CONCOURS CGENIAL Collège-Lycée

FONDATION CGENIAL

Sciences à l'École

Chacun dans sa bulle !

par les élèves de l'atelier physique du lycée Palissy (Raphaël Mairet; Leïla Gagne ; Adrien Gagne ; Thalia Bonnet ; Clothilde Filiol)

ACADÉMIE DE BORDEAUX
Liberté
Égalité
Fraternité

Avec LACLAVERIE Jean-Michel
Professeur encadrant
Lycée Bernard Palissy- AGEN
Académie de Bordeaux

Table des matières

Résumé : **3**

Introduction : **3**

Problématique : **4**

I/ Présentation des techniques de bulles sonores **4**

II/ Ondes, sons, interférences et modulations : **5**

C- Interférences destructrices et battements 7

D- Les bulles sonores aujourd'hui : 8

III/ Nos essais expérimentaux : **9**

Modulation : 9

A- Première expérience de modulation : 9

Battements : 10

B- Premières expériences de battements 10

IV Nos mesures **13**

A - Lundi 11 octobre : 13

B- Lundi 18 octobre : 15

C- Comparaison avec le phénomène d'atténuation géométrique 18

Conclusion et perspectives: **19**

Sources documentaires : **20**

ANNEXE 1 : Les échanges entre Leïla & Adrien et les chercheurs et journalistes **20**

Noveto (Adrien) 20

Akoustik Art (Adrien) 20

ANNEXE 2: programme python de modélisation des battements par Adrien **22**

ANNEXE 3: Nos tableaux de mesures **24**

Résumé :

Après s'être documentés sur le son, les ultrasons, les battements et la modulation d'amplitude, nous voulons réaliser un modèle de bulle sonore. Pour cela nous avons contacté Noveto et Akoustic Arts, deux start-up du secteur, pour mieux connaître la physique des bulles sonores. Puis nous avons expérimenté avec pour but de produire un son localisé grâce à des ultrasons. Deux techniques ont été explorées : la production d'un battement audible à partir de deux ultrasons de fréquences proches ou la modulation d'un signal ultrasonore par un son avec un multiplieur. Nous utilisons Phyphox et nos téléphones portables pour étudier le son, ainsi que Latis Pro, Audacity et un ordinateur.
Nous sommes tous élèves de section euro, et deux d'entre nous sont bilingues. Nous sommes prêts pour défendre ce projet en français comme en anglais, en visio ou en présentiel, en France comme à l'étranger!

Introduction :

Le son se propage naturellement dans toutes les directions qui lui sont offertes. Arriver à le diriger est un véritable défi. Le confiner dans une bulle est encore plus compliqué et n'a été réalisé dans les laboratoires de recherche que récemment. Mais les applications sont nombreuses. Imaginez le conducteur d'une voiture qui entend le GPS sans déranger son voisin qui écoute de la musique. Ou bien les visiteurs d'un musée, chacun suivis par une bulle sonore pour écouter les commentaires sans porter aucun appareil ! Aujourd'hui c'est possible.
Le point de départ de notre travail est un article du nouveau magazine d'information scientifique Epsiloon sur les bulles sonores. Cet article présente le transport du son par des ultrasons. Au lycée, nous travaillons sur le son et les ultrasons, et l'idée d'approfondir ce sujet nous a plu.
Après avoir contacté les journalistes d'Epsiloon et deux start-up travaillant sur le sujet, nous nous sommes documentés sur les battements d'ondes et la modulation d'amplitude. Deux séances de deux heures de l'atelier scientifique y ont été consacrées, en nous appuyant sur un cours de l'ENS lyon.[1]
Puis nous avons débuté nos expériences avec Latispro pour produire des signaux modulés et des battements. Nous avons cherché à détecter un son transporté par les ultrasons. Après quelques déceptions, les très performantes cartes sons de nos téléphones nous ont permis d'explorer les bulles sonores et de mesurer leur étendue spatiale ainsi que l'influence de la fréquence des battements sur leurs positions.
Pour finir nous vous présenterons nos conclusions sur les mesures et nos nouvelles perspectives de travail.

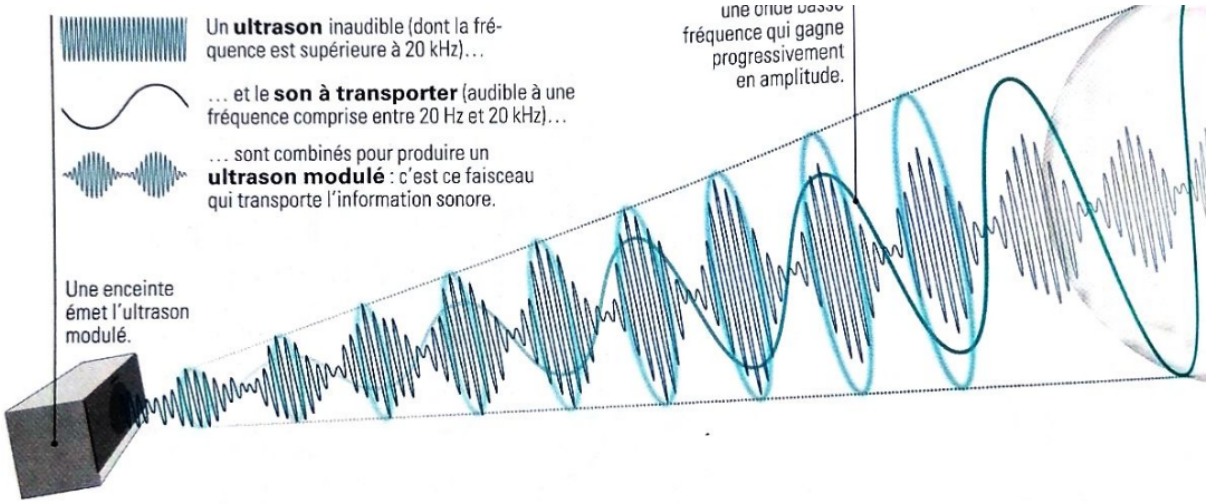
Un grand merci à monsieur Thomas HÉLIE Directeur de Recherches DR2 au CNRS, Responsable de l'équipe S3AM,Laboratoire des Sciences et Technologies de la Musique et du Son, UMR9912, IRCAM-CNRS-UPMC, qui a accepté de répondre à quelques-unes de nos questions, lors de notre rencontre à l'université Paris-Saclay .

[1] https://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/physique-animee-Battements-acoustiques.xml?doa:t=109

Problématique :

Est-il possible de produire un son qu'un seul auditeur peut entendre, sans gêner ses voisins, et sans que l'auditeur ne porte aucun appareil (ni casque, ni récepteur...) ? Peut-on faire un modèle d'un tel système avec le matériel de notre lycée ?

I/ Présentation des techniques de bulles sonores



Le nouveau journal scientifique Epsiloon présente le principe des bulles sonores. Elles utilisent des enceintes à faisceau d'ultrasons qui envoient un son audible seulement dans une zone délimitée.

Un ultrason et le son à transporter sont combinés pour produire un ultrason modulé. Une enceinte émet l'ultrason modulé, qui n'est donc pas audible et l'onde basse fréquence gagne progressivement en amplitude. Puis, comme l'ultrason, l'onde basse fréquence s'atténue à son tour et la bulle sonore se referme. Cette technique fait appel à la modulation d'amplitude.

Les ultrasons ont l'avantage d'être très directif, c'est pour cela qu'ils sont utilisés en médecine pour détruire des tumeurs. En parallèle, une autre technique se développe. Elle consiste à annuler le son autour d'une bulle sonore au lieu de le focaliser. Elle reprend la technique des casques antibruits qui envoient un son en opposition de phase par rapport au bruit ambiant pour créer du silence par interférences destructives.

Cependant, le fondateur d'Akoutic-arts indique dans une vidéo de présentation de son entreprise, une autre voie de recherche. La startup française utilise le principe de l'antenne paramétrique dont le principe est d'émettre deux ondes ultrasonores de fréquences proches, afin de générer un signal basse fréquence qui lui devient audible. Le faisceau ultrasonore est directionnel et crée ainsi un tunnel de son. C'est donc le phénomène de battements qui est utilisé ici.

Il semble donc qu'il y ait trois voies de recherche pour créer des bulles sonores. Nous allons les explorer et échanger avec des chercheurs et journalistes pour essayer d'y voir plus clair.

II/ Ondes, sons, interférences et modulations :

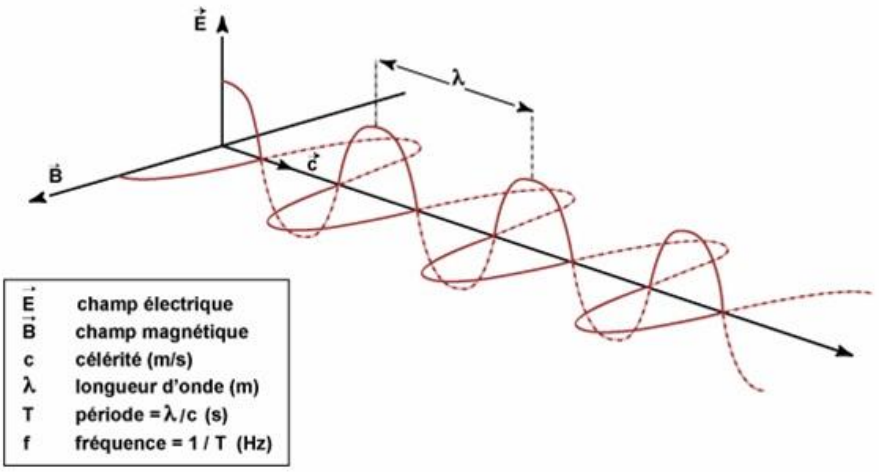
A- Les ondes et le son:

Tout d'abord, commençons par définir ce qu'est une onde sonore. Une onde sonore n'est autre que la propagation de perturbations mécaniques dans un milieu élastique. Ainsi, contrairement aux ondes lumineuses, les ondes sonores sont dans l'incapacité de se propager dans le vide et nécessitent alors toujours de s'appuyer sur un milieu matériel. Ce que nous appelons le son est donc l'interprétation des successions de perturbations mécaniques perçues par nos oreilles.

Puisqu'une onde sonore résulte d'un déplacement mécanique, elle peut subir différents phénomènes comme la réflexion, donnant naissance aux échos, mais aussi la réfraction, quant à elle liée à la traversée d'une paroi par l'onde sonore et enfin l'interférence détenant une des clefs de la compréhension des bulles sonores.
Ce phénomène complexe qu'est le son, est étudié par l'acoustique, une science à l'origine des progrès, chaque année, plus innovants les uns que les autres.

1) Le son perturbe la matière mais ne la déplace pas

La propagation d'une onde sonore ne découle pas d'un déplacement de matière mais d'une perturbation qui se déplace au travers de la matière. Après le passage de la perturbation dans le milieu élastique, les molécules déplacées retrouvent toujours leur place originelle grâce aux propriétés extensibles du milieu.
Nous pouvons empiriquement observer ce phénomène lors du lancer d'une pierre dans un milieu aquatique. Dès lors que la pierre sera rentrée en contact avec l'eau, le fluide va se déformer afin de laisser apparaître quelques vaguelettes, dues à la propagation de la perturbation, qui disparaîtront rapidement après la remise en place des molécules à leur place initiale. Nous pouvons, lorsque nous avons les pieds immergés dans l'eau, apprécier l'ampleur de la perturbation lors du contact des vaguelettes sur la peau.
Ainsi, par analogie, nous pouvons dire qu'un son est « jeté » dans l'air et que ce sont les vaguelettes provoquées par son contact avec l'air qui sont perçues par nos oreilles.



https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/envcal/html/rayonnement/1-rayonnement-electromagnetique/1-2-les-ondes-electromagnetiques.html

2) *Limites de la propagation des sons*

Empiriquement, nous pouvons observer que l'amplitude d'un son diminue avec la distance en raison de l'amortissement du système. Effectivement, l'air oppose une résistance au son tout comme il oppose une résistance aux corps le traversant, ce qui est aussi le cas d'autres fluides telle que l'eau. C'est cette résistance qui est à l'origine de la diminution progressive du niveau sonore et donc de la disparition complète du son avec l'augmentation de la distance.
Il nous est donc apparu très étonnant de lire dans les articles dédiés les bulles sonores que l'amplitude du son augmente à une certaine distance, puis diminue.

3) *Quelles sont ses caractéristiques ?*

Une onde sonore est principalement caractérisée par sa fréquence, exprimée en Hertz. Il existe 3 domaines de fréquences sonores : le domaine audible par l'être humain est situé entre 20Hz et 20kHz, en-dessous de ces valeurs-si, on se situe dans le domaine des infrasons, utilisés par de nombreux animaux, tels que les éléphants, pour communiquer entre eux à des distances relativement grandes. Au-dessus de 20KHz, on se situe dans le domaine des ultrasons, perceptibles par les chiens et les chats et pouvant aussi être produits par certains animaux tels que les dauphins pour, là aussi, communiquer entre eux.

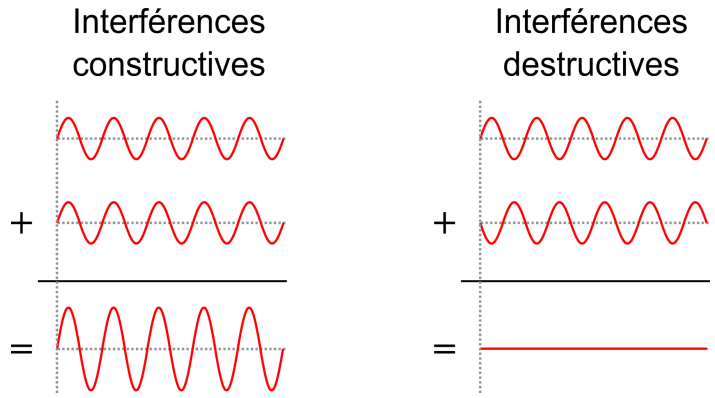
https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-onde-sonore-15526/

B- La modulation, la démodulation :

Il est possible de moduler un signal par le biais de la modulation d'amplitude. Cette dernière consiste à faire varier l'amplitude d'un signal de fréquence élevée, appelé le signal porteur, en fonction du signal modulant, de fréquence plus basse. C'est dans celui-ci qu'est contenue l'information à transmettre, un microphone doit par exemple transmettre une voix.

La démodulation consiste elle en la récupération du signal informatique modulant contenu dans la partie supérieure, et parfois inférieure, de l'enveloppe du signal modulé en amplitude.
Dans le cas des bulles sonores, ces dernières ne requièrent pas de montage démodulation pour percevoir le son.
Prenons pour exemple la radio AM, citée dans les articles concernant les bulles sonores, elle est un procédé de radiodiffusion utilisant la modulation d'amplitude à partir d'émetteurs. Mais dans le cadre de nos recherches, nous avons choisi de privilégier la méthode utilisant les battements par question de praticité notamment.

C- Interférences destructrices et battements



Les interférences pour les ondes sont lorsque deux ou plusieurs ondes sont émises et se rencontrent et peuvent interagir entre elles. Il existe deux types d'interférences, les constructives, c'est-à-dire lorsque les deux ondes s'accordent parfaitement ensemble on dit qu'elles sont en phase créant donc une onde avec une très grande amplitude.

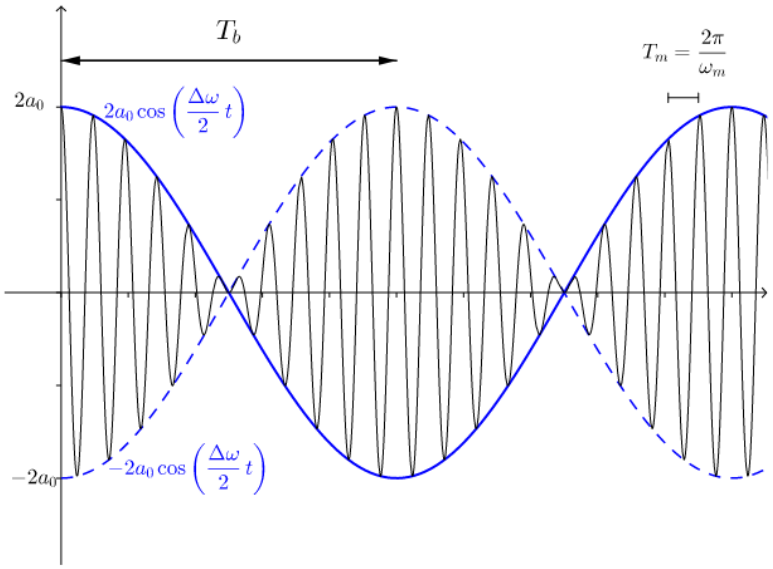
source :
https://fr.science-questions.org/comment_ca_marche/155/Interferences_et_diffraction_d_une_onde/

Et les interférences destructrices, c'est-à-dire lorsque les ondes sont en opposition de phase créant donc une amplitude quasi nulle. Ce dernier phénomène est utilisé par exemple pour les casques antibruit. Ces 2 types d'interférences vont nous servir lors des bulles de sons à utiliser premièrement les interférences destructives autour de la bulle de sons, et deuxièmement les interférences constructives pour créer cette bulle de sons.

Si nous prenons par exemple deux émetteurs d'ultrasons à deux fréquences très proches, il va apparaître ce que l'on appelle des battements, c'est-à-dire des alternances bruits/annulation de bruit (plus les deux fréquences se rapprochent plus les battements sont lents). Si l'amplitude a_0 des deux ondes est la même alors le signal résultant s(t) s'écrit :

$$s(t) = 2a_0 \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t\right) \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t\right)$$

avec $\omega_1 = 2\pi f_1$ et $\omega_2 = 2\pi f_2$, les pulsations des deux signaux.



ω_m représente la moyenne des pulsations et $\Delta\omega$ leur différence

D- Les bulles sonores aujourd'hui :

Aujourd'hui, certains chercheurs en ondes, que ce soit en France ou partout ailleurs, ont cherché à créer des bulles sonores. Noveto, start-up Israélienne a sorti un communiqué vers la fin avril 2021 expliquant leur futur produit : Le SoundBeamer. Grâce à des ondes ultrasons conçues pour les courtes distances, l'utilisateur jouant à un jeu vidéo sur un ordinateur par exemple entendra le son provenant du jeu entre 70 cm et 1.20 m des haut-parleurs ; si l'utilisateur quitte cette zone il sera alors impossible d'entendre le son provenant des haut-parleurs reliés à l'ordinateur, tout cela sans aucun autre dispositif (sans oreillettes par exemple) !

Pour réaliser cette prouesse scientifique, les chercheurs de l'entreprise doivent se confronter à plusieurs problèmes : premièrement, faire en sorte de pouvoir entendre ces ultrasons ou du moins, percevoir un son résiduel provenant de ceux-ci. Deuxièmement, diriger l'onde sur une surface 3D et visant l'oreille lorsque celle-ci bouge. Troisièmement, comment créer tout cela avec un petit appareil et un prix abordable

SoundBeamer a également des limites. Il est relativement encombrant, mais selon l'entreprise, dans sa prochaine version, l'appareil sera réduit d'au moins 20 %. Cependant, en raison de la nécessité d'une caméra qui localise l'emplacement des oreilles, elle ne peut pas remplacer les écouteurs de course et de jogging par exemple.

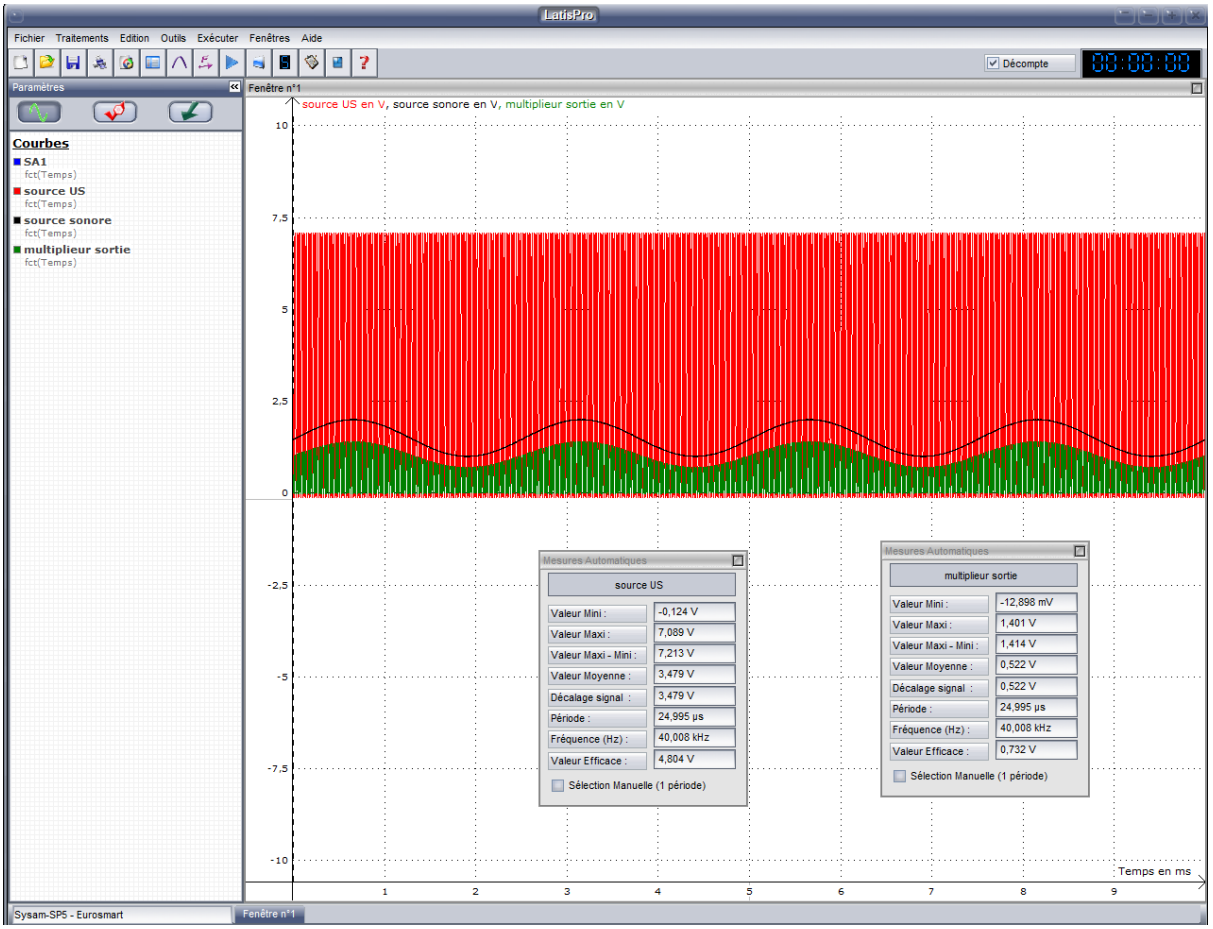
Mais il convient pour les affiches publicitaires aux arrêts de bus, pour travailler devant l'ordinateur depuis la maison, pour les téléviseurs dans les hôpitaux, pour les sièges d'avion et pour les gymnases. Une minimisation drastique des composants pourrait permettre, dans l'étape suivante, son intégration dans les ordinateurs portables, les tablettes et même les smartphones. Permettant ainsi d'entendre tout ce que l'on voudrait de manière confidentielle dans n'importe quel endroit, public comme privé.

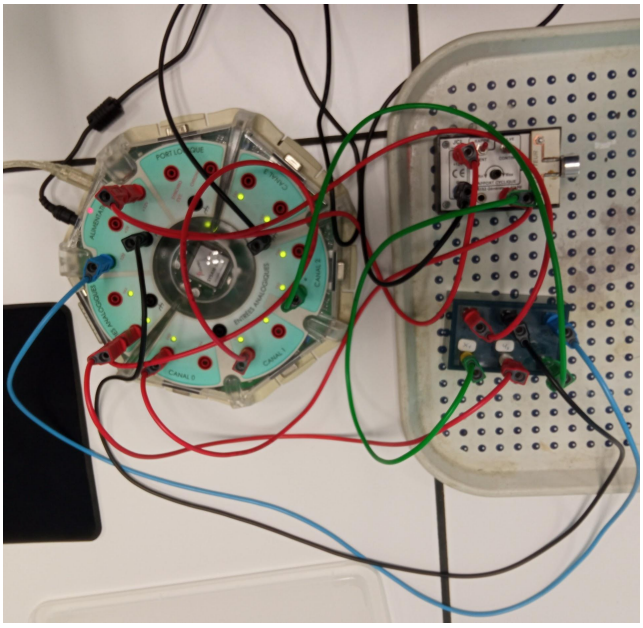
III/ Nos essais expérimentaux :

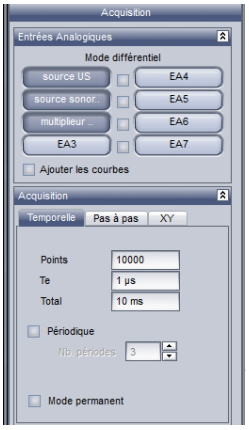
Modulation :

A- Première expérience de modulation :

Notre première expérience utilise le logiciel Latispro pour étudier la modulation d'un signal ultrasonore pour un son. Un émetteur d'ultrason de fréquence 40 kHz est relié à une des entrées d'un multiplieur. Sur l'autre entrée, une fréquence sonore de quelques centaines de Hertz, produite par la carte SYSAM-SP5 d'Eurosmart. L'outil "mesure automatique" du logiciel permet de trouver facilement la fréquence de chaque signal. Nous observons un signal ultrasonore modulé en amplitude, dont l'amplitude varie comme le signal sonore. Nous tendons l'oreille, mais nous n'entendons rien. Ce signal modulé est d'amplitude trop faible pour être perceptible directement à l'oreille.

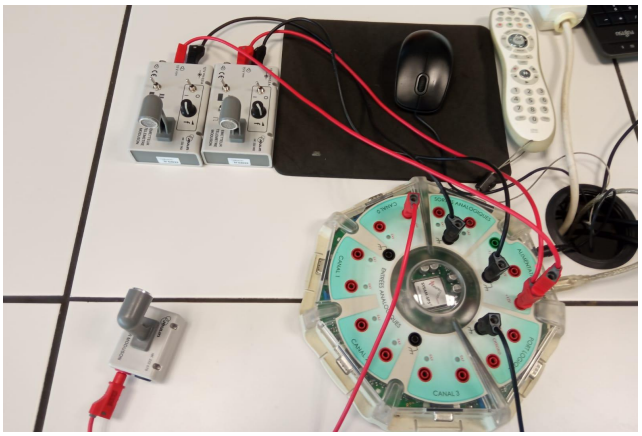






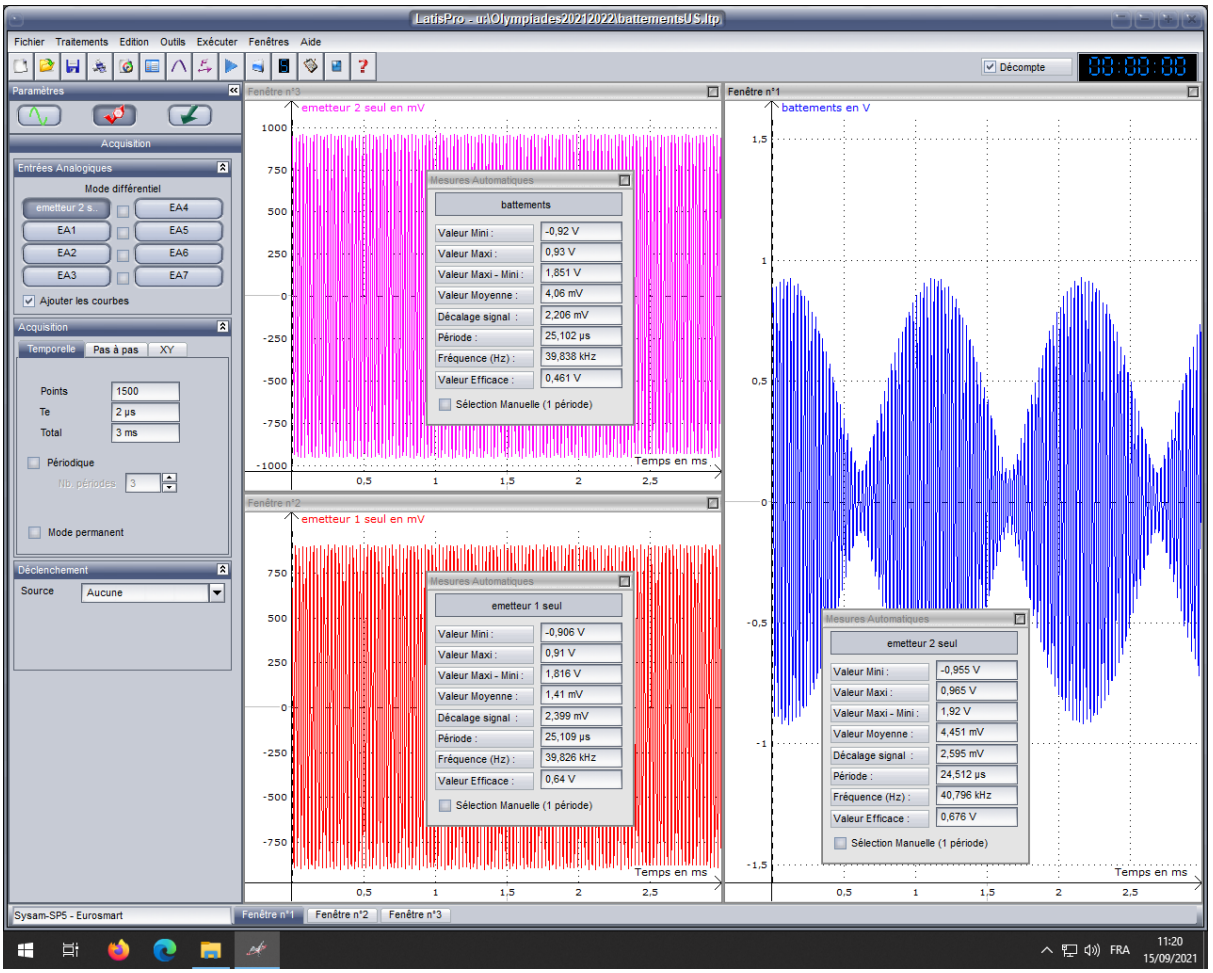
Battements :

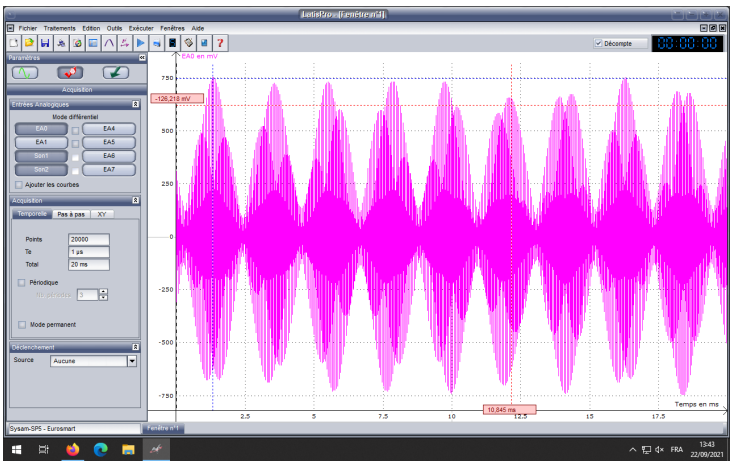
B- Premières expériences de battements



Nous avons réalisé deux expériences de battements, avec les ultrasons tout d'abord puis avec du son. Deux haut-parleurs alimentés par les deux sorties actives de Latispro produisent tout d'abord des ondes sinusoïdales de fréquence 400 Hz et 403 Hz. On obtient des battements de fréquence 3 Hz.

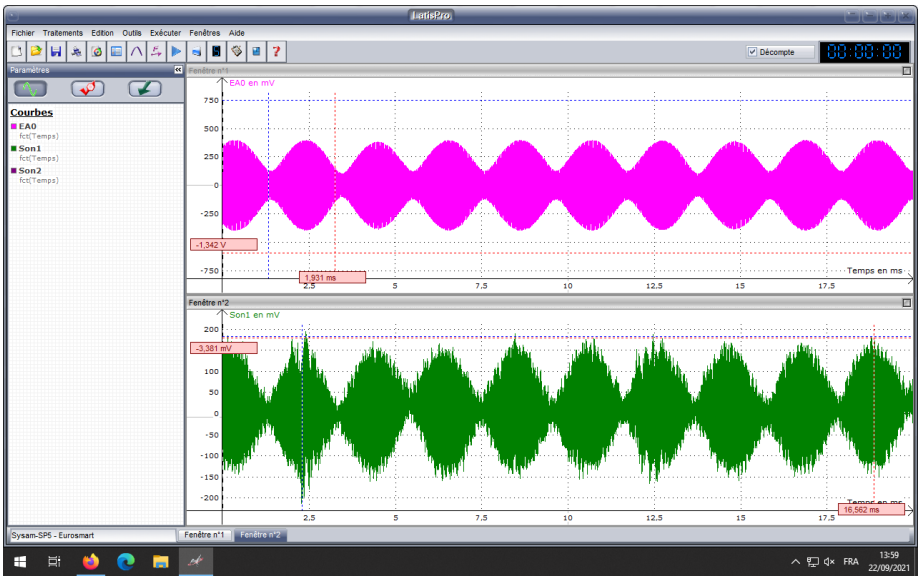
Puis deux émetteurs ultrasonores de fréquences réglables sont placés côte à côte et émettent des signaux de même amplitude, mais de fréquences légèrement différentes. On obtient des battements, dont la période est déterminée au réticule. Leur fréquence est égale à la différence des fréquences des deux signaux. (essais du 22/09)





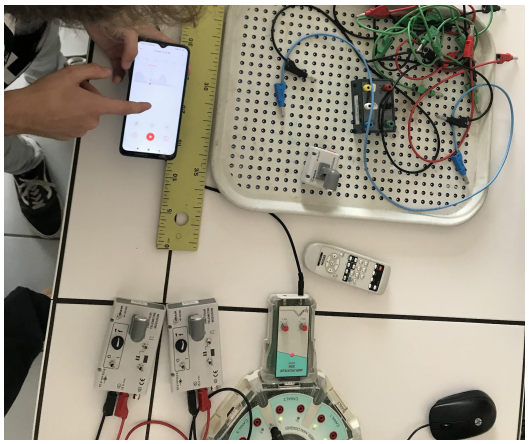
On mesure au réticule 8 pseudo périodes, de 17,1 ms, soit T = 2,14 ms (en ne gardant que 3 chiffres significatifs, car la position du réticule dépend de l'utilisateur). On calcule donc la fréquence f = 467 Hz. Bien que la fréquence soit audible, le bruit ambiant et la puissance des émetteurs ne nous permettent pas d'entendre le son.

Donc nous allons remplacer nos oreilles par un micro, qui nous permettrait de visualiser, ou de vérifier la présence de ce son. On branche un amplificateur sonore et le micro sur Latis pro.



On mesure la période du signal perçu par le micro (en vert) on obtient T= 2,07 ms $+ / - \ 0,05\, ms$ et f = 483 Hz. L'écart entre les deux fréquences est dû à la difficulté de déterminer précisément la période (les formes des signaux sont complexes).

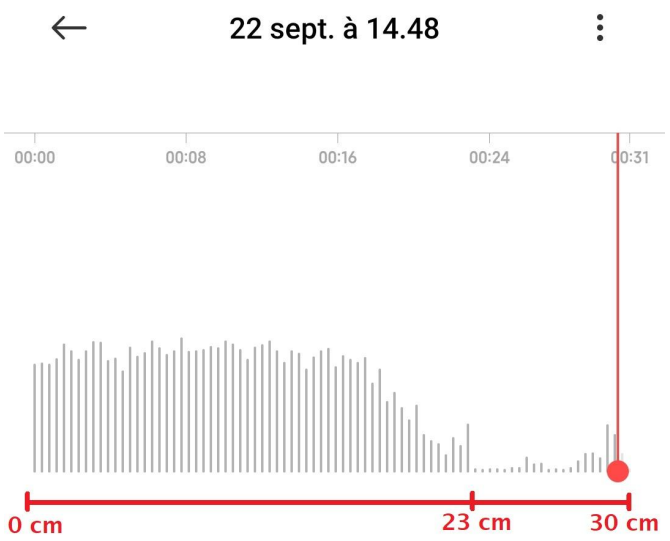
Quand on éloigne le micro des émetteurs ultrasonores, l'amplitude du signal diminue. Cependant, autour de 10 cm des émetteurs, le signal semble plus important qu'avant ou après. Est-ce la localisation de la bulle sonore ? Pour progresser dans notre expérience, nous avons relié le micro à un amplificateur et un haut-parleur et nous l'avons déplacé devant les émetteurs ultrasonores. Un faible sifflement apparaît à 10 cm des émetteurs. Le haut-parleur est pourtant à trois mètres et ce sifflement ressemble à un effet Larsen. Est-ce un échec ?



Nous réessayons en déplaçant un portable devant les émetteurs. On obtient un enregistrement sans Larsen, et dont la fréquence change quand nous modifions les réglages des émetteurs.
Adrien déplace le portable à une vitesse de 1 cm/s sur une distance d'environ 20 cm. Ainsi, nous pouvons visualiser la variation de l'amplitude de la fréquence sur le dictaphone et observer deux coupures. Seraient-ce les limites de la bulle sonore ?

Audio : Premier enregistrement (22 sept. 2021)

Conclusion : Nous avons réussi avec deux émetteurs réglables à ultrasons à créer un son que le téléphone portable reçoit (première expérience réussie le 22 septembre).



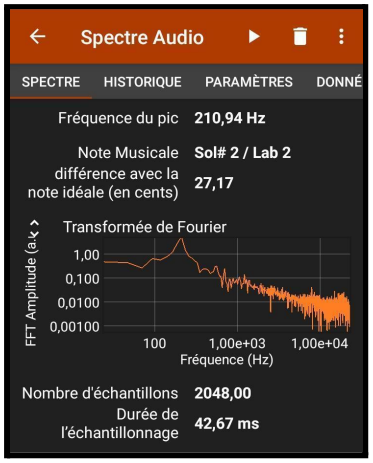
cliquez pour écouter l'enregistrement audio

À l'aide d'une règle graduée, Adrien ayant un micro sur son téléphone a bougé celui-ci lors d'un enregistrement d'1 cm par seconde. Nous avons alors pu voir qu'il y avait une sorte de bulle sonore lors de l'enregistrement du son entre 10 cm et 35 cm des haut-parleurs où l'on perçoit le son.

IV Nos mesures

Nous avons testé ce mercredi 29 septembre, l'application PHYPHOX pour enregistrer les battements et étudier leur intensité sonore. L'application perçoit le signal des battements. L'intensité sonore mesurée change lorsque les émetteurs ultrasonores sont allumés.

Nous allons tracer la carte du niveau d'intensité sonore dans l'espace devant les deux émetteurs. Nous nous sommes retrouvés pour cela le 11 octobre et le 18 octobre.



Les niveaux mesurés sur PHYPHOX sont négatifs, car le niveau de référence n'est pas ici le seuil d'audition, mais la saturation de la carte son (même chose sur Audacity). Il n'y a pas de réglage du niveau de sortie des émetteurs ultrasonores. Seules leurs fréquences sont modifiables avec un potentiomètre non étalonné.

A - Lundi 11 octobre :

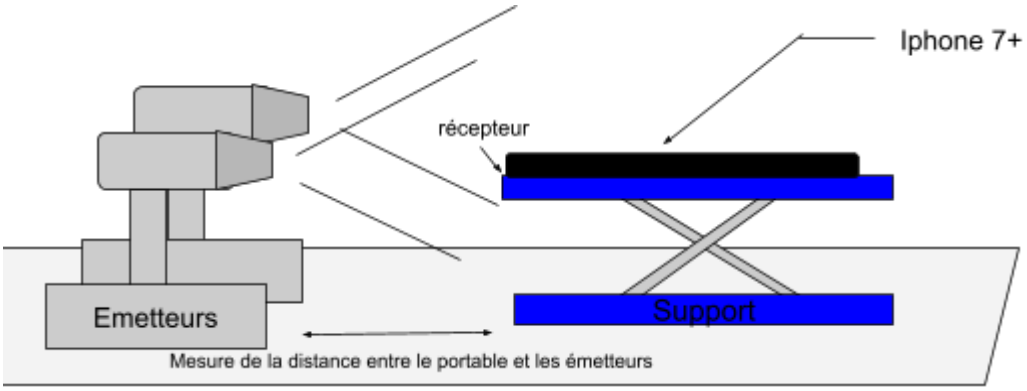
Nous avons, à l'aide de l'application PHYPHOX, réaliser des tests de niveau d'intensités sonore en fonction de la distance émetteurs-micro

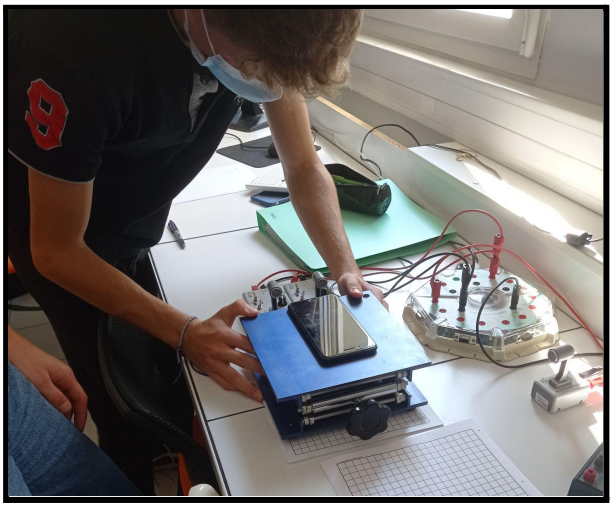
Ici les tests ont été effectués avec un battement autour de 200 Hz. Les émetteurs étant peu précis, la fréquence de battement se situe entre 210 Hz et 197 Hz (mesure au réticule sur Latispro puis sur Phyphox avec l'outil spectre audio.

Mesures n1 : (Iphone 7+), qui comporte 2 microphones

Lors de cette expérience, nous avons placé le portable à la hauteur des 2 émetteurs, puis nous avons alors effectué 8 mesures en éloignant le portable de 1 cm à chaque nouvelle mesure. Nous nous sommes alors très vite rendu compte que l'angle séparant les 2 émetteurs influait sur le niveau d'intensité sonore perçue par les récepteurs du portable. Nous avons alors pensé qu'il serait judicieux de prendre les mesures avec un autre modèle de portable ne comportant qu'un seul microphone : un Xiaomi Redmi 9.

Schéma du montage de l'expérience n1 :



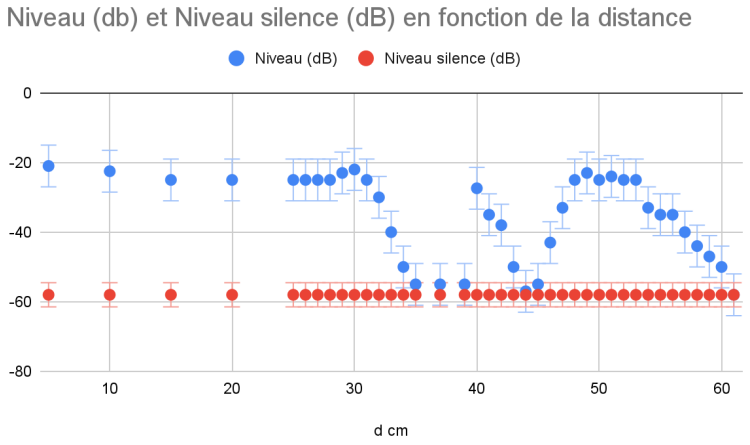


Expérience annexe :

Étant donné l'heure des expériences, le bruit ambiant nous a à maintes reprises obligés d'arrêter nos mesures. Pour y remédier, nous avons essayé de trouver des solutions. Comme entourer la paillasse avec des vestes, des manteaux, des plaques de polystyrène, ou bien encore du carton. Malgré cela, nous n'avons pas réussi à obtenir une isolation suffisante du bruit ambiant. Nous avons donc choisi de ne pas utiliser ces matériaux et d'attendre le silence entre les différents mouvements extérieurs.

Mesures n2 : (Xiaomi Redmi 9), qui comporte 1 microphone

Pour cette deuxième série de mesures, nous avons utilisé un battement à 200 Hz
Voici le graphe qui représente cette série de mesures :



Sur Phyphox, le niveau d'intensité sonore est calculé par rapport à la saturation de la carte son, c'est pourquoi nous obtenons des valeurs négatives.

Ces résultats pour des battements à 200 Hz nous montrent :

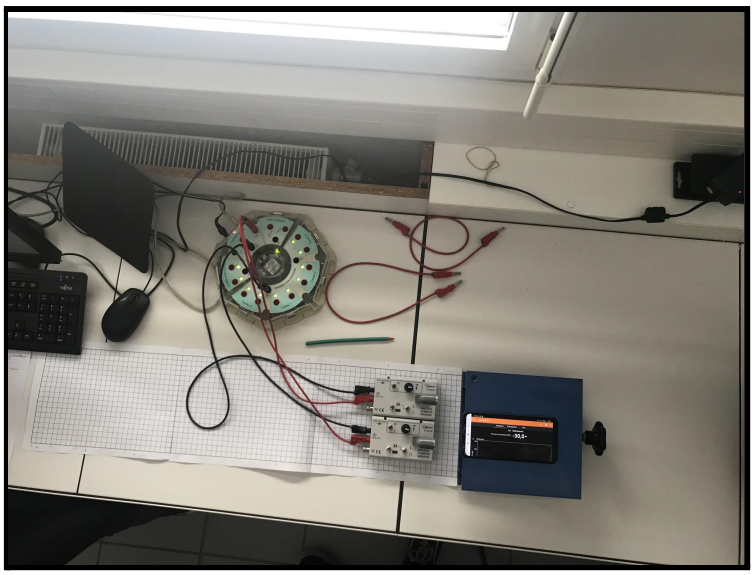
- Un palier de niveau d'intensité sonore élevé, proche de - 25 dB, que l'on retrouvera dans la bulle autour de 50 cm.
- Deux zones de faible niveau d'intensité sonore entre 34 cm et 39 cm et autour de 43 cm
- Une extinction du signal après 60 cm

Le niveau d'intensité sonore doit diminuer avec la distance pour une simple atténuation géométrique. Or ce n'est pas ce que nous observons. L'énergie des ondes sonores (et donc l'intensité sonore) diminue avec le carré de la distance à la source du son. En d'autres mots, si vous vous éloignez de 200 mètres d'une source, le niveau sonore sera normalement un quart de celui à 100 m de distance. En doublant la distance, le niveau sera divisé par 6. Nos résultats montrent donc que nous n'avons pas une simple atténuation géométrique.

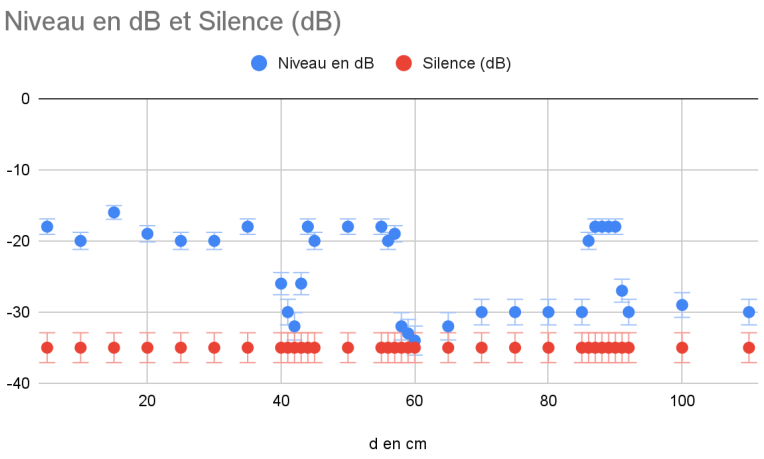
B- Lundi 18 octobre :

Durant cette séance, nous avons décidé de continuer nos mesures. À chaque mesure, nous éloignions les émetteurs de 5 cm du microphone du portable. Grâce à cela, nous avons pu nous rendre compte que les nouvelles mesures concordent avec les résultats étonnants de la dernière séance !

Photo de l'expérience :



Valeurs obtenues (400 Hz) :

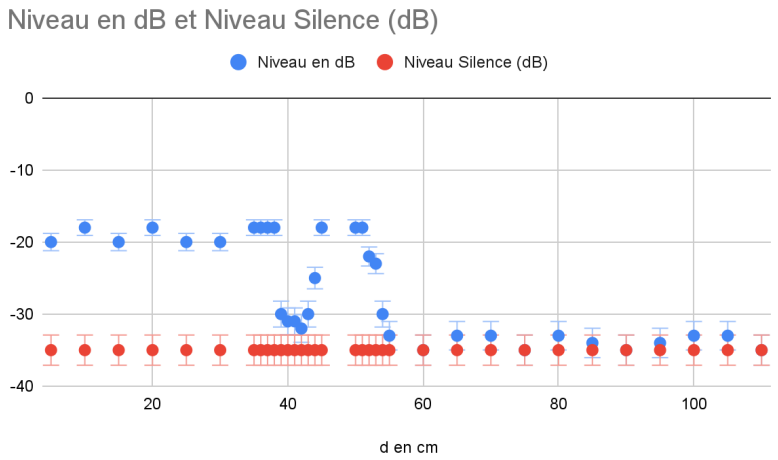


Ces résultats pour des battements à 400 Hz nous montrent :

- Un palier de niveau d'intensité sonore élevé, proche de - 20 dB, que l'on retrouvera dans les bulles autour de 50 cm et 90 cm.
- Deux zones de faible niveau d'intensité sonore entre 58 cm et 89 cm et autour de 43 cm
- Une extinction complète du signal après 97 cm.

Nous n'avions pas mesuré le niveau au-delà de 60 cm pour les battements à 200 Hz, ce qui explique que nous n'avions pas perçu la dernière bulle, ici entre 86 cm et 94 cm. Il est très difficile au lycée d'obtenir le silence nécessaire pour nos mesures.C'est vraisemblablement pour cela que nous n'avons pas retrouvé à la fin de l'expérience, le niveau sonore du silence initial.

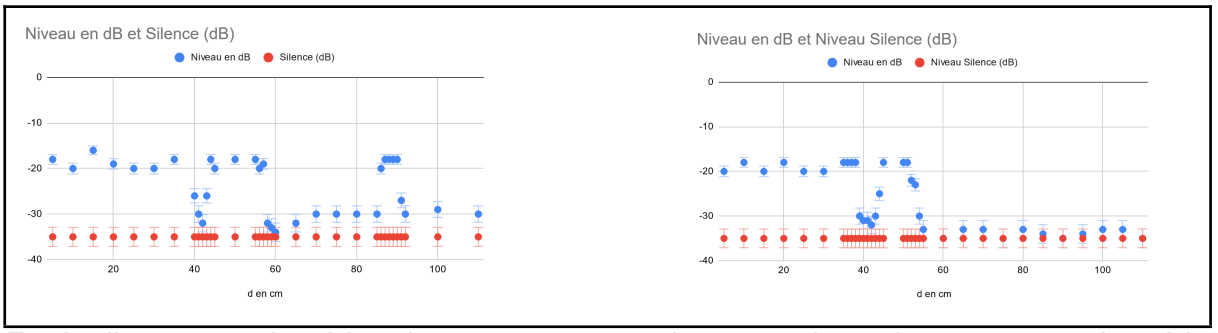
Valeurs obtenues (800 Hz) :



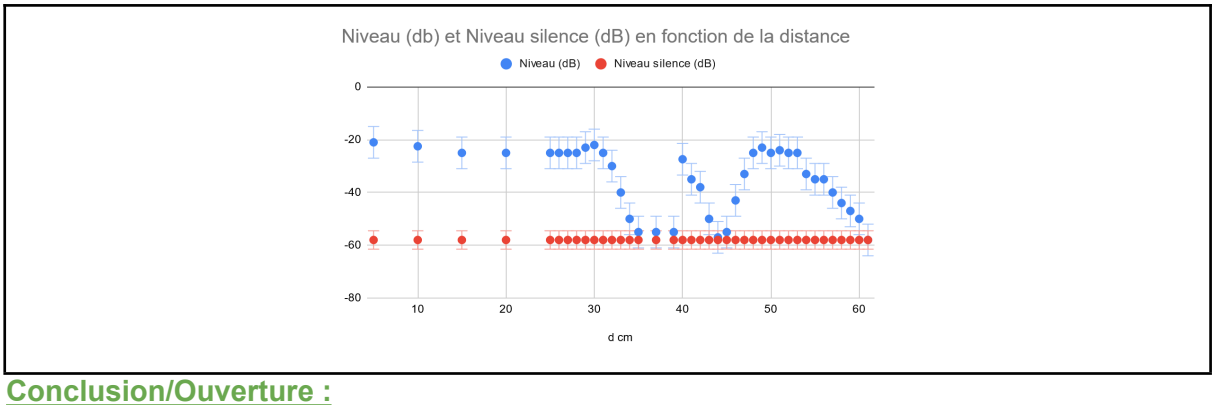
Dans la même foulée, nous avons effectué des mesures pour une valeur de 800 Hz, dont voici le graphique.
Ces résultats pour des battements à 800 Hz nous montrent :

- Un palier de niveau d'intensité sonore élevé, proche de - 20 dB, que l'on retrouvera dans la bulle autour de 50 cm.
- Une zone de faible niveau d'intensité sonore autour de 43 cm
- Une extinction complète du signal après 60 cm.

Interprétations :



En étudiant nos trois séries de mesures, nous observons des points communs. La série commence toujours par un palier de niveau sonore élevé, puis par une bulle sonore, clairement définie autour de 50 cm.
S'ensuit aux alentours de 90 cm, une deuxième bulle sonore pour des battements à 400 Hz et une bulle autour de 40 cm pour les battements à 200 Hz. Nos mesures mériteraient d'être reproduites pour vérifier la présence de ces deux phénomènes



Conclusion/Ouverture :

En se fiant aux mesures effectuées le 11 et le 18 octobre, nous pouvons conclure de la présence de trois phénomènes :

- Un palier audible, à la sortie des émetteurs.
- Une première bulle sonore, dont la distance entre son centre et les émetteurs reste plutôt stable en fonction de la fréquence.
- Une deuxième bulle sonore, dont la distance entre son centre et les émetteurs dépend grandement de la fréquence. Son existence est à vérifier

Si nous n'observons pas de deuxième bulle sonore dans notre série à 800 Hz, c'est sûrement car elle se trouve hors de la plage de valeurs observées.

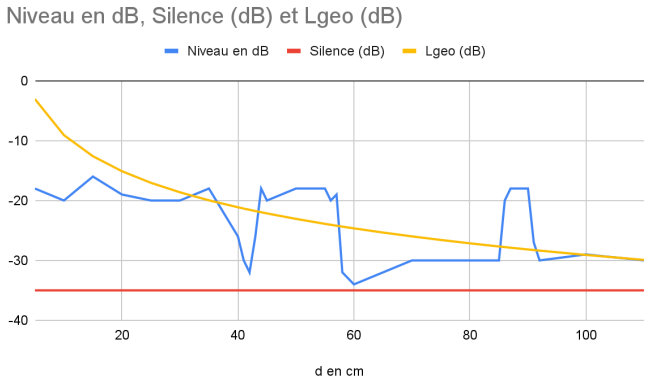
Sans le phénomène de bulle sonore, le niveau d'intensité sonore aurait dû diminuer avec la distance. C'est le phénomène d'atténuation géométrique. Or ce n'est pas le cas. Nous avons donc mis en évidence l'effet des interférences entre les deux ondes ultrasonores et le phénomène de bulle sonore.

C- Comparaison avec le phénomène d'atténuation géométrique

Nous avons ajouté la courbe du calcul de la diminution du niveau sonore en fonction de la distance à la source, lorsqu'il n'y a pas d'interférence.

$$L = 10\,log\frac{P}{I_0 4\pi r^2}$$

La formule de calcul est =10*LOG10(0,0155/(4*3,14*(A2*A2/10000))) avec A2 la cellule contenant la distance à la source. Nous avons choisi le coefficient 0,0155 par tâtonnement. Il correspond à P/I_0. Nous l'avons choisi pour que les dernières mesures après 100 cm correspondent au niveau sonore calculé.



La comparaison des courbes :

- Un niveau expérimental plus faible à petite distance de la source
- Une évolution du niveau expérimental qui ne correspond pas du tout à celui de l'atténuation géométrique. Cela peut être dû aux interférences entre les sources ultrasonores.

Seul PhyPhox et le téléphone portable permettent de faire ces mesures. Or la notice du logiciel signale son imprécision. Nos mesures sont donc à confirmer. Pour cela nous espérons les reproduire avec plus de puissance et utiliser le sonomètre du lycée.

Conclusion et perspectives:

Ce projet a été passionnant depuis le début et est toujours en cours. Il était très motivant de rechercher une bulle sonore et enfin de l'entendre grâce à la technologie des cartes sons de nos téléphones. Nos expériences ont montré la présence d'un signal sonore d'amplitude plus importante dans plusieurs zones de l'espace devant notre montage.

Nous devons vérifier et reproduire nos mesures, un jour où le lycée sera vide d'élèves, d'enseignants et d'agents d'entretien avec des mesures sur plus d'un mètre de distance avec un pas de 1 cm. Nous ferons aussi une mesure avec un seul émetteur, sans interférences, pour étudier l'atténuation géométrique. Nous espérons pouvoir vous les montrer le jour du concours.

Monsieur Thomas Hélie, directeur de recherche au CNRS nous a expliqué que la technique des bulles sonores n'est pas récente et s'appuie sur des recherches qui ont plus de 20 ans. Pour obtenir ces bulles, les expérimentateurs sont obligés d'utiliser des ultrasons de très haute intensité, dont le niveau dépasse la centaine de décibels, ce qui peut provoquer des maux de tête. Les acteurs du secteur évitent d'en parler, car ce n'est pas porteur commercialement. Ces hautes intensités ultrasonores permettent l'apparition de bulles sonores car la propagation des ondes devient alors non linéaire.

Ces conditions sont hors de notre portée, mais nous espérons pouvoir améliorer notre modèle et produire une bulle sonore perceptible directement à l'oreille en utilisant un ensemble d'émetteurs pour obtenir plus de puissance.

Sources documentaires :

Les recherches actuelles sur les bulles sonores :
https://www.youtube.com/watch?v=TnmIa28114w

Modulation :https://fr.wikipedia.org/wiki/Modulation_d%27amplitude
http://aluttrin.free.fr/Lycee/Contenu%20lycee/sp%E9cialit%E9/Corrections/Ph_3.2_Modulation/Ph_3.2_modulation_amplitude_prof.htm
https://fr.wikipedia.org/wiki/Radio_AM
https://fr.wikipedia.org/wiki/Interf%C3%A9rence
https://israelvalley.com/2021/05/07/des-bulles-sonores-autour-des-oreilles-la-start-up-israelienne-noveto-innove/

ANNEXE 1 : Les échanges entre Leïla & Adrien et les chercheurs et journalistes

A) Noveto (Adrien)

"Hello,
My name is Adrien, I am a French High schooler in "Bernard Palissy High school, Agen, France",
With some friends and our science professor, we signed up for a national science contest. https://odpf.org/.
Where we plan to present a model of a sound bubble.
Seeing the finished product of your entrepreneurship, we wanted to reach out to you in the hope to obtain contact with your science team.

Thank you for your time,
Adrien G. and all the team of Bernard Palissy 2021"

B) Akoustik Art (Adrien)

"Bonjour,
Je suis lycéen en Terminale au lycée Bernard Palissy à Agen,
Avec mon lycée, nous avons postulé aux Olympiades de Physiques, un concours national. https://odpf.org/
Il est prévu que nous présentions un modèle de bulle sonore.
Après avoir vu votre enceinte directionnelle, nous nous demandions s'il était possible, dans le cadre de nos recherches, d'obtenir une interview sur le phénomène scientifique derrière votre enceinte.

Merci pour votre temps,

Adrien G. et toute l'équipe des olympiades au lycée Bernard Palissy 2021"

noveto - info@noveto.com
Akoustikart - via le site

Lettre à Muriel Valin (rédactrice de l'article des bulles sonores)

Bonjour,
Je suis élève du Lycée Bernard-Palissy à Agen. Avec quelques élèves de Terminal et un professeur de Physique-Chimie je participe à un projet des Olympiades de Physique qui consiste à la présentation d'un projet et des recherches menées pour y arriver. Pour présenter les recherches nous devons nous aider d'un mémoire. Je vous contacte aujourd'hui car vous êtes la rédactrice d'un article sur lequel nous avons basé nos recherches. Le sujet des bulles sonores nous a fasciné. Nous voudrions savoir s'il est donc possible d'établir des contacts entre vous et l'équipe des Olympiades pour tenter d'en savoir un peu plus sur vos découvertes.

Cordialement,
Gagne L.

Lettre à Akoustik Art Paris

Bonjour, je vous contacte en tant qu'élève de Terminale au Lycée Bernard-Palissy à Agen. Quelques élèves, mon professeur de Physique-Chimie et moi-même nous sommes réunis dans le cadre de la construction d'un projet expérimental en Physique pour la participation aux Olympiades de Physique. Vos créations à partir des bulles sonores et la science qui les entoures nous intéressent. Pourriez vous nous aiguiller et nous parler de vos découvertes?
Pour toutes réponses veuillez me contacter à l'adresse mail suivante:
leila.vmc.gagne@gmail.com

Très cordialement,

Leïla Gagne

Noveto:

noveto@thecircuitboard.net

Hello,

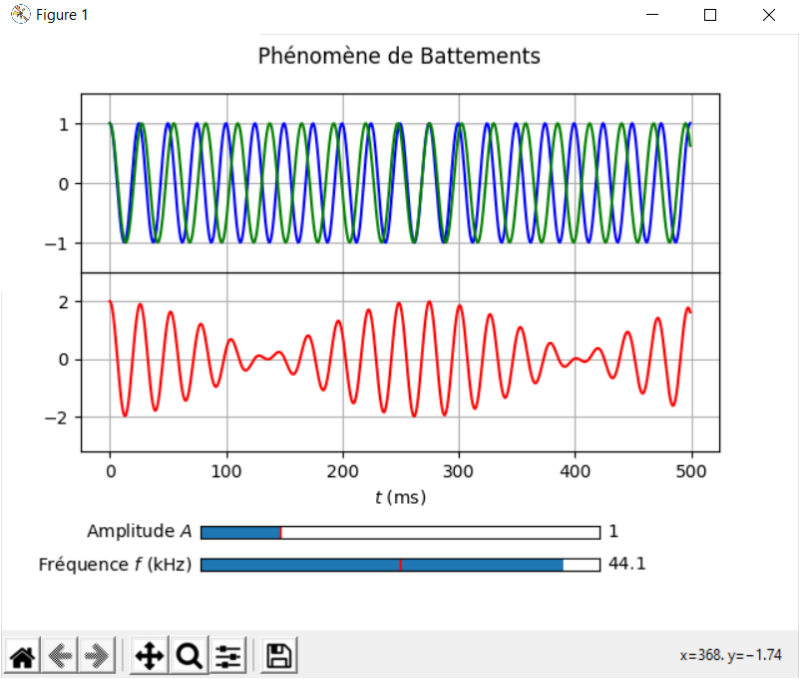
I'm a senior in Bernard-Palissy high school in Agen. Some students, my Physics Teacher and I are participating in an event named "Olympiades de Physique" and it consists of

presenting an experiment/project about any physics topics we want. We chose to speak about sound bubbles and that's why we're reaching out to you. We were wondering if it would be possible to get interviews or to establish a contact in order to get answers to our big amount of questions.

All my regards,

Gagne Leïla

ANNEXE 2: programme python de modélisation des battements par Adrien




```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from matplotlib.widgets import Slider


#Fonction d'actualisation des courbes
def update(val):

    '''Cette fonction actualise les courbes en fonction des sliders'''

    y2=A.val*np.cos(2*np.pi/((F.val)/40)*time)
    p2.set_ydata(y2)
```

```
    y3=A.val*np.cos(2*np.pi/((40)/40)*time)+ A.val*np.cos(2*np.pi/((F.val)/40)*time)
    p3.set_ydata(y3)

#Initialisation des valeurs
initial_A = 1.0
initial_T = 1.0
initial_T2 = 1.0

#définition des courbes initales
time=np.linspace(0.,20.,500)

y1=initial_A*np.cos(2*np.pi/initial_T*time)
y2=initial_A*np.cos(2 * np.pi / initial_T2 * time)
y3=y1+y2

#ccréation du plot
fig = plt.figure()

ax1 = fig.add_axes([0.1, 0.5, 0.8, 0.4],xticklabels=[], ylim=(-1.5, 1.5))
ax2 = fig.add_axes([0.1, 0.1, 0.8, 0.4],ylim=(-3.2, 3.0))

fig.suptitle('Phénomène de Battements')

p1, = ax1.plot(y1, '-b')
p2, = ax1.plot(y2, '-g')
p3, = ax2.plot(y3, '-r')

ax2.set_xlabel('$t$ (ms)')
ax1.grid()
ax2.grid()

#ajustements des positions des deux subplots (axes)
ax1.set_position([0.1, 0.6, 0.8, 0.3])
ax2.set_position([0.1, 0.3, 0.8, 0.3])

#création des sliders
rectangle_a = plt.axes([0.25, 0.1, 0.5, 0.02])
F = Slider(rectangle_a, 'Fréquence $f$ (kHz)', 35,45, valinit=40)

rectangle_b = plt.axes([0.25, 0.155, 0.5, 0.02])
A = Slider(rectangle_b, 'Amplitude $A$', 0, 5, valinit=initial_A)

#Mise à jour des sliders
F.on_changed(update)
A.on_changed(update)

plt.show()
```

ANNEXE 3: Nos tableaux de mesures

Pour des battements à 200 Hz:

d cm	Niveau (db)	Niveau silence (dB)
5	-21	-58
10	-22,5	-58
15	-25	-58
20	-25	-58
25	-25	-58
26	-25	-58
27	-25	-58
28	-25	-58
29	-23	-58
30	-22	-58
31	-25	-58
32	-30	-58
33	-40	-58
34	-50	-58
35	-55	-58
37	-55	-58
39	-55	-58
40	-27,4	-58
41	-35	-58
42	-38	-58
43	-50	-58
44	-57	-58
45	-55	-58
46	-43	-58
47	-33	-58
48	-25	-58
49	-23	-58
50	-25	-58
51	-24	-58
52	-25	-58

53	-25	-58
54	-33	-58
55	-35	-58
56	-35	-58
57	-40	-58
58	-44	-58
59	-47	-58
60	-50	-58
61	-58	-58

Pour les battements à 400 Hz:

d en cm	Niveau en dB	Silence (dB)
5	-18	-35
10	-20	-35
15	-16	-35
20	-19	-35
25	-20	-35
30	-20	-35
35	-18	-35
40	-26	-35
41	-30	-35
42	-32	-35
43	-26	-35
44	-18	-35
45	-20	-35
50	-18	-35
55	-18	-35
56	-20	-35
57	-19	-35
58	-32	-35
59	-33	-35
60	-34	-35
65	-32	-35
70	-30	-35
75	-30	-35
80	-30	-35
85	-30	-35
86	-20	-35
87	-18	-35
88	-18	-35

89	-18	-35
90	-18	-35
91	-27	-35
92	-30	-35
100	-29	-35
110	-30	-35

Pour les battements à 800 Hz:

d en cm	Niveau en dB	Niveau Silence (dB)
5	-20	-35
10	-18	-35
15	-20	-35
20	-18	-35
25	-20	-35
30	-20	-35
35	-18	-35
36	-18	-35
37	-18	-35
38	-18	-35
39	-30	-35
40	-31	-35
41	-31	-35
42	-32	-35
43	-30	-35
44	-25	-35
45	-18	-35
50	-18	-35
51	-18	-35
52	-22	-35
53	-23	-35
54	-30	-35
55	-33	-35
60	-35	-35
65	-33	-35
70	-33	-35
75	-35	-35
80	-33	-35
85	-34	-35

90	-35	-35
95	-34	-35
100	-33	-35
105	-33	-35
110	-35	-35