

Table des matières

Table des figures	I
Table des tableaux	III
Table des matières	IV

Introduction générale	1
------------------------------------	---

CHAPITRE I : Principe des ultrasons et effet Doppler

I.1 Introduction.....	- 3 -
I.2 Le principe des ultrasons	- 3 -
I.2.1 Introduction	- 3 -
I.2.2 Définition	- 3 -
I.2.3 Nature des ultrasons	- 4 -
I.2.4 Les caractéristiques des ultrasons	- 4 -
La fréquence (f)	- 4 -
La période (T)	- 4 -
La longueur d'onde (λ)	- 4 -
La célérité (c)	- 4 -
L'amplitude (A)	- 5 -
L'intensité (I) et la pression acoustique (P)	- 5 -
L'impédance acoustique (Z)	- 5 -
I.2.5 Le capteur ultrasonique (effet piézoélectrique).....	- 5 -
I.2.6 Interaction des ultrasons et d'une interface	- 6 -
I.2.6.1 Transmission.....	- 6 -
I.2.6.2 Réflexion et réfraction	- 6 -
I.2.6.3 Diffusion.....	- 6 -
I.3 l'effet doppler	- 7 -
I.3.1 Introduction	- 7 -
I.3.2 Historique	- 7 -
I.3.3 Principe physique	- 7 -
I.3.4 Relations mathématiques liées à l'effet Doppler	- 9 -
I.3.4.1 Effet Doppler sonore	- 9 -
I.3.4.2 Effet Doppler pour les ondes lumineuses	- 10 -
I.3.5 Applications pratiques du phénomène	- 11 -
I.3.6 Détermination de la formule de la vitesse	- 11 -

I.3.7 Modes Doppler	- 13 -
I.3.7.1 Mode pulsé	- 13 -
I.3.7.2 Mode continue	- 14 -
I.4 Conclusion	- 15 -
Références	16

CHAPITRE II : Système Arduino

II.1 Introduction	- 17 -
II.2 Historique de l'Arduino.....	- 17 -
II.3 Définition du module Arduino	- 17 -
II.4 Gammes de la carte Arduino	- 17 -
II.5 Raisons du choix de la carte Arduino.....	- 19 -
II.6 Constitution de la carte Arduino UNO.....	- 20 -
II.6.1 La partie matérielle	- 20 -
II.6.1.1 Synthèse des caractéristiques	- 20 -
II.6.1.2 Constitution de la carte.....	- 21 -
Le Microcontrôleur ATmega328.....	- 21 -
Sources d'alimentation de la carte	- 22 -
Entrées & sorties	- 23 -
Ports de communications	- 24 -
Zoom sur la carte Arduino Uno R3	- 24 -
II.6.2 Partie programme.....	- 24 -
II.6.2.1 Environnement de programmation.....	- 25 -
II.6.2.2 Structure générale du programme (IDE Arduino).....	- 25 -
II.6.2.3 Injection du programme	- 26 -
II.7 Les Accessoires de la carte Arduino	- 28 -
II.7.1 Communication.....	- 28 -
Le module Arduino Bluetooth	- 29 -
Le module shield Arduino Wifi	- 29 -
Le Module XBee.....	- 29 -
II.7.2 Capteurs	- 30 -
II.7.3 Drivers.....	- 30 -
Des moteurs électriques	- 30 -
Les afficheurs LCD.....	- 30 -
Le relais.....	- 31 -
II.8 Conclusion.....	- 31 -
Références.....	31

CHAPITRE III : Station d'émission-réception

III.1 Introduction	- 32 -
III.2 Différentes étapes de réalisation de la station d'émission-réception	- 32 -
III.3 Schéma fonctionnel de la station.....	- 32 -
III.4 Conception et simulation sous l'environnement ISIS de Proteus	- 33 -
III.4.1 Emetteur ultrasonique.....	- 33 -
III.4.2 Récepteur ultrasonique	- 34 -
III.4.2.1 Circuit mélangeur	- 34 -
III.4.2.2 Circuit amplificateur inverseur	- 36 -
III.4.2.3 Circuit Comparateur.....	- 38 -
III.4.2.4 Circuit de mise en forme.....	- 39 -
III.4.2.5 Code Arduino.....	- 40 -
III.5 Réalisation pratique de la station	- 41 -
III.6 Conclusion	- 44 -
Références.....	- 44 -
Conclusion générale.....	45
Annexe.....	46

Introduction générale

Introduction générale

L'effet Doppler ou l'effet Doppler Fizeau désigne le décalage de fréquence d'onde observé entre les mesures à l'émission et à la réception lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps. De façon générale nous désignons ce phénomène physique sous le nom effet Doppler. Le terme effet Doppler Fizeau est réservé aux ondes électromagnétiques.

L'effet Doppler se manifeste par exemple pour mesurer les ondes sonores dans la réception du volume du son d'un moteur de voiture ou de la sirène des véhicules d'urgences.

Dans ce projet deux objectifs ont été visés :

- Le premier est de regrouper suffisamment d'information sur une grande catégorie de carte d'interfaçage Arduino : son langage de programmation, sa configuration, son principe de fonctionnement.
- Le deuxième consiste à réaliser une carte électrique capable de mesurer la vitesse d'un mobile en exploitant l'effet Doppler en mode continue.

La mise en œuvre de ce travail, constitué de trois chapitres, est présentée comme suit :

Le premier chapitre est consacré à quelques rappels et généralités sur les ultrasons et à l'étude de l'effet Doppler phénomène qui a révolutionné le monde scientifique par sa simplicité et son utilité dans le domaine des ondes électromagnétiques (ondes ultra sonores, lumière,...).

Le deuxième chapitre est réservé à une étude approfondie sur les cartes d'interface tel que l'Arduino puis nous mettrons la lumière sur un modèle de base qui est Arduino Uno, sa construction, son environnement de programmation et son principe de fonctionnement afin de simplifier son utilisation.

Le troisième chapitre est élaboré pour l'étude et la réalisation pratique de notre produit qui permet de mesurer la vitesse d'un mobile par effet Doppler en mode continue ainsi que la description de chaque bloc de notre circuit.

Enfin, nous terminerons avec une conclusion générale qui résumera l'intérêt de notre étude.

Chapitre I
Principe des ultrasons et effet Doppler

1

Principe des ultrasons et effet Doppler

I.1 Introduction

La mesure de vitesse par l'effet Doppler ultrasonore est devenue essentielle pour la sécurité routière et dans l'industrie.

C'est pour cela dans ce chapitre nous décrivons le principe des ultrasonores et de l'effet doppler ainsi que l'explication de ses modes d'exploitation et nous terminerons par ses diverses applications.

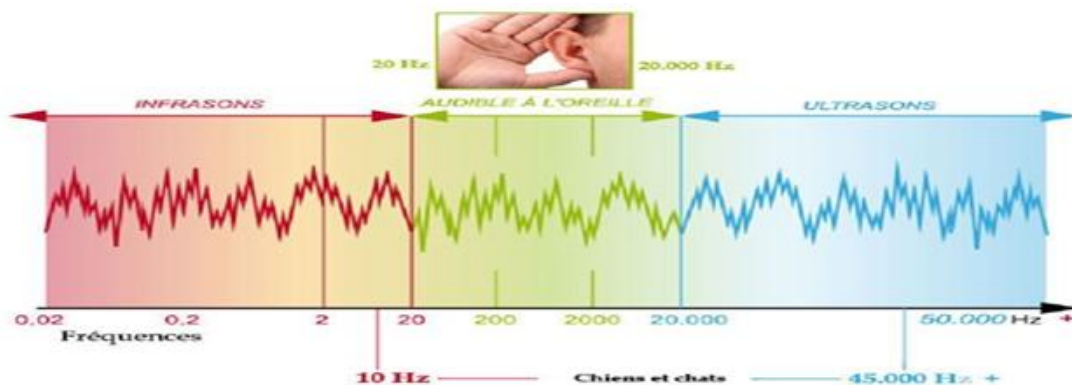
I.2 Le principe des ultrasons

I.2.1 Introduction

Les ultrasons sont des vibrations mécaniques de fréquence supérieure à 20 kHz, qui se propagent dans des milieux physiques comme l'air ou l'eau.

I.2.2 Définition

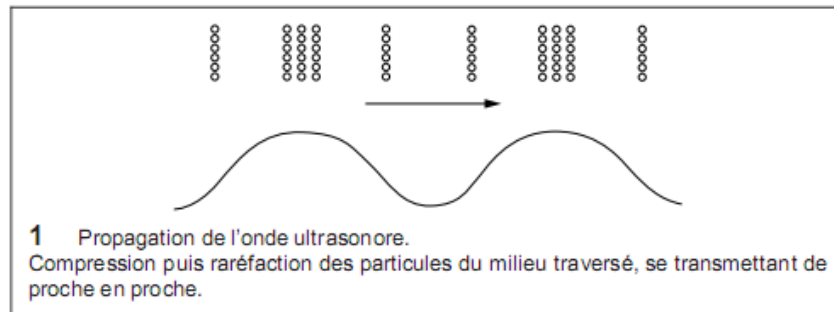
Les ultrasons sont des ondes acoustiques dont l'oreille humaine ne peut pas le détecter par contre pour certains animaux comme les chauves-souris, les dauphins ou les baleines elles sont audibles.



Figure(I.1) : Fréquences du son

I.2.3 Nature des ultrasons

Les ondes ultrasonores sont des ondes de pression, elles induisent une vibration successive de compression et de raréfaction des particules du milieu élastique qu'elles traversent (il peut être solide, liquide ou gazeux et non pas dans le vide) qui se transmet de proche en proche comme s'ils étaient liés par des ressorts.



Figure(I.2) : Compression et raréfaction

I.2.4 Les caractéristiques des ultrasons

Une onde ultrasonore est caractérisée par les paramètres suivants :

- **La fréquence (f)** : C'est le nombre de période par seconde, elle est en Hertz [Hz], celle d'une onde ultrasonore correspond au nombre de fois en une seconde dont cette onde atteint son maximum d'amplitude.
- **La période (T)** : C'est la période du temps entre deux passages de la molécule dans la même position, c'est l'inverse de la fréquence

$$T = \frac{1}{f}$$

Avec f est la fréquence. Son unité est l'unité du temps (s, ms, μ s...).

- **La longueur d'onde (λ)** : C'est la distance parcourue par l'onde pendant une période, elle est le produit de la période T par la vitesse de propagation c.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Avec :

c : la célérité.

f : la fréquence.

- **La célérité (c)** : C'est la vitesse de propagation du son d'une molécule à l'autre, elle dépend de f et de l'impédance acoustique (Giron, 1993), elle s'exprime en [m/s].

$$c = \frac{Z}{\rho}$$

Avec : Z : L'impédance acoustique et ρ : Masse volumique.

- **L'amplitude (A)** : C'est l'amplitude d'oscillation maximale.

- **L'intensité (I) et la pression acoustique (P)** : L'intensité ultrasonore I est l'énergie qui traverse perpendiculairement l'unité de surface pendant l'unité du temps. Elle est dépendante de la pression acoustique qu'elle est liée à la variation de l'onde ultrasonore, la relation entre elle et l'intensité est :

$$I = \frac{P^2}{2\rho c}$$

Avec :

P : Pression acoustique.

ρ : Masse volumique.

C : La célérité.

L'intensité s'exprime en W/cm^2 et la pression acoustique en Pa, mais si on parle de leurs niveaux ils s'expriment en Décibels.

- **L'impédance acoustique (Z)** : L'onde ultrasonore se propage dans des différents milieux pour certains elle les traverse facilement mais pour d'autre lui opposent une résistance, cette dernière représente l'impédance acoustique Z, c'est une grandeur qui ne dépend que des propriétés du milieu, elle s'exprime en Rayleigh ou $Kg.m^{-2}.s^{-2}[1]$.

$$Z = \sqrt{\frac{\rho}{x}}$$

Avec :

ρ = masse volumique.

x : compressibilité du milieu.

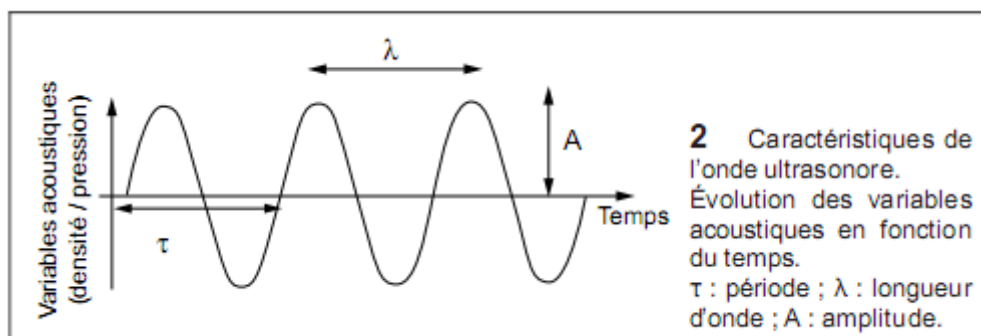


Figure (I.3): Caractéristiques des ultrasons

I.2.5 Le capteur ultrasonique (effet piézoélectrique)

Afin de générer des ultrasons, les transducteurs utilisent généralement l'effet piézoélectrique pour convertir l'énergie électrique en un déplacement mécanique.

Après Pierre et M. Curie, Paul Langevin en 1935 a dominé le problème de la piézoélectricité, «Si l'on taille dans un quartz une lamelle et que l'on recouvre ses faces par une électrode avec une différence de potentiel alternative, on constate que lamelle subit une contraction et une dilatation synchrone de la variation électrique ... ceci engendrant des ultrasons selon la fréquence électrique».

Ce phénomène permet la conversion d'une énergie mécanique en énergie électrique de façon réversible, il est caractérisé par l'apparition des charges électriques sur les faces d'un matériau dit piézoélectrique quand ces faces sont soumises à une contrainte mécanique ce que l'on appelle l'effet direct et quand ils sont soumis à une différence de potentiel l'épaisseur du matériau change c'est l'effet piézoélectrique indirect.

Avec un matériau solide cristallin, les charges positives et négatives sont harmonieusement réparties en repos. Une compression entraîne une polarisation par dédoublement des charges de gravité électrique, préalablement confondues. Le quartz est surtout certaines céramiques ont des propriétés piézoélectrique.

Alors, le même élément peut fonctionner comme émetteur et récepteur, il suffira d'une bonne horloge électrique pour que l'émission et la réception ne se superposent pas mais s'intercalent harmonieusement [2].

I.2.6 Interaction des ultrasons et d'une interface

Une interface est définie par la frontière de deux milieux d'impédances acoustiques différentes, alors quand l'onde ultrasonique se met en contact avec cette interface plusieurs phénomènes se produisent : la transmission, la réflexion, la réfraction et la diffusion.

I.2.6.1 Transmission

Lorsqu'une onde passe d'un milieu à un autre une partie de l'énergie incidente est transmise et l'autre est réfléchi au niveau de l'interface séparant les deux milieux, la transmission a une liaison directe avec l'impédance acoustique.

I.2.6.2 Réflexion et réfraction

Lors du passage d'une onde ultrasonore à travers une interface séparant deux milieux de caractéristiques acoustiques différentes, une partie de l'onde incidente est réfléchi et une autre est réfractée. L'énergie contenue dans l'onde réfractée est égale à l'énergie de l'onde incidente diminuée de celle contenue dans l'onde réfléchi.

I.2.6.3 Diffusion

Lorsqu'une onde ultrasonore rencontre un obstacle de dimensions nettement inférieures à la longueur d'onde, l'onde incidente est très faiblement diffractée et une onde de faible amplitude, rayonnant dans toutes les directions est générée. Pour des obstacles sphériques, l'intensité de l'onde ainsi diffusée est inversement proportionnelle à la puissance de la longueur d'onde. On parle alors de diffusion de Rayleigh.

I.3 l'effet doppler

I.3.1 Introduction

L'effet Doppler se produit quand une source d'onde sinusoïdale (elle peut être une onde sonore ou électromagnétique) est en mouvement par rapport à un récepteur, celui-ci attribue aux vibrations qu'il reçoit une fréquence différente de la fréquence émise ou bien la même car cela dépend de la position du récepteur.

I.3.2 Historique

En 1842, l'autrichien Christian Doppler (1803-1853) montre que la fréquence d'une oscillation (son, lumière) change quand la source ou l'observateur sont en mouvement. Il essaye ensuite, sans succès d'appliquer son principe pour expliquer les différentes couleurs des étoiles et en particulier, la différence de couleur de certaines étoiles doubles. Ceci en effet aurait supposé que les étoiles auraient eu des vitesses proches de celle de la lumière !

En 1845 le hollandais C.H. Buys-Ballot (1817-1890) démontre la validité du principe de Doppler pour les ondes sonores en constatant le changement de ton entendu quand des musiciens jouant des instruments à vent, embarqués sur un train sur la ligne Utrecht-Amsterdam, s'approchent et puis s'éloignent de la gare.

En 1848, le français Hippolyte Fizeau (1819-1896) développe le même principe de manière indépendante, mais montre que dans le cas de la lumière la couleur ne change pas. Ce sont les positions de raies spectrales qui changent.

Un autre autrichien, Ernst Mach (1836-1916), ignore le travail de Fizeau, et il arrive en 1860 aux mêmes conclusions.

L'italien Angelo Secchi (1818-1878) et l'anglais William Huggins (1829-1910) tentent les premiers de mesurer visuellement le décalage en longueur d'onde dans le spectre d'une étoile prédit par le principe de Doppler. Huggins annonce en 1871 avoir pu enfin mesurer la vitesse de Sirius, l'étoile très brillante dans la constellation du Grand Chien.

En 1887 l'allemand H.C. Vogel (1841-1907) est le premier à faire cette détermination en photographiant le spectre de Sirius. C'est un énorme progrès dans la précision des mesures, qui passent de ± 22 km/s, pour la moyenne des mesures visuelles d'une nuit entière, à ± 2.6 km/s pour une observation photographique[3].

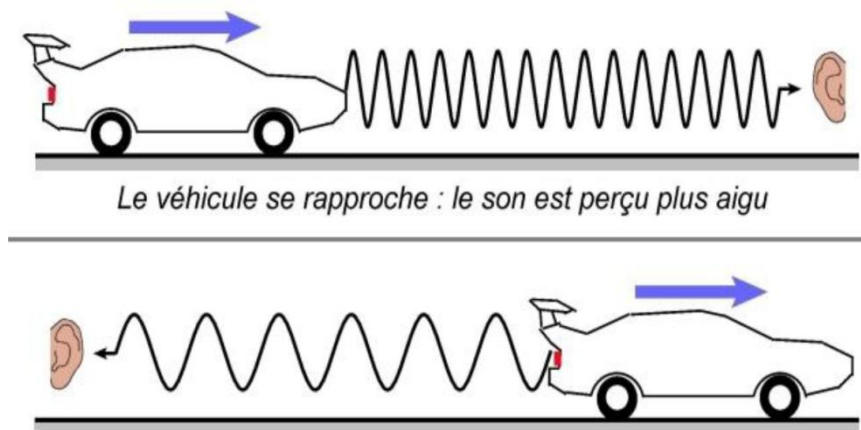
I.3.3 Principe physique

L'effet Doppler est une expérience de tous les jours, l'effet Doppler est la perception différente du son émit par un klaxon de voiture qui s'approche de l'auditeur puis qui s'en éloigne.

Quand la voiture se rapproche, le son paraît plus aigu que le son perçu par le conducteur.

Chapitre I : Principe des ultrasons et effet Doppler

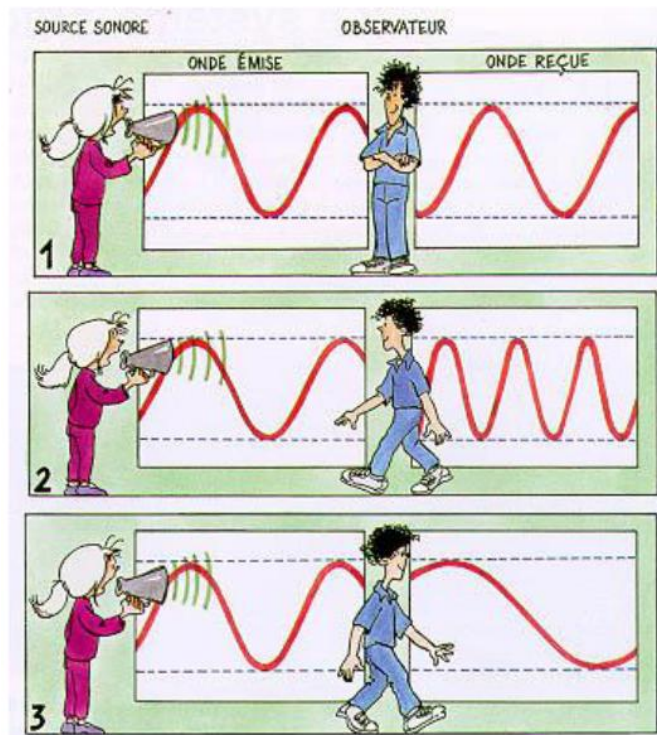
Quand elle s'éloigne, le son paraît plus grave. C'est une manifestation de l'effet Doppler[4].



Figure(I.4) : Principe de l'effet Doppler

Voyons maintenant la variation de la fréquence reçue en fonction du changement de position du récepteur :

- 1) L'observateur est immobile par rapport à la source. L'onde qu'il reçoit à la même longueur d'onde et même fréquence que l'onde émise par la source.
- 2) L'observateur se rapproche de la source. Il reçoit une onde de longueur d'onde plus petite (de fréquence plus grande) que celle émise par la source.
- 3) L'observateur s'éloigne de la source. Il reçoit une onde de longueur d'onde plus grande (de fréquence plus petite) que celle émise par la source[5].



Figure(I.5) : Fréquence et position

I.3.4 Relations mathématiques liées à l'effet Doppler

I.3.4.1 Effet Doppler sonore

Soit une source sonore émettant une onde de fréquence f_s (en Hz), de période T_s (en s), de longueur d'onde λ_s (en m). L'onde a une célérité c (en m/s) dans son milieu de propagation. Soit un récepteur, qui capte l'onde avec une fréquence f_r , une période T_r et une longueur d'onde λ_r .

1) Source en mouvement avec une vitesse v_s , récepteur fixe.

L'effet du déplacement de la source n'affecte pas la célérité de l'onde, mais contracte/dilate la longueur d'onde λ_r , et par extension agit sur la fréquence f_r :

$$\lambda_r = \lambda_s \pm v_s \times T_s,$$

Avec + si la source s'éloigne du récepteur, et un - si la source se rapproche.

$$\lambda_r = \frac{c}{f_r}, \quad \lambda_s = \frac{c}{f_s} \quad \text{et} \quad T_s = \frac{1}{f_s}.$$

Ainsi, on a $\frac{c}{f_r} = \frac{c}{f_s} \pm \frac{v_s}{f_s}$ ou $f_r = \frac{c}{c \pm v_s} \times f_s$,

Et finalement : $f_r = \frac{f_s}{1 \pm \frac{v_s}{c}}$

Si la source s'éloigne du récepteur (signe +), $f_r < f_s$

Si la source se rapproche du récepteur (signe -), $f_r > f_s$

2) Source fixe, récepteur en mouvement avec une vitesse v_r

Comme l'onde a une célérité c dans son milieu de propagation, le déplacement du récepteur fait que celui-ci « voit » l'onde sonore se propager avec une célérité $c' = c \pm v_r$, avec un + si le récepteur va vers la source, et un - si il s'en éloigne. La longueur d'onde λ_s est « vue » de manière identique, mais la « modification » de la célérité a une influence sur f_r :

$$f_r = \frac{c'}{\lambda_s},$$

Ainsi $f_r = \frac{c \pm v_r}{\lambda_s}$.

Comme $f_s = \frac{c}{\lambda_s}$ ou, $\frac{1}{\lambda_s} = \frac{f_s}{c}$, $f_r = \frac{c}{\lambda_s} \pm \frac{v_r}{\lambda_s} = f_s \pm \frac{f_s \times v_r}{c}$

Donc : $f_r = \left(1 \pm \frac{v_r}{c}\right) \times f_s$

Si le récepteur se rapproche de la source (signe +), $f_r > f_s$

Si le récepteur s'éloigne de la source (signe -), $f_r < f_s$

3) la source et le récepteur se déplacent par rapport au milieu de propagation de l'onde, le long d'un même axe, respectivement avec des vitesses v_s et v_r (référentiel terrestre).

$$f_r = \frac{1 \pm \frac{v_r}{c}}{1 \pm \frac{v_s}{c}} \times f_s$$

Signe + au numérateur : le récepteur se dirige vers la source.

Signe - au numérateur : le récepteur va à l'opposé de la source.

Signe + au dénominateur : la source va à l'opposé du récepteur.

Signe - au dénominateur : la source se dirige vers le récepteur.

I.3.4.2 Effet Doppler pour les ondes lumineuses

L'effet Doppler concerne également les ondes électromagnétiques, dont les ondes lumineuses. Cependant, la formule diffère, car la célérité de la lumière est indépendante du référentiel, et requiert ainsi un calcul de relativité restreint. La fréquence captée par le récepteur est donnée par :

$$f_r = \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}} \times f_s$$

Où v est la vitesse relative entre la source et le récepteur.

C'est une vitesse algébrique : > 0 s'il y a éloignement, < 0 s'il y a rapprochement.

Et $c \approx 3.00 \times 10^8$ m/s est la célérité de la lumière dans le vide.

Quand $v \ll c$, la relation peut se mettre sous les formes suivantes

$$\lambda_r = \left(1 + \frac{v}{c}\right) \times \lambda_s \quad \text{Ou} \quad \frac{\Delta\lambda}{\lambda_s} = \frac{v}{c}, \quad \text{avec} \quad \Delta\lambda = \lambda_r - \lambda_s$$

On parle d'effet Doppler-Fizeau pour désigner l'effet Doppler appliqué à la lumière en référence à Hippolyte Fizeau (1819-1896) qui comme Christian Doppler (1803-1853) travailla sur le phénomène[4].

I.3.5 Applications pratiques du phénomène

- **Sécurité routière** : Les radars Doppler qui équipent les forces de Police ou de Gendarmerie estiment la vitesse d'un véhicule dans le référentiel terrestre, en émettant une onde électromagnétique qui rebondit sur le véhicule contrôlé. La variation de fréquence par effet Doppler est liée à la vitesse du véhicule.
- **Médical** : En médecine, « un Doppler » est un examen médical dont le but est de mesurer la vitesse d'organes (battements cardiaques) ou de fluides corporels, comme le sang.
- **Industrie** : Par un procédé proche de celui utilisé en médecine, il est possible de mesurer des vitesses à distance : mesure de la vitesse d'écoulement d'un fluide dans une canalisation, etc.
- **Astrophysique** : Le spectre d'une étoile comporte des raies d'absorption atomiques, de longueurs d'onde connues $\lambda_{théorique}$, à vitesse d'éloignement nulle. En comparant aux longueurs d'onde $\lambda_{mesuré}$ des raies de l'étoile observée, on en déduit la vitesse relative de l'étoile v par rapport à nous :
$$v = \frac{\lambda_{mesuré} - \lambda_{théorique}}{\lambda_{théorique}} \times c$$

Le signe de v indique si l'étoile s'éloigne (+) ou se rapproche (-).

I.3.6 Détermination de la formule de la vitesse

- Afin d'élaborer l'expression de la vitesse d'un mobile en fonction du décalage fréquentiel d'une onde mesurée à l'émission et la réception, nous considérons une onde de longueur $\lambda = \frac{c_0}{f_1}$ se déplaçant vers un objectif M.



Figure(I.6) : Principe de l'écholocalisation

Si l'objectif est immobile alors il est soumis à f_1 cycles par seconde où f_1 est la fréquence du signal qui a donné naissance à cette onde.

S'il se déplace avec une vitesse v en direction de l'émetteur alors l'objectif est soumis à des fréquences vibratoires supérieures. Soit une fréquence $f_1' = \frac{c_0 + v}{\lambda} = \frac{c_0 + v}{c_0} \times f_1$

Considérons maintenant un générateur de fréquence f_1 se déplaçant à une vitesse v dans la même direction que l'onde émise :

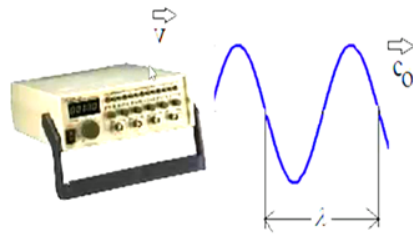


Figure (I.7) : Schéma montrant un générateur se déplaçant avec une vitesse tout en émettant une onde ultrasonique

Tout se passe comme si l'onde sortait du générateur à la vitesse $(c_0 - v)$ cela correspond à une longueur d'onde initiale $\lambda'_1 = \frac{c_0 - v}{f_1}$, l'énergie libérée du générateur poursuit ensuite son chemin à la vitesse c_0 , un point M immobile est donc soumis à une fréquence vibratoire $f'_1 = \frac{c_0}{\lambda'_1} = \frac{c_0}{c_0 - v} \times f_1$

Considérons maintenant une station de détection émettant sur une fréquence f_1 et une cible se déplaçant à la vitesse v en direction de la station.



Figure (I.8) : Station de détection

L'objectif mobile est soumis à une fréquence $f'_1 = \frac{c_0 + v}{c_0} \times f_1$ qui va la réfléchir, il se comporte par conséquent comme un émetteur se déplaçant à une vitesse v dans la même direction que l'énergie, le récepteur recevra donc l'écho de fréquence est $f_2 = \frac{c_0}{c_0 - v} \times f'_1$

$$f_2 = \frac{c_0}{c_0 - v} \times \frac{c_0 + v}{c_0} \times f_1$$

$$f_2 = \frac{c_0 + v}{c_0 - v} \times f_1$$

En faisant battre entre elles la fréquence de l'émission f_1 et la fréquence de la réception f_2 et nous recevrons ce battement grâce à un circuit mélangeur.

$$\Delta f = |f_2 - f_1| = \frac{2 \times f_1}{c_0} \times v$$

(Sachant que la vitesse du mobile v est négligeable devant la vitesse de l'onde émise c_0)

Δf est ce que l'on appelle couramment la fréquence Doppler

I.3.7 Modes Doppler

De nos jours, deux grandes familles de systèmes de mesure sont utilisées dans les radars généralement et les capteurs d'ultrasoniques en particulier sont: le mode pulsé et le mode continue.

I.3.7.1 Mode pulsé

Dans le mode pulsé le signal émis est à la forme suivante :

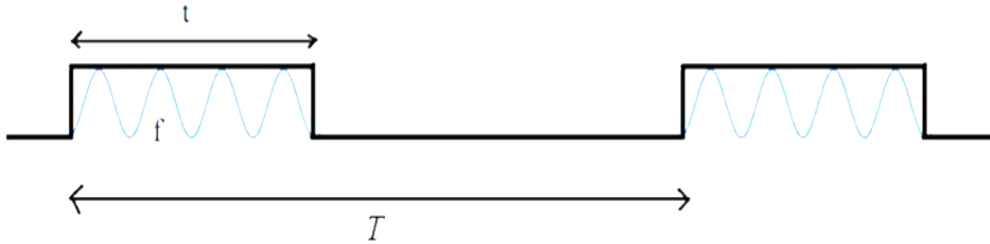


Figure (I.9) : Signal émis en mode pulsé

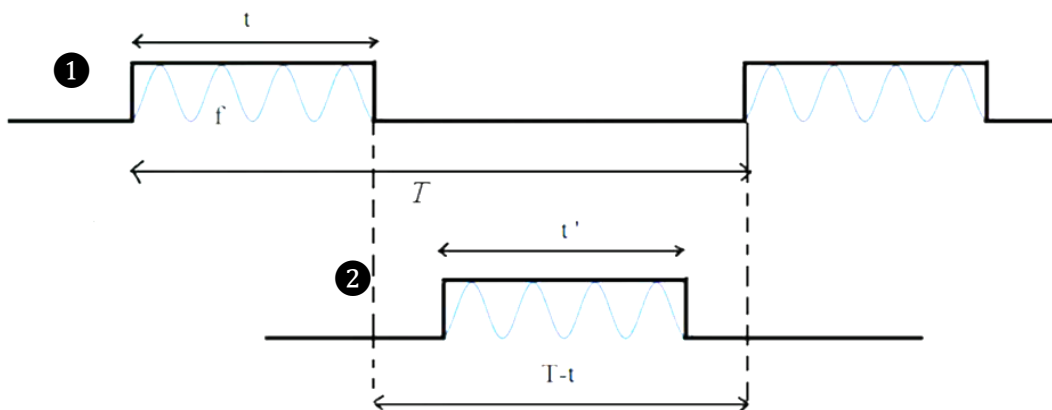
C'est un signal rectangulaire de période T portant le signal émis de fréquence f pendant une certaine durée ici notée t .

$$\text{Où } \frac{1}{T} = f_{\text{porteuse}} = \frac{c_0}{2 \times R_{\text{max}}}$$

Avec : c_0 est la vitesse de l'onde émise et R_{max} est la distance maximale de l'émetteur.

D'après l'expression précédente nous pourront varier la distance maximale R_{max} (la résolution) en agissant seulement sur la période T du signal émis car c_0 est une constante, donc si T décroît c.-à-d. f_{porteuse} monte alors la résolution maximale diminue est vis vers ça.

En plus le transducteur de réception doit détecter l'onde ultrasonique réfléchié pendant la durée $T-t$



Figure(I.10) : Signal reçu en mode pulsé

Si nous émettons le signal ❶ nous devons recevoir le signal ❷, la variation de t' la durée du signal de réception influe sur la distance minimale R_{\min} qu'on veut détecter.

Donc, nous pourrions encadrer la position de l'obstacle qu'on veut détecter grâce à la possibilité de contrôler R_{\max} en jouant sur la valeur $\frac{1}{T}$ et R_{\min} en agissant sur t' (on peut limiter la valeur de la résolution dans un intervalle R_{\max} et R_{\min}).

Ce mode d'émission réception est en développement dans le domaine médical vu que l'organe qu'on veut détecter de certains paramètres se situe dans le corps humain et à l'aide de la fréquence Doppler on ajuste la valeur de la durée t' afin de ne pas se tromper.

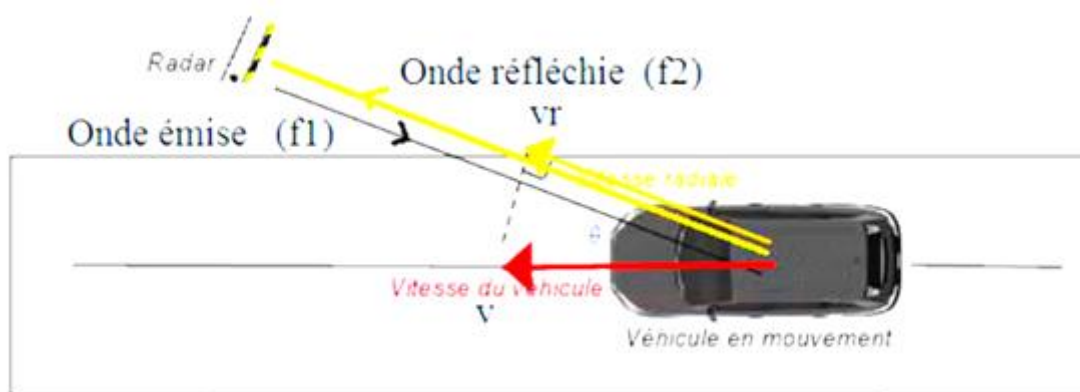
L'inconvénient du mode pulsé c'est que l'objet même s'il est en face de la source d'émission ne peut être détecté que s'il est dans l'intervalle R_{\min}, R_{\max} .

I.3.7.2 Mode continu

Historiquement, les systèmes Doppler à émission continue furent les premiers appareils ultrasonores à effet Doppler.

Dans ce mode le signal émis n'est pas porté par un autre signal ce qui permet par conséquent de détecter n'importe quel objet mobile se trouvant en face de la source d'émission se situant à une distance inférieure à la portée maximale détectable par le transducteur de réception.

En mode continu le montage d'émission réception se présente en général sous la forme suivante :



Figure(I.11) : Principe du Doppler à émission continue

Le signal émis à la fréquence constante a une dépendance temporelle en mode continu : $\sin(w_1 t)$ Celui réfléchi par la cible à la dépendance : $\sin(w_1 t - 2\beta z(t))$

Le 2 est due à l'allée et le retour de l'onde

Où $z(t)$ est la position de l'obstacle par rapport à l'émetteur à l'instant t, en atteignant le récepteur avec une constante de propagation $\beta = \frac{w_1}{c_0}$

A l'arrivée du récepteur le signal a la fréquence :

$$f_2 = \frac{1}{2\pi} \frac{d\Phi}{dt} = \frac{1}{2\pi} \frac{d(w_1 t - 2\beta z(t))}{dt} = \frac{1}{2\pi} \frac{d(w_1 t)}{dt} - \frac{1}{2\pi} \frac{d(2\beta z(t))}{dt}$$

En faisant les calculs en va se retrouvé avec :

$$f_2 = f_1 - \frac{\beta}{\pi} \frac{d(z(t))}{dt} = f_1 - \frac{w_1}{\pi c_0} v_r = f_1 - \frac{2f_1}{c_0} v \cos(\theta)$$

v_r est la vitesse radiale qui est la vitesse du mobile multiplié par $\cos \theta$

$$v = \frac{f_1 - f_2}{2f_1 \cos(\theta)} c_0 = \frac{\Delta f}{2f_1 \cos(\theta)} c_0$$

$\cos(\theta) = 1 \rightarrow v = \frac{\Delta f}{2f_1} c_0$ (nous supposons que le mobile se déplace à une vitesse parallèle à l'axe des capteurs ultrasoniques).

De l'expression $f_2 = f_1 - \frac{\beta}{\pi} \frac{d(z(t))}{dt} = f_1 - \frac{2}{\lambda_1} v_z$ (pour $\theta = 0$) nous constatons que :

Si l'obstacle se déplace de la source vers les z positifs alors $v_z > 0 \Rightarrow f_2 < f_1$

Si l'obstacle se déplace vers la source (vers les z négatifs) alors $v_z < 0 \Rightarrow f_2 > f_1$

Et finalement, si l'obstacle est immobile alors $v_z = 0 \Rightarrow f_2 = f_1$ [6].

Les avantages du Doppler continu sont :

- L'absence de limitation pour la détection des vitesses élevées constitue l'intérêt majeur du Doppler continu. Il est donc particulièrement utile pour l'évaluation des vitesses maximales des sténoses (carotide, artère rénales...).
- L'excellente qualité des spectres fournis par cette technique est liée à la réception continue du signal.
- Grande sensibilité pour la détection des flux lents.
- Nécessite une faible puissance acoustique.
- Il a cependant des limites : L'absence de résolution spatiale puisque le signal reçu est indépendant de la profondeur et la fréquence Doppler mesurée est la résultante des fréquences Doppler extraites du signal, moyenne des signaux venant de l'ensemble des vaisseaux traversés.

I.4 Conclusion

En résumé, l'effet Doppler est un phénomène physique qui donne aux ultrasons leur côté informatif, principalement dans le domaine fréquentiel.

Dans ce chapitre nous avons décrit brièvement le principe des ultrasons, et nous avons vu étape par étape l'exploitation de l'effet Doppler en mesure de vitesse dans ces deux modes pulsé et continu.

Chapitre I : Principe des ultrasons et effet Doppler

Cette étude descriptive a permis de faire un rappel sur les principes avec lesquels un appareil Doppler permet de détecter l'évolution de la fréquence Doppler en fonction du temps. En effet, à travers la relation fondamentale de l'effet Doppler et qui fait apparaître que la fréquence Doppler est proportionnelle à la vitesse, à la fréquence d'émission et au cosinus de l'angle de propagation d'onde, il est déduit que la mesure continue de la fréquence Doppler est en fonction de trois termes.

Références

- [1]Seddik Amina ; Analyse et traitement des signaux Doppler des Artères Carotides. Mémoire de magistère en électronique.Univ. AboubekrBelkaid. Tlemcen 2008.
http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/5124/1/memoire_Seddik%20Amina.pdf
- [2]Daou Seydou ; Etude et réalisation d'un dispositif décrivant le principe de l'ultrasonographie. Mémoire de magistère en électronique. Univ.AboubekrBelkaid. Tlemcen.2007. <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/4922/1/Daou.pdf>
- [3]http://www.obs-hp.fr/lumiere/histoire_doppler-fizeau.html
- [4]<http://www.maxicours.com>
- [5] <http://www.lp2i-poitiers.fr/doc/aps/albatros/fr/pages/doppleffet.html>
- [6] https://www.youtube.com/channel/UC2H8TsQ1Y7_i8aPY7qxKbdQ

Chapitre II

Systeme Arduino

2

Système Arduino

II.1 Introduction

Aujourd'hui, l'électronique est de plus en plus remplacée par de l'électronique programmée. Nous parlons aussi de système embarqué ou d'informatique embarquée, Le système Arduino, nous donne la possibilité d'allier les performances de la programmation à celles de l'électronique. Plus précisément, nous allons programmer des systèmes électroniques. Le gros 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.

II.2 Historique de l'Arduino

Hiver 2005, Massimo Banzi enseigne dans une école de Design à Ivrea en Italie, et souvent ses étudiants se plaignent de ne pas avoir accès à des solutions bas prix pour accomplir leurs projets de robotique. Banzi en discute avec David Cuartielles, un ingénieur Espagnol spécialisé sur les microcontrôleurs...

Ils décident de créer leur propre carte en embarquant dans leur histoire un des étudiants de Banzi, David Mellis, qui sera chargé de créer le langage de programmation allant avec la carte. En deux jours David écrira le code !

Trois jours de plus et la carte était créée...



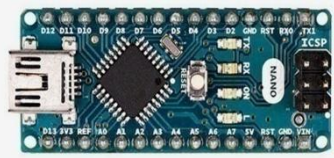
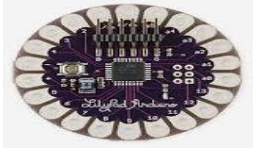


II.3 Définition du module Arduino

Le module Arduino est un circuit imprimé en matériel libre (plateforme de contrôle) dont les plans de la carte elle-même sont publiés en licence libre dont certains composants de la carte : comme le microcontrôleur et les composants complémentaires qui ne sont pas en licence libre. Un microcontrôleur programmé peut analyser et produire des signaux électriques de manière à effectuer des tâches très diverses. Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle et embarquée ; le modélisme, la domotique mais aussi dans des domaines différents comme l'art contemporain et le pilotage d'un robot, commande des moteurs et faire des jeux de lumières, communiquer avec l'ordinateur, commander des appareils mobiles (modélisme). Chaque module d'Arduino possède un régulateur de tension +5 V et un oscillateur à quarte 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Pour programmer cette carte, on utilise l'logiciel IDE Arduino[1].

II.4 Gammes de la carte Arduino : La gamme actuelle de cartes Arduino est vaste et prolifique, le site web de l'Arduino recense à lui 20 versions différentes, la différence réside dans leur quantité de mémoire SRAM et flash, leur compatibilité avec les boucliers add-on et

Chapitre II : Système Arduino

le nombre de broches E/S disponibles, nous citons quelques un dans le but de comprendre l'évolution de cette carte :

Nom de la carte	Description	Images
Le NG d'Arduino	avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un ATmega8.	
L'extrémité d'Arduino	avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un Microcontrôleur ATmega8.	
L'Arduino Mini	une version miniature de l'Arduino en utilisant un microcontrôleur ATmega168.	
L'Arduino Nano	une petite carte programme à l'aide porte USB cette version utilisant un microcontrôleur ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version).	
Le LilyPad Arduino	une conception de minimaliste pour l'application wear able en utilisant un microcontrôleur ATmega168.	
Le NG d'Arduino plus	avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un ATmega168.	
L'Arduino Bluetooth	avec une interface de Bluetooth pour programmer en utilisant un microcontrôleur ATmega168.	
L'Arduino Decimila	avec une interface d'USB et utilise un microcontrôleur ATmega168.	







L'Arduino Duemilanove	en utilisant un microcontrôleur l'ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version) et actionné par l'intermédiaire de la puissance d'USB/DC.	
L'Arduino Méga	en utilisant un microcontrôleur ATmega1280 pour I/O additionnel et mémoire.	
L'Arduino Uno R3	utilisations microcontrôleur ATmega328.	
L'Arduino Mega2560	utilisations un microcontrôleur ATmega2560, et possède toute la mémoire à 256 KBS. Elle incorpore également le nouvel ATmega8U2 (ATmega16U2 dans le jeu de puces d'USB de révision	
L'Arduino Leonardo	avec un morceau ATmega3U4 qui élimine le besoin de raccordement d'USB et peut être employé comme clavier.	
L'Arduino Esplora	ressemblant à un contrôleur visuel de jeu, avec un manche et des sondes intégrées pour le bruit, la lumière, la température, et l'accélération.	

Tableau (II.1) : Différentes gammes de la carte Arduino

Pour notre réalisation nous avons choisi la carte Arduino Uno R3, la carte Arduino Uno diffère de toutes les cartes précédentes car elle n'utilise pas le circuit intégré FTDI usb-vers-série. A la place, elle utilise un ATmega8U2 programmé en convertisseur USB-vers-série.

II.5 Raisons du choix de la carte Arduino

Dans le commerce, il existe une multitude de plateformes qui permettent de faire l'électronique programmée tel que les microcontrôleurs « PIC » du fabricant Microship, mais nous avons préférées de travailler avec la carte Arduino pour plusieurs raisons :

- Arduino c'est une carte électronique programmable et un logiciel gratuit.
- Un prix dérisoire étant donné l'étendue des applications possibles.
- Une compatibilité sous toutes les plateformes, à savoir : Windows, Linux et Mac OS.
- Une communauté ultra développée ! Des milliers de forums d'entraide, de présentations de projets, de propositions de programmes et de bibliothèques.
- Un site en anglais arduino.cc et un autre en français arduino.cc/fr où vous trouverez tout de la référence Arduino, le matériel, des exemples d'utilisations, de l'aide pour débiter, des explications sur le logiciel et le matériel, etc.
- Une liberté quasi absolue. Elle constitue en elle-même deux choses :

Le logiciel : gratuit et open source, développé en Java, dont la simplicité d'utilisation relève du savoir cliquer sur la souris.

Le matériel : cartes électroniques dont les schémas sont en libre circulation sur internet.

Cette liberté a une condition : le nom «Arduino» ne doit être employé que pour les cartes « officielles ». En somme, vous ne pouvez pas fabriquer votre propre carte sur le modèle Arduino et lui assigner le nom « Arduino »[2].

II.6 Constitution de la carte Arduino UNO

Un module Arduino est généralement construit autour d'un microcontrôleur ATMEGA88, et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits, Le système Arduino est composé de deux choses principales : le matériel et le logiciel et par la combinaison de ces deux derniers nous pourrions créer plusieurs réalisations.

II.6.1 La partie matérielle

La carte Arduino Uno est une carte microcontrôleur basée sur l'ATmega328

Elle est disposée :

- de 14 broches numériques d'entrées/sorties (dont 6 peuvent être utilisées en sorties PWM (largeur d'impulsion modulée)),
- de 6 entrées analogiques (qui peuvent également être utilisées en broches entrées/sorties numériques),
- d'un quartz 16Mhz,
- d'une connexion USB,
- d'un connecteur d'alimentation jack,
- d'un connecteur ICSP (programmation "in-circuit"), et d'un bouton de réinitialisation (reset).

II.6.1.1 Synthèse des caractéristiques

Microcontrôleur	ATmega328
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	7-12V
Tension d'alimentation (limites)	6-20V

Broches E/S numériques	14 (dont 6 disposent d'une sortie PWM)
Broches d'entrées analogiques	6 (utilisables en broches E/S numériques)
Intensité maxi disponible par broche E/S (5V)	40 mA (ATTENTION : 200mA cumulé pour l'ensemble des broches E/S)
Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3V	50 mA
Intensité maxi disponible pour la sortie 5V	Fonction de l'alimentation utilisée - 500 mA max si port USB utilisé seul
Mémoire Programme Flash	32 KB (ATmega328) dont 0.5 KB sont utilisés par le bootloader
Mémoire SRAM (mémoire volatile)	2 KB (ATmega328)
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	1 KB (ATmega328)
Vitesse de l'horloge	16 MHz

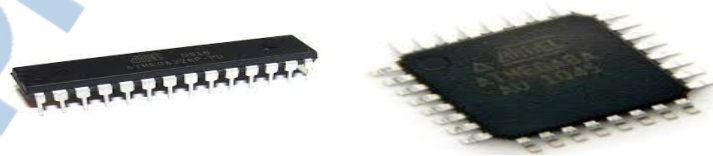
Tableau(II.2) : Synthèse des caractéristiques[3].

II.6.1.2 Constitution de la carte

-Le Microcontrôleur ATmega328

Un microcontrôleur ATmega328 est un circuit intégré qui rassemble sur une puce plusieurs éléments complexes dans un espace réduit au temps des pionniers de l'électronique.

Aujourd'hui, en soudant un grand nombre de composants encombrants ; tels que les transistors; les résistances et les condensateurs tout peut être logé dans un petit boîtier en plastique noir muni d'un certain nombre de broches dont la programmation peut être réalisée en langage C. la figure II.13 montre un microcontrôleur ATmega328, qu'on trouve sur la carte Arduino.



Composant classique Composant CMS

(Component Mounted on Surface)

Figure(II.1) :Microcontrôleur ATmega328

Le microcontrôleur ATmega328 est constitué par un ensemble d'éléments qui ont chacun une fonction bien déterminée. Il est en fait constitué des mêmes éléments que sur la carte mère d'un ordinateur. La mémoire du microcontrôleur sert à plusieurs choses. On peut aisément citer le stockage du programme et de données autres que le programme. Il en possède 5 types:

- **La mémoire Flash:** C'est celle qui contiendra le programme à exécuter. Cette mémoire est effaçable et réinscriptible mémoire programme de 32Ko (dont bootloader de 0.5 ko).
- **RAM :** c'est la mémoire dite "vive", elle va contenir les variables du programme. Elle est dite "volatile" car elle s'efface si on coupe l'alimentation du microcontrôleur. Sa capacité est 2 ko.
- **EEPROM :** C'est le disque dur du microcontrôleur. On y enregistre des infos qui ont besoin de survivre dans le temps, même si la carte doit être arrêtée. Cette mémoire ne s'efface pas lorsque l'on éteint le microcontrôleur ou lorsqu'on le reprogramme.
- **Les registres :** c'est un type particulier de mémoire utilisé par le processeur.
- **La mémoire cache :** c'est une mémoire qui fait la liaison entre les registres et la RAM.

- Sources d'alimentation de la carte

La carte Arduino Uno peut-être alimentée soit via la connexion USB (qui fournit 5V jusqu'à 500mA) ou à l'aide d'une alimentation externe. La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement par la carte.

L'alimentation externe (non-USB) peut être soit un adaptateur secteur (pouvant fournir typiquement de 3V à 12V sous 500mA) ou des piles (ou des accus). L'adaptateur secteur peut être connecté en branchant une prise 2.1mm positif au centre dans le connecteur jack de la carte. Les fils en provenance d'un bloc de piles ou d'accus peuvent être insérés dans les connecteurs des broches de la carte appelées GND (masse ou 0V) et Vin (Tension positive en entrée) du connecteur d'alimentation.

La carte peut fonctionner avec une alimentation externe de 6 à 20 volts. Cependant, si la carte est alimentée avec moins de 7V, la broche 5V pourrait fournir moins de 5V et la carte pourrait être instable. Si on utilise plus de 12V, le régulateur de tension de la carte pourrait chauffer et endommager la carte. Aussi, la plage idéale recommandée pour alimenter la carte Uno est entre 7V et 12V.

On peut distinguer deux genres de sources d'alimentation (Entrée Sortie) et cela comme suit :

- **VIN :** La tension d'entrée positive lorsque la carte Arduino est utilisée avec une source de tension externe (à distinguer du 5V de la connexion USB ou autre source 5V régulée). On peut alimenter la carte à l'aide de cette broche, ou si l'alimentation est fournie par le jack d'alimentation, accéder à la tension d'alimentation sur cette broche.
- **5V :** La tension régulée utilisée pour faire fonctionner le microcontrôleur et les autres composants de la carte (pour info : les circuits électroniques numériques nécessitent une tension d'alimentation parfaitement stable dite "tension régulée" obtenue à l'aide d'un composant appelé un régulateur et qui est intégré à la carte Arduino). Le 5V régulé fourni par cette broche peut donc provenir soit de la tension d'alimentation VIN via le régulateur de la carte, ou bien de la connexion USB (qui fournit du 5V régulé) ou de tout autre source d'alimentation régulée.
- **3V3 :** Une alimentation de 3.3V fournie par le circuit intégré FTDI (circuit intégré faisant l'adaptation du signal entre le port USB de votre ordinateur et le port série de l'ATmega) de la carte est disponible : ceci est intéressant pour certains circuits externes nécessitant cette tension au lieu du 5V. L'intensité maximale disponible sur cette broche est de 50mA.
- **GND :** Broche de masse (ou 0V).

- Entrées & sorties

Cette carte possède 14 broches numériques (numérotée de 0 à 13) peut être utilisée soit comme une entrée numérique, soit comme une sortie numérique, en utilisant les instructions `pinMode()`, `digitalWrite()` et `digitalRead()` du langage Arduino. Ces broches fonctionnent en 5V.

Chaque broche peut fournir ou recevoir un maximum de 40mA d'intensité et dispose d'une résistance interne de "rappel au plus" (pull-up) (déconnectée par défaut) de 20-50 KOhms. Cette résistance interne s'active sur une broche en entrée à l'aide de l'instruction `digitalWrite(broche, HIGH)`.

En plus, certaines broches ont des fonctions spécialisées :

– **Interruptions Externes:** Broches 2 et 3. Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur une valeur basse, sur un front montant ou descendant, ou sur un changement de valeur. -Impulsion PWM (largeur d'impulsion modulée):

Broches 3, 5, 6, 9, 10, et 11. Fournissent une impulsion PWM 8-bits à l'aide de l'instruction `analogWrite()`.

– **SPI** (Interface Série Périphérique): Broches 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Ces broches supportent la communication SPI (Interface Série Périphérique) disponible avec la librairie pour communication SPI. Les broches SPI sont également connectées sur le connecteur ICSP qui est mécaniquement compatible avec les cartes Méga.

– **I2C:** Broches 4 (SDA) et 5 (SCL). Supportent les communications de protocole I2C (ou interface TWI (TwoWire Interface - Interface "2 fils"), disponible en utilisant la librairie `Wire/I2C` (ou TWI - Two-Wire interface - interface "2 fils").

– **LED:** Broche 13. Il y a une LED incluse dans la carte connectée à la broche 13. Lorsque la broche est au niveau HAUT, la LED est allumée, lorsque la broche est au niveau BAS, la LED est éteinte.

La carte UNO dispose 6 entrées analogiques (numérotées de 0 à 5), chacune pouvant fournir une mesure d'une résolution de 10 bits (c.à.d. sur 1024 niveaux soit de 0 à 1023) à l'aide de la très utile fonction `analogRead()` du langage Arduino. Par défaut, ces broches mesurent entre le 0V (valeur 0) et le 5V (valeur 1023), mais il est possible de modifier la référence supérieure de la plage de mesure en utilisant la broche AREF et l'instruction `analogReference()` du langage Arduino.

La carte Arduino UNO intègre un fusible qui protège le port USB de l'ordinateur contre les surcharges en intensité (le port USB est généralement limité à 500mA en intensité). Bien que la plupart des ordinateurs aient leur propre protection interne, le fusible de la carte fournit une couche supplémentaire de protection. Si plus de 500mA sont appliqués au port USB, le fusible de la carte coupera automatiquement la connexion jusqu'à ce que le court-circuit ou la surcharge soit stoppé.

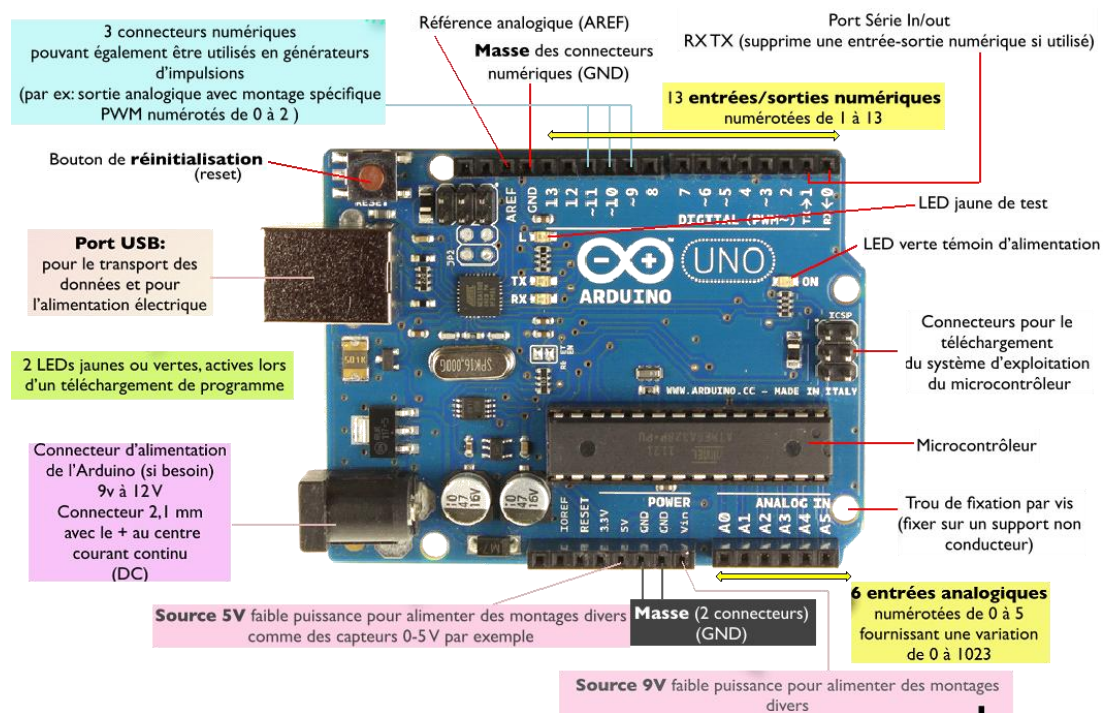
-Ports de communications

La carte Arduino UNO a de nombreuses possibilités de communications avec l'extérieur. L'Atmega328 possède une communication série UART TTL (5V), grâce aux broches numériques 0 (RX) et 1 (TX).

On utilise (RX) pour recevoir et (TX) transmettre (les données séries de niveau TTL). Ces broches sont connectées aux broches correspondantes du circuit intégré ATmega328 programmé en convertisseur USB – vers – série de la carte, composant qui assure l'interface entre les niveaux TTL et le port USB de l'ordinateur.

Comme un port de communication virtuel pour le logiciel sur l'ordinateur, La connexion série de l'Arduino est très pratique pour communiquer avec un PC, mais son inconvénient est le câble USB, pour éviter cela, il existe différentes méthodes pour utiliser ce dernier sans fil[1].

-Zoom sur la carte Arduino Uno R3



Figure(II.2) : Constitution de la carte Arduino Uno R3

II.6.2 Partie programme

Une telle carte d'acquisition qui se base sur sa construction sur un microcontrôleur doit être dotée d'une interface de programmation comme est le cas de notre carte.

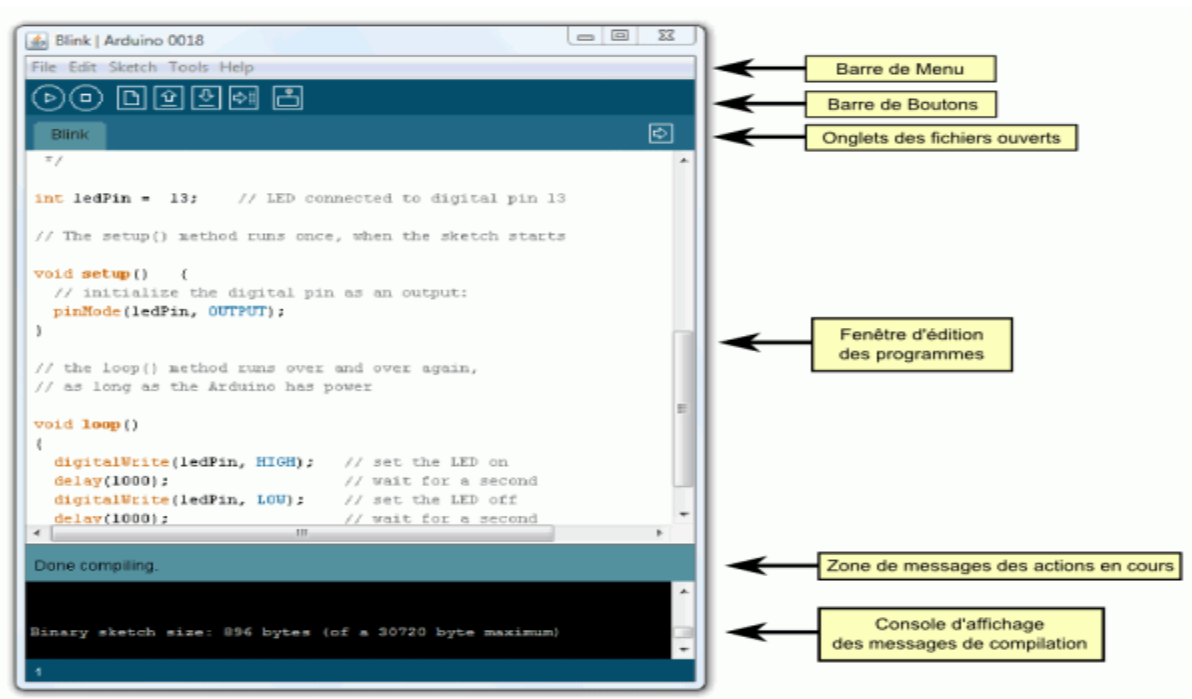
L'environnement de programmation open-source pour Arduino peut être téléchargé gratuitement (pour Mac OS X, Windows, et Linux).

II.6.2.1 Environnement de programmation

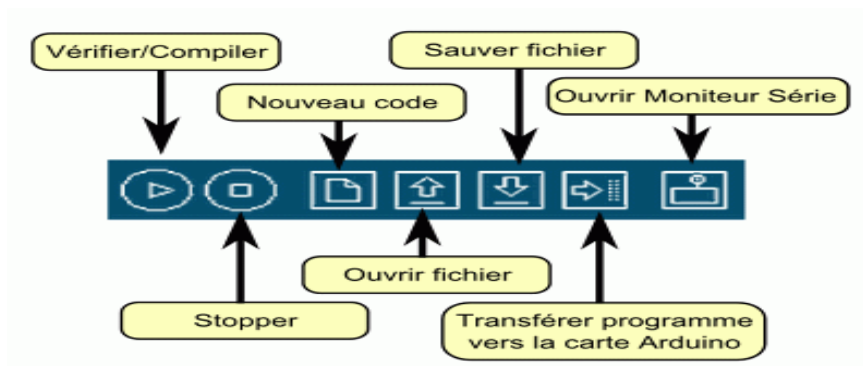
Le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d'éditeur de code (langage proche du C). Une fois, le programme tapé ou modifié au clavier, il sera transféré et mémorisé dans la carte à travers de la liaison USB. Le câble USB alimente à la fois en énergie la carte et transporte aussi l'information ce programme appelé IDE Arduino.

II.6.2.2 Structure générale du programme (IDE Arduino)

Comme n'importe quel langage de programmation, une interface souple et simple est exécutable sur n'importe quel système d'exploitation Arduino basé sur la programmation en C.



Figure(II.3) : Interface IDE Arduino



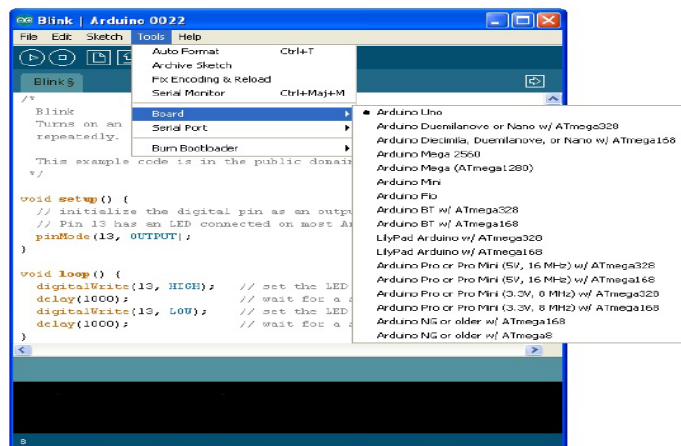
Figure(II.4) : Détail sur la barre de menu

II.6.2.3 Injection du programme

Avant d'envoyer le programme vers la carte, il faut dire au logiciel quel est le nom de la carte et sur quel port elle est branchée.

Choisir la carte que l'on va programmer :

Ce n'est pas très compliqué, le nom de votre carte est indiqué sur elle. Pour nous, il s'agit de la carte "Uno". Allez dans le menu "Tools" ("outils" en français) puis dans "Board" ("carte" en français). Vérifiez que c'est bien le nom "ArduinoUno" qui est coché. Si ce n'est pas le cas, cochez-le.

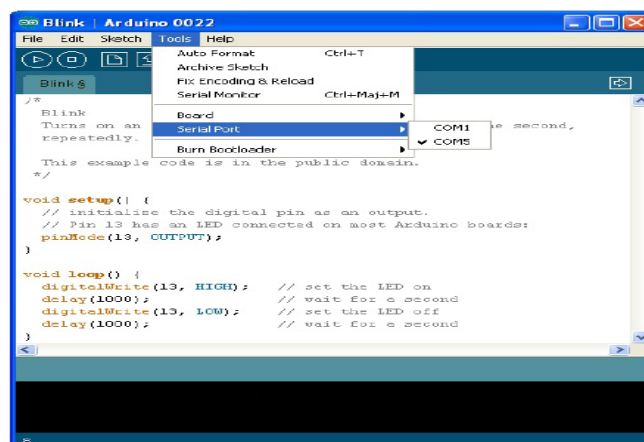


Figure(II.5) : Choix de la carte Arduino

Choisissez le port de connexion de la carte :

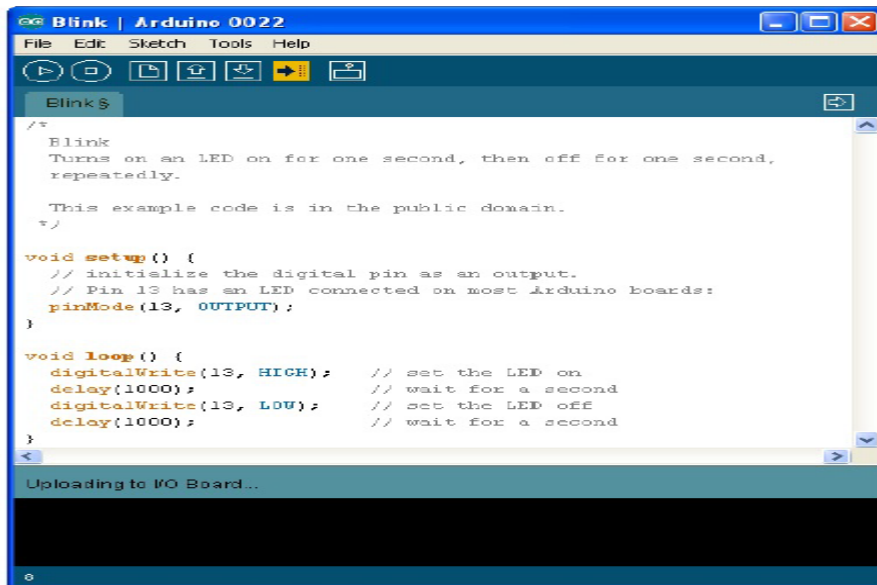
Allez dans le menu *Tools*, puis *Serial port*. Là, vous choisissez le port COMX, X étant le numéro du port qui est affiché. Ne choisissez pas COM1 car il n'est quasiment jamais connecté à la carte.

Pour trouver le port de connexion de la carte, vous pouvez aller dans le gestionnaire de périphérique qui se trouve dans le panneau de configuration. Regardez à la ligne Ports (COM et LPT) et là, vous devriez avoir Arduino Uno (COMX).



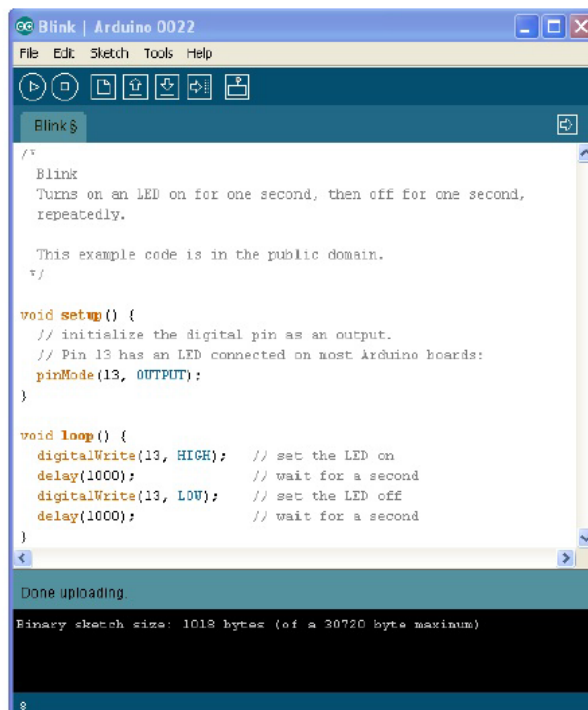
Figure(II.6): Choix du port de connexion de la carte

Maintenant, il va falloir envoyer le programme dans la carte. Pour ce faire, il suffit de cliquer sur le bouton Upload (ou "Télécharger" en Français), en jaune-orangé sur la photo :



Figure(II.7) : Envoi du programme

En bas dans l'image, vous voyez le texte : "Uploading to I/O Board...", cela signifie que le logiciel est en train d'envoyer le programme dans la carte. Une fois qu'il a fini, il affiche un autre message :



Figure(II.8) : Fin de l'upload

Le message affiché : "Doneuploading" signale que le programme à bien été chargé dans la carte. En résumé, l'injection du code vers la carte Arduino UNO via le port USB passe par les étapes suivantes :

1. On conçoit ou on ouvre un programme existant avec le logiciel IDE Arduino.
2. On vérifie ce programme avec le logiciel Arduino (compilation).
3. Si des erreurs sont signalées, on modifie le programme.
4. On charge le programme sur la carte.
5. On câble le montage électronique.
6. L'exécution du programme est automatique après quelques secondes.
7. On alimente la carte soit par le port USB, soit par une source d'alimentation autonome.
8. On vérifie que notre montage fonctionne[2].



Figure(II.9) : Etapes d'injection du code

II.7 Les Accessoires de la carte Arduino

La carte Arduino généralement est associée aux accessoires qui simplifient les réalisations.

II.7.1 Communication

Le constructeur a suggéré qu'une telle carte doit être dotée de plusieurs ports de communications ; nous pouvons éclaircir actuellement quelques types.

- Le module Arduino Bluetooth

Le Module Microcontrôleur Arduino Bluetooth est la plateforme populaire Arduino avec une connexion série Bluetooth à la place d'une connexion USB, très faible consommation d'énergie, très faible portée (sur un rayon de l'ordre d'une dizaine de mètres), faible débit, très bon marché et peu encombrant.



Figure(II.10) : Type de modules Bluetooth

-Le module shield Arduino Wifi

Le module Shield Arduino Wifi permet de connecter une carte Arduino à un réseau internet sans fil Wifi.



Figure (II.11): Module shield wifi

-Le Module XBee

Ce module permet de faire de la transmission sans fil, faible distance /consommation /débit/ prix.



Figure(II.12) : Module Xbee

II.7.2 Capteurs

Un capteur est une interface entre un processus physique et une information manipulable. Il ne mesure rien, mais fournit une information en fonction de la sollicitation à laquelle il est soumis. Il fournit cette information grâce à une électronique à laquelle il est associé.



Figure(II.13) : Capteur Arduino

II.7.3 Drivers

Il existe plusieurs drivers comme des cartes auxiliaires qui peuvent être attachées avec l'Arduino afin de faciliter la commande ; nous pouvons citer quelques types.

-Des moteurs électriques

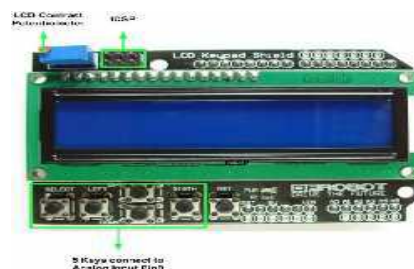


Figure(II.14) : Moteurs électriques

-Les afficheurs LCD

Les afficheurs LCD sont devenus indispensables dans les systèmes techniques qui nécessitent l'affichage des paramètres de fonctionnement.

Ces Afficheurs permettent d'afficher des lettres, des chiffres et quelques caractères spéciaux. Les caractères sont prédéfinis.



Figure(II.15) : Les afficheurs LCD

- Le relais

C'est un composant qui possède une bobine (électro-aimant) qui est parcourue par un courant électrique agissant sur un ou plusieurs contacts. Le relais est une solution à la commande en puissance. Il assure en outre une isolation galvanique en mettant en œuvre un mouvement mécanique[1].



Figure(II.16) : Relais

II.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons projeté la lumière sur une carte d'acquisition qui est l'Arduino donnant ainsi les raisons pour lesquelles nous l'avons choisie tout en citant les différents types de cette dernière.

Ensuite, nous avons expliqué les deux parties essentielles de l'Arduino : la partie matérielle et la partie de programmation.

Nous avons également expliqué le principe de fonctionnement de la carte Arduino sans oublier ses caractéristiques.

Le chapitre suivant sera consacré à l'étude, la simulation et la réalisation d'une station de détection permettant la mesure de la vitesse d'un mobile par effet Doppler en mode continu.

Références

- [1]KramaAbdelbasset, GougiAbdelmoumen ; Etude et réalisation d'une carte de contrôle par Arduino via le systèmeAndroide. Mémoire de master en électrothecnique.Univ.KasdiMerbah. Ouargla.2015.
- [2]Simon Landrault, Hippolyte Weisslinger ; Arduino : premiers pas en informatique embarquée. 19 juin 2014
- [3]http://www.monclubelec.fr/pmwiki_reference_arduino/pmwiki.php?n=Main.MaterielUno

Chapitre III

Station d'émission-réception

3

Station d'émission-réception

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons notre station d'émission-réception permettant de mesurer la vitesse d'un mobile par effet Doppler en mode continu. La mesure de la vitesse radiale d'un mobile qui se trouvera en face de notre station repose sur la mesure de la fréquence Doppler en utilisant une carte Arduino Uno R3 au moyen d'un code que nous avons adapté sous l'environnement IDE.

Notre station d'émission-réception, nous l'avons réalisée en utilisant certaines fonctions de l'électronique comme indiqué ci-dessous.

III.2 Différentes étapes de réalisation de la station d'émission-réception

Deux parties ont été nécessaires pour réaliser notre produit final :

- La première partie est la conception et la simulation sous l'environnement ISIS de Proteus de tout le système électronique.
- La deuxième partie est la réalisation pratique de la station.

III.3 Schéma fonctionnel de la station

Le schéma fonctionnel de notre station d'émission-réception est montré par la figure (III.1). Ce schéma est constitué d'un émetteur et d'un récepteur chargés par deux transducteurs ultrasoniques ayant une fréquence de résonance égale à 40 KHz.

L'émetteur est formé d'un oscillateur qui permet de générer un signal carré de fréquence de 40 KHz, alors que le récepteur est un circuit qui va traiter le signal émis par l'émetteur, réfléchit en présence d'un mobile et qui sera capté par le transducteur de réception.

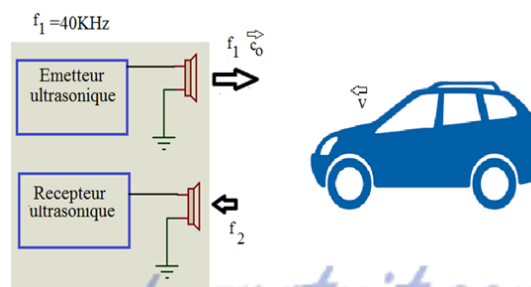


Figure (III.1) : Schéma fonctionnel de la station d'émission-réception

III.4 Conception et simulation sous l'environnement ISIS de Proteus

III.4.1 Emetteur ultrasonique

Nous avons utilisé le timer NE555 pour concevoir, simuler et réaliser l'émetteur ultrasonique du signal carré de 40 KHz. Il est configuré en astable selon le schéma proposé dans la figure suivante.

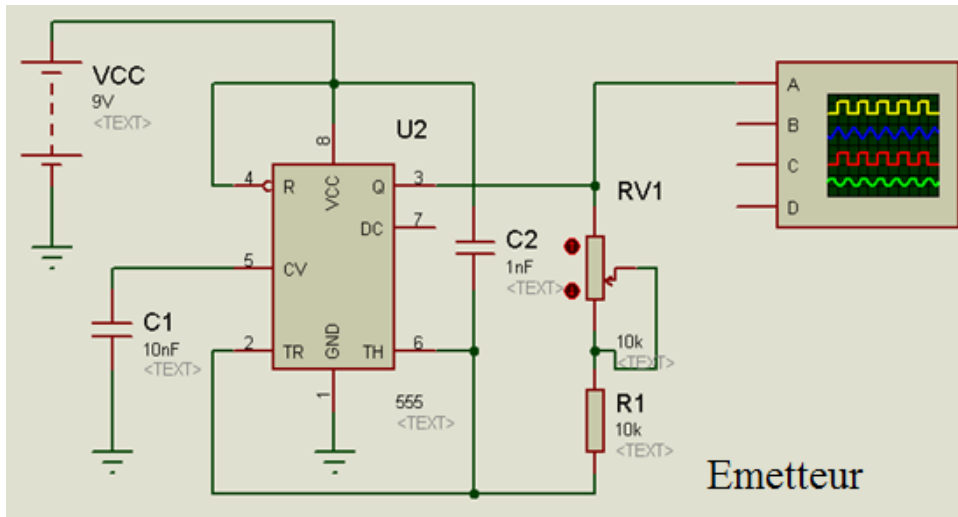


Figure (III.2) : Circuit émetteur

Ce circuit permet de générer un signal carré de fréquence de 40KHz. Pour cela, nous avons choisis comme composant une résistance de 10K Ω en série avec une résistance variable de 10K Ω et un condensateur de 1nF. Le signal carré généré à la sortie de l'astable (patte 3) est appliqué au capteur ultrasonique d'émission qui va le transformer en un signal ultrasonore. Le potentiomètre permet d'ajuster et de fixer la fréquence de l'émetteur à 40 KHz[1].

Grâce à ce circuit, nous avons pu générer sous l'environnement ISIS de Proteus notre signal carré.

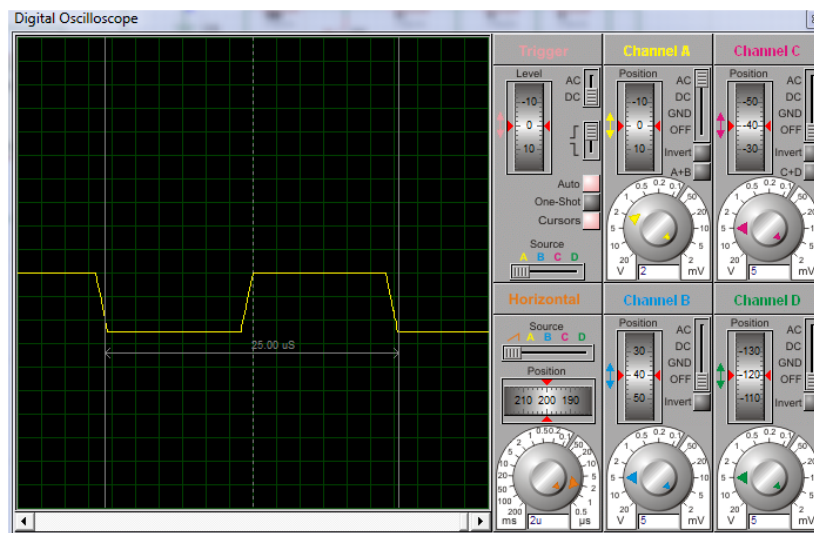


Figure (III.3) : Signal obtenue sous ISIS à la sortie de l'émetteur

III.4.2 Récepteur ultrasonique

Le schéma synoptique détaillé du récepteur est le suivant :

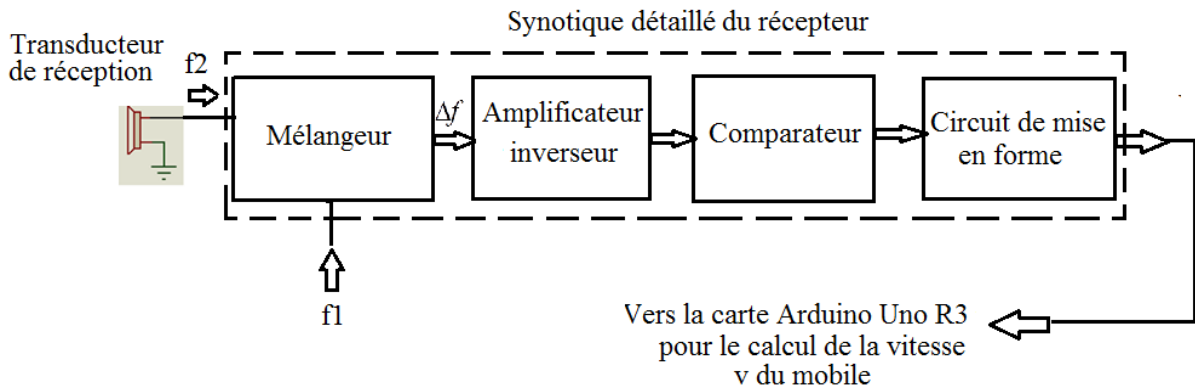


Figure (III.4) : Schéma synoptique détaillé du récepteur

En présence de l'obstacle l'onde ultrasonique émise sera réfléchiée vers le récepteur ultrasonique et sera captée par le transducteur ultrasonique de réception. Ce dernier va la convertir en un signal alternatif de fréquence différente de celle du signal de l'émetteur.

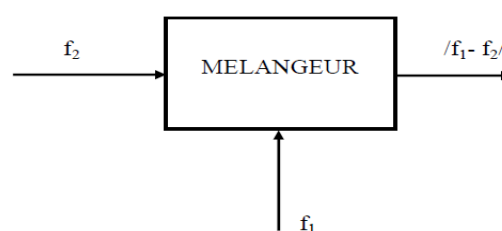
Le récepteur ultrasonique se compose de :

- Un circuit mélangeur qui permet de calculer la différence de fréquence ($f_2 - f_1$) en valeur absolue ;
- Un amplificateur inverseur ;
- Un comparateur qui va transformer le signal capté en un signal carré et finalement ;
- Un circuit de mise en forme qui va stabiliser l'amplitude du signal Doppler à 5V afin d'alimenter la carte Arduino Uno R3.

III.4.2.1 Circuit mélangeur [2]

Le circuit mélangeur est un montage dans lequel la partie non linéaire de la caractéristique de l'élément actif est exploitée, ce dernier peut être une diode, un transistor ou un circuit intégré.

Le schéma synoptique suivant résume le principe de ce circuit :



Figure(III.5) : Schéma synoptique d'un mélangeur

Le mélangeur reçoit deux signaux de fréquences f_1 et f_2 .

-Le signal de fréquence f_1 est le signal issu de l'émetteur.

-Le signal de fréquence f_2 est le signal capté par le transducteur ultrasonique de réception.

-Le signal de fréquence $f = |f_1 - f_2|$ est sélectionné par un filtre de sortie accordé (en général) sur la fréquence f .

Le mélangeur est formé de deux étages : le premier étage contient le composant non linéaire (diode, transistor, ou circuit intégré) et le deuxième est un filtre passe bande (dans notre cas il est passe bas) accordé sur la différence de fréquence. Le schéma bloc suivant montre ces deux étages :

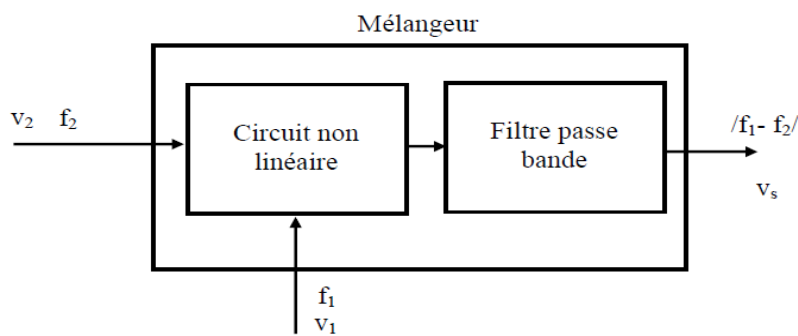


Figure (III.6) : Schéma bloc d'un mélangeur

Il existe différents types de mélangeurs suivant la nature du composant non linéaire. Ici nous nous intéressons au mélangeur à transistor.

Partant du schéma de principe d'un mélangeur, le signal de fréquence f_1 est appliqué à la base du transistor (NPN). Le signal de fréquence f_2 est appliqué à l'émetteur du transistor.

Soit par exemple :

$$u_1 = U_1 \sin w_1 t \quad u_2 = U_2 \sin w_2 t$$

En appliquant ces deux signaux respectivement à la base et à l'émetteur du transistor, La tension au collecteur peut s'approximer alors par les premiers termes d'un développement en série tel que :

$$v_s = Av_e + Bv_e^2 + \dots \dots \text{ Avec } A, B, \dots \text{ des constantes et } v_e = u_1 + u_2$$

Nous trouvons des signaux à différentes fréquences $f_1, f_2, 2f_2, f_1 - f_2, f_1 + f_2 \dots$

Il suffit de placer un filtre à la sortie du circuit non linéaire pour ne sélectionner que les signaux à fréquences désirées.

Notons que l'amplitude de l'un des signaux v_1, v_2 doit être importante pour créer l'intermodulation. Pour cela le mélangeur est dit : produit d'intermodulation.

Le schéma électrique du circuit mélangeur à transistor BC550 du récepteur de notre station d'émission-réception est le suivant :

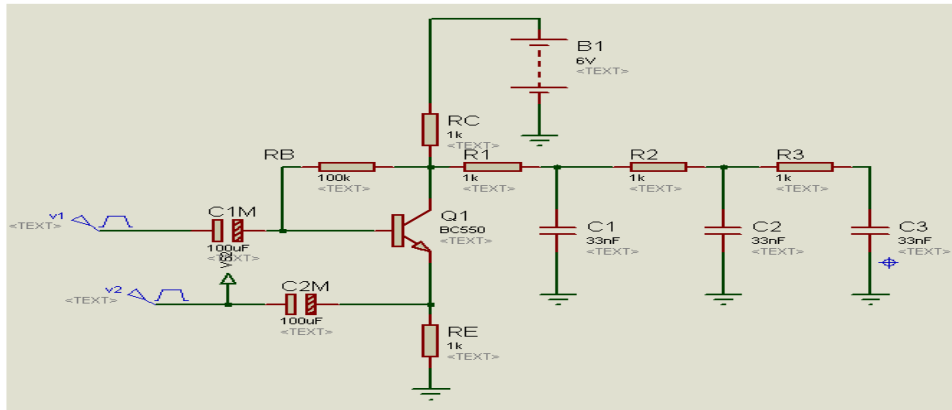


Figure (III.7) : Circuit électrique du mélangeur à transistor du récepteur de la station d'émission-réception

Il est formé du composant actif le BC550 polarisé dans sa région non linéaire qui est attaqué par deux signaux carrés : l'un de fréquence 40KHz et l'autre de fréquence 38KHz par exemple. Le signal que nous voulons obtenir à la sortie du mélangeur a une fréquence $|f_1 - f_2|$ basse inférieure à $f_1, f_2 \dots$ ce qui nous amène à opter pour un filtre passe bas de fréquence de coupure $f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$ (ici trois filtres), placé en cascade avec le circuit de polarisation du transistor. L'allure du signal de sortie du mélangeur, obtenue sous l'environnement ISIS est la suivante.

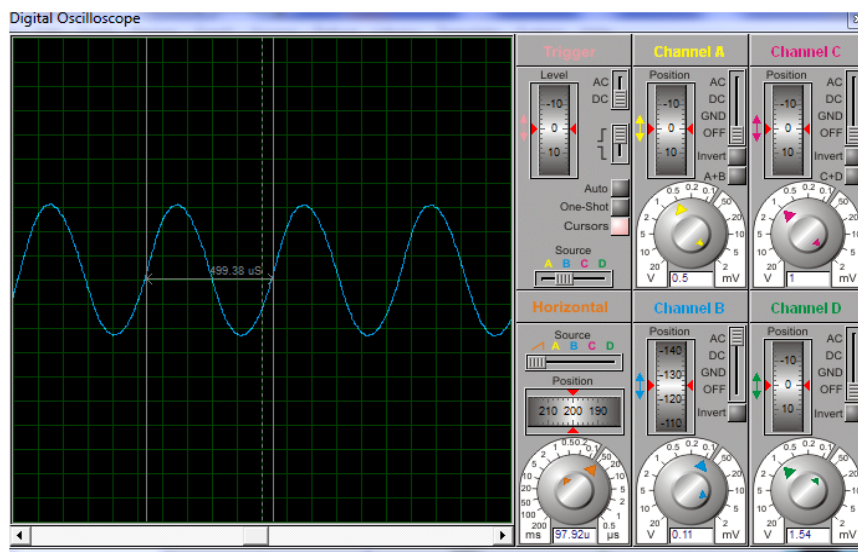


Figure (III.8) : Allure du signal de sortie du mélangeur

III.4.2.2 Circuit amplificateur inverseur[1]

L'amplificateur opérationnel (AOP) est un composant électronique qui peut avoir plusieurs fonctions. Un AOP présente un gain en tension très élevé en boucle ouverte. Le $\mu A741$ a un gain en tension en boucle ouverte égale à 200000 quand il est alimenté par une double alimentation +15/-15V. Pour stabiliser et diminuer cette valeur de gain très importante il faut appliquer une contre réaction entre l'entrée et la sortie de l'AOP.

L'amplificateur inverseur est un montage de base à amplificateur opérationnel où l'entrée non inverseuse est reliée à la masse, le signal d'entrée est appliqué à l'entrée inverseuse via une résistance. Son schéma électrique est montré dans la figure suivante :

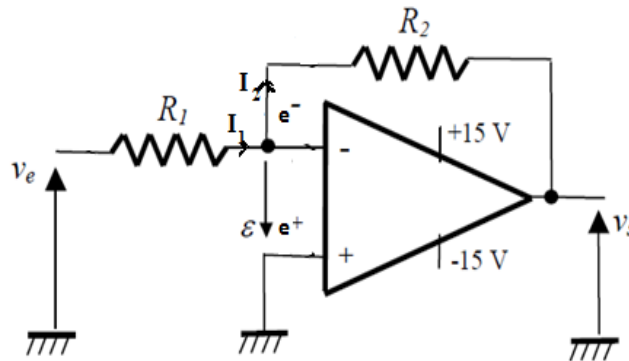


Figure (III.9) : Schéma électrique de l'amplificateur inverseur

Le gain du montage est fixé par les valeurs des résistances R_1 et R_2 .

AOP parfait $\rightarrow e^+ = e^-$ et $I_1 = I_2 = I$

Or $e^+ = 0 \rightarrow e^- = 0$

$\rightarrow v_e = R_1 I_1 = R_1 I$ et $v_s = R_2 I_2 = -R_2 I$

Donc le gain en tension est: $\frac{v_s}{v_e} = -\frac{R_2}{R_1}$.

Nous avons simulé le fonctionnement du montage amplificateur inverseur sous l'environnement ISIS avec $R_1 = 1\text{K}\Omega$ et $R_2 = 3\text{K}\Omega$ et nous avons obtenu les résultats suivants:

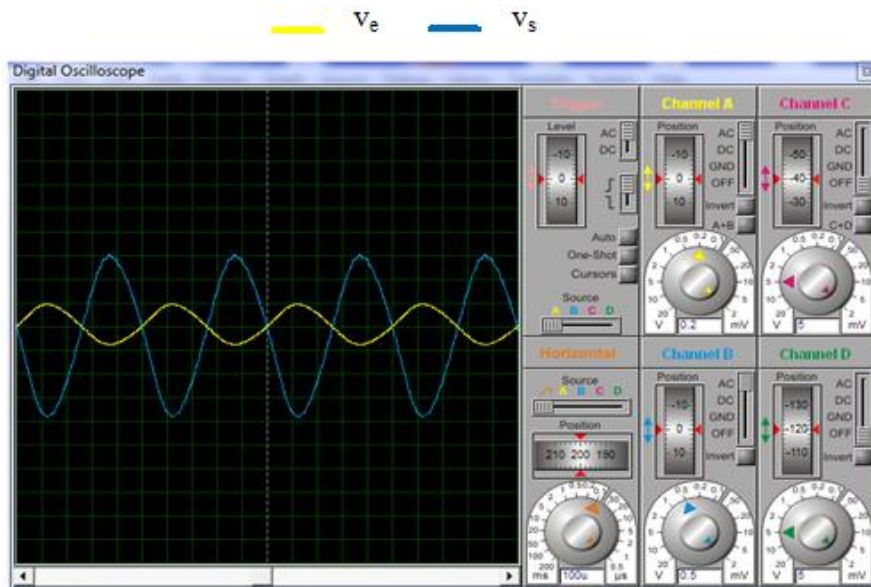


Figure (III.10) : Simulation du fonctionnement du montage amplificateur inverseur

III.4.2.3 Circuit Comparateur[3]

Nous considérons l'AOP alimenté par $V_{cc}/-V_{cc}$, il ne représente pas de contre réaction, il fonctionne en régime non linéaire, c'est un comparateur.

Le principe est simple : on compare un signal d'entrée à une tension de référence, et selon que la valeur du signal est supérieure ou inférieure à la référence, l'amplificateur prendra l'une ou l'autre des valeurs V_{sat+} ou V_{sat-} en sortie.

Il existe deux configurations : le comparateur non inverseur (signal sur l'entrée +) et le comparateur inverseur (signal sur l'entrée -). Dans notre cas le comparateur est de type non inverseur.

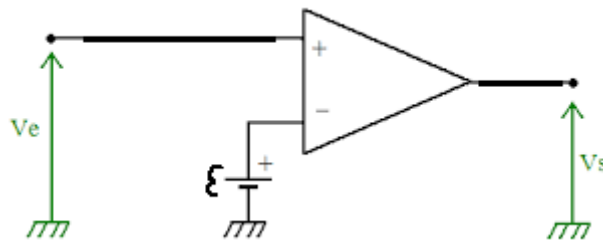


Figure (III.11) : Schéma électrique d'un circuit comparateur

Si $\epsilon > 0 \leftrightarrow v^+ > v^- \leftrightarrow v_s = V_{sat} (\approx +V_{cc})$

Si $\epsilon < 0 \leftrightarrow v^+ < v^- \leftrightarrow v_s = -V_{sat} (\approx -V_{cc})$

Le signal obtenu à la sortie de ce circuit comparateur sous l'environnement ISIS est présenté dans la figure suivante:

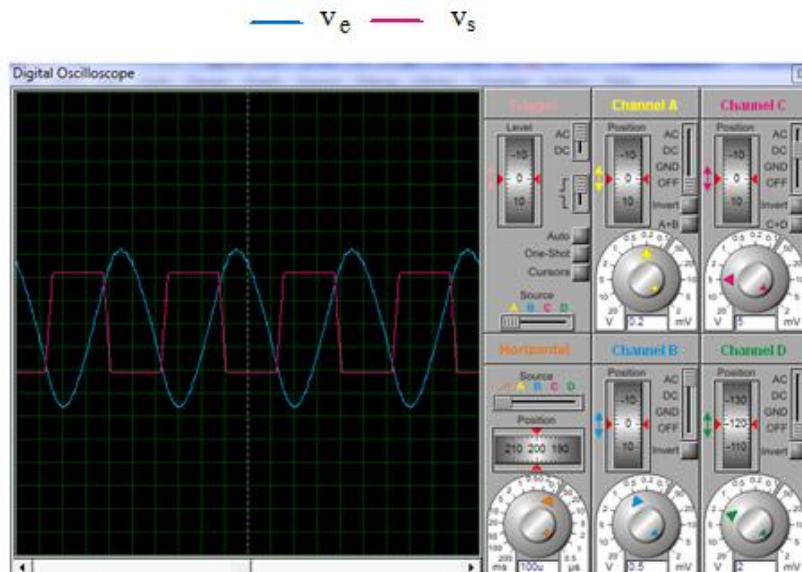


Figure (III.12) : Simulation du fonctionnement du circuit comparateur

III.4.2.4 Circuit de mise en forme

Dans notre cas le circuit de mise en forme se compose d'une diode Zener. Une diode Zener exploite le claquage de la jonction PN lorsqu'elle est polarisée en inverse .

Le phénomène n'est pas destructif si le courant I_z qu'elle fait passer en polarisation inverse autour de sa tension Zener est limité à une valeur $I_{z \max}$ donnée par le constructeur. En directe une diode Zener fonctionne comme une diode ordinaire c.à.d. bloquée pour des tensions appliquées inférieures à sa tension de seuil et conductrice pour des tensions appliquées supérieures à sa tension de seuil.

La diode Zener présente deux caractéristiques à savoir la tension Zener V_z qui est motionnée sur le boîtier du composant et le courant Zener maximal $I_{z \max}$. Ils sont donnés par le fabricant.

Le rôle principal de la diode Zener est de stabiliser les tensions continues à sa tension Zener. Pour notre réalisation, le schéma électrique du circuit de mise en forme est donné par la figure suivante où nous avons utilisé la diode Zener BZX55C5V1 ayant les caractéristiques suivantes : $I_{z \max}=80 \text{ mA}$; $V_z=5.1 \text{ V}$; 0.5 watts.

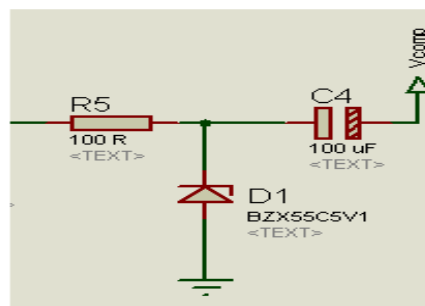


Figure (III.13) : Schéma électrique du circuit de mise en forme

La simulation du fonctionnement de notre circuit de mise en forme sous l'environnement ISIS a donné le résultat suivant :

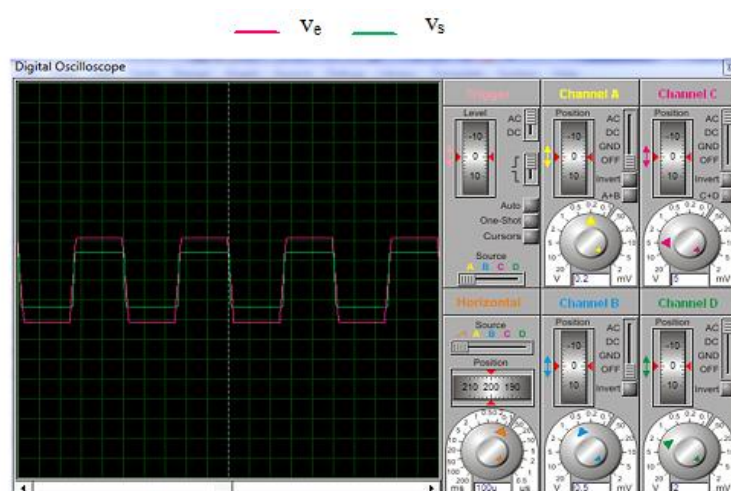
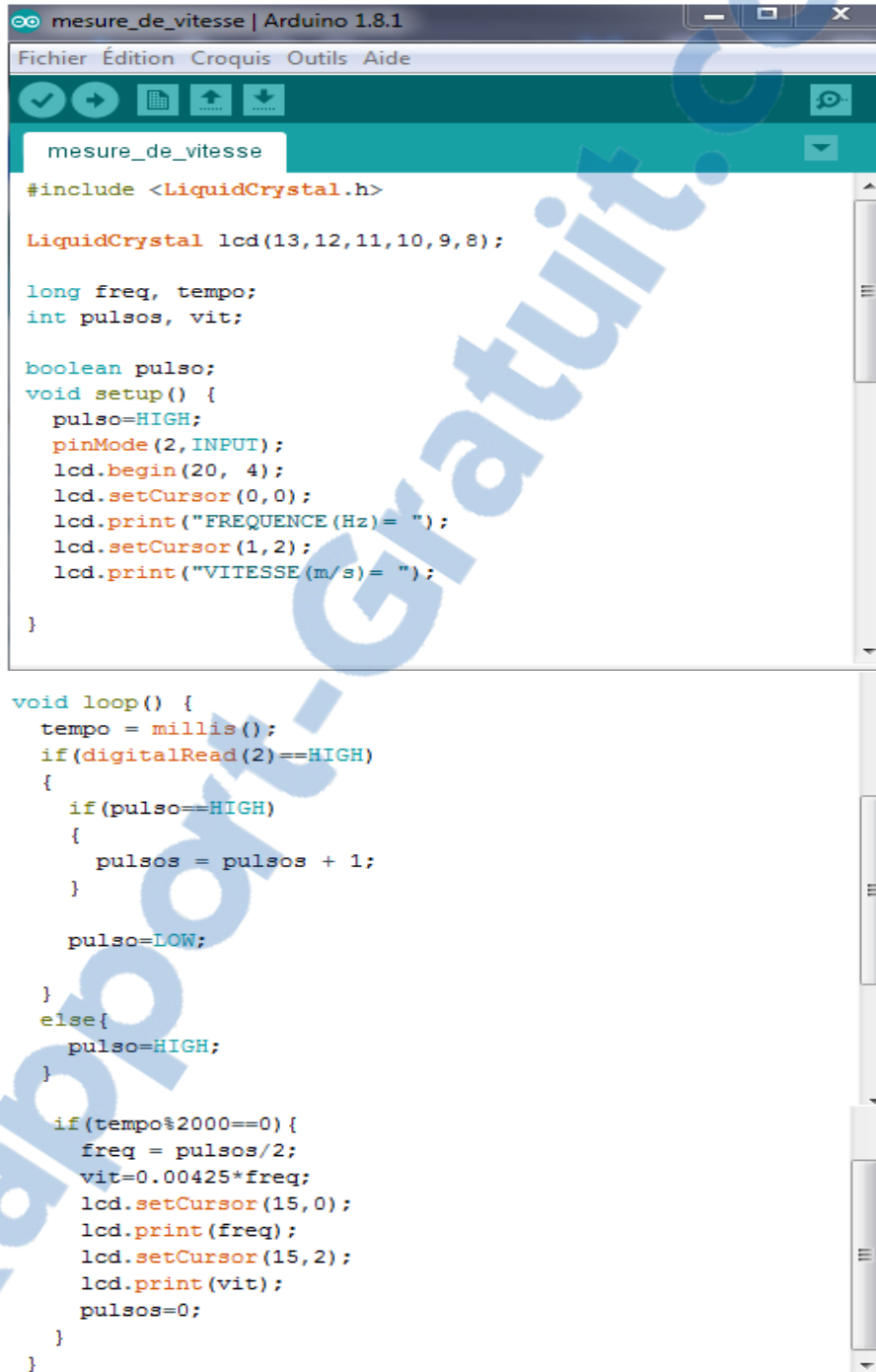


Figure (III.14) : Simulation du fonctionnement du circuit de mise en forme

III.4.2.5 Code Arduino

La photo suivante montre le code Arduino que nous avons adapté sous l'environnement IDE permettant la simulation du fonctionnement du récepteur de notre station d'émission-réception.



```
mesure_de_vitesse | Arduino 1.8.1
Fichier Édition Croquis Outils Aide
mesure_de_vitesse
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(13,12,11,10,9,8);

long freq, tempo;
int pulsos, vit;

boolean pulso;
void setup() {
  pulso=HIGH;
  pinMode(2, INPUT);
  lcd.begin(20, 4);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("FREQUENCE (Hz)= ");
  lcd.setCursor(1,2);
  lcd.print("VITESSE(m/s)= ");
}

void loop() {
  tempo = millis();
  if(digitalRead(2)==HIGH)
  {
    if(pulso==HIGH)
    {
      pulsos = pulsos + 1;
    }

    pulso=LOW;
  }
  else{
    pulso=HIGH;
  }

  if(tempo%2000==0){
    freq = pulsos/2;
    vit=0.00425*freq;
    lcd.setCursor(15,0);
    lcd.print(freq);
    lcd.setCursor(15,2);
    lcd.print(vit);
    pulsos=0;
  }
}
```

Figure (III.15) : Code Arduino

Enfin la simulation du fonctionnement du récepteur (interfacé avec la carte Arduino Uno R3) de notre station d'émission-réception est montrée sur la figure suivante pour $f_1=40\text{KHz}$ et $f_2=38.5\text{KHz}$ (par exemple). Nos résultats obtenus sont affichés sur l'afficheur LCD de la même figure.

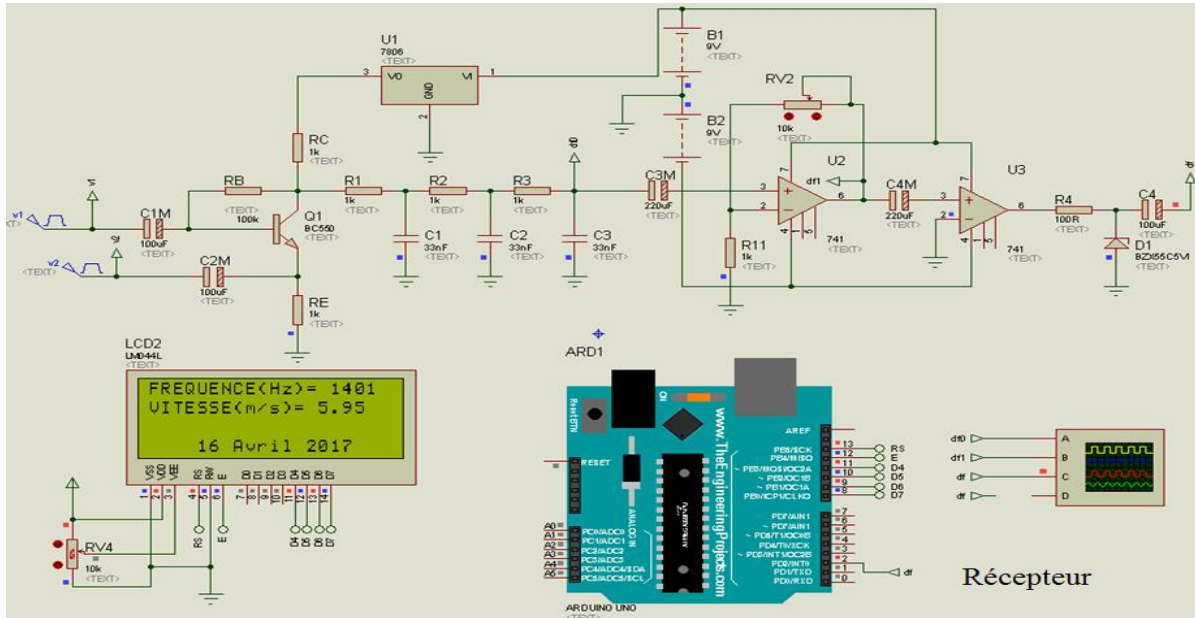
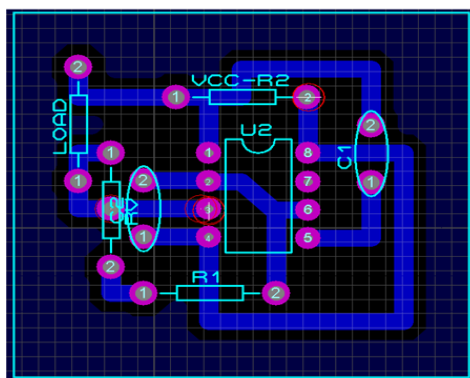


Figure (III.16) : Simulation du fonctionnement du récepteur de la station sous ISIS

III.5 Réalisation pratique de la station

La simulation de nos circuits sous ISIS de Proteus nous a permis de réaliser les typons de l'émetteur et de récepteur sous ARES afin de réaliser notre station d'émission-réception. Nos typons sont représentés dans les figures suivantes :



Figure(III.17) : Typonde l'émetteur

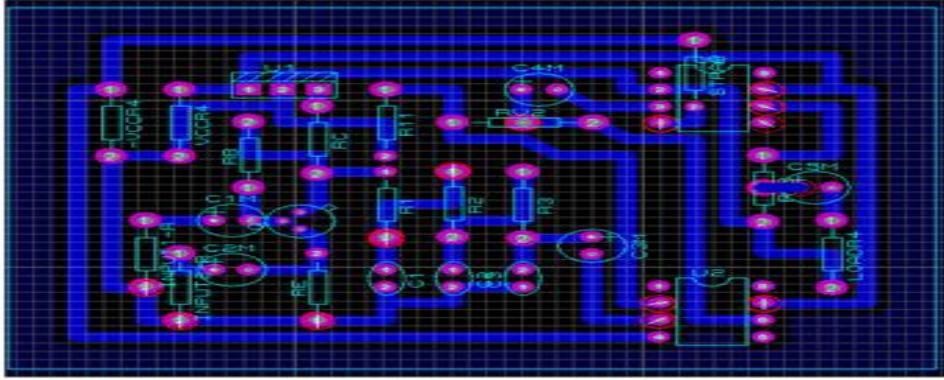


Figure (III.18) : Typon du récepteur

Les vues 3D de l'émetteur et du récepteur se présentent comme suites :

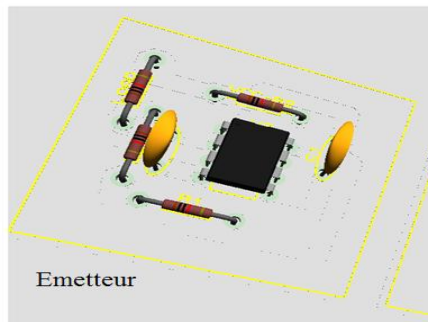


Figure (III.19) : Vue 3D du circuit de l'émetteur

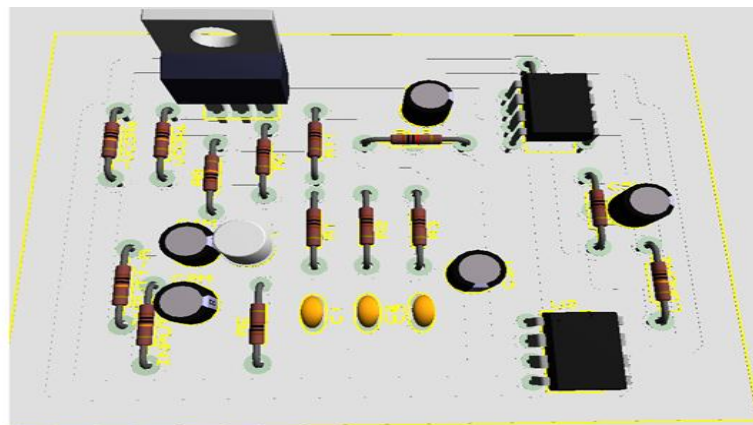


Figure (III.20) : Vue 3D du circuit du récepteur

Pour réaliser nos circuits imprimés, il nous a fallu suivre les étapes suivantes :

- Découper la plaque Epoxy /cuivre aux dimensions des futurs circuits imprimés.
- Appliquer la méthode du fer à repasser pour imprimer le schéma sur la partie cuivrée de chaque plaque.
- Faire l'attaque ou la gravure chimique au moyen d'un bain contenant du perchlorure de fer.
- Implantation et soudure des différents composants est cela après le perforage des vias[4].
- Introduction de l'ensemble des circuits dans une boîte de dérivation apparente.

Les photos des circuits : émetteur et récepteur de notre station d'émission-réception sont montrées en annexe et notre produit final de la station d'émission-réception fonctionnant correctement, se présente comme photographié ci-dessous :

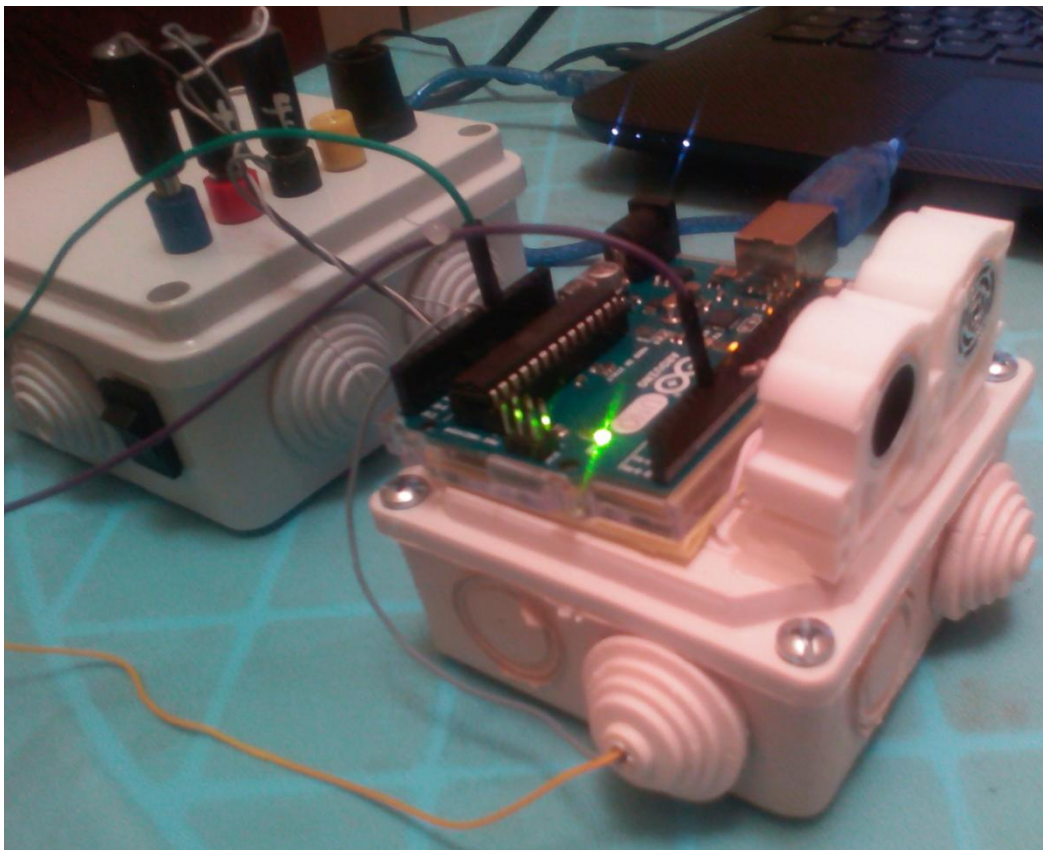


Figure (III.21) : Produit final de la station d'émission-réception.

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents circuits formant notre station d'émission-réception, leurs conceptions, leurs simulations et leurs réalisations.

Notre station permet la mesure de la vitesse radiale d'un mobile se trouvant en face d'elle au moyen d'un code Arduino adapté sous l'environnement IDE et repose sur la mesure de la fréquence Doppler obtenue en faisant battre entre eux les signaux émis et réfléchi.

Références

[1]https://www.youtube.com/channel/UC2H8TsQ1Y7_i8aPY7qxKbdQ

[2]<https://www.researchgate.net/publication/279884728>

[3]<https://www.youtube.com/watch?v=vVgeIjLVx7Q>

[4]KramaAbdelbasset, GougiAbdelmoumen ; Etude et réalisation d'une carte de contrôle par Arduino via le systèmeAndroide. Mémoire de master en électrothecnique.Univ.KasdiMerbah. Ouargla.2015

Conclusion générale

Conclusion générale

Au terme de cette étude et réalisation de la station de détection qui permet de mesurer la vitesse d'un mobile par effet Doppler continue, il convient de récapituler les conclusions qu'ils s'impliquent.

L'effet Doppler utilise un principe simple d'émission réception des ondes ultrasonores en utilisant les transducteurs ultrasoniques, le signal reçu est traité par un circuit mélangeur à transistor, puis amplifié par un circuit amplificateur inverseur et converti à un signal carré par un circuit comparateur et enfin stabilisé à 5V par une diode zener afin d'alimenter la carte Arduino Uno R3.

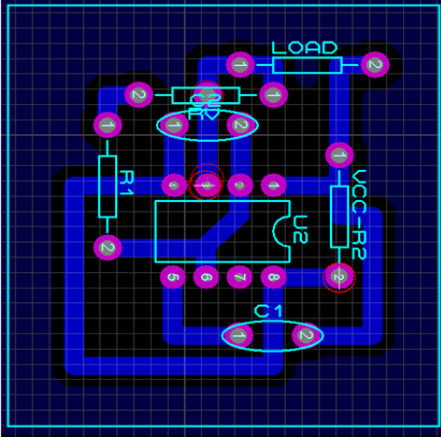
Le produit ainsi réalisé permet à l'utilisateur d'étudier le mode d'émission continue qui permet de détecter n'importe qu'elle objet mobile se trouvant en face de la station d'émission-réception.

Afin de mesurer la vitesse du mobile, nous avons adapté un code sous l'environnement IDE que nous avons téléversé vers la carte Arduino Uno R3.

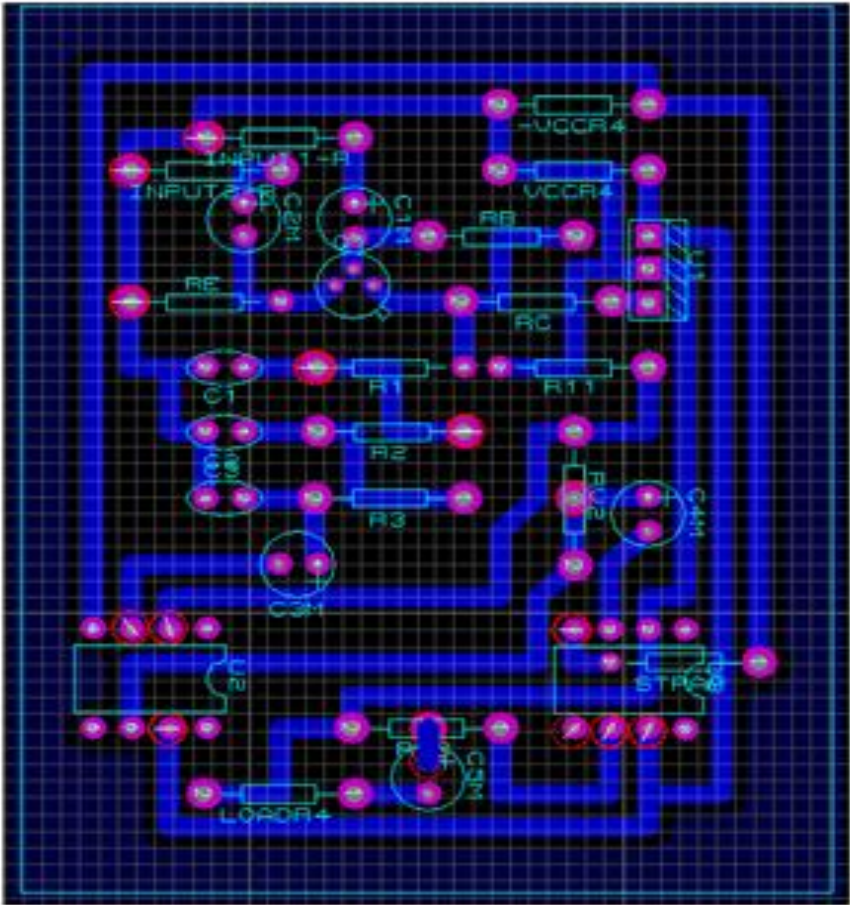
Les résultats obtenus à travers cette étude qu'ils soient théoriques ou pratiques, permettent d'ouvrir la porte à d'autres études (exemple en mode pulsé,...etc).

Nous souhaitons vivement que ce projet puisse servir comme élément de base pour d'autres études plus approfondies pour le faire intégrer sous des systèmes plus complexes.

Annexe



Typon avec l'emplacement des composants de l'émetteur



Typon avec l'emplacement des composants du récepteur

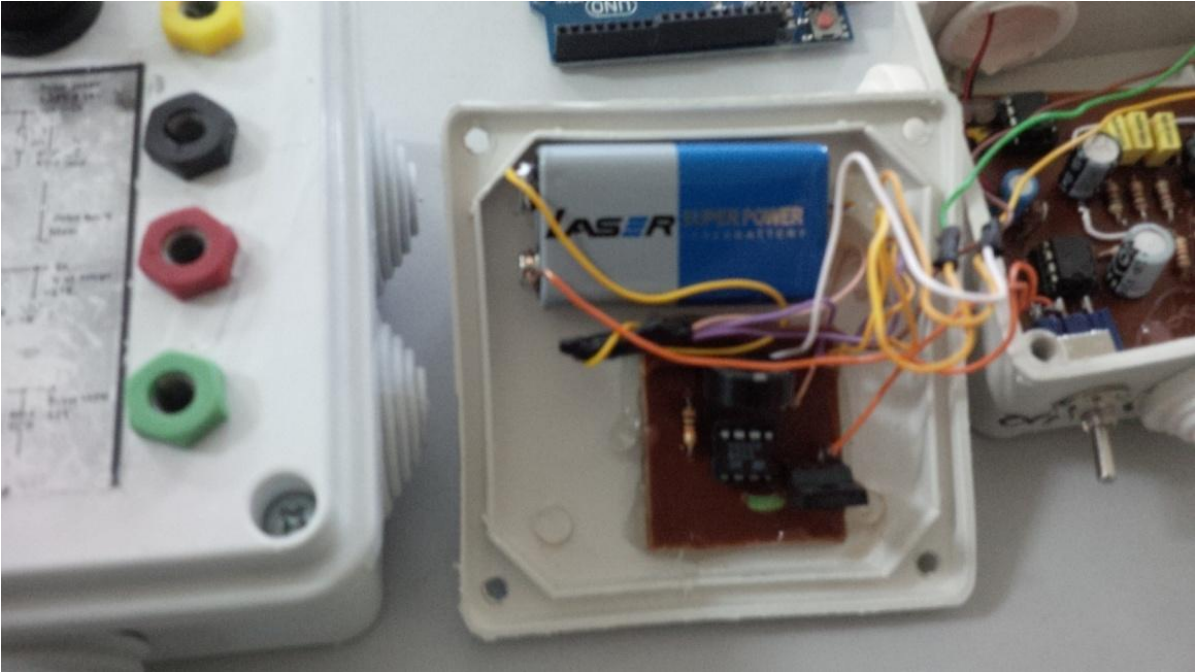


Photo de la réalisation pratique de l'émetteur

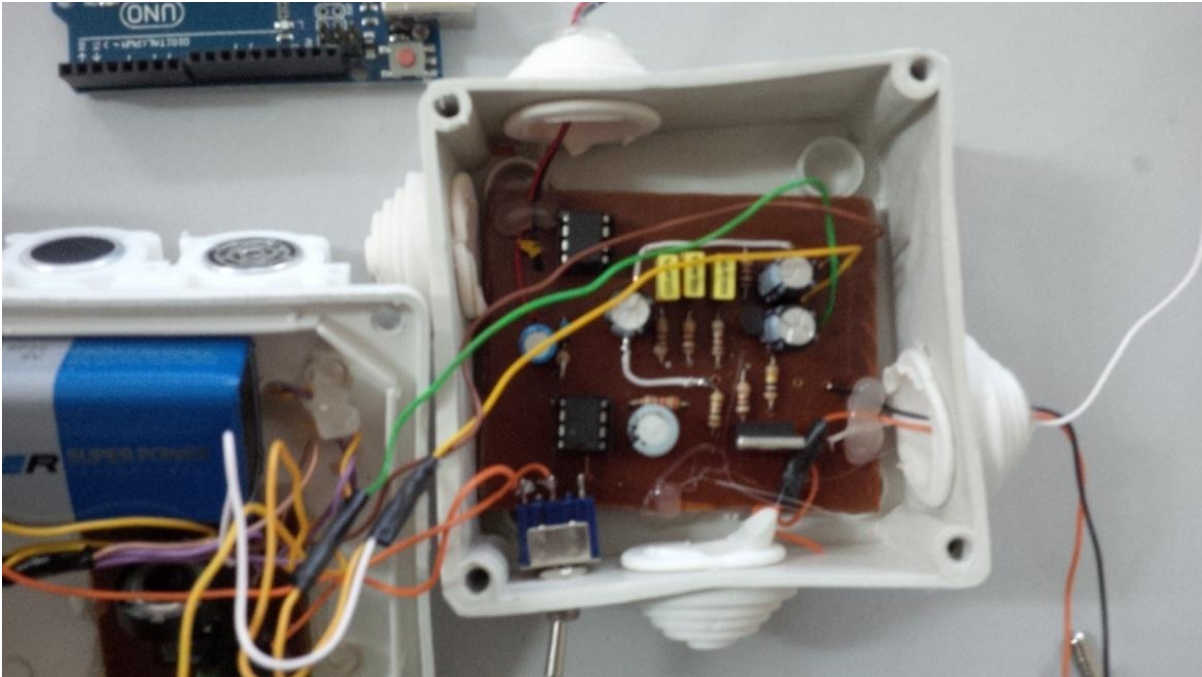
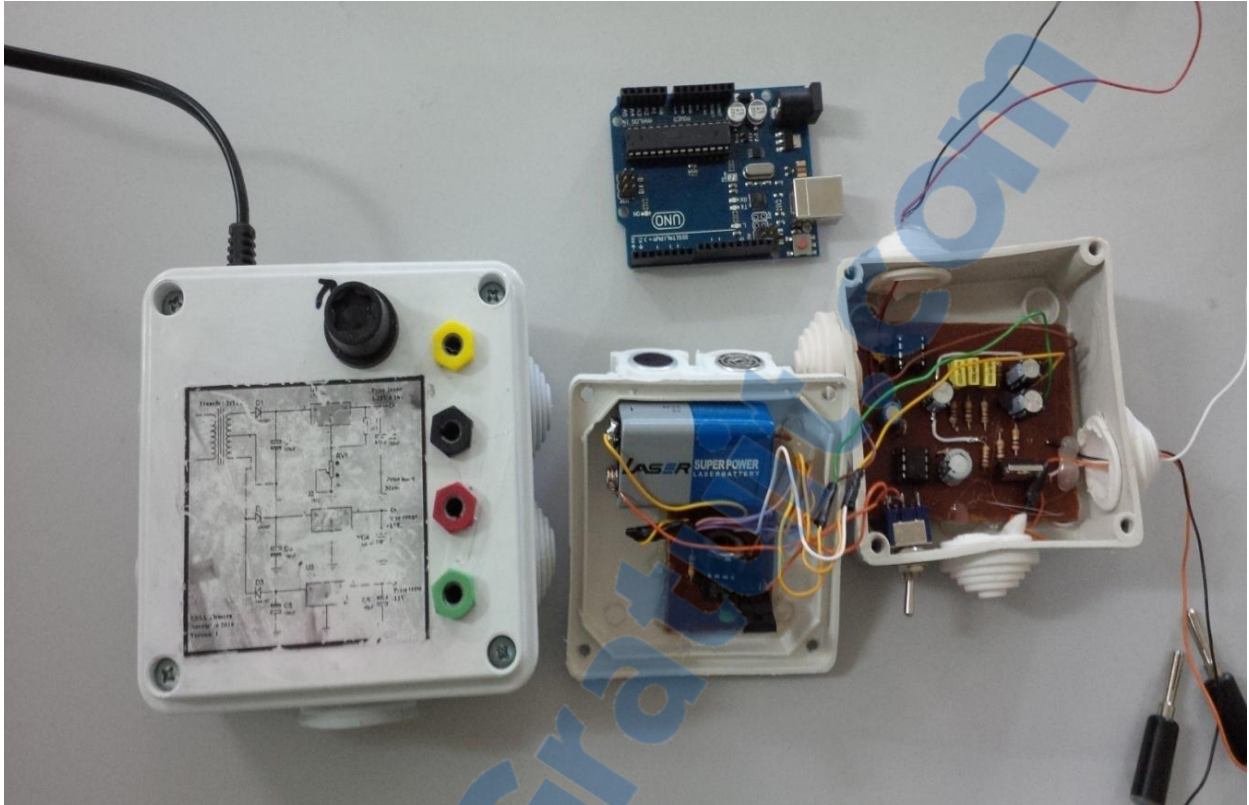


Photo de la réalisation pratique du récepteur



*Photo de la réalisation pratique complète
(alimentation, émetteur, récepteur et carte Arduino UNO)*

ملخص

يسمح لنا هذا المشروع بالتعمق في عالم التكنولوجيا من للوصول إلى إنشاء بطاقة الكترونية تربط بين بطاقة اردوينو و مختلف الدوائر الإلكترونية .

الهدف الأولي من هذا المشروع هو إتقان لغة برمجة من أجل الوصول إلى إنشاء محطة كشف قادرة على قياس سرعة متحرك بظاهرة دوبلر المستمر.

وتظهر الدراسة النظرية أن منتوجنا يمكن أن يعمل في الوضع المستمر، تم إنشاء هذا المنتج باستخدام مختلف الدوائر المتكاملة لتنفيذ بعض العمليات مثل: تحسين شكل الإشارة، التضخيم، التعديل، الترشيح

في هذا المشروع أنشأنا منتجاً يعمل على مبدأ الرادار، ويستخدم لقياس سرعة المواد على سبيل المثال.

كلمات البحث: الموجات فوق الصوتية، ظاهرة دوبلر، الإصدار المستمر، قياس السرعة، ونظام اردوينو، بطاقة اردوينو، لغة البرمجة.

Résumé

Ce projet nous permet d'approfondir dans le monde technologie afin d'arriver à réaliser une carte électronique qui communique entre la carte Arduino et différents montages électroniques.

L'objectif préliminaire est de manipuler un langage de programmation, afin d'arriver à réaliser une station de détection capable de mesurer la vitesse d'un mobile par effet Doppler continue.

L'étude théorique montre que notre produit peut fonctionner suivant le mode continue, la réalisation du produit porte sur l'utilisation de différents circuits intégrés accomplissant des opérations telles que : la mise en forme du signal, l'amplification, la démodulation, le filtrage,....

Dans ce projet nous avons réalisé un produit qui fonctionne suivant le principe d'un radar, il sert à mesurer la vitesse des articles par exemple.

Mots Clés : Ultrasons, effet Doppler, émission continue, mesure de vitesse, système Arduino, Carte Arduino UNO, langage de programmation.

Abstract

This project allows us to deepen in the world of technology in order to realize an electronic card that communicates between the Arduino card and different electronic assemblies.

The preliminary objective is to manipulate a programming language in order to achieve a detection station capable of measuring the speed of a mobile by continuous Doppler effect.

The theoretical study shows that our product can operate according to the continuous mode, the realization of the product concerns the use of different integrated circuits performing operations such as: signal shaping, amplification, demodulation, filtering....

In this project we have realized a product that works according to the principle of a radar, for example, it is used to measure the speed of items.

Keywords: Ultrasound, Doppler effect, continuous emission, speed measurement, Arduino system, Arduino UNO map, programming language.