

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

Matériel :

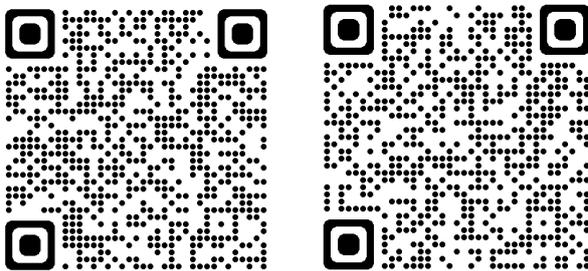
- 2 diapasons de 440 Hz + petite masse + balle de ping-pong + statif/ pince/noix
- Un haut-parleur pour générer une fréquence + smartphone

Manipulations :

- Frapper un diapason 440 Hz placé à côté d'un 2^{ème} diapason de 440 Hz puis le tenir pour l'arrêter - refaire la même chose en lestant une lame du 2^{ème} diapason
- 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 - en ajoutant une petite masse, la fréquence est modifiée, il n'y a plus de résonance.
- 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>

2. Le battement

Matériel :

- 2 diapasons de fréquences légèrement différentes + marteau
- Flûtes
- Smartphone avec générateur de fréquence

Manipulations :

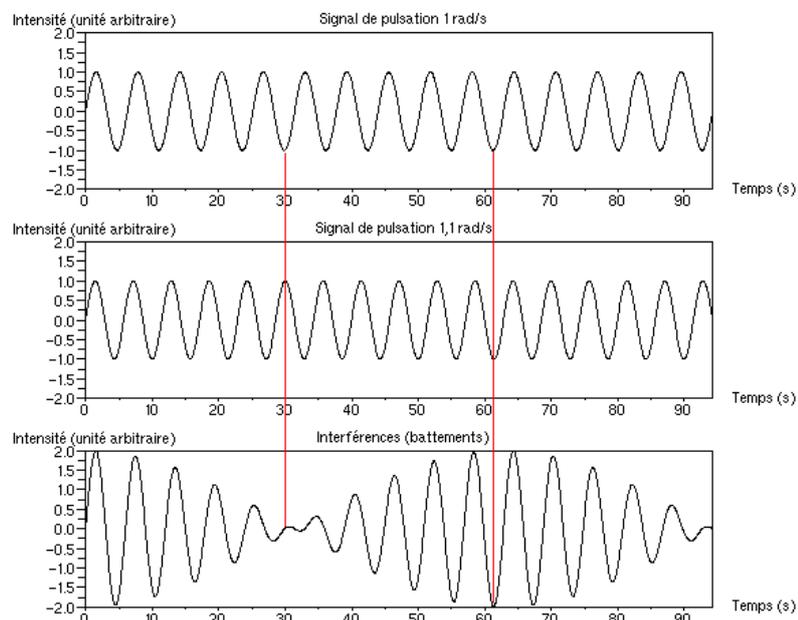
- Frapper l'un après l'autre les diapasons, écouter
- Jouer la même note sur les 2 flûtes (malheureusement mal accordées)
- Utiliser le générateur de fréquence sur smartphone pour générer 2 fréquences plus ou moins proches (Par exemple : 200 Hz et 201 puis 205 puis 200,5 Hz)
- Utiliser un smartphone pour analyser le son produit à chaque fois (phyphox)

Observations et analyse :

- On n'entend rien de particulier lorsque les diapasons sont accordés. On entend parfaitement le battement lorsqu'une lame est alourdie par une petite masse (miroir) car cela diminue légèrement la fréquence du son produit.
- Le battement permet aux musiciens de savoir que les fréquences sont proches et donc l'instrument presque accordé sur la fréquence de référence. Plus la fréquence du battement diminue, plus les sons sont de fréquences proches et plus l'accord est proche.
- L'application permet de changer la fréquence du battement (entre 0,5 et 5 Hz). Plus les fréquences sont proches, plus le battement sera lent. On entend une note modulée par un trémolo de fréquence égale à la différence entre les fréquences des sons produits.

[🔍 Battement - Définition et Explications \(techno-science.net\)](#)

<https://www.canal-u.tv/chaines/univ-bordeaux/les-smartphones/16-les-smartphones-phenomene-de-battement>



3. Calculer la vitesse du son

Matériel :

- Émetteurs et récepteurs US - alimentation - oscilloscope

Manipulation :

- Placer sur le rail 2 émetteurs côte à côte et un récepteur - utiliser l'oscilloscope pour voir quand les ondes sonores émises interfèrent constructivement- décaler progressivement l'un des émetteurs jusqu'à avoir de nouveau une interférence constructive
- Vérifier la vitesse du son dans l'air

Observation :

- Le décalage des émetteurs correspond à une longueur d'onde.

$$v = \lambda . f$$

4. La réflexion

Matériel :

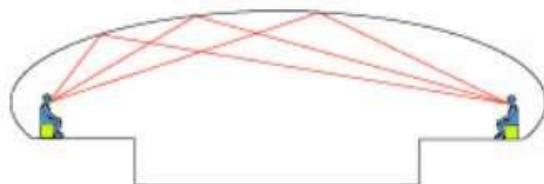
- Émetteurs et récepteurs US - alimentation - oscilloscope - une plaque

Manipulation :

- Placer un émetteur et un récepteur à 90° l'un par rapport à l'autre - utiliser l'oscilloscope et observer avec et sans la plaque

Observation :

- Quand la plaque est bien placée, on voit que la loi de la réflexion s'applique , l'oscilloscope reçoit très bien l'onde sonore.
- Le plafond de certaines stations de métro de forme elliptique permet de se parler aisément d'un quai à l'autre grâce à la réflexion des ondes sonores.



5. Ondes stationnaires dans une corde

Matériel :

- Un mousseur de lait - une cordelette de lavabo (ou fil)
- Vibreur de Melde, générateur TBF, (LED et stroboscope)- une poulie - des petites masses - un filin fluo - statif/noix

Manipulation :

- Allumer le mousseur 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 la tension (= 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 réfléchi. 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 :

$$\lambda_1 = 2L.$$

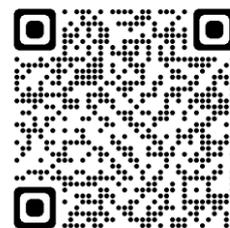
C'est exactement ce qu'il se passe dans les instruments à cordes quand on les accorde. Dans ce cas, la longueur de corde qui vibre à vide est fixée par la géométrie de l'instrument et ajuster la tension permet d'ajuster la fréquence fondamentale qui est responsable de la hauteur de la note jouée

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.

[Ondes stationnaires – GeoGebra](#)

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



6. Lévitation acoustique grâce aux ondes stationnaires (Vu à Prague)

Matériel :

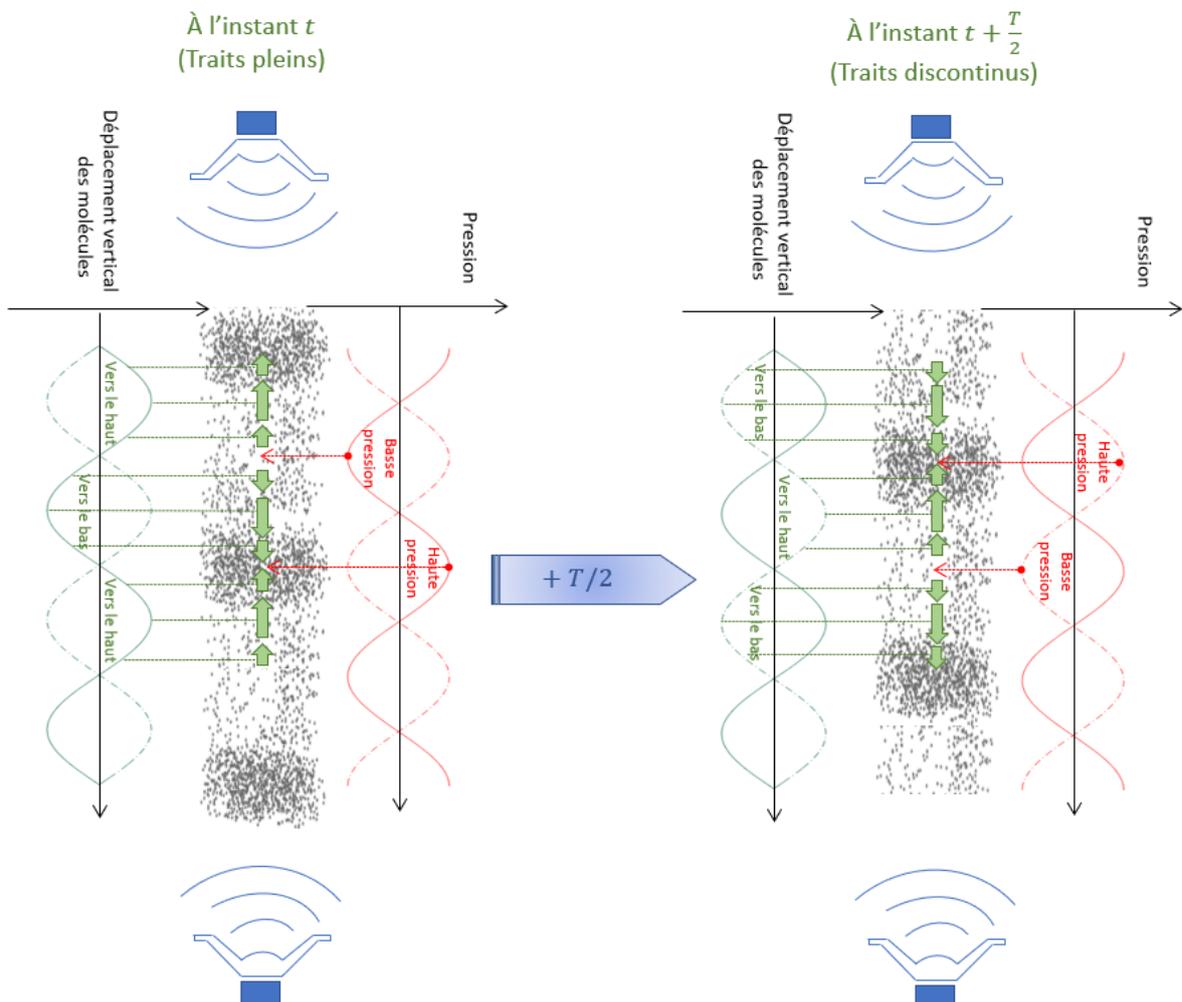
- Un lévitateur Arduino
- Des boules de frigolite

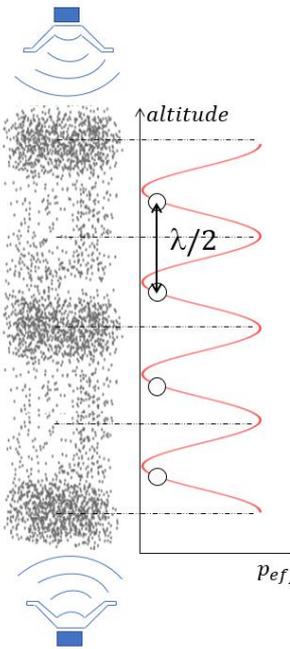
Manipulation :

- Alimenter le système et utiliser la « cuillère » pour faire léviter les boules de frigolite entre les 2 émetteurs US
- Défi : retrouver la fréquence des émetteurs US !

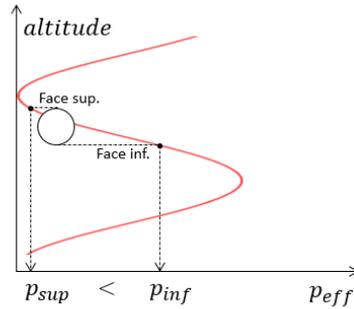
Observation :

- Si la distance entre les 2 émetteurs correspond à un multiple de $\frac{1}{2}$ longueur d'onde, les ondes interfèrent de façon constructive donnant des régions de **haute pression** appelées **nœuds de vibration** et des régions de **basse pression** appelées **ventres de vibration**.

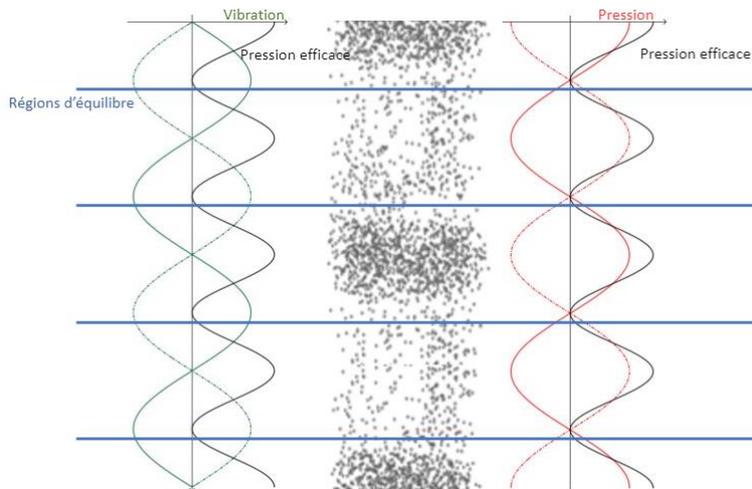
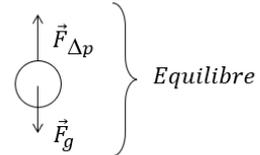




- La lévitation est uniquement possible dans les zones où la pression efficace diminue rapidement avec l'altitude. (remarque : les boules de polystyrène ne sont pas sensibles aux variations de pression rapides, mais uniquement à la pression « moyenne ».)



Etude des forces



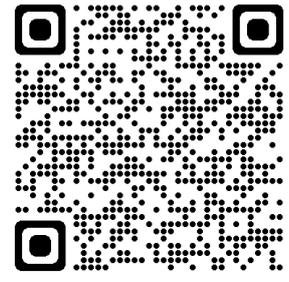
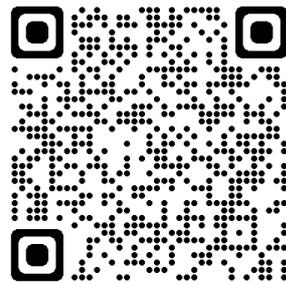
- La fréquence des émetteurs est en réalité de 40 kHz, la distance entre deux boules devrait être de 4,25 mm.

Lévitation acoustique en 3D :

<https://youtu.be/odJxJRAxdFU>

Observer les ventres et les nœuds par effet Schlieren :

<https://youtu.be/XpNbyfxkWE>



7. Tube de Kundt

Matériel :

- Un tube en plexi (ou une bouteille de coca) - de la frigolite - un entonnoir - un générateur de fréquence + ampli - un HP

Manipulation :

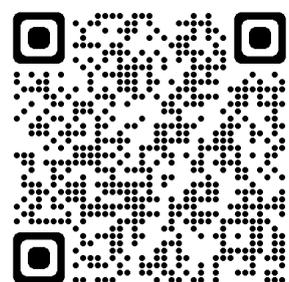
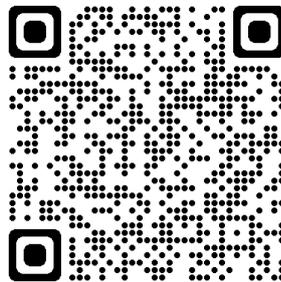
- Placer contre le HP l'entonnoir connecté au tube préalablement rempli de boules de frigolites
- Générer différentes fréquences jusqu'à obtenir des modes stationnaires

Observation :

- Les nœuds et les ventres sont faciles à observer lorsqu'on est sur un mode stationnaire.
- Le tube étant fermé, pour le mode fondamental, $L = \frac{\lambda_0}{4} \Rightarrow f_0 = \frac{c}{4L}$
- Pour les harmoniques de rang n , $L = (2n + 1) \frac{\lambda_n}{4} \Rightarrow f_n = (2n + 1) \frac{c}{4L}$

https://youtu.be/f_xJwcVmU6A

<https://youtu.be/RRxPJvIBGxM>



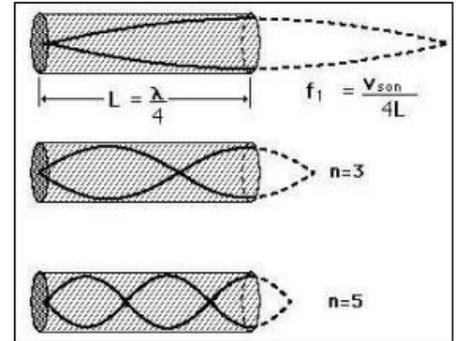
8. Mode stationnaire dans l'air emprisonné au-dessus d'une colonne d'eau pour mesurer la vitesse du son

Matériel :

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

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.

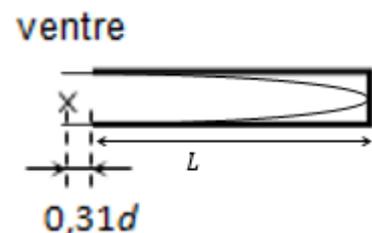


Observation et analyse :

- 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).

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

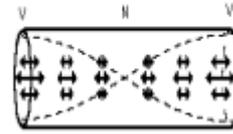
- On retrouve la vitesse du son avec la relation simple suivante : $v = \lambda \cdot f$
- Rmq : Pour plus de précision dans les calculs, il faut faire une correction de longueur pour tenir compte du fait que, le ventre de vibration à l'extrémité ouverte ne se forme pas exactement au bord du tuyau, mais un peu au-delà (voir schéma ci-dessous). 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 : $L' = L + 0,31 \cdot d$ où d est le diamètre du tuyau.



9. Tubes siffants

Matériel :

- Un tuyau flexible

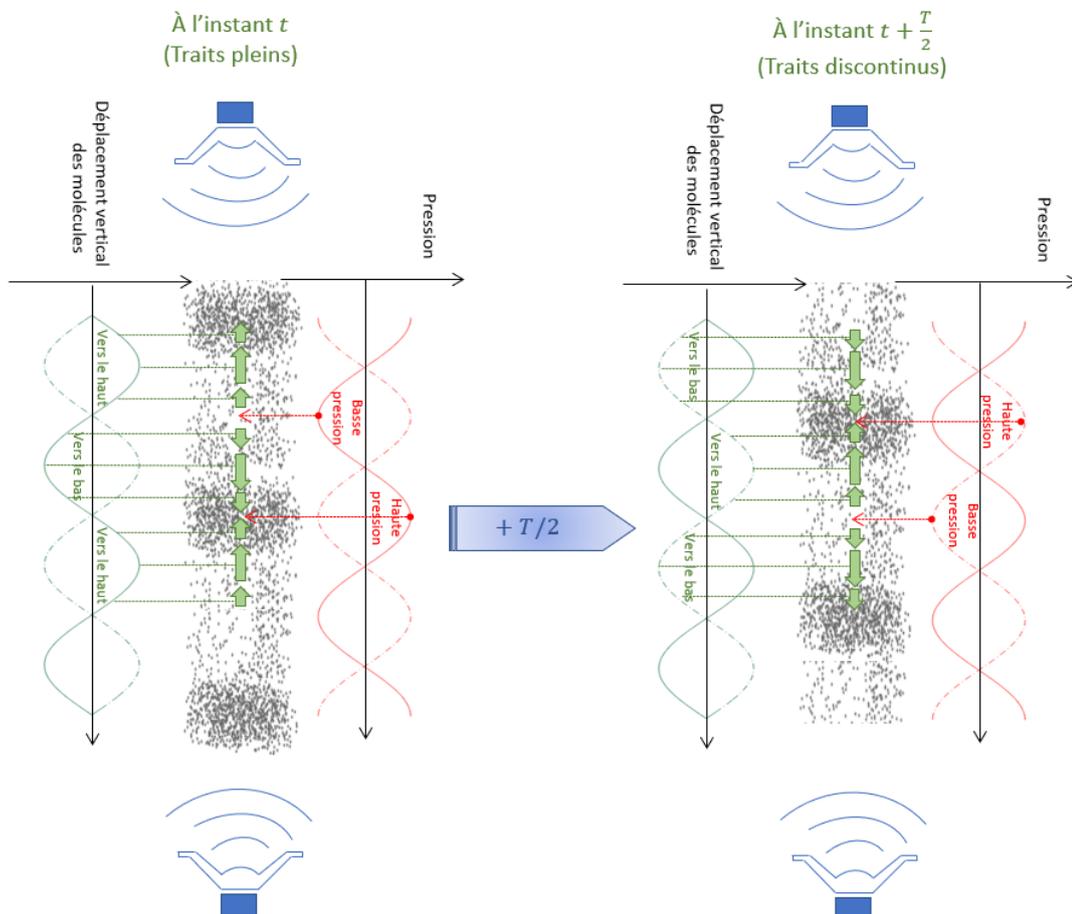


Manipulation :

- 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>



10. Ondes stationnaires circulaires

Matériel :

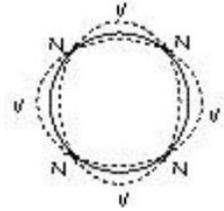
- Une tasse avec anse - une cuillère - un oscilloscope ou smartphone avec Phyphox pour faire une analyse de Fourier (ou avoir l'oreille musicale)

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.



11. Ondes stationnaires sur une plaque- Chladni

Matériel :

- Plaques de Chladni - archet- sable
- Plaques de Chladni - générateur de fréquence - HP -sable fin

Manipulation :

- Saupoudrer du sable sur la plaque puis générer un son d'une certaine fréquence en frottant l'archet d'abord au centre d'un côté de la plaque - placer son doigt au centre et l'archet au $\frac{1}{4}$ de la longueur sur la plaque -...
- Saupoudrer du sable sur la plaque fixée au HP et générer différentes fréquences (à essayer : 176 Hz, 264 Hz, 352 Hz, 704 Hz)

Observation :

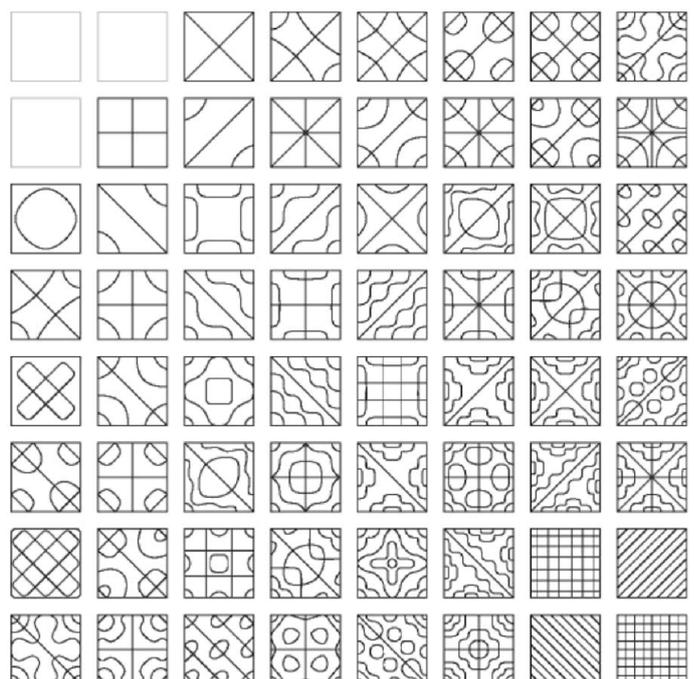
- En modifiant les zones de vibrations avec l'archet, on modifie les ventres et les nœuds sur la plaque et on produit des figures de Chladni (différentes en fonction des fréquences, de la forme et de l'épaisseur de la plaque)
- Le générateur permet de faire différentes figures suivant la fréquence produite 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 :

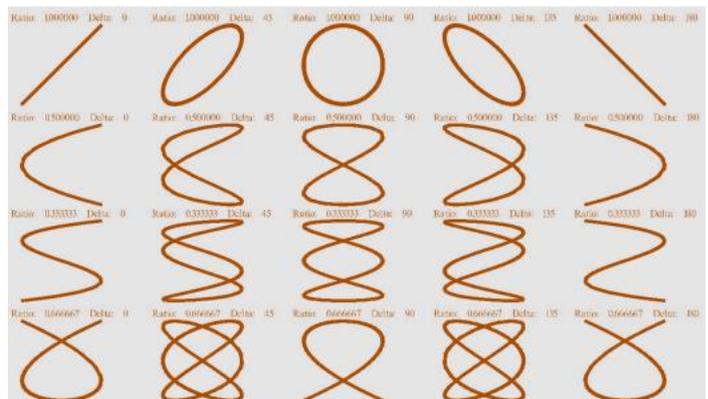
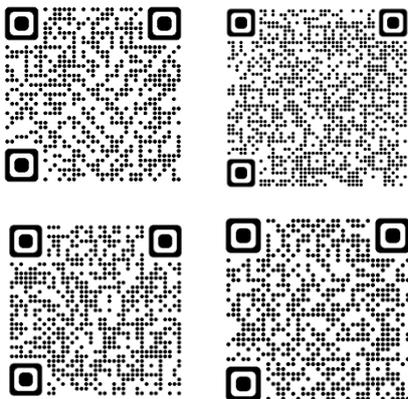
- Diapason très basse fréquence avec miroir + marteau + laser + statif, noix et pince
- Un récipient - une petite enceinte Bluetooth- un ballon de baudruche- des petits morceaux de miroirs - un laser et son système de fixation - un smartphone

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.



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

[Lissajous Figure - Definition, Uses, Measurements and FAQs \(vedantu.com\)](#)

[Pcaldidophone-general-1.pdf \(amismuseehoche.fr\)](#)

[Courbe de Lissajous — Wikipédia \(wikipedia.org\)](#)

13. Tuyau PVC « trombone » pour interférences

Matériel :

- Tuyau en PVC - générateur de fréquence - (oscilloscope ou micro + Audacity et PC)

Manipulation :

- Générer une fréquence ($f = 800$ Hz par exemple) d'un côté et écouter de l'autre
- Faire varier la longueur du tuyau d'un côté
- Repérer les maximums et minimums et tenter de retrouver la longueur d'onde (deux fois la distance entre deux minimums ou deux maximums)

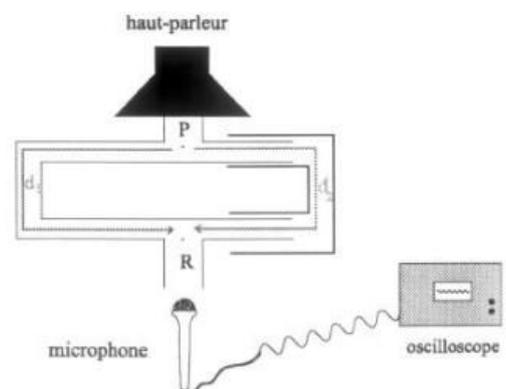
Observations :

- Si la différence de chemin parcouru (appelée différence de marche) est nulle ou égale à un multiple de longueur d'onde, les 2 ondes atteignent en même temps le récepteur et produisent une interférence constructive (maximum d'intensité sonore)
- Si, au contraire, la différence de marche équivaut à une demi longueur d'onde, cela donne lieu à une interférence destructive (« aucun » son)
- Si la fréquence émise est de 800 Hz, la longueur d'onde sera d'environ 0,425 m.

$$\lambda \cong 340/800 = 0,425 \text{ m}$$

- La distance entre deux maximums sera donc environ de 21,25 cm (attention, le tube s'allonge des 2 côtés)

Cordes et tubes : des outils d'analyse pour l'acoustique (T. Castermans, P. Gillis, S. Melin, UMH)



14. Effet Doppler

Matériel :

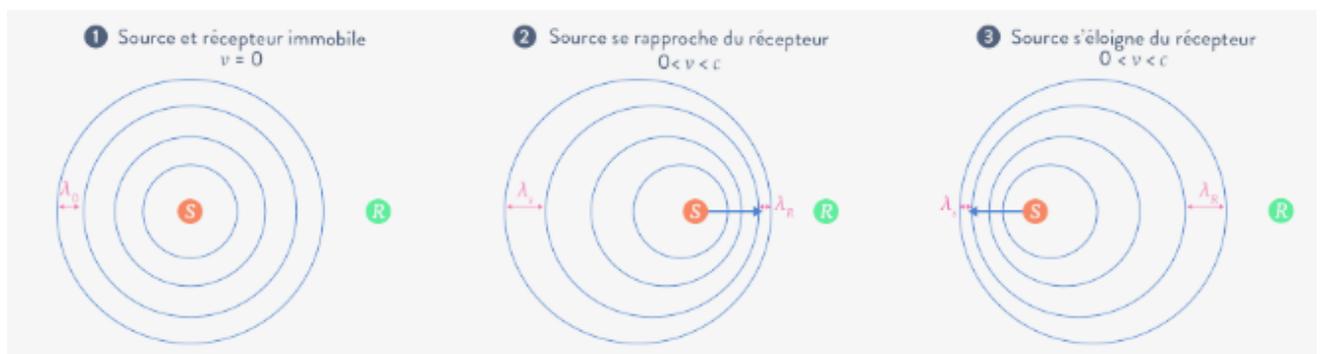
- Une boîte contenant un buzzer (placé dessus) alimenté par une pile 9V (dedans) + interrupteur à l'extérieur - du fil - un statif- smartphone et appli Phyphox

Manipulation :

- Faire tourner la boîte (faire des cercles en tenant le fil à la main)
- Suspendre la boîte et placer le smartphone dans la direction du balancement- entrer la fréquence de référence dans l'application et la plage de fréquence autour de celle-ci.

Observation :

- On entend la fréquence du son varier légèrement (plus aigu quand il s'approche, plus grave quand il s'éloigne)
- Observer sur l'appli les variations de fréquences et la vitesse relative de la source sonore



$$f' = \left(\frac{v + v_o}{v - v_s} \right) f$$

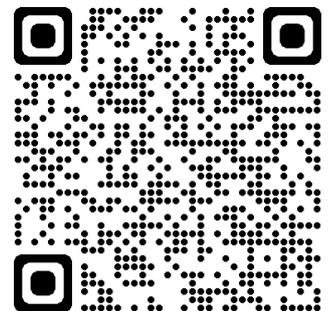
f' est la fréquence perçue par l'observateur

f est la fréquence émise par la source

v est la vitesse du son dans l'air

v_o est la vitesse de l'observateur

v_s est la vitesse de la source



[L'effet Doppler: cours de Tle - Physique-chimie \(schoolmouv.fr\)](http://schoolmouv.fr)

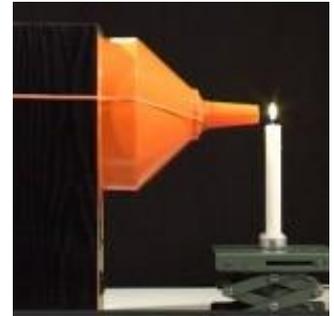
15. Extincteur au son

Matériel :

- Un HP amplifié - un entonnoir adapté - une bougie -des allumettes

Manipulation :

- Allumer la bougie et la placer devant le HP juste devant l'entonnoir
- Générer une fréquence relativement basse (40 - 80 Hz)
- Essayer avec Greenday ou la musique classique de faire danser la flamme !



Observation :

- Il est très facile d'éteindre la flamme de la bougie
- On voit la flamme de la bougie vaciller sous l'effet des variations de pression de l'air (compression - dilatation) provoquées par la propagation des sons.
- Cela met en évidence l'aspect longitudinal des ondes sonores.



La puissance du son n'est plus à démontrer. Un être vivant s'en sert d'ailleurs pour se nourrir. En effet, la crevette-pistolet possède une pince de grande taille qu'elle fait claquer produisant un son très bruyant (220 dB) afin d'étourdir voire de tuer ses proies. La fermeture extrêmement rapide de la pince conduit à l'émission d'un jet d'eau à grande vitesse, créant une différence de pression à l'origine d'une bulle qui implose (la température de l'eau peut dépasser des températures de 4000 °C à cet endroit).

<https://youtu.be/SFmw-ulzmms>

