

## Sommaire

Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I L'effet Doppler et l'ultrason</b>	
1. Introduction .....	2
2. L'effet Doppler.....	2
2.1. Historique .....	2
2.2. Définition de l'effet doppler.....	2
2.3. Principe physique de l'effet doppler.....	2
2.4. L'effet doppler sonore .....	3
2.4.1. L'émetteur immobile et le récepteur en mouvement.....	4
2.4.2. Le récepteur immobile et l'émetteur en mouvement.....	5
2.5. Les applications de l'effet doppler .....	6
2.5.1. L'échographie Doppler.....	6
2.5.2. Le sonar .....	7
2.5.3. La localisation Doppler .....	7
2.5.4. L'astronomie .....	7
2.5.5. La météorologie.....	7
2.5.6. L'aviation .....	7
2.5.7. Le GPS .....	7
1.Les ultrasons.....	8
3.1 Classement des sons .....	8
3.2. Définition de ultrasons .....	9
3.3. Historique .....	9
3.3.1. Bref historique .....	9
3.3.2 .Découverte des ultrasons.....	10
3.4 .Production d'ultrasons.....	10
3.4.1. Piézoélectricité .....	10
3.5. Phénomènes observés aux interfaces.....	10
3.5.1. Réflexion et transmission .....	11
3.6. Les application de ultrsons .....	11
3.6.1. le repérage d'obstacle .....	11
3.6.2 Utilisation industrielle .....	11
3.6.3. Utilisation des ultrasons en médecine .....	12

4 .l'effet doppler ultrasonore .....	12
4.1. L'effet doppler continue .....	12
4.2. L'effet doppler pulsé .....	14
5. Conclusion .....	15

## **Chapitre II Etude théorique de système**

1. Introduction .....	16
2. Synoptique .....	16
3. Le circuit d'émission .....	17
3.1. Un circuit astable .....	17
3.1.1. Définition .....	17
3.1.2. NE555 .....	17
3.2. Le rôle de potentiomètre .....	19
3.3. Le capteur ultrason .....	19
3.3.1. Émetteur .....	20
4. Le circuit de réception .....	20
4.1. Le récepteur .....	21
4.2. Le circuit d'amplificateur .....	21
4.2.1. Définition .....	21
4.2.2. Caractéristiques électriques de TL072 .....	22
4.3. Le circuit démodulateur (détecteur d'enveloppe) .....	23
4.3.1. Démodulation par détection d'enveloppe .....	23
5. Carte Arduino .....	24
5.1. Présentation d'Arduino .....	24
5.2. Le but .....	24
5.3. Application .....	24
5.4. Les types des cartes .....	25
5.5. Les différentes cartes .....	25
5.5.1. La carte UNO et DUMILANOVE .....	25
5.5.2. La carte MEGA .....	25
5.6. Le matériel .....	26
5.6.1. Constituants de la carte .....	26
5.7. le logiciel .....	27
5.7.1. Le menu File .....	28
5.7.2. Les boutons .....	29

6. Conclusion.....	30
<b>Chapitre III Mesure de la portée</b>	
1. Introduction .....	31
2. Méthode de calcul de la portée .....	31
2.1. Signal d'émission .....	31
2.2. Signal de réception .....	33
2.3. Signal amplifié .....	33
2.4. Signal continue .....	34
3. Résultats expérimentaux.....	36
4. Présentation de la station d'émission-réception réalisée .....	39
5. Conclusion.....	41
Conclusion générale .....	42

## Introduction générale

Mesurer une portée peut s'avérer compliqué dans certaines situations notamment quand les objets qui nous intéressent ne sont pas directement observables. Il faut alors chercher une méthode plus originale pour y parvenir. Plusieurs méthodes sont possibles. Dans le cas de notre travail de fin d'études, nous avons choisis l'utilisation de l'effet Doppler en mode continue.

L'effet Doppler permet en effet de mesurer la portée d'un système mobile au moyen de deux transducteurs ultrasoniques : le premier de l'émetteur d'ondes et le deuxième du récepteur de ces ondes lorsqu'elles sont réfléchies. Dans ce sens l'ultrason joue un rôle important.

Notre mémoire de fin d'études comprend trois chapitres. Dans le premier chapitre nous nous sommes intéressés à expliquer l'effet Doppler, son origine physique et ses applications. Nous présentons encore les principes physiques des ultrasons et les différentes applications pour les deux modes d'effet Doppler : pulsé et continue.

Nous abordons dans le deuxième chapitre l'étude théorique du système (station d'émission-réception) par des schémas électriques de notre circuit sous l'environnement ISIS de Proteus permettant la détection du signal Doppler à partir des circuits d'émission et de réception, tout en expliquant le fonctionnement de chaque étage. Une présentation de la carte Arduino Uno R3 a été faite à la fin de ce deuxième chapitre.

Enfin dans le dernier chapitre, nous avons présenté les signaux que nous avons obtenus pratiquement à la sortie de chaque étage de notre station permettant la mesure de la portée d'un mobile (obstacle) en utilisant l'effet Doppler en mode continue. Cette mesure nous l'avons faite par le biais d'un code (programme) que nous avons réalisé sous l'environnement IDE (Integrated Development Environment, c'est-à-dire environnement de développement intégré) pour Arduino Uno R3 et repose sur la connaissance de la fonction donnant la distance en fonction de la tension détectée se trouvant à l'entrée analogique d'Arduino. Cette fonction mathématique, nous l'avons obtenue en faisant un lissage de courbe pratique sous l'environnement ORIGIN.

## 1. Introduction

Ce chapitre présentera une étude bibliographique des conceptions générales de l'effet doppler et l'ultrason.

Tout d'abord, nous allons rappeler les jalons de l'histoire de l'effet doppler, le principe physique de l'effet doppler, l'effet doppler sonore et leurs domaines d'application. Ensuite, une étude d'entaille des ultrasons puisque nous avons une réalisation avec les capteurs ultrasoniques.

Nous donnerons la définition d'ultrason, l'histoire et leur production et les domaines d'applications.

Ils existent deux techniques principales dans l'effet doppler ultrasonores donc nous allons parler sur l'effet doppler continue et l'effet doppler pulsé.

## 2. L'effet Doppler

### 2.1 Historique

L'effet doppler a été découvert en 1842 par Johann Christian Doppler (1803-1853).puis il a aussi été redécouvert par Hippolyte Fizeau (1819-1896/Français), d'où cet effet porte les deux noms de ces découvrant **effet Doppler Fizeau**.

### 2.2 Définition de l'effet doppler

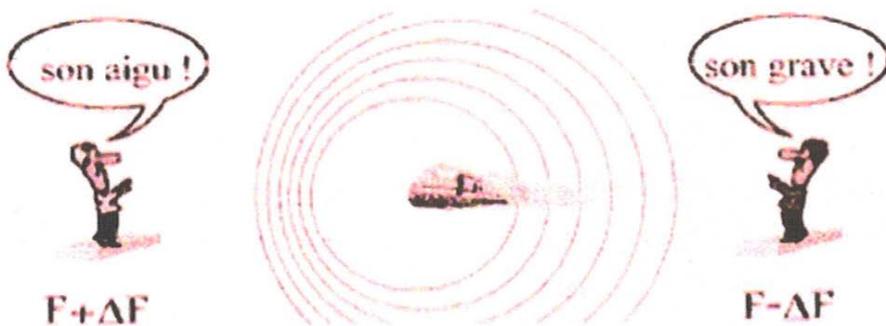
Effet doppler signifier la variation de la fréquence d'une onde (mécanique, acoustique, électromagnétique...), lorsqu'il y a déplacement relative de la source émettrice ou de l'observateur.

De façon générale, c'est la variation de la fréquence entre l'émetteur et le récepteur, la fréquence que reçoit le récepteur est différente de la fréquence émise, elle augmente si la distance entre l'émetteur et le récepteur se rapproche et elle diminue si on fait le contraire.

### 2.3 Principe physique de l'effet doppler

Certains phénomènes courants sont expliqués l'effet doppler. Nous citerons l'exemple d'un observateur situé sur le quai d'une gare qui voit passer un train muni d'une sirène.

Lorsque le train se rapproche de l'observateur, ce dernier perçoit un son plus aigu que celui réellement émis par la sirène. A l'inverse, l'observateur entend un son plus grave lorsque le train s'éloigne du quai [1].



**Figure I.1 Schéma du l'effet doppler**

#### 2.4 L'effet doppler sonore

L'effet doppler sonore se produit lorsqu'un émetteur ou un récepteur sont en mouvement l'un par rapport à l'autre. Nous allons voir que la fréquence perçue par le récepteur  $f_R$  est différente de la fréquence émise par l'émetteur  $f_E$ .

On distingue deux cas. Dans le premier cas, l'émetteur est mobile et le récepteur est immobile. Dans le second, c'est le récepteur qui se déplace alors que l'émetteur est immobile. Le résultat, dans les deux cas, est cependant le même : il y a « contraction » ou « dilatation » des ondes sonores en fonction du mouvement relatif entre l'émetteur et le récepteur.

Lorsque l'émetteur et le récepteur se rapprochent, le son perçu par ce dernier est plus aigu que le son effectivement émis. La fréquence perçue par le récepteur est donc supérieure à la fréquence émise.

À l'inverse, lorsque l'émetteur et le récepteur sont à une distance un peu loin, le son perçu est plus grave que le son émis. La fréquence perçue est alors inférieure à la fréquence émise. [2]

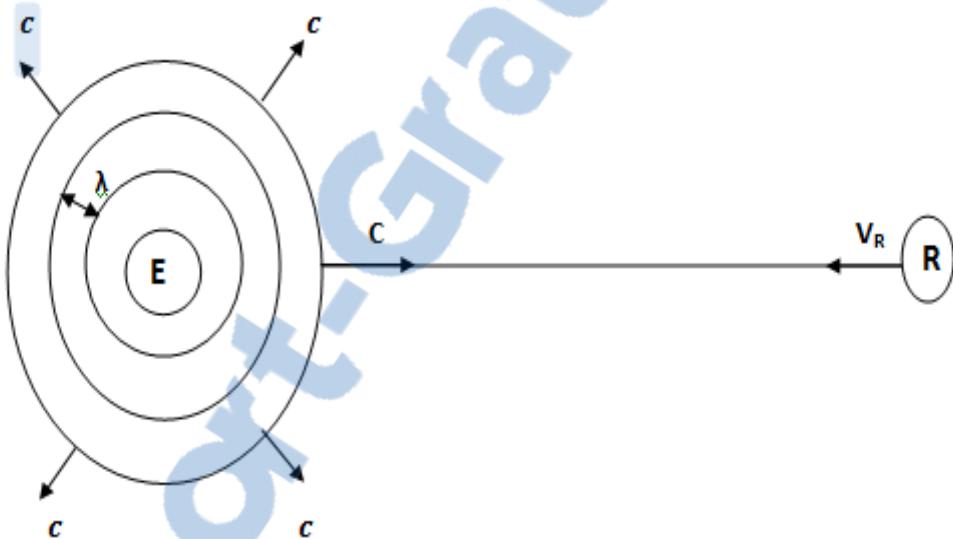
### 2.4.1 L'émetteur immobile et le récepteur en mouvement

Les ondes sonores générées par un émetteur  $E$  sont appelées les fronts d'ondes circulaires à toutes les périodes  $T_E$ . Dans ce cas les cercles sont parfaitement centrés en  $E$  et la distance entre deux fronts d'onde successifs correspondant à la longueur d'onde  $\lambda_E$ .

Si le récepteur se déplace vers l'émetteur, le délai pour franchir la distance  $\lambda_E$  est plus court que  $T_E$ , donc on peut alors de parler de la période  $T_R$  associée à l'onde perçue par le récepteur.

La relation de la distance entre deux fronts d'onde est donnée par la relation suivant :

$$\lambda_E = cT_E = c/f_E \dots \dots \dots (1)$$



**Figure I.2 Schéma présentant l'émetteur immobile et le récepteur en mouvement**

Pour le récepteur qui se dirige vers l'émetteur à la vitesse  $v_R$ , tous les fronts d'onde qui se déplacent vers lui à la vitesse  $c$  parviennent au récepteur à la vitesse  $c + v_R$ .

Le temps nécessaire pour franchir la distance  $\lambda_E$  correspond à la période  $T_R$ .

On a:

$$\lambda_E = (c + v_R)T_R = (c + v_R) / f_R \dots \dots \dots (2)$$

Nous allons éliminer  $\lambda_E$  à partir de (1) et (2) :

$$f_R = (c + v_R) f_E / c \dots \dots \dots (3)$$

De la même façon, le récepteur doit se déplacer vers la droite percevra une fréquence  $f_R$ , montrée par la relation suivante :

On résulte de (3) et (4) que  $f_R = (c \pm v_R) f_E/c$

Où :

$f_E$  : est la fréquence émise (en Hz).

$f_R$  : est la fréquence émise (en Hz).

$v_R$ : est la vitesse de récepteur (en m/s)

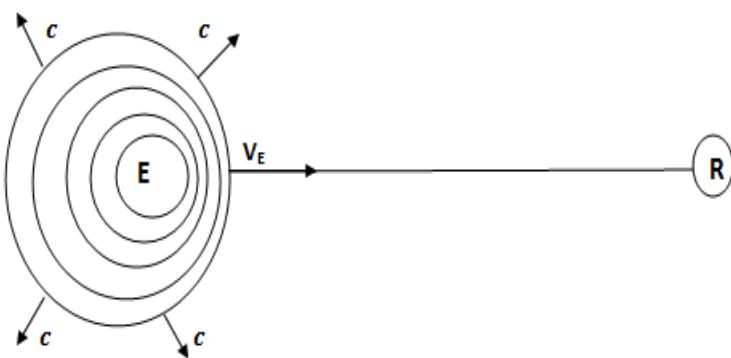
c : est vitesse du son dans l'air pour une température ambiante de 20 °C, 340 m/s.

## 2.4.2 Le récepteur immobile et l'émetteur en mouvement

Un récepteur R immobile reçoit des fronts d'onde à un émetteur qui se déplace vers le récepteur par une vitesse  $v_E$ .

Le récepteur reçoit des fronts d'onde circulaire émis à toutes les périodes  $T_E$ , contrairement à ce qui se passe dans le 1<sup>er</sup> cas, la distance séparent les cercles n'est plus régulière puisque l'émetteur se déplace.

Les fronts d'onde se caractérisent par une longueur d'onde  $\lambda_E > \lambda_R$ , puisqu'ils sont reçus à une période  $T_E > T_R$ . Dans la région des cercles perpendiculaires au vecteur  $v_E$ , les fronts d'onde se sont revêtus à l'arrière et se sont comprimés à l'avant.



**Figure I.3 Schéma présente Le récepteur immobile et l'émetteur en mouvement**

La distance entre deux cercles est  $\lambda_E$ . Durant une période  $T_E$ , la vitesse de l'émetteur est donc  $v_E$ . franchira donc simultanément à la propagation du front d'onde une distance

$$d_E = T_E \cdot v_E$$

La distance séparant les points des cercles perpendiculaire à  $v_E$  est représentée par la relation suivante :

La fréquence de récepteur sera plus grande si l'émetteur se déplace vers lui.

De l'équation (5) on conclue que :

$$f_R = c \cdot f_E / (c - v_E)$$

Contrairement si l'émetteur s'éloigne de récepteur la fréquence change.

$$f_R = c \cdot f_E / (c + v_E)$$

En réunissant ces deux cas :

$$f_R = c \cdot f_E / (c \pm v_E)$$

Où :

$f_E$  : est la fréquence émise (en Hz).

$f_R$ : est la fréquence émise (en Hz).

$v_E$ : est la vitesse de l'émetteur (en m/s).

## 2.5 Les applications de l'effet doppler

## 2.5.1 L'échographie Doppler

La différence des fréquences d'émission et de réception des ultrasons renvoyés par les éléments du sang permet de calculer la vitesse et la direction des globules rouges.

## 2.5.2 Le sonar

Le sonar est utilisé par les marines de guerre, pour la pêche, pour la navigation maritime et fluviale. Les sonars peuvent être actifs (émission d'un son et écoute de son écho) ou passifs (écoute des bruits)

## 2.5.3 La localisation Doppler

Le décalage de fréquence entre la fréquence émise par la balise et la fréquence reçue par le satellite permet de localiser l'émetteur.

Quand le satellite est à la verticale de la balise, la fréquence du signal reçu est égale à la fréquence du signal émis.

## 2.5.4 L'astronomie

L'effet Doppler permet de déterminer directement la vitesse d'approche ou d'éloignement des objets célestes (étoiles, galaxies, nuages de gaz)

## 2.5.5 La météorologie

Le principe d'un radar météorologique est d'émettre un faisceau d'ondes électromagnétiques dans l'atmosphère. Ces ondes sont réfléchies par tous les obstacles qu'elles rencontrent (pluie, neige, grêle, montagnes ...)

## 2.5.6 L'aviation

Le radar émet des suites d'impulsions d'ondes électromagnétiques représentant des messages d'interrogation. Les transpondeurs à bord de savions détectent ces interrogations, les décodent, et émettent à leur tour des suites d'impulsions d'ondes électromagnétiques représentant les réponses à chaque interrogation reçue. Les réponses des avions permettent de définir leur position.

## 2.5.7 Le GPS

Le principe du positionnement GPS est très proche du principe de triangulation. Le GPS mesure la distance entre l'utilisateur et un certain nombre de satellites de positions connues grâce au temps qu'a mis chaque signal à parvenir jusqu'à lui. On définit ainsi des sphères centrées sur des satellites et dont l'intersection donne la position.

Le but de notre réalisation et le calcul du portée d'un mobile avec des capteurs ultrasoniques, et pour ça on a une partie sur l'ultrason.

### 3. les ultrasons [3]

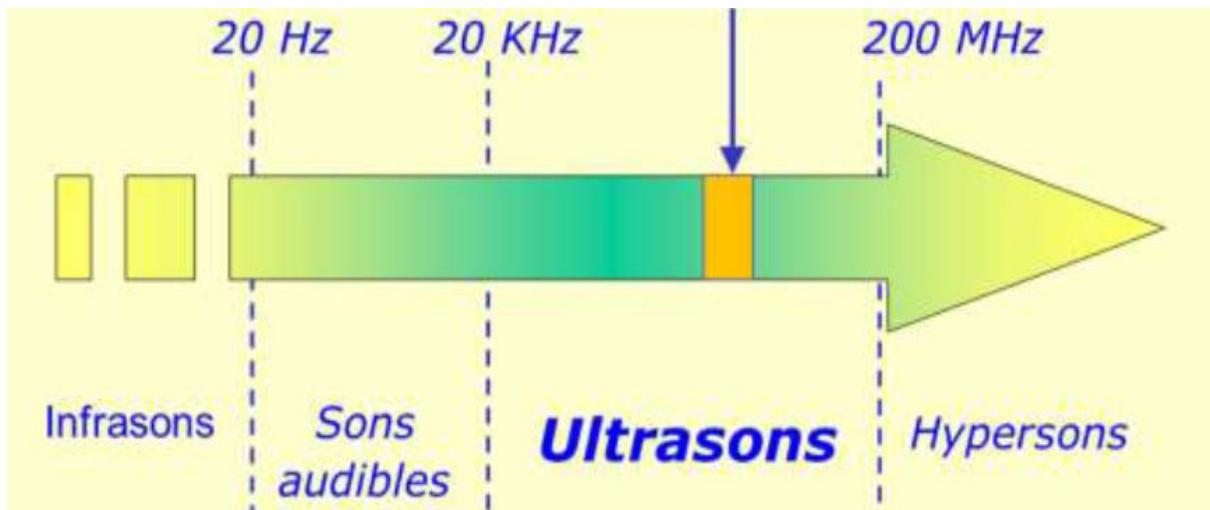


Figure I.4 Le classement des sons

#### 3.1 Classement des sons

Les bruits sont généralement émis grâce à des vibrations mécaniques. Le spectre de ces vibrations mécaniques est classé en quatre catégories.

##### a) Les infrasons

Les infrasons sont des vibrations situées en dessous de 20 Hz.

##### b) Les sons

Les sons se situent entre 20 Hz et 20 KHz. Un son est une vibration mécanique audible, qui parvient à notre oreille par une succession de pressions et de décompressions des molécules d'air.

L'air étant un milieu élastique, aucun son ne peut être transmis dans le vide.

##### c) Les ultrasons

Les ultrasons se situent entre 20 KHz et 1000 MHz. Les ondes ultrasoniques sont des ondes d'une certaine fréquence qui, lorsqu'elles sont émises par des corps en vibrations dans l'air, se propagent dans l'atmosphère sans être néanmoins audibles par l'oreille humaine.

##### d) Les hyper sons

Les hyper sons se situent au-dessus de 1000 MHz.

### 3.2 Définition de ultrasons

Les ultrasons sont des ondes acoustiques se situant au champs de perception de l'oreille humaine ;c'est-à-dire une fréquence supérieure à 20MHz.

Ces ondes ultrasonores se représentent une vibration de milieu,air ou liquide se traduisant par une succession rapide de pression ou depression .des zones de concentration succéderont aux zones de raréfaction moléculaires,assurant un brassage des molécules d'air ou de liquide .ils se propagent dans les tissus par une mise en vibration matérielle des tissulaires eux-mêmes.

Les ultrasons sont véhiculés par le milieu environnant à la vitesse du son dans ce milieu (liquide, solide....)

La relation de la vitesse ultrason peut se déterminer de cette façon :

$$v = \sqrt{\gamma R \theta}$$

v : est la vitesse du son exprimé m/s.

$\gamma$ : est le coefficient d'élasticité du milieu.

R : est la constante physique de gaz parfait soit 281,8 j/Kg

$\theta$  : est la température de milieu, exprimé en degré Kelvin.

On peut également analyser la portée ou la vitesse des structures mobiles, en mesurant la variation de fréquence par effet doppler entre les signaux ultrasonores émis et réfléchis.

### 3.3 Historique

#### 3.3.1 Bref historique

Il est depuis longtemps bien connu que certains animaux comme les souris, les baleines ou les dauphins émettent des ultrasons pour localiser des objets, s'orienter ou communiquer .la notion d'ultrasons est d'ailleurs purement humaine, puisqu'il s'agit en réalité d'ondes sonores qui ne sont pas perçues par le sens de l'ouïe de l'homme. En effet, l'oreille humaine est capable de détecter des sons dont la fréquence d'émission va de 15 Hz(sons <<très graves>> à 20000 Hz(<<son aigus>>).il est également décrit des micro sons,(fréquence supérieure à 500 Méga Hz) d'une part, et des infrasons (fréquence inférieure à 15 Hz )d'autre part .par l'homme découverts à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, les ultrasons n'ont commencé à être utilisée par l'homme qu'au début du 20<sup>ème</sup> siècle.

### 3.3.2 Découverte des ultrasons

Pendant la seconde moitié du 19<sup>ème</sup> siècle, des progrès considérables ont été réalisés dans le domaine de la physique. Avant la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, on avait déjà fait de nombreuses études scientifiques sur le son mais les données concernant les ultrasons étaient rares et imprécises.

Les ultrasons, qui sont des vibrations de fréquence inaudible à l'oreille humaine, se situent entre 20 KHz et 1000 MHz. Ce n'est qu'en 1880 qu'on s'est aperçu que l'on pouvait reproduire des ultrasons mécaniquement, par la découverte de l'effet piézoélectrique des frères Curie. La possibilité de produire des ultrasons est liée non seulement à la connaissance de la piézoélectricité mais au fait que le quartz est actuellement un des matériaux les plus utilisés, car il est considéré comme un oscillateur de référence.

Durant la seconde guerre mondiale, un savant français du nom de Paul Langevin mit au point une méthode permettant de localiser les sous-marins immergés, qui est aujourd'hui appelée sous le nom de sonar. En 1920, ce procédé est utilisé par la marine. Entre 1920 et 1939, un nombre considérable de découvertes fondamentales ont été faites. Après 1945, des perfectionnements importants réalisés dans le domaine des circuits électroniques et des convertisseurs de vibrations frayèrent la voie au développement industriel des ultrasons. Peu de temps après, les ultrasons firent leurs apparitions dans des installations de nettoyage, soudage, perçage, des applications médicales.

## 3.4 Production d'ultrasons

### 3.4.1 Piézoélectricité

Les ultrasons sont générés par piézoélectricité, phénomène qui permet la transformation d'une énergie mécanique en énergie électrique, de façon réversible. Cette fonction est réalisée par un élément de la sonde ayant des propriétés piézoélectriques ; il s'agit de céramiques PZT, de matériaux composites ou de polymères. Le terme de transducteur qui désigne l'élément piézoélectrique ou par extension la sonde elle-même vient de ce qu'ils convertissent une forme d'énergie en une autre. Ils fonctionnent autant comme émetteurs d'ultrasons que comme récepteurs. Pour produire un faisceau d'ultrasons, on leur applique une impulsion électrique qui entraîne une vibration de la céramique. À l'inverse, lors de la réception de l'écho, l'onde de pression qui vient heurter le transducteur induit l'apparition de charges électriques.

## 3.5 Phénomènes observés aux interfaces

Une interface correspond à la limite entre deux milieux d'impédance acoustique différente. Plusieurs phénomènes sont observés aux interfaces : il s'agit de phénomènes de réflexion, de transmission et de réfraction du faisceau ultrasonore.

## 3.5.1 Réflexion et transmission

Lorsque le faisceau d'ultrasons parvient à une interface, il peut la franchir ou être réfléchi. La fraction du faisceau qui franchit l'interface est la fraction transmise ; elle poursuit son trajet en profondeur. La fraction non transmise est réfléchie vers la source d'émission. L'angle de réflexion est toujours égal à l'angle d'incidence du faisceau, d'où le terme de réflexion spéculaire (en miroir) qui qualifie la réflexion aux interfaces. La réflexion spéculaire est angle-dépendante : pour une détection maximale du signal réfléchi, l'orientation de la sonde doit permettre d'aborder l'interface perpendiculairement : l'écho revient alors au transducteur puisque angles d'incidence et de réflexion sont égaux.

## 3.6 Les application de ultrsons

Les ultrasons sont utilisés dans de nombreux domaines

### 3.6.1 le repérage d'obstacle

La première utilisation des ultrasons fut le repérage de bâtiments sous-marins ennemis. Le principe de cette méthode est simple : les ultrasons se réfléchissent sur un obstacle et reviennent à leur point de départ en produisant un écho : connaissant le temps séparant l'émission de l'onde et la réception de l'écho et la vitesse de l'ultrason dans l'eau de mer (environ 1 500 m/s), il est facile d'en déduire la distance séparant l'émetteur de l'obstacle. Cette méthode n'est plus seulement militaire et a été adaptée à tous types de repérages d'obstacles.

### 3.6.2 Utilisation industrielle

En métallurgie, les ultrasons sont utilisés pour le dégazage des métaux, la détection de défauts, pour l'usinage, et la soudure de certains matériaux. Un foret solidaire de la partie mobile d'un générateur d'ultrasons peut être utilisé pour le perçage, en effectuant des mouvements de va-et-vient à la fréquence des ultrasons. Une précision de quelques micromètres est obtenue, et ce même dans des matières extrêmement dures.

Les ultrasons sont également employés pour la stérilisation de certains liquides, notamment du lait, l'homogénéisation ou le prétraitement de boues d'épuration ou de résidus industriels, la prospection de gisements minéraux, la déflagration d'explosifs commandée à distance, le nettoyage de certains corps, tels que les fûts de bois utilisé pour la fabrication du vin, ou encore la soudure de matières plastiques.

De nombreuses industries comme l'industrie pharmaceutique, automobile ou horlogère ont également recours aux ultrasons à des fins de nettoyage : différents objets peuvent ainsi être plongés dans des bains à ultrasons afin d'être débarrassés des impuretés qui s'y seraient logées ou accumulées.

### 3.6.3 Utilisation des ultrasons en médecine

Les ultrasons sont utilisés dans le diagnostic et le traitement de différentes affections. Dans un but diagnostique, les ultrasons sont employés par l'échographie, qui explore les organes internes mous ou remplis de liquide par la réflexion et l'analyse d'un faisceau d'ultrasons, et par le Doppler ; cette dernière technique étudie la vitesse de la circulation artérielle et veineuse au moyen d'une sonde émettrice d'ultrasons qui se réfléchissent sur les globules rouges puis sont recueillis par un récepteur situé sur la même sonde.

Dans un but thérapeutique, les ultrasons sont exploités dans le traitement symptomatique d'infections des tissus mous (muscles, ligaments, tendons). Cette technique, appelée ultrason thérapie, fait appel à des ondes de haute fréquence permettant de réduire l'inflammation en améliorant la circulation locale. Les ultrasons sont également utilisés pour fragmenter des calculs, surtout urinaires, par voie externe, avec une technique appelée lithotripsie.

## 4 l'effet doppler ultrasonore

Il existe deux techniques utilisées doppler dans l'ultrasonores.

L'effet doppler continue et pulsé.

### 4.1 L'effet doppler continue [4]

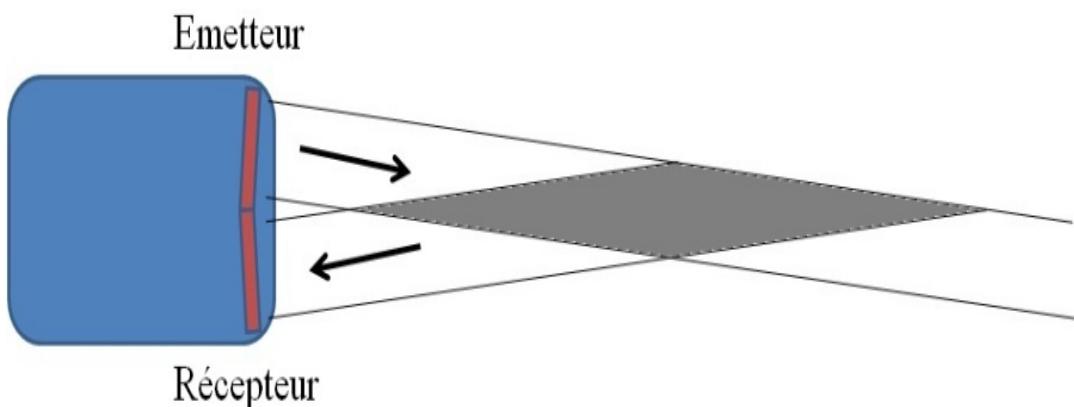
Les systèmes doppler à émission continue sont les premiers appareils ultrasonores dans l'effet doppler. Le doppler n'est on 1960 que SAMUTURA trouvera une application médicale de l'effet doppler. Il envoie un faisceau ultrasonore continu sur une cavité ventriculaire gauche et recueille le faisceau réfléchi.

Ce sont des méthodes qui consistent à diriger des ondes ultrasoniques de façon continue vers un obstacle avec un angle qui ne doit jamais être égal à  $90^\circ$ , ils utilisent deux capteurs ultrasoniques hémisphériques dans la même sonde, le premier considérer comme un émetteur

émis les ondes ultrasonores et l'autre reçoit les ondes. Cela signifie aussi qu'il n'y a pas moyen de trouver de quelle profondeur proviennent les échos.

Le signal reçu par le récepteur peut être vu comme une onde porteuse modulée en fréquence et en amplitude par les échos provenant de l'obstacle.

Une manière d'extraire l'information Doppler consiste à comparer le signal reçoit au signal émis, signal qui prend la valeur de référence. La différence de fréquence entre ces deux signaux engendre alors un battement à la fréquence Doppler.



**Figure I.5 Principe doppler continu**

La formule qui donne la relation entre la fréquence d'émission d'un appareil doppler, la fréquence doppler et la vitesse de l'objet mobile [5].

$$\Delta F = \frac{2 \cdot f_E \cdot V \cdot \cos\alpha}{C}$$

$f_E$  : Fréquence d'émission.

$\Delta F$  : fréquence doppler.

$\Delta F > 0$  : si le déplacement se fait vers le transducteur d'émission.

$\Delta F < 0$  : dans le cas contraire.

Les avantages du Doppler continu sont sa grande sensibilité pour détecter des flux lents et sa faible puissance acoustique. Il a cependant des limites : l'absence de résolution spatiale puisque, le signal reçu est indépendant de la profondeur et les fréquences Doppler détectées proviennent de l'ensemble des cibles rencontrées sur le faisceau.

#### 4.2 L'effet doppler pulsé

L'effet doppler pulsé permet de déterminer la distance des cibles responsables des échos doppler pour mesurer leur vitesse. On utilise un seul transducteur pour l'émission et la réception, le temps aller-retour de l'impulsion d'ultrasons permet de connaître la profondeur de la cible. [3]

Dans le mode pulsé, l'émission du signal est discontinue et inversement proportionnel à la distance, le nombre de signaux émis par seconde est la PRf est appelé : Pulse Répétition Frequency.

Il fonctionne comme ça :

Un transducteur incliné en direction de l'axe du vaisseau est excité périodiquement à la fréquence de récurrence PRf par des ondes ultrasonores du périodT.

$$PRf = \frac{c_0}{2d_{max}}$$

Ou :

$c_0$  : vitesse des ultrasons.

$d_{max}$  : Distance maximale.

La fréquence de répétition des tirs ou PRf avec la fréquence de transduction permet de déterminer la vitesse maximale avec un appareil à émission pulsée.

Pour mesurer la vitesse, la fréquence fournie par l'émetteur soit très stable par le temps et le transducteur soit fixe. si le transducteur est mobile sa fréquence est interprétée par le système comme une fréquence doppler.

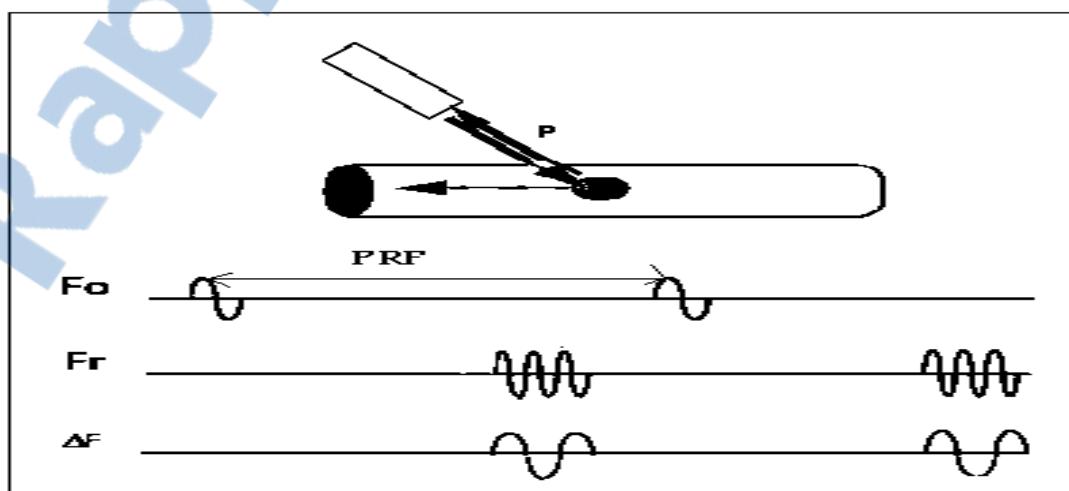


Figure I.6 Principe du Doppler pulsé

## 5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons rappelé les principes de l'effet Doppler qui utilise les ultrasons pour la détection du signal à partir le Doppler continue. Dans les chapitres suivants, nous allons présenter les différents étages constituants le système mesurant la portée par l'effet Doppler.

### Références :

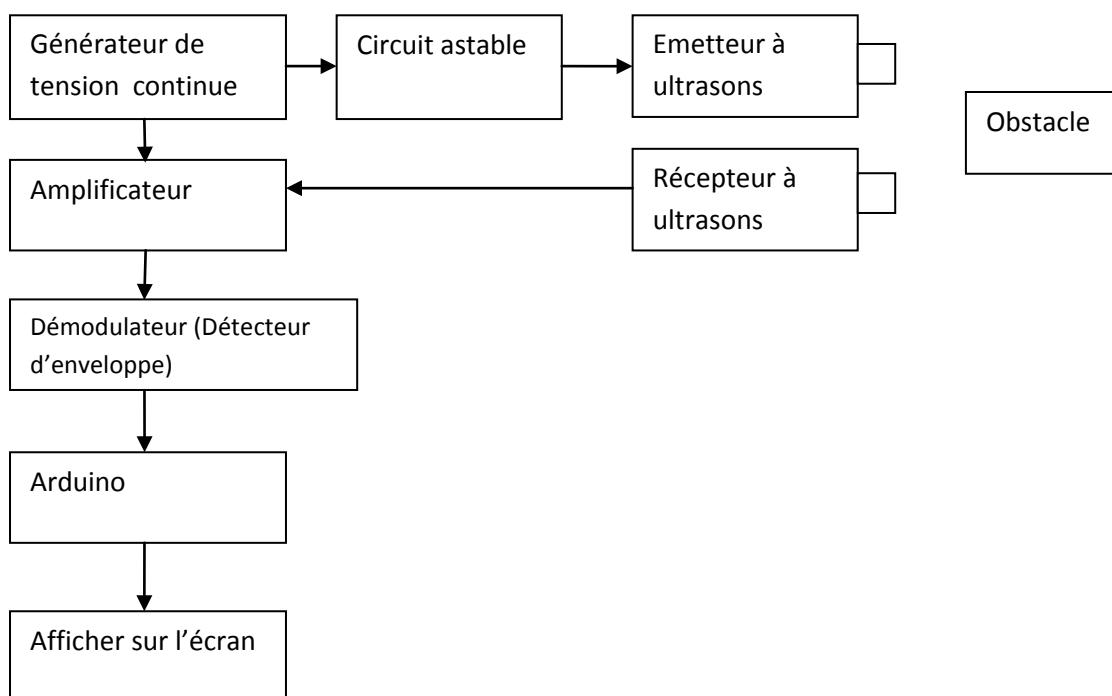
- [1] Etude et réalisation d'un dispositif décrivant le principe de l'ultrason graphie par M<sup>r</sup> DAOU SAYDO.
- [2] Physique des ondes, André ST-AMAND.
- [3] <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00584401>
- [4] Détection et analyse des signaux ultrasonores d'un dispositif Doppler multi-capteurs pour le suivi de l'activité fœtale, Ali Kribache.
- [5] Mémoire d'Ingénieur utilisation de l'effet doppler en mode pulse pour la mesure de vitesse et la portée d'un obstacle, présentée par M<sup>elle</sup> BELKAID RADIA et M<sup>elle</sup> MEHTARI WARDA.

## 1. Introduction

Dans le chapitre précédent nous avons défini l'effet doppler continue, qui consiste à diriger des ondes ultrasoniques de façon continue vers un obstacle. Il utilise deux capteurs ultrasoniques hémisphériques dans la même sonde, le premier considéré comme un émetteur émis les ondes ultrasonores et l'autre reçoit les ondes. Dans ce chapitre nous allons présenter le circuit de notre réalisation permettant la détection du signal doppler à partir des circuits d'émission et de réception.

## 2. Synoptique

Le schéma synoptique du montage est donné par la figure suivante :



**Figure II.1 Schéma synoptique de la détection**

Un générateur délivre une tension continue qui alimente un circuit astable, ce dernier est un circuit intégré appelé NE555 qui sert à donner un signal carré de 40KHz à la sortie pour relier avec l'émetteur.

À la réflexion, le signal est amplifié au niveau de l'étage de réception. La détection d'enveloppe sert à donner une tension continue à la sortie.

Au niveau de Arduino nous allons faire entrer une valeur continue sur une des entrées analogique pour afficher la valeur de la distance entre les capteurs ultrasons et l'obstacle.

### 3. le circuit d'émission

Le circuit que nous allons utiliser pour la génération d'un signal de 40 KHz est constitué d'un astable monté autour du circuit NE555 qui délivre un signal carré.

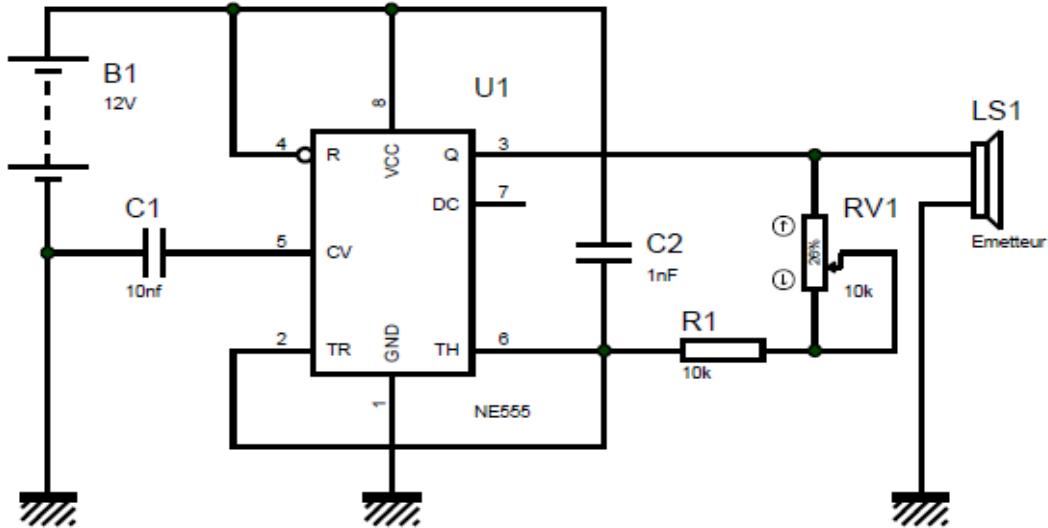


Figure II.2 Schéma électrique du circuit d'émission

#### 3.1 Un circuit astable

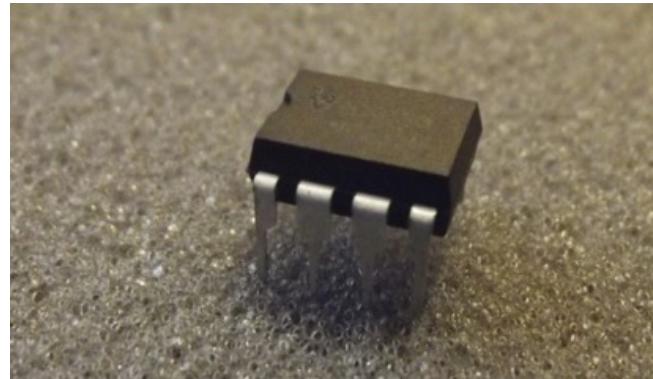
##### 3.1.1 Définition

Un montage ‘astable’ est un montage permettant de générer de manière autonome un signal carré. Ce montage est aussi appelé ‘oscillateur à relaxation’.

La tension de sortie oscille entre deux valeurs stables  $+V$  et  $-V$ .

##### 3.1.2 NE555

Lorsque le NE555 est le cerveau de notre circuit astable, alors nous allons faire une présentation à ce dernier [1].



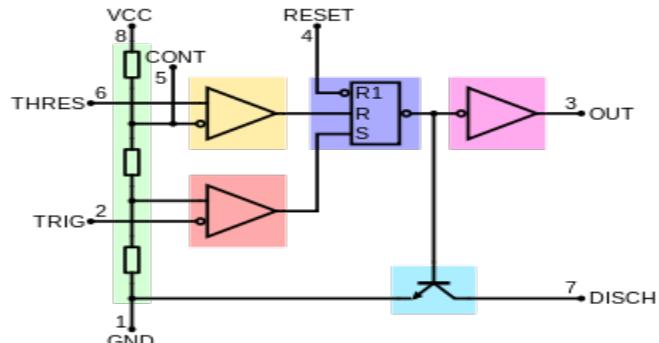
**Figure II.3 Symbole schématique du NE555**

Voici les principales caractéristiques de ce composant :

- Fonctionne sous des tensions d'alimentation de 4,5V à 16V.
- Fréquence max 2 MHz.
- Stabilité en température 0,005 % par °C.
- Intensité maximale de sortie de 200 mA.

### 3.1.2.1 Schémas internes, brochage

Le NE555 contient en fait environ 23 transistors, 2 diodes et environ 16 résistances.



**Figure II.4 Schéma interne du NE555**

Description des broches

1. GND: Masse du boîtier
2. TRIG: (déclenchement) Commande l'état de sortie, amorce la temporisation.

3. OUT: Sortie du boîtier.
4. RESET: (RAZ) Remise à zéro du signal de sortie, stoppe la temporisation.
5. CONT: (référence) Tension de référence. (2/3 de VCC).
6. THRES: (seuil) Commande l'état de sortie, signale la fin de la temporisation lorsque la tension dépasse 2/3 de VCC.
7. DISCH: (décharge) Décharge le condensateur de temporisation.
8. VCC: Alimentation du boîtier.

### **3.1.2.2principes de fonctionnement**

Les trois résistances internes au NE555 font un pont diviseur de tension qui permet d'obtenir les tensions 2/3 et 1/3 de VCC, servant de tension de référence pour les 2 comparateurs.

La formule de la fréquence dans notre circuit est :

$$F=1/T=1.44/(R_1+R_{V1})*C_2.$$

### **3.2 Le rôle de potentiomètre**

Dans ce mode, le potentiomètre n'est ni plus ni moins qu'une résistance dont on peut faire varier la valeur et le rôle nécessaire sert à régler la fréquence de la sortie à 40KHz.

### **3.3 Le capteur ultrason**

Les capteurs ultrasons fonctionnent en mesurant le temps de retour d'une onde sonore inaudible par l'homme émise par le capteur. La vitesse du son étant à peu près stable, on en déduit la distance à l'obstacle.

Les capteurs ultrasons fournis ont souvent la forme d'une paire d'yeux car il y a deux parties essentielles :

- L'émetteur
- Le récepteur



Capteurs d'émetteur et de récepteur à ultrason

### 3.3.1 Émetteur

Après avoir réalisé un circuit astable pour une fréquence de 40 KHz, on assure alors la présence de l'émetteur pour faire fonctionner le reste des blocs.

L'émetteur doit fournir un faisceau ultrasonore possédant une puissance et une fréquence bien déterminées afin d'être détectable par le récepteur le mieux possible.

## 4. Le circuit de réception

C'est un circuit qui va traiter le signal émis par l'émetteur et qui sera réfléchi en présence d'un obstacle, on reçoit un signal de 40KHz à partir de transducteur de réception, après on va amplifier ce signal par un amplificateur opérationnel non inverseur.

La sortie de l'amplificateur doit relier avec un circuit démodulateur (une détection d'enveloppe) pour obtenir une tension continue à la sortie.

En général le rôle de circuit de réception est de convertir le signal issu de capteur de réception en une tension continue dépendante de la position de l'obstacle c'est-à-dire dépendante de la distance d.

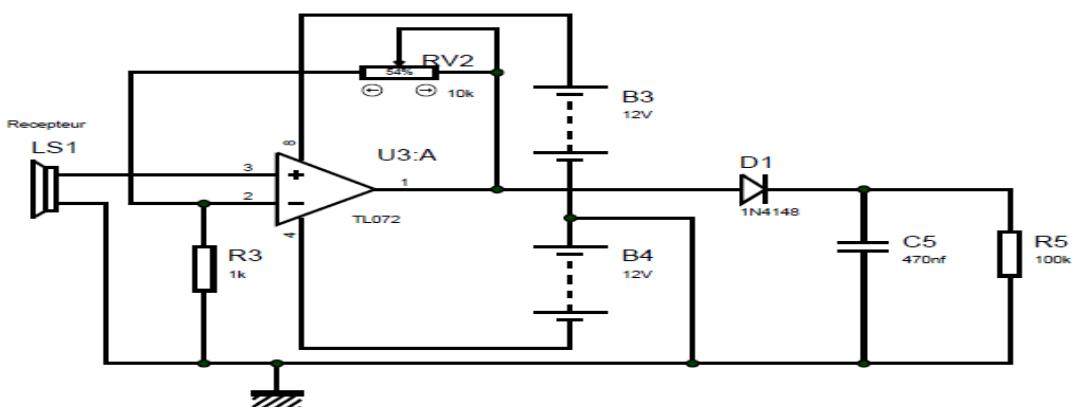


Figure II.5 Schéma électrique du circuit de réception

#### 4.1 Le récepteur

En présence de l'obstacle, l'onde ultrasonique émis sera réfléchie vers le récepteur et sera captée par le transducteur de réception, qui va la convertir en un signal de même fréquence émis mais d'amplitude crête à crête faible et qui dépend de la position de l'obstacle, c'est-à-dire la distance qui sépare le système d'émission et réception et l'obstacle.

#### 4.2 Le circuit d'amplificateur

Une fois que le signal réfléchi, il est convertit en signal électrique grâce au capteur de réception. Nous avons amplifié ce signal car il est faible au moyen d'un amplificateur à circuit intégré utilisant le TL072CP et tout en assurant à sa sortie des tensions supérieures à la tension de seuil de la diode ordinaire du détecteur d'enveloppe.

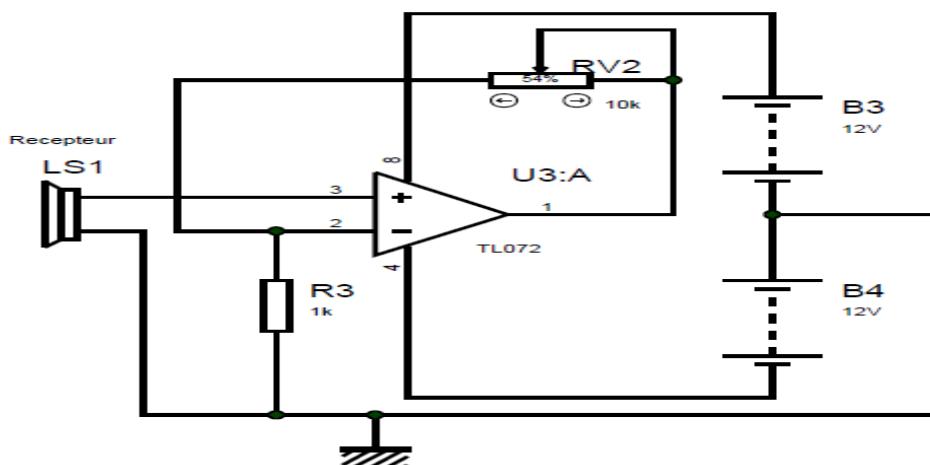


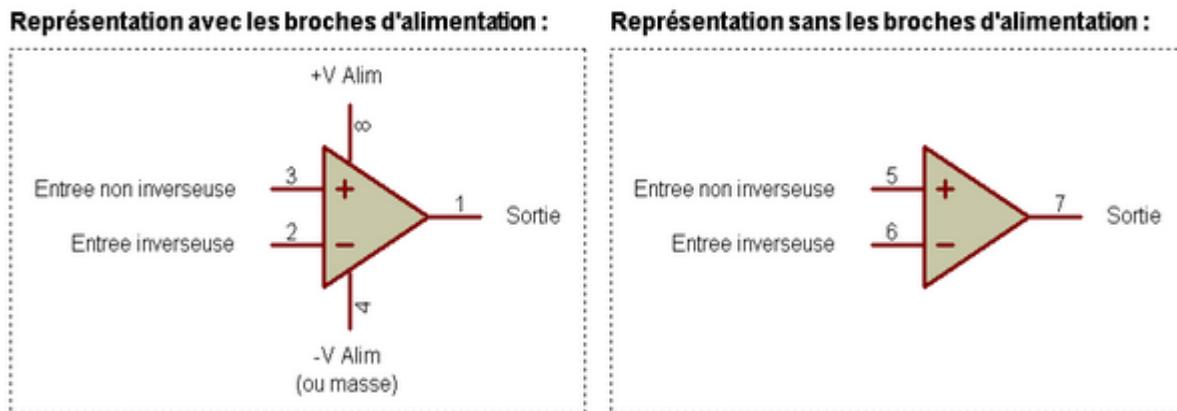
Figure II.6 Schéma électrique du circuit amplificateur

##### 4.2.1 Définition

On appelle amplificateur tout montage qui délivre à sa sortie un signal de même nature et de même fréquence que le signal appliqué à son entrée et dont l'amplitude et la phase peuvent être différents, il possède au moins 5 pattes de connexion [2].

- 1 entrée inverseuse notée "-"
- 1 entrée non inverseuse notée "+"
- 1 sortie
- 2 broches pour l'alimentation du composant

Ce circuit est quasiment toujours représenté sous la forme d'un triangle avec une pointe orientée vers la droite, qui représente la sortie.



**Figure II.7 Représentation d'un Apo**

Les entrées in verseuses et non inverseuse sont une impédance très élevée. Cette caractéristique fait que les entrées ne prélèvent quasiment aucun courant au circuit auquel elles sont raccordées, et bien souvent on considère ce courant comme nul. Sa sortie possède une impédance très basse, de quelques ohms à quelques dizaines d'Ohm.

Le TL072CP est l'amplificateur que nous allons utiliser pour le circuit amplificateur ; Il est conditionné dans un boîtier DIP. La technologie JFET du TL072 lui permet d'avoir un faible courant d'entrée. Des résistances de 10k à 1Megohm sont tout à fait adaptées au TL072 [3].

#### 4.2.2 Caractéristiques électriques de TL072 [3]

- Tension d'alimentation maximale : +/-18V ou 36V ;
- Tension différentielle entre les entrées : +/-30V ;
- Tension d'entrée : +/-15V. Cette tension d'entrée ne doit jamais dépasser 15V ou -15V ;
- Température interne de la jonction : +150°C max ;
- Température de stockage : -65°C à +150°C.

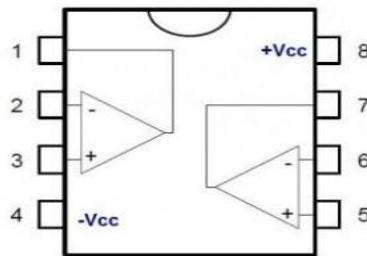


Figure II.8 Schéma interne de TL072CP

### 4.3 Le circuit démodulateur (déTECTEUR d'enveloppe)

On a besoin d'un circuit démodulateur (déTECTEUR d'enveloppe) pour obtenir à la sortie une tension continue, en utilisant une diode rapide 1N4148. Son rôle, comme son nom l'indique, permet de créer facilement une jonction dans un circuit avec un temps de réponse rapide (passante dans un sens et non passante dans l'autre), avec un circuit RC.

#### 4.3.1 Démodulation par déTECTION d'enveloppe

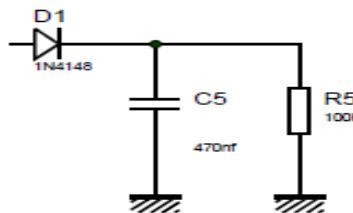


Figure II.9 DéTECTION d'enveloppe

La démodulation consiste à récupérer le signal informatif modulant qui est contenu dans la partie supérieure (ou inférieure) de l'enveloppe du signal modulé en amplitude.

##### 4.3.1.1 Suppressions des alternances négatives et déTECTION d'enveloppe

La diode est associée à un condensateur et une résistance montés en dérivation l'un par rapport à l'autre. Ce circuit RC permet de détecter l'enveloppe.

Pour les alternances positives la diode est passante et la tension aux bornes du condensateur est égale à celle du signal amplifié.

Lorsque la diode est bloquée, le condensateur se décharge à travers la résistance suivant la constante de temps  $T=RC$ .

## 5. Carte Arduino

On obtient à la sortie de circuit démodulateur une tension continue, on va relier cette tension avec une des entrées analogiques d'Arduino pour afficher sur le moniteur série la valeur de la distance entre les capteurs ultrasons et l'obstacle.

### 5.1 Présentation d'Arduino

Arduino est un projet créé par une équipe de développeurs, composée de six individus : *Massimo BANZI, David CUARTIELLES, TOMLGOE, Gianluca Martino, David MEIIS et Nicholas ZAMBETTI*. Cette équipe a créé le "système Arduino". C'est un outil qui va permettre aux débutants, amateurs ou professionnels de créer des systèmes électroniques plus ou moins complexes. [4]

### 5.2 Le but

Arduino, nous donne la possibilité de mélanger les performances de la programmation à celles de l'électronique. L'avantage de l'électronique programmée c'est qu'elle simplifie grandement les schémas électroniques et par conséquent, le coût de la réalisation, mais aussi la charge de travail à la conception d'une carte électronique.

### 5.3 Application

Le système Arduino nous permet de réaliser un grand nombre de choses, qui ont une application dans tous les domaines et voilà une liste non exhaustive des applications possibles réalisées grâce à Arduino :

- Contrôler les appareils domestiques.
- Donner une intelligence à un robot.
- Faire un jeu de lumières.
- Permettre à un ordinateur de communiquer avec une carte électronique et différents capteurs
- Télécommander un appareil mobile (modélisme).

### 5.4 Les types des cartes

Il y a trois types de cartes :

1-Lesdites « officielles » qui sont fabriquées en Italie par le fabricant officiel : *SMART PROJECT*.

2-Lesdits « compatibles » qui ne sont pas fabriqués par *SMART PROJECT*, mais qui sont totalement compatibles avec les Arduino officielles.

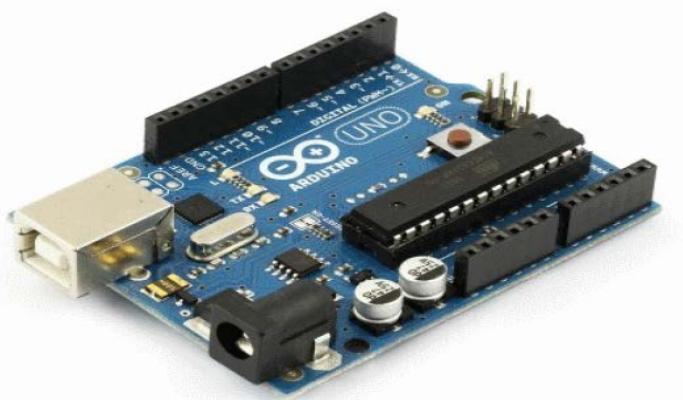
3-Les « autres » fabriquées par diverse entreprise et commercialisées sous un nom différent (FREEDUINO, SEEDUINO.....).

### 5.5 Les différentes cartes

Les cartes Arduino sont beaucoup

#### 5.5.1 La carte UNO et DUMILANO

Nous choisirons d'utiliser la carte portant le nom de « UNO » ou « DUMILANO ». Ces deux versions sont presque identiques.



**Figure II.10 Carte Arduino UNO R3 sur laquelle nous allons travailler**

#### 4.5.2 La carte MEGA

La carte Arduino MEGA est une autre carte qui offre toutes les fonctionnalités des précédentes, mais avec des options en plus.

On retrouve notamment un nombre d'entrées et de sorties plus importantes ainsi que plusieurs liaisons séries que la carte UNO.

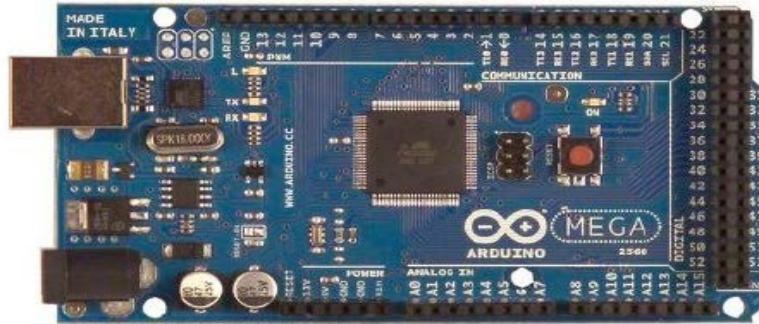


Figure II.11 Carte Arduino MEGA

## 5.6 Le matériel

Il s'agit d'une carte électronique basée autour d'un microcontrôleur ATMEGA du fabricant ATMEL, Voilà à quoi ressemble la carte que nous allons utiliser :

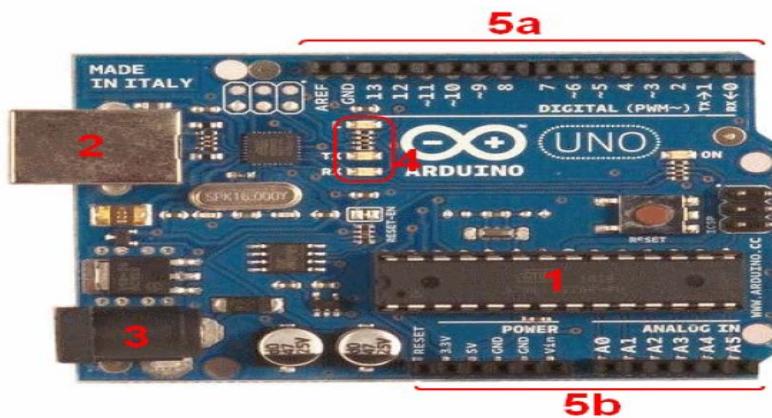


Figure II.12 Présentation de la Carte Arduino UNO

### 5.6.1 Constituants de la carte

Les points importants dans la carte Arduino et leurs rôles.

#### 1- Le microcontrôleur

Le microcontrôleur est le cerveau de notre carte (en 1 de la figure 2.12). C'est lui qui va recevoir le programme que vous aurez créé et qui va le stocker dans sa mémoire puis l'exécuter. Grâce à ce programme, il va afficher la distance sur l'écran en fonction de la tension détectée.

### 2-Alimentation

Pour fonctionner, la carte a besoin d'une alimentation. Le microcontrôleur fonctionnant sous 5V, la carte peut être alimentée en 5V par le port USB (en 2 de la figure 2.12) ou bien par une alimentation externe (en 3de la figure 2.12) qui est comprise entre 7V et 12V. Un régulateur se charge ensuite de réduire la tension à 5V pour le bon fonctionnement de la carte. Pas de danger de tout griller donc! Veuillez seulement à respecter l'intervalle de 7V à 15V.

### 3-Visualisation

Les trois "points blancs" entourés en rouge (en 4de la figure 2.12) sont en fait des LED dont la taille est de l'ordre du millimètre. Ces LED servent à deux choses :

Celle tout en haut du cadre : elle est connectée à une broche du microcontrôleur et va servir pour tester le matériel.

Quand on branche la carte au PC, elle clignote quelques secondes.

Les deux LED du bas du cadre : servent à visualiser l'activité sur la voie série (une pour l'émission et l'autre pour la réception). Le téléchargement du programme dans le microcontrôleur se faisant par cette voie, on peut les voir clignoter lors du chargement.

### 4-la conectique

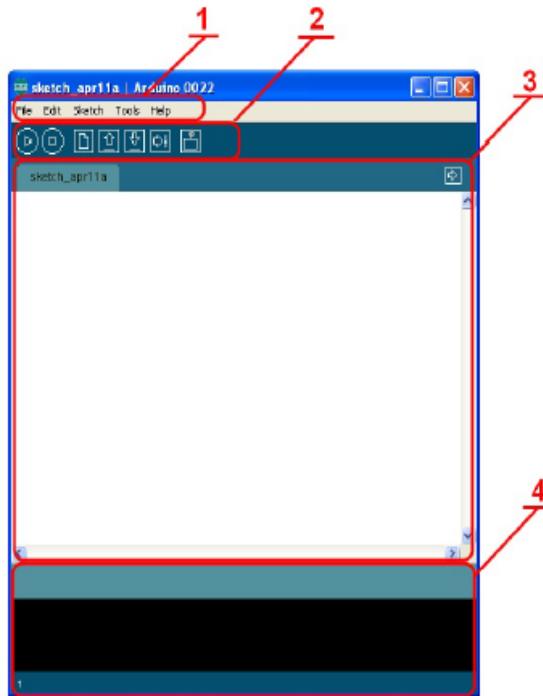
La carte Arduino ne possédant pas de composants qui peuvent être utilisés pour un programme, mis à part la LED connectée à la broche 13 du microcontrôleur, il est nécessaire de les rajouter. Mais pour ce faire, il faut les connecter à la carte. C'est là qu'intervient la connectique de la carte (en 5a et 5bde la figure 2.12).

### 5.7 le logiciel

Premierement , on parle a langage utiliser dans Arduino. En réalité, le "langage Arduino", comme beaucoup l'appellent, n'est rien d'autre que le langage C / C++.

Par conséquent, si vous savez faire des programmes C ou du C++ sur PC, vous savez déjà faire une grande partie d'Arduino. Il ne vous reste plus qu'à prendre en mains les fonctions propres au projet Arduino.

Pour logiciel d'Arduino, la première chose que doit regarder, c'est la clarté de présentation du logiciel. On voit tout de suite son interface intuitive. Voilà comment se compose cette interface



**FigureII.13 Présentation de logiciel**

Le cadre numéro 1 : ce sont les options de configuration du logiciel

Le cadre numéro 2 : il contient les boutons qui vont nous servir lorsque l'on va programmer nos cartes.

Le cadre numéro 3 : ce bloc va contenir le programme que nous allons créer.

Le cadre numéro 4 : celui-ci est important, car il va nous aider à corriger les fautes dans notre programme.

### 5.7.1 Le menu File

C'est le menu principal le plus utilisé.

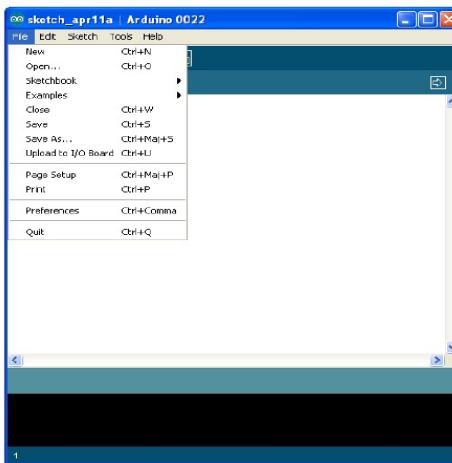


Figure II.14 Contenu de menu File

*New* (nouveau) : va permettre de créer un nouveau programme. Quand on appuie sur ce bouton, une nouvelle fenêtre, identique à celle-ci, s'affiche à l'écran.

*Open...* (Ouvrir) : avec cette commande, nous allons pouvoir ouvrir un programme existant

*Save / Save as...* (Enregistrer / enregistrer sous...) : demande où enregistrer le document en cours.

*Exemples* (exemples) : ceci est important, il y a une liste spéciale pour afficher les noms d'exemples de programmes pour prendre des notes.

### 5.7.2 Les boutons

Voilà en bas, on va présenter chaque bouton à quoi sert.



Figure II.15 Présentation des boutons

Bouton 1 : Ce bouton permet de vérifier le programme, il actionne un module qui cherche les erreurs dans votre programme

Bouton 2 : Créer un nouveau fichier

Bouton 3 : Sauvegarder le programme en cours

Bouton 4 : On n'y touche pas pour l'instant

Bouton 5 : Stoppe la vérification

Bouton 6 : Charger un programme existant

Bouton 7 : Compiler et envoyer le programme vers la carte

## 6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié les étages qui permettent la génération du signal Doppler. À l'émission nous avons utilisé le mode continu à travers le circuit astable. À la réflexion on a deux étages l'un est l'amplificateur et l'autre est le détecteur d'enveloppe afin d'obtenir une tension continue variée en fonction de la distance.

## Références

- [1] Le NE555 - Electronique - Tutoriels - Robot Maker.htm
- [2] Amplificateur opérationnel.htm
- [3] Ampli op TL072 TL072CN et TL072CP - Astuces Pratiques.htm
- [4] Arduino pour bien commencer en électronique Par Astalaseven ,Eskimonet olyte

## 1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les signaux que nous avons obtenus pratiquement à la sortie de chaque étage de notre station permettant la mesure de la portée d'un mobile (obstacle) en utilisant l'effet Doppler en mode continue. Cette mesure est faite par le biais d'un code que nous avons réalisé sous l'environnement IDE pour Arduino Uno R3 et repose sur la connaissance de la fonction donnant la distance en fonction de la tension détectée se trouvant à l'entrée analogique d'Arduino. Cette fonction mathématique, nous l'avons obtenue en faisant un lissage de courbe pratique sous l'environnement ORIGIN.

## 2. Méthode de calcul de la portée

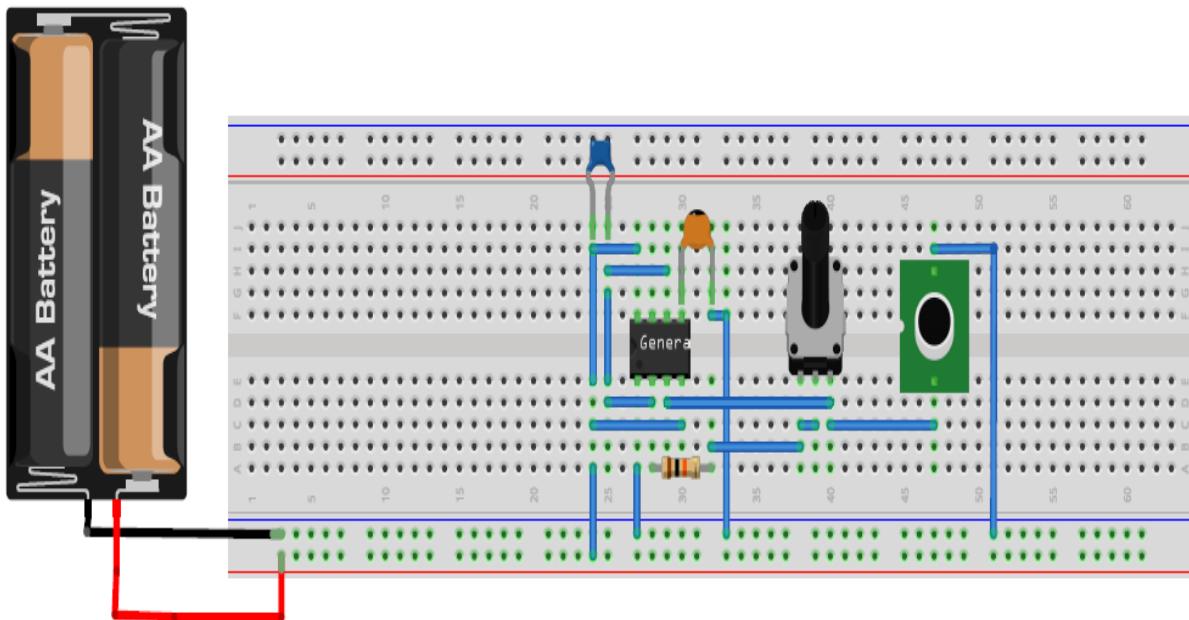
La méthode de calcul de la portée est simple : nous allons émettre un signal carré de fréquence ultrasonique de 40 KHz prélevé de la sortie du circuit d'émission, fréquence à laquelle travaille notre transducteur d'émission. Après, en présence d'obstacle, le signal émis sera réfléchi puis reçu (capté) par le transducteur de réception. Au niveau du récepteur le signal capté est faible et nécessite une amplification faite par l'AOPTL072. Ce dernier suivi par un détecteur d'enveloppe permet d'obtenir une tension continue (détectée) qui sera ensuite appliquée à l'entrée analogique d'Arduino pour faire les calculs et enfin afficher la valeur de la distance correspondante à la valeur de la tension continue détectée sur le moniteur série (écran de l'ordinateur).

### 2.1 Signal d'émission

Le signal d'émission est un simple signal carré de fréquence 40 KHz généré par un circuit astable utilisant le timer NE555. Dans ce qui suit nous allons présenter nos circuits électriques de notre station à effet Doppler sur FRITZING.

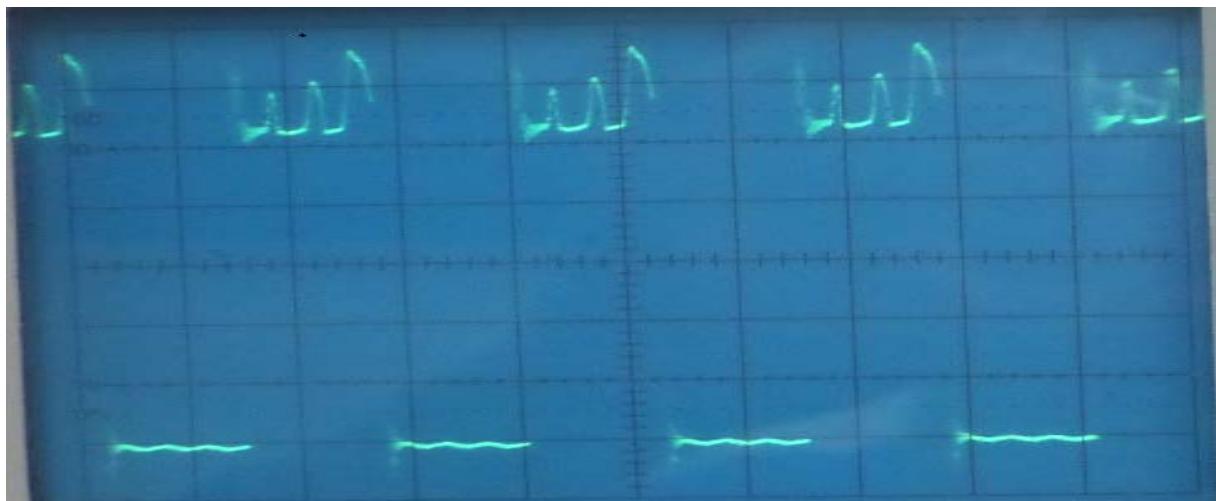
FRITZING est un logiciel open-sources utilisé pour créer des circuits électroniques réels (maquettes). En gros, il s'agit de reproduire sur une platine d'essai virtuelle affichée sur l'écran un circuit qu'on a préalablement réalisé sur une véritable platine d'essai. Pour ce faire, il s'agit de placer sur la platine virtuelle les éléments de circuit désirés: résistances, condensateurs, circuits intégrés...et même un Arduino. Puis il suffit de cliquer sur l'onglet "Vue schématique" pour accéder au schéma de notre circuit, ou de cliquer sur l'onglet "Circuit imprimé" pour obtenir le schéma du circuit imprimé [1].

La figure suivante représente notre circuit d'émission sur une platine d'essai sur FRITZING.



**Figure III.1 : Réalisation du circuit d'émission sur FRITZING**

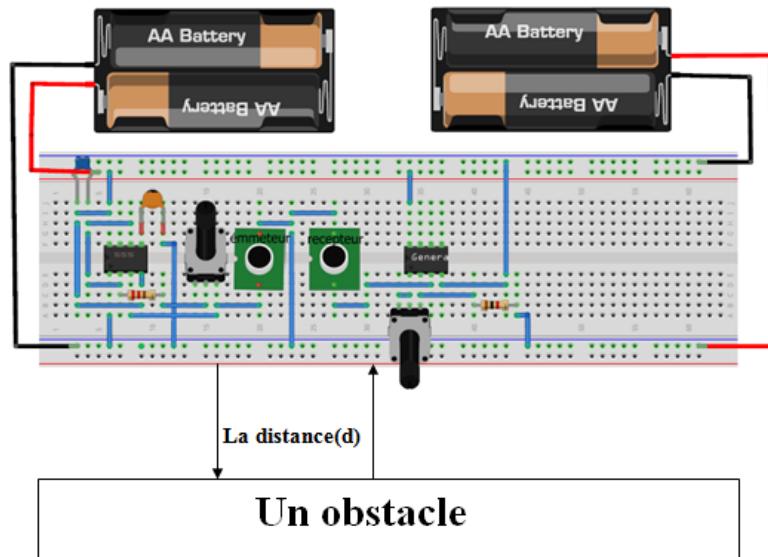
Pratiquement, nous avons obtenu un signal carré de fréquence que nous avons ajustée sur 40KHz. La figure suivante montre ce signal.



**Figure III.2: Forme du signal généré par l'astable à circuit intégré chargé par le transducteur ultrasonique d'émission.**

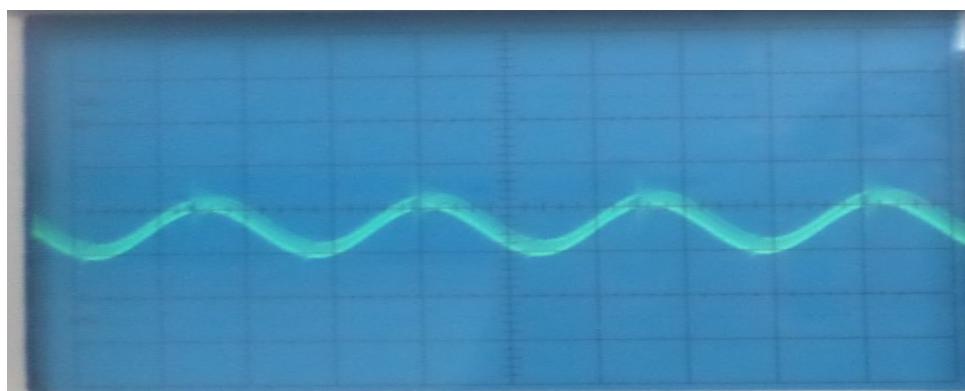
## 2.2 Signal de réception

Au niveau de notre récepteur et en présence d'obstacle, le signal émis sera réfléchi puis capté par notre transducteur de réception.



**Figure III.3 : Réalisation de circuit de réception sur FRITZING**

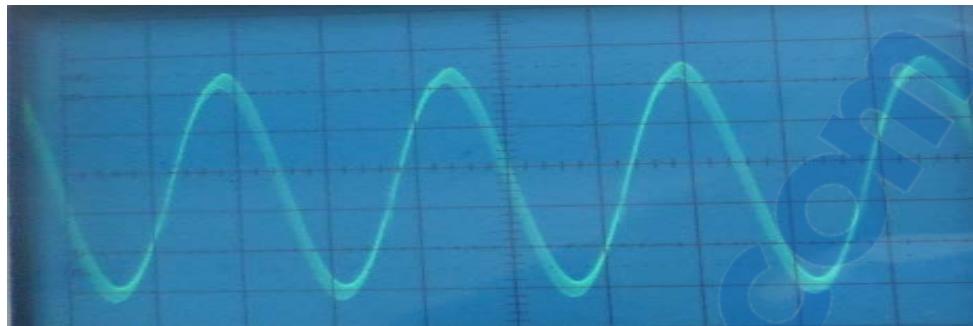
Pour une distance séparant notre station d'émission-réception et l'obstacle l'allure de notre signal détecté est :



**Figure III.4: Forme du signal reçu à l'entrée de notre récepteur.**

## 2.3 Signal amplifié

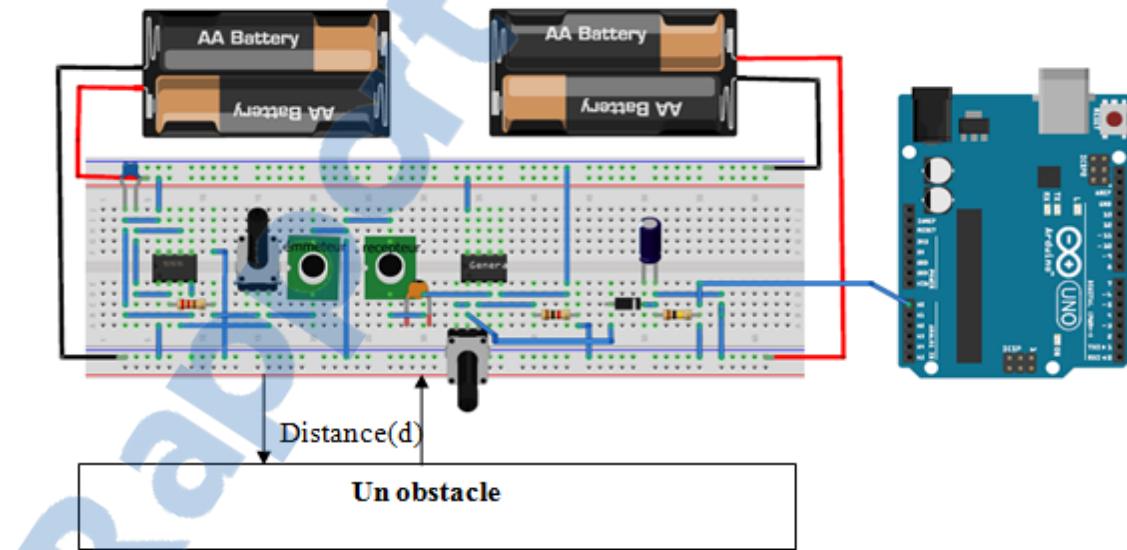
Une fois que l'onde ultrasonique réfléchie par l'obstacle est traduite en signal électrique grâce au transducteur de réception, une amplification est nécessaire car notre signal est faible. Pour cela, nous avons utilisé l'AOP TL072.



**Figure III.5: Forme du signal reçu après amplification ayant une amplitude Vmax supérieure à 0.7V**

Ensuite nous avons utilisé un démodulateur (détecteur d'enveloppe) pour restituer la composante continue du signal alternatif. Cette composante continue, reliée à l'entrée analogique d'Arduino, est inversement proportionnelle à la distance qui sépare l'obstacle de notre station d'émission-réception utilisant l'effet Doppler en mode continu. Entrées nécessite une tension continue.

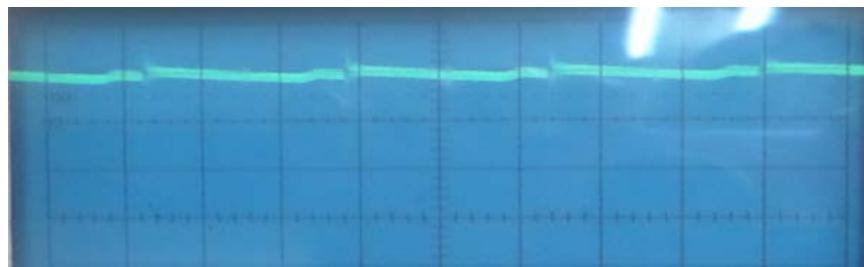
Sous FRITZING, notre réalisation de tout le circuit de notre station est représentée sur la figure suivante.



**Figure III.6 : Réalisation du circuit de toute la station d'émission-réception**

## 2.4 Signal continu

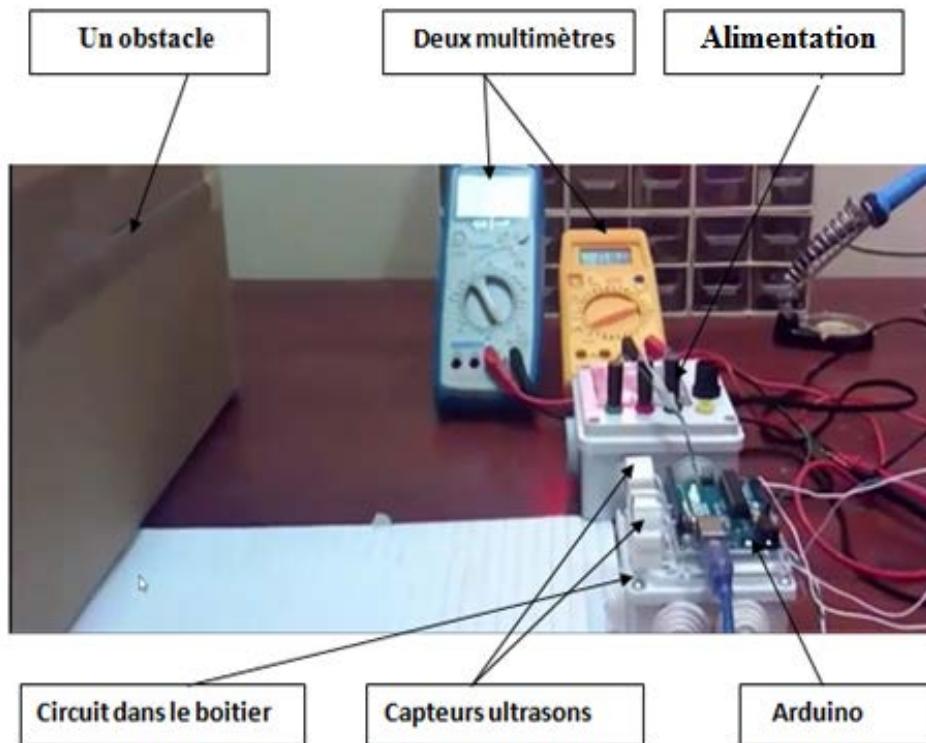
L'allure du signal continu que nous avons obtenu à la sortie du circuit démodulateur est la suivante.



**Figure III.7: Forme du signal continu obtenu à la sortie du détecteur d'enveloppe**

Nous constatons aussi que la réponse de la détection d'enveloppe n'est pas tout à fait linéaire. Comme notre travail se porte sur l'étude de la portée d'un obstacle en utilisant des ondes ultrasoniques en mode continu, l'étude de l'influence de l'obstacle sur le signal reçu est nécessaire.

Nous avons relié à la sortie de notre circuit un multimètre pour voir l'évaluation de tension en fonction de la distance (Figure III.8). Pour cela nous avons fixé notre obstacle à une distance connue de notre station d'émission-réception. A chaque fois que la mesure est faite nous déplaçons l'obstacle sur une position et nous mesurons la tension correspondante (la tension est affichée lorsque l'obstacle se trouve dans la zone où règne le signal Doppler).



**Figure III.8 : Expérience pour la mesure de la portée en utilisant l'effet Doppler en mode continu**

### 3. Résultats expérimentaux

Nous avons classé les valeurs lues des tensions continues de notre expérience pour différentes positions de l'obstacle dans le tableau suivant.

<b>Distance en (cm)</b>	2.5	3.2	4	4.8	5.6	6.4	7.2	8	8.8
<b>Tension détectée en (V)</b>	5	4.8	3.52	3.11	2.55	2.36	1.5	1.2	1

**Tableau montrant la dépendance qui existe entre la position de l'obstacle et la tension continue détectée**

D'après nos résultats obtenus nous remarquons que la valeur de tension change en fonction des positions de l'obstacle.

Aussi notre tableau montre que la tension décroît lorsqu'on s'éloigne de la source d'émission c'est-à-dire lorsque la distance augmente et vice versa.

Nos valeurs ont été obtenues sous l'influence de plusieurs facteurs :

- Bruit atmosphériques.
- Réflexion du sol
- Absorption de l'obstacle
- La position de l'obstacle.
- La qualité des transducteurs.
- Le récepteur détectera nécessairement des signaux parasites
- Le bruit apporte au signal informatif une perturbation additive.

Les résultats que nous avons obtenus pratiquement (ceux du tableau précédent) nous ont permis d'obtenir une courbe sous l'environnement ORIGIN (Figure III.9).

ORIGIN est un outil complet d'analyse de données et de mise en forme graphique fournissant tout un éventail de fonctionnalités (analyse de pics, ajustement de courbes, statistiques...)

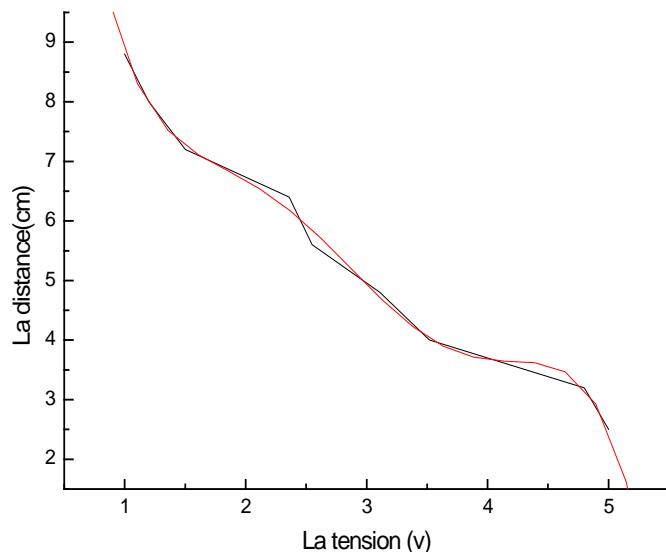
permettant de satisfaire aux exigences de qualité et aux besoins spécifiques de la communauté scientifique (chercheurs, ingénieurs, techniciens...). Il existe sous deux versions, ORIGIN Standard, offrant les fonctionnalités essentielles, et ORIGIN Pro, pour une utilisation plus poussée.

**ORIGIN Standard** : il permet de se concentrer sur le travail plutôt que sur la maîtrise complète du logiciel. Grâce à sa large palette d'outils, nous pouvons obtenir, en quelques clics, l'analyse sans avoir à manipuler nos données cellule par cellule.

**ORIGIN Pro** : il propose les mêmes fonctionnalités qu'ORIGIN Standard, complétées d'une palette d'outils plus avancés en analyse de pics, ajustement de courbe et de surface, statistiques, traitement du signal et manipulation d'image.

Nous avons choisi ORIGIN car il nous permet :

- D'importer les données brutes de nos expérimentations avec les nombreux formats disponibles : .csv, .dat, .xls, .spc, etc.
- De manipuler nos données pour les rendre exploitables très facilement.
- D'effectuer toutes nos analyses, calculs et statistiques.
- De tracer nos graphes en 2D ou en 3D. [2]



**Figure III.9 : Tracé de nos résultats expérimentaux sous ORIGIN**

Le graphe de la figure III.9 montre que la tension (v) décroît au fur et à mesure que de la distance augmente.

Pour obtenir une fonction de lissage de nos résultats expérimentaux, nous avons choisis une fonction d'interpolation polynomiale d'ordre 5 qui s'écrit sous la forme suivante :

$$Y = A + B_1 x + B_2 x^2 + B_3 x^3 + B_4 x^4 + B_5 x^5.$$

Avec :

- Y=la distance d en cm.
- x= la tension v en volt.
- A=27.78.
- B<sub>1</sub>=-40.384.
- B<sub>2</sub> =31.293.
- B<sub>3</sub> =-11.833.
- B<sub>4</sub>=2.106.
- B<sub>5</sub>=-0.142.

Par une technique de lissage du logiciel ORIGIN, cette fonction mathématique que nous cherchons est (courbe en rouge de la figure III.9) :

$$D \text{ (cm)} = 27.78 + (-40.384)*v + (31.293)*v^2 + (-11.833)*v^3 + (2.106*10^{-4})*v^4 + (-0.142)*v^5$$

Cette fonction est indispensable pour écrire notre programme (code Arduino) permettant le calcul et l'affichage des valeurs des distances sur le moniteur série. Notre code que nous avons écrit sous l'environnement IDE est le suivant :

```
#include<LiquidCrystal.h>

LiquidCrystald(12,11,5,4,3,2);

intoutputPin=0;

void setup() {

Serial.begin(9600); // put your setup code here, to run once:

lcd.begin(16,2);

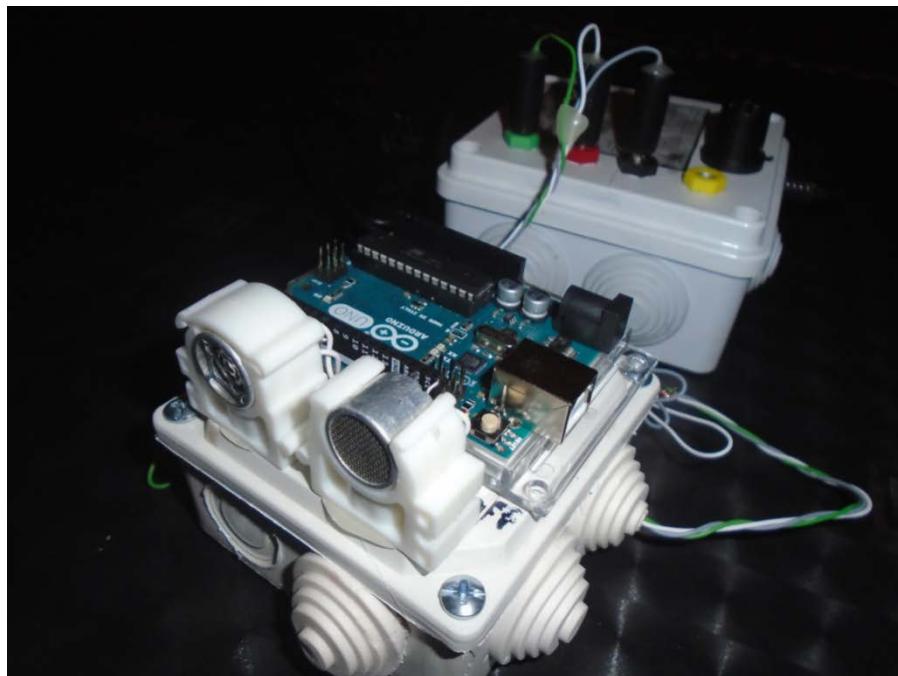
lcd.clear();

}
```

```
void loop() {  
    int valeur=analogRead(outputPin);  
    float valeurVolt=(valeur*5)/1023.0;  
    Serial.println();  
    float distanceEncm=27.78-40.384*valeurVolt+31.293*pow(valeurVolt,2)-  
    11.833*pow(valeurVolt,3)+2.106*pow(valeurVolt,4)-0.142*pow(valeurVolt,5);  
    Serial.print("Tension détectée en Volt: ");  
    Serial.println(valeurVolt);  
    Serial.print("Distance en centimetre: ");  
    Serial.println(distanceEncm);  
    delay(2000);  
}
```

#### 4. Présentation de la station d'émission-réception réalisée

Notre produit (station de détection) final se présente comme photographié ci-dessous.



**Figure III.10 : Station d'émission-réception utilisant l'effet Doppler en mode continu que nous avons réalisée**

Ses schémas électriques et de circuit imprimé ainsi qu'une présentation en 3D sont les suivants :

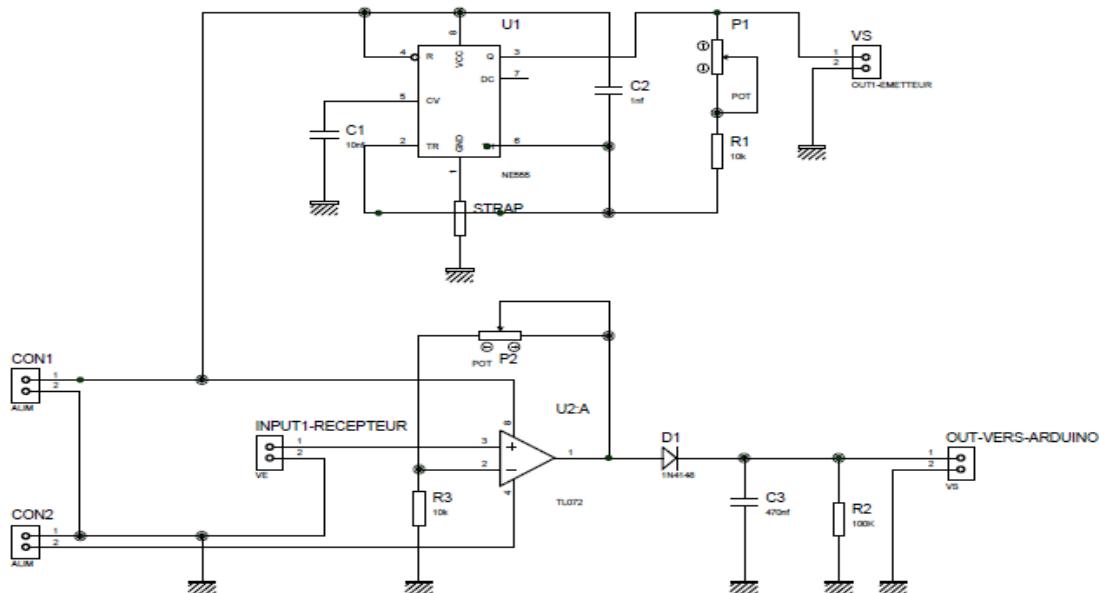


Figure III.11 : Schéma électrique réalisé sous ISIS pour l'obtention du schéma du circuit imprimé

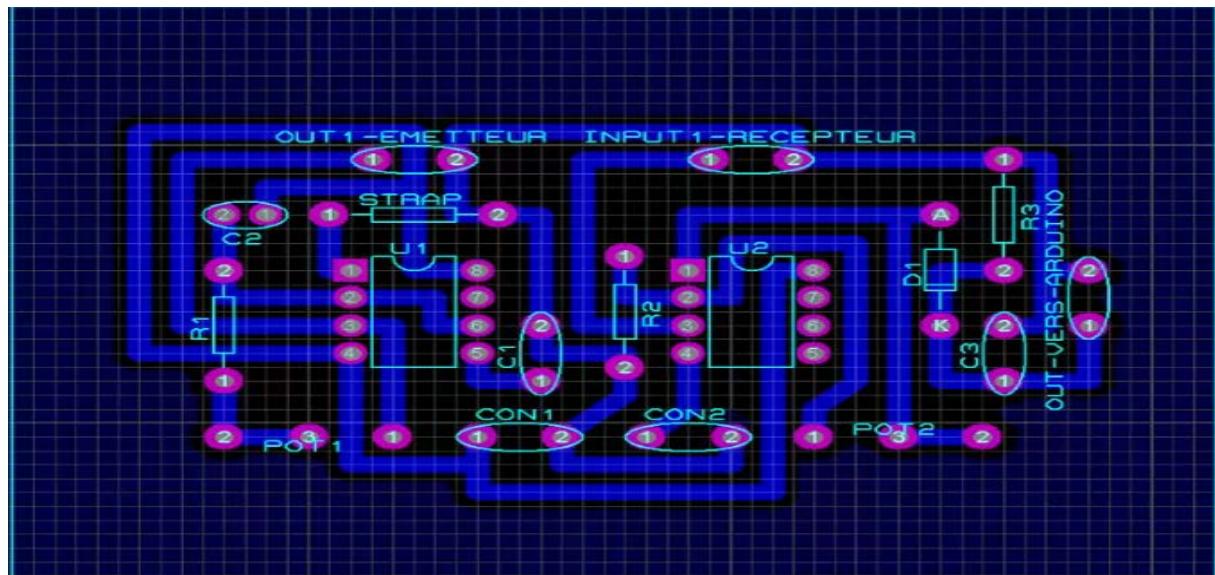
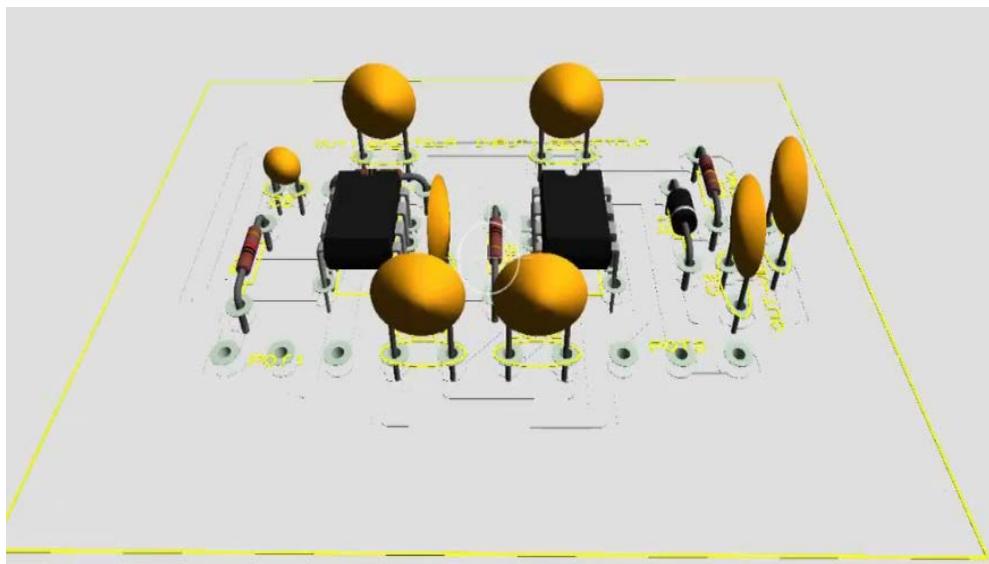


Figure III.12 Schéma du circuit imprimé sous ARES de la station



**Figure III.13 : Présentation 3D du circuit de la station d'émission-réception**

## 5. Conclusion

Notre station à transducteurs ultrasoniques est formé d'une part d'un émetteur principalement conçu en utilisant un multivibrateur à circuit intégré NE555, fonctionnant à 40 KHz et permettant d'envoyer une onde ultrasonique en mode continu, et d'autre part d'un récepteur formé de deux étages: amplificateur à circuit intégré et détecteur d'enveloppe.

La tension continue détectée par le circuit de réception et qui dépend de l'amplitude du signal reçu c'est-à-dire de la position (distance) de l'obstacle par rapport à la station de détection attaque une entrée analogique de la carte d'interface de ARDUINO Uno R3.

Grâce à notre code réalisé sous l'environnement IDE, le calcul et l'affichage de la distance séparant l'obstacle et la station de détection, est facilement réalisé.

La station se présente sous forme de modules facilement accessibles par l'utilisateur.

Toute la station est alimentée par des tensions correctement choisies et réalisées.

Notre station de détection peut être utilisée pour réaliser un système d'alarme, par exemple pour voiture.

## Références

[1]Conception électronique (futur remplaçant à SPICE) - [LinuxFr.org.htm](http://LinuxFr.org.htm)

[2]Description - [Ritme logiciels scientifiques et formations.htm](http://Ritme.org.htm)

## Conclusion générale

Ce projet de fin d'études nous a permis de comprendre ce que c'est exactement l'effet Doppler, les ultrasons ainsi que leurs applications qui en découlent pour les deux modes ultrasonores : continue et pulsé.

Ici notre objectif, que nous avons atteint, était de réaliser un système (une station d'émission-réception) permettant la mesure de la portée d'un mobile par l'effet Doppler en mode continue.

Pratiquement, nous avons montré que la valeur de la tension détectée diminue lorsque le mobile (l'obstacle) s'éloigne de notre station ultrasonique et vice versa. Aussi nous avons pu obtenir l'expression de la fonction (dans notre cas fonction polynomiale d'ordre 5) donnant la distance à mesurer en fonction de la tension détectée et mesurée. Cette dernière (fonction) nous l'avons introduite dans un code IDE que nous avons réalisé pour notre carte Arduino Uno R3 pilotant notre station d'émission-réception.

Enfin, nous pouvons dire que notre système fonctionne dans la zone de la détection Doppler et qu'il reste sensible aux bruits.