Un concert avec des tubes

Matériel :

- Des tuyaux de PVC (diamètre 2cm) coupés à la bonne longueur en fonction des notes qu'on souhaite jouer

Manipulation :

- Frapper un bout du tuyau avec la paume de la main
- Se coordonner avec un grand nombre de personnes qui ont des tuyaux de longueurs différentes

Observation :

- La note jouée dépend de la longueur du tube.

Longueur (cm)	Ton	Fréquence (Hz)	Note
23,60	F	349	Fa
21,00	G	392	Sol
18,7	A	440	La
16,6	B	494	Si
15,80	C	523	Do
14,0	D	587	Ré
12,5	E	659	Mi

Voici un exemple avec des notes en do majeur. Les musiciens ne manqueront pas de trouver les longueurs pour d'autres tonalités (ou des notes plus aiguës ou plus graves) grâce à la formule suivante.

Il s'agit d'un tube fermé, la fréquence fondamentale du tube correspond à un quart de la longueur d'onde.

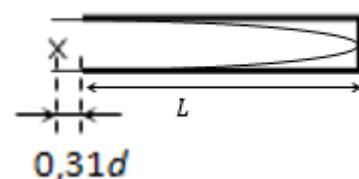
Par exemple, pour un « la » de fréquence 440 Hz :

$$\lambda = c/f = 340/440 = 0,773 \text{ m} \rightarrow L' = \lambda/4 = 0,193 \text{ m}$$

On applique une correction car le mode stationnaire s'établit un peu en dehors du tube et cette correction dépend du diamètre du tube.

$$L = L' - (0,31 \cdot 2 \cdot 10^{-2}) = 0,187 \text{ m} \rightarrow 18,7 \text{ cm}$$

ventre



7. Ondes stationnaires dans une corde

Matériel :

- Un mousser de lait - une cordelette de lavabo (ou fil)
- Haut-parleur - ampliop - générateur de son sur smartphone, LED, programmation sur Arduino- une poulie - des petites masses - un filin fluo - système de fixation

Manipulation :

- Allumer le mousser en tenant la cordelette vers le bas - changer la tension dans la cordelette et essayer d'obtenir différents modes stationnaires
- Sur le générateur, augmenter progressivement l'intensité (= amplitude de vibration) puis changer la fréquence pour obtenir différents modes stationnaires

Observation :

La cordelette (ou la corde) a une certaine fréquence de résonance dite fréquence propre. Quand on fixe une extrémité d'une corde et que l'autre vibre à la fréquence propre de la corde ou à un multiple de cette fréquence, on observe un mode stationnaire. L'onde ne semble plus se propager et la corde présente des ventres de vibration et des nœuds.

Les ondes se réfléchissent sur l'extrémité fixe en s'inversant. La corde est alors traversée par une onde incidente qui se superpose à une onde réfléchie. Si le temps que met l'onde pour effectuer un aller-retour dans la corde est un multiple entier de la période de la source qui crée l'onde, les impulsions se superposent en phase et le système entre en résonance. L'amplitude de vibration de la source étant bien moindre que l'amplitude d'un point de la corde sur un ventre de vibration, la source est assimilée à un point fixe. Les deux extrémités sont donc fixes ; ces conditions aux limites imposent des contraintes sur les valeurs de fréquence (ou de longueur d'onde) pour lesquelles un mode de résonance est possible. Il faut en effet que :

$$L = n \frac{\lambda}{2}$$

avec L la longueur de la corde et n un entier.

Si on augmente la fréquence pour avoir des longueurs d'onde plus courtes, on observera davantage de ventres et de nœuds. Étant donné que $c = \lambda f$, on en déduit que :

$$f_n = n \frac{c}{2L} = n f_1$$

f_1 est la fréquence du mode fondamental pour laquelle on observe un seul fuseau sur la corde.

Les valeurs de f_n correspondent aux fréquences des modes harmoniques avec 2, 3, ... n fuseaux.

En faisant varier la masse suspendue, on fait varier la tension dans la corde :

$$c = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

Si on s'intéresse au mode fondamental, lorsque la masse suspendue augmente, la célérité de l'onde augmente et la fréquence propre également puisque la longueur d'onde est fixée :

$$\lambda_1 = 2L.$$

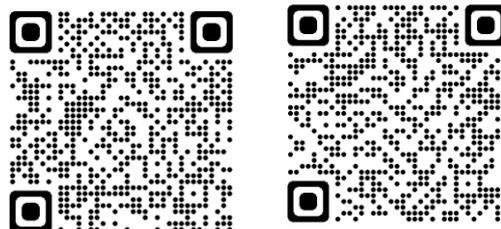
C'est exactement ce qu'il se passe dans les instruments à cordes quand on les accorde. Dans ce cas, la longueur de corde qui vibre à vide est fixée par la géométrie de l'instrument et ajuster la tension permet d'ajuster la fréquence fondamentale qui est responsable de la hauteur de la note jouée

De même, pour une tension donnée, si on diminue la longueur de la corde, on augmente la fréquence fondamentale puisque la longueur d'onde diminue ($\lambda_1 = 2L$) et que la célérité (c) reste constante.

C'est encore ce qui entre en jeu dans les instruments de musique à cordes : quand, en jouant un morceau, on réduit la longueur de corde (en appuyant sur le manche de la guitare ou en sélectionnant une corde de longueur différente avec une touche différente sur le clavier d'un piano), on joue une note plus haute.

[Copie de Ondes stationnaires – GeoGebra](#)

[Stroboscopie \(unilim.fr\)](#)



8. Ondes stationnaires circulaires

Matériel :

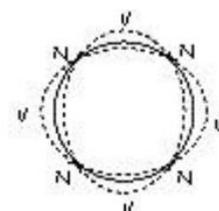
- Une tasse avec anse (une cruche) - une cuillère - un oscilloscope ou smartphone avec Phyphox pour faire une analyse de Fourier (ou avoir l'oreille musicale) -

Manipulation :

- Frapper l'extérieur de la tasse en décalant de 45°

Observation :

- L'onde stationnaire produite par le choc de la cuillère consiste en 4 ventres et nœuds. Si l'anse se trouve sur un ventre, la fréquence de résonance est plus basse que si l'anse est sur un nœud parce que la masse vibrante est plus grande.



9. Mode stationnaire dans l'air emprisonné au-dessus d'une colonne d'eau pour mesurer la vitesse du son

Matériel :

- Un tube en verre - un générateur de fréquence (smartphone) - de l'eau - une latte

Manipulation :

- Remplir le tube en verre d'eau puis le vider progressivement- générer une fréquence de 1200Hz repérer les endroits où le son est le plus intense... mesurer la distance entre 2 maximums sonores.

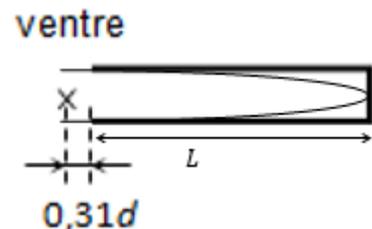
Observation et analyse :

- En modifiant le niveau d'eau, on change la hauteur de la colonne d'air qui vibre.
- On retrouve à intervalles réguliers des maximums sonores (interférences constructives) et des minimums (interférences destructives).
- La distance entre 2 max ou 2 min correspond à $\frac{1}{2} \lambda$. La surface supérieure de la colonne d'eau correspond à un nœud (extrémité fixe), tandis que l'ouverture du tube correspond à un ventre (extrémité libre).

$$(\lambda = 340/1200 = 0,283 \text{ m} ; \lambda/2 = 14,15\text{cm})$$

- On retrouve la vitesse du son avec la relation simple suivante : $v = \lambda \cdot f$
- Rmq : Pour plus de précision dans les calculs, il faut aussi faire une correction de longueur pour tenir compte du fait que, le ventre de vibration à l'extrémité ouverte ne se forme pas exactement au bord du tuyau, mais un peu au-delà. Ainsi, la longueur à utiliser dans les calculs n'est pas la longueur L de la colonne d'air, mais une longueur effective (L') un peu plus grande donnée par :

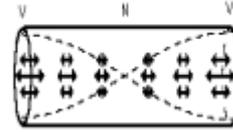
$$L' = L + 0,31 \cdot d \text{ où } d \text{ est le diamètre du tuyau.}$$



10. Tubes siffants

Matériel :

- Un tuyau flexible

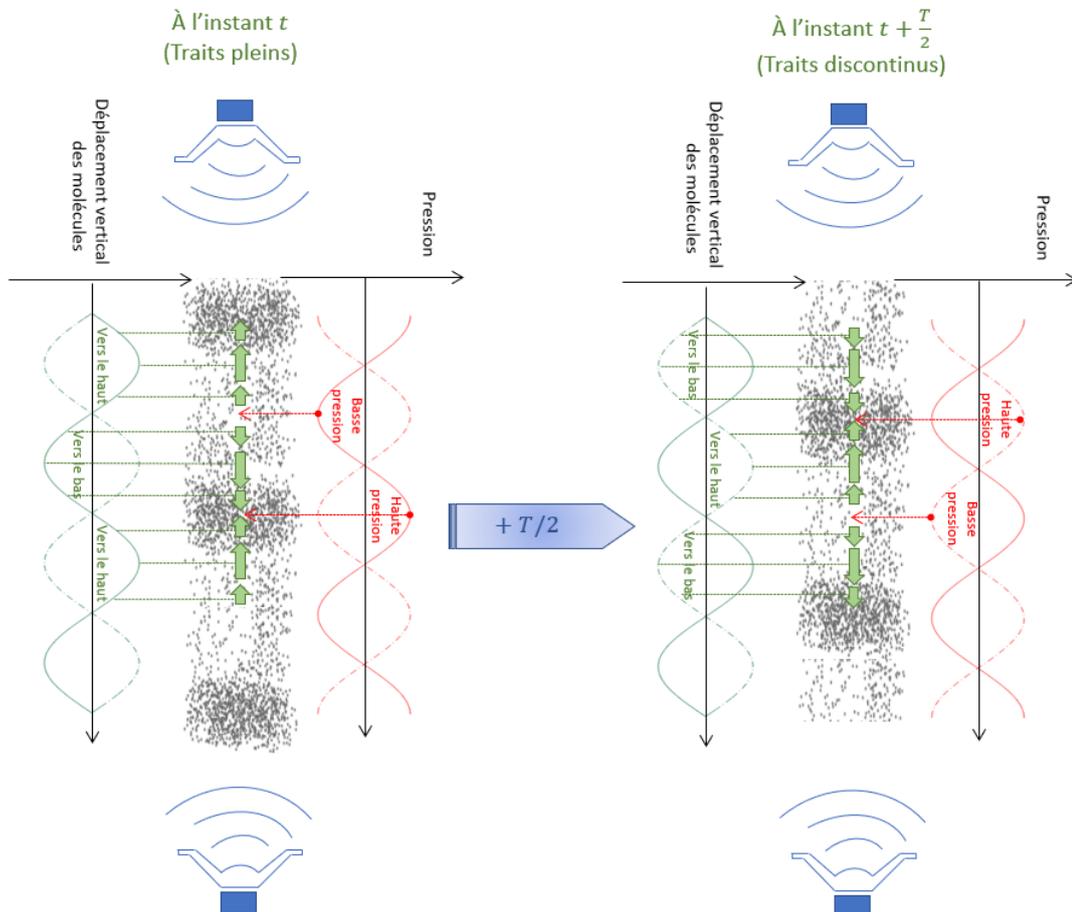


Manipulation :

- Faire tourner lentement puis de plus en plus vite le tube.

Observation :

- La vitesse à l'extrémité du tube entraîne une baisse de pression qui fait entrer l'air dans le tube. A vitesse faible, on produit la note fondamentale du tube. En augmentant la vitesse, on peut produire jusqu'à 7 harmoniques, correspondant à une gamme en musique.



<https://youtu.be/cgfcR8ctW7c>



11. Ondes stationnaires sur une plaque- Chladni

Matériel :

- Plaques de Chladni - générateur de fréquence sur smartphone- ampliop - HP -sable fin

Manipulation :

- Saupoudrer du sable sur la plaque fixée au HP et générer différentes fréquences

Observation :

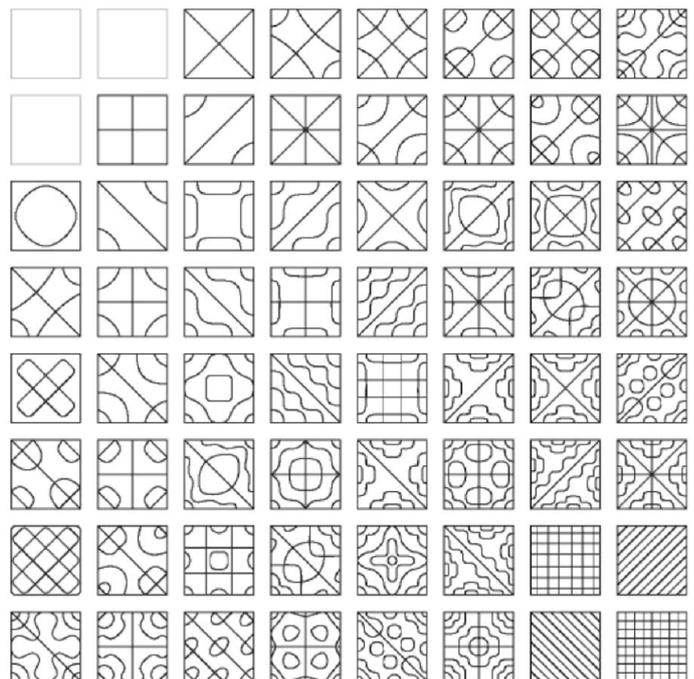
- Le générateur permet de faire différentes figures suivant la fréquence produite et selon la plaque.

<https://youtu.be/6kLmlbkWJZ8>

<https://youtu.be/1yaqUI4b974a>

<https://youtu.be/DJW32Zc8cvQ>

<https://youtu.be/VsXRJPTxO9U>



12. Figures de Lissajous avec les ondes sonores

Matériel :

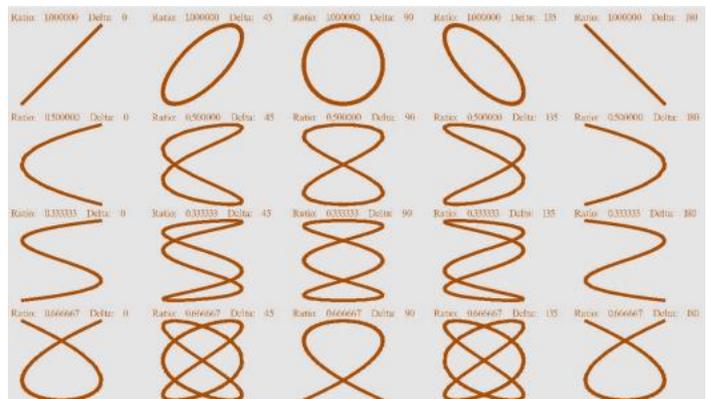
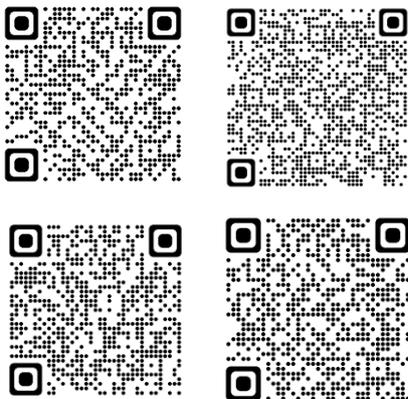
- Diapason très basse fréquence avec miroir + marteau + laser + statif, noix et pince
- Un récipient - une petite enceinte Bluetooth- un ballon de baudruche- des petits morceaux de miroirs - un laser et son système de fixation - un smartphone

Manipulation :

- Frapper le diapason et observer la trajectoire de la lumière du laser au plafond
- Placer l'enceinte dans le récipient, le ballon sur le verre et le laser vers un miroir - générer des fréquences simples (220 - 245 - 262 - 294 - 330 - 349 - 392- ...) puis doubles (quintes pures : 440 et 293,66 ; 293,66 et 329,63 ; 146,83 et 196 ; 220 et 294 ; 220 et 330 ;...) - éventuellement mettre de la musique (Ave Maria - Pavarotti , Someone like you - Adele, The show must go on - Queen , Tu es mon autre - Lara Fabian/ Maurane,...)

Observations :

- On observe la vibration du diapason grâce à la lumière qui se réfléchit sur le miroir. Cela va former une ligne (aller-retour) au plafond.
- En utilisant la surface du ballon, les ondes sonores vont interférer sur deux dimensions et en produisant un son, on obtient des figures de Lissajous simples. En faisant varier les rapports de fréquences de 2 vibrations (idéalement des sons qui forment une quinte pure) ainsi que les déphasages entre elles et en fonction de l'endroit où est placé le miroir sur la membrane, on voit apparaître des figures de Lissajous complexes. En faisant varier légèrement les fréquences, celles-ci se mettent à bouger, semblent tourner sur elles-mêmes... dans un sens puis dans l'autre si on diminue puis augmente une des deux fréquences.
- En sélectionnant 2 fréquences proches, on peut également voir un phénomène de battement.



<https://www.geogebra.org/m/vRA9prdc>