

PEN :
(Projet Expérimental et Numérique)
L'ultrason

Selim HARZALLAH, Wassim MAKNI, Arij MOALLA, Sophie GAYES,
élèves de 1ère7

27 Janvier 2021

Résumé

Cet article a été réalisé dans le cadre du Projet Expérimental et Numérique en enseignement scientifique. Ce dernier a pour objectif de nous familiariser à l'utilisation d'un capteur. Puis, de procéder à la récolte de données ainsi qu'à son traitement mathématique. Ces expériences imaginées par les élèves doivent inévitablement être en lien avec le thème choisi (par le choix de capteur) et répondre à une problématique qu'ils posent. Ce projet nous porte à la recherche scientifique. Ainsi, afin de mieux saisir le thème choisi (l'ultrason) nous avons d'abord procédé à des recherches approfondies avant de mettre en place 3 expériences.

Table des matières

1	Introduction	2
1.1	Que sont au juste les ultrasons?	2
1.2	Petite Histoire des ultrasons.	3
1.3	Paul Langevin et le triplet Langevin.	3
2	Problématique	4
3	Hypothèses	4
4	Réponses aux hypothèses	4
4.1	Utilité principale.	4
4.1.1	Évolution de l'utilité des ultrasons	4
4.1.2	Repérage d'obstacles	4
4.2	Utilisation en milieu industriel.	5
4.2.1	Nettoyage et dégraissage	5
4.2.2	Le soudage par ultrasons	6
4.2.3	L'usinage	6
4.3	Utilisation en médecine et en santé.	7
4.3.1	Diagnostic	7
4.3.2	Ultrasonothérapie	7
4.4	Lithotripsie	8
4.5	Vraiment ? Chez les animaux ?	9
5	Expériences	10
5.1	Expérience 1 : Déterminer la vitesse d'un ultrason	10
5.2	Expérience 2 : Exploiter le capteur comme sonar	13
5.3	Expérience 3	15
6	Conclusion	17

1 Introduction

1.1 Que sont au juste les ultrasons ?

Les ondes sonores sont des ondes mécaniques qui nécessitent un support matériel pour se propager. Ainsi, elles peuvent se propager dans différents milieux tels que les gaz, les liquides ou les solides. Toutefois, celles-ci ne se propagent pas dans le vide. Car, elles correspondent à une succession de compressions et de dilatation des molécules d'air (comme réagirait un ressort comprimé). Les ondes sonores audibles par l'Homme sont des ondes périodiques dont la gamme de fréquences est comprise entre 20 Hertz (noté Hz) et 20000 Hz. Si la fréquence est plus élevée que 20000 Hz, on se trouve dans le domaine des ultrasons, ces derniers sont d'ailleurs émis par les chauves-souris. Mais, si cette fréquence est inférieure à 20 Hz, alors il s'agira d'infrasons, qui eux sont naturellement émis par les éléphants. Par ailleurs, la vitesse de propagation du son dépend du milieu dans lequel il se propage (dans une température de 15°C elle avoisine les 340 m/s). Le principe de l'utilisation d'ultrasons s'initie par l'envoi d'une onde sonore par l'émetteur en direction de l'objet qui rebondira sur

sa paroi en faisant un effet d'écho et sera interceptée par le récepteur. Ainsi, le capteur pourra calculer le temps que l'onde a mis pour lui parvenir et par la suite connaître la distance qui le sépare de l'objet. En effet, plus l'objet est proche plus l'onde mettra de temps à lui parvenir et inversement.

1.2 Petite Histoire des ultrasons.

En ce qui concerne les hautes fréquences du son, et l'existence des ultrasons, c'est Lazzaro Spallanzani (biologiste italien et directeur du Musée d'histoire naturelle de Pavie (en Italie)) qui, en 1794, publie ses travaux sur la chauve-souris. Il démontre alors leur capacité à se déplacer dans l'obscurité de manière extrêmement précise (notamment grâce à la réflexion d'un son inaudible). Il existe des matériaux notamment les cristaux qui ont une propriété naturelle d'émettre une charge électrique lorsqu'ils sont comprimés ou étirés. Pierre et Jacques Curie sont à l'origine de cette découverte et l'expérimentation sur le quartz. Ce phénomène est alors appelé piézo-électricité ("piézein" en grec, signifie presser). Un an plus tard, Gabriel Lippmann (physicien français) énonce l'existence de l'effet inverse. C'est-à-dire qu'en fournissant une décharge électrique à l'un des cristaux, ce dernier se déforme. En 1885, les deux frères Curie font construire un instrument appelé quartz piézo-électrique qui servirait à différents usages notamment d'électricité (en petite quantité). Mais cela ne s'arrêta pas là ! Bien au contraire ...

Fessenden, un ingénieur dans la communication marine (dans la Submarine Signal Company) a construit un outil expérimental dès 1912, un oscilateur qui a été testé à bord en 1914. Cela a permis de réaliser des sondages en profondeur, mais aussi des communications (en Morse) ainsi qu'une détection d'obstacle, appelée télémétrie d'écho (ce qui a d'ailleurs été concluant à la localisation un iceberg à 3,2 km).

Paul Langevin (physicien et philosophe des sciences du fin XIXème et début XXème) est un ancien élève de Pierre Curie. Durant la Première Guerre mondiale, en 1916, ce dernier invente le premier sonar sur la base de l'effet piézoélectrique inverse. En effet, si l'on soumet le quartz à des charges électriques celui-ci se comprime puis s'étire, cela s'apparente en physique à des oscillations, ce qui est à l'origine de l'émission d'ultrasons.

1.3 Paul Langevin et le triplet Langevin.

La grande histoire du célèbre physicien français Paul Langevin connu pour ses travaux sur le magnétisme commence pendant la Première Guerre mondiale . En effet, c'est en pleine guerre que la France doit faire face à une nouvelle menace : les sous-marins ennemis détruisent les navires français. C'est donc au physicien Paul Langevin à qui on doit la solution de la création du sonar en 1915. Celui-ci fonctionne grâce à un cristal de quartz qui a permis de changer le cours de l'histoire. Ce cristal aussi appelé cristal piézoélectrique est utilisé sur un émetteur sous la forme d'une lame. De ce fait, lorsqu'on soumet le quartz à un courant électrique, il se met à vibrer exactement à la même fréquence que le courant. Et quand l'écho revient sous forme de vibration, le quartz les traduit en courant électrique. Ces aller et retour des ondes révèlent ainsi, ce qui se trouve

en dessous et autour du navire. Afin de canaliser le son, les chercheurs ont utilisé une fréquence plus élevée et une note plus aiguë, cela a donc permis de produire des petits faisceaux qui se dirigeront vers la direction voulue.

2 Problématique

En quoi l’ultrason contribue-t-il à notre vie ?

3 Hypothèses

- Utilité principale.
- Utilisation en milieu industriel.
- Utilisation en médecine et en santé.
- Vraiment ? Chez les animaux ?

4 Réponses aux hypothèses

4.1 Utilité principale.

4.1.1 Évolution de l’utilité des ultrasons

Cette technologie a été mise au point en 1910 par Paul Langevin (physicien, philosophe des sciences et pédagogue du fin XIXème, début XXème siècle) avec pour but de détecter les sous-marins lors de la Première Guerre mondiale. Les ultrasons aussi puissants qu’ils peuvent être peuvent s’avérer dangereux, notamment selon l’utilisation qui en est faite. D’ailleurs, on les a également utilisés afin de causer des lésions aux soldats ennemis au niveau des organes. Les ultrasons ont depuis, voyagé à travers les époques. De nos jours, cette innovation a grandement été améliorée dans le dessein d’aider avec un rôle beaucoup plus important. En effet, celle-ci peut non seulement aider les personnes en difficulté notamment aveugles, mais peut aussi être utile pour servir comme radar pour automobile.

4.1.2 Repérage d’obstacles

Cette pratique se fonde sur le principe de la propagation des ondes à l’aide d’un capteur ultrason. Celles-ci sont réfléchies lorsqu’elles rencontrent d’un obstacle. Pour un véhicule par exemple, quelques capteurs sont placés au niveau du pare-chocs. Ces derniers transmettent une série d’impulsions ultrasoniques. Ensuite, les ondes réfléchies sont reçues par les mêmes capteurs employés alors, comme des récepteurs. Nous pouvons déterminer la distance entre l’émetteur et l’obstacle grâce à la réception de l’écho et la vitesse de cet ultrason. Mais, qu’est ce qu’un capteur ?

Le capteur est un instrument de mesure qui capte (en input) un phénomène en grandeur physique et restitue (en output) un signal électrique.

Voici quelques exemples de capteurs : lumière, présence, température, humidité...

Le capteur ultrason que l’on utilisera avec arduino est l’HC 05, voici ses informations essentielles (pour de plus amples informations à propos de l’HC 05,

nous vous invitons à consulter son datasheet).

- Tension : 5 V
- Intensité : 20 mA
- Fréquence sonore : 40 Hz
- Portée maximale : 20 – 10 m

Sachant que la célérité du son dans l'air est $c = 340$ m/s, ici d correspond à la distance de l'aller ainsi que du retour. On en déduit alors que d'après la relation :

$$d = v \cdot \frac{t}{2}$$

Application concrète de l'ultrason en tant que sonar : L'ultrason dans le monde de l'automobile permet d'élargir le champ de vision avec souvent plus de précision. Le capteur à ultrasons souvent est disposé au niveau des rétroviseurs ou encore des pare-chocs avant et arrière, cela permet alors de minimiser les risques de collision que cela soit avec des piétons ou autres automobilistes. Ainsi, le conducteur est informé de la distance qui le sépare d'autrui. D'ailleurs, "Robot", un robot conçu par des chercheurs de l'université de Tel-Aviv (dont Itamar Eliakim), a la capacité de réaliser une cartographie extrêmement précise des éléments qui l'entoure. Ce, sur un système d'écholocalisation, similaire à un sonar qui sonde de ce fait son environnement.

4.2 Utilisation en milieu industriel.

Les ultrasons sont essentiels dans le monde industriel. En effet, ils permettent le nettoyage par ultrasons : entre autres l'émulsification, le soudage ainsi que le brassage, sans omettre le repérage de défauts dans les métaux.

4.2.1 Nettoyage et dégraissage

Plus besoin de gratter, brosser, laver, la machine de nettoyage : ultrason s'en charge. C'est ainsi que cette méthode devient de plus en plus utilisée comme nouvelle technique de nettoyage en milieu industriel. Puisque celle-ci ne nécessite aucune intervention humaine, on dit qu'elle est automatique. De plus, elle effectue la tâche en un minimum de temps.

Techniquement : Cela consiste à plonger les pièces dans une cuve (remplie de produit nettoyant), le liquide est ensuite chauffé. Puis, débute l'émission d'ondes, ce qui produit des vibrations au niveau des pièces à nettoyer. En réalité, le transducteur reçoit de l'énergie électrique qui permet de provoquer ces mêmes vibrations d'ondes ultrasonores (pouvant varier entre 20 et 50 kHz soit $20 \cdot 10^3$ à $50 \cdot 10^3$ Hz, à une intensité d'environ 1 à 6 W/cm² de surface exposée). Ainsi, plusieurs millions de minuscules bulles se créent, puis implosent dans ce même liquide, libérant alors une énergie ultrasonique. Permettant alors de décoller la crasse la graisse et diverses autres saletés même dans les zones difficiles d'accès en temps normal.

Par ailleurs, sur la base du même procédé, les ultrasons ont aussi fait évoluer la stérilisation de liquides (permettant de ce fait, à détruire les germes microbiens).

4.2.2 Le soudage par ultrasons

C'est vers les années 1960 que le soudage des matières plastiques par ultrasons fut créé. Aujourd'hui, on s'en sert pour l'assemblage de jouets, d'appareillages divers et de pièces thermoplastiques(cela désigne les matières ayant la propriété de se ramollir une fois chauffées suffisamment, mais qui, refroidit redevient dure).

Afin que la chaleur soit suffisamment grande pour assurer le soudage de plastique, les fréquences se doivent d'être supérieures à 20 kHz (soit $20 \cdot 10^3$ Hz) et à des intensités au-delà de $20\text{W}/\text{cm}^2$. D'ailleurs comme dans le précédent exemple, un des principaux avantages à soulever est son automatisation, sa rapidité ainsi que sa précision (aussi, il serait pertinent de préciser que les soudures par ultrason peuvent évidemment atteindre des zones a priori inaccessibles par l'Homme).

Techniquement : Des ondes de pression sont d'abord produites par un générateur. Puis, celui-ci envoie un courant alterné de la même fréquence au transducteur. Ce dernier les transforme alors, en vibrations mécaniques qui vont générer une chaleur au niveau de la zone de la soudure du plastique et ainsi exciter ses molécules. De ce fait, le plastique s'assouplit et fond ; permettant aux composants de se lier. L'action de soudage est réalisée par la sonotrode ¹.

L'énergie produite lors d'une soudure ou d'un découpage est ici exprimée en fonction de l'amplitude sonore (notée A), de la pression appliquée aux matériaux (notée P) ainsi que du temps (noté T) : $E = P \cdot A \cdot T$.

La machine à souder par ultrasons est composée :

- d'un dispositif de fixation (maintient les pièces à souder).
- d'un transducteur (génère les ondes haute fréquence).
- d'une sonotrode.

Les fréquences utilisées varient entre 20 et 70 kHz (soit entre $20 \cdot 10^3$ et $70 \cdot 10^3$ Hz) et les amplitudes des vibrations varient entre 10 et 120 μm (soit entre $10 \cdot 10^{-6}$ et $120 \cdot 10^{-6}\text{m}$), selon le type de matériel et la topologie des pièces à assembler.

4.2.3 L'usinage

L'usinage est le procédé de fabrication de pièces. Ce dernier consiste à enlever peu à peu la matière afin de concevoir la pièce voulue. Ainsi, l'usinage se base sur trois manières pour enlever la matière. Soit, le cisaillement, l'érosion ainsi que l'abrasion. D'ailleurs, en ce qui concerne l'usinage ultra-sonore nous

nous intéresserons à l'usage de l'ultrason dans le processus d'abrasion. Ce qui consiste à user le matériau par frottement entre deux surfaces. Ainsi de microscopiques fragments se détachent peu à peu et prennent à leur tour le rôle d'abrasif.

1. Pièce métallique qui dépend des ondes ultra-sonores, ce dernier permet de transmettre cette énergie vibratoire à un élément (gaz, liquide, tissus ou solide).

Techniquement : Le procédé d'abrasion utilise des particules abrasives, la sonotrode (à fréquence ultrasonique) les met en mouvement. Ces particules sont alors transportées par un fluide (qui est généralement de l'eau). Puis, projetées sur le matériau par les vibrations de la sonotrode. La matière est de ce fait, enlevée par action mécanique des particules ou par érosion due au liquide. Ce processus est d'ailleurs, principalement utilisé pour usiner des matériaux à la fois fragiles et durs (tels que les verres, céramiques, pierres précieuses ...). D'autre part, l'usinage ultra-sonore est une technique pertinente à utiliser, notamment pour la finitions de certaines surfaces (polissage ultra sonore).

Par ailleurs, pour pouvoir obtenir une amplitude de vibration suffisante on utilise des transducteurs. De ce fait on utilise trois actions (dont une très peu) : Une action mécanique, soit la projection des grains abrasifs contre la surface du matériau. Une érosion de cavitation : due aux diverses variations de pression en ce qui concerne le fluide (sous la l'influence de la sonotrode). Enfin, l'action chimique : celle du fluide (très peu utilisée). Il est à noter que la fréquence d'ultrason utilisée est d'environ 20 kHz soit $20 \cdot 10^3$ Hz.

4.3 Utilisation en médecine et en santé.

4.3.1 Diagnostique

Dès 1941 que le neurologue Karl Dussik porte des expériences entre corps humain et ultrasons. Puis, à partir de 1970, l'utilisation d'ondes ultrasonores en médecine se généralise lorsque ces ondes deviennent la clé des échographies. De nos jours, l'évolution technologique a permis un réel progrès. En effet, les scientifiques (ainsi que les médecins) ont les moyens d'analyser des tissus dans le corps ou encore le flux sanguin. C'est ainsi que les ultrasons permettent de détecter facilement de graves maladies (par exemple des tumeurs). L'utilisation des ultrasons en médecine permet aussi de supprimer, ou déchirer certains tissus organiques ou encore pulvériser des calculs rénaux. Ce procédé consiste à produire sur un espace précis, des ondes ultrasonores, ainsi celle-ci se dégrade.

Par ailleurs, comme pour l'échographie, les ultrasons permettent d'obtenir une image. Les ondes ultrasonores explorent les organes internes.

En ce qui concerne l'échographie "classique", celle-ci se fait en 2 dimensions ; et ce, par un balayage (manuel, mécanique et même électronique). Cela permet alors d'émettre en même temps différents faisceaux d'ondes dans plusieurs directions. De ce fait, un traitement informatique analysera la durée, mais aussi les échos recueillis, dans le but de représenter les milieux traversés ; souvent selon leur impédance (résistance du tissu).

Si certaines utilisations des ultrasons ont le pouvoir de léser des tissus ; le diagnostic ultrasonore ne présente aucun risque ! En effet, jusqu'à présent aucun incident n'a été signalé, et ce, sur des millions d'utilisations. Il est à savoir que les ultrasons de diagnostic sont de fréquence comprise entre 1 et 10 MHz.

4.3.2 Ultrasonothérapie

L'ultrasonothérapie consiste à engendrer en un lieu (assez précis) du corps des vibrations qui permettent alors de produire un effet mécanique ou

thermique.

Il a été prouvé que ce traitement est très efficace notamment quand il s'agit des pathologies musculaires et tendineuses.

Effet mécanique de l'ultrasonothérapie : Les vibrations provoquées sont responsables de l'écartement des molécules concernées de leur zone d'équilibre. Ceci va créer des micro-massages, des micro-coupures et des micro-dislocations de tissus. Cette pratique a pour objectif d'assouplir les zones subissant une pathologie.

Effet thermique de l'ultrasonothérapie : Les vibrations provoquées sont responsables des frottements entre les molécules concernées libérant ainsi un effet de chaleur. Ceci permet d'améliorer les échanges métaboliques.

Parmi les principales pathologies traitées par l'ultrasonothérapie, on retrouve : les hématomes, claquages, tendinites, arthroses, cicatrisations, zonas, adhérences, hémiplésies, maladie de Raynaud (rigidité interne de l'épaule), syndrome de Dupuytren (rigidité intérieure de la main).

Un appareil à ultrasons se compose d'un générateur à ultrasons ; un ordinateur (écran + clavier) afin de régler les programmes d'ultrasonothérapie ; une tête à ultrasons reliée à l'appareil à ultrasons par un câble.

4.4 Lithotripsie

Les ultrasons sont le fondement de la lithotripsie extracorporelle (abrégée LEC) qui est un procédé qui permet d'éliminer les calculs rénaux ainsi que calculs biliaires (petites pierres ou cristaux qui se coincent dans certaines parties du corps, dans ce cas au niveau de la bile ou des reins).

Ainsi des ondes émises vers un point précis font naître des petites bulles de gaz tout autour du calcul, puis explosent, ce qui permet alors de fragmenter le calcul jusqu'à sa désintégration quasi totale. Cette technique est celle de la cavitation. Par ailleurs, l'appareil qui permet la LEC est appelé lithotriporteur ou lithotriteur et l'éradication du calcul se fait à l'extérieur du corps. En effet, le générateur à ultrasons au sein du lithotriporteur est placé sur la peau. Ensuite, généralement, les fragments sont évacués par les voies naturelles.

La fréquence de résonance : Cependant, on peut se demander comment est ce que des ondes (ultrasonore) peuvent être émises en traversant tout le corps sans dommage sur celui-ci. Si ondes demeurent inoffensives pour tout ce qui est "avant" et "après" le calcul en question ; c'est grâce à la fréquence de l'onde qu'on génère via le lithotriporteur. Celle-ci est en effet, choisie avec soin afin que le reste du corps à proximité de la cible n'y soit pas sensible (mais que cela soit le cas en ce qui concerne la cible à désintégrer). De ce fait, chaque objet est sensible à une unique fréquence². C'est ce qu'on appelle phénomène

2. Ce qu'on appelle ici, être "sensible à une fréquence" c'est être sujet à un mouvement périodique (telle un tremblement, une vibration etc...).

de résonance³.

Prenons pour exemple la légende d'une chanteuse hors du commun qui aurait brisé un verre rien que par sa voix. Imaginons que l'on cogne un verre, celui-ci vibre, mais ne se brise pas. Relevons alors la fréquence de cette vibration (par une suite d'analyse du son produit via divers outils informatiques). Puis, émettons un son avec un générateur de son à cette même fréquence (mesurée en Hertz) ; le verre vibrera de manière plus ou moins forte. On aura recueilli la fréquence, dite de résonance. Cependant, les mélomanes seront déçu d'apprendre que même pour les plus grands chanteurs d'opéra la voix ne peut s'apparenter à un son généré par un générateur de voix (car il faudrait que celle-ci puisse se concentrer à produire un son sur une seule fréquence et à une puissance au-delà de nos capacités).

Une tragique histoire s'est d'ailleurs déroulée en 1831. Le Pont de Broughton est effondré sous les pas cadencés d'une troupe militaire. On raconte qu'après quelques vibrations du pont certains sifflotaient trouvant la sensation agréable. Les vibrations créées par la cadence de ces 40 soldats s'avéraient être la fréquence de résonance exacte du pont en question.

4.5 Vraiment ? Chez les animaux ?

Plusieurs animaux utilisent les ultrasons sous forme de "radar". En effet, les ultrasons permettent à ces animaux de se repérer, se nourrir et communiquer.

Parmi les animaux qui utilisent les ultrasons, nous pouvons distinguer la chauve-souris, l'orque, le dauphin, mais aussi la plupart des mammifères marins. Ils se servent de l'écho-localisation pour se repérer dans l'obscurité, mais également pour repérer leur proie. Pour cela, ils émettent des impulsions à haute fréquence, le son récupéré par la proie ou l'obstacle sur la trajectoire de l'animal, revient vers ce dernier et permet de savoir la proximité de la proie ou de l'obstacle. Ensuite, grâce à la réponse continue des impulsions réfléchies, l'animal se dirige automatiquement vers sa proie pour la capturer ou bien éviter l'obstacle pour ne pas se blesser, voire mourir.

Étudions deux de ces cas :

- 1er cas : La chauve-souris.
 - La chauve-souris émet un ultrason par la bouche ou le nez.
 - L'ultrason rencontre un obstacle (proie, arbre, mur...) et rebondit vers la chauve-souris.
Cet écho est capté par les oreilles de la chauve-souris.
 - Son cerveau estime la distance, la vitesse, la forme de l'objet détecté.
Et tout ceci en une fraction de seconde !
- 2ème cas : Le dauphin.
 - Le dauphin émet un faisceau d'ondes sonores à hautes et basses fréquences en direction d'un objet, d'un individu . . .

3. Nous vous invitons à consulter la page [Wikipedia](#) pour de plus amples informations.

- Ce faisceau est produit dans le crâne du dauphin, c'est-à-dire dans les "petits sacs" (jusqu'à de nos jours, on ne connaît avec précision le fonctionnement de ces sacs).
Il passe par la partie la plus importante dans ce phénomène, le melon.
- Deux types de faisceaux sont émis :

Les sons à basse fréquence, variant jusqu'à 100 000 Hz (ils servent à donner une vue globale du panorama). Dans ce cas, le faisceau sonore est très large, mais la réception d'image dans le cerveau est malheureusement assez floue.

Les ultrasons à haute fréquence (de 100 000 Hz jusqu'à plus de 250 000 Hz) permettent d'avoir une image plus nette. Ainsi, il les focalise grâce au melon (il contient une substance gélatineuse, qui en se déformant agit comme une lentille. Ainsi, le son est beaucoup plus ciblé (le faisceau est assez fin). Celui-ci permet de déterminer précisément les contours de l'obstacle. Il peut même savoir ce qu'il y a, à l'intérieur ou savoir si l'objet en question est inerte ou vivant.

5 Expériences

5.1 Expérience 1 : Déterminer la vitesse d'un ultrason

Matériel :

- Émetteur ultrasons
- Deux récepteurs ultrasons
- Un oscilloscope
- Fils de connexion
- Générateur 12 V
- Thermomètre
- Ordinateur avec regressi / excel ou google sheet

Protocole :

1. Allumer l'oscilloscope et réaliser les pré réglages nécessaires (molette ou bouton focus et intensité).
2. Réaliser le dispositif ci dessous (FIGURE 2)
3. Séparer les deux récepteurs de 40 cm
4. Mettre en marche l'émetteur d'ultrasons en mode salve courte (FIGURE 2)
5. Réaliser les réglages nécessaires (molette, sensibilité verticale et sensibilité horizontale) pour visualiser une salve d'ultrasons sur chaque voie.

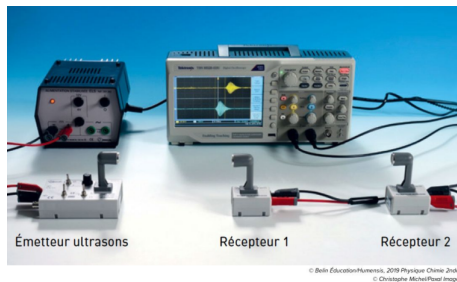


FIGURE 1 – Dispositif de l'expérience.

Observations :

Après plusieurs rectifications de sensibilité horizontale, verticale ainsi que la position des signaux et vitesse de balayage, nous avons enfin pu en tirer un oscillogramme à interpréter.

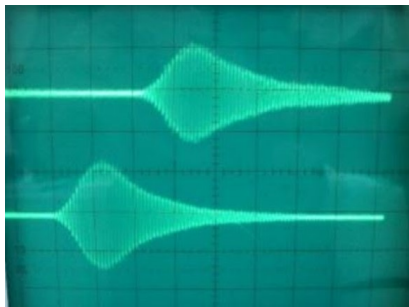


FIGURE 4 – Oscillogramme

Le début du signal sur chacune des courbes correspond au moment où l'ultrason est reçu par le récepteur. Il serait d'ailleurs judicieux de noter que cette distance s'amplifie lorsque les récepteurs s'éloignent. A ce stade de l'expérience, les deux récepteurs étaient à une distance de 70 cm l'un de l'autre.

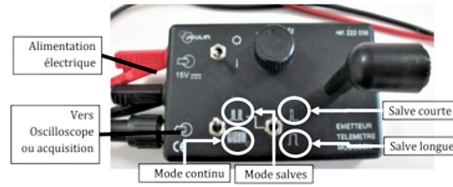


FIGURE 2 – Émetteur d'ultrasons.

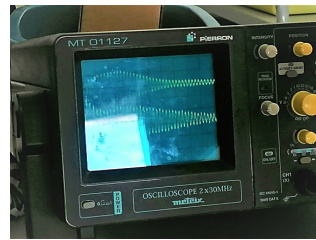


FIGURE 3 – Oscilloscope

Sur cet oscillogramme, on peut observer un décalage entre les deux voies qui correspondent chacune au signal reçu par un récepteur. On dit que les signaux ne sont pas en phase.

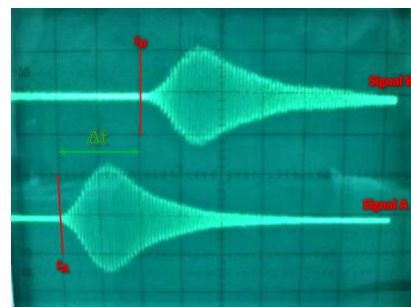


FIGURE 5 – Début du signal des deux voies d'ultrason.

Par ailleurs, cela implique un retard de réception des ondes. Ce dernier se note Δt et vaut $t_a - t_b = 2 \text{ ms/div}$, cela se lit graphiquement sur deux divisions. On en déduit que le retard $\Delta t = 2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ lorsque la distance $d = 70 \text{ cm}$.

Données :

Distance (en m)	0	$10 \cdot 10^{-2}$	$20 \cdot 10^{-2}$	$40 \cdot 10^{-2}$	$60 \cdot 10^{-2}$	$70 \cdot 10^{-2}$	$80 \cdot 10^{-2}$	$90 \cdot 10^{-2}$	$100 \cdot 10^{-2}$
Δt (en sec)	0	$2.5 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$40 \cdot 10^{-3}$	$1.8 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$

Voici un tableau de valeurs expérimentales pour une distance allant de 0 à 100 cm. On remarque que malgré les marges d'erreurs existantes, ce dernier reste globalement proportionnel. A partir de là il nous suffit de choisir une valeur et d'appliquer la relation $d = v \cdot t \Leftrightarrow v = \frac{d}{t}$ afin d'avoir la vitesse de l'ultrason.

De ce fait, puisque ce sont des résultats expérimentaux, nous avons jugé judicieux d'appliquer la relation à toutes nos valeurs afin d'avoir une approximation la plus juste possible de la vitesse de l'ultrason.

Distance (en m)	0	$10 \cdot 10^{-2}$	$20 \cdot 10^{-2}$	$40 \cdot 10^{-2}$	$60 \cdot 10^{-2}$	$70 \cdot 10^{-2}$	$80 \cdot 10^{-2}$	$90 \cdot 10^{-2}$	$100 \cdot 10^{-2}$
Δt (en sec)	0	$2.5 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-4}$	$40 \cdot 10^{-3}$	$1.8 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
Vitesse (en m/s)	0	$4.00 \cdot 10^2$	$3.336 \cdot 10^2$	$4.00 \cdot 10^2$	$3.33 \cdot 10^2$	$3.5 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^2$	$3.6 \cdot 10^2$	$3.33 \cdot 10^2$

Notons que la moyenne des vitesses est de $3.64 \cdot 10^2$ m/sec.
Ces données et représentation graphique de celles-ci ont été traitées sur Google Sheet (et sont disponibles [ici](#)).

Résultats : D'abord, une première manière de déduire d'après notre expérience la vitesse de l'ultrason serait, comme évoqué précédemment de prendre une valeur pour d et t et d'en déduire v .

D'après la relation :

$$d = v \cdot t \Leftrightarrow v = \frac{d}{t} \Leftrightarrow v = \frac{70 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^{-3}} \Leftrightarrow v = 350 \text{ m/s.}$$

Puis, nous avons appliqué cette relation aux autres valeurs de Δt et de d de 0 à 100 cm. Après avoir recueilli chaque vitesse v à partir de divers d et t , nous avons fait la moyenne de chaque vitesse afin d'avoir une idée plus précise de la valeur de la vitesse des ondes ultrasons. D'après le tableau (ci dessus) la moyenne des vitesses vaut : 364 m/s.

Ensuite, une troisième manière de déduire cette même vitesse serait de représenter un nuage de point de la distance en fonction du temps, afin de tracer une courbe de tendance.

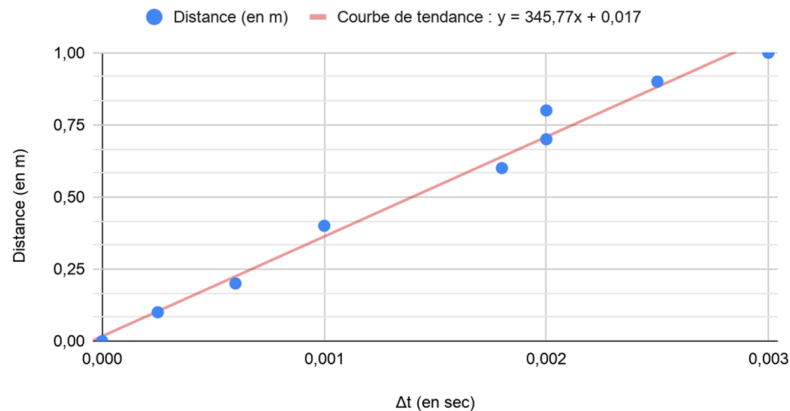


FIGURE 6 – Δt (en sec) en fonction de la distance (en m).

Excel nous donne l'équation de la courbe, son coefficient directeur est la vitesse. Puisque $y = 345.77x + 0.017$, son coefficient directeur est 345.77 ce qui se rapproche une fois de plus de nos précédentes valeurs (soit 364 et 350 m/sec).

Conclusion : Nous avons donc obtenu suite à l'étude d'oscillogramme une idée de la valeur de la vitesse de propagation de l'ultrason dans l'air (à une température d'environ 15°C) qui vaut en moyenne 353.26 m/s. Nous remarquons que nous sommes proches de la réelle vitesse de l'ultrason qui équivaut à 340 m/s. D'ailleurs, cette vitesse de propagation est la même que celle du son dans l'air, en réalité la seule différence entre ces 2 ondes est leur fréquence.

Sources :

- Le TP en EDS physique chimie fait en classe.
- [Notice Jeulin sur les ultrasons](#)

5.2 Expérience 2 : Exploiter le capteur comme sonar

Matériel :

- Capteur ultrasons
- Carte arduino
- Câble arduino-USB
- Ordinateur muni d'arduino (IDE)
- Règle graduée
- Ecran dur et plat

Protocole :

1. Réaliser le code arduino (partie programmation) Le code est disponible [ici](#) .
2. Connecter le capteur ultrason à la carte Arduino. (sachant que suivant le programme ci dessus le récepteur doit être branché au pin 13 et l'émetteur, pin 12)
3. Relier la carte Arduino à l'ordinateur avec le câble USB

4. Placer le capteur d'ultrasons face à l'écran et positionner la règle graduée (ce qui permettra alors de mesurer la distance entre le capteur et l'écran).

Notons "dm", la distance mesurée à la règle et "da", la distance mesurée avec le dispositif Arduino.

dm (en cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
da (en cm)	0	3	2.9	3.8	4.6	5.6	7.1	7.7	8.6	9.5	9.8	19.7	30	40	50	60	70	80	90	98.8

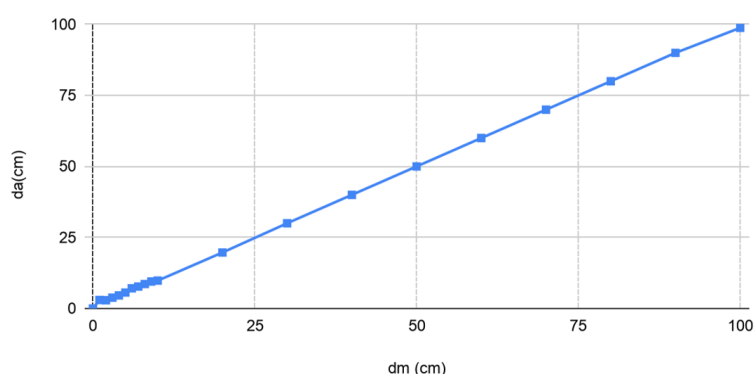


FIGURE 7 – Distance mesurée à l'aide du dispositif arduino (da) en fonction de la distance mesurée à la règle (dm).

Résultats : Le graphique (Figure 8 ci-dessous) représente la marge d'erreur entre la distance mesurée à la règle et la distance du dispositif arduino d'un sonar. Ces derniers sont représentés par deux courbes qui sont ici comparées. On peut remarquer que lors de certaines mesures, la marge d'erreur est soit notable, soit quasi nulle. C'est-à-dire que lorsque la différence entre dm et da nous donne une mesure élevée et que la marge d'erreur est très élevée, le dispositif arduino est inefficace. Cependant, celle-ci varie entre 0 et 2 cm et la moyenne de ces changements est de 0,475 cm, ce qui est tout de même faible ! Cela demeure tout de fois pas négligeable, selon l'utilisation faite. On peut donc comprendre qu'il y a une différence en ce qui concerne l'efficacité des deux types de mesures. La grandeur de la marge d'erreur en plus être subjective est relative est change constamment.

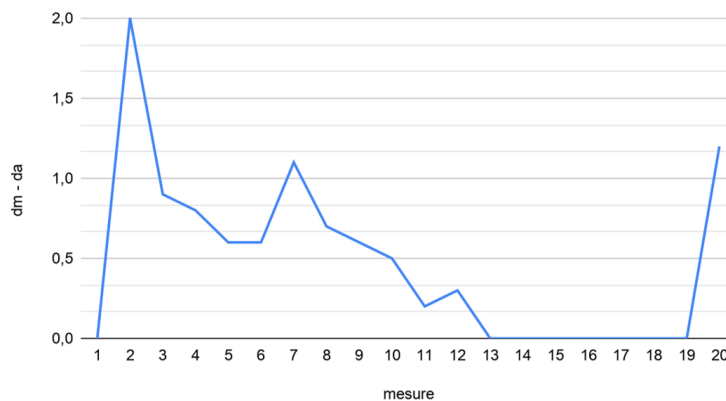


FIGURE 8 – La marge d’erreur (dm-da) en fonction de la mesure réalisée.

Conclusion : L’avantage et l’utilité d’un capteur ultrason pour déterminer une distance, réside non seulement dans la précision des données, mais aussi dans l’automatisation. Certes, lors de cette expérience nous avons observé des marges d’erreur qui selon les cas peuvent être considérées comme notables, mais il est essentiel de rappeler qu’il ne s’agit là que d’un dispositif d’éducation, d’initiation à la robotique. En effet, à l’échelle d’une entreprise ou encore d’un laboratoire, la capacité des capteurs ne cesse de devenir de plus en plus précise et plus performante en termes de rapidité de calcul. Ainsi, la probabilité d’effectuer une erreur est de nos jours quasi nulle. D’autant plus que ses conséquences seraient irrémédiables tant cette technologie est utilisée. Car, ce calcul de distance est particulièrement pratique et rend service à un grand nombre de domaines.

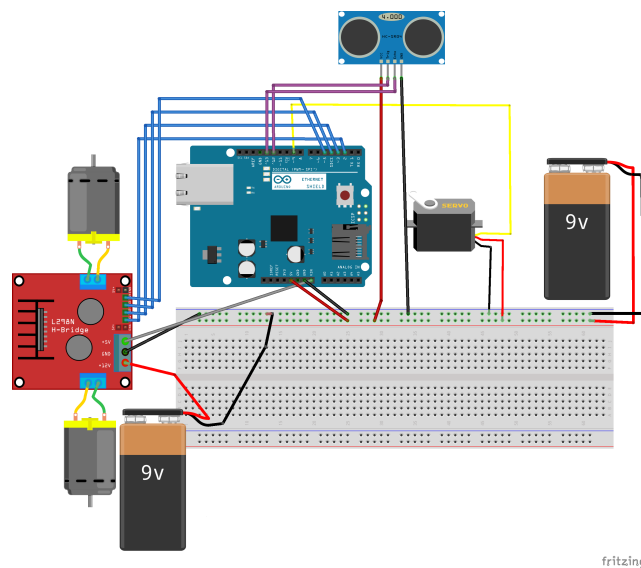
5.3 Expérience 3

Matériel :

- Un capteur ultrason (utilisé ici le HC-SR04, mais fonctionnel avec le HC-SR05)
- Deux moteurs DC (avec une roue chacune)
- Une plaque à essais
- Des câbles de connexion
- Un pont H
- Un support de robot
- Un servomoteur (SG90)
- Support de piles 9V
- Prévoir 2 à 3 piles 9V (ou une alimentation stabilisée 12 V)

Protocole :

1. Faire le code sur l’IDE (environnement de développement) [Arduino](#). Le code utilisé est disponible [ici](#).
2. Réaliser le câblage schématisé ci dessous :



Démonstration : Cliquez sur la video [ici](#).

Résultats : Ce robot a pour est comme l'indique son nom un éviteur d'obstacle. Ce dernier vérifiera en boucle les conditions suivantes : si la distance captée est inférieure à 25 cm (c'est-à-dire qu'il y a un obstacle à l'avant) ; ce dernier s'arrête et mesure les distances à droite puis à gauche afin de les comparer. Ensuite, le robot tourne vers la distance la plus grande et se remet à avancer jusqu'à ce que la condition initiale soit vérifiée (une distance inférieure à 25 cm). Toutes les données peuvent être vérifiées par le moniteur série.

Conclusion : Suite aux recherches effectuées en amont, nous avons appris que les ondes ultrasonores peuvent réellement servir. Mais en réalisant ce robot, nous avons vraiment pris conscience de son utilité bien que cela soit à petite échelle, cela reste réalisable et son impact et l'enjeu sont d'autant plus importants à de plus grandes échelles. Cela inspire de plus en plus un grand nombre d'inventions, ainsi les ultrasons sont source de progrès technologiques.

6 Conclusion

La découverte des ultrasons se fait dès le IXXème voir le XVIIIème siècle et depuis les innovations sur la base de ces ondes inaudibles par l'Homme ne cessent d'être révolutionnaires. D'ailleurs, celles-ci étaient tout d'abord inspirées des animaux (pour certains d'entre eux, c'est un outil essentiel de vie). Ce projet nous a à la fois permis de découvrir ce domaine de l'inaudible à la fois par des recherches enrichissantes, mais aussi par le biais d'expériences. Ces dernières nous ont permis de mieux nous approprier le sujet et de non seulement mieux appréhender les caractéristiques de cette onde, mais aussi son utilité notamment en faisant nous même un sonar ainsi qu'un robot (en guise d'application concrète).

Certes l'utilisation des ultrasons a plusieurs avantages et nous facilite la vie de tous les jours; toutefois, ces ultrasons peuvent avoir un effet néfaste sur notre santé. En effet, plusieurs sujets fréquentant des lieux à forte exposition aux ultrasons présentent plusieurs symptômes comme les nausées, les étourdissements, les maux de tête, les pertes d'équilibre et la pression dans les oreilles. Cependant, il existe peu de preuves scientifiques concernant la dangerosité de ces ondes sonores. Mais, il a été également prouvé, lors d'une autre recherche, que les ultrasons à haute fréquence peuvent avoir de graves conséquences sur l'audition. Certains scientifiques pensent qu'il n'y a pas une relation de cause à effet. Ainsi, les symptômes énumérés précédemment, peuvent ne pas avoir un lien direct avec ces ultrasons et peuvent être causés par une accumulation avec d'autres pathologies. De ce fait, malgré toutes les avancées technologiques médicales, l'impact des ultrasons sur notre corps reste un mystère non résolu. Ont-ils un impact direct sur notre santé? Ou est-ce l'effet cumulé de plusieurs pathologies qui se retrouvent aggravées par les ultrasons?

Nous avons pris beaucoup de plaisir dans cette recherche sur un sujet qui nous paraissait inconnu. Ainsi, celle-ci fut extrêmement instructive notamment via les différentes questions que nous nous sommes posées, ainsi qu'à travers nos pistes de réponses appuyées par nos recherches sur divers sites, mais aussi par la mise en place d'expériences et de constatations, ce qui nous a permis d'en tirer une conclusion satisfaisante.

"En fait, la démarche scientifique représente un effort pour libérer de toute émotion la recherche et la connaissance."(François Jacob)