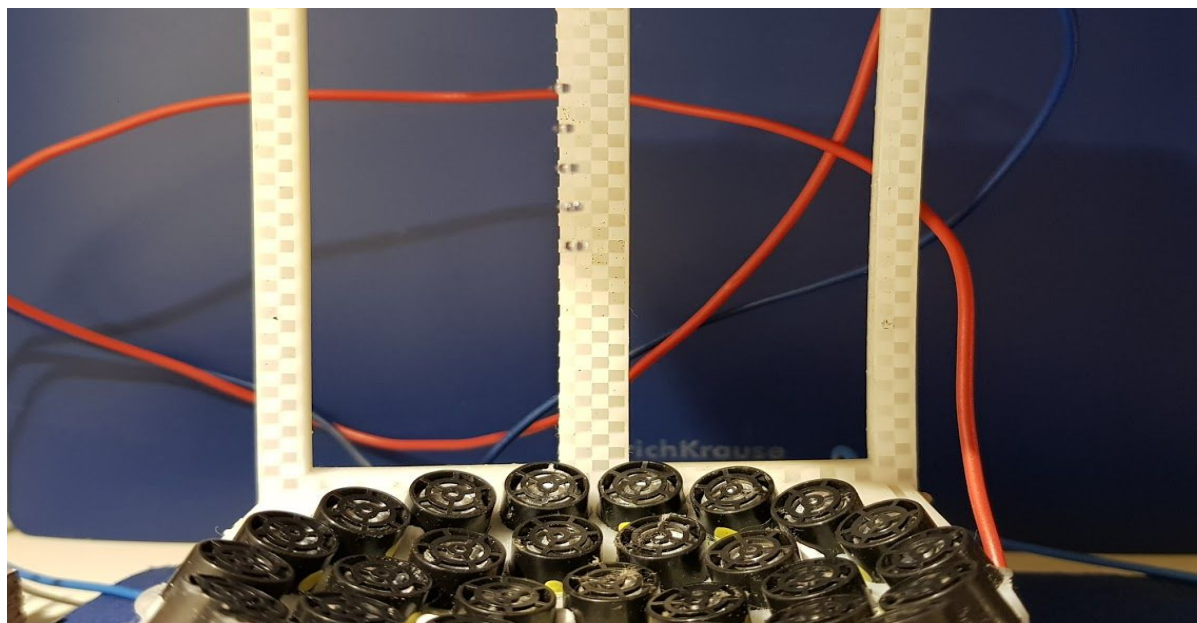
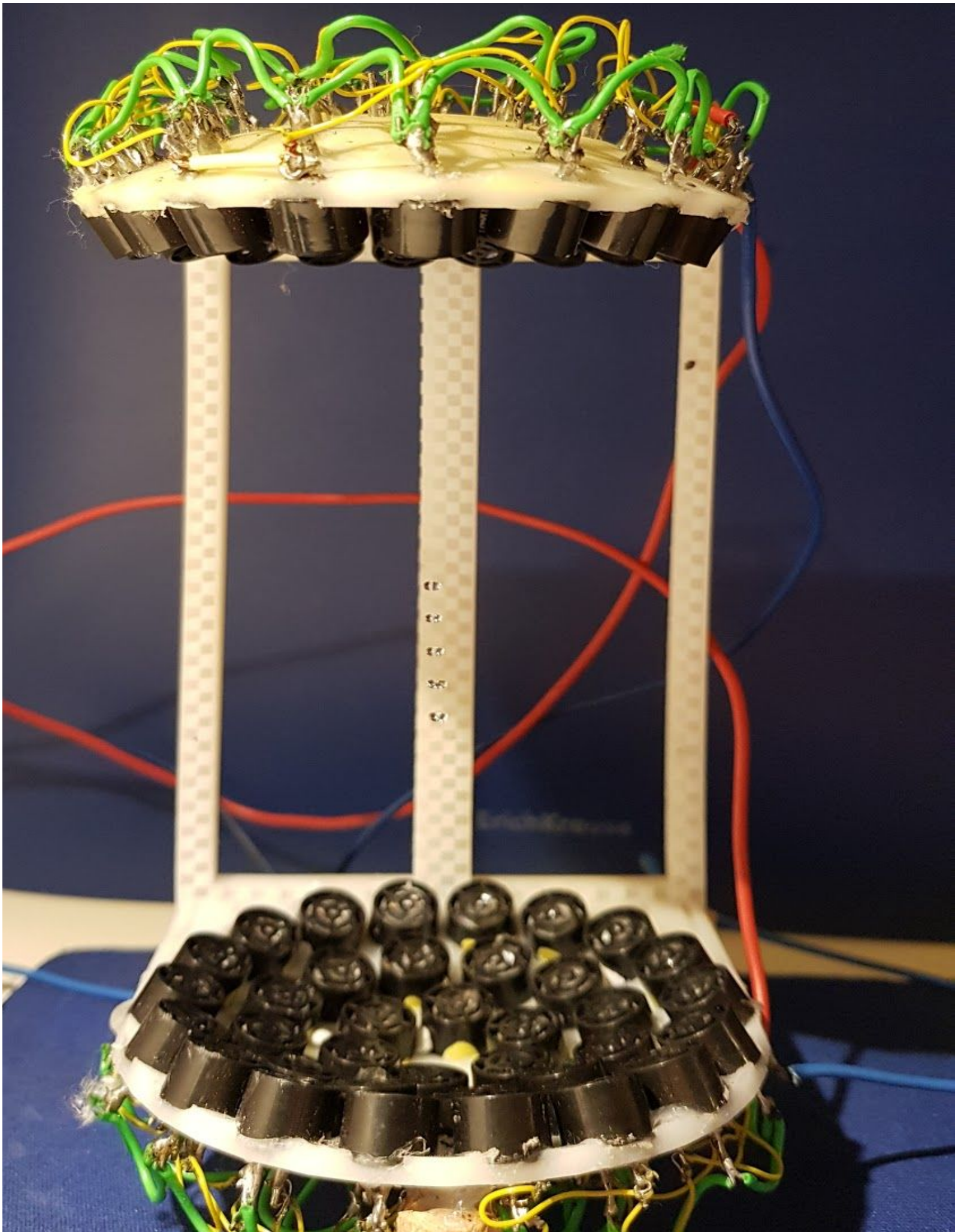


Olympiades de Physiques
2019/2020

MINI-LEV

ABSMANN Alexander, CALIC Filip, CERANIC Ljubomir et COVIC Danilo





Bonjour, nous sommes des élèves de l'école française de Belgrade en dernière année de lycée. On est dans la filière scientifique, et nous sommes particulièrement intéressés par la physique. Sur ce projet, on a collaboré avec l'Institut de physique de Belgrade. Ils nous ont donné des idées de projets, dont on a choisi de travailler sur la lévitation acoustique. On était tous les quatre très intéressés par ce phénomène et idée, et on voulait comprendre et s'amuser avec la lévitation. En plus de cela, nous avons étudié en classe le thème du son et des ondes, ce qui nous a permis d'établir un lien très fort avec notre projet.

INTRODUCTION

Le principe de la lévitation acoustique est de créer des ondes acoustiques, donc des variations de pression atmosphérique, qui défient la force de gravité. Ce phénomène est peu connu dans le monde malgré son énorme potentiel. Pour faire nos recherches, nous avons à notre disposition un mini lévitateur qui fonctionne selon le principe des ondes stationnaires. Afin de mieux comprendre le mécanisme de ce phénomène, nous avons mené plusieurs expériences en faisant léviter de divers objets.

Sommaire:

1/Cadre Theorique

A/ Quelques notions

- Le Son
- Rayonnement acoustique
- Ondes stationnaires
- Interférences

B/ Principe du lévitateur

- Conception du lévitateur
- Transducteurs

2/Démarche expérimentale

C/ Expériences

- Visualisation des ondes à travers l'oscillateur
- Lévitacion de différentes substances
- Evaporation de liquides en lévitation
- Visualisation des ondes stationnaires

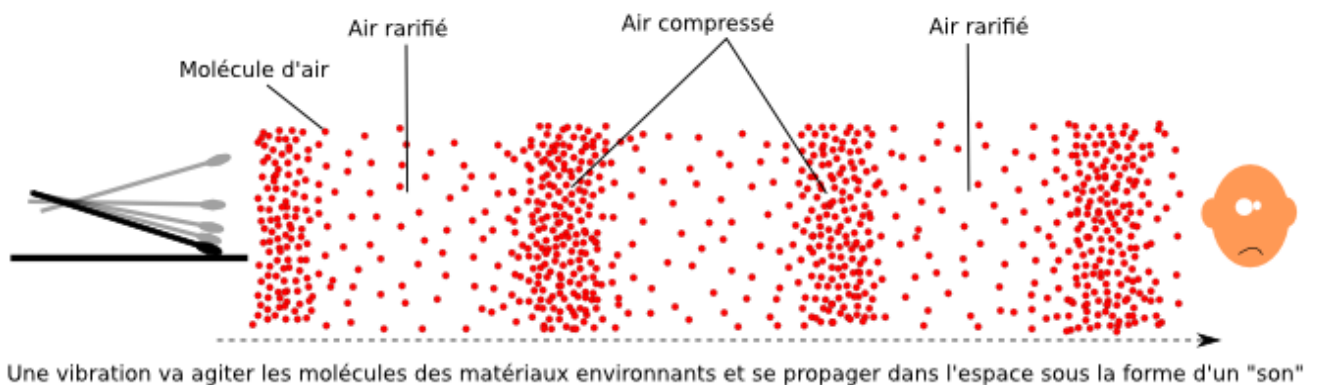
D/ Remerciements

Cadre Théorique

A) Quelques notions

1) Le Son

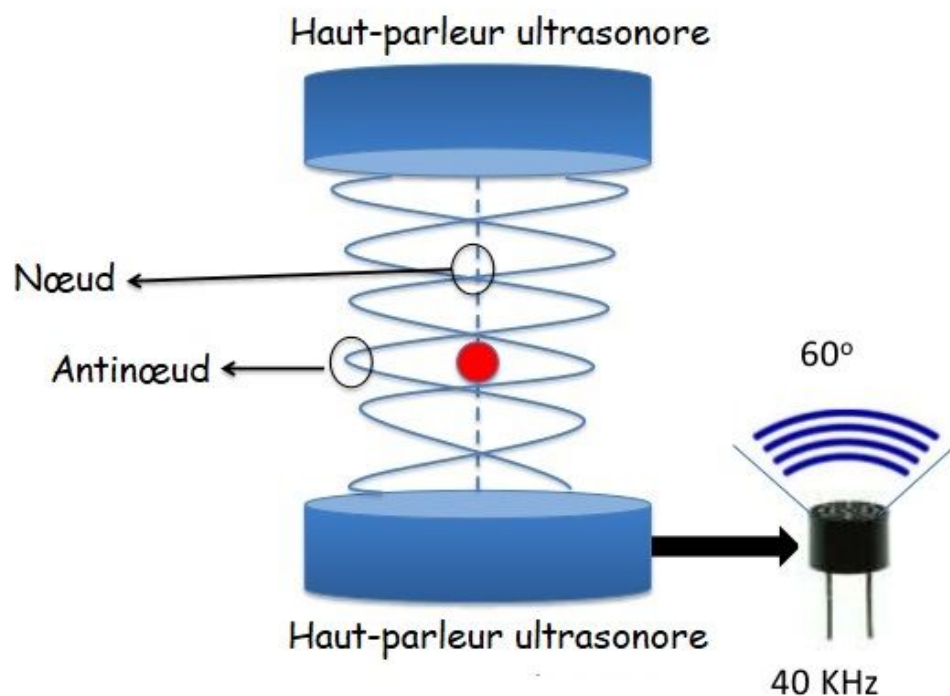
-Le son peut se propager à travers un milieu tel que l'air, l'eau et les solides sous forme d'ondes longitudinales et aussi sous forme d'ondes transversales dans les solides. Les ondes sonores sont générées par une source sonore, comme le diaphragme vibrant d'un haut-parleur stéréo. La source sonore crée des vibrations dans le milieu. Au fur et à mesure que la source continue de vibrer, les vibrations se propagent à la vitesse du son, s'éloignant de la source, formant ainsi l'onde sonore. A une distance fixe de la source, la pression, la vitesse et le déplacement du fluide varient dans le temps. À un instant donné, la pression, la vitesse et le déplacement varient dans l'espace. Notez que les particules du milieu ne se déplacent pas avec l'onde sonore. Ceci est intuitivement évident pour un solide, et il en va de même pour les liquides et les gaz. Pendant la propagation, les ondes peuvent être réfléchies, réfractées ou atténuées par le milieu.



2) Rayonnement acoustique

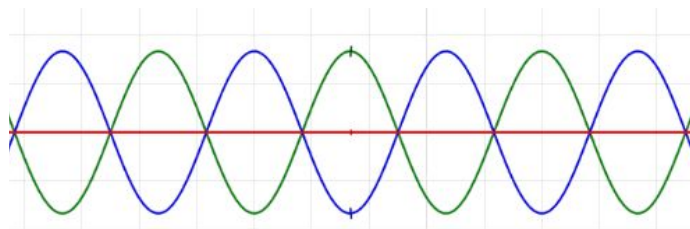
Le son est une onde mécanique qui, en tant que telle, transporte l'impulsion qui peut agir sur les particules sous l'effet des forces de rayonnement acoustique et qui peut être lévité et emprisonnée de façon stable lorsque les forces exercées sur un objet sont suffisamment fortes et convergent de toutes parts. Les ondes acoustiques peuvent piéger des particules de différents matériaux et d'une grande variété de tailles et de dimensions millimétriques. L'arrangement le plus courant pour les lévitateurs acoustiques est celui de configuration à axe unique.

Lévation acoustique

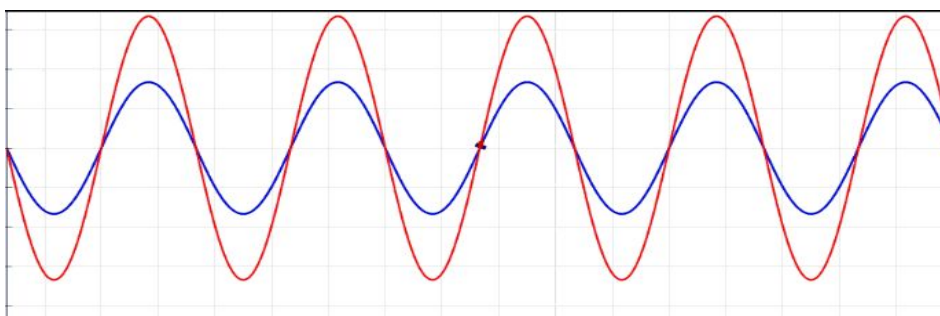


3) Les Ondes stationnaires

Une onde stationnaire est le phénomène résultant de la propagation simultanée de directions opposées de plusieurs ondes de même fréquence et amplitude, dans le même environnement physique, qui forme un motif avec certains éléments fixés dans le temps. Au lieu de voir une onde se propager, il y a une vibration stationnaire d'intensité différente à chaque point observé. Les points fixes caractéristiques sont appelés nœuds de pression. Selon le point observé, les vibrations produites par les différentes ondes s'additionnent ou se compensent partiellement ou totalement, ce qui les neutralise en des points définis et fixes (lieux dits "nœuds" : les vibrations disparaissent). La distance entre un nœud et le nœud le plus proche est égale à la distance de la corde divisée par le nombre de ventres.



Onde stationnaire (**rouge**) créée par la superposition d'une onde se déplaçant à gauche (**bleue**) et à droite (**verte**).



Interférence constructive de deux ondes en phase qui crée une onde d'une amplitude deux fois plus grande.

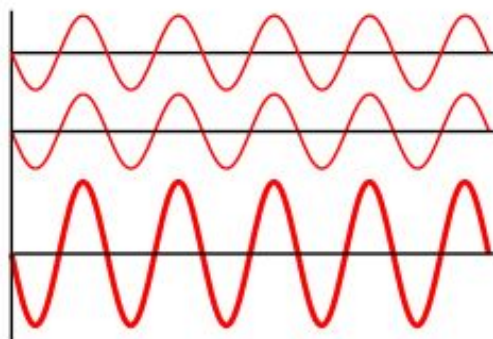
4) Interférences

En mécanique ondulatoire, l'interférence est la combinaison de deux ondes qui peuvent interagir. Ce phénomène se produit souvent en optique avec des ondes lumineuses, mais il est aussi obtenu avec des ondes électromagnétiques d'autres longueurs d'onde, ou avec d'autres types d'ondes comme les ondes sonores. En outre, le phénomène de brouillage ne se produit que lorsque deux ondes de la même fréquence sont combinées. Pour former une onde stationnaire, les amplitudes de ces deux ondes s'additionnent ou s'annulent : c'est le principe du brouillage.

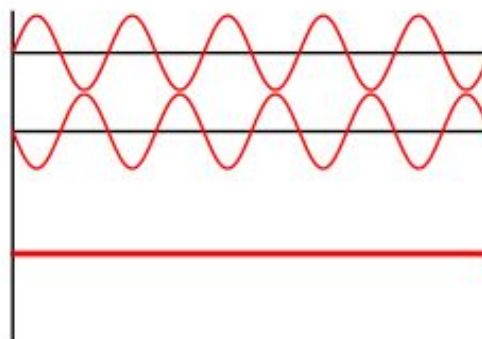
Il existe deux types d'interférence : l'interférence destructive et l'interférence constructive.

Si deux ondes de directions opposées se rencontrent avec la même fréquence mais pour les amplitudes opposées les unes aux autres, alors l'onde créée par l'addition de ces ondes aura une amplitude de zéro. Il y a alors une opposition de phase.

**Les deux vagues
s'additionnent ↓**



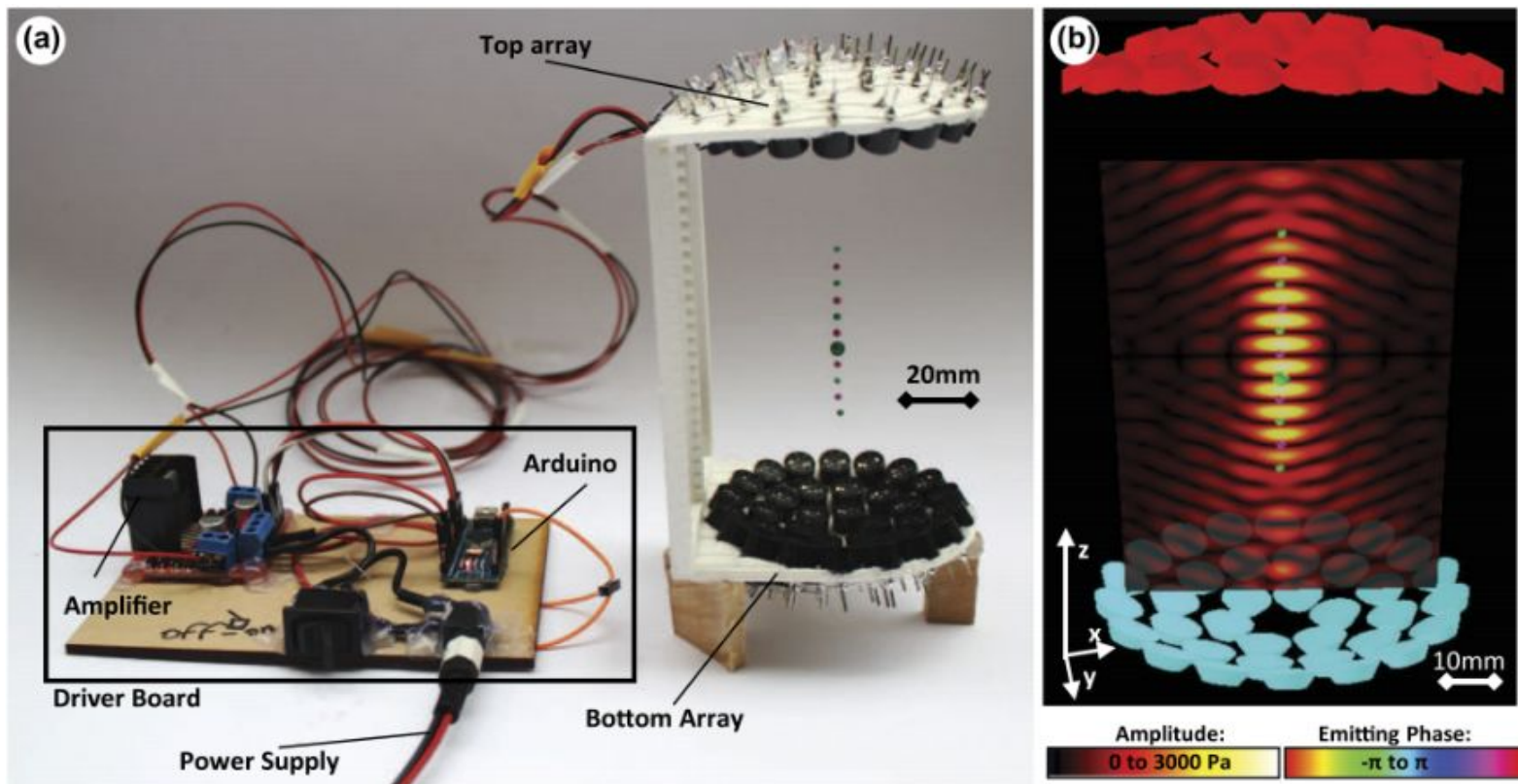
**Les deux vagues
s'annulent ↓**



Le Principe du lévitateur

A) Design

Tout d'abord, nous expliquerons les considérations de design pour la fabrication d'un lévificateur à axe unique utilisant un arrangement de minuscules émetteurs d'ultrasons. Nous examinerons les transducteurs qui sont les composants qui transforment le signal électrique en puissance acoustique. Ensuite, nous verrons comment disposer spatialement les transducteurs pour maximiser les forces de piégeage et le nombre de pièges ainsi que pour réduire les réflexions parasites. Enfin, nous présenterons l'électronique simple et efficace qui pilote les transducteurs.



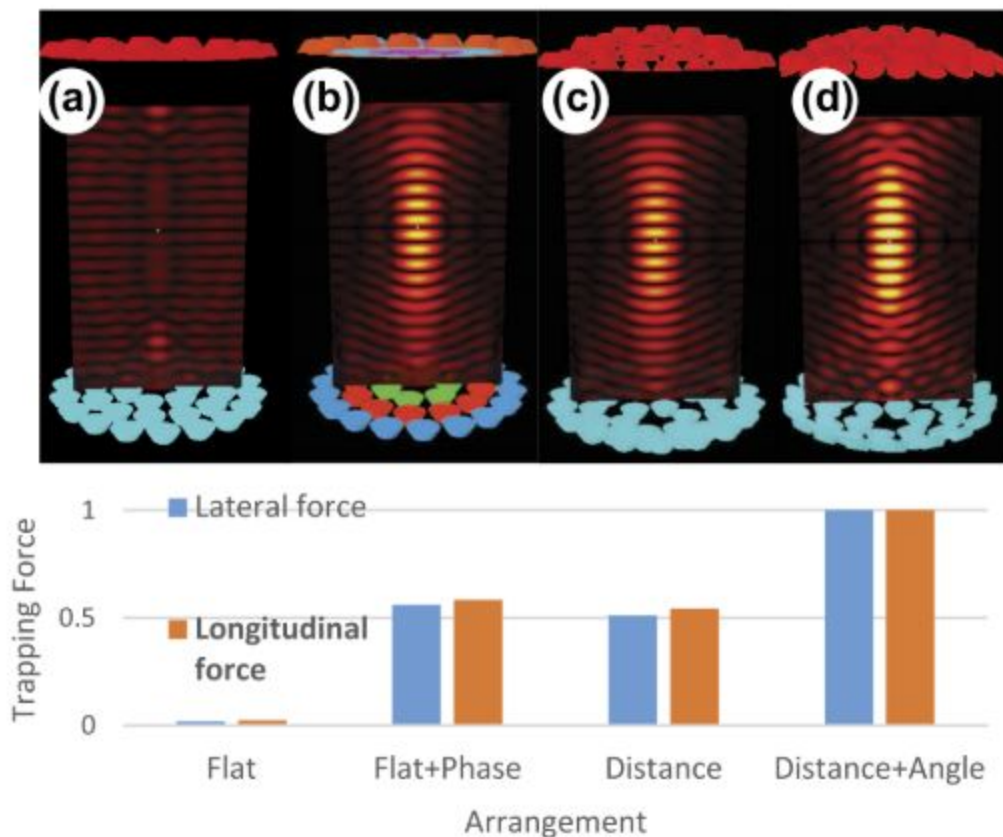
B) Transducteurs

Les principaux composants du lévitateur sont les transducteurs, éléments qui transforment le signal électrique d'entrée en ondes acoustiques. Pour fonctionner dans l'air, on a constaté que les transducteurs de mesure de distance fournissent une bonne puissance acoustique, une fréquence de résonance constante et sont disponibles à bas prix. La plupart des transducteurs disponibles sur le marché fonctionnent à 40 kHz. Les ondes acoustiques aéroportées à cette fréquence ont une longueur d'onde de 8,65 mm à 25 °C, ce qui permet la lévitation d'échantillons jusqu'à ≈ 4 mm (demi-longueur d'onde).

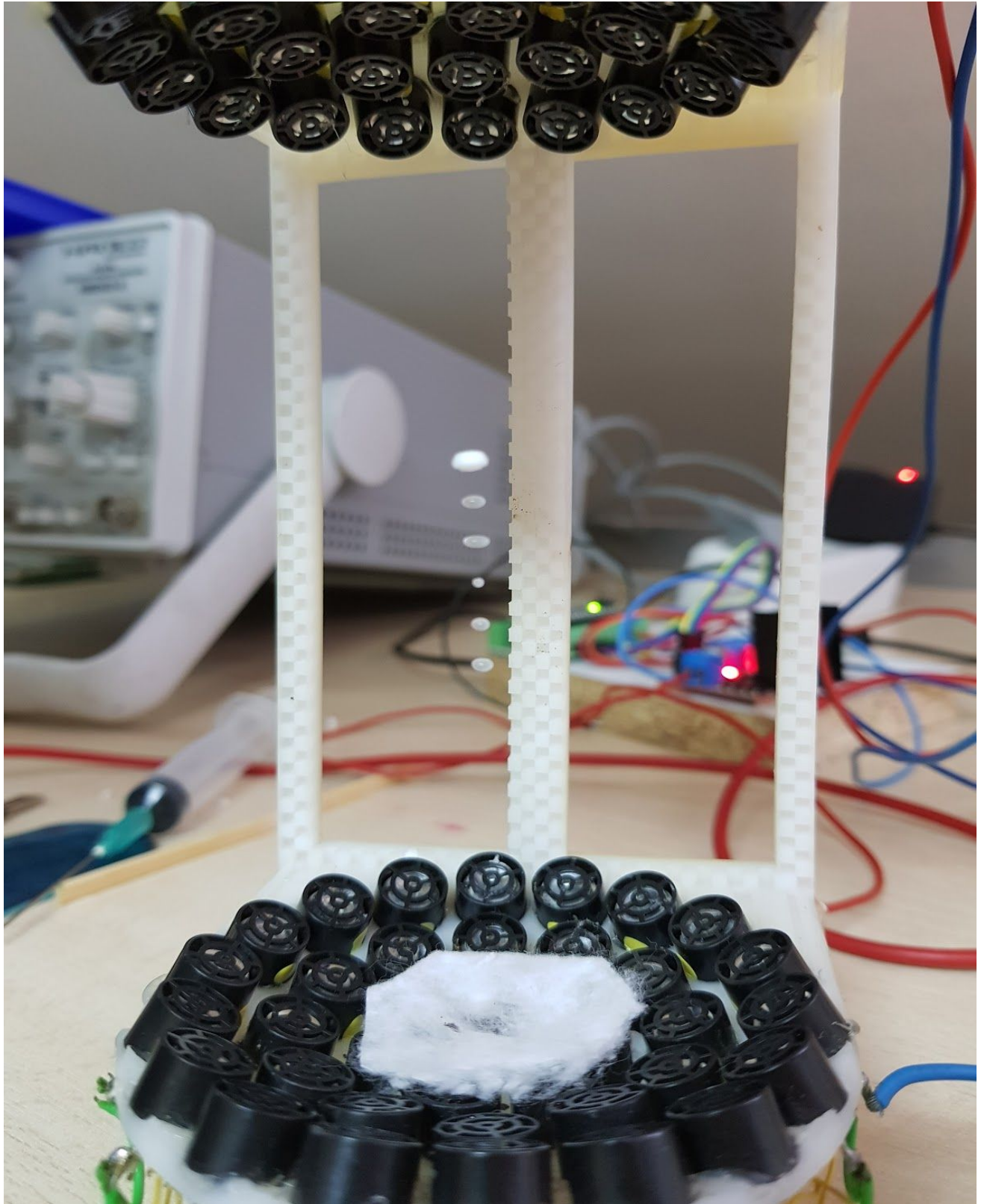
Le facteur clé mesuré était la pression générée à une distance fixe sous le même signal d'excitation. Une autre mesure importante est l'écart-type de la phase ; on a constaté que les transducteurs émettent des signaux légèrement décalés même s'ils sont alimentés par le même signal et que la pression acoustique est enregistrée à la même distance ; ceci est probablement dû à des différences on même à l'intérieur du même lot.

Le lévitateur possède 36 transducteurs de chaque côté, ce qui représente un compromis entre la force de piégeage et le rapport coût/complexité. Ces transducteurs sont disposés en anneaux de 6, 12 et 18 transducteurs qui proviennent de la garniture circulaire optimale selon un motif hexagonal. Comme on le verra plus loin, ce nombre de transducteurs génère suffisamment de force pour faire léviter les échantillons d'intérêt et permet de simplifier le processus de fabrication. Il est possible d'ajouter d'autres transducteurs, et l'anneau suivant serait composé de 24 transducteurs. Cependant, bien que cela augmentera les forces de piégeage, ce qui entraînera des coûts et une complexité supplémentaires. De plus, le capuchon sphérique sur lequel les transducteurs sont placés est plus fermé, ce qui donne un dispositif plus résonnant.

Les lévitateurs à corne de Langevin émettent des sons à partir de cornes de grande surface ou de réflecteurs courbes qui focalisent naturellement les ondes acoustiques. En revanche, Mini-Lev est constitué de réseaux de petits transducteurs qui atteignent un foyer acoustique par leur orientation et leur distance. La mise en place des capteurs sur des surfaces planes permet une construction très simple, par exemple en utilisant une plaque de base découpée au laser, mais la force de piégeage est trop faible pour la plupart des applications (par ex, 2% de la performance de la force de piégeage par rapport à la meilleure configuration que nous avons explorée). Il est possible de focaliser l'énergie acoustique d'un réseau en ajustant électroniquement la phase des signaux pour augmenter la force de piégeage (c.-à-d. 50 %), mais cette approche exige une électronique complexe capable de produire plusieurs signaux indépendants.

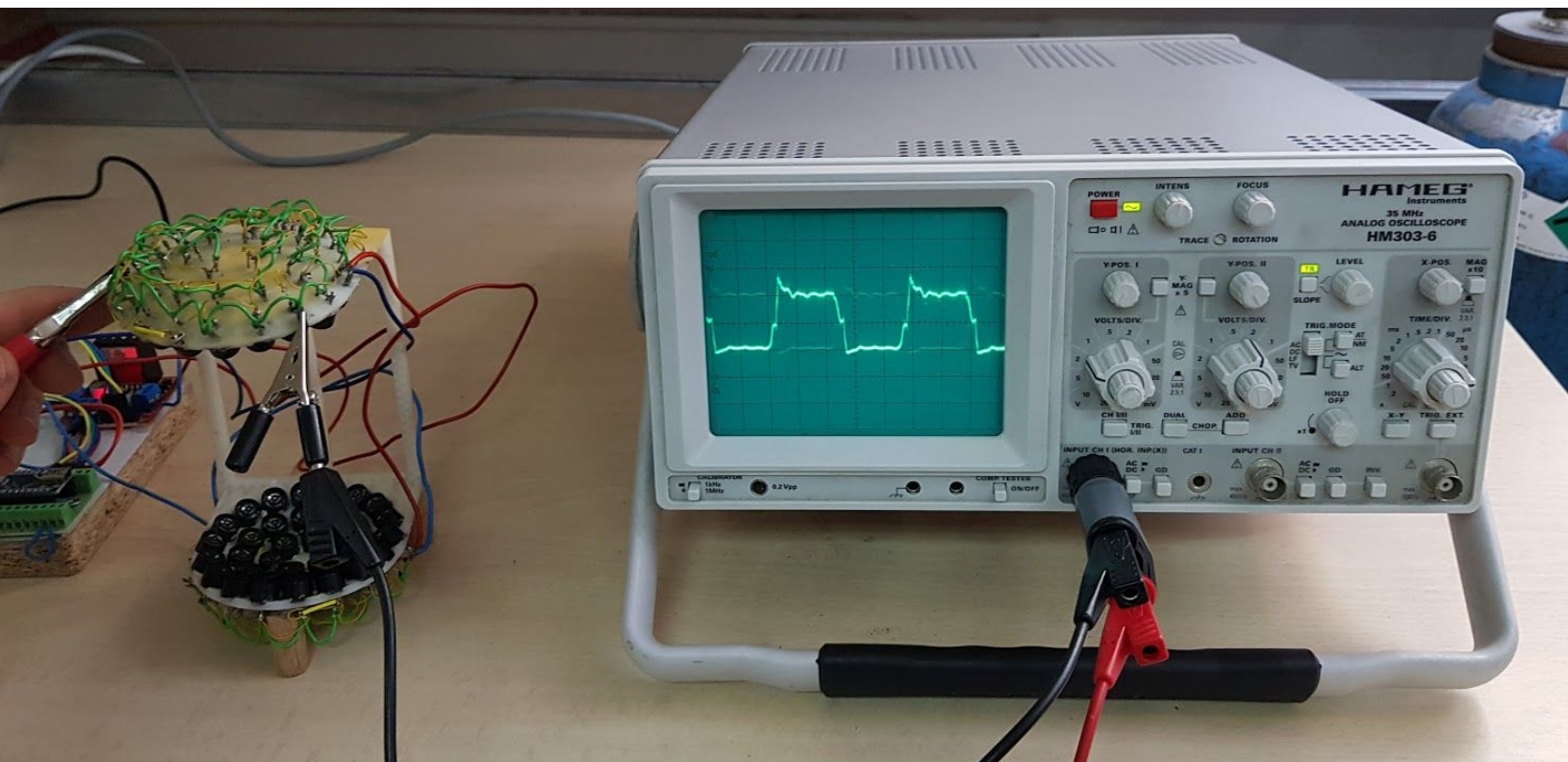
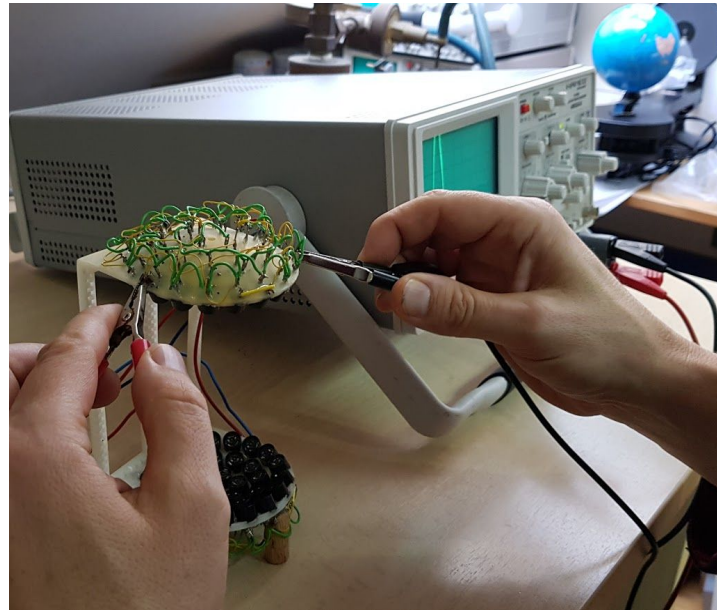


Démarche expérimentale



1/Visualisation de l'onde au Oscillateur

On voulait tout d'abord visualiser l'onde émise par le léviteur. Pour cela, on a décidé de se servir d'un oscilloscope qu'on a trouvé dans notre lycée. On a branché l'oscillateur au deux bornes électriques du léviteur pour ensuite pouvoir visualiser l'onde. L'oscillateur était configuré sur 5 volts/div et le résultat obtenu montre une onde



La levitation de divers solides et liquides

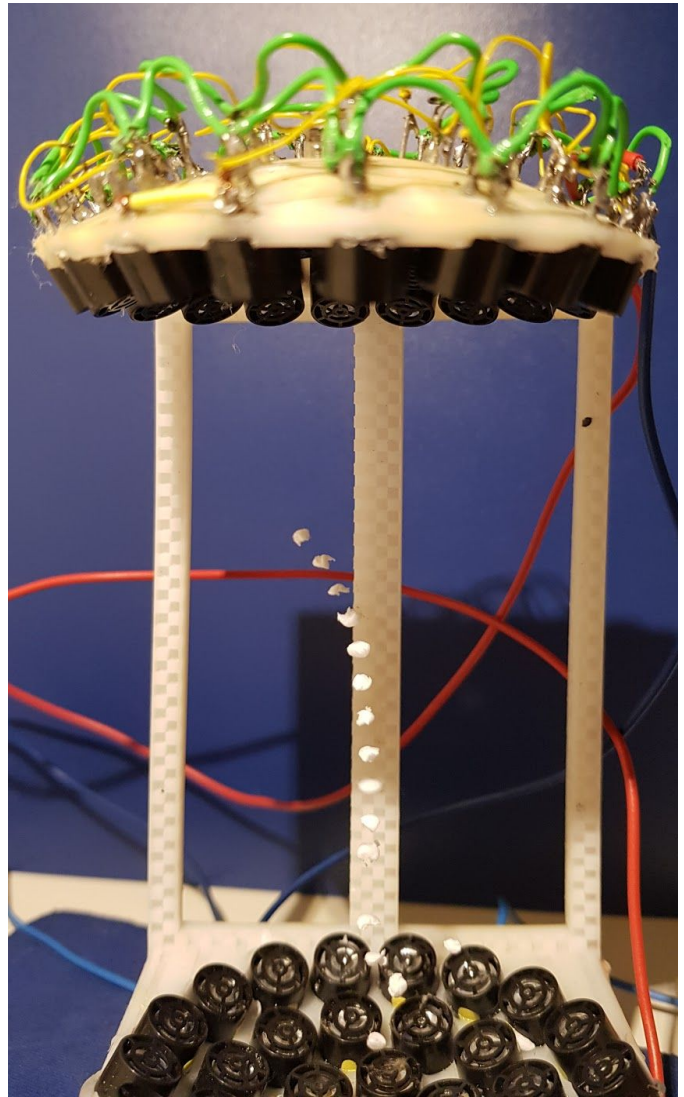
Le lévitateur a été testé une multitude de fois avec des objets de taille et de masses différentes. On a tester la lévitation des liquides et solides suivants:

- boules de polystyrène
- granules de sucre
- granules de café
- éthanol
- fourmi vivante
- eau

a) Boules de polystyrène

Tout d’abord, pour découvrir et ressentir ce phénomène, on a fait plusieurs lévitations avec des petites boules de polystyrène. On a choisi des boules de polystyrènes puisque notre hypothèse de départ était que des objets moins denses et moins lourds vont pouvoir être lévités plus facilement (*masse d’une boule de polystyrène est d’environ 0.258 mg*). On a remarqués que, grâce à la disposition équidistante des boules, que les zones où les boules vont pouvoir être léviter correspondent aux différents noeuds de cette onde stationnaire. On sait que la distance entre deux noeuds d’une onde stationnaire correspond à une demi-longueur d’onde.

On a ensuite procédé par insérer une photo bien ajustée (perspective droite avec une échelle calculée) dans Clip Studio Paint, où on a mesurée une demi-longueur d’onde.



Mesure de la longueur d'onde à 20°C

Avec un logiciel on a mesuré la distance entre les boules de polystyrène en pixel, en utilisant les coordonnées entre des centre des boules puis on a converti cette mesure en mm en utilisant comme référence les petits carrés sur le lévitateur qui mesure chacun 2 mm. On a obtenu 4.2 mm comme distance entre deux boules et 8.4 mm comme longueur d'onde.

$$\Lambda = c/f$$

$$\text{Donc } f = c/\Lambda$$

$$f = 333.4/8.4$$

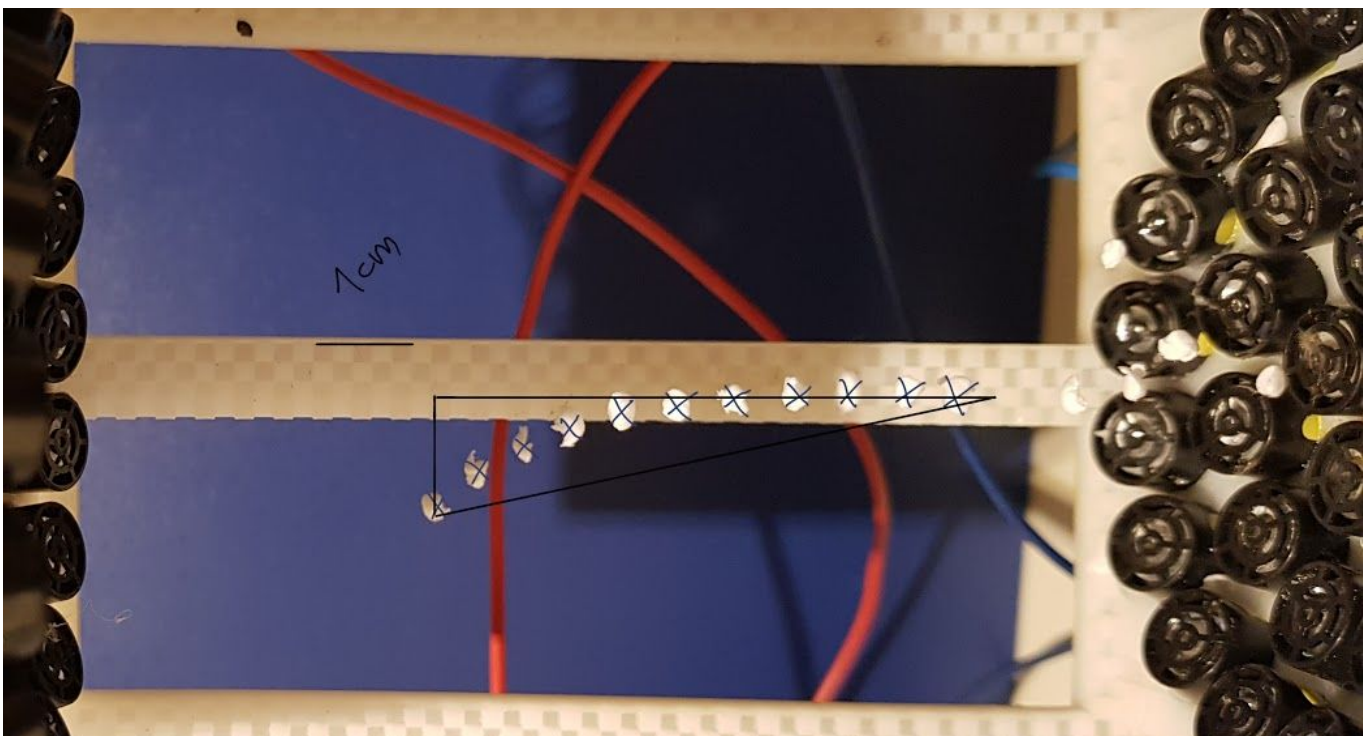
$$\text{Donc } f = 39.69 \text{ kHz}$$

Λ : longueur d'onde

f : fréquence

c : vitesse de son (333,4 m/s à 20°C)

On a vérifié que ces mesures étaient compatibles avec la fréquence déclarée qui était de 40 kHz. Avec nos calculs on obtient à peu près 39.69 kHz donc les mesures sont compatibles.



Puisque on a remarqué que le polystyrène est très facile de léviter, on va utiliser un boule de polystyrène comme référence pour chaque prochaine lévitation

b) Sucre et Granules de café

Après avoir lévité des boules de polystyrène, on a décidé d'essayer de léviter différents solides, avant de passer aux liquides. On a testé la lévitation de sucre, et de granules de café qu'on a retrouvé dans le café commercial, mais aucun d'eux pouvaient être lévité. Les granules de sucre et de café ne pouvaient pas être lévités car ils étaient trop lourds: une granule de café pèse d'environ 9.6 mg et une granule de sucre d'environ 1.6 mg (se sont les moyennes respectives). Pour pouvoir comparer les masses des granules du sucre et café avec les boules de polystyrène on devait ensuite calculer la masse des boules. Pour cela, on a calculer la masse de 100 boules de polystyrène avec une balance électronique:

100 boules de polystyrène pèsent 25,8 mg

$25,8/100=0,258$

Donc, une boule de polystyrène pèse d'environ 0,258 mg

Le rapport des masses des granules du café et sucre avec une boule de polystyrène:

$9.6/0,258 \approx 37.2$, donc une granule de sucre est à peu près 37.2 fois plus lourde qu'une boule de polystyrène

$1.6/0.258 \approx 6.2$, donc une granule de café est à peu près 6.2 fois plus lourde qu'une boule de polystyrène

Ainsi cette différence de masse peut expliquer notre échec de les faire léviter, mais aussi la forme non uniforme de ceux-ci.

c) Ethanol

Après avoir tester plusieurs solides, on a décider de passer sur les liquides. Le premier liquide qu'on a testé est l'éthanol puisque il est le liquide le moins dense qu'on avait dans notre laboratoire de l'école.

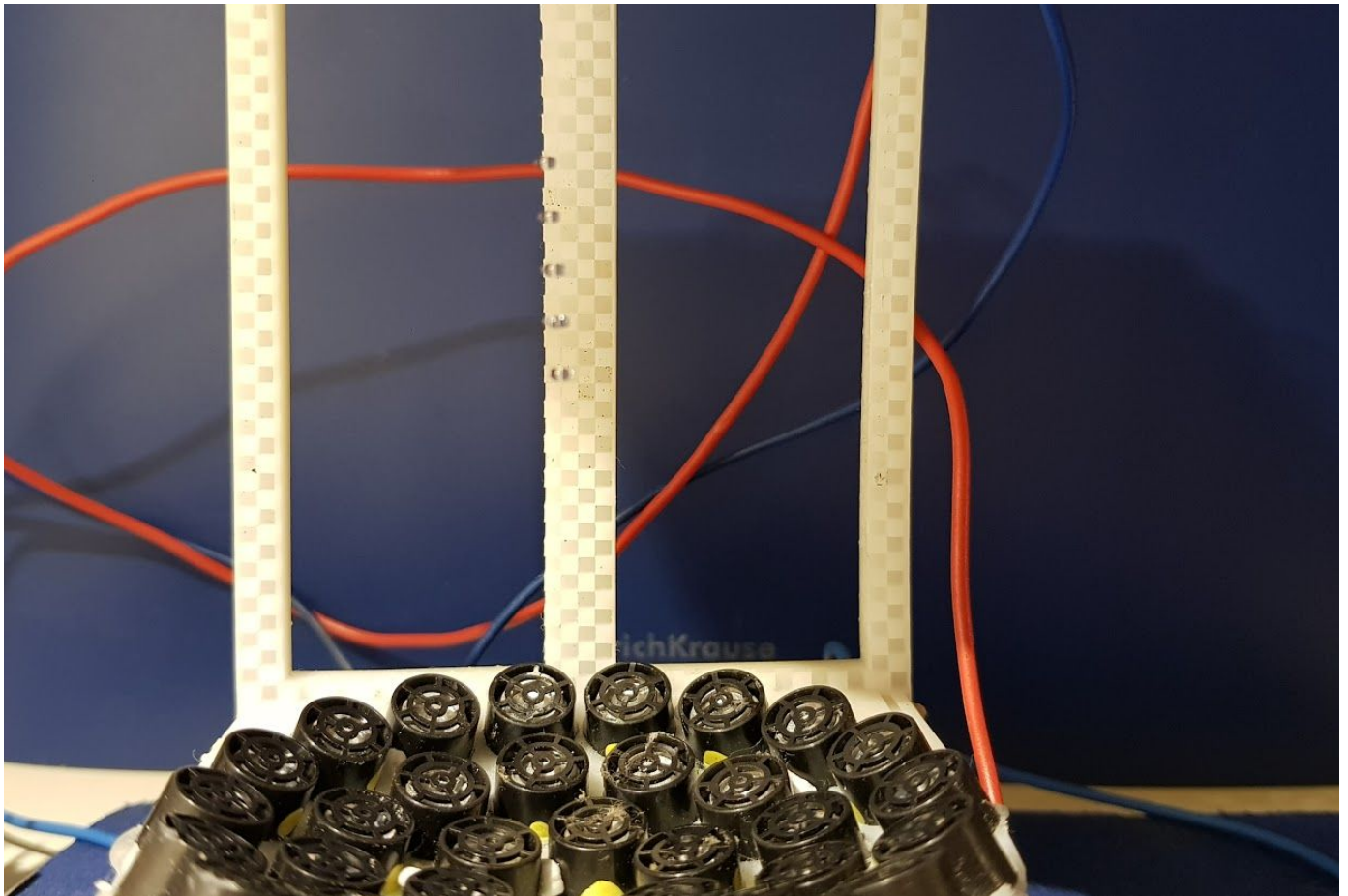
L'éthanol était facilement lévité, donc notre Mini-Lévitateur peut facilement soulever la masse d'une goutte d'éthanol.

Il y a 134 gouttes d'éthanol dans 1 mL.

Donc 1 goutte d'éthanol correspond à $1/134 \approx 7,5 \mu\text{L}$

A 20°C , la masse volumique de l'éthanol est égale à $0,791 \text{ mg}/\mu\text{L}$.

Ainsi la masse d'une goutte d'éthanol est de $0,791 \cdot 7,5 \approx 5.9 \text{ mg}$



d) Eau

La finalité et un des buts de nos expériences était de léviter l'eau. On s'est aperçu que c'était très difficile de la faire léviter à cause de sa densité, mais principalement à cause de sa tension superficielle. Les gouttes étaient trop grandes et difficilement détachables de la pointe de la seringue.

La tension superficielle est un phénomène physico-chimique lié aux interactions moléculaires d'un fluide. Elle résulte de l'augmentation de l'énergie à l'interface entre deux fluides. Le système tend vers un équilibre qui correspond à la configuration de plus basse énergie, il modifie donc sa géométrie pour diminuer l'aire de cette interface. La force qui maintient le système dans cette configuration est la tension superficielle.

Il y a 53 gouttes d'eau dans 1 mL.

Donc 1 goutte d'eau correspond à $1/53 \approx 19 \mu\text{L}$

A 20°C, la masse volumique de l'eau est égale à 0,998 mg/ μL .

Ainsi la masse d'une goutte d'eau est de $0,998 \cdot 19 \approx 18,96 \text{ mg}$

La masse d'une goutte d'eau explique partiellement pourquoi il était si difficile de faire léviter l'eau. La viscosité de l'eau est l'autre facteur en jeu.



e) Fourmi vivante

On voulait voir si on pouvait léviter une fourmi, c'est-à-dire un objet en mouvement, et voir si elle va survivre. Finalement, elle peut être lévitée pendant un certain laps de temps après elle commence à tourner sur elle même très vite puis elle tombe mais elle reste parfaitement vivante après le test.

2/ Évaporation de l'éthanol et de l'eau

A la suite des expériences de lévitation, on voulait comparer le temps d'évaporation de l'éthanol et de l'eau en lévitation et sur une surface.

A 20°C, les résultats sont les suivants (chaque mesure a été effectuée 5 fois):

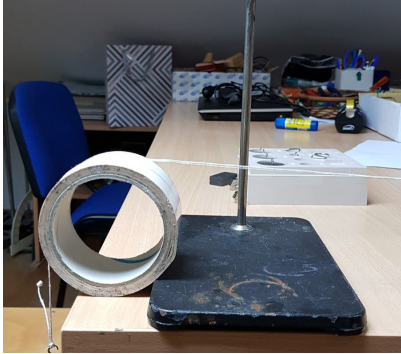
Milieu de liquide	Eau (moyenne des temps d'évaporation)	Ethanol (moyenne des temps d'évaporation)
Lévitation	2h 14 min 17s	11 min 18s
Surface	34 min 33s	2 min 07s

On peut donc observer qu'en lévitation les liquides évaporent beaucoup moins rapidement. C'est à quoi du rapport de la surface exposée, avec le volume. En lévitation, le rapport surface/volume est plus petit que ce rapport quand la goutte est sur une surface car le liquide va s'étaler.

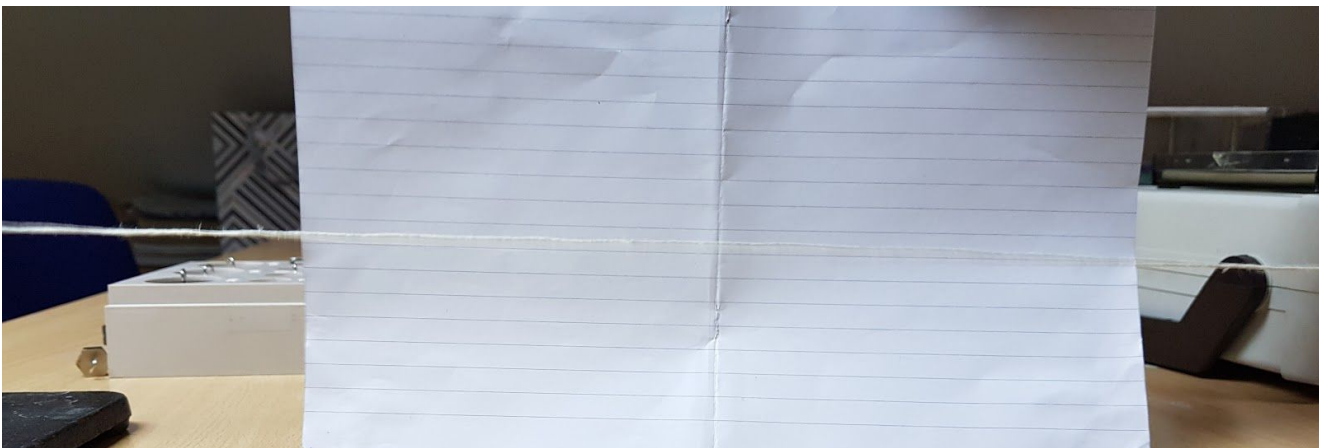


3/Visualisation des ondes stationnaires

On a voulu ensuite visualiser les ondes stationnaires, ce que l'on a fait grâce à l'oscillateur mécanique. Ceci est la construction qu'on a créer:



Sur cette image, on peut voir un noeud de l'onde stationnaire:



D/ Remerciements

On voudrait remercier les physiciens Aleksandra Aloric et Vladimir Veljic qui nous ont instruits et étaient comme des mentors. On voudrait également remercier Thomas Pichegru, notre professeur de SPC, et notre lycée, l'École Française de Belgrade.

Ce projet nous a permis d'avoir un bon ressenti de la méthode scientifique et créer un image à peu près précise et réaliste du métier de chercheur scientifique. La lévitation acoustique est un domaine qui porte définitivement beaucoup de potentiel, tout en étant un thème très intrigant.