



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur
Et de la Recherche scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued



Faculté de Technologie
Mémoire de Fin d'Étude
En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences ET Technologie

Filière : télécommunication

Spécialité : systèmes des télécommunications

Présenté par :

HALI Ahmed

KIRAM Abdelmalek

Thème

**Réalisation d'un dispositif pour Détecter la
vitesse des véhicules en utilisant radar
Doppler**

Soutenu le : 08 juin 2023

Devant le jury :

Dr : KHALIL Abdellatif..... Président

Dr : HIMA Abdelkader..... Examinateur

Pr : AJGOU RiadEncadreur

Année universitaire 2022/2023

Remerciements

Nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir permis
d'accomplir ce travail.

Nous exprimons nos remerciements à notre encadrant
Pr.AJGOU Riad Pour ses précieux conseils et suggestions

Nous tenons également à exprimer nos remerciements les
plus sincères pour les membres du jury qui m'ont fait
l'honneur d'évaluer ce travail.

Nous adressons également nos sincères remerciements à tous
les professeurs de la spécialité



Dédicaces

Du plus profond de mon coeur, je dédie ce travail :

A MES CHERS PARENTS

À ma chère femme

A mes fils et filles

A mes soeurs et frères

A tous mes amis chacun de son nom

A tous qui m'ont encouragé et aidé dans
la réalisation de ce projet

Ahmed HALI

Dédicaces

*Je dédie cet humble travail
Aux généreux parents
Et à tous les membres de la famille*

Abdelmalek KIRAM

Résumé :

Ce projet a pour but de réaliser un prototype de système radar de détection de la vitesse des véhicules basé sur le radar doppler et la carte Arduino, Il est facile à utiliser et peut prendre des photos et les stocker.

Le travail consiste à faire une étude générale sur la théorie des Radars, et plus en détail sur le radar Doppler. D'autre part, le rôle de tous les composants de ce système a été expliqué, Nous avons aussi touché la méthode de programmation Avec une explication des blocs de code .a la fin de ce travail, un dispositif radar de détection de la vitesse des véhicules a été conçu, et testé sur des cibles réelles.

Mots clés : Radar doppler, Arduino, détecteur vitesse. Prendre photo

Abstract

The aim of this project is to realize a prototype of system radar vehicle speed detection based on Doppler radar and Arduino board, it's easy to operate and can take a picture and store it. The aim the work consists in making a general study on the theory of Radars, and more in detail on the Doppler radar. On the other hand, the role of all the components of this system has been explained; we have also touched on the programming method with an explanation of the code blocks.

At the end of this work, a radar device was designed and tested on real targets.

Mots clés : Radar doppler, Arduino, vitesse detector, take photo

ملخص

الهدف من هذا المشروع هو تحقيق نظام رادار للكشف عن سرعة المركبات بالاعتماد على رادار دوبلر ولوحة أرد وينو يتميز بالبساطة في التشغيل ويمكنه التقاط صور وتخزينها

وتمثل عملنا في إجراء دراسة عامة ونظرية حول الرادارات وبأكثر تفصيل تناولنا رادار دوبلر من ناحية أخرى، تم شرح دور جميع مكونات هذا النظام؛ ولقد تطرقنا أيضًا إلى طريقة البرمجة مع شرح الأكواد المشغلة للنظام.

وفي نهاية هذا العمل تم تصميم جهاز رادار الكشف عن سرعة المركبات واختباره على أهداف حقيقية.

الكلمات المفتاحية: رادار دوبلر، أرد وينو، كاشف السرعة، أخذ صورة.

Liste d'abréviation

AC: Alternating Current

CW: Radio Continuous Waves

dB: Decibel

DC: Direct Current

ESP: Espressif Systems

FTDI: Future Technology Devices International

GND: Ground

Hz: hertz

IDE: Integrated Development Environment

IF: Intermediate Frequency

IoT: Internet of Things

LCD: liquid-Crystal Display

MTI: Moving Target Indication

PCB: Printed Circuit Board

PMW: Pulse Width Modulation

PRF: Pulse Repetition Frequency

QR: Code Generator

RADAR: Radio Detection and Ranging

RF: Radio frequency

SCL: Serial Clock Line

SDA: Serial Data Line

UNO: One in Italy

USB : Universal Serial Bus

Liste de figure

Figures du Chapitre I

Figure I.1. Différente classe des systèmes radars.....	6
Figure I.2. Schéma de principe d'un radar.....	9
Figure I.3. Direction angulaire.....	10
Figure I.4. Distance entre le radar et la cible	11

Figures du Chapitre II

Figure II.1. Même longueur d'onde $y=d$	17
Figure II.2. Une voiture se rapproche ou s'éloigne.....	18
Figure II.3. Le spectre d'étoile.....	19
Figure II.4. L'échocardiographie par doppler.....	19
Figure II.5. Radar Smart-R transportable de la série (Doppler radar On Wheels, DOW)	20
Figure II.6. Radar de vitesse	22
Figure II.7. Angle de capture	24

Figures du Chapitre III

Figure III.1. Schéma synoptique.....	28
Figure III.2. HB100 (Vue arrière).....	29
Figure III.3. HB100 (Vue frontale).....	29
Figure III.4. HB100 Block Diagramme.....	30
Figure III.5. Diagramme de rayonnement (azimut).....	30
Figure III.6. Diagramme de rayonnement (élévation).....	31
Figure III.7. La carte Arduino UNO.....	32
Figure III.8. Description du brochage de la carte Arduino Uno.....	34
Figure III.9. Schéma de l'amplificateur.....	34
Figure III.10. IC de l'amplificateur.....	35

Figure III.11. PCB de l'amplificateur LM324N.....	35
Figure III.12. L'essai de l'amplificateur LM324N.....	36
Figure III.13. Le résultat de sortie de l'amplificateurLM324N.....	36
Figure III.14. LCD 1602.....	37
Figure III.15. LCD 1602 avec I2C.....	38
Figure III.16. Mini panneau solaire 3W 12V.....	39
Figure III.17. Le contrôleur de charge solaire.....	39
Figure III.18. Caméra ESP32-CAM.....	40
Figure III.19. Schéma E /S Caméra ESP32-CAM.....	41
Figure III.20. Régulateur LM2596 DC/DC.....	42
Figure III.21. Circuit électronique globale.....	44
Figure III.22. Organigramme du programme.....	45
Figure III.23. Logiciel IDE. Version : 2.0.4.....	46
Figure III.25. Les bibliothèques et les variables.....	46
Figure III.24. Détermination la porte et la carte.....	47
Figure III.26. Initialisation des éléments contrôlés.....	47
Figure III.27. Programme principal.....	48
Figure III.28. ESP32-CAM avec Adaptateur ESP32-CAM-MB.....	49
Figure III.29. Configuration le port de communication avec le PC.....	50
Figure III.30. Les bibliothèques et les Pins de ESP32-Cam.....	50
Figure III.31. Configuration les paramètres de caméra.....	51
Figure III.32. Paramètres de la carte mémoire et des propriétés de l'image	51
Figure III.33 : Programmation le flash lors d'une prise d'une photo.....	52
Figure III.34 : L'étape consiste à revenir en mode veille.....	52
Figure III.35 : Des photos de l'appareil en état de fonctionnement.....	53

Liste des tableaux

Liste de tableaux du Chapitre I

Tableau I.1. Principales gammes de fréquences porteuses pour applications radar.....	5
Tableau I.2. Les domaines d'utilisation de radar.....	12

Liste de tableaux du Chapitre II

.....

Liste de tableaux du Chapitre III

Tableau III.1. Caractéristiques techniques de la carte Arduino UNO	31
--	----

Sommaire

Remerciement.....	
Dédicaces	
Dédicaces	
Résumé	
Liste d'abréviation.....	
Sommaire	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux	
Introduction générale	1

Chapitre II : Principe du radar

I.1. Introduction	3
I.2. Historique.....	3
I.3. La cible	5
I.4. La fréquence radar.....	5
I.5. Classification et les types des radars.....	6
1.5.1. Radars imageurs / Radars non imageurs.....	7
I.5.2. Radar bistatiques.....	7
I.5.3. Radar primaire.....	7
I.5.4. Radar secondaire.....	7
I.5.5. Radar à impulsions	8
I.5.5.1. Radar MTI	8
I.5.5.2. Radar Doppler.....	8
I.5.6. Radars à onde continue.....	8

I.5.6.1. Radars à onde continue non modulée	8
I.5.6.2. Radars à onde continue modulée.....	9
I.6. Principe du radar.....	9
I.7. Mesures radar.....	10
I.7.1. Mesure de la direction angulaire.....	10
I.7.2. Mesure de la distance.....	10
I.7.3. Mesure de la vitesse radiale.....	11
I.8. Domaines d'applications.....	12
I.9. Conclusion.....	13

Chapitre II : L'EFFET DOPPLER

II.1. Introduction.....	15
II.2. Historique.....	15
II.3. Qu'est-ce que l'effet Doppler.....	17
II.4. Les applications de l'effet doppler.....	18
II.4.1. Robotique.....	18
II.4.2. Astronomie.....	18
II.4.3. Échocardiogramme.....	19
II.4.4. La navigation des chauves-souris.....	20
II.4.5. La météorologies.....	20
II.4.6. Les radars de la vitesse.....	21
II.5. Les formule mathématique de l'effet Doppler.....	23
II.6. Conclusion.....	26

Chapitre III : conception et réalisation

III.1. Introduction.....	28
III.2. les Composants utilisés.....	28
III.2.1. HB 100 module.....	29
III.2.1.1. Caractéristiques techniques de HB 100.....	29
III.2.1.2. Diagramme de rayonnement	30
III .2. 2. La carte Arduino Uno.....	31
III .2.2.1 Caractéristiques techniques de la carte Arduino UNO.....	32
III .2.2.2 Les sources de l'alimentation.....	33
III .2.2.3. Les entrées et les sorties.....	33
III .2.2.4. Langage de programmation.....	33
III.2.3. L'Amplificateur (LM324N)	35
III.2.3.1. Conception du circuit de l'amplificateur.....	35
III.2.3.2. Réalisation du circuit de l'amplificateur	35
III.2.3.2. Test de de l'amplificateur LM324N	36
II.2 .4. L'écran LCD 16X2.....	37
III.2.4.1. Adaptateur I2C Circuit pour LCD.....	38
III.2.4.2. Utilisation de l'écran LCD I2C avec Arduino	38
III.2.5. Mini panneau solaire 3W 12V.....	38
III.2.5.1. Les Caractéristique de panneau solaire.....	39
III.2.5.2. Le contrôleur de charge solaire	39
III.2.6. Caméra ESP32-CAM.....	40
III.2.6.1. Caractéristique Caméra ESP32-CAM.....	40
III.2.7. Régulateur LM2596 DC/DC.....	41
III.2.7.1. Les Caractéristiques LM2596DC/DC.....	41

III.3. Explication la méthode de fonctionnement	42
III.3.1. Schéma général.....	44
III.4. Constructeur de logiciels.....	45
III.4. 1. Organigramme du la programme de fonctionnement.....	46
III.4.2. Le Programmation de carte Arduino et ESP32-CAM.....	46
III.4.2.1. Programmation de carte Arduino	46
III.4.2.2. Programmation ESP32-Cam	49
III.5. Quelques photos de notre dispositif pendant les tests.....	53
III.6. Conclusion.....	54
Conclusion Générale.....	55
Bibliographie.....	

Introduction générale

L'utilisation du radar s'est répandue ces dernières années dans de nombreux secteurs de l'industrie.

Sans oublier ses utilisations en navigation aérienne, maritime et militaire.

Le radar est conçu pour détecter des cibles éloignées et également déterminer les distances, la vitesse et la direction des cibles, et surveille tous ses mouvements.

Notre projet vise à réalisation d'un radar pour détecter la vitesse des véhicules à l'aide du radar Doppler HB100 et la carte Arduino.

Cette thèse est divisée en trois chapitres, Le premier et Le deuxième chapitre pour la théorie et Le troisième chapitre pour la pratique.

Le premier chapitre, présente une description générale sur le radar

Le deuxième chapitre, présente l'effet doppler

Le troisième chapitre sera consacré à la conception et la réalisation et pour cela Nous avons fait une étude approfondie des composants électroniques (la carte Arduino. ESP32-CAM. HB100. LCD1602) et nous expliquerons la connexion des éléments entre eux afin de bien faire fonctionner l'appareil.

Nous terminons notre travail par une conclusion générale qui résume les différentes observations et résultats obtenus, et comment éviter et surmonter certaines des difficultés que nous avons rencontrées lors de la réalisation de notre projet.

Chapitre I

Principe du radar

I.1. Introduction

Parce que le radar est l'élément central de notre projet, nous avons consacré ce chapitre aux radars et discuterons brièvement des radars de détection ainsi qu'à ses conceptions et principes de fonctionnement et enfin visualisez leurs différents types et leur classification et certains domaines d'utilisation.

I.2. Historique

Le terme radar est une abréviation anglaise **R**adio **D**etection and **R**anging, est un système qui utilise généralement les ondes électromagnétiques de se réfléchir (en totalité ou partiellement) sur tout obstacle, pour détecter la présence et la position ainsi que la vitesse d'objets. Les ondes envoyées par l'émetteur sont réfléchies par la cible, et les signaux de retour (appelés écho radar) sont captés et analysés par le récepteur.

Grâce d'un groupe de scientifiques de plusieurs pays à différentes cycles, la théorie description de l'onde électromagnétique et de sa propagation été développée et consolidée, Nous mentionnerons brièvement certaines de ces stations [1.2.3.7].

En 1884, le physicien anglais James Clerk Maxwell développe sa théorie de la lumière électromagnétique, sous forme d'équations mathématiques].

- En 1886, le physicien allemand " Heinrich Rudolf Hertz " démontra l'existence physique des ondes électromagnétique et les ondes "Radio" pouvait être réfléchi par les corps métalliques et diélectrique.
- En 1900, Nikola Tesla exprima la possibilité de détecter la présence et de mesurer le mouvement d'objet lointain à l'aide d'ondes électromagnétiques
- En 1904, L'expérience «Télémobilscope», de Christian Holsmeyer est considérée comme la première expérience concrète qui Cela lui a permis d'obtenir un brevet pour son invention de son propre télescope, le principe de cette invention est de mesurer le temps de parcours d'une onde électromagnétique, aller et retour, entre l'antenne et l'objet métal, qu'il a testé avec succès à une portée allant jusqu'à 3 km sur des bateaux .
- En 1921, Albert Wallace Hull a développé un oscillateur à haute fréquence il produit un magnétron, qui servira à l'avenir de source radar à ondes [1.3.4.5.11].

- En 1922, A. Taylor et L.B. Si Young de la recherche navale laboratoire (USA), a découvert Pour la première fois un bateau en bois dans une expérience largement similaire Christian Holsmeyer .
- Dans les années 1925 et 26, les travaux de recherche ont reçu une importance et ont été fortement soutenus dans de nombreux pays comme les États-Unis, l'Angleterre, la France et l'Allemagne, en raison de l'importance du radar, en particulier dans la navigation maritime à cette époque [1.4.5.6.10.11].
- En 1930, L. A. Hyland, également du Naval Research Laboratory, réalise la première détection d'un aéronef.
- En 1934, faisant suite à une étude systématique du magnétron, des essais sur des systèmes de détection par ondes courtes sont menés en France par la CSF (16 et 80 cm de longueur d'onde) selon les principes de Nicolas Tesla. Un brevet est déposé (brevet français n° 788795). Le premier équipa en 1934 le cargo Orégon, suivi en 1935 par celui du paquebot Normandie [1.3.4.11].
- En 1935, faisant suite à un brevet déposé par Robert Watson-Watt (brevet anglais GB593017), le premier réseau de radars est commandé par les Britanniques et portera le nom de code Chain Home.
- En 1936, Développement du Klystron par Metcalf et Hahn. Ce sera un composant important des équipements Radar, comme amplificateur ou oscillateur.
- En 1940, Certains pays, tels que les États-Unis d'Amérique, la Russie, l'Allemagne, la France et le Japon, ont développé le radar entre 1930 et 1940, avec le développement de l'armée de l'air pendant la Seconde Guerre mondiale [1.3.4.5.11].

Quant au domaine de l'aviation civile, le radar occupait une place importante, permettant le développement rapide du contrôle de la navigation aérienne. Puis ses utilisations ont commencé dans différents domaines, par exemple en météorologie pour découvrir les précipitations, et aussi en astronomie pour étudier les planètes, et aussi le contrôle et la surveillance de la vitesse sur les routes, et détection d'artefacts à l'intérieur de la terre [1.5].

I.3. La cible

La signification d'une cible ou (target en anglais) est l'objet qui interfère avec l'onde émise par l'émetteur radar et qui réfléchit une partie de l'énergie est appelée l'onde réfléchi vers le récepteur radar. On dit aussi que la cible est l'objet que l'on veut découvrir, et quant au chaos, ce sont les choses indésirables, par exemple, le reflet de la mer, de la terre, de la pluie, des oiseaux, des météorites... qui intercepte aussi l'énergie envoyé et le reflète à nouveau. [1.2].

I.4. La fréquence radar

Le spectre des ondes électromagnétiques s'étend jusqu'à des fréquences de l'ordre de 1024 Hz les radars peuvent également émettre dans une large gamme de fréquences mais plus la fréquence radar est élevée, plus elle est affectée par les conditions météorologiques telles que la pluie ou les nuages. Mais la fréquence plus élevée permet d'améliorer la précision de l'équipement radar émetteur [7].

Tableau I.1 : Principales gammes de fréquences porteuses pour applications radar

Fréquences	IEEE	Types de radars
3-30 MHz	HF	Radars transhorizon, Radars spécifiques (contre avions furtifs)
0.3-1 MHz	VHF	
0.3-1 GHz	UHF	Radars longue portée : suivi des satellites
1-2 GHz	L	Radars longue portée : suivi du trafic aérien
2-4 GHz	S	Trafic aérien, côtier et météo
4-8GHz	C	Surveillance aérienne, conduite de tir
8-12 GHz	X	Radars aéroportés, conduites de tir, radar d'atterrissage
12-18 GHz	Ku	
18-27GHz	K	
27-40 GHz	Ka	
40-75 GHz	V	Auto-Directeurs de missiles
75-111 GHz	W	

I.5. Classification et les types des radars

La classification est basée sur la fonction principale des informations radar qu'elle doit fournir, ainsi que sur l'utilisation des qualités et des technologies différentes peuvent être résumées comme suit :

- Type de Fonctionnement : Détection, poursuite.
- Type d'applications : Contrôle du trafic, météo, navigation, cartographie. Guidage, mesure des distances, mesure des vitesses, imagerie.
- Type de Formes d'ondes : pulsées, continues (CW), continues et modulées en fréquence (FM / CW).
- Type de cibles : avions, précipitations.

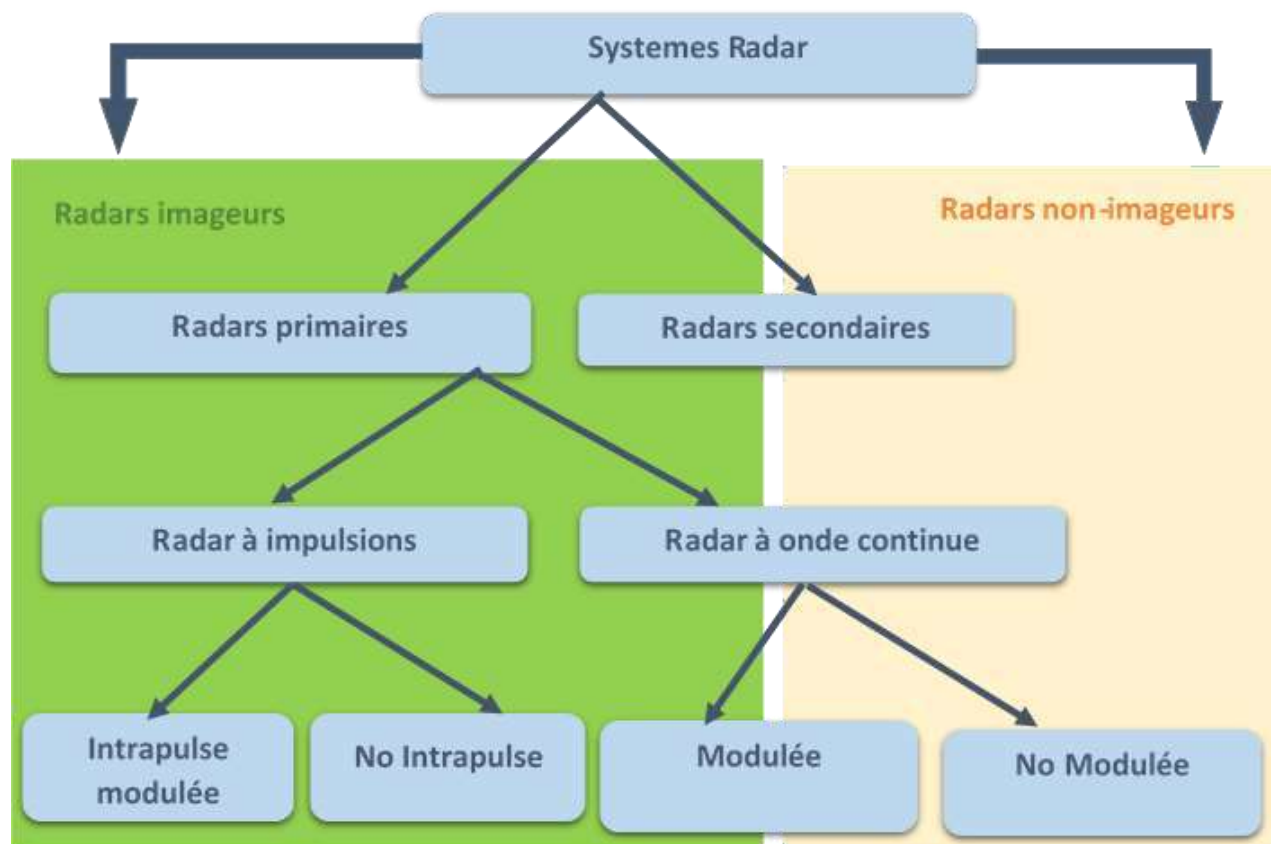


Figure I.1 : Différente classe des systèmes radars

I.5.1. Radars imageurs / Radars non imageurs

Est un radar actif qui envoie un paquet d'impulsions, il a la possibilité de fournir une image de l'objet (ou de la zone) observé. Les radars imageurs sont utilisés pour cartographier la Terre, d'autres planètes et des astéroïdes, ces images sont exploitées dans des applications civiles et militaires. Ce type de radar permet aux systèmes militaires une capacité de classification des cibles.

Voici quelques exemples typiques de radar non imageur sont les cinémomètres radars (les petits, sur le bord de la route...) et les radioaltimètres. Ce type de radar est également appelé diffusmètre puisqu'il mesure les propriétés de réflexion de la région ou de l'objet observé. Les applications des radars secondaires non imageurs sont par exemple les dispositifs d'immobilisation antivols installés sur certains véhicules privés récents.

I.5.2. Radar bistatiques

Est un radar dont l'émetteur et le récepteur sont séparés l'un de l'autre, Par conséquent ce radar utilise deux antennes une pour l'émission et l'autre pour réception [1.3.4. 12].

I.5.3. Radar primaire

Les radars utilisent des impulsions d'énergie électromagnétique. Des signaux micro-ondes sont émis en direction des cibles. Une petite partie de l'énergie est réfléchie vers la cible en direction du radar.

Cette énergie renvoyée au radar par la cible est appelée ECHO. Que le radar puisse calculer le temps entre l'émission et le retour des impulsions. Cette durée et cette direction de l'impulsion permettent déterminer la position d'objet [4.5.12].

I.5.4. Radar secondaire

Le principe de fonctionnement de ce radar repose sur le dialogue entre radar et l'avion, Ce dernier sera équipé d'un transpondeur, pour que le radar émette une série d'impulsions d'ondes électromagnétiques qui représentent les interrogations sont reçues et traitées par transpondeur. Il émet alors un message de réponse qui peut être reçu et décodé par le radar ce message contient un groupe d'informations (telles que l'altitude, le code, la vitesse) ou même un rapport d'un problème à bord tel qu'une panne complète des communications radio ou des détournements) [4.10.12].

I.5.5. Radar à impulsions

Ce type de radar est basé sur l'émission d'impulsions de signal hyperfréquence à haute énergie, Suivi d'un temps de silence plus long que l'impulsion du signal lui-même, ce qui lui permet de recevoir l'écho de la première impulsion avant d'envoyer une deuxième impulsion ce type de radar est fréquemment utilisé pour la mesure de direction, distance et l'altitude. Les radars à ondes continues se divisent en deux catégories. [1.5.12].

I.5.5.1. Radar MTI

Ce type de radar il peut de détecter des cibles mobiles parmi un groupe de cibles, cela se fait en utilisant une faible fréquence de répétition des impulsions (PRF) de sorte que Les cibles fixes renvoient un écho radar à la fréquence du signal reçu, alors que les cibles mobiles modifient la fréquence du signal renvoyé.

I.5.5.2. Radar Doppler

Le radar Doppler est un radar spécialisé qui utilise l'effet Doppler pour produire des données de vitesse sur des cibles à distance. Pour ce faire, il fait rebondir un signal micro-ondes sur une cible souhaitée et analyse comment le mouvement de l'objet a modifié la fréquence du signal renvoyé. Cette variation donne des mesures directes et très précises de la composante radiale de la vitesse d'une cible par rapport au radar.

Par exemple pour mesurer la vitesse des véhicules sur la route. Les véhicules réfléchissent l'onde envoyée par le radar, tout en modifiant la fréquence de cette onde selon leur vitesse. L'onde est alors captée par le radar, qui calcule la vitesse du véhicule selon la formule de l'effet Doppler.

I.5.6. Radars à onde continue

Ce type de radar se caractérise par l'émission d'ondes continues dont la fréquence est modulée ou non modulée, l'écho est reçu et traité.

L'énergie émise doit également être empêchée d'entrer directement dans le récepteur, ce type de radar est généralement utilisé par les constructeurs automobiles pour créer et contrôler des systèmes d'évitement de collision.

I.5.6.1. Radars à onde continue non modulée

Ces radars sont généralement utilisés pour mesurer la vitesse afin que le signal émis par celui-ci soit constant en *amplitude* et en fréquence. .

I.5.6.2. Radars à onde continue modulée

Le radar à onde continue modulée en fréquence émet et reçoit en permanence un signal, Mais la fréquence du signal d'émission étant variable en fonction du temps, cette modulation rend possible le principe de mesure du temps de propagation un autre avantage non négligeable de ce type d'équipement est que, la réception n'étant jamais interrompue, les mesures s'effectuent en permanence. Ces radars sont utilisés lorsque les distances à mesurer ne sont pas trop grandes et qu'il est nécessaire d'effectuer des mesures ininterrompues (par exemple une mesure d'altitude pour un avion ou un profil de vents par un radar météorologique) [1.4.5.12].

I.6. Principe du radar

Principe du radar : Le radar c'est un système qui permet de détecter et de localiser un objet, qui utilise la propriété des ondes radio, qui se propagent dans le vide à la vitesse de la lumière.

La figure I.1 ci-dessous illustre le principe de fonctionnement du radar, afin que l'émetteur de radar génère une onde électromagnétique, qui acheminée vers l'antenne et émise dans l'espace dans une direction ou une région spécifique.

L'antenne du radar illumine la cible avec des micro-ondes, qui sont alors réfléchies par la cible dans la direction du récepteur de radar à travers l'antenne. Cette énergie renvoyée par la cible est appelée ECHO .Après avoir analysé les échos par rapport au temps, le radar peut classer et déterminer la direction, la distance et la vitesse des cibles [1.3.4.5.6.10].

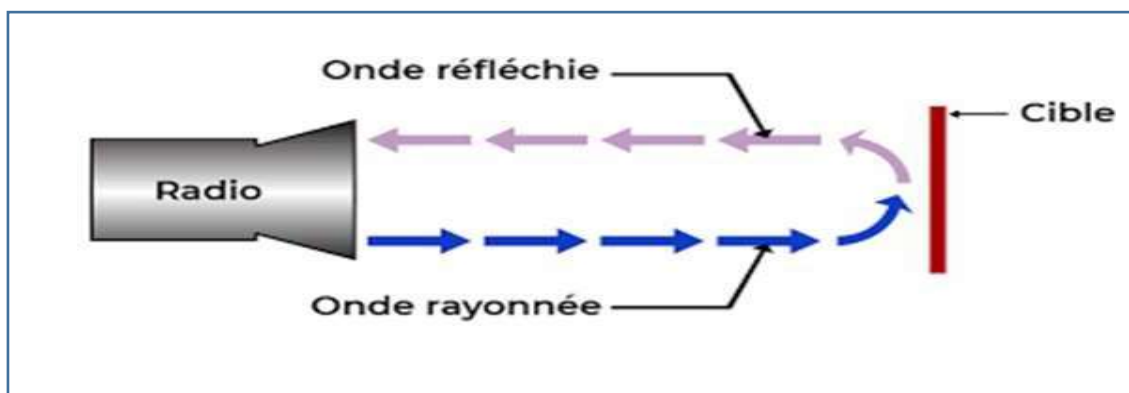


Figure I.2 : schéma de principe d'un radar

I.7. Mesures radar

I.7.1. Mesure de la direction angulaire

L'angle entre la direction nord et la direction de positionnement de la cible (azimut) est déterminé par la directionnalité d'antenne. La directivité est la capacité d'une antenne à focaliser l'énergie rayonnée dans une direction déterminant. En mesurant la direction dans laquelle l'antenne est pointée au moment où elle reçoit un écho, elle peut déterminer l'angle entre la direction nord et la direction cible (azimut), l'emplacement de la cible et donc son altitude.

La précision de la mesure de ces angles dépend de la directivité de l'antenne. Pour une fréquence d'émission (ou longueur d'onde) donnée, la directivité de l'antenne dépend de ses dimensions spécifiques [1.2.1 3].

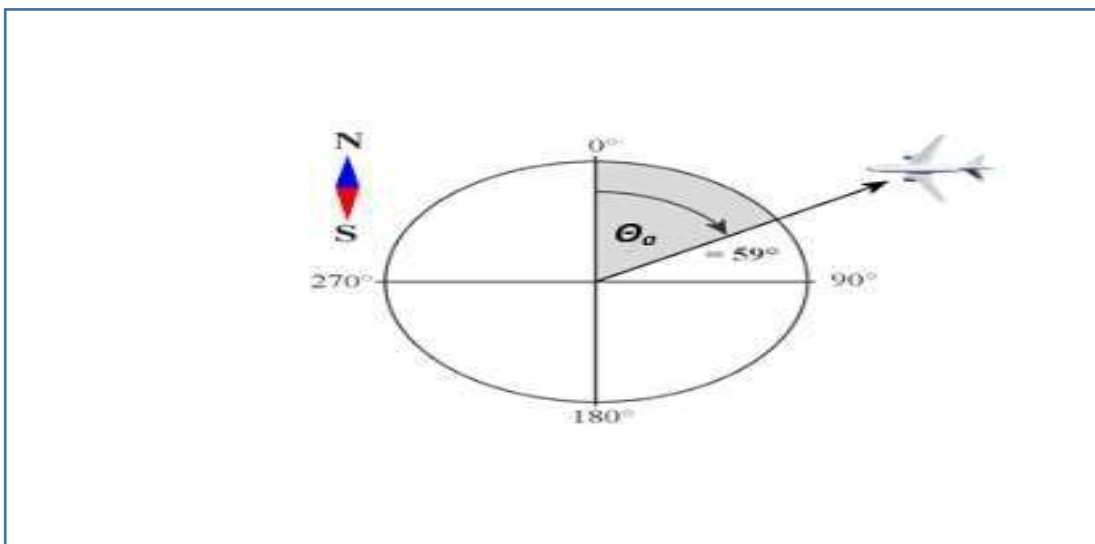


Figure I.3 : direction angulaire.

I.7.2. Mesure de la distance

La mesure de la distance entre le radar et la cible nécessite l'envoi d'une courte impulsion du signal radio et la mesure du temps aller-retour de l'onde transmise. La distance est la moitié du temps de retour de l'onde multipliée par la vitesse de l'onde électromagnétique (qui est la vitesse de la lumière dans le vide si le milieu traversé est l'atmosphère). La formule permettant de calculer cette distance est donc :

$$D = C \cdot \Delta t / 2 \dots\dots\dots (I.1).$$

Où :

- D : est la distance oblique antenne-cible (mètre),
- C : est célérité de la lumière $\approx 3.108 \text{ m / s}$,
- Δt : le temps mesuré par le radar qui est le temps du trajet aller-retour [1.2.1 3].

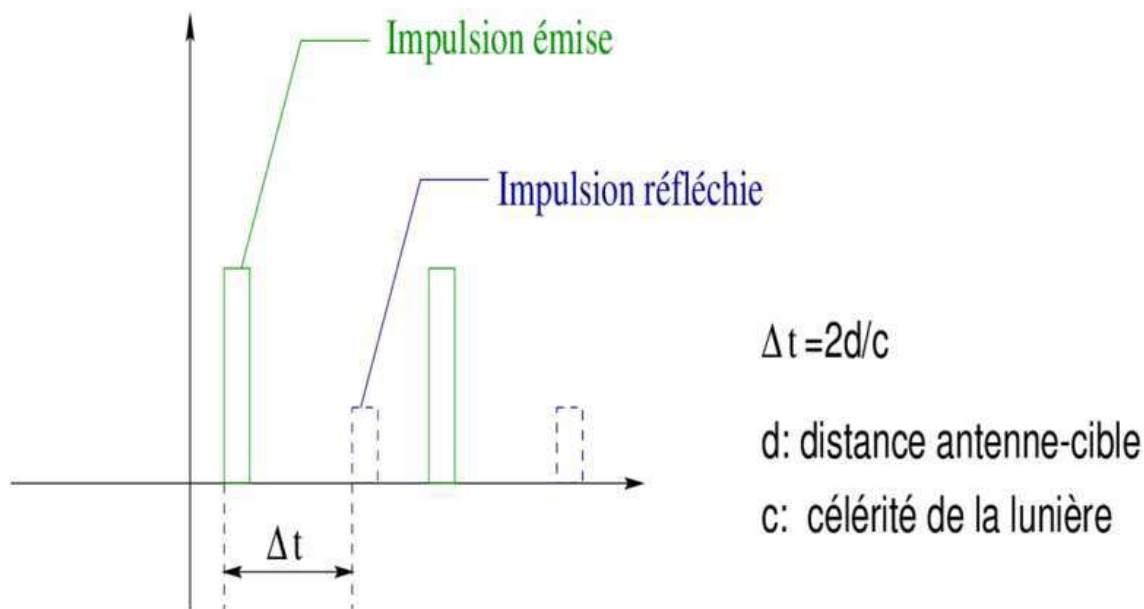


Figure I.4 : distance entre le radar et la cible

I.7.3. Mesure de la vitesse radiale

Il existe plusieurs façons de mesurer la vitesse de déplacement d'un objet. Les radars utilisent la fréquence Doppler pour extraire l'information sur la vitesse radiale des cibles. Le phénomène Doppler $d f$ décrit la variation (positive ou négative) de la fréquence réfléchie provoquée par le mouvement de la cible par rapport à la fréquence émise. La fréquence Doppler $d f$. Elle est reliée à la vitesse radiale v_r par la relation :

$$v_r = \lambda d f / 2 \dots \dots \dots (I.2)$$

I.8. Domaines d'applications

Le radar est utilisé dans plusieurs domaines parmi eux : en météorologie pour détecter les orages, pour le contrôle du trafic aérien, pour la surveillance du trafic routier, par les militaires pour détecter les objets volants mais aussi les navires, en astronautique, etc. [1.3.5.6].

Dans ce tableau, nous en mentionnons quelques-uns :

Tableau I.2 : les domaines d'utilisation de radar

domaine	Utilisation de radar
Militaire	-Radars de détection et de surveillance aérienne au sol ou embarqués. -Radars de veille surface sur navire de guerre. - Identification radar IFF (Identification Friend or Foe). - Autodirecteurs de missiles. - Brouilleurs radars. -satellites radar d'observation de la terre
Aéronautique	- contrôle du trafic aérien. -guidage d'approche d'aéroport. -radars d'altimétrie. -radars de navigation.
Maritime	- Radar de navigation. -Radars anticollision. -Balises radars.
Circulation et sécuriteroutière	- Contrôle de la vitesse des automobiles (cinémomètre). -Radars de recul sur automobiles.
Astronautique	L'astronomie radar est une technique d'observation des objets astronomiques proches de la Terre.
Météorologie	Détection de précipitations (pluie, neige, grésil, visibilité, grêle, tornade, foudre, etc.) et déformations nuageuses

I.9. Conclusion :

Le premier chapitre Il comprend les généralités sur les systèmes radar, tel que l'historique et la définition du RADAR avec le principe de fonctionnement et les différents types des RADARS primaires. Ainsi ses les déférentes bandes de fréquence utilisées et leurs domaines d'applications. Quant au chapitre a la suite, et on va vu l'effet Doppler et les applications de cette effet avec une explication plus détaillée sur le radar doppler et Comment peut-il détecter une vitesse de cible en mouvement

Chapitre II

L'EFFET DOPPLER

II .1.Introduction

L'effet Doppler a été découvert par Christian Doppler. Il est utilisé encore aujourd'hui pour plusieurs domaines de la vie courante et de la recherche.

Dans notre projet, le radar Doppler sera la base de la réalisation, dans laquelle nous nous appuierons sur sa sortie de données et son analyse, afin de pouvoir calculer la vitesse.

Donc on va parler dans ce chapitre sur l'effet Doppler, de son histoire et nous expliquerons en détail les relations mathématiques et les équations qui lui sont liées dans tous les cas. Aussi nous parlerons également des applications qui utilisent l'effet doppler, et consacré à les applications de l'effet doppler pour détection de la vitesse.

II .2.Historique:

Il doit le mérite de la découverte du phénomène aux deux chercheurs :

Christian Doppler (1804-1853) était un mathématicien et physicien autrichien. Il fut professeur de mathématiques et de géométrie pratique à l'Ecole polytechnique de Prague. Sa publication la plus célèbre est celle parue dans les Comptes rendus de la Société Royale des sciences de Bohême. Il s'agissait d'un texte d'une conférence dont le titre complet est Sur la lumière colorée des étoiles doubles et de quelques autres astres du ciel ; essai d'une théorie générale qui incorpore le théorème de Bradley sur l'aberration comme partie intégrale. Cet article met en avant la démonstration du phénomène observé par Doppler, ce qui sera appelé Par la suite « l'effet Doppler » Grâce à son travail sur les ondes lumineuses et sonores, Doppler remarqua que les perceptions étaient différentes si l'origine des ondulations et l'observateur étaient en mouvement relatif l'un par rapport à l'autre. Ainsi, à l'aide de schémas, Doppler mit en équation le phénomène qu'il venait de mettre en avant.

Doppler chercha ensuite à expliquer la couleur des étoiles en fonction de leur vitesse d'éloignement ou de rapprochement mais aucune vérification expérimentale de la théorie qu'il énonça ne fut effectuée.

Hippolyte Fizeau (1819-1896) Son premier travail en lien avec l'effet Doppler concernait les ondes sonores. Afin d'illustrer son travail, Fizeau utilisa une roue dentée. [1, p. 40] En effet, le son produit par la lame contre les crémaillères n'était pas perçu de la même façon suivant la position de l'observateur. Notons que Fizeau réutilisera une roue dentée pour

déterminer la vitesse de la lumière donc La différence avec Doppler est que Fizeau indique précisément le phénomène créé par le mouvement d'une source lumineuse, à savoir « Considéré dans le spectre, cet effet se traduira par un déplacement des raies correspondant au changement de la longueur d'ondulation »

L'effet Doppler-Fizeau est le plus généralement utilisé pour les ondes lumineuses. Dans ce cas, il traduit le déplacement des raies du spectre de la lumière reçue par un observateur d'une source lumineuse en mouvement relatif par rapport à celui-ci. [12]

II -3 Qu'est-ce que l'effet Doppler [13]

L'effet Doppler c'est le phénomène qui caractérise le changement de fréquence de l'onde captée par un récepteur lorsque l'émetteur et le récepteur sont en mouvement relatif.

La source **S** émet un signal de fréquence F . Comme la source est immobile, les trains d'onde successifs arrivent avec la même périodicité (et donc la même fréquence) au niveau du récepteur immobile. Ainsi, il n'y a pas de décalage Doppler :

$$fa = f \leftrightarrow Ta = T$$

Comme indiqué dans la figure suivante :

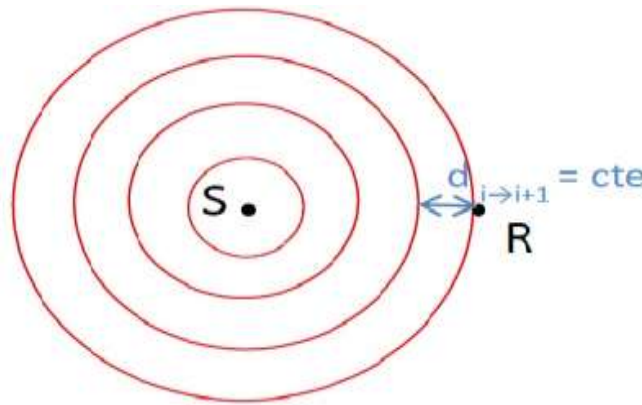


Figure II.1 : même longueur d'onde $y=d$

Donc, si quelque chose émet une onde en se déplaçant par rapport à moi, je vais recevoir une onde d'une fréquence différente de celle émise. Il y a alors deux cas :

- Si l'émetteur s'éloigne du récepteur, la fréquence de l'onde reçue diminue par rapport à la fréquence émise.
- Si l'émetteur se rapproche du récepteur, la fréquence de l'onde reçue augmente par rapport à la fréquence émise.
- C'est pour cela que quand une voiture de course se rapproche de vous, vous entendez un son à haute fréquence. Lorsqu'elle est passée et s'éloigne de vous, le son que vous percevez est à une fréquence plus basse.

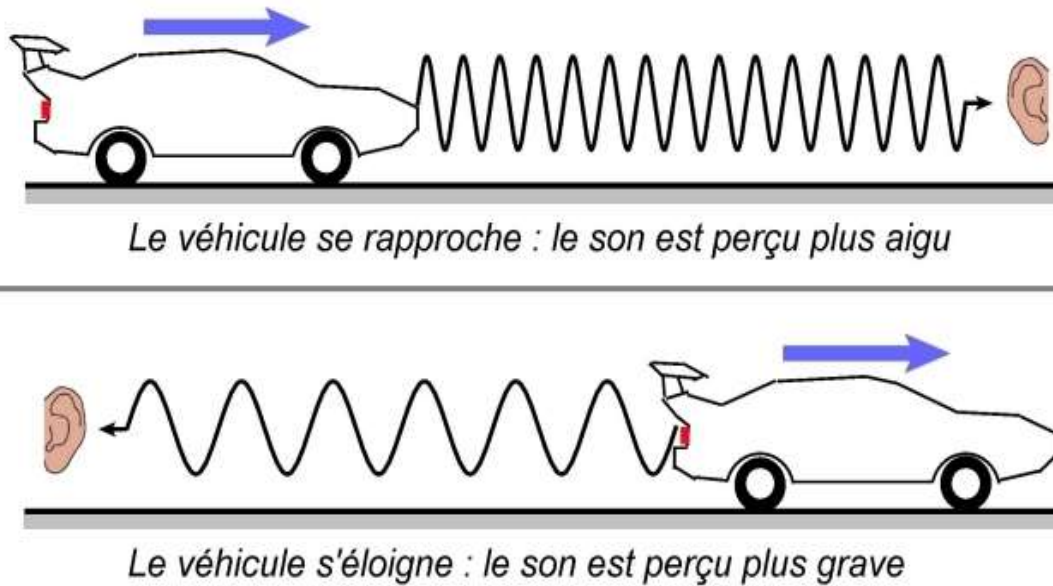


Figure II.2 :une voiture se rapproche ou s'éloigne

II .4.les applications de l'effet doppler [14] :

Il existe de nombreuses applications de l'effet doppler, et nous allons essayer d'en citer quelques-unes :

II.3-1 Robotique

Planification de trajectoire dynamique en temps réel dans robotique pour soutenir le mouvement du robot dans un environnement exigeant avec des obstacles mobiles est

Souvent utilisé à l'aide de l'e et Doppler.

De telles applications sont spécialement utilisées pour la robotique compétitive où l'environnement est en constante évolution.

II.3-2 Astronomie

Le spectre d'une étoile comporte des raies d'absorption atomiques, de longueurs d'onde connues, $\lambda_{\text{théorique}}$ à vitesse d'éloignement nulle. En comparant aux longueurs d'onde

λ_{mesuree} des raies de l'étoile observée, on en déduit la **vitesse relative** de l'étoile v par rapport à nous [15] :

$$v = \frac{\lambda_{\text{mesuree}} - \lambda_{\text{theorique}}}{\lambda_{\text{theorique}}} \cdot c$$

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

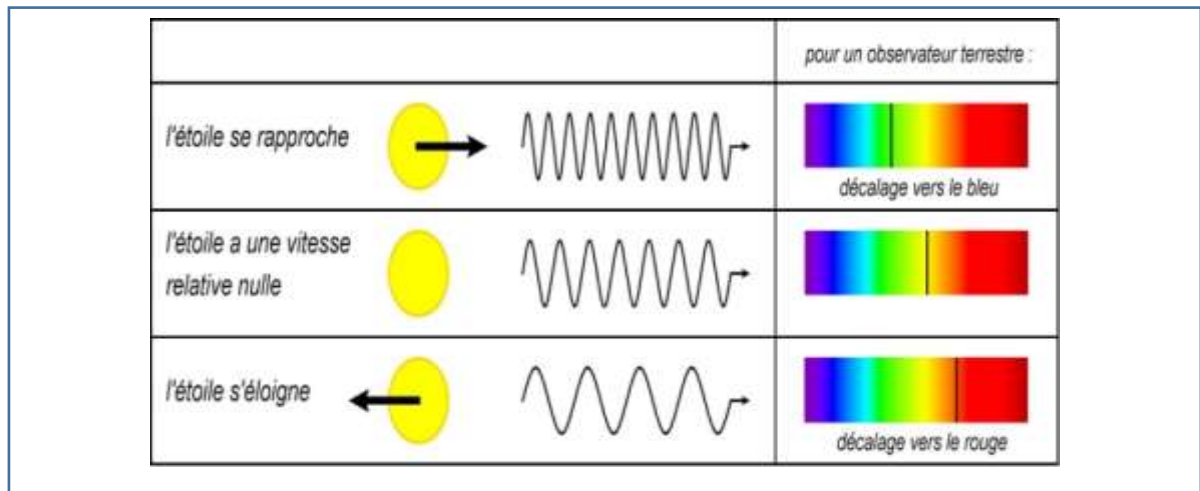


Figure II.3 : Le spectre d'étoile

II.3.3. Échocardiogramme

L'échocardiographie peut évaluer avec précision la direction du flux sanguin et la vitesse du sang et tissu cardiaque en tout point avec l'e et Doppler dans une certaine limite. Une limite est que les faisceaux d'ultrasons doivent donc être parallèles.. Les mesures de vitesse peuvent être utilisées pour évaluer la surface et la fonction des valves cardiaques, les connexions anormales sur les côtés gauche et droit du cœur,

Fuite de sang à travers les valvules (régurgitation), et les calculs pour l'insuffisance cardiaque.
[15,16]

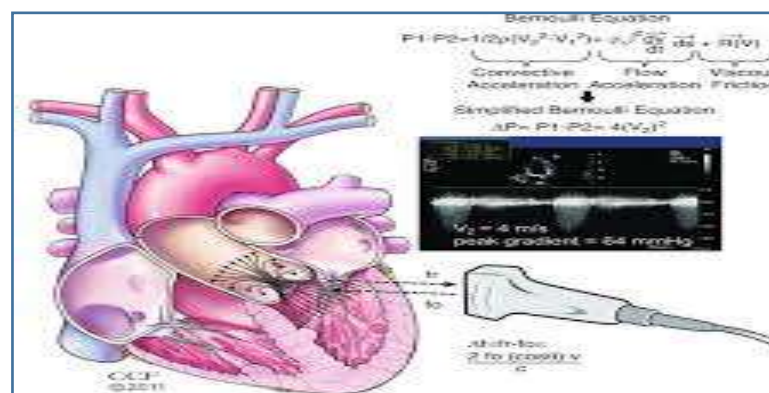


Figure II.4 : L'échocardiographie par doppler

II.3.4.La navigation des chauves-souris

En vol et dans l'obscurité totale, une chauve-souris peut non seulement détecter un papillon nocturne mais peut aussi déterminer sa vitesse relative avant de foncer sur lui. Suivant les mouvements de la chauve-souris et du papillon par rapport à l'air, la chauve-souris réceptionne, par effet Doppler, des ultrasons de quelques kHz différents de ceux émis. Elle traduit automatiquement cette différence de fréquence en vitesse relative entre elle et le papillon, et se dirige droit vers lui. Pour éviter la capture, les papillons produisent une crépitation sonore et brouillent le système de détection de la chauve-souris. [15]

II .3.5 La météorologies [16] :

Le radar météorologique Doppler présente non seulement toutes les caractéristiques du radar météorologique normal, c'est-à-dire qu'il permet d'évaluer l'intensité des perturbations et la distance à laquelle elles se trouvent, mais en plus de cela, les radars météorologiques Doppler peuvent aussi mesurer leur vitesse et l'orientation de leur mouvement. Pour cela, il émet dans l'atmosphère des pulsations d'ondes radiophoniques, qui rebondissent sur la glace, la neige, les gouttelettes d'eau ou d'autres particules atmosphériques, un exemple pour un radar mobile de météorologie figure (II. 7)



Figure II.5 : radar Smart-R transportable de la série (Doppler radar On Wheels, DOW) [16]

Les caractéristiques physiques de ces ondes (c'est-à-dire leur longueur d'onde) sont consignées à l'émission. Lorsqu'elles rencontrent une perturbation, elles sont réfléchies par les particules qui la composent (neige, gouttelettes d'eau, etc...) sous forme d'échos, puis sont alors réceptionnées par le radar qui analyse à nouveau leurs caractéristiques physiques. Ainsi, si la longueur d'onde se réduit, on en déduit selon les principes de l'effet Doppler que la perturbation

s'approche du radar, et à l'inverse, si elle augmente, que la perturbation s'en éloigne. Comme la vitesse de déplacement des ondes (qui est la vitesse de la lumière) et l'orientation de l'antenne radar sont connues, l'éloignement, la position et la vitesse (radiale) de la perturbation par rapport à l'émetteur radar peuvent être calculés, à partir des échos. Cette information sert à préciser le lieu et l'intensité de la perturbation (pour l'intensité, voir ci-dessus) dans la région couverte par le radar (un cercle de 200 à 400 km de rayon). Le radar météorologique Doppler fournit donc des informations beaucoup plus précises que le radar météorologique normal au sujet des perturbations atmosphériques et de leur évolution.

II 3.6 les radars de la vitesse :

L'effet Doppler est aussi applicable aux ondes électromagnétiques (ondes radio et lumineuses entre autres). L'effet doppler est ainsi mis a profit pour mesurer les vitesses radiales de multiples objets, a toutes les échelles dans l'Univers. Le mot radar est un acronyme (sigle prononce comme un mot normal) dont les lettres signifient : Radio Detection and Ranging qui peut se traduire par "détection et estimation de la distance par ondes radio ". L'antenne diffuse vers une cible potentielle l'onde électromagnétique produite par un émetteur. Réfléchi par la cible, captée par l'antenne (qui joue donc un double rôle), cette onde Est transmise au récepteur. Le changement de fréquence du signal par effet Doppler, permet de mesurer vitesse et position de la cible.

Les radars des détecteurs de vitesse sont la méthode la plus couramment utilisée pour identifier les automobilistes en excès de vitesse.

Le signal radar émis par le détecteur s'étend sur toutes les voies de circulation et dans les deux sens. Lorsqu'il est utilisé pour des objets à moins d'un quart de mile, le faisceau peut s'étendre jusqu'à atteindre six ou huit voies de circulation.

Le détecteur rapporte des informations sur le signal le plus fort qu'il reçoit, et la taille et la forme d'un véhicule peuvent affecter la force du signal. Par exemple, les gros camions renvoient des signaux plus forts que les motos ou les petites voitures. Par conséquent, les radars détecteurs de vitesse peuvent parfois signaler des véhicules que le policier n'avait pas l'intention de contrôler.

Cette méthode est généralement assez efficace pour localiser les Violateurs de la loi. Lorsqu'ils sont en bon état et utilisés correctement, les détecteurs de radar n'ont qu'une marge d'erreur de 1/10 de mile par heure.

Les détecteurs de vitesse qui utilisent un radar peuvent fonctionner de deux manières différentes. Le premier, appelé "mode impulsion", mesure le temps entre l'onde transmise quittant l'unité radar et l'onde réfléchie par la cible. Une fois la vitesse des ondes radar connue, le temps mis par l'onde pour atteindre la cible est mesuré et sa distance est calculée. La mesure de la distance sur un certain nombre d'impulsions permet de calculer la vitesse du véhicule.

Avec la deuxième méthode appelée "**mode Doppler**", les ondes radio se reflètent sur un véhicule avec un petit changement dans leur fréquence. La quantité de changement est utilisée pour déterminer la vitesse du véhicule. [17]

Dans ces deux méthodes, le policier pointe le pistolet radar sur une voiture qui approche, et l'appareil calcule automatiquement la vitesse du véhicule et l'affiche sur un petit écran à l'arrière du pistolet radar. Si l'automobiliste accélère, l'agent peut héler la voiture ou alerter d'autres membres de la force plus loin sur la route pour arrêter la voiture.



Figure II.6 : radar de vitesse

II -4 Les formule mathématique de l'effet Doppler [18]

L'effet Doppler est le changement apparent de la fréquence des ondes dû au mouvement relatif entre la source du son et l'observateur.

Considérons une source sonore stationnaire diffusant une onde sonore à fréquence unique. Vous êtes l'observateur de l'onde sonore et vous êtes également immobile. La relation habituelle entre la fréquence, la vitesse et la longueur d'onde est :

$$F = v/\lambda \quad \text{..... (II .1)}$$

On peut en déduire la fréquence apparente dans l'effet Doppler à l'aide de l'équation suivante

(II. 2):

$$F_e = \frac{V \pm V_0}{V \pm V_s} \times F \quad \text{..... (II.2)}$$

F_e : la fréquence observée.

F : la fréquence réelle de la source.

V : vitesse de propagation d'onde.

V_0 : vitesse de l'observateur.

V_s : vitesse de la source.

- 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.

Et en cas $V = C$ (C : est la vitesse de la lumière ou vitesse de l'onde électromagnétique du radar).

$$F = \frac{C - V}{C - V_0} \times F_e \quad \text{..... (II .3)}$$

Avec V_e la vitesse de la source et V la vitesse du récepteur (le véhicule)

Pour simplifier les relations mathématiques, on peut considérer que la vitesse de l'émetteur V_e (ici le radar) est $V_0 = 0$.

On obtient donc :

$$F = \frac{C - V}{C} \times F_e \quad \dots\dots\dots (\text{II.4})$$

Ce qui, après transformation donne :
$$V = \frac{C (F_e - F)}{F} \quad \dots\dots\dots (\text{II.5})$$

➤ *D'une part*, l'onde réceptionnée a parcouru un "aller-retour", il est donc Nécessaire d'introduire le coefficientt 1/2.

➤ *D'autre part*, La vitesse v ainsi calculée est la vitesse radiale .La vitesse réelle $V_{\text{réelle}}$ est donc telle que :

$$V = v_{\text{réelle}} \cdot \cos \theta \quad \dots\dots\dots (\text{II.6})$$

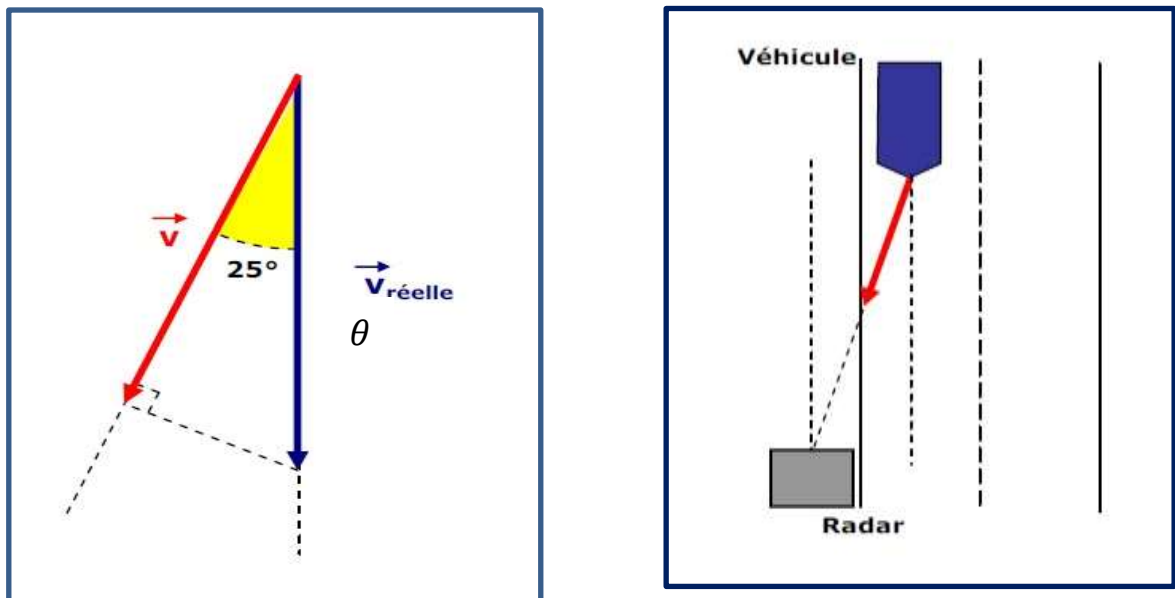


Figure II.7 : Angle de capture

Donc le résultat est :
$$V_{\text{réelle}} = \frac{C (F_e - F)}{2 \cdot F \cdot \cos \theta} \quad \dots\dots\dots (\text{II.7})$$

De plus :

Lorsque la cible se rapproche du radar, $F > F_e$. La vitesse V réelle est négative

(Normal, la cible se déplace en sens inverse de l'onde).

Pour simplifier les calculs selon les situations, nous poserons $\Delta F = F_e - F$.

$$V_{\text{réelle}} = \frac{C. \Delta F}{2. F. \cos \theta} \dots\dots\dots (\text{II.8})$$

Le cas est particulier $\theta = 0$, $\cos \theta = 1$. (La cible est sur la même ligne de l'axe de la source du signal) [18].

Donc la formule devient la suivante :

$$V_{\text{réelle}} = \frac{3 \times 10^8 \times \Delta F}{2 \times F} \dots\dots\dots (\text{II.9})$$

Par exemple en cas d'un radar HB100, il émet un signal de fréquence de 10.525 GH

La formule devient :

$$V_{\text{réelle}} = \frac{3 \times 10^8 \times \Delta F}{2 \times 10.525 \times 10^9} = 0.0513 \times \Delta F \text{ Km/h} \dots (\text{II -10})$$

ΔF : La différence entre la fréquence émise et reçue

Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons vu qu'est-ce que l'effet Doppler ? Puis On a parlé des différentes applications que utilisant l'effet Doppler, Comme toutes ces applications dépendent des ondes sonores, lumineuses ou électromagnétiques comme dans le cas de radar, puis nous avons distingué le radar de détection de la vitesse avec une explication plus détaillée.

Ensuite nous avons vu les Calculs mathématiques et les équations que liés à cette effet pour obtenir la valeur de la vitesse, puis nous avons montré la relation entre l'angle de détection (l'angle entre l'axe de Loop principale de source et la vecteur de la vitesse de cible).

Nous verrons au chapitre qui suit le côté pratique de notre projet et les différentes étapes de réalisation en se fiant au radar Doppler HB100 pour calculer la vitesse.

Chapitre III

Conception et Réalisation

III.1. Introduction :

Après avoir donné dans le chapitre précédent une description théorique de l'effet Doppler et de certaines de ses applications, notamment dans le calcul de vitesse, nous continuerons dans ce dernier chapitre sur la conception et la réalisation pour montrer comment réaliser un radar qui détecte la vitesse de véhicules avec multiples caractéristiques avec l'explication détaillée, pour cette raison il y avait un besoin de plusieurs blocs pour arriver à cela avec le module Arduino et son environnement de développement IDE .

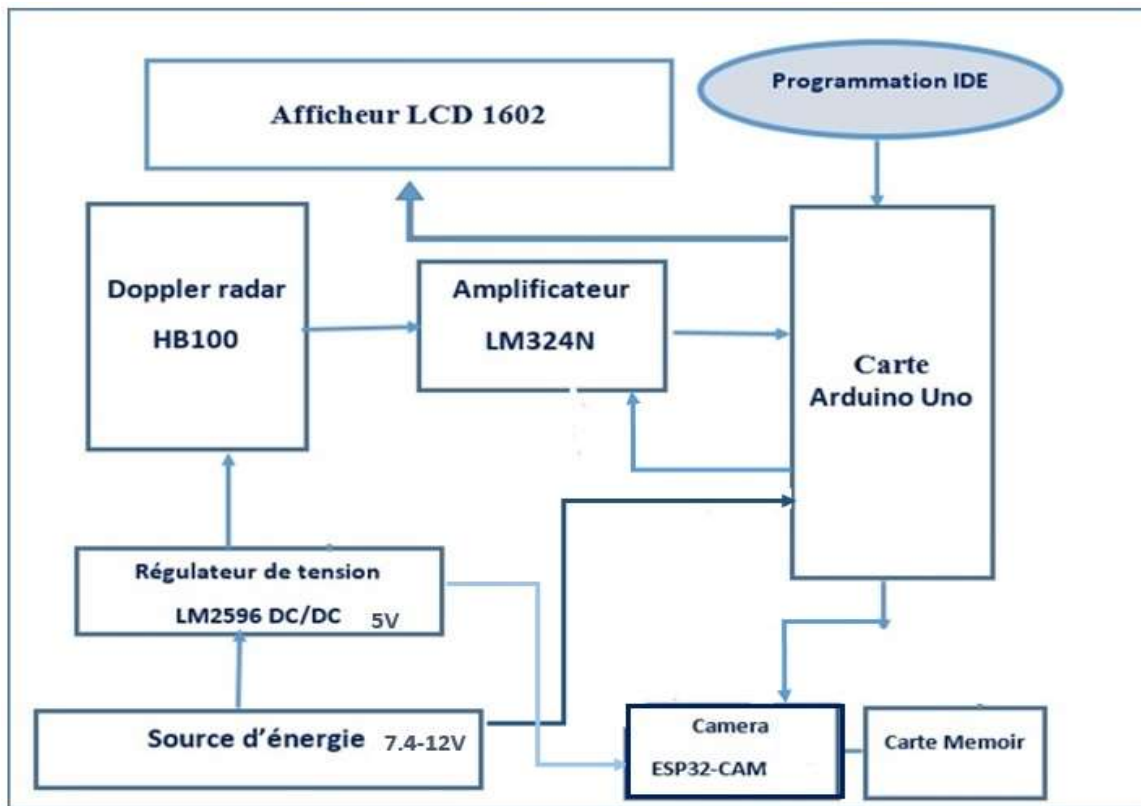


Figure III.1 : Schéma synoptique

III.2.les Composants utilisés

- HB 100 module
- Arduino Uno
- Amplificateur (LM324N)
- LCD 1602.
- ESP32-CAM
- Panneau solaire (3W/12V)

III.2.1.HB 100 module [19] :

Le module radar HB100 peut détecter la distance à moins de 20 m et sa fréquence transmise est de 10,525 GHz.

Il se compose d'un oscillateur à résonateur diélectrique (DRO), d'un mélangeur micro-ondes et d'une antenne de chemin. L'oscillateur est utilisé pour produire une onde sinusoïdale de fréquence 10,525 GHz, l'antenne patch connectée à l'oscillateur rayonne l'onde vers la cible et l'onde réfléchiée est reçue par un autre ensemble d'antenne patch.

Le mélangeur mélange ces deux signaux pour générer une onde sinusoïdale de fréquence égale à la différence entre les deux signaux, Les broches d'en-tête peuvent être utilisées pour connecter les bornes (+5V, IF, GND) au circuit de l'amplificateur ainsi qu'au support de montage. D'autres méthodes de montage peuvent être utilisées.



Figure III.2 : HB100 (Vue arrière)



Figure III.3 : HB100 (Vue frontale)

III.2.1.1. Caractéristiques techniques de HB 100. [19]

- Détection sans contact.
- Indépendamment de la température, de l'humidité, du bruit, du flux d'air, de la poussière, de la lumière, adapté à un environnement difficile.
- Forte résistance aux interférences RF.
- La capacité de sortie est faible et ne met pas en danger le corps humain.
- Longue distance : portée de détection supérieure à 20 mètres.

- Récepteur : Sensibilité (10dB S/N ratio) 3Hz à 80Hz large bande : -86dBm 3Hz à 80Hz 10uV.
- Diagramme de rayonnement : largeur de faisceau verticale 3 dB : 36 degrés, largeur de faisceau horizontale 3 dB : 72 degrés.

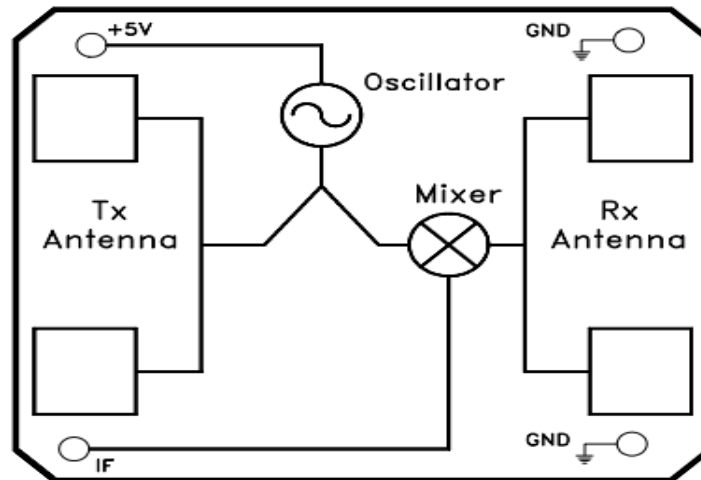


Figure III.4 :HB100 Block Diagramme [19]

III.2.1.2. Diagramme de rayonnement :

Le module doit être monté avec les patches d'antenne face à la zone de détection souhaitée. L'utilisateur peut modifier l'orientation du module pour obtenir la meilleure couverture. Les diagrammes de rayonnement de l'antenne et Leur largeur de faisceau à mi- puissance (HPBW) est indiquée dans le diagramme ci-dessous.

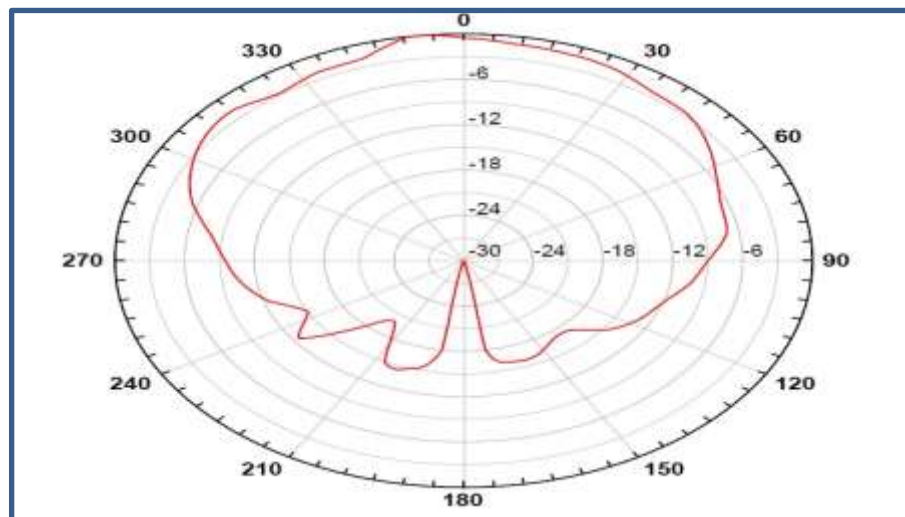


Figure III.5 :Diagramme de rayonnement (azimut) [20]

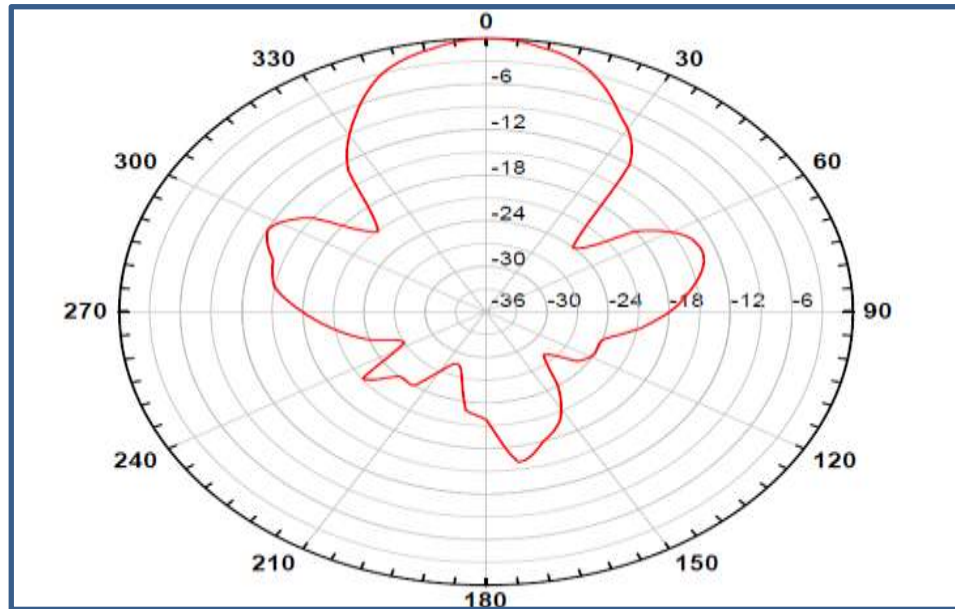


Figure III.6 : Diagramme de rayonnement (élévation) [20]

III .2. 2. La carte Arduino Uno [21]

L'Arduino est une famille de cartes électronique à microcontrôleur open-source (dont les plans sont publiés en licence libre), qui se base sur des logiciels et du matériel faciles dans leur utilisation. Née en Italie à la ville de l'Ivrea (l'Ivrea Interaction Design Institute) en 2005. Ces cartes basées sur une interface entrée/sortie simple sur lequel se trouve un microcontrôleur qui peut être programmé pour analyser et produire des signaux électriques ,et sur un environnement de développement proche du langage C.

La carte Arduino Uno est la première version stable de carte Arduino. Elle possède toutes les fonctionnalités d'un microcontrôleur classique en plus de sa simplicité d'utilisation.

Elle se compose de 14 broches d'entrées/sorties numériques, où 6 broches peuvent être utilisées en tant que sorties de modulation de largeur d'impulsion (PWM),

6 broches entrées analogiques, un bouton de réinitialisation manuel, une prise d'alimentation, une connexion USB. Elle comprend tout ce qui est nécessaire pour tenir le microcontrôleur en place. Connectez-le simplement à un PC à l'aide d'un câble USB et donnez le matériel nécessaire pour commencer à utiliser un adaptateur CA/CC ou une batterie.



Figure III.7 : la carte Arduino UNO

III .2.2.1 :Caractéristiques techniques de la carte Arduino UNO

Tableau III.1 : Caractéristiques techniques de la carte Arduino UNO

Microcontrôleur	AT mega 3 2 8
Tension d'alimentation interne	5V
Tension d'alimentation externe recommandée	(7-12)V
Tension d'alimentation externe (limites)	(6-20)V
Courant MAX sur la sortie 3,3V généré par le régulateur interne	50 mA
Courant MAX par broches en sortie	40 mA
Entrées/sorties numériques	14 broches
Les broches Entrées/sorties numériques qui sont dédiées au mode PWM.	6 broches et ils 3, 5, 6, 9, 10, et 11
Les broches entrées analogiques	6 broches
Mémoire flash	32 KB (ATmega328) dont 0,5 KB utilisé par bootloader
Mémoire SRAM	2 KB (ATmega328)
Mémoire EEPROM	1 KB (ATmega328)
Fréquence (Vitesse) de l'horloge	16 MHz
Longueur	68,6 mm
Largeur	53,4 mm
Poids	25 g

III .2.2.2 Les sources de l'alimentation [21]

La carte Arduino Uno peut être alimentée par une tension de 5V via la connexion USB (Ligne USB vers l'ordinateur (figure III .8) ou avec une alimentation externe (hors USB) peut venir soit d'un adaptateur AC/DC via une prise d'alimentation de 2.1mm positif au centre (Alimentation 7 Vcc à 12 Vcc (figure III .8). Ou par Le raccordement vers un bloc de piles peut utiliser les broches négatives GND et la broche positive Vin (Broches d'alimentation figure III .8). La carte possède également deux broches de tensions stabilisées de 3,3V et de 5V. Ces deux tensions sont généralement utilisées pour alimenter les shields qui viendront s'ajouter sur l'Arduino mais elles peuvent être utilisées pour d'autres circuits.

III .2.2.3. Les entrées et les sorties [22]

Cette carte possède 14 broches numériques (numérotée de 0 à 13 figure III .8) peut être utilisée soit comme une entrée numérique, soit comme une sortie numérique, en utilisant les instructions suivantes : `pinMode ( )`, `digitalWrite ( )` et `digitalRead ( )`].

Ces broches fonctionnent en 5V. Chaque broche peut fournir ou recevoir 20 mA dans les conditions de fonctionnement recommandées et possède une résistance de tirage interne (déconnectée par défaut) de 20 à 50 000 ohms. Un maximum de 40 mA est la valeur qui ne doit pas être dépassée sur une broche d'entrée / sortie pour éviter des dommages irréversibles au microcontrôleur.

III .2.2.4. Langage de programmation [22]

Un langage de programmation est un langage qui permet à un humain d'écrire un ensemble d'instructions (code source) qui seront directement converties en langage machine à l'aide d'un compilateur. Le programme Arduino est exécuté séquentiellement, c'est-à-dire que les instructions sont exécutées les unes après les autres.

Le langage Arduino est un sous-ensemble de C/C++, est simplement un ensemble de fonctions pouvant être appelées à partir d'un code, généralement peut être programmé avec Le logiciel d'IDE, ce qui signifie **I**ntegrated **D**éveloppment **E**nvironnement ou encore Environnement de Développement Intégré. En effet, cette application intègre l'édition des programmes, le téléversement dans la carte Arduino et plusieurs bibliothèques. L'IDE existe pour les trois systèmes (Windows, MacOS et Linux) d'exploitation les plus répandus.

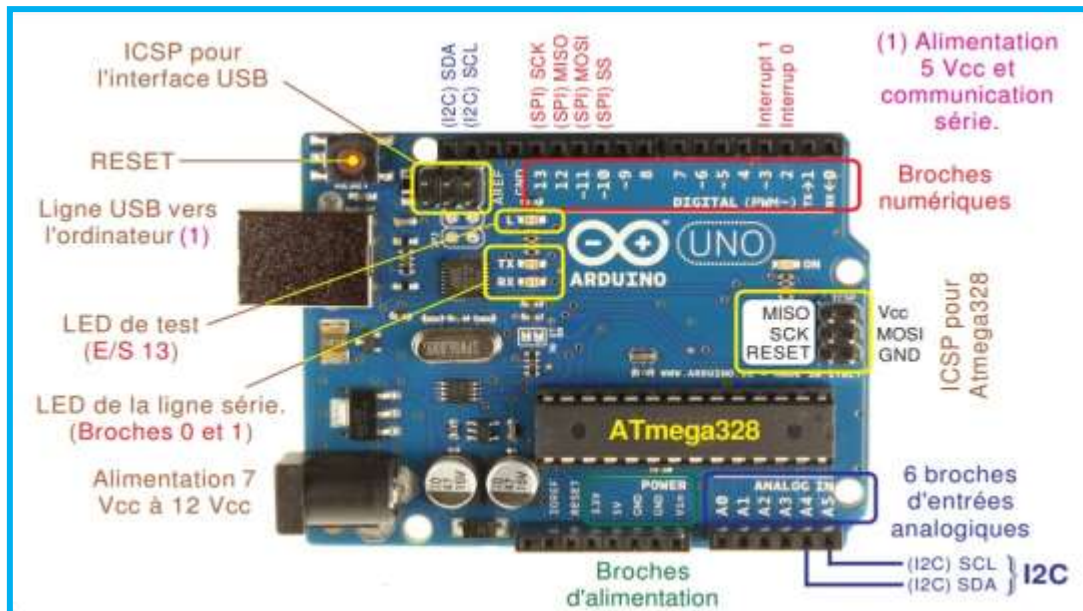


Figure III.8 : Description du brochage de la carte Arduino Uno

III.2.3. L'Amplificateur (LM324N) :

- La tension de sortie du module HB 100 est très faible, elle doit être amplifiée pour être détectable par l'Arduino Uno. La **Figure III.9** montre le circuit amplificateur du module radar HB 100 et sa connexion avec l'Arduino Uno. [23]

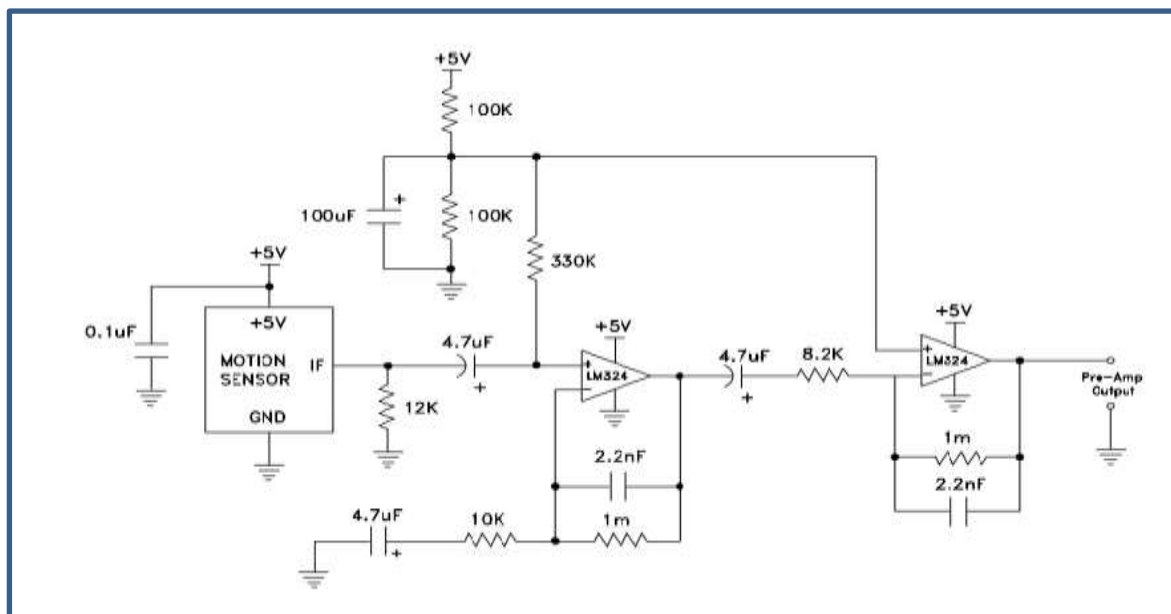


Figure III.9 : schéma de l'amplificateur. [23]

III.2.3.1. conception du circuit de l'amplificateur [24]

La conception du circuit amplificateur utilise l'ampli-op LM324 (**Figure III.10**) comme pilote sélectionné 5V comme Vcc. Pour les étages en cascade, le V bias de chaque étage doit être de 2,5 V.

Le premier étage est configuré comme un amplificateur non inverseur. Étant donné que la sortie du capteur est une petite valeur DC (0,01 à 0,2Vdc), il est nécessaire de coupler AC de la sortie et amplifié au moins 100 fois pour le contrôle du microcontrôleur. La sortie du premier étage est un signal sinusoïdal avec une petite déviation DC. Le condensateur filtre la composante continue en sortie. Supposons $A_{v1} = 100$, pour un amplificateur non inverseur.

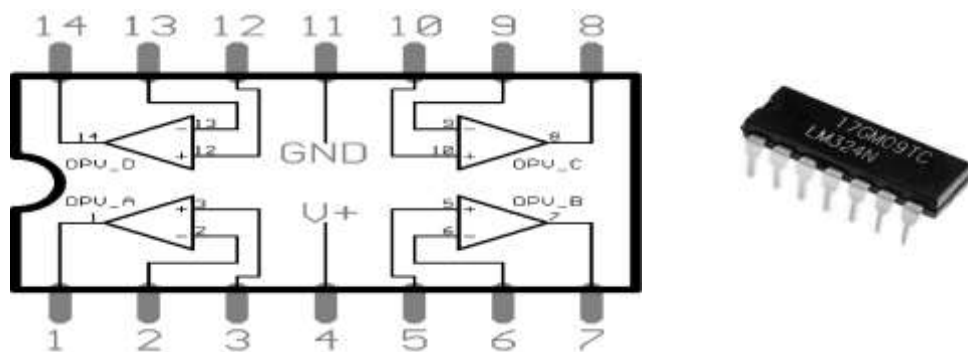


Figure III.10 : IC de l'amplificateur [24]

III.2.3.2. réalisation du circuit de l'amplificateur :

On a fait le circuit sur le PCB Avec l'aide du laboratoire de l'université, Nous avons installé tous les composants électroniques comme indiqué dans le schéma précédent



Figure III.11 :PCB de l'amplificateur LM324N

III.2.3.2. Test de de l'amplificateur LM324N :

Après la réalisation de l'amplificateur, il a été testé en mesurant le signal de sortie pour connaître la forme et l'amplitude du signal, qui devrait être un signal numérique avec d'amplitude d'environ 5 volts.



Figure III.12 :l'essai de l'amplificateur LM324N

Et le résultat était très acceptable d'après les résultats obtenus par l'oscillateur (Figure III.13)

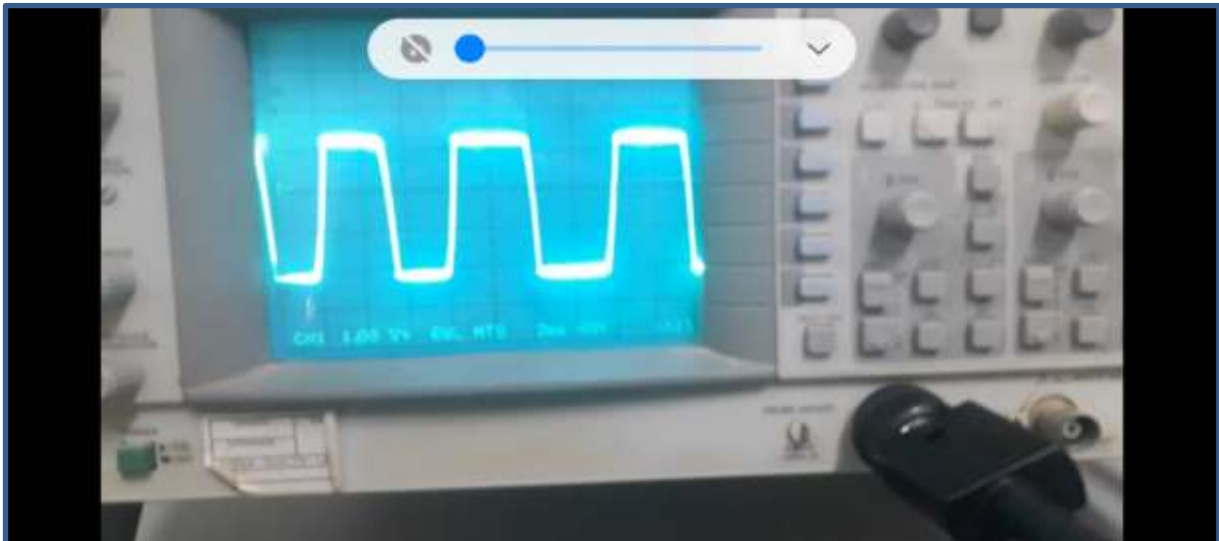


Figure III.1 3: Le résultat de sortie de l'amplificateurLM324N

II.2 .4. L'écran LCD 16X2

LCD 1602 est un produit familier dans les projets électroniques car il est facile à utiliser et hautement applicable (**Figure III.11**)

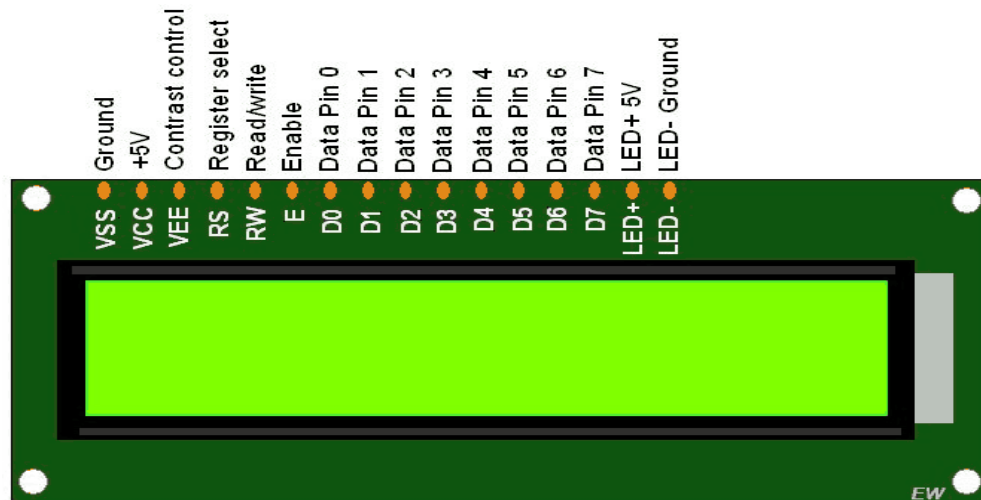


Figure III.12 : LCD 1602

Ce module contient les fonctionnalités suivantes : [25]

- R/W sélectionne le mode lecture ou écriture, haut R/W active le mode lecture, bas R/W active le mode écriture.
- Tension de fonctionnement : 5V.
- Pin VEE : en tant que Pin de réglage du contraste, le contraste changera en fonction des valeurs de tension appliquées ; généralement, le réglage standard est de 0,4 V à 0,9 V.
- Display Mode: STN, BLUB y
- Display Format: 16 Character x 2 Line.

III.2.4.1. Adaptateur I2C Circuit pour LCD [26]

L'écran LCD a trop de broches, ce qui rend difficile la connexion et l'occupation de nombreuses broches de microcontrôleur. Le module convertisseur I2C pour LCD résoudra ce problème. Au lieu d'utiliser au moins six broches de microcontrôleur pour se connecter à l'écran LCD (RS, EN, D7, D6, D5 et D4), le module de conversion n'a besoin que d'utiliser deux broches (SCL, SDA) pour la connexion. Le module convertisseur I2C prend en charge tous les types d'écrans LCD à l'aide du pilote HD44780 (LCD 1602, LCD 2004) connecté au microcontrôleur via la communication I2C, compatible avec la plupart des microcontrôleurs actuels.

La méthode de connexion est comme indiqué sur la figure (Figure III.12)

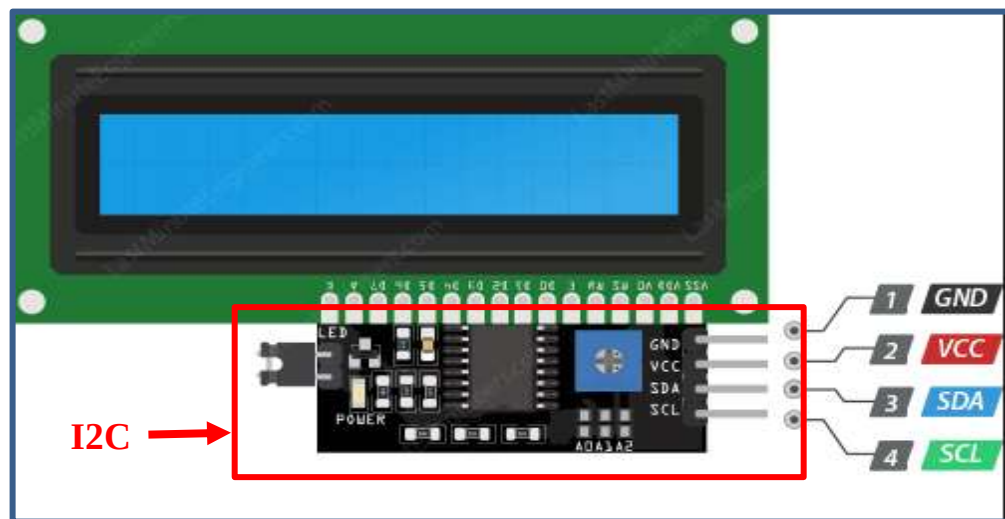


Figure III.13 : LCD 1602 avec I2C

III.2.4.2. Utilisation de l'écran LCD I2C avec Arduino :

L'écran à cristaux liquides 1602 avec module I2C est connecté à la carte Arduino avec seulement 4 fils – 2 fils de données et 2 fils d'alimentation. La connexion du LCD1602 à l'Arduino se fait de manière standard pour le bus I2C : la broche SDA est connectée au port SDA ou A4, la broche SCL au port SCL ou A5. L'écran LCD est alimenté par le port +5V.

A l'écriture du code de programmation, les bibliothèques "**LiquidCrystal_I2C**" pour LCD 1602 et "**Wire.h**" pour I2C, doivent être incluses.

III.2.5. Mini panneau solaire 3W 12V :

L'énergie solaire est également une énergie durable et renouvelable, c'est-à-dire qu'elle ne s'épuise pas, c'est une source d'énergie naturelle et elle peut être utilisée pour générer d'autres formes d'énergie comme carburant pour les voitures pour l'éclairage et ...etc.

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion directe d'une partie de la conversion du rayonnement solaire en énergie électrique. Ceci est fait par ce qu'on appelle une cellule photovoltaïque basée sur un phénomène physique appelé l'effet photoélectrique.

A cet effet nous avons utilisé pour notre projet un mini panneau solaire 3 w 12 v petit module de cellule carte en poly silicium Portable extérieur (**Figure III.11**)

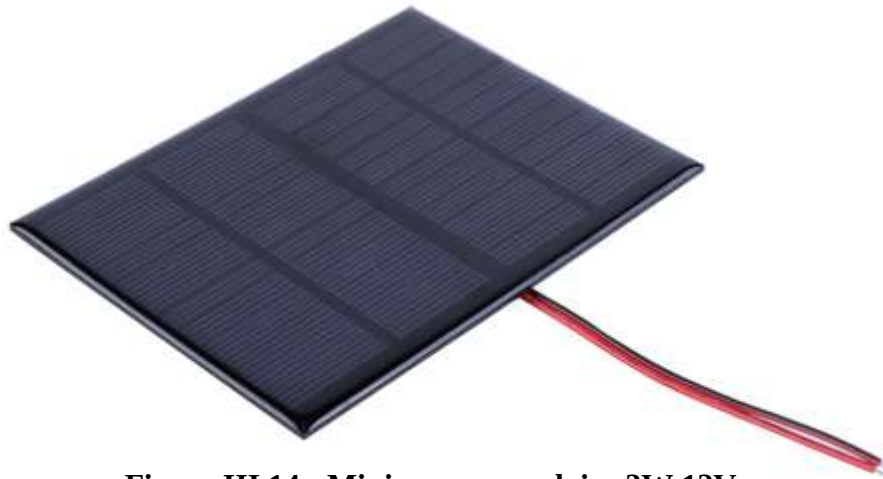


Figure III.14 : Mini panneau solaire 3W 12V

III.2.5.1.les Caractéristique de panneau solaire :

Matériau: Polysilicium

Couleur: Noir

Puissance: 3W

Tension: 12V

Courant de travail: 0-125MA

Courant de court-circuit: 125MA

Tension de court-circuit: 13.5V

Applicabilité: Convient pour le petite charge de batterie DC

Taille: environ 115x85x3mm/4.53x3.35x0.12 pouces

Poids: 45 grammes

- III.2.6.2. Le contrôleur de charge solaire :

Le contrôleur de charge solaire est un dispositif électronique qui régule la tension électrique reçue des cellules avant qu'elle ne passe aux batteries et émise de la batterie à la charge électrique, afin de préserver les batteries usagées et de s'assurer qu'elles sont chargées et utilisées de manière optimale (Figure III.15)

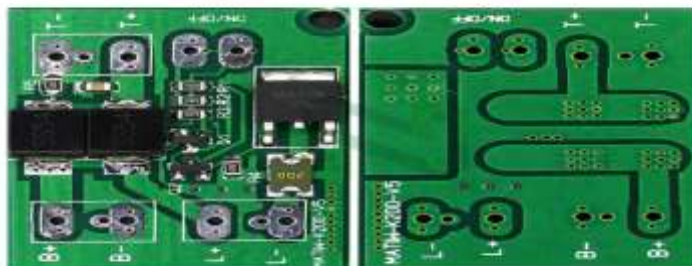


Figure III.15 : Le contrôleur de charge solaire

III.2.6. Caméra ESP32-CAM [27]

ESP32 CAM : ESP32-CAM est une carte de développement basée sur ESP32 à faible coût avec caméra embarquée, de petite taille.

C'est une solution idéale pour les applications IoT, les constructions de prototypes et les projets de bricolage.

La carte intègre le Wi-Fi, Bluetooth traditionnel et BLE basse consommation, avec 2 processeurs LX6 32 bits hautes performances. Il adopte un pipeline en 7 étapes architecture, capteur sur puce, capteur Hall, capteur de température, etc., et ses principales plages de réglage de fréquence de 80MHz à 240MHz. Entièrement conforme aux normes Wi-Fi 802.11 et Bluetooth 4.2, il peut être utilisé comme maître mode pour construire un contrôleur de réseau indépendant, ou en tant qu'esclave d'autres MCU hôtes pour ajouter des capacités de mise en réseau à appareils existants. Il convient aux appareils intelligents domestiques, au contrôle sans fil industriel, à la surveillance sans fil, au QR sans fil

L'identification, les signaux du système de positionnement sans fil et d'autres applications IoT.



Figure III.16 : Caméra ESP32-CAM

III.2.6.1 Caractéristique Caméra ESP32-CAM [27]

- RAM : 520 Ko intégrés + 4MPSRAM externe
- Dimension : 27 x 40,5 x 4,5 (±0,2) mm / 1,06 x 1,59 x 0,18 pouce
- Bluetooth : normes Bluetooth 4.2 BR/EDR et BLE
- Wi-Fi : 802.11b/g/n/e/i
- Interface de prise en charge : UART, SPI, I2C, PWM
- Prise en charge de la carte TF : prise en charge maximale 4G
- Port E/S : 9

- Débit en bauds du port série : 115 200 bits/s par défaut
- Format de sortie d'image : JPEG (prise en charge OV2640 uniquement), BMP, GRAYSCALE
- Gamme de spectre : 2412 ~ 2484 MHz
- Antenne : antenne PCB intégrée, gain 2 dB
- Consommation d'énergie : Éteignez le flash : 180 mA à 5 V
- Plaque d'alimentation : 5 V
- Température de fonctionnement : -20 °C ~ 85 °C
- Environnement de stockage : -40 °C ~ 90 °C, < 90 % HR

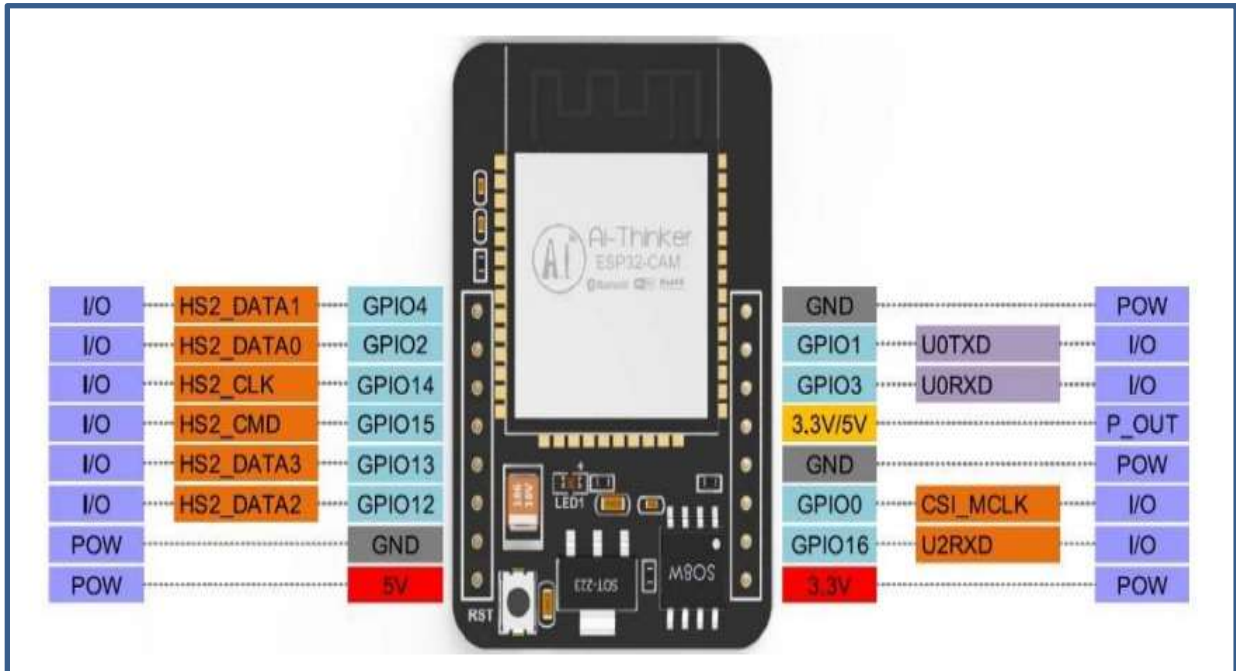


Figure III.17 : Schema E /S Caméra ESP32-CAM- [27]

III.2.7.Régulateur LM2596DC/DC. [28]

Pour assurer une tension stable de 5 volts pour alimenter les composants électroniques, nous utiliserons le Régulateur LM2596 ajustable DC à DC, sortie réglable +1,23 à 35vdc, 2A. Idéal pour les projets fonctionnant sur batterie nécessitant une alimentation régulée.

III.2.7.1 les Caractéristiques LM2596DC/DC

- Type de régulateur : abaisseur (entrée non isolée vers la sortie)
- Tension d'entrée : +4 à 40vdc
- Tension de sortie : +1,23 à 35vdc
- Courant de sortie : 2 A nominal (3 A maximum avec dissipateur thermique)
- Efficacité : jusqu'à 92 % (lorsque la tension de sortie est élevée)
- Fréquence de commutation : 150 kHz
- Tension de décrochage : 2vdc minimum
- Protection : Limitation du courant de court-circuit

- Régulation de charge : +/- 0,5 %
- Régulation de tension : +/- 2,5 %
- Température : -40 à +85 degrés C (puissance de sortie inférieure à 10 Watts)
- Taille de la planche : 43,6 mm L x 21 mm l x 14 mm H

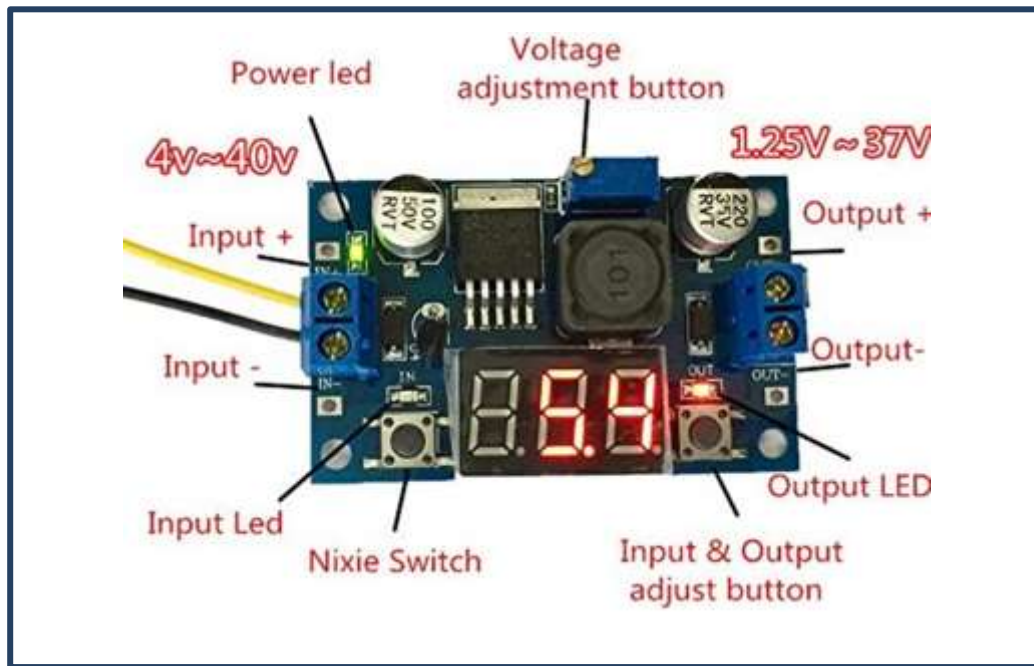


Figure III.18 : Régulateur LM2596 DC/DC

III.3. Explication la méthode de fonctionnement :

La vitesse du véhicule est acquise à partir d'un radar Doppler à onde continue. Il peut détecter le mouvement, la vitesse des objets en mouvement grâce à l'effet Doppler, à partir de la figure III.19 Nous allons voir en détail le fonctionnement de cette appareil.

Le radar choisi pour ce système est le HB100 dont la fréquence d'émission est 10,525 GHz. et fonctionne à + 5v DC pour un fonctionnement en onde continue (CW). Par conséquent, la batterie + 7.4 V ou 12 v (transformateur externe) est utilisée comme alimentation par en le convertissant en + 5 V via le régulateur de tension à l'aide de LM2596 DC/DC. La sortie du circuit régulateur de tension 5 V est connectée à la broche +5V du module. Il y a trois bornes principales dans ce module, la broche + 5V, pin (terre) et IF (intermédiaire fréquence). Après avoir appliqué l'alimentation au module radar, le système commence à fonctionner.

Le module envoie son signal transmis de l'antenne d'émission au véhicule. Ensuite, le signal réfléchi revient au l'antenne de réception avec un décalage de fréquence. La

différence entre le signal émis et reçu est connue sous le nom de Doppler. Le microcontrôleur de l'Arduino ne fonctionne que si sa tension est faible (en mW) Par conséquent, l'amplificateur est généralement connecté à la borne IF afin d'amplifier le décalage Doppler. La sortie de l'amplificateur est envoyée au microcontrôleur d'Arduino vers pin D8 qui est destiné à mesurer la fréquence lors de l'application du code de programme **FreqMeasure** [29]. Le but du microcontrôleur est de calculer la vitesse du véhicule via sa fréquence C'est le facteur principal qui explique la vitesse du véhicule

Après avoir effectué la tâche de calcul de la vitesse du véhicule, l'écran LCD est utilisé pour indiquer la vitesse du véhicule afin de savoir si la vitesse est survitesse ou non, Et en cas de vitesse excessive le pin D2 (à la carte Arduino) utilisé pour envoyer une impulsion pour exécuter le fonctionnement de ESP32-CAM (Prendre une photo et la stocker en carte mémoire ou la envoyer par E-mail) .

III.3.1. schéma généra

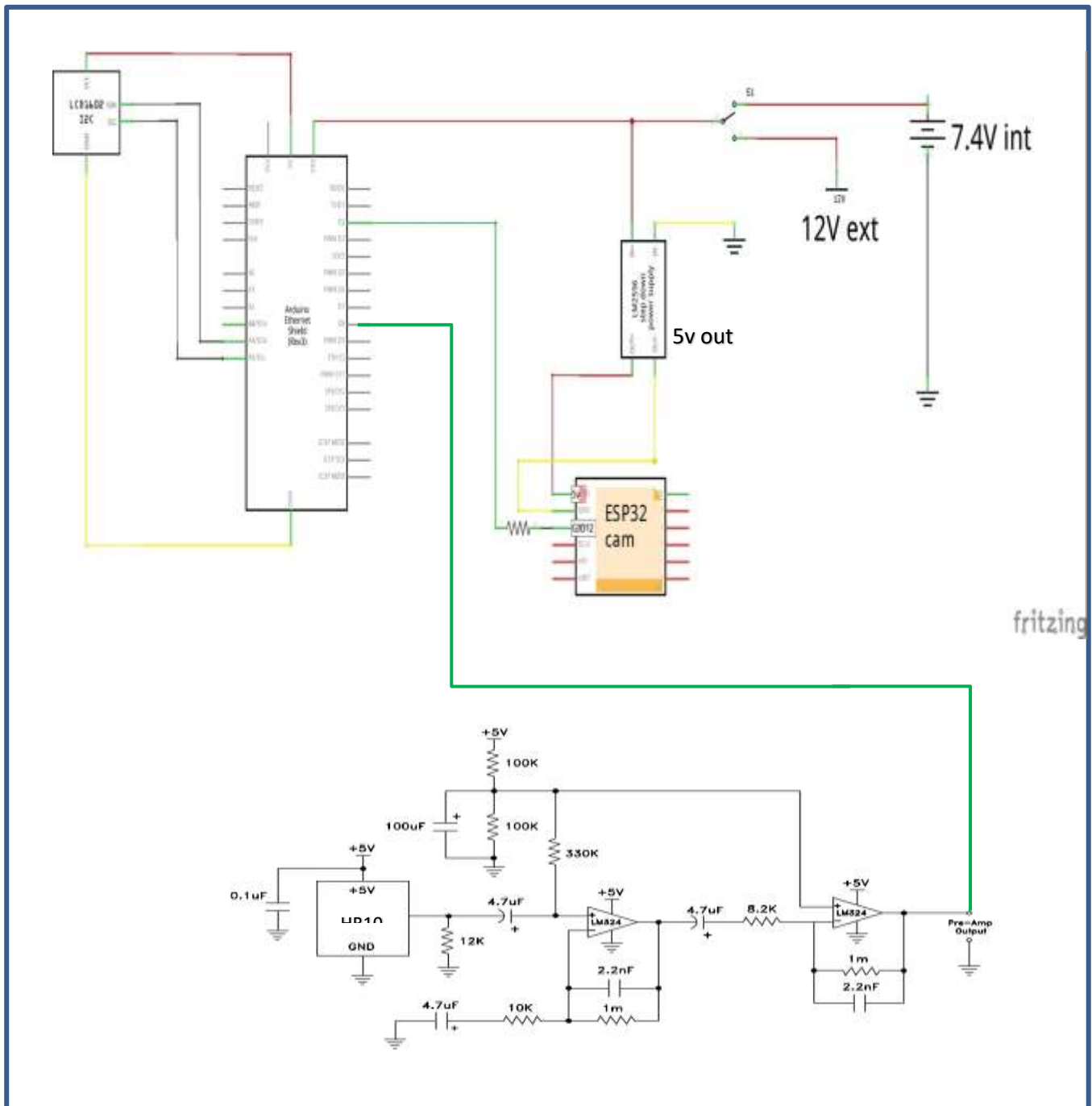


Figure III.19: Circuit électronique

III.4.construction des logiciels :

III.4. 1.Organigramme du la programme de fonctionnement.

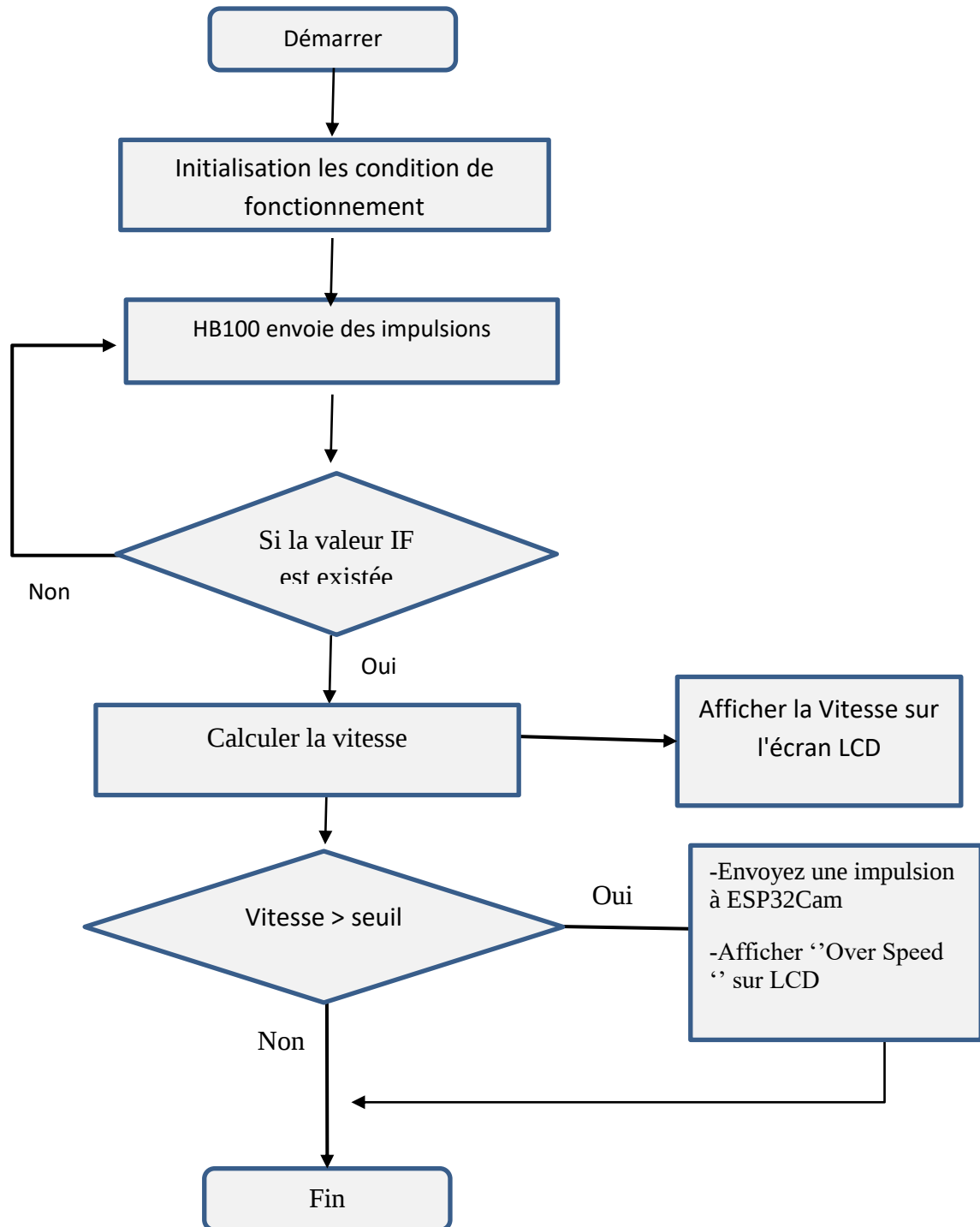


Figure III.20 : Organigramme du programme

III.4.2 le Programmation de carte Arduino et ESP32-CAM

Dans cette partie de la programmation, nous devons programmer la carte Arduino puis programmer l'ESP32-CAM, la programmation se fait par le logiciel IDE. Version : 2.0.4



Figure III.21 : Logiciel IDE. Version : 2.0.4

III.4.2.1 Programmation de carte Arduino :

Avant d'écrire un programme, il faut assurer que le programme a connu la carte et identifié la porte qu'a utilisée comme indiqué dans la figure III.18

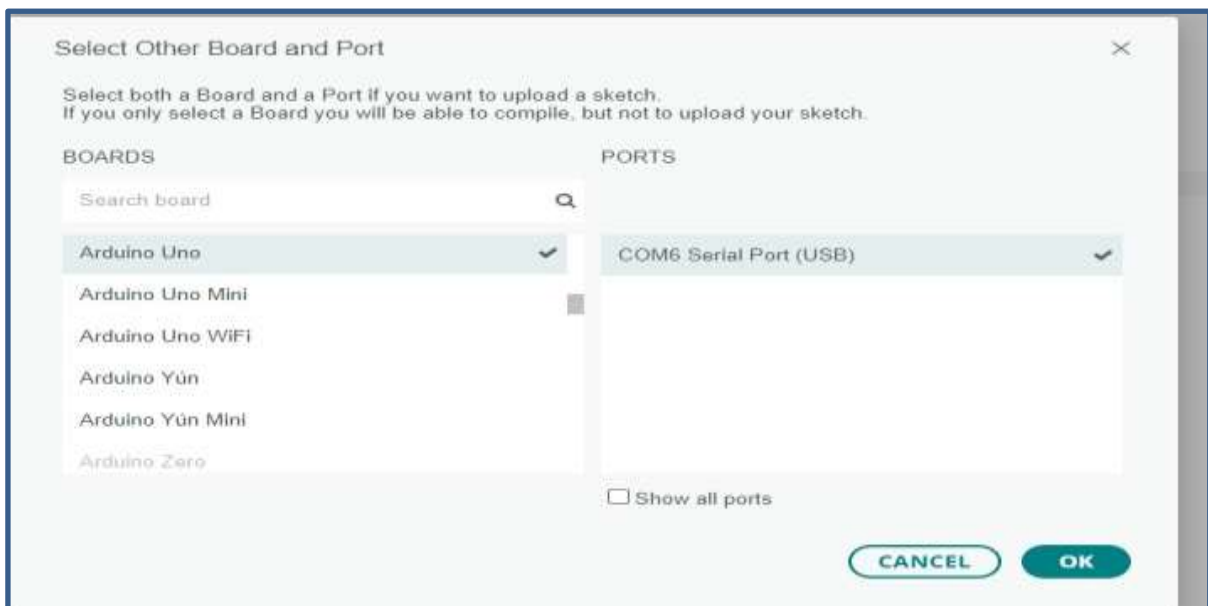


Figure III.22 : détermination la porte et la

Ensuite, nous commençons à écrire le programme à travers les étapes suivantes :

- D'abord on a inclure les bibliothèques.
- **FreqMeasure.h**
- **Wire.h**
- **LiquidCrystal_I2C.h**
- l'adresse de LCD et I2C (notre cas est : 0XF3) et la déclaration des variables.



```

test-2-_hB100_copy_20230218174334 | Arduino IDE 2.0.4
File Edit Sketch Tools Help
Arduino Uno
test-2-_hB100_copy_20230218174334.ino test-2-_hB100_copy_20230218174334.ino
1  #include <Wire.h>
2  #include <FreqMeasure.h>
3  #include <LiquidCrystal_I2C.h>
4
5  LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F,16,2);
6
7  double sum = 0;
8  int count = 0;
9  int f;    // la fréquence
10 int v;    // la vitesse
11
12
13

```

Figure III.23 : les bibliothèques et les variables

- Initialisation des composants liés à la programmation comme les Pin entrée et sortie l'écran LCD.



```

test-2-_hB100_copy_20230218174334 | Arduino IDE 2.0.4
File Edit Sketch Tools Help
Arduino Uno
test-2-_hB100_copy_20230218174334.ino test-2-_hB100_copy_20230218174334.ino
12
13
14 void setup()
15 {
16   pinMode(2 , OUTPUT);
17
18   lcd.init();
19
20   // Imprimer un message sur l'écran LCD.
21   lcd.backlight();
22
23   lcd.setCursor(0,0);
24   lcd.print("Dopplerradar");
25   lcd.setCursor(0,1);
26   lcd.print("HALI-KIRAM");
27
28   delay(3000);

```

Figure III.24 : Initialisation des éléments contrôlés

➤ Le cycle de fonctionnement principal :

```

41
42 void loop()
43 {
44     if (FreqMeasure.available())
45     {
46         sum = sum + FreqMeasure.read();
47
48         count = count + 1;
49
50         if (count >= 16)
51         {
52             f = FreqMeasure.countToFrequency(sum / count);
53
54             v = f / (19.49*0.866); // conversion de fréquence en kilomètres par heure
55             if (v >= 5) // limite de vitesse autorisée
56             {
57                 digitalWrite(2, HIGH); //L'impulsion qui donne la commande à caméra ESP32 CAM
58                 lcd.setCursor(0,1);
59
60                 delay(200);
61                 digitalWrite(2, LOW);
62                 lcd.print("Speed Over");
63                 delay(500);
64                 lcd.setCursor(0,1);
65                 lcd.print("");
66             }
67
68             lcd.setCursor(7,0);
69             lcd.print("");
70             lcd.setCursor(7,0);
71             lcd.print(v);
72             lcd.print(" km/h");
73
74             delay(50);
75
76             sum = 0;
77             count = 0;
78         }
79     }
80 }
81
82
83
84
85

```

Figure III.27 : programme principal

III.4.2.2 Programmation ESP32-Cam [30] :

La programmation de l'ESP32-CAM peut être un peu difficile car il manque un port USB intégré.

Donc Pour programmer cet appareil, vous aurez besoin d'un adaptateur USB-série (un adaptateur FTDI) ou d'un adaptateur d'ESP32-CAM-MB.

Pour nous, nous avons programmé avec ESP32-CAM-MB on à rejoindre l'ESP32-CAM sur la carte ESP32-Cam-MB, Et nous le connectons avec un câble micro. C'est si simple. Comme a la figure suivante :

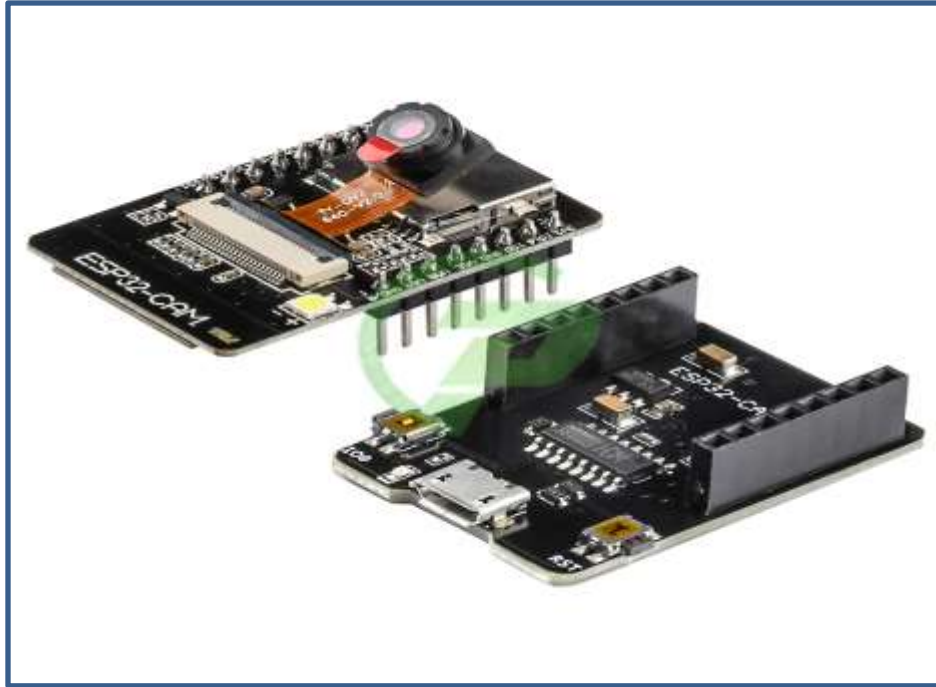


Figure III.28 :ESP32-CAM avec Adaptateur ESP32-CAM-MB [30]

En suite avec le logiciel IDE on a fait les programmations par les étapes suivent :

- sélectionnez AI-Thinker ESP32-CAM.et porte de communication.

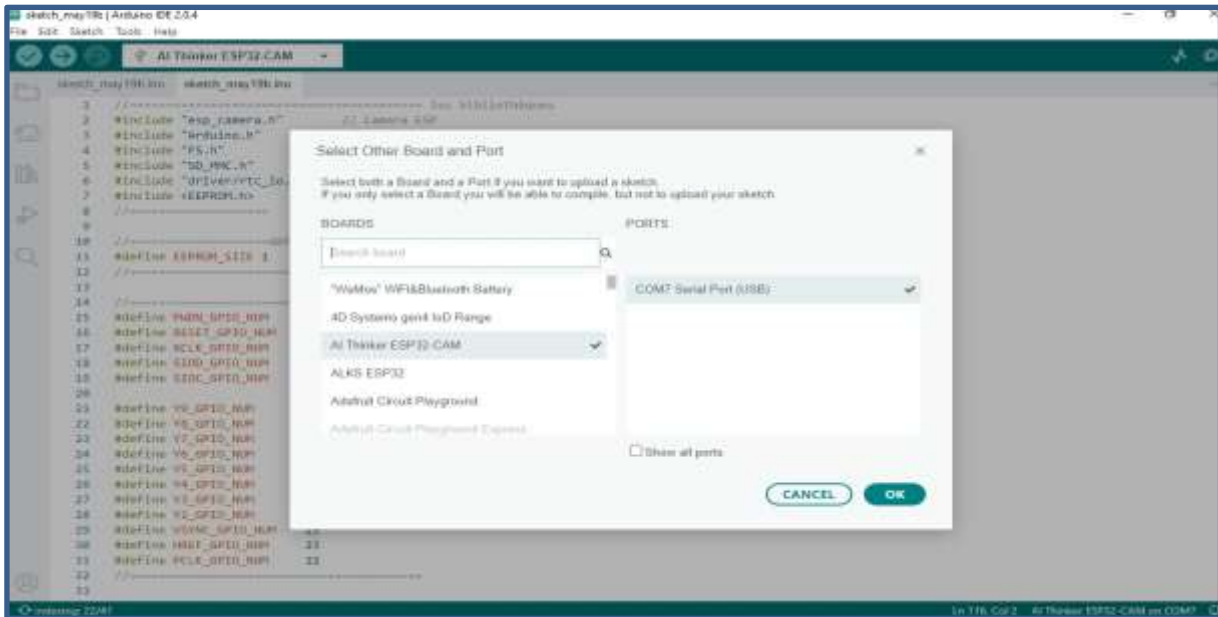


Figure III.29 : configuration le port de communication

- inclure les bibliothèques et définition d'éléments utilisés :

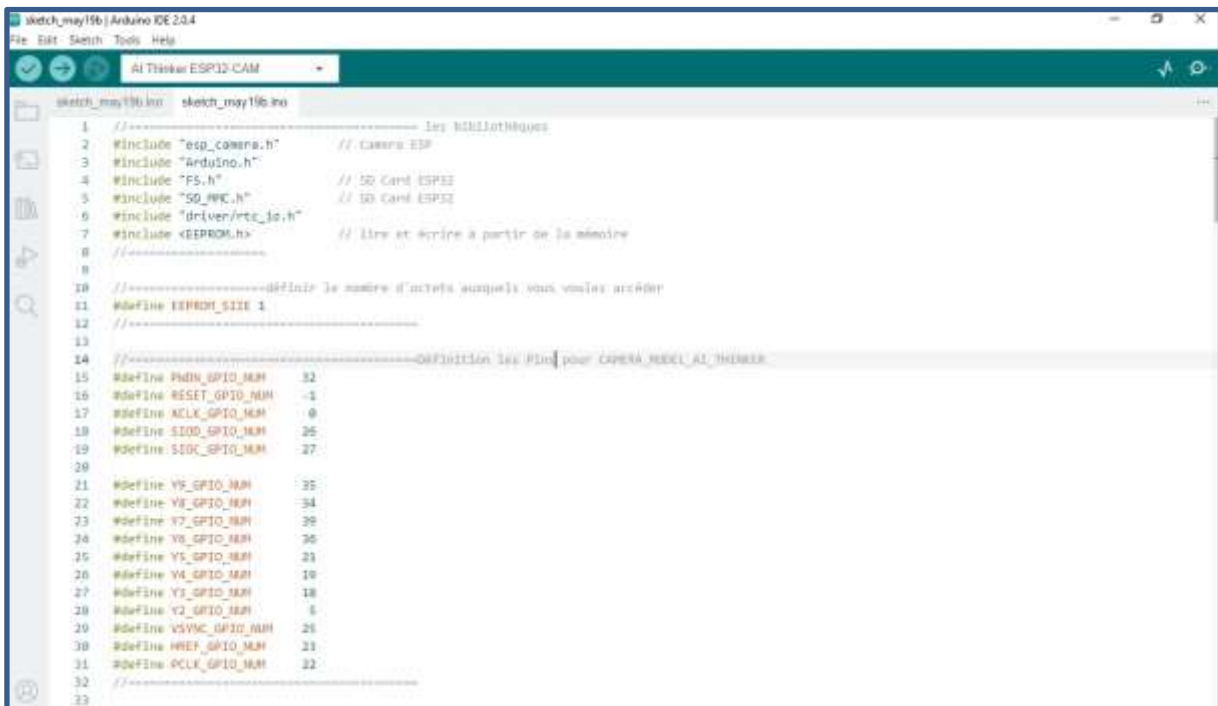
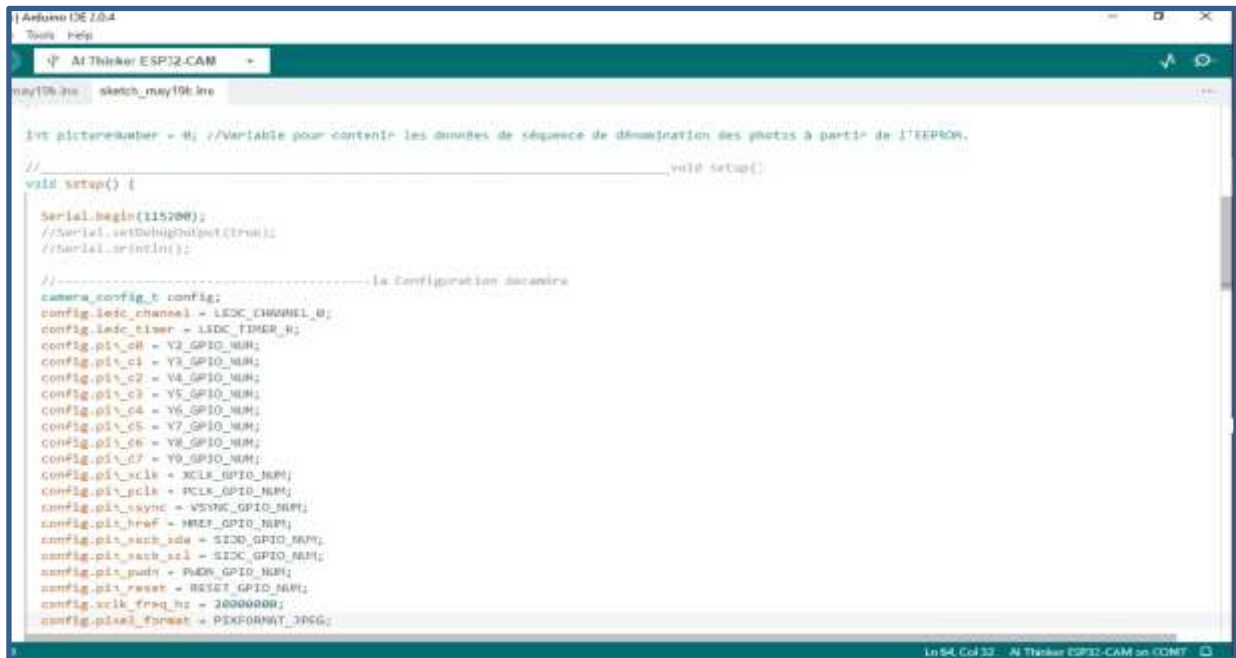


Figure III.30 :les bibliothèques et les Pins de ESP32-Cam

- L'étape suivante est les variables, puis les paramètres de la caméra



```

int pictureNumber = 0; //Variable pour contenir les données de séquence de dénomination des photos à partir de l'EEPROM.

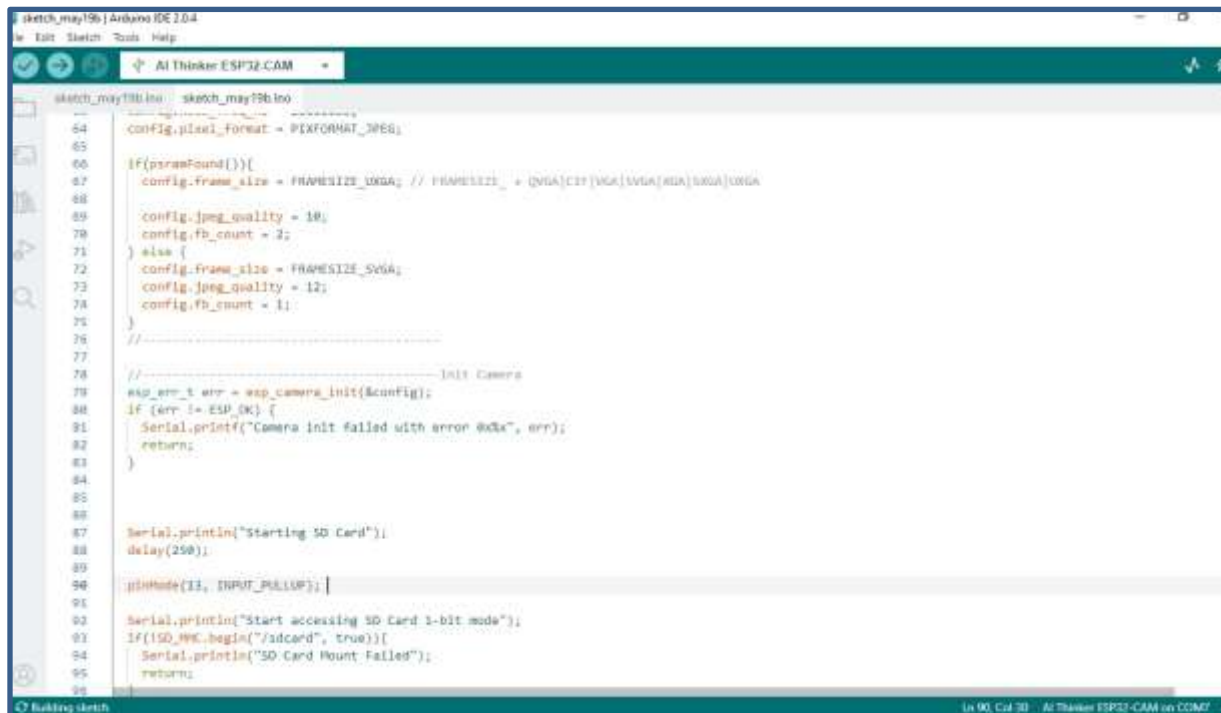
// ..... void setup() {

Serial.begin(115200);
//Serial.setDebugOutput(true);
//Serial.println();

// ..... la configuration de caméra
camera_config_t config;
config.ledc_channel = LEDC_CHANNEL_0;
config.ledc_timer = LEDC_TIMER_0;
config.pin_d0 = Y2_GPIO_NUM;
config.pin_d1 = Y3_GPIO_NUM;
config.pin_d2 = Y4_GPIO_NUM;
config.pin_d3 = Y5_GPIO_NUM;
config.pin_d4 = Y6_GPIO_NUM;
config.pin_d5 = Y7_GPIO_NUM;
config.pin_d6 = Y8_GPIO_NUM;
config.pin_d7 = Y9_GPIO_NUM;
config.pin_clk = XCLK_GPIO_NUM;
config.pin_pclk = PCLK_GPIO_NUM;
config.pin_vsync = VSYNC_GPIO_NUM;
config.pin_href = HREF_GPIO_NUM;
config.pin_sccb_sda = SIOC_GPIO_NUM;
config.pin_sccb_scl = SIOC_GPIO_NUM;
config.pin_pwdn = PWDN_GPIO_NUM;
config.pin_reset = RESET_GPIO_NUM;
config.xclk_freq_hz = 20000000;
config.pixel_format = PIXFORMAT_JPEG;
  
```

Figure III.31 : configuration les paramètres de caméra

- Vient ensuite l'étape des paramètres de la carte mémoire et des propriétés de l'image



```

64 config.pixel_format = PIXFORMAT_JPEG;
65
66 if(psramFound()){
67   config.frame_size = FRAMESIZE_UXGA; // FRAMESIZE_ + QVGA|CIF|VGA|SVGA|XGA|UXGA|UXGA
68
69   config.jpeg_quality = 10;
70   config.fb_count = 2;
71 } else {
72   config.frame_size = FRAMESIZE_SQGA;
73   config.jpeg_quality = 12;
74   config.fb_count = 1;
75 }
76
77 // ..... Init Camera
78 esp_err_t err = esp_camera_init(&config);
79 if (err != ESP_OK) {
80   Serial.printf("Camera init failed with error %d\n", err);
81   return;
82 }
83
84
85
86 Serial.println("Starting SD Card");
87 delay(250);
88
89 pinMode(13, INPUT_PULLUP);
90
91 Serial.println("Start accessing SD Card 1-bit mode");
92 if(!SDMMC.begin("/sdcard", true)){
93   Serial.println("SD Card Mount Failed");
94   return;
95 }
  
```

Figure III.32 :Paramètres de la carte mémoire et des propriétés de l'image

- le flash (LED) peut aussi être programmé lors de la prise d'une photo, comme dans la figure ci-dessous :

```

182
183 //----- SD card
184 uint8_t cardType = SD_PPC.cardType();
185 if(cardType == CARD_NONE){
186   Serial.println("No SD Card attached");
187   return;
188 }
189 //-----
190
191 //----- Le Flash LED sur la carte ESP32 Cam (ON)
192 pinMode(4, OUTPUT);
193 digitalWrite(4, HIGH);
194 delay(500);
195 //-----
196
197 camera_fb_t * fb = NULL;
198
199 //-----Prendre une photo avec l'appareil photo
200 fb = esp_camera_fb_get();
201 if(!fb) {
202   Serial.println("Camera capture failed");
203   return;
204 }
205 //-----
206
207 digitalWrite(4, LOW); //Le Flash LED (OFF) car le processus de prise de photos et de sauvegarde des images est terminé.
208
209 //-----
210 EEPROM.begin(EEPROM_SIZE);
211 delay(50);
212 pictureNumber = EEPROM.read(0) + 1;
213 delay(50);
214

```

Figure III.33 : Programmation le flash lors d'une prise d'une

- La dernière étape consiste à revenir en mode veille :

```

136 //-----Enregistrer les images sur la carte MicroSD.
137 String path = "/picture" + String(pictureNumber) + ".jpg"; //Chemin où la nouvelle image sera enregistrée sur la carte SD
138 fs::FS ofs = SD_PPC;
139 Serial.printf("Picture file name: %s\n", path.c_str());
140
141 File fFile = ofs.open(path.c_str(), FILE_WRITE);
142 if(!fFile){
143   Serial.println("Failed to open file in writing mode");
144 }
145 else {
146   fFile.write(fb->buf, fb->len);
147   Serial.printf("Saved file to path: %s\n", path.c_str());
148   EEPROM.write(0, pictureNumber);
149   EEPROM.commit();
150 }
151 fFile.close();
152 //-----
153
154 esp_camera_fb_return(fb); //renvoie la mémoire tampon de trame au pilote pour réutilisation.
155
156 //-----Passer en mode "veille".
157
158 esp_sleep_enable_ext0_wakeup(GPIO_PIN_12, 1);
159 delay(200);
160 esp_deep_sleep_start();
161
162
163
164
165
166 void loop() {
167
168

```

Figure III.34 : L'étape consiste à revenir en mode veille.

III.5. Quelques photos de notre dispositif pendant les tests.



Figure III.35 : Des photos de l'appareil en état de fonctionnement

III.6. Conclusion :

Ce chapitre est dédié à la conception et réalisation le radar de vitesse, pour rendre le radar fonctionnel, tous l'équipement matériels est logiciels doivent fonctionner ensemble.

Ce qui concerne le matériel utilisé nous avons expliqué le montage de chaque élément constituant notre système de radar, ainsi nous présentons sa structure, le programme Arduino et comment la programmation de caméra ESP32-Cam.

Au final, après avoir connecté tous les composants et téléchargé les logiciels nécessaires, les performances de l'appareil étaient acceptables.

Conclusion générale

L'Algérie possède le deuxième plus grand réseau routier d'Afrique avec une longueur de plus de 141 000 km et il est difficile de suivre la vitesse de tous les usagers de ces routes.

Ce mémoire de Master décrit sur la conception et la mise en œuvre d'un radar de surveillance de la vitesse des véhicules. Ce radar est caractérisé par sa simplicité d'utilisation, sa précision et son faible coût de fabrication. Ce travail débouche sur la réalisation d'un système à base de radar HB 100 et carte Arduino avec un mini panneau solaire de 3W permet d'alimenter l'appareil via une batterie rechargeable de 7.4 V.

Dans la dernière partie la programmation et le test de ce système ont été faites

Et après avoir connecté les éléments, nous avons installé les programmes en utilisant le logiciel d'Arduino IDE. Et testé l'appareil, ce qui a montré excellents résultats, et dépose comme d'un brevet.

Plusieurs axes d'études et de recherches complémentaires peuvent être envisagés comme perspectives de ce travail :

- Augmentation de la plage de fonctionnement pour les vitesses plus élevées
- Amélioration de la qualité d'image pour identifier le véhicule
- Augmentation de la portée du radar de plus de 20 mètres

Références Bibliographiques

- [1]. Christian, W. O. L. F. F. "Radar principle [online]. [2018-07-04] Available at:
[http://www. Radartutorial. eu/01. basics." Radar% 20Principle. En. html.](http://www.Radartutorial.eu/01.basics/Radar%20Principle.En.html)
- [2]. KRATTOU, M. R. (2013). Étude De La Détection Radar Dans Un Milieu Homogène (Doctoral dissertation).
- [3]. Darricau, J., & Blanchard, Y. (2003). Histoire du radar dans le monde puis en France. Revue de l'Électricité et de l'Électronique.
- [4]. Merrill, I. Skolnik. INTRODUCTION TO RADAR SYSTEMS. MCGRAW-HILL., 1980.
- [5]. Yamina, H., & Djedjiga, B. (2018). Conception et réalisation d'un radar Ultrason (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [6]. J .DARRICAU, Système radar, article n° TE6650, 10 février 2012.
- [7]. SI ABDELKADER, S. O. U. M. I. A., & SOUFI, Z. M. Conception et réalisation d'un système de contrôle routier à l'aide d'un Raspberry Pi (Doctoral dissertation).
- [8]. Lefaïda, S., & Soltani, F. (2022). Modélisation du fouillis non gaussien en Utilisant les systèmes fractionnaires (Doctoral dissertation, Université Frères Mentouri-Constantine 1).
- [9]. Kouemou, G. (2009). Radar target classification technologies. Radar Technology, 410-434.
- [10]. BEZZAHI, A., & BEDDA, Z. (2016). Etude d'un Radar Secondaire Monopulse en utilisant la Technique de Suppression Amélioré des Lobes Secondaires à l'interrogation.
- [11]. B. Atrouz, B. (2016). Les systems radar. Ecole militaire polytechnique.
- [12]. Marion GENDRAUD " L'effet Doppler et ses applications dans les différents Domaines de la physique" (Université de Limoges), 2018.

- [13]. <https://byjus.com/physics/doppler-effect/>:2023
- [14]. Akash Dip Paik ‘‘Doppler Effect and its application’’ (Indian Association for the Cultivation of Science), 2021.
- [15]. Website <https://www.superprof.fr/> : 2023
- [16]. Website radartutorial <https://www.radartutorial.eu/15.weather/wr06.fr.html> :2023
- [17]. <https://www.maxicours.com/se/cours/l-effet-doppler/>:2023
- [18]. Jean-François RÉCOCHÉ ‘‘ Radars et effet Doppler’’
- [19]. Data shit HB 100 Microwave Sensor Module
- [20]. MSAN-001 Application Note X-Band Microwave Motion Sensor Module
- [21]. Website <https://www.electronicshub.org/arduino-introduction/#Introduction>
- [22]. C. Fréou et A. Grimault ‘‘Découverte des cartes Arduino’’
- [23]. <https://www.robotics.org.za/HB100> :2023
- [24]. <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/543658/TI/LM324N.html> :2023
- [25]. Datasheet: https://www.waveshare.com/datasheet/LCD_en_PDF/LCD1602.pdf : 2023
- [26]. https://www.waveshare.com/wiki/LCD1602_I2C_Module :2023
- [27]. <https://lastminuteengineers.com/esp32-cam-pinout-reference/> :2023.
- [28]. <https://www.pcboard.ca/lm2596s-adjustable-regulator>:2023.
- [29]. https://www.pjrc.com/teensy/td_libs_FreqMeasure.html:2023
- [30]. MS.Jayashree cs, Pradum Singh ‘‘Esp32 cam motion detector with photo capture using Pir sensor’’ AMC Engineering college, Karnataka, India 2022