REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE YAHIA FARESS MEDEA



Faculté de science et technologie
Département Génie Mécanique

Mémoire
MASTER
Spécialité : ***Mécatronique***

Présenté par :

KOUIDRI AYMENE

Thème :

Etude d'un Système Radar

Encadreur/rapporteur : Mr Abou Dera Salam

Soutenu le : 19 / 05 / 2024

Remerciements

Nous remercions tout d'abord par excellence sa grandeur « Allah » qui nous a donné le courage et la patience tout au long de notre vie.

Nous remercions notre promotrice Abou Dera Salam pour ses précieuses orientations, son aide et ses conseils tout au longde ce projet.

Nous remercions également le président de jurys ainsi que les membres de jurys d'avoir accepté d'évaluer et juger notre travail.

Nos remerciements les plus chaleureux vont à nos chères FAMILLES pour leurs encouragements, leur patience et leur grand soutien durant toutes ces années d'études.

Enfin, un remerciement tout particulier à toutes les personnes qui ont contribué de prés ou de loin a la réalisation de ce projet.

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mes chers parents qui m'ont toujours soutenue tout au long de mes études

A mes très chers frères et sœurs

A mes très chers amis ;

A toutes ma famille ;

A mes binômes et meilleurs amis « Hamza et khairou» ainsi à toute safamilles ;

A tous ceux que j'aime ;

A tous ceux qui m'aiment ;

A tous mes ami(e)s et mes collègues

English Synopsis :

Radar System Analysis

Electromagnetic waves are used by radar systems to find and identify things. A radar system's transmitter, receiver, antenna, and signal processor are its key parts. Radio waves are produced by the transmitter and sent via the antenna. These waves are reflected back to the radar system when they come into contact with an object. These reflected waves are picked up by the receiver, and the signal processor decodes the information to ascertain the object's location, velocity, and other details.

Radar systems' essential components include:

1-Radio frequency signal generation occurs in the transmitter.
2-Antenna: Signal transmitter and receiver.
3-Receiver: Sees the signals that are reflected.
4-Signal Processor: Examines the signals to glean pertinent data.

Applications for radar systems :

include weather forecasting,
aviation and marine navigation.

ملخص عربي

دراسة نظام الرادار

يستخدم نظام الرادار الموجات الكهرومغناطيسية لاكتشاف وتحديد مواقع الأجسام. تتكون المكونات الرئيسية لنظام الرادار من المرسل، المستلم، الهوائي، ومعالج الإشارة. يقوم المرسل بتوليد موجات الراديو التي يتم بثها عبر الهوائي. عند اصطدام هذه الموجات بجسم معين، يتم عكسها مرة أخرى إلى نظام الرادار. يلتقط المستقبل هذه الموجات المنعكسة، ويقوم معالج الإشارة بتفسير البيانات لتحديد المسافة والسرعة والخصائص الأخرى للجسم

العناصر الرئيسية لأنظمة الرادار

المرسل : يُولد إشارة التردد الراديوي

الهوائي: يبث الإشارات ويتلقاها

المستلم: يكتشف الإشارات المنعكسة

معالج الإشارة: يحلل الإشارات لاستخراج المعلومات المفيدة

تُستخدم أنظمة الرادار في تطبيقات متنوعة، بما في ذلك الطيران والملاحة البحرية والتنبؤات الجوية والدفاع العسكري. يمكنها اكتشاف الطائرات والسفن والمركبات وتشكيلات الطقس وغيرها من الأجسام.

Table des figures

Figure 1.1: le premier radar à écho..... 12

Figure1.2 : Radar Freya à membrures.....13

Figure 1.3 : Doppler radar antenna.....14

Figure 1.4 : Principe d'un système RADAR..... 16

Figure 1.5 **:** Palier Azimut.....17

Figure 1.6 **:** Effet du mouvement de la cible sur les formes d'onde équiphases réfléchies 17

Figure 1.7 : Organigramme des radars 18

Figure 1.8 : RADAR PRIMAIRE..... 19

Figure 1.9 : RADAR à ONDES ENTRETENUES 20

Figure 1.10: RADAR I MPULSION.....21

Figure 1.11 : RADAR SECONDAIRE (SOURCE THALES)..... 22

Figure 1.12 : parties du systéme radar.....23

Figure 1.13: Un schéma résumant le fonctionnement du radar 24

Figure 1.14 : Exemples de systèmes radar associées aux différentes bandes. 25

Figure 2.1 : RADAR NEBO-M 29

Figure 2.2 : Montage HC-SR04 avec Arduino.....25

Figure 2.3 : RLM-D Radar..... 31

Figure 2.4 :RLM-S Rada..... 31

Figure 2.5 : KU-RLK Poste de commandement.....32

Figure 2.6 : la Communication de RADAR NEBO-M AVEC S-400 33

Figure 2.7: Fouillis de volume et surface..... 42

Figure 3.1: CARTE QRDUINO UNO 42

Figure 3.2 : Constitution de la carte Arduino UNO.....43

Figure 3.3 : Microcontrôleur ATMega328.....44

Figure 3.4: Sources de l'Alimentation de la carte Arduino UNO 45

Figure 3.5 : Le diagramme temporel. 47

Figure 3.6 : Montage HC-SR04 avec Arduino.....49

Figure 3.7 : distance supérieur à 3 mètres 49

Figure 3.8. : Surface peut réfléchissante de l'objet. 50

Figure 3.9. Objet trop petit..... 50

Figure 3.10: Afficheurs LCD : (16x2), (20x4) + I2C.....51

Figure 3.11 : Connecteur de l'afficheur LCD..... 51

Figure 3.12 : Servomoteur à rotation angulaire. 53

Figure 3.13 : Caractéristiques du servomoteur à rotation angulaire (Micro-Servo).....54

Figure 3.14: Câble de commande pour servomoteur.....55

Figure 3.15 : Montage servomoteur avec Arduino.....55

Figure 3.16 : Plateforme Arduino..... 56

Figure 3.17: Structure générale du programme (IDE Arduino).....57

Figure 3.18: Diagramme temporel de HC-SR04 59

Figure 3.19 : Communication entre les composants du projet..... 59

Figure4.1: Le circuit global de notre simulation.....62

Figure 4.2 Résultats de simulation sur le terminal virtuel 62

Figure 4.3: Schéma synoptique de notre Radar 63

Figure 4.4: Algorithme principale de détection d'un objet 64

Figure 4.5: l'arc et les lignes du Radar.....65

Figure 4.6: l'objet détecté par la fonction **drawObject().**.....65

Figure 4.7: écriture d'un texte à l'aide de la fonction **drawText()** 66

Figure 4.8: Simulation complète sur Processing 66

Figure 4.9: Circuit final de notre projet de réalisation du Radar de détection. 68

Figure 4.10: Image global de la mise en marche du Radar. 69

Figure 4.11: Détection de l'objet 09 70

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Domaines d'applications du radar..... 15

Tableau 1.2 : Comparaison de radars à impulsions et à onde continue 21

Tableau 1.3 : Classification radar par fréquence de fonctionnement 25

Tableau 3.1 : Caractéristiques de la Carte Arduino UNO……...42

Tableau 3.2 : Spécifications des capteurs ultrason HC-SR04 47

Tableau 3.2 : Nomenclature du connecteur de l'afficheur LCD 52

Tableau 4.1 : Broche et connexion de notre circuit électronique.....67

Liste des tableaux

Introduction générale **10**

Chapitre 1: Généralités sur les radars

1-1 Introduction 13

1-2 Historique de radar 13

1-3 Définition du Radar 15

1-4 cible 15

1-5 Les applications principalesont 15

1-6 Principe du Radar 16

1-7 Classification des Radars 19

1-8 Radars Imageurs / Radars non imageurs 19

1-9 Le radar primaire 19

1-10 Radar à ondes continues 20

1-11 Le Radar à impulsions 21

1-12 Le Radar secondaire 22

1-13 Principales parties du radar 23

1-14 Bandes de fréquences radars 25

1-15 Conclusion 26

Chapitre 2 : Etude sur Nébo m et leur projection en Tindouf et étude sur mercure rouge

2-1 Introduction 28

2-2 Définition 28

2-3 Communication de RADAR NEBO-M AVEC S-400 32

2-4 MERCURE ROUGE 33

2-5 Utilisations du mercure rouge 34

2-6 BRUIT EN RÉCEPTION RADAR 34

2-7 Le rapport signal sur bruit 35

2-8 Facteur de Bruit 35
2-9 Equation de la portée sous l'influence des perte 36
2-10 Fouillis radar 38
2-11 Fouillis de surface 38
2-12 Fouillis de volume 39
2-13 Conclusion 39

Chapitre 3 : Réalisation de radar par Arduino

3-1 Introduction 42
3-2 Le Carte Arduino Uno 43
3-3 Le fonctionnement du capteur Ultrasons HC-SR04 est simple 47
3-4 Caractéristiques et spécification du capteur 48
3-5 Communication avec l'afficheur LCD 53
3-6 Servomoteur 54
3-7 Montage du servomoteur avec Arduino 56
3-8 Environnements de programmation 56
3-9 Structure générale du programme (IDE Arduino) 57
3-10 Programme IDE de PROCESSIN 58
3-11 Tinkercad 58
3-12 Fonctionnement du radar de détection 59
3-13 L'organigramme du projet 60
3-14 Conclusion 60

Chapitre 3 : simulation de radar

4-1 Introduction 61
4-2 Les différentes étapes du projet 61
4-3 Circuit global de la simulation 61

4-4 Injection du ficher code sur tinkercard 61

4-5 Schéma synoptique de notre Radar 62

4-6 Algorithme principale de détection d'un objet.....63

4-7 Dessiner un radar sur processing.....64

3-14 Partie réalisation de notre Radar détection 65

3-14 Principe de fonctionnent du circuit.....67

3-14 Résultats des différents objets détectés.....68

3-14 Détection de plusieurs objets à des différentes distances et à différents angle 69

3-14 Interprétations des résultats trouvés 69

3-15 Conclusion 70

Conclusion générale 54

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Le Radar est l'un des plus sophistiqués technologies de l'observation de la terre et de l'exploration planétaire. Les radars météorologiques ont vu le jour après la seconde guerre mondiale. Aujourd'hui, les systèmes radar sont aussi très largement répandus dans des applications civiles telles que la surveillance du trafic aérien, la météorologie ou encore la sécurité automobile. Le radar est donc aujourd'hui un système indispensable et très largement utilisé qu'il sert à surveiller un territoire ou pour éviter des collisions

Le terme radar est issu de l'acronyme anglais de (Radio Detection And Ranging) désigne un système qui diffuse une onde électromagnétique dans une portion de l'espace, et reçoit les ondes réfléchies par les objets qui s'y trouvent, permettant de détecter leurs existence et déterminer certaines caractéristiques de ces objets tel que la position, l'altitude, la vitesse et parfois la forme de ces objets.

Le but principal de ce projet et l'étude et la réalisation d'un radar de détection en utilisant la carte Arduino, d'où trois objectifs ont été visés : faire une étude générale sur la théorie des radars, regrouper suffisamment d'informations sur une grande catégorie des cartes de prototypage (Arduino), réaliser un système Radar pour la détection des objets à l'aide des composants disponibles.

Le système obtenu est composé de deux parties principales ; la première se compose de la partie matérielle, par laquelle l'opération de détection est effectuée et la deuxième partie celle du logiciel où les données entrantes en provenance du matériel sont analysées et affichées. La partie matérielle est composée : d'un capteur ultrasonique qui a pour objectif la détection des objets et de la distance, d'un servomoteur pour tourner le capteur et l'envoi de l'angle de rotation pour le logiciel et d'un afficheur LCD, tous ces composants sont contrôlés par un micro-contrôleur à base de l'environnement Arduino. La partie logicielle est conçue à l'aide de la plate-forme de traitement par lequel une application graphique est conçue pour afficher un éventuel objet détecté, la position et la distance.

Notre travail que nous présentons dans cette thèse est structuré en trois chapitres.

-Dans le premier chapitre nous donnerons un aperçu sur les Radars.

-Dans le second chapitre, nous présentons une étude et une mise en œuvre d'un Radar de détection.

-Dans le troisième chapitre, nous présenterons une simulation et une réalisation du Radar de détection.

-Une conclusion générale et des perspectives font l'objet de la dernière partie.

CHAPITRE 1 :
Généralités sur les radars

1.1-Introduction

Le principe du Radar était déjà connu et vérifié expérimentalement à la fin du 19^{ieme} siècle, Son histoire de détection a débuté par les travaux du physicien britannique James Clerk Maxwell, en 1864, qui a prédit mathématiquement que les radiations, qui seront connues ensuite sous le nom d'ondes électromagnétiques, ont quelques propriétés communes avec les ondes lumineuses. En particulier, la vitesse de propagation et la réflexion par les objets métalliques et diélectriques. Cela conduit à se demander quelles sont les connaissances basiques, la pertinence de cette problématique s'est d'ailleurs confirmé au cours des travaux préparatoires de la présente étude pour l'intérêt de cette technologie.

Ce chapitre tend à expliquer graduellement la théorie du Radar dans sa forme générale.

1.2-Historique de radar

L'invention du radar pour un monde donné, ou pour une nation à la place, devrait être considérée comme "le résultat de l'accumulation de nombreuses études de recherche antérieures, auxquelles des scientifiques de plusieurs pays ont participé en parallèle. Cependant, tout au long de cette histoire, il existe des points de référence compatibles avec la découverte de certains principes fondamentaux ou d'inventions importantes :



Figure 1.1 :le premier radar à écho.

1865 LePhysicien anglais James Clerk Maxwellthéorie de la lumière électromagnétique (description et diffusion des ondes électromagnétiques)

1886 Le physicien allemand Heinrich Rudolf Hertz démontre l'existence physique des ondes électromagnétiques et confirme ainsi la théorie de Maxwell.

1904 Le technicien allemand spécialiste des ondes hertziennes Christian Hülsmeyer invente le „Telemobiloskop", appareil de prévention des collisions en mer. Il mesure le temps de parcours de l'onde électromagnétique, sur le trajet aller-retour, entre l'antenne et un objet métallique (navire). Un calcul de la distance est donc possible. Il s'agit du premier test pratique du Radar. Hülsmeyer dépose le brevet de son invention en Allemagne, en France et au Royaume Un.

1921 Invention par Albert Wallace Hall d'un oscillateura à hout rendement :le Magnetron.

1922 Albert H. Taylor et Liu C. Young, du Naval Research Laboratory (USA), détectent pour la première fois un navire en bois.

1930 Lawrence A. Hyland (également du Naval Research Laboratory), réalise la première détection d'un aéronef.

1931 Un navire est équipé d'un Radar. Les antennes sont des paraboles équipées de cornets d'émission .

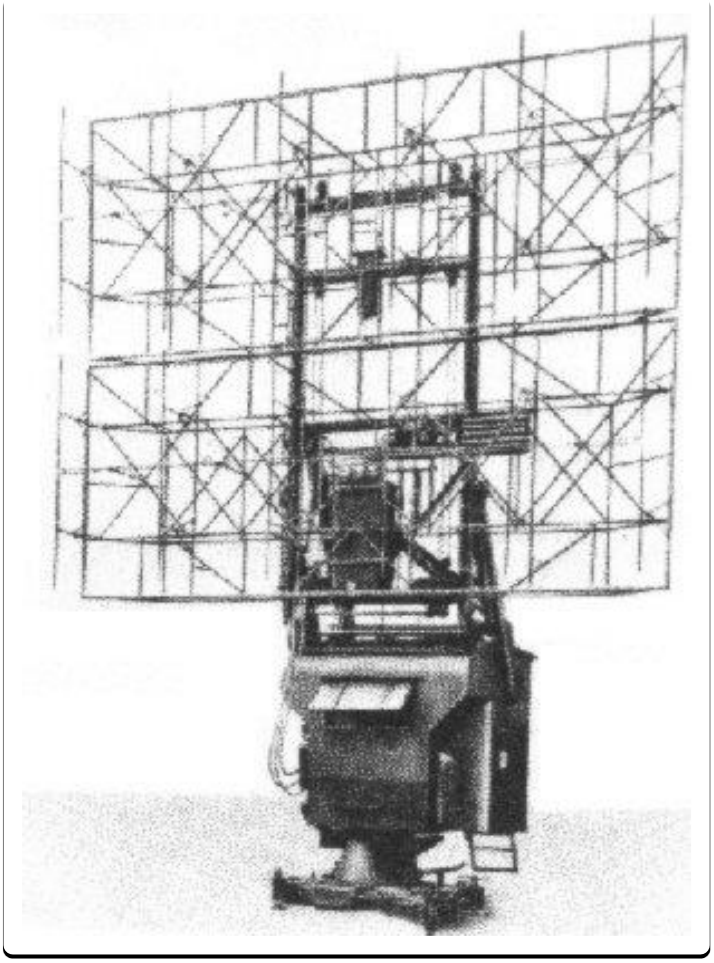


Figure 1.2 : Radar Freya à membrures

1936 Développement du Klystron par Metcalf et Hahn. Ce sera un composant important des équipements Radar, comme amplificateur ou oscillateur.

1940 Différents équipements Radar sont développés aux USA, en Russie, en Allemagne, en France et au Japon.
Accélérées par la montée en puissance vers une guerre qui semble inévitable, et par le développement général de l'arme aérienne, les recherches dans le domaine de la technologie Radar génèrent des avancées techniques significatives durant la seconde guerre mondiale. Pendant la guerre froide, des radars sont déployés en grande quantité de part et d'autre du « rideau de fer », et en particulier le long des frontières allemandes [1].

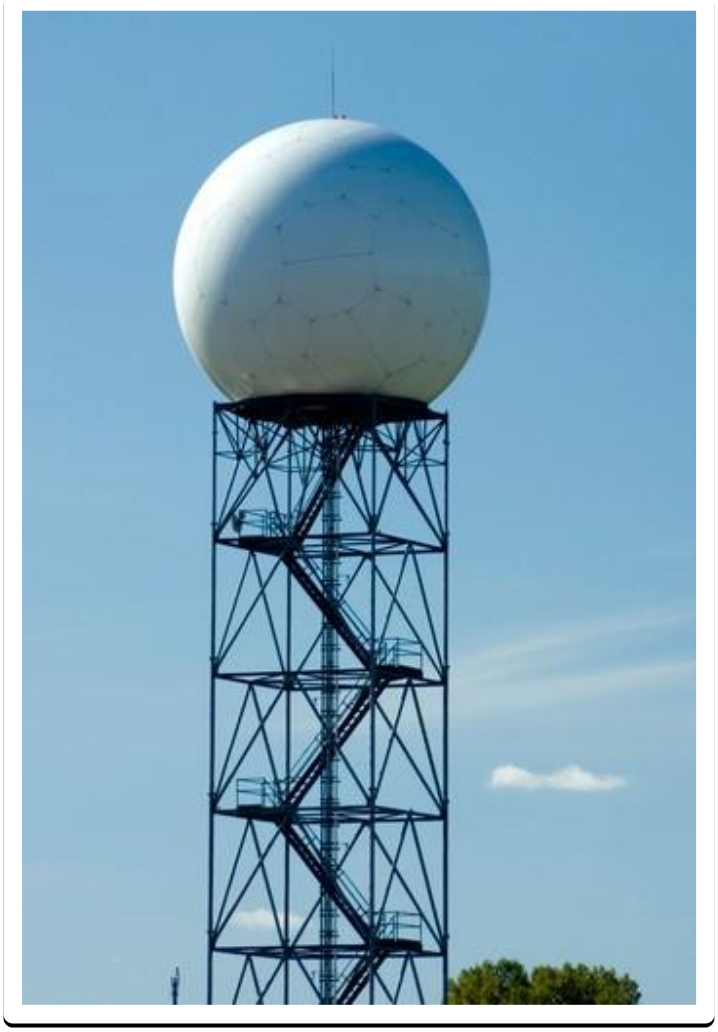


Figure 1.3 : doppler radar antenna

1.3-Définition du Radar

Le radar (Radio Détection And Ranging), en anglais, est un système qui propage une onde électromagnétique dans une zone de l'espace et reçoit les ondes réfléchies par les objets qui y sont présents, permettant ainsi de détecter leur présence et de déterminer certaines caractéristiques de ces objets telles que leur position, leur altitude, leur vitesse et parfois leur forme. Ces informations donnent au Radar la possibilité de fournir des informations à l'utilisateur, tout en éliminant de nombreux objets indésirables afin de ne conserver que les "cibles" intéressantes [2].

1.4-cible

Tout objet qui perturbe l'onde émise et réfléchit une partie de l'énergie vers le Radar est considéré comme une cible, ayant une forme complexe. L'énergie qui est émise dans la direction du Radar varie considérablement et dépend énormément.

1.5-Les applications principalesont:

- la météorologie: détection des nuages et des pluies;
- la défense: détection d'avions et de missiles.
- le contrôle aérien: repérage et guidaged'aéronefs
- la navigation maritime et fluviale: repérage des côtes ou récifs et des autres navires.
- le contrôle de la circulation routière: mesure de la vitesse des véhicules[3].

Les domaines d'application civils et militaires du radar, le tableau ci-dessous :

Application civile	Application militaire
Contrôle du trafic aérien et gestion des vols Systèmes intelligents de gestion du trafic Approche et atterrissage de précision Gestion du trafic des navires (ports, voiesnavigables, détroits) Navigation et évitement des collisions Radar météo et surveillance des océansChercher et sauver Surveillance au sol et alarmes anti-intrusionSondage au sol et imagerie souterraine Capteurs de vitesse et altimètres du véhiculeSurveillance étendue Multifonction	Surveillance terrestre, océanique et aérienneDétection et suivi Classification et identification balistiqueDéfense antimissile Alerte précoce aéroportée Contrôle de tir et guidage des missiles Emplacement du mortier et de l'artillerieOpérations de recherche et de sauvetageSondage au sol et sous la surface Simulation et modélisation de détection Multifonction

Tableau 1.1: Domaines d'applications du radar

1.6-Principe du Radar

Les systèmes radars sont basés sur quatre étapes : émission et propagation d'une onde électromagnétique, rétrodiffusion de cette onde par une cible sous forme d'écho l'e, réception et analyse du signal reçu par le radar

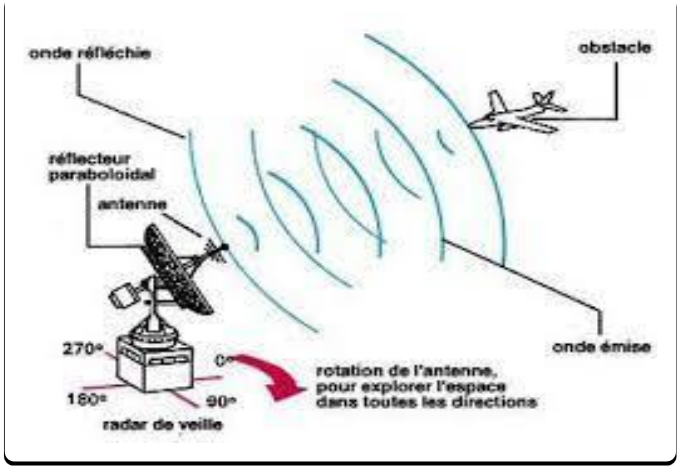


Figure 1.4 : Principe d'un système RADAR

- Distance mesurée :

  Le radar envoie l'onde à la distance radar/cible R0 à la vitesse de la lumière c. La cible la rétrodiffuse à travers l'espace entier. L'onde rediffusée traverse le chemin.
  À nouveau, le radar recueille la distance R0 et une partie de l'onde. La reconnaissance de l'echo reçu et la mesure du temps de propagation de l'onde nous permettent de déterminer la présence et la distance de la cible. L'onde émise par le radar est une variante atténuée et retardée de l'onde émise avec un retard [2] [3]. [4].

$$\tau = \frac{2R0}{c} \quad \text{.....(1)}$$

Ainsi, la mesure de ce retard permet de calculer la distance R0 entre la cible et la limite.

- Évaluation de la direction :

  La direction est calculée en utilisant l'angle entre la direction du nord et celle de la cible (Azimut), qui est obtenu grâce à la directivité de l'antenne. En effectuant des mesures.

On peut évaluer l'azimut et le site de la cible en se basant sur la direction dans laquelle l'antenne est orientée à l'instant où elle reçoit l'écho. La mesure de ces angles est précise en fonction de la direction de l'antenne. En ce qui concerne une fréquence émise spécifique (ou une longueur d'onde spécifique), la directivité d'une antenne est déterminée par ses dimensions propres [5].

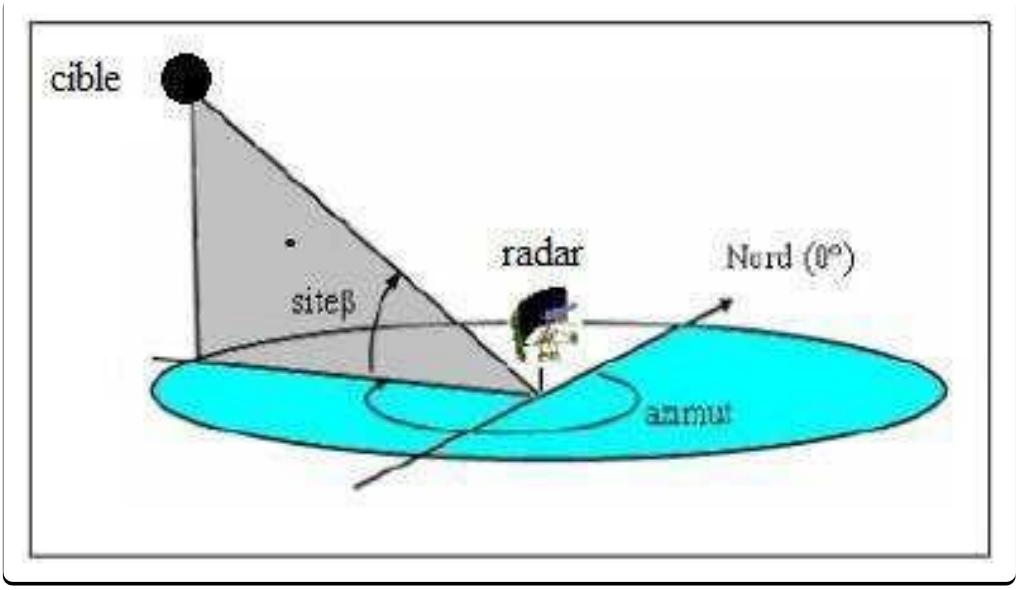


Figure 1.5 : palier Azimut

- Résolution de distance :

La résolution de distance, également appelée ΔR, correspond à la capacité d'un système radar à distinguer deux ou plusieurs cibles sur le même relèvement, mais à des distances différentes. Le niveau de résolution de distance varie en fonction de la taille de l'impulsion émise, des cibles, de l'efficacité du récepteur et de l'indicateur. La résolution dépend principalement de la largeur d'impulsion.
Normalement, les radars sont développés pour avoir une portée minimale Rmin et une portée maximale Rmax au choix. Rmin et Rmax sont séparés en M cases de portée, chacune ayant une largeur ΔR.[6].

- Mesure de la vitesse radiale

Il existe deux méthodes pour mesurer la vitesse radiale de la cible : le décalage causé par l'effet Doppler ou la mesure de la distance successive. Bien que cela nécessite une période de mesure assez longue pour obtenir une précision adéquate, c'est la deuxième méthode qui est privilégiée.

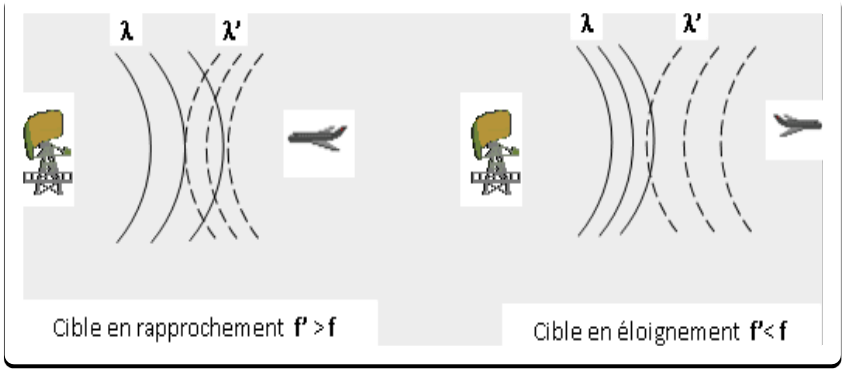


Figure 1.6: : Effet du mouvement de la cible sur les formes d'onde équiphases réfléchies

- ✓ L'effet Doppler : Lorsque la cible se déplace par rapport au radar, son retard change au fil du temps

$$r = \frac{2R0(t)}{c} = \frac{2}{c}(R0 + V\,rad\,\mathrm{t}) \quad \text{.....(02)}$$

L'indice V rad correspond à la vitesse radiale de la cible, ainsi qu'à la vitesse de rapprochement ou d'éloignement par rapport au radar. Le radar reçoit l'onde provenant d'une cible mobile, comme le montre la figure 04 est en avance ou en retard par rapport à une cible définie. Quand vrad est très faible devant c, ce retard de temps d'arrivée se manifeste dans l'onde reçue par un décalage de la fréquence porteuse f0 de l'onde [3].
Ce phénomène est connu sous le nom d'effet Doppler. Le décalage de fréquence sur la porteuse, également connu sous le nom de fréquence Doppler, est écrit :

$$fd = 2v\mathrm{rad} \quad \text{.....(03)}$$

Où $\lambda = \frac{c}{f0}$ désigne la longueur d'onde du radar. La mesure de f_D permet de déterminer la vitesse radiale de la cible.

1.7-Classification des Radars

La classification basée sur la fonction principale du Radar est illustrée dans la figure suivante

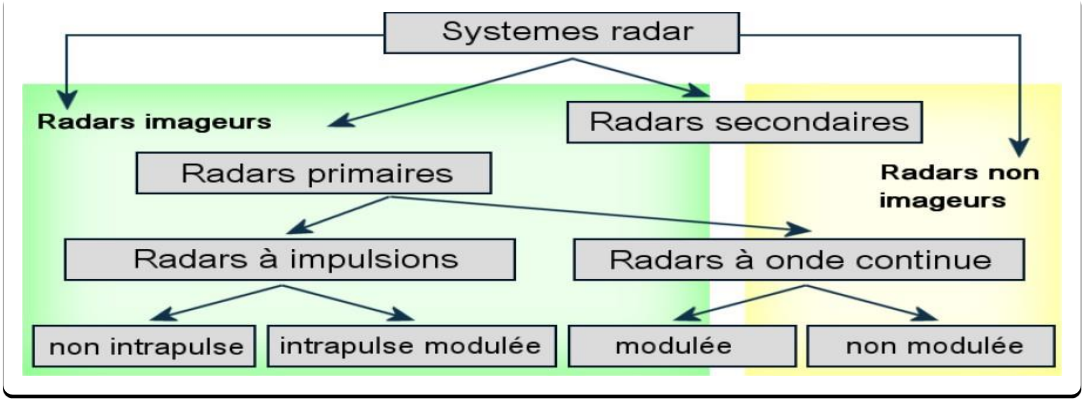


Figure 1.7 : Organigramme des radars

1.8- Radars Imageurs / Radars non imageurs :

Un radar imageur permet de présenter une image de l'objet (ou de la zone) observé. Les radars imageurs sont utilisés pour cartographier la Terre, les autres planètes, les astéroïdes et les autres objets célestes. Ils offrent aux systèmes militaires une capacité de classification des cibles.
Des exemples typiques de radar non imageur sont les cinémomètres radars (les petits, sur le bord de la route...) et les radios altimètres. Ce type de radar est également appelé diffusomètre 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 [7].

1.9-Le radar primaire :

Un radar primaire, également connu sous le nom de radar de surveillance (Primary Surveillance Radar), est un capteur radar traditionnel qui éclaire une grande partie d'un espace avec des signaux hyperfréquences et qui prend ensuite en compte les ondes réfléchies par les cibles présentes dans cet espace. Il s'agit donc d'un système radar qui est utilisé pour repérer et localiser des cibles qui pourraient ne pas collaborer. Il est particulièrement adapté au domaine du contrôle aérien où il est confronté au radar secondaire qui reçoit des informations supplémentaires du transpondeur de la réception.
Ce genre de radar se sert d'une antenne qui a une faible résolution verticale mais une excellente résolution horizontale. Il fait une balade rapide à 360 degrés autour du site en utilisant un seul angle d'élévation. Il est ainsi capable de fournir la distance et la vitesse radiale de la cible avec une bonne précision mais nécessite un ou des radars supplémentaires pour obtenir la position verticale et la vitesse réelle.
Les avantages du radar primaire sont donc qu'aucun équipement embarqué dans l'avion n'est nécessaire pour la détection de la cible et il peut être utilisé pour la surveillance des mouvements des véhicules au sol. Ses inconvénients sont que les cibles et leur altitude ne peuvent pas être identifiées directement. En plus, il nécessite des émissions puissantes ce qui limite sa portée [8].



Figure 1.8 : RADAR PRIMAIRE

1.10-Radar à ondes continues

Les Radars CW (Continuous Wave) produisent un signal en continu.Les radars qui exploitent ce genre d'émission ont pour objectif de mesurer la vitesse en utilisant l'effet doppler.

- Radars à ondes continues modulées : ces radars émettent un signal hyperfréquence sans interruption, ce qui permet de recevoir et de traiter l'echo continuement.
- Les radars à ondes continues non modulées : sont des appareils qui émettent une seule fréquence à amplitude constante. La transmission d'une puissance non modulée par le Radar CW est possible uniquement grâce à l'effet Dopler. [9]

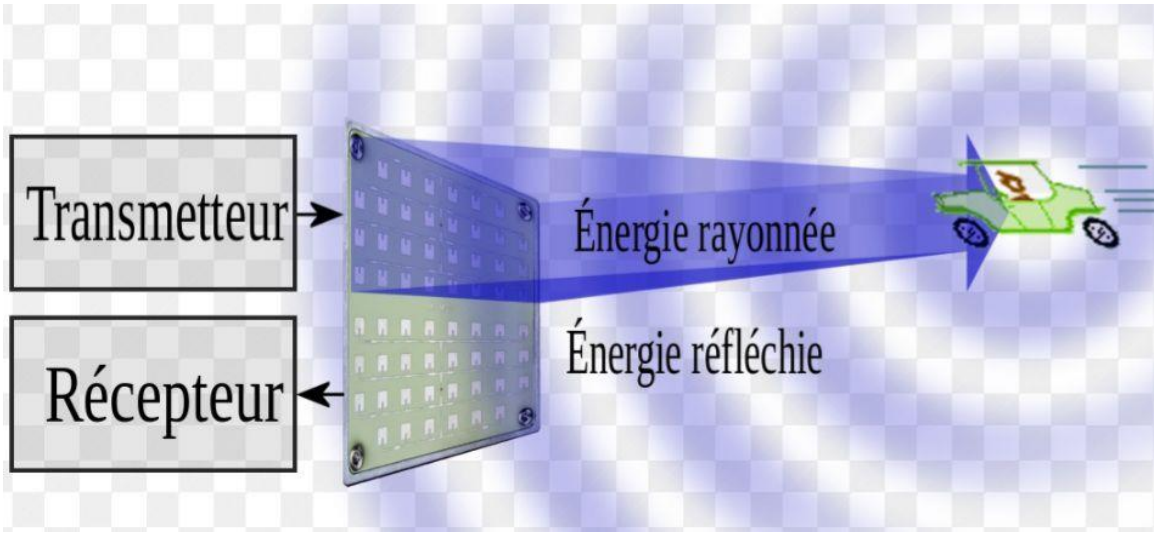


Figure 1.9 : RADAR à ONDES ENTRETENUES

1.11-Le Radar à impulsions

Les radars à impulsions produisent des impulsions à haute fréquence avec une grande puissance. Avant d'émettre une nouvelle impulsion, chaque impulsion est suivie d'un laps de temps plus long que l'impulsion elle-même, pendant lequel les échos de cette impulsion peuvent être reçus. Il est possible de déterminer la direction, la distance et parfois, si nécessaire, la hauteur ou l'altitude de la cible en se basant sur les mesures de la position de l'antenne et le temps de propagation de l'impulsion émise.

Les radars peuvent être classés dans cette catégorie en fonction de la fréquence de répétition des impulsions, connue sous le nom de PRF en anglais (PRF : Pulse Repetition Frequency), en tant que radars à faible PRF, moyenne PRF et élevée PRF.

Les radars avec un PRF sont principalement utilisés pour mesurer rapidité de la cible.

Les radars à ondes continues ainsi que les radars à impulsions peuvent mesurer à la fois la portée de la cible et la vitesse radiale en utilisant différents schémas de modulation

Le tableau suivant : illustre une comparaison entre les radars à impulsions et les radars à onde continue.

Paramètres	Radars à impulsion	Radars à onde continue
Type de signal	Modulé	Modulé et non modulé
Antenne	Duplexeur	Antennes séparées
Puissance à reception	Elevée	Faible
Domaines d'application	Plusieurs	Moins

Tableau 1.2 : Comparaison de radars à impulsions et à onde continue

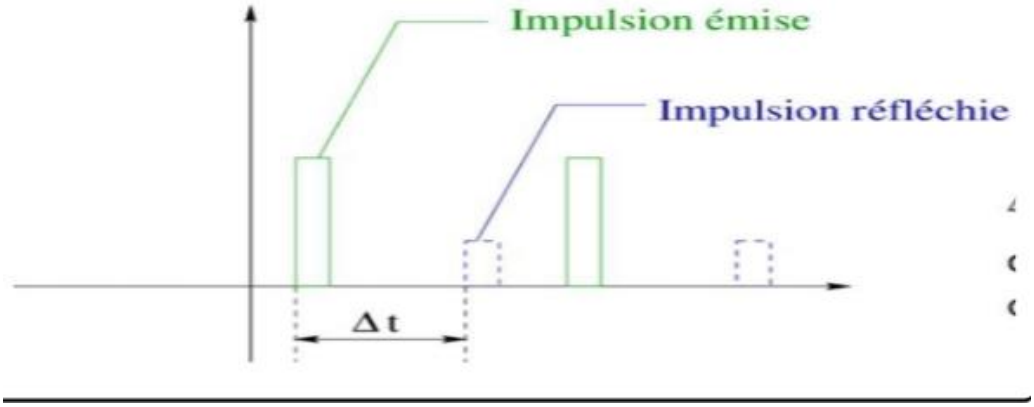


Figure 1.10 :RADAR I MPULSION

1.12-Le Radar secondaire

Les Radars secondaires opèrent en utilisant des signaux de réponse actifs. Outre le Radar primaire, ce type de Radar utilise un transpondeur (Transmetteur répondeur) sur la cible, où il va répondre à l'interrogation du Radar en produisant un signal codé. Cette réponse peut renfermer bien plus d'informations que celles qu'un Radar primaire peut recueillir (comme l'altitude, un code d'identification, ou encore un rapport de problème à bord tel qu'une panne complète des radiocommunic [5].

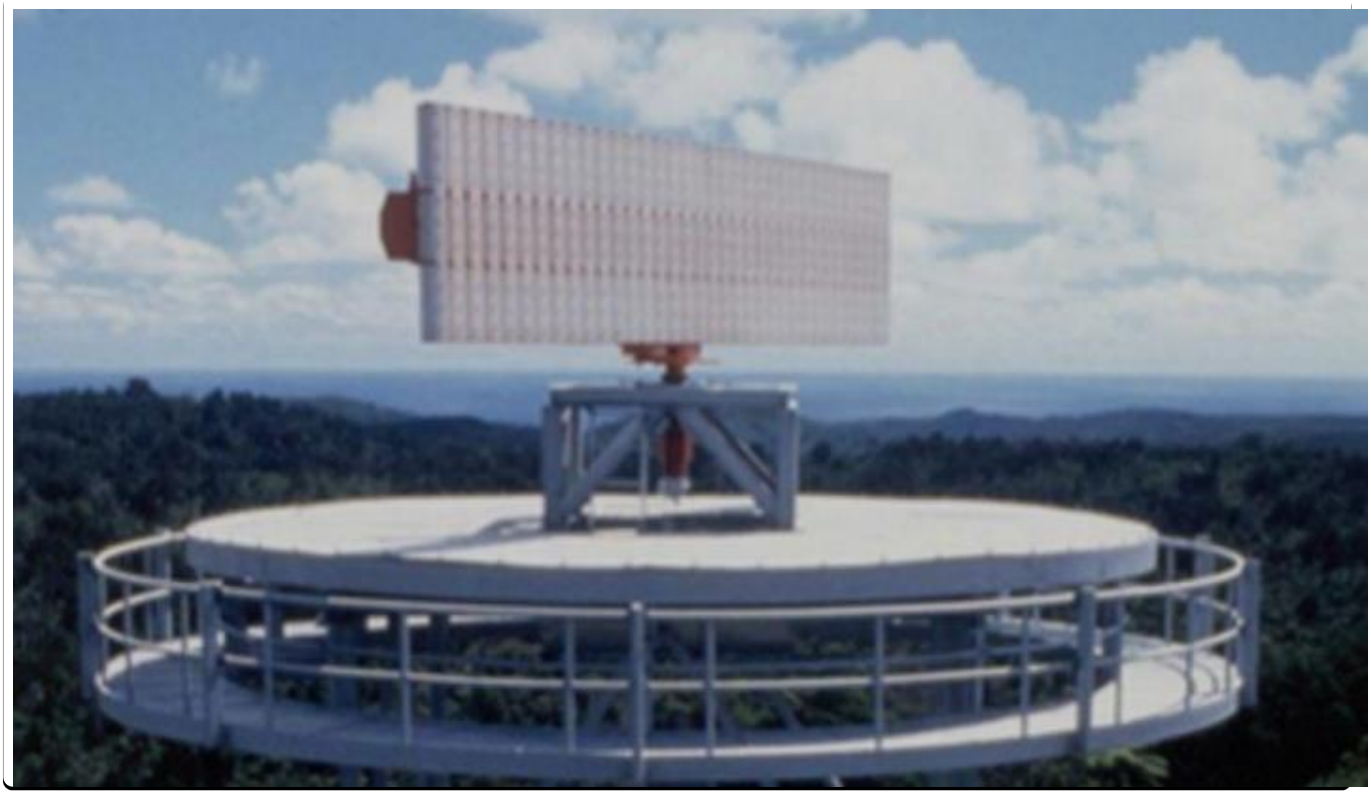


Figure 1.11 :RADAR SECONDAIRE (SOURCE THALES)

1.13-Principales parties du radar

Que le radar soit dans un avion, un navire ou autre chose, il a besoin des mêmes composants clés d'une source pour générer, envoyer et recevoir des ondes radio, ainsi qu'un moyen de traduire et d'afficher des informations pour que les gens puissent les comprendre rapidement.

- Magnétrons magnétiques

Il est utilisé pour produire des ondes radio, qui sont similaires à la lumière car il a la même vitesse dans le vide ; cependant, les ondes radio sont beaucoup plus longues que les ondes lumineuses et ont des fréquences beaucoup plus faibles que la lumière. Les ondes radio et lumineuses sont des ondes électromagnétiques constituées de deux champs électromagnétiques et magnétiques perpendiculaires l'un à l'autre et de la ligne de propagation de la lumière.
Les ondes lumineuses mesurent environ 500 nm, soit 500 milliards de parties d'un mètre, et sont environ 100 à 200 fois plus précises qu'un cheveu humain.
Alors que les ondes radio utilisées dans les radars varient généralement d'environ quelques centimètres à un mètre, ce qui est à peu près la longueur de votre doigt à la longueur de votre bras ou presque un million de fois plus longtemps que les ondes lumineuses.
Les ondes radio ressemblent à un four à micro-ondes, mais la différence est que le magentron dans le radar envoie ses ondes à plusieurs miles au lieu de quelques centimètres dans le four à micro-ondes; Il est donc beaucoup plus fort et plus grand.

- Antenne pour antenne

Il envoie des ondes radio dans l'air à la vitesse de la lumière, l'antenne est généralement incurvée

pour concentrer les ondes radio sous la forme d'un ensemble précis et les antennes radar tournent de sorte que les mouvements révèlent une zone plus large.
Les ondes radio continuent jusqu'à ce qu'elles touchent quelque chose, puis rebondissent vers l'antenne à une vitesse très importante de 3000000 km/s.
Pour que l'avion arrive, rebondisse et alerte rapidement, le faisceau radar doit être beaucoup plus rapide si nous avons un chasseur ennemi qui voyage à 300 km/h. Parce que la vitesse des ondes radio est égale à la vitesse de la lumière, ce n'est pas un problème.
voyager sept fois dans le monde en une seconde, et ils peuvent donc mesurer la distance d'un avion en moins de mille secondes.
- L'antenne (antenne) a une double fonction, elle envoie également des ondes radio qu'elle reçoit, elle envoie des ondes radio pendant quelques parties de mille secondes, puis surveille les réflexions de tout ce qui correspond à plusieurs secondes avant de transmettre à nouveau.
L'instrument de réception purifie les signaux réfléchis par le sol, les bâtiments ou autres et n'affiche que les signaux importants sur l'écran. On peut voir les navires ou les avions à proximité, leur vitesse et leur direction.

- ❖ Ordinateur

Tout signal réfléchissant capté à partir de l'antenne est redirigé vers un ordinateur qui le traite et l'affiche avec une signification compréhensible sur un écran tel qu'un écran de télévision pour être visionné directement et en continu
Regarder l'écran radar est comme un jeu vidéo, mais l'écran montre une image vivante et vraie des navires et des avions et toute erreur mineure que beaucoup peuvent perdre leur vie.

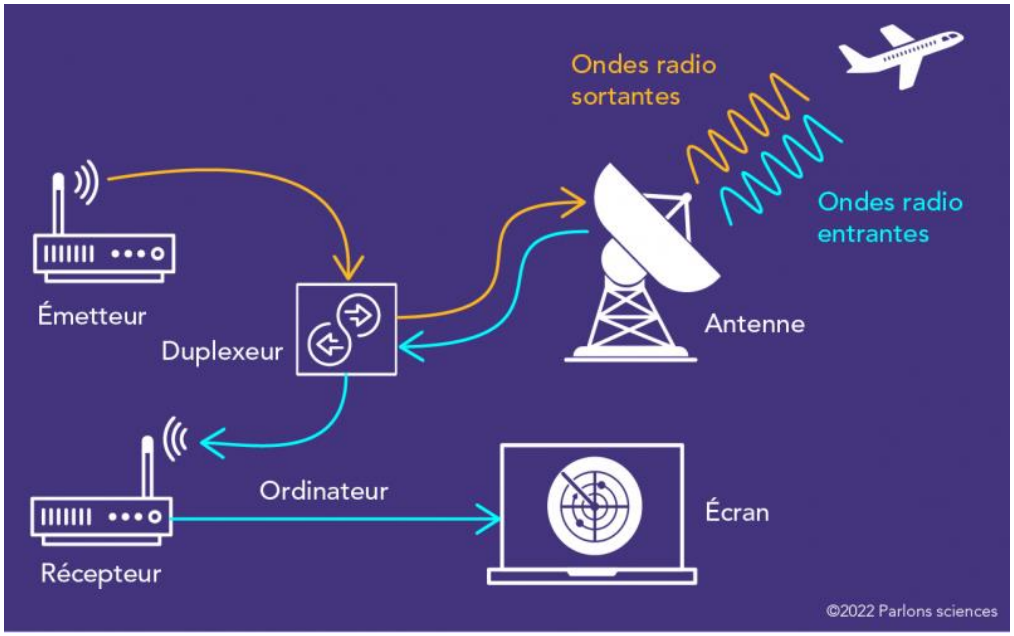


Figure : 1.12 : parties du systéme radar

- Multiplicateur (duplexeur)
- C’est un instrument important dans le radar qui sépare l’action de l’antenne en cas de transmission de celui-ci dans le cas de la réception, de sorte que lorsque l’antenne envoie il ne peut pas recevoir et vice versa [11].

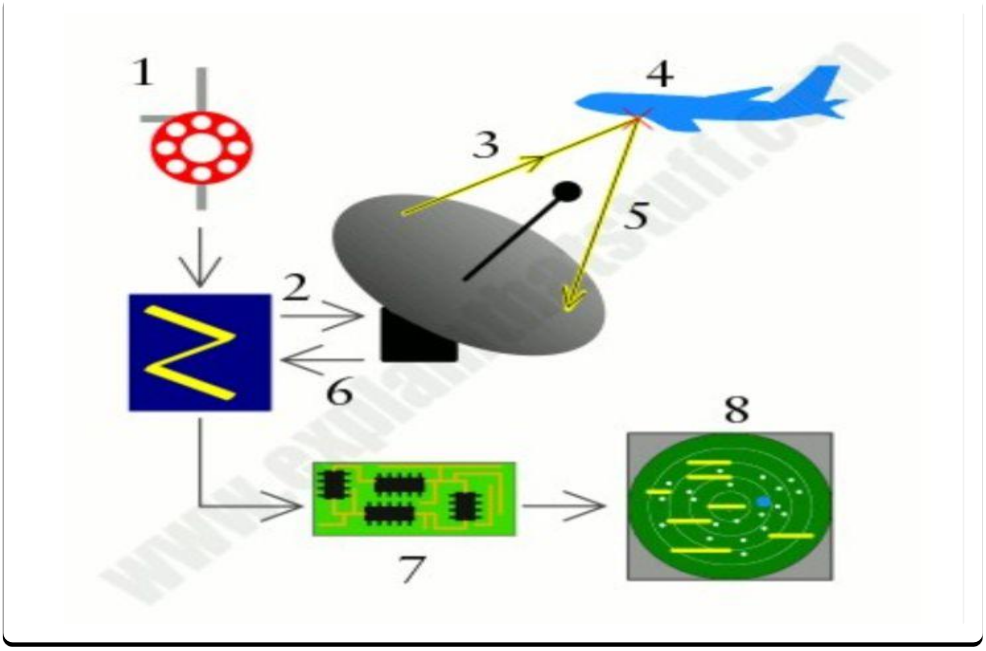


Figure 1.13 : Un schéma résumant le fonctionnement du radar

1. Le magnétron génère des ondes radio à haute fréquence.
2. Le multiplicateur dirige les ondes radio du magnétron vers l’antenne.
3. L’antenne envoie un faisceau précis d’ondes radio dans l’air.
4. Les ondes radio entrent en collision avec les avions ennemis et les inversent.
5. L’antenne capte le signal reflété dans la période entre les émissions.
6. Le multiplicateur dirige l’antenne pour agir comme une unité de réception.
7. L’ordinateur reçoit, traite et affiche des ondes réfléchissantes sur un écran de télévision.
8. L’avion ennemi apparaît sur l’écran radar

1.14-Bandes de fréquences radars

La classification des systèmes radar par la bande de fréquences, a émergé pendant la Seconde Guerre mondiale (par exemple, les radars en bande L sont utilisés pour les études sur la turbulence de l'air) et fut la première à être utilisée. Le tableau donne la désignation du radar IEEE pour les bandes de fréquences couramment utilisées dans les systèmes radar et une description des types d'applications pour chaque bande

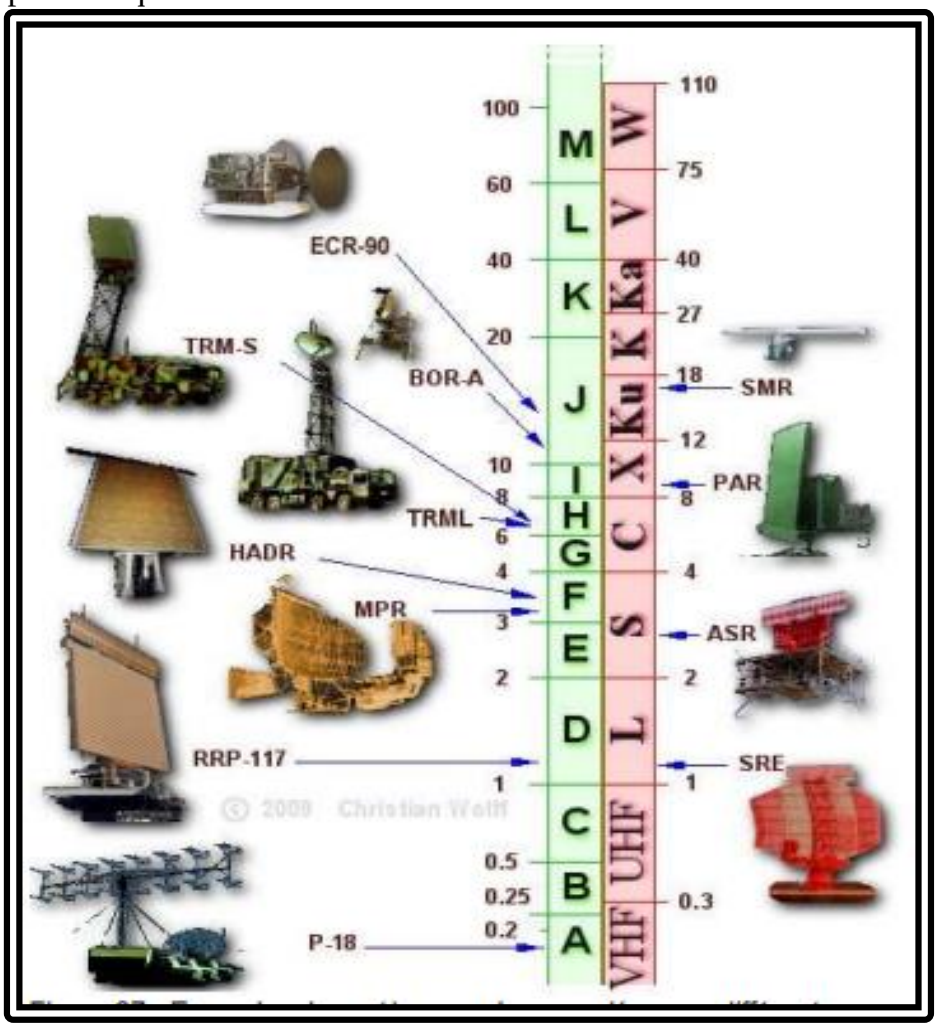


Figure 1.14 : Exemples de systèmes radar associées aux différentes bandes.

Plage de fréquences	Désignation	Applications
3 à 30 MHz	HF	Radars côtiers et systèmes au-dessus de l'horizon
30 à 300 MHz	VHF	Systèmes à très longue portée et pénétrant dans le sol
0.3 à 1 GHz	UHF	Systèmes à très longue portée et pénétrant le feuillage
1 à 2 GHz	L	Contrôle et surveillance du trafic aérien à longue distance
2 à 4 GHz	S	Surveillance à moyenne portée, météo à longue portée etsystèmes marins
4 à 8 GHz	C	Suivi à longue portée, surveillance à moyenne portée et profils devent
8 à 12 GHz	X	Guidage de missile, radar marin et cartographie à moyennerésolution
12 à 18 GHz	Ku	Imagerie haute résolution et applications marines
18 à 27 GHz	K	Détection des nuages et pistolets radar de police
27 à 40 GHz	Ka	Cartographie haute résolution et surveillance à courte portée

Tableau 1.3 : Classification radar par fréquence de fonctionnement

1.15-Conclusion

.Le radar est donc un dispositif fonctionnel qui émet et reçoit des signaux électromagnétiques et qui a de nombreuses applications à ce jour, notamment pour détecter les objets d'intérêt (cibles) tout en prenant en considération les objets non d'intérêt (fouillis, interférences, brouilleurs). Cette détection extrait initialement les informations du signal d'écho. Les données concernant la cible incluent, mais ne se limitent pas à cela, la distance, la vitesse, la direction, la description, etc. L'indicateur de mesure

CHAPITRE 2 :

Etude sur Nébo m et leur projection en Tindouf et étude sur mercure rouge

1-Introduction

Depuis la découverte du radar à la fin du 19ème siècle, son développement et sa course se sont multipliés entre les pays, à tel point que la France, la Grande-Bretagne et l'Amérique développaient un programme pour fabriquer le plus grand radar, comme c'était le cas dans plusieurs autres pays comme l'Allemagne et Russie.
Le radar se développait rapidement, à mesure que la technologie radar se répandait, et le terme radar ne se limitait plus au seul domaine militaire, mais s'appliquait plutôt au domaine civil, et ce dernier se développa grandement, ce qui nous rendait heureux de vivre dans tout le luxe.

2- Définition.

Le système radar NEBO-M est un système de surveillance radar russe développé par Nizhny Novgorod Research Institute of Radio Engineering (NNIIRT). Voici une vue d'ensemble de cet équipement :

- ✓ Description :

- Le NEBO-M est un radar de surveillance tridimensionnel à longue portée conçu pour la détection, la localisation et le suivi d'aéronefs, de missiles balistiques, de drones et d'autres objets volants à différentes altitudes et distances.
- Il utilise des techniques radar avancées telles que la formation de faisceaux électroniques et le traitement du signal numérique pour améliorer les performances de détection et de suivi.

- ✓ Caractéristiques Techniques :

- Portée : Le NEBO-M est capable de détecter des cibles à des distances allant jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres, selon les conditions environnementales et les caractéristiques de la cible.
- Altitude : Il peut détecter des cibles à différentes altitudes, y compris des aéronefs volant à haute altitude et des missiles balistiques.
- Capacités Anti-Brouillage : Le système dispose de capacités anti-brouillage pour contrer les tentatives de perturbation ou de brouillage des signaux radar.
- Mobilité : Le NEBO-M est conçu pour être transportable et peut être déployé rapidement pour des missions de surveillance temporaires ou à court terme.
- Frequency : VHF , UHF , L and X band
- RANGE :3,800 km (2400 mi) version nationale la plus récent . Version d’exportation de 600 à 1800 km .
- Altitude : 600 -1200 km (370 – 750 mi)
- Angle 360°
- Power différent pour individuel components.

✓ Modes de Fonctionnement :

- Surveillance Aérienne : Le NEBO-M est principalement utilisé pour la surveillance de l'espace aérien, y compris la détection d'aéronefs, de drones et d'autres objets volants.
- Surveillance Balistique : Il est également capable de détecter et de suivre des missiles balistiques, offrant ainsi des capacités de détection précoce et de suivi pour la défense aérienne et la défense antimissile.

✓ Intégration avec d'autres Systèmes :

- Le NEBO-M peut être intégré dans un réseau de défense aérienne plus large, permettant le partage d'informations et la coordination des activités de surveillance et de défense.
- Il peut également être utilisé en conjonction avec d'autres capteurs et systèmes de surveillance pour une couverture radar plus complète et une meilleure conscience de la situation.

✓ Applications :

- Les principales applications du NEBO-M incluent la défense aérienne, la surveillance de l'espace aérien, la défense antimissile, et la surveillance des frontières.

  Nebo-M peut échanger des informations observées avec des systèmes de missiles antiaériens comme le système de missiles Pantsir (https://en.m.wikipedia.org/wiki/Pantsir_missile_system), S-300 et S-400 ou d'autres afin de les guider vers les menaces.

  et peut suivre les objets qui volent jusqu'à Mach 6,4.



Figure 2.1 : RADAR NEBO-M

Le Nebo M est le premier radar 3D à fusionner trois radars 3D déjà en place, la bande VHF Nebo SVU, la bande L Protivnik G et la bande S/X. Le poste de commandement regroupe toutes les voies. Son objectif est de faire face aux menaces de L.O. telles que le F-35. En positionnant les radars, à gauche, en relation avec l'axe de menace, le radar VHF permet d'alerter précocement, tandis que les radars en bande X terrestre offrent une trajectoire plus fine, éclairant les cibles sous des angles où le RCS est élevé. De plus, Nebo M offre une résistance accrue au brouillage.

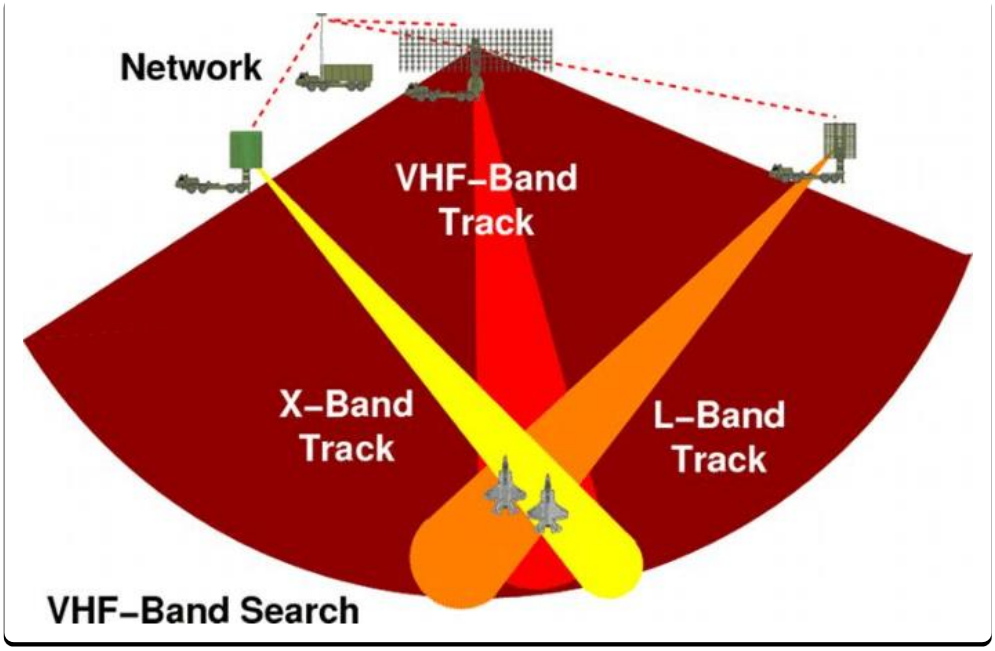


Figure 2.2VHF Band Radars

Le RLM-D est un radar mobile à balayage électronique actif (AESA) en bande L destiné à la surveillance aérienne. Le radar à bande L permet de suivre de manière précise les cibles entrantes afin de générer une trajectoire précise qui convient au guidage des nouveaux et anciens missiles surface-air. Le RLM-D est une version améliorée du radar Protivnik-GE qui est intégré au système de camion BAZ-6909 8x8. Le système radar a la possibilité de fonctionner en mode de recherche et de suivi agile ou en mode de balayage circulaire traditionnel, avec l'antenne qui se déplace automatiquement. NNIIRT a créé le radar RLM-D qui est un élément essentiel du système radar multifonctionnel Nebo-M.



Figure 2.3 : RLM-D Radar.

Le RLM-S est un système radar mobile à balayage électronique actif (AESA) en bande X conçu pour la surveillance aérienne.Le radar en bande X fournit un suivi précis des cibles entrantes pour générer une trajectoire précise adaptée au guidage des missiles surface-air nouveaux et existants.Le RLM-S est un développement supplémentaire du système radar mobile Gamma-S1 intégré au système de camion BAZ-6909 8x8.Le système radar peut fonctionner en mode de recherche et de suivi agile ou en mode de balayage circulaire conventionnel avec l'antenne tournant mécaniquement.Le radar RLM-S a été développé par NNIIRT en tant que composant clé du système radar multifonctionnel Nebo-M



Figure 2.4 : RLM-S Radar

Le KU-RLK est un système radar de fusion de piste qui combine des données provenant de divers autres systèmes radar. Il opère dans le Nebo-M en combinant les données radar des systèmes de surveillance aérienne RLM-M, RLM-S et RLM-D afin de produire une image aérienne unique qui

comprend une variété de cibles respiratoires et de missiles balistiques. Le KU-RLK offre un soutien aux systèmes de défense aérienne en fournissant des informations sur toutes les menaces actuelles qui s'étendent sur une vaste région. NNIIRT a conçu le KU-RLK qui utilise le système de camion BAZ-6909 8x8 comme un élément essentiel du système radar multifonctionnel Nebo-M.



Figure 2.5 : KU-RLK Poste de commandement

3-Communication de RADAR NEBO-M AVEC S-400

La communication entre le radar NEBO-M et le système de défense aérienne S-400 repose sur un réseau de liaison de données sécurisé et robuste. Voici quelques détails sur cette communication :

- Transmission des données de surveillance : Le radar NEBO-M collecte des

données de surveillance sur les cibles aériennes détectées, y compris leur position, leur vitesse, leur altitude, etc. Ces données sont transmises au système S-400 via une liaison de données dédiée.

- Intégration des informations tactiques : Les informations tactiques fournies

par le NEBO-M, telles que l'identification des cibles et les mises à jour en temps réel de la situation aérienne, sont intégrées dans le système de gestion de combat rapide.du S-400. Cela permet une évaluation précise des menaces aériennes et une prise de décision.

- Coordination des tirs : Sur la base des données fournies par le NEBO-M, le

système S-400 peut sélectionner les cibles prioritaires et coordonner les tirs de ses missiles avec une grande précision. Cette coordination permet une efficacité maximale lors de l'engagement des menaces aériennes.

- Réactivité accrue : La communication en temps réel entre le NEBO-M et le S

400 permet une réactivité accrue face aux menaces aériennes émergentes. Les mises à jour rapides de la situation aérienne garantissent que le système de défense aérienne est prêt à répondre aux menaces potentielles.

- Sécurité des données : La liaison de données entre le NEBO-M et le S-400 est

sécurisée pour empêcher toute interception ou altération des informations critiques. Cela garantit l'intégrité et la confidentialité des données de surveillance et de commandement.

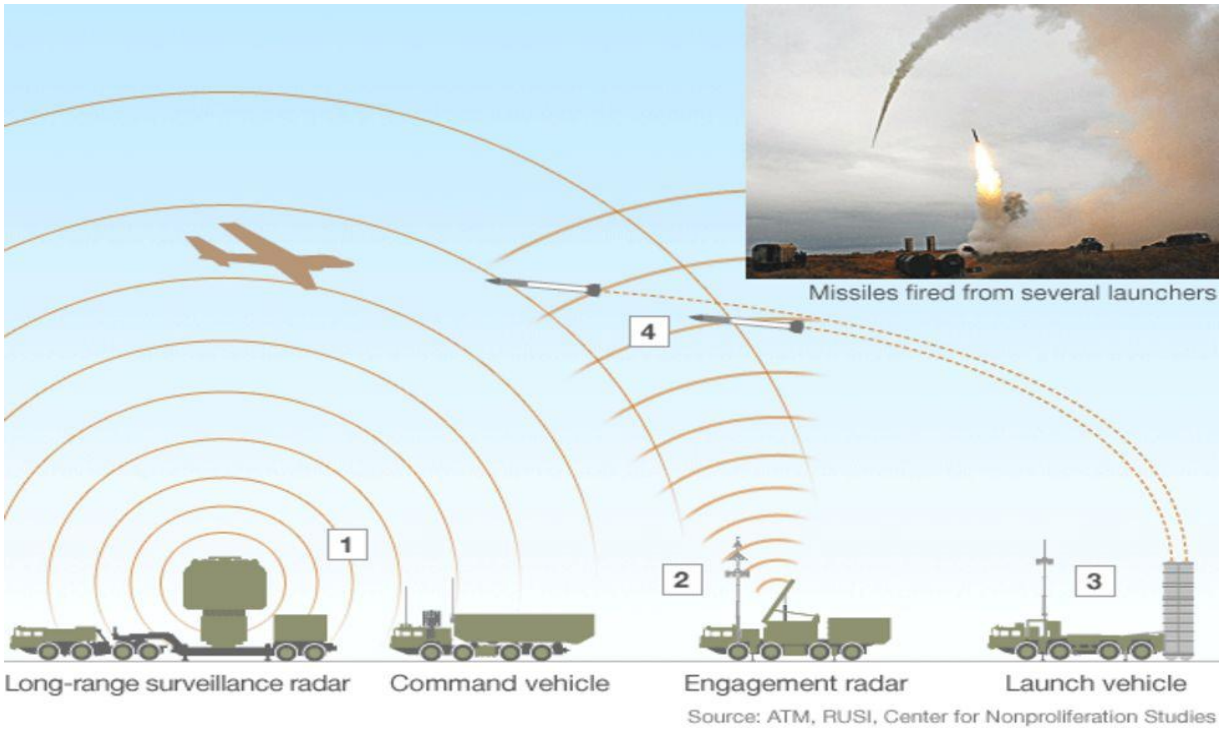


Figure 2.6 : la Communication de RADAR NEBO-M AVEC S-400

projection de radar Nébo m ou wilaya Tindouf

on va projecté le radar nebo m en tindouf pour le protection :

wilaya de tindouf :

Tindouf est une commune de l'Ouest de l'Algérie. Elle dépend administrativement de la wilaya de Tindouf, dont elle est le chef-lieu. La ville se situe à 1 460 km au sud-ouest d'Alger. En 2008, sa population est de 45 966 habitants, auxquels s'ajoutent

90 000 réfugiés sahraouis.

Superficie : 70 009 km²
Altitude : 433 m
Code ONS : 3701
Coordonnées : 27° 40′ 00″ nord, 8° 09′ 00″ ouest
Nom arabe : تندوف
Population : 45 966 hab. (2008)
La nature de wilaya Son climat est désertique, chaud et sec en été, et doux en hiver. Les températures varient entre 25° et 30° degrés en hiver et entre 35° et 45° degrés en été.

Range de projection en Tindouf :

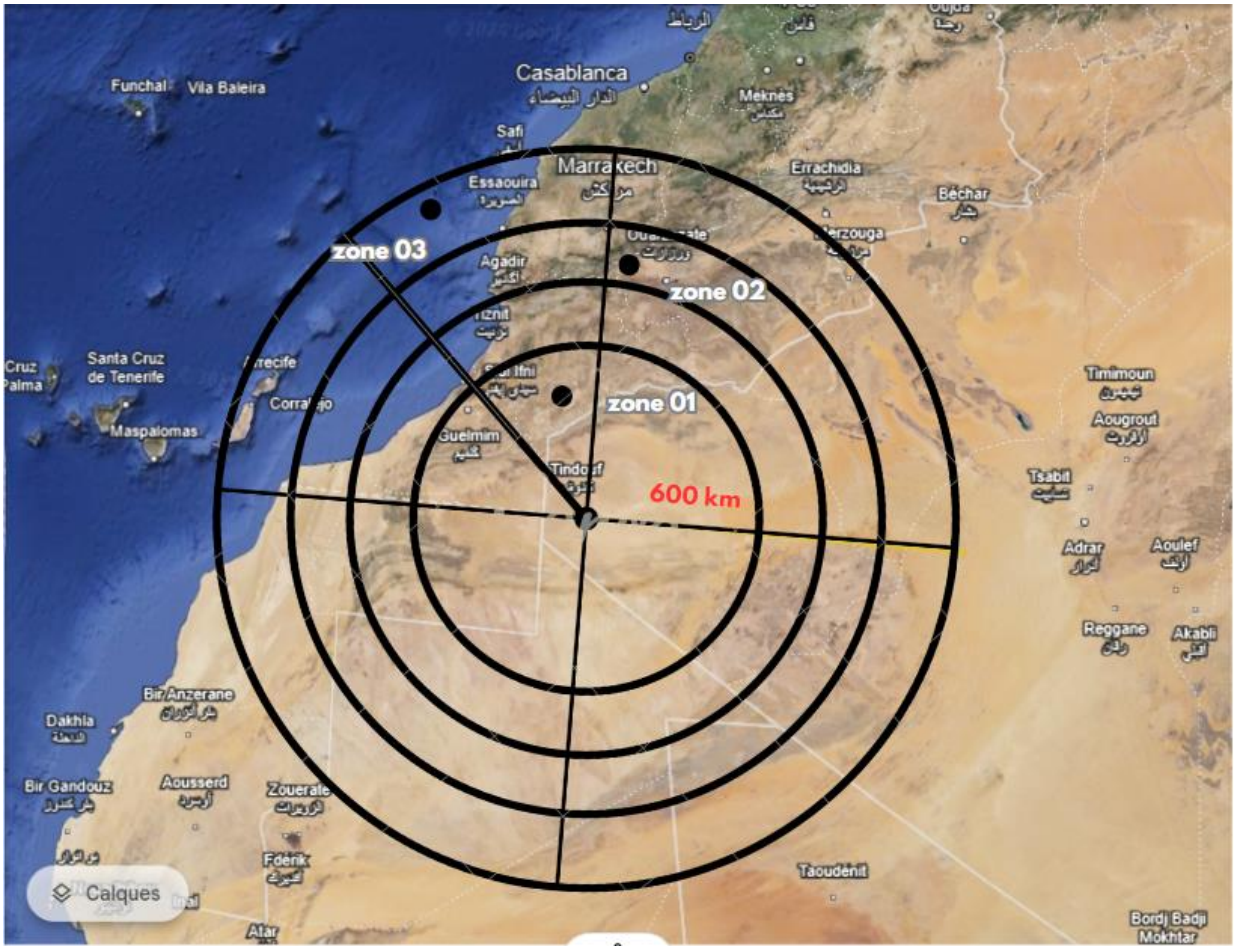


Figure 2.7 : range de radar Nébo m en wilaya de Tindouf

Les zones fonctionnent de radar a range de 600 km :

Zone 03 : zone de Suivi et reconnaissance tous les objets.

Zone 02 : zone de Déterminer le chemin exact pour agir.

Zone 01 : zone de protection de wilaya.

Pour calculer le nombre de radars nécessaires pour couvrir la région de Tindouf en utilisant une portée de détection de 600 kilomètres, nous devons suivre les étapes suivantes :

Calculer la superficie de couverture d'un seul radar :

La formule donnée est incorrecte. La surface de couverture d'un radar circulaire avec un rayon RRR (portée du radar) est calculée par la formule de l'aire d'un cercle :

$$A=\pi \times R^2 \quad \text{.....(01)}$$

Avec R=600R = 600R=600 km, nous avons :

$$A=\pi \times 600^2 \quad \text{.....(02)}$$

Superficie de Tindouf :

La superficie de Tindouf est d'environ 159 000 kilomètres carrés.

Calculer le nombre de radars nécessaires :

Le nombre de radars nécessaires pour couvrir une superficie donnée est le rapport entre la superficie totale et la superficie de couverture d'un radar :

$$N = \frac{Superficie\ de\ Tindouf}{Superficie\ de\ couverture\ d'un\ radar} \quad \text{.....(03)}$$

Calculons ces valeurs.

Étape 1 : Calcul de la superficie de couverture d'un radar

$$A=\pi \times 600^2 \quad \text{.....(04)}$$

Étape 2 : Calcul du nombre de radars nécessaires

$$N = \frac{70\ 009}{A} \quad \text{.....(05)}$$

Je vais faire les calculs.

Résultats

- Superficie de couverture d'un radar **:**

$$A=\pi \times (600)^2 \simeq 113097.34 \text{ kilome`tres carre´s} \quad \text{...(06)}$$

Nombre de radars nécessaires pour couvrir Tindouf :

$$N = \frac{70\ 009}{113097.34} \simeq 0.6 \quad \text{.....(07)}$$

Cela signifie qu'un seul radar avec une portée de 600 kilomètres est largement suffisant pour couvrir l'intégralité de la région de Tindouf, puisque la superficie de couverture d'un radar est plus grande que la superficie de Tindouf.

4-MERCURE ROUGE

Introduction

Le mercure rouge est une substance inconnue, connue depuis les années 1980, en raison des multiples allégations qui ont été faites concernant ses multiples utilisations dans la fabrication d'armes différentes sans lien entre elles. D'autres questions ont été posées concernant la validité de l'existence d'une telle substance, par exemple, les auteurs de cet article prétendent être impliqués dans l'industrie nucléaire. ou offrir une méthode plus simple pour fabriquer des bombes de fusion en faisant exploser du mercure rouge, fournissant une pression élevée pour commencer une réaction nucléaire de fusion sans avoir d'abord besoin de combustible fissile détoné pour fournir la pression

requise (voir la bombe à hydrogène), et d'autres allégations ont également suggéré que le mercure était également utilisé Le mercure rouge joue un rôle essentiel dans les systèmes de guidage des missiles balistiques soviétiques, ou même serait-il l'alternative russe utilisée pour la peinture anti-radar dans les avions furtifs.

5-Utilisations du mercure rouge

1-Convertir une explosion normale en explosion massive :
Du mercure rouge est ajouté aux substances explosives classiques pour amplifier l'explosion. En fait, les substances dérivées du mercure amplifient l'explosion, comme le deutride de lithium, un isotope radioactif de l'hydrure de lithium utilisé comme combustible dans une conception spécifique pour les ogives nucléaires, l'oxyde de mercure, le sulfure de mercure et l'oxyde d'antimoine de mercure.
2-Guidage des missiles :
Il a également été utilisé comme un stratagème par l'Union soviétique sur l'hypothèse que la substance était surhumaine et capable de diriger les missiles balistiques soviétiques.
3. Revêtement antiradar :
Ce canular a été utilisé par l'Union soviétique en mettant différents produits en rouge sur le marché et cet usage est incorrect et a été utilisé à des fins politiques par l'Union soviétique.
Fabrication de bombes nucléaires :
Il va modifier le mercure rouge du monde de l'industrie nucléaire, de sorte qu'il sera utilisé pour fabriquer une bombe nucléaire avec un impact énorme dans une petite taille qui ne dépasse pas le poing, et il n'a pas encore été utilisé, ce qui rend cette utilisation incertaine.

6-BRUIT EN RÉCEPTION RADAR

La réception radar est fortement influencée par le bruit, car c'est sa présence qui restreint les possibilités de détection du signal utile. L'objectif de ce paragraphe est d'expliciter les concepts simples pertinents pour l'utilisation du radar.
Les sources sonores d'un récepteur comprennent :

• les résistances qui génèrent du bruit thermique .
• les éléments actifs qui génèrent leurs propres bruits.

Le récepteur radar combine toutes ces sources de bruit pour créer le bruit global de réception. En pratique, dans la bande d'un radar, le bruit est réparti de manière homogène à toutes les fréquences. L'intensité moyenne du bruit à la sortie d'un récepteur sera donc, toutes choses égales par ailleurs, liée à sa bande passante.
Dans la réalité, le bruit corrompura les signaux renvoyés par le radar, ce qui créera des tensions indésirables à toutes les fréquences radar. Les sons sont aléatoires et peuvent être expliqués par leur fonction de densité spectrale de puissance (DSP). L'intensité du bruit N dépend de la bande passante de fonctionnement du radar, qui est indiquée par B. En particulier, nous avons :

$$N = DSP\ Le\ bruit \times B \quad \text{.....(08)}$$

Effectivement, il est impossible de prendre en considération tous les bruits extérieurs entrant par l'antenne, que ce soit des bruits atmosphériques, cosmiques ou d'origine industrielle et accidentelle, ou des brouillages divers, ou encore en provenance d'un autre radar, par exemple. En général, ces bruits parasites restent d'une importance beaucoup plus faible que le bruit thermique lorsqu'ils ne sont pas éliminés.
En général, lorsque ces bruits parasites ne sont pas éliminés, ils sont beaucoup moins importants que le bruit thermique.
Le bruit interne d'un récepteur peut être purement thermique ou inclure d'autres éléments inhérents. La majorité des autres sources présentent un certain spectre de fréquence qui ressemble à celui du bruit thermique. Ainsi, cela peut être représenté par le bruit thermique.
La température équivalente Te peut également être utilisée pour mesurer le bruit dans un système. Il résulte du mouvement brownien des atomes dans les conducteurs et varie en fonction du type de circuit utilisé.
Une antenne capable de capter un signal minimal face à un corps noir est égale à la température de celui-ci (290 K = 17°C = 62°F à la température de la pièce), plule bruit interne du circuit électronique.
Et donc la puissance de bruit d'entrée d'une antenne sans perte est :

$$Ni = k.Te.B \quad \text{.....(09)}$$

Avec :
$k = 1.38 \times 10{-}23$ qui est la constante de Boltzmann.
Te :est la température de bruit effective en degrés Kelvin (°K).

7-Le rapport signal sur bruit

Le rapport signal-bruit, également appelé SNR de l'anglais Signal-to-Noise Ratio, représente la qualité de la transmission d'une information. Il s'agit d'un concept électronique, qui renvoie au rapport des puissances entre : - Le signal électrique d'amplitude maximale pour lequel la distorsion à la sortie reste inférieure à une valeur limite ; - le bruit de fond : signal qu'on ne peut convertir en information, qui correspond souvent à la modulation présente à la sortie du dispositif en l'absence d'un signal à l'entrée.
En général, il se manifeste dans ce contexte en décibels (dB). Le rapport signal-bruit est une notion qui s'applique à toutes les disciplines [12].

8-Facteur de Bruit

Le facteur de bruit (noise figure ou noise factor en anglais) d'un appareil électronique quelconque, qu'il soit actif ou passif, évalue la dégradation relative du rapport signal sur bruit entre sa sortie et son entrée. Si la température ambiante est de 290 °K, le bruit de fond en entrée est un bruit thermique correspondant à cette température de référence de 290 °K. En d'autres termes, le facteur de bruit est défini comme la somme des rapports signal sur bruit en entrée et en sortie de ce même appareil lorsque le bruit en entrée est un bruit thermique à une température normalisée Te =290 °K. Ce facteur de bruit représente la fidélité d'un récepteur radar [13].

Le facteur de bruit est généralement noté F.

$$F = \frac{SNR_i}{SNR_0} = \frac{S_i/N_i}{S_0/N_0} \quad \text{.....(10)}$$

Où $(SNR)_i$ et $(SNR)_o$ sont respectivement les rapports signal sur bruit en entrée et en sortie.

S_i est la puissance du signal en entrée et N_i le bruit d'entrée. De même S_o et N_o sont, respectivement, le signal de sortie et la puissance de bruit.

Si nous tirons S_i de la relation précédente on aura :

$S_i = F.(SNR)_o.N_i$ Or on a : $N_i = k.T_e.B$

Donc il va en résulter : $S_i = k.T_e.B.F.(SNR)_o$

Notons qu'Il est toujours préférable que le signal détectable minimum S_{min} soit supérieur à la puissance de bruit.

Alors : $S_{min} = k.T_e.B.F.(SNR)_{o\,min}$ .....(11)

La détection est basée sur l'établissement d'un niveau de seuil à la sortie du récepteur. Si la sortie du récepteur dépasse le seuil, un signal est supposé être présent. C'est ce qu'on appellela détection de seuil [4].

Le seuil de détection radar est égal au SNR de sortie minimum, $(SNR)_{omin}$. Si nous remplaçons l'équation (2.12) dans l'équation (2.8) on aura :

$$R_{min} = \left[\frac{P_t G^2 \sigma^2}{(4\pi)^3 k T_\theta B F SNR_{min}}\right]^{\frac{1}{4}} \quad \text{.....(12)}$$

Influence des pertes sur la portée

Au moment de develepement de l'équation du radar, des conditions de propagations idéales ont été prises en compte, sans perturbation.Toutefois, en pratique, la transmission est impactée par de nombreuses pertes qui peuvent avoir un impact considérable sur l'efficacité du radar.

La source des pertes

Les pertes qui surviennent dans l'ensemble du système radar sont communément désignées comme des pertes du système.Le SNR à la sortie du récepteur est diminué par les pertes.Chaque étape du traitement du signal dans les parties d'émission et de réception du système radar est liée à une perte de système.Outre les pertes liées au traitement du signal, la circulation de l'énergie électromagnétique dans l'atmosphère entraîne une autre perte appelée atténuation atmosphérique.Les pertes qualitatives liées à l'utilisation sur le terrain du système radar et aux pertes d'affichage sont les autres pertes.En général, on estime ces facteurs de perte en se basant sur l'expérience antérieure et les observations expérimentales du concepteur du radar.

Les facteurs de perte ne sont pas réellement statistiques. Certains d'entre eux peuvent être

extrêmement complexes à identifier de manière précise. Malgré le faible niveau de perte lié à un facteur spécifique, il y a de nombreux mécanismes de perte envisageables et leurs contributions totales aux pertes du système peuvent être considérables.On peut classer tous ces facteurs de perte en trois catégories principales : les pertes de conception, les pertes d'utilisation et les pertes de propagation [14].

9-Equation de la portée sous l'influence des perte

Une pondération par un facteur de pertes L avec (L > 1) est ajoutée à l'équation de la portée définie précédemment, ce qui donne :

$$R_{min} = \left[\frac{P_t G^2 \sigma^2}{(4\pi)^3 k T_\theta B F S N R_{min}}\right]^{\frac{1}{4}} \quad \text{.....(13)}$$

Ce facteur comprend différentes pertes telles que les suivantes :

- diminutions internes dans les circuits de transmission et de réception. En général, elles sont d'environ 1 à 2 dB.
- diminutions causées par les variations de la surface équivalente,
- Pertes causées par le faisceau : dans l'équation du radar, le gain de l'antenne est supposé constant, cependant ce gain varie pendant le balayage, ce qui doit être pris en considération.

Il convient de souligner que de manière générale, les pertes radar identifiées diminuent le SNR global.

On a aussi : (SNR)

$$R_{min} = \frac{P_t G^2 \sigma^2}{(4\pi)^3 k T_\theta B F L R_{max}} \quad \text{.....(16)}$$

Ainsi pour atteindre un certain SNR pour une plage de détection donnée, l'équation radar peutêtre modifiée pour calculer la largeur d'impulsion requise. Dans ce cas, l'équation radar peut

$$r = \frac{(4\pi)^3 k T_e B F L R^4 S N R}{P_t G^2 \sigma^2} \quad \text{.....(17)}$$

Equation de la portée de référence radar

Au cours de la conception, de nombreux problèmes peuvent être dérivés ou calculés en se basant sur la portée de référence radar qui est généralement fournie par l'utilisateur final du radar. Cette portée représente simplement la plage à laquelle une valeur SNR spécifique, appelée SNRre$f$, doit être obtenue en utilisant une largeur d'impulsion de référence spécifique rre$f$, pour une section efficace cible prédéterminée σre$f$ [6].

Selon les calculs des plages de référence radar, on suppose que la cible se trouve sur la ligne de visée radar déterminée par le gain d'antenne maximal dans un faisceau (côté large de l'antenne). L'équation de portée de référence radar est :

$$R_{ref} = \frac{(p_i G^2 \sigma_{ref}^2 c_{ref})^{\frac{1}{4}}}{(4\pi)^3 K T_e F L S N R_{ref}} \quad \text{.....(18)}$$

Et donc l'équation radar à n'importe quelle plage de détection pour toute autre combinaisonSNR, SER(RCS) et largeur d'impulsion r peut être donnée comme suit :

$$R = R_{ref} \left(\frac{c}{c_{ref}} \frac{\sigma}{\sigma_{ref}} \frac{SNR_{ref}}{SNR} \frac{1}{L_p}\right)^{\frac{1}{4}} \quad \text{.....(19)}$$

L_p : pour désigner les pertes supplémentaires, est introduit pour considérer la possibilité quela cible de non référence ne soit pas sur la ligne de visée radar et aussi d'autres pertes associées au scénario spécifique.

$$SNR = SNR\left(\frac{c}{c_{ref}} \frac{1}{L_p} . \frac{\sigma}{\sigma_{ref}} \frac{R_{ref}}{R}\right)^4 \quad \text{.....(20)}$$

10-Fouillis radar

1-Définition

Le terme "fouillis" est employé pour désigner tout objet qui peut produire des échos radar indésirables qui pourraient perturber les opérations normales du radar. Les retours parasites qui pénètrent dans le radar via le lobe principal de l'antenne sont désignés sous le nom de fouillis du lobe principal ; ils sont également connus sous le nom de fouillis des lobes secondaires. Il existe deux grandes catégories de fouillis : le fouillis de surface et le fouillis aérien ou volumique. Le fouillis de surface est constitué d'arbres, de végétation, de terrain, de structures artificielles et de la surface de la mer (fouillis marin). La paille, la pluie, les oiseaux et les insectes forment des fouillis de volume qui ont généralement une grande étendue (taille). D'une zone à l'autre, le fouillis de surface varie.
Alors que l'analyse de volume peut être plus prédictive.
Les résonances des fouillis sont imprévisibles et présentent des caractéristiques similaires à celles du bruit thermique, car les différents composants des fouillis ont des phases et des amplitudes

aléatoires. L'intensité du signal de fouillis est souvent bien supérieure au niveau de bruit du récepteur. Par conséquent, la détection des cibles intégrées dans un arrière-plan à forte écho est influencée par le rapport signal sur encombrement (SCR) plutôt que par le SNR [4].

11-Fouillis de surface :

Le fouillis de surface englobe le fouillis terrestre et le fouillis marin et est communément désigné sous le nom de fouillis de surface. Les radars aéroportés affichent le fouillis de zone en mode de recherche vers le bas. Cette préoccupation est également importante pour les radars au sol lorsqu'ils cherchent des cibles à des angles de rasage faibles, c'est-à-dire l'angle entre la surface de la terre et l'axe principal du faisceau d'éclairage de l'antenne radar

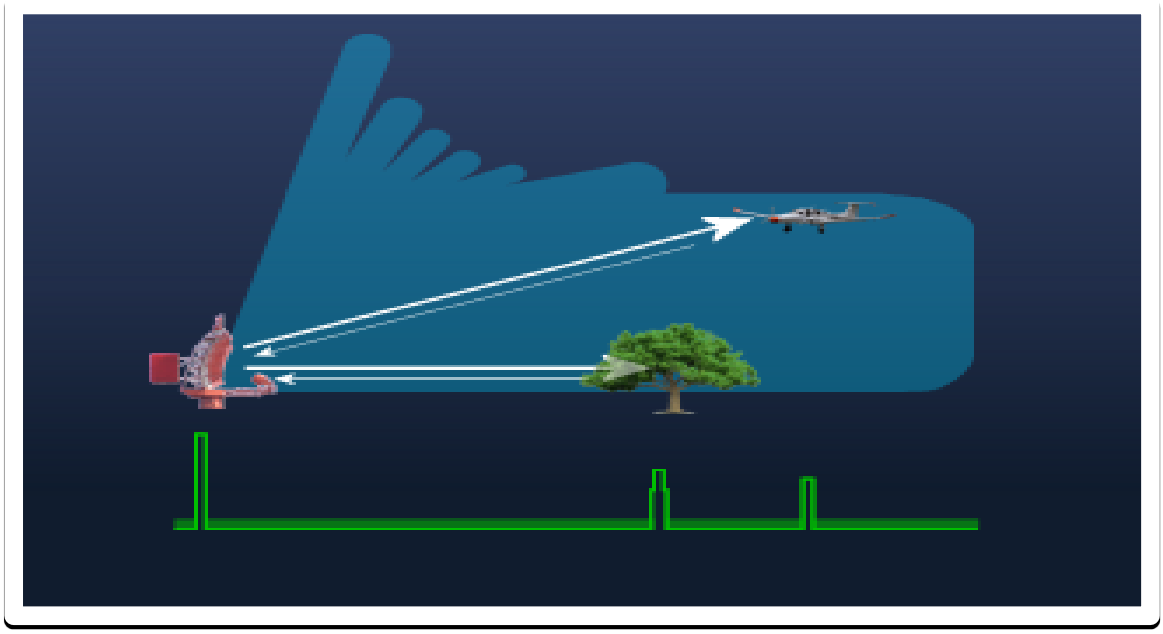


Figure 2.7: Fouillis de volume et surface

12-Fouillis de volume

La pluie (météo), les balles, les oiseaux et les insectes sont des éléments qui constituent le fouillis de volume. En général, on exprime le coefficient d'encombrement volumique en mètres carrés (RCS par volume de résolution). Les fouillis angulaires ou fouillis biologiques sont souvent utilisés pour désigner les oiseaux, les insectes et autres particules volante

13-Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons discuté d'un type de radar et découvert ses caractéristiques et composants uniques. Nous avons également évoqué le mercure rouge et sa relation avec le radar et les armes qui le composent. Nous avons également découvert le bruit qui gêne le fonctionnement. de radar.

CHAPITRE 3 :

Réalisation de radar par Arduino

1-Introduction :

Le Radar de détection constitue un outil permettant de repérer les cibles pertinentes, définies en fonction des besoins des utilisateurs, et donc de rejeter les signaux parasites après leur identification. Des critères de détection sont établis afin de distinguer les signaux utiles des signaux parasites.
Le but de ce chapitre est de faire la présentation des éléments matériels et logiciels employés pour concevoir et mettre en place le radar de détection, ainsi que de donner une explication de son fonctionnement et de sa structure.

1-2Description Matériel

Pour réaliser le Radar de détection nous avons besoin :

- D'une carte Arduino Uno.
- D'un capteur ultrasons HC-SR04.
- D'un servomoteur.
- D'un afficheur LCD.

1-3.Les différentes étapes du projet

La réalisation de notre Radar a été faite en deux parties:

1) La première partie est la conception assistée par ordinateur CAO et la simulation avec Tinkercad + processing
2) La deuxième partie est la réalisation, le montage pratique.

1-4.Définition du module Arduino

Arduino, ainsi que son nouveau nom Genuino, sont des marques qui proposent des cartes matériellement libres avec un microcontrôleur (d'architecture Atmel telles que l'Atmega328p, et d'architecture ARM telles que le Cortex-M3 pour Arduino Due). Les modèles de ces cartes sont édités sous licence ouverte. Néanmoins, certaines parties, telles que le microcontrôleur par exemple, ne sont pas disponibles sous licence libre [12].
L'Arduino est une interface programmable qui permet de contrôler des capteurs et des actionneurs pour simuler ou concevoir des systèmes automatisés. Elle a la capacité de stocker et de mettre en marche un programme. La carte est informée de ces entrées de manière analogique ou numérique. Le modèle UNO de l`entreprise ARDUINO est une carte électronique qui est alimentée par un microcontrôleur ATMEL de kind ATMega328.ATMega328, un microcontrôleur 8bits de los angeles famille AVR, est un microcontrôleur programmable en langage C.Les cartes ARDUINO (il existe d'autres modèles) présentent principalement un intérêt pour leur simplicité d'utilisation.ARDUINO met à disposition un environnement de développement basé sur des outils open code.Le microcontrôleur peut facilement charger le programme dans sa mémoire thru un port USB.

2-Le Carte Arduino Uno.

On peut trouver différentes formes d'unités de traitement. En sont inclus les microcontrôleurs. Les dépenses et les caractéristiques qu'ils offrent varient en fonction du cahier des charges du système à élaborer. Nous allons faire appel à la carte Arduino Uno.
La carte Arduino Uno est construite à partir d'un microcontrôleur ATMega328 de 8 bits à 16 MHz, qui peut être configuré pour analyser et générer des signaux électroniques. En ce qui concerne la programmation, l'Arduino peut être utilisé en langage C ou C++ pour son contrôle. Le programme est équipé d'un boot loader qui permet de modifier le programme sans avoir besoin d'un programmateur.

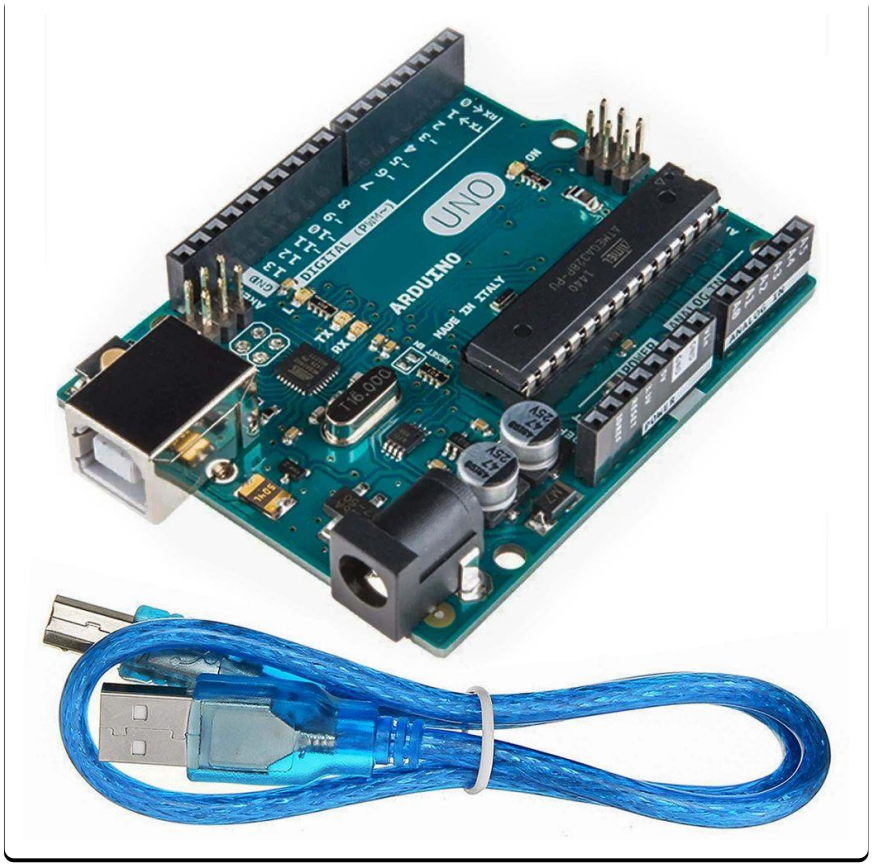


Figure 3.1 : CARTE QRDUINO UNO .

2-1.Composantes de la carte Arduino Uno

La carte Arduino Uno repose sur un microcontrôleur ATMega328 qui fonctionne à une fréquence de 16MHz. Il s'agit de la carte à microcontrôleur la plus récente et la plus abordable [13]. Le tableau 2.1 présente les caractéristiques techniques de la carte Arduino UNO.

Microcontrôleur	ATMega328
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation – entrée - (Recommandée)	7-12V
Tension d'alimentation – entrée - (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 maximum disponible par broche E/S (5V)	40 mA (ATTENTION : 200mA cumulé pour l'ensemble des broches E/S)
Intensité maximum disponible pour la sortie 3.3V	50 mA
Intensité maximum 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)

Tableau 3 . 1 : Caractéristiques de la Carte Arduino UNO

Les différents composants constituants la carte Arduino UNO sont représentés sur lafigure 3.2.

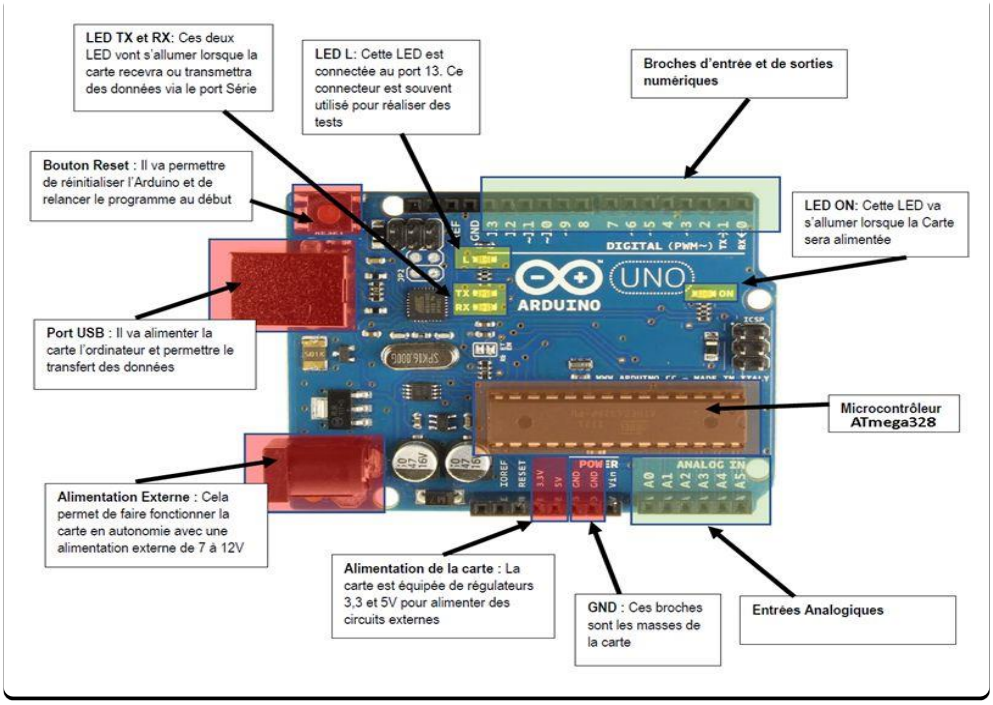


Figure 3.2 : Constitution de la carte Arduino UNO

- Le microcontrôleur ATMega328

La carte Arduino UNO est équipée d'un microcontrôleur ATMega328. Il s'agit d'un microcontrôleur ATMEL des AVR 8bits.
Un microcontrôleur ATMega328 est un dispositif qui regroupe plusieurs éléments complexes sur une puce en soudant un grand nombre de composants volumineux, comme les transistors, les résistances et les condensateurs. Il est possible de stocker tout cela dans un petit boîtier en plastique noir équipé de plusieurs broches dont la programmation peut être effectuée en langage C [13][14].

Dans la figure (3.3), on peut observer deux catégories de microcontrôleurs ATmega328, disponibles sur les cartes Arduino.



Figure 3.3 : Microcontrôleur ATMega328

La structure du microcontrôleur ATMega328 est composée d'un ensemble d'éléments qui ont chacun une fonction spécifique. Il se compose en réalité des mêmes composants que la carte mère d'un ordinateur. Dans l'ensemble, l'architecture interne de ce circuit programmable comprend principalement :
La mémoire Flash sera utilisée pour stocker le programme à exécuter. La mémoire programmée effaçable et réinscriptible est d'une capacité de 32Ko (incluant le bootloader de 0,5 Ko).

- Les variables du programme seront stockées dans la mémoire dite "vive" : la RAM. Elle est considérée comme "volatile" car elle disparaît si l'alimentation du microcontrôleur est coupée. Il est capable de 2 ko.
- Le microcontrôleur est équipé d'un disque dur appelé EEPROM. Il y a des informations qui doivent être conservées dans le temps, même si la carte doit être arrêtée. Cette mémoire ne disparaît pas lors de l'éxtinction du microcontrôleur ou de son reprogrammation [9].
- Produits alimentaires : Il est possible de fournir de l'alimentation à la carte Arduino Uno soit par connexion USB (qui offre une tension de 5V jusqu'à 500mA) soit par alimentation externe. La carte se charge automatiquement de choisir la source d'alimentation [13].Il est possible d'utiliser un adaptateur secteur (qui peut généralement fournir une tension de 3V à 12V sous 500mA) ou des piles pour l'alimentation externe.
- Les connecteurs d'entrée/sortie : L'Arduino UNO dispose de 14 connecteurs d'entrée/sortie numériques (numérotés de 0 à 13). Ces connecteurs peuvent être utilisés soit comme une entrée numérique, soit comme une sortie numérique, en utilisant les commandes

pinMode(), digitalWrite() et digitalRead() du langage Arduino. La tension de fonctionnement de ces broches est de (5V), chaque broche peut fournir ou recevoir une intensité maximale de (40mA).
La carte UNO possède six entrées analogiques (numérotées de 0 à 5), chacune d'entre elles peut mesurer une résolution de (10 bits) (Càd sur 1024 niveaux, soit de 0 à 1023) en utilisant la fonction analogRead() du langage programmable Arduino. Les broches analogiques sont compatibles avec les broches numériques Les broches numériques sont numérotées de 14 à 19 ans [15].

- L'interface USB puce se trouve en haut à gauche de la carte, à côté de l'entrée USB. Ce dispositif transforme les niveaux de signal utilisés par le standard USB en niveaux qui peuvent être directement utilisés par l'Arduino[13].

- Un oscillateur en quartz.

- Interrupteur pour réinitialiser.

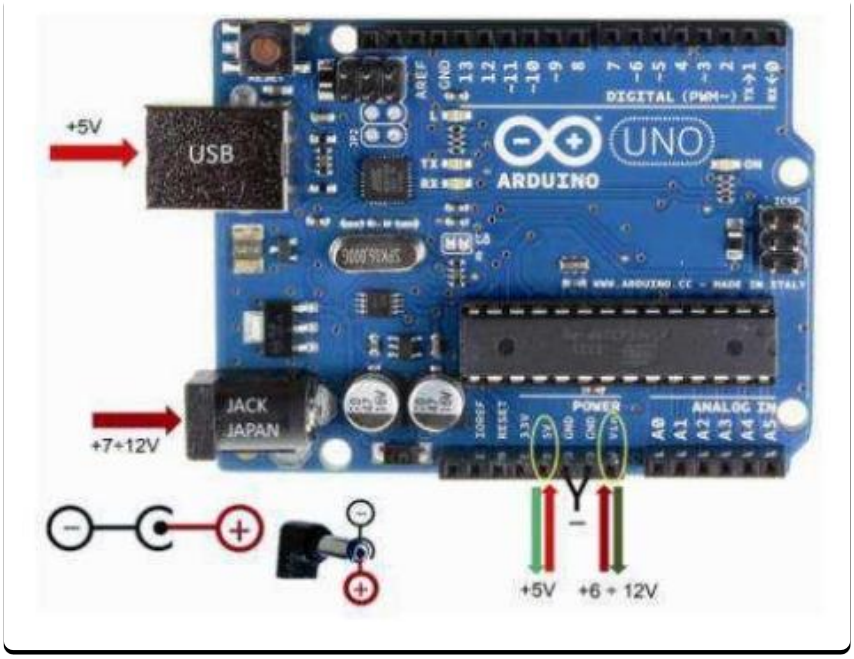


Figure 3.4: Sources de l'Alimentation de la carte Arduino UNO.

- Équipements de communication

L'Arduino Uno offre de nombreuses fonctionnalités pour interagir avec un ordinateur, une autre carte Arduino ou d'autres microcontrôleurs. L'ATmega328 est équipé d'une UART (émetteur-récepteur asynchrone universel ou émetteur-récepteur asynchrone universel) pour la transmission de données en série de niveau TTL (5V) pour les broches 0 (RX) et 1 (TX). Cette communication série est reliée au port USB de l'ordinateur grâce à un circuit intégré ATmega8U2 sur la carte, qui agit comme un port COM virtuel pour les logiciels de l'ordinateur. L'ATmega8U2 est programmé avec le driver USB COM standard, et aucun autre driver externe n'est requis. Toutefois, dans Windows, un fichier inf est nécessaire [15] [16].

Une fenêtre terminal série (ou moniteur série) est intégrée dans le logiciel Arduino sur l'ordinateur, permettant ainsi d'envoyer des textes simples depuis et vers la carte Arduino. Lorsque les données sont transmises via le circuit intégré USB-vers-série et la connexion USB vers l'ordinateur, les LED RX et TX sur la carte commencent à clignoter. Il est également possible de communiquer en série sur n'importe quelle broche numérique de la carte UNO grâce à une librairie Série Logicielle.

La communication par protocole I2C (ou interface TWI, TwoWire Interface - Interface "2 fils") et SPI est également possible avec l'ATmega 328 :

La librairie Wire est incluse dans le logiciel Arduino, ce qui facilite l'utilisation du bus I2C.

Afin de faire appel à la communication SPI (Interface Série Périphérique).

On peut utiliser la communication SPI [13].

2-3.Avantages de la carte Arduino Uno :

- Prix abordable.
- L'avantage de cette carte réside dans son caractère open-source
- leur environnement de programmation clair et simple.
- Il est compatible avec Windows, Macintosh et Linux.

2-4. Capteur Ultrasons HC-SR04

L'interface entre un processus physique et une information manipulable est un capteur. Il n'a pas de mesure, mais donne des informations en fonction de la demande à laquelle il est confronté [17][18].
Le HC-SR04 utilise les ultrasons pour détecter la distance, offrant une plage de détection étendue et des mesures stables. Il ne dépend pas de la lumière du soleil ou des matériaux sombres pour son fonctionnement, même si des matériaux tels que les vêtements peuvent être difficiles à repérer. Ce capteur est alimenté par une tension.

3-Le fonctionnement du capteur Ultrasons HC-SR04 est simple.

- Le mode d'action est le suivant :

1) Transmission d'un signal numérique à l'état élevé vers l'émetteur pendant une durée de 10 µs.
2) Le capteur est capable de transmettre automatiquement 8 impulsions d'ultrasons à une fréquence de 40 kHz et de détecter les signaux revenant.
3) Lorsque le signal revient, la période de l'état élevé du signal reçu correspond au temps écoulé entre l'émission des ultrasons et leur réception respectivement.
Calcul du chemin : Distance = (temps passé à l'état haut signal reçu * vitesse du son) / 2 (vitesse du son dans l'air : 340 m/s).

- Le schéma de chronologie

Vous trouverez ci-dessous le diagramme temporel. Le déclenchement de la salve d'ultrasons nécessite un signal à l'état haut pendant 10µs à l'entrée de l'émetteur. Le module transmet alors 8 cycles d'ultrasons. à 40 kHz et attend le signal reçu. Le récepteur reçoit un signal à l'état haut dont la durée est proportionnelle à la distance de l'objet perçu. Le calcul de la distance peut se faire grâce au temps mesuré entre le signal émis et le signal reçu.Il est possible de calculer la distance en utilisant le temps mesuré entre le signal émis et le signal reçu.

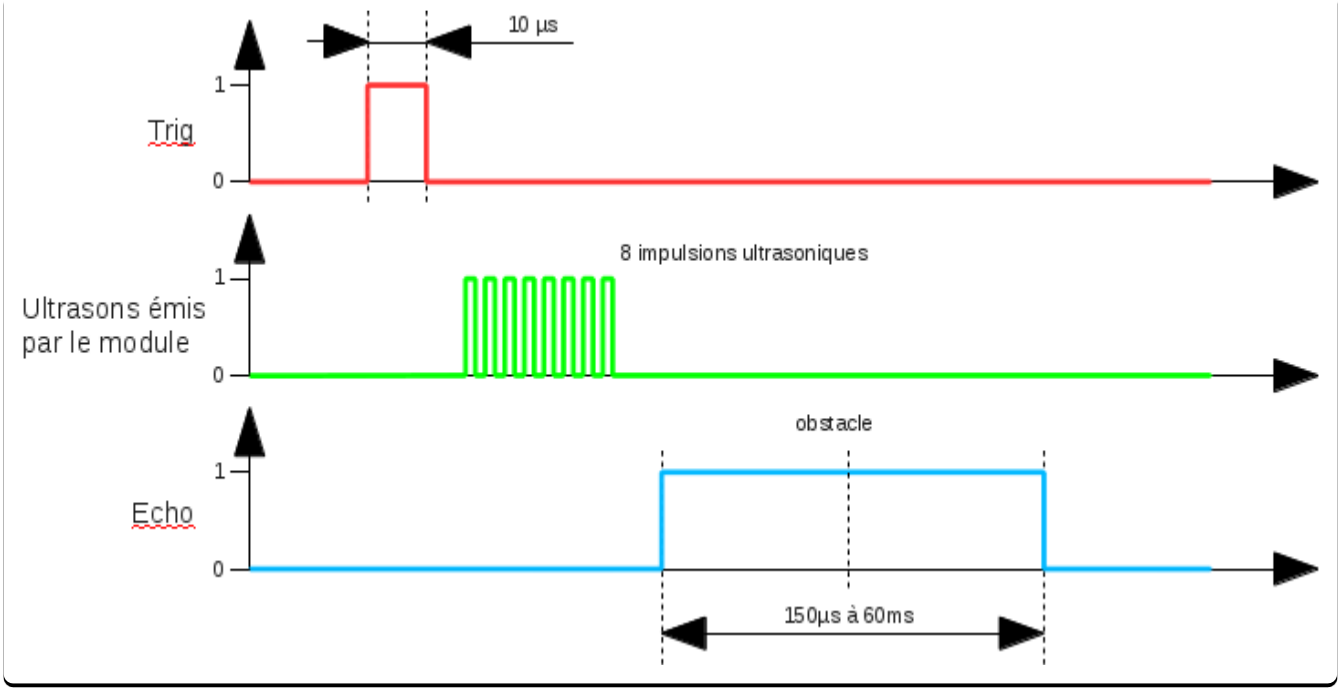


Figure 3.5 : Le diagramme temporel.

4-Caractéristiques et spécification du capteur

Les caractéristiques en détail du Capteur Ultrasons HC-SR04 sont présentées dans le tableau ci-dessous [17].

Distance de captation	2 cm à 5 m
Résolution (précision)	3mm
Tension d'exploitation (Voltage d'entrée)	5 V
Courant (Ampérage d'entrée)	15 mA
Fréquence d'opération	40 Hz
Angle de mesure	30 degrés

Angle efficace	15 degrés
Signal d'entré trigger	10 µs TTL impulsion
Dimensions L x W x H	45 mm x 20 mm x 15mm
Poids	8.5g

Tableau 3.2 : Spécifications des capteurs ultrason HC-SR04

✓ Montage capteur HC-SR04 avec Arduino :

Le module HC-SR04 possède 4 broches :

1) **Vcc** : Alimentation +5 V DC sert à alimenter le circuit du HC-SR04.
2) **Trig** : est l'entrée qui nous permet de déclencher l'émission d'un ultrason.
3) **Echo** : est la sortie qui se met à 5 V pendant une durée égale à l'aller-retour del'ultrason, (Echo output).
4) **GND** : Masse de l'alimentation.

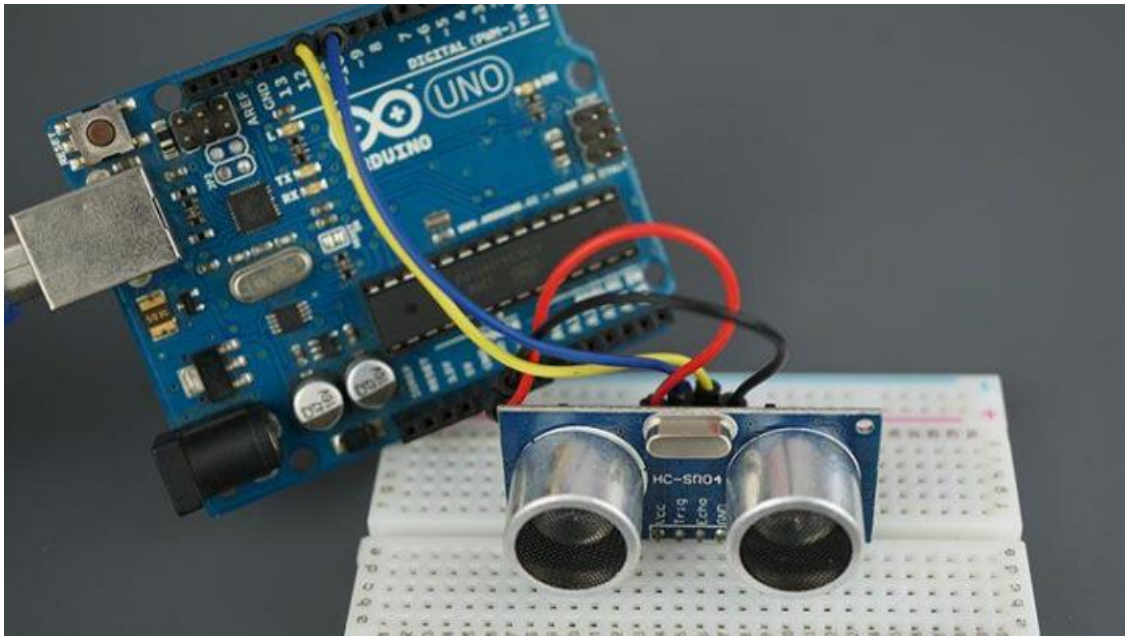


Figure 3.6 : Montage HC-SR04 avec Arduino.

Considérations pratiques pour l'utilisation de ce capteur

Le Capteur ne peut pas mesurer avec précision la distance d'un objet :

1) Qui est supérieure à 3 mètres

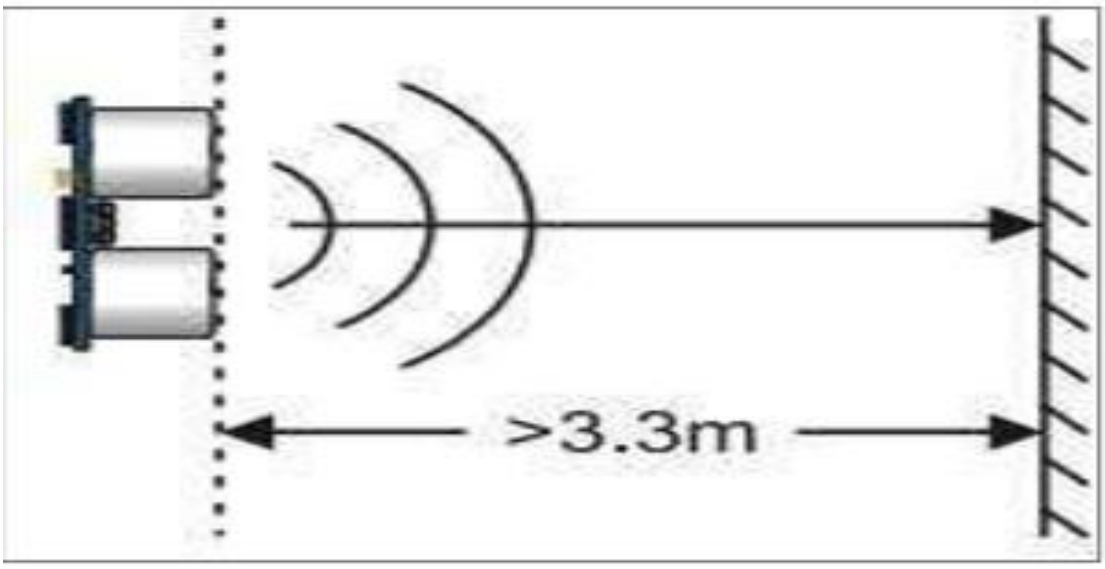


Figure 3.7 : distance supérieur à 3 mètres

2).Qui à une surface réfléchissante à un angle faible de sorte que le son ne sera pasrenvoyé vers le capteur

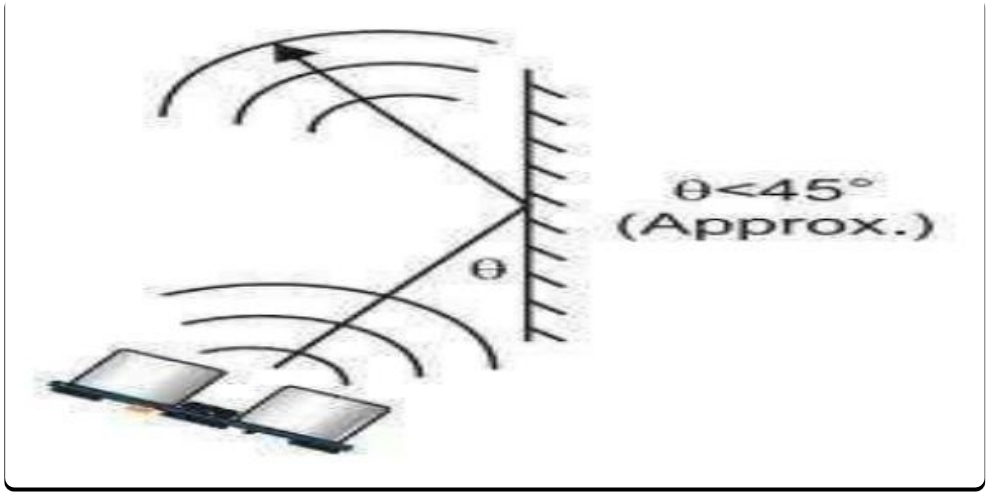


Figure 3.8 : Surface peut réfléchissante de l'objet.

3).Qu'est trop petit pour tenir compte du retour de son écho vers le capteur

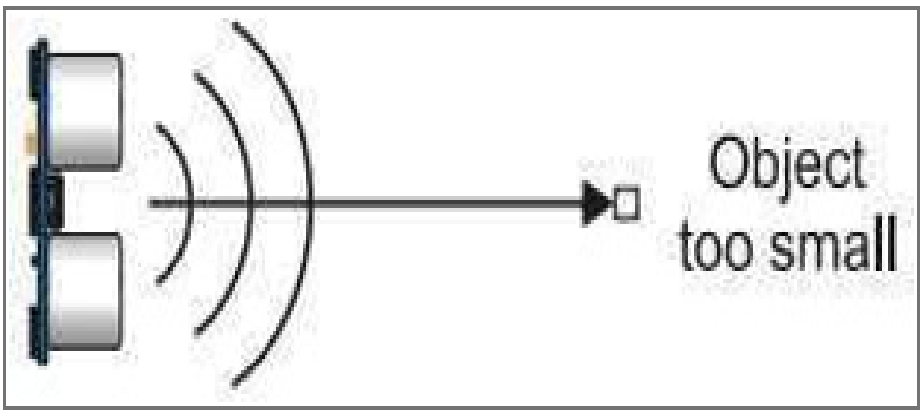


Figure 3.9 : Objet trop petit.

Affichage LCD du module

L'utilisation des afficheurs LCD est devenue essentielle dans les systèmes techniques qui exigent l'affichage des paramètres de fonctionnement. Ces Afficheurs offrent la possibilité d'afficher des lettres, des chiffres et quelques caractères spéciaux facilement. Les écrans LCD alphanumériques se distinguent principalement par leur taille à l'extérieur [19].
Il existe deux modèles couramment utilisés et qui sont les plus populaires, à savoir celui qui dispose de 2 lignes et 16 colonnes d'affichage, et celui qui dispose de 4 lignes et 20 colonnes d'affichage, comme illustré dans la figure.

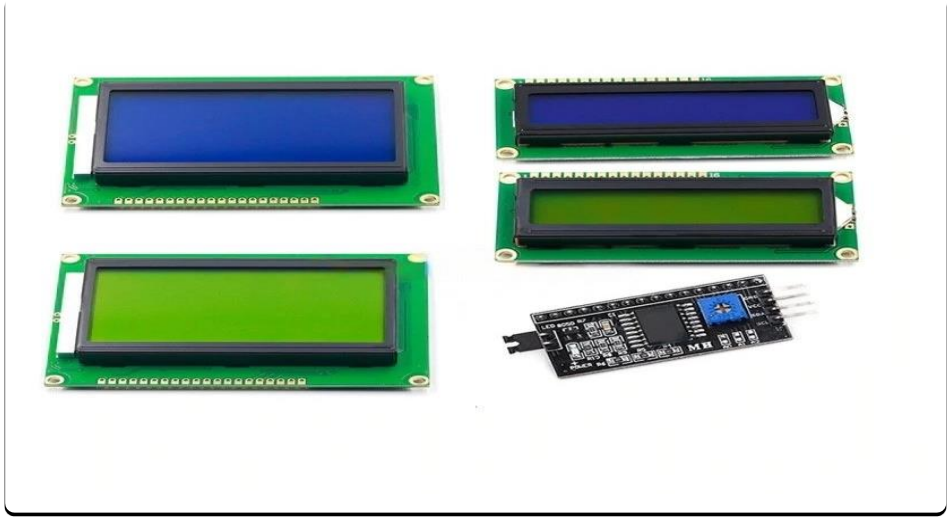


Figure 3.10 : Afficheurs LCD : (16x2), (20x4) + I2C

Connexion de l'écran LCD

Les broches de ces deux écrans sont identiques, un connecteur de 16 broches transporte différents signaux, dont une partie forme un bus de communication parallèle de 4 ou 8 bits en fonction de la configuration sélectionnée, ainsi que les signaux permettant de contrôler la communication entre l'Arduino et l'écran [19].

La représentation graphique ci-dessous présente la désignation des broches de ce connecteur

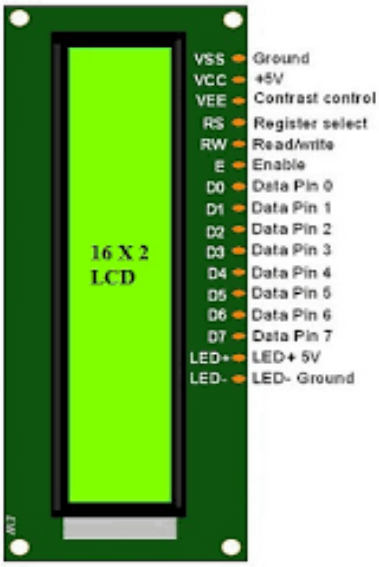


Figure 3.11: Connecteur de l'afficheur LCD

Le tableau suivant présente les spécifications des broches et leur rôle

Numéro de la broche	Désignation	Description
1	GND	Masse 0V
2	VCC	Alimentation +5V
3	VE	Tension de réglage du contraste
4	RS	Sélection du registre donnée ou commande
5	RW	Lecture ou écriture
6	EN	Activation pour un transfert (enable)
7	DB0	Bit 0 de la donnée/commande
8	DB1	Bit 1 de la donnée/commande
9	DB2	Bit 2 de la donnée/commande
10	DB3	Bit 3 de la donnée/commande
11	DB4	Bit 4 de la donnée/commande
12	DB5	Bit 5 de la donnée/commande
13	DB6	Bit 6 de la donnée/commande
14	DB7	Bit 7 de la donnée/commande
15	LED+	Anode (+) du rétro-éclairage
16	LED-	Anode (--) du rétro-éclairage

Tableau 3.3 : Nomenclature du connecteur de l'afficheur LCD

5-Communication avec l’afficheur LCD

On peut utiliser l'afficheur LCD en mode 8 bits ou en mode 4 bits.Les octets sont échangés entre les lignes DB0 et DB7 en mode 8 bits.Lorsqu'on utilise le mode 4 bits, les octets sont échangés deux fois sur les lignes DB4 et DB7.Les trois registres internes du LCD comprennent le registre de données, qui permet notamment d'envoyer les codes des caractères à afficher, le registre de commande, qui permet d'envoyer des commandespour effacer l'écran, positionner le curseur, etc., et le registre d'état, qui permet de consulter notamment la disponibilité du LCD pour recevoir des commandes ou des données.

Les états, LOW ou HIGH, des lignes RS et RW permettent de choisir l'un ou l'autre de ces registres. Après avoir établi l'état de ces deux lignes, on met EN à HIGH, on place les données ou la commande sur les lignes DBx, puis on met EN à LOW .

Il est assez difficile de piloter directement un afficheur LCD. Bien entendu, comme c'est fréquent avec l'Arduino comme dans notre cas, il existe des bibliothèques pour cela, ce qui facilite leur utilisation sans avoir à consulter la datasheet en mode (4 bits). Les broches à connecter à l'Arduino sont donc RS, EN, DB4, DB5, DB6 et DB7, ainsi que, de manière optionnelle, le RW.

6-Servomoteur

Un servomoteur (abrégée en « servo », du latin servus, « esclave ») est un moteur qui peut faire face à un effort statique et dont la position est régulièrementDans un même boîtier, le servomoteur regroupe la mécanique (moteur et engrenage) et l'électronique, afin de contrôler et de s'assoir le moteur.Elle est définie par une limite de débattement d'angle de 180 degrés, mais elle est également accessible en rotation continue.
Un servomoteur est composé :

- D’un moteur à courant continu.
- D’un axe de rotation et potentiomètre.
- D’une carte électronique pour le contrôle de la position de l’axe et le pilotage dumoteur.

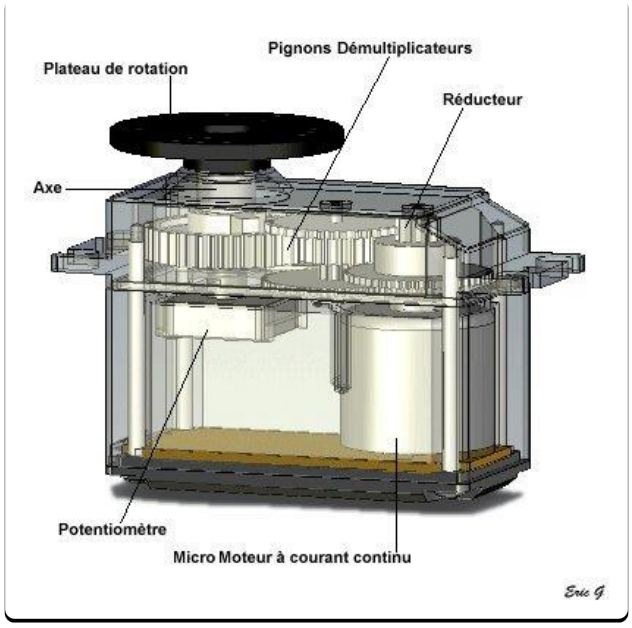


Figure 3.12 : Servomoteur à rotation angulaire.

- Commander le servomoteur

Le moteur fonctionne de manière relativement simple, il vous suffit d'envoyer une impulsion et le temps que cette impulsion durera déterminera l'angle du servomoteur.Cette période d'impulsion dure quelques millisecondes et doit être répétée régulièrement.Le servomoteur est alimenté par un câble électrique à 3 fils qui lui transmet des ordres de position sous forme d'un signal codé en largeur d'impulsion, habituellement appelé PWM(Pulse Width Modulation ou Modulation de Largeur d'Impulsion) ou RCO (Rapport Cyclique d'Ouverture).Cela indique que la durée des impulsions est responsable de l'angle absolu de l'axe de sortie, ce qui influence la position du bras de commande du servomoteur.Le signal se répète régulièrement, généralement toutes les 20 millisecondes, ce qui permet de surveiller et de rectifier en permanence la position angulaire de l'axe de sortie, cette dernière étant mesurée à l'aide du potentiomètre

caractéristiques du servomoteur sont présentées dans la figure ci-dessous





Basic Information

Modulation:	Analog
Torque:	**4.8V:** 25.0 oz-in (1.80 kg-cm)
Speed:	**4.8V:** 0.10 sec/60°
Weight:	0.32 oz (9.0 g)
Dimensions:	Length: 0.91 in (23.1 mm) Width: 0.48 in (12.2 mm) Height: 1.14 in (29.0 mm)

Figure 3.13: Caractéristiques du servomoteur à rotation angulaire (Micro-Servo).

Connecteur du servomoteur

Un servomoteur se pilote par l'intermédiaire d'un câble à (03) trois fils. Ce câblepermet à la fois de l'alimenter et de lui transmettre des consignes de position par le fil de signal :

- Le noir ou marron : La masse

- Le rouge : La tension d'alimentation continue (+)
- Le jaune, orange, blanc ou bleu : Le signal de commande PWM

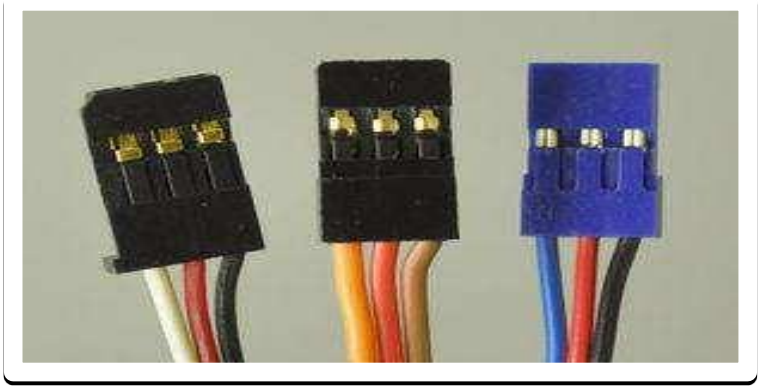


Figure 3.14: Câble de commande pour servomoteur

7-Montage du servomoteur avec Arduino

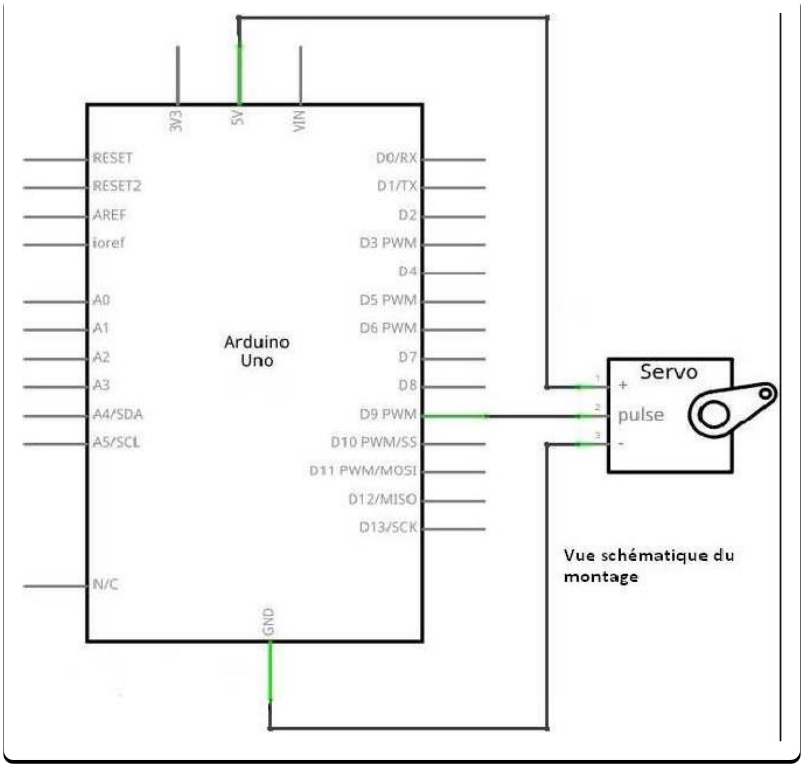


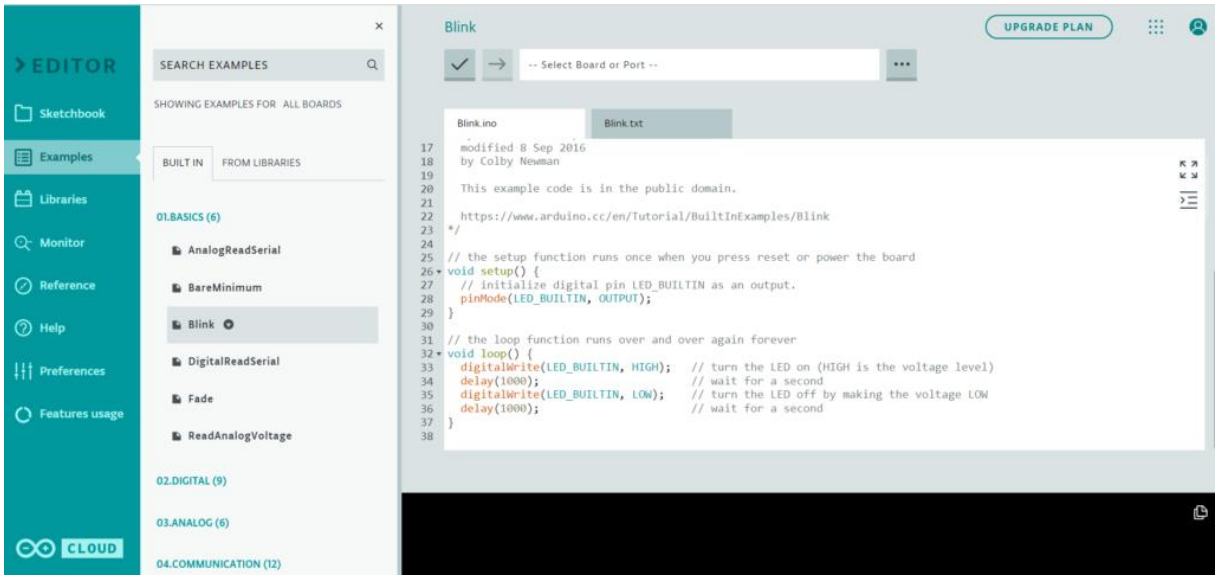
Figure 3.15: montage servomoteur avec Arduino

8-Environnements de programmation

Le programme de programmation du module Arduino

Le module Arduino utilise un logiciel de programmation Java, libre et multiplateforme, qui utilise le langage C++ et est lié à la bibliothèque de développement Arduino appelée « Arduino c ». Ce langage standard facilite le développement de programme sur les plates-formes Arduino pour toute personne qui maîtrise le langage C++.

Il est impératif que le programme Arduino soit séparé en deux parties : une fonction de



configuration et une fonction de cycle. Ces deux fonctions ont une nature void, c'est-à-dire qu'elles ne peuvent pas être utilisées comme valeurs. Le début du programme est marqué par la fonction setup. Elle autorise l'initialisation des variables et la détermination des broches de la carte Arduino qui seront employées. Après la fonction de configuration, la fonction loop se lance et, comme son nom l'indique, effectue une boucle jusqu'à ce que la carte soit déconnectée.

Figure 3.16: Plateforme Arduino

9-Structure générale du programme (IDE Arduino)

Un programme utilisateur Arduino consiste en une série d'instructions basiques écrites en lignes. La carte lit ensuite les consignes successivement, dans l'ordre indiqué par les lignes de code. L'écriture d'un programme sous Arduino se présente de la manière suivante :

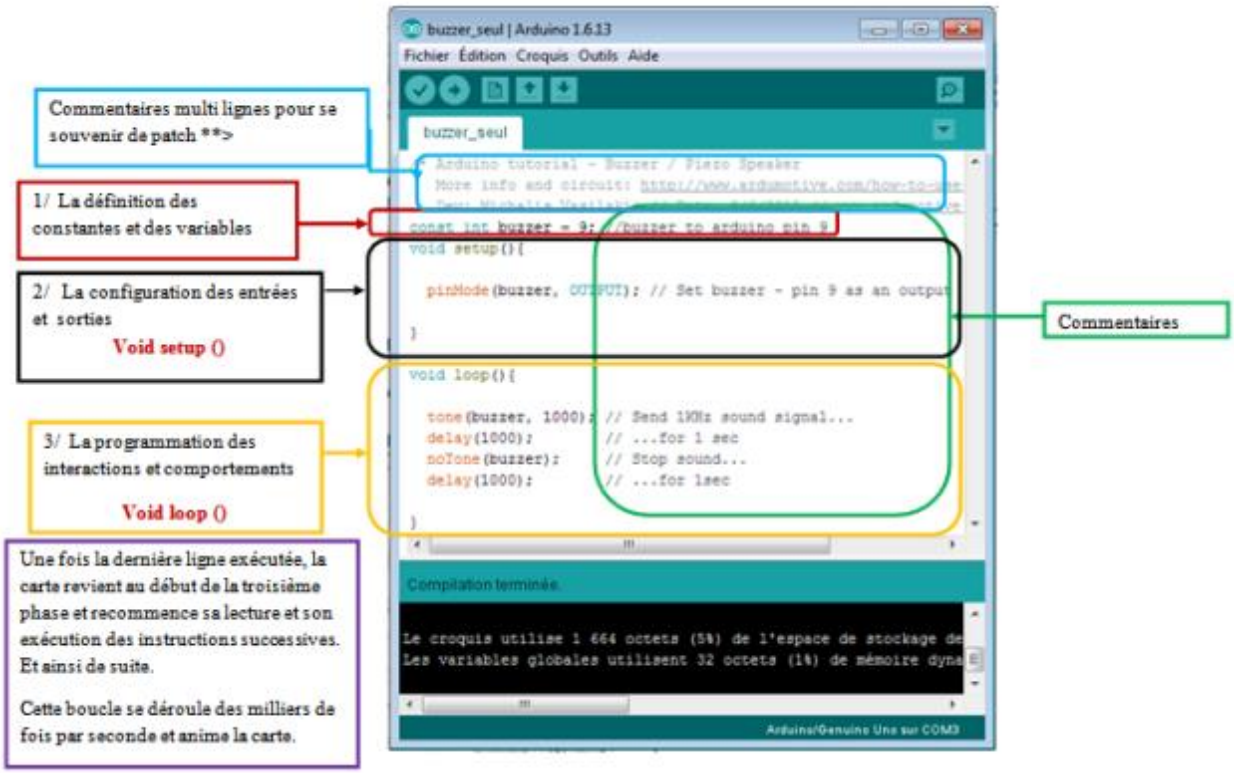


Figure 3.17 : Structure générale du programme (IDE Arduino)

10-Programme IDE de PROCESSIN

Processing est un langage de programmation et une interface de développement intégré (IDE) basée sur Java. Les programmes développés avec Pressing peuvent donc être utilisés sur toute machine équipée d'une machine virtuelle Java et dans les navigateurs Web équipés du plugin Java Processing est une extension d'un environnement de programmation graphique conçu pour la création plastique et graphique interactive. Il propose une multitude de librairies, principalement axées sur les interfaces graphiques, le traitement d'images en 2D et 3D ainsi que le son. Il met en relation les notions de logiciel avec les principes de la forme visuelle, du mouvement et de l'interaction. Il combine un langage de programmation, un environnement de développement et une approche pédagogique dans un système intégré. Le Processing a été développé dans le but d'enseigner les bases de la programmation informatique dans un environnement visuel, servir d'outil de production pour des situations particulières. On l'emploie pour l'apprentissage, le prototypage et la production par les étudiants, les artistes, les professionnels du design et les chercheurs [20].

11-Tinkercad :

Tinkercad est une application web gratuite et populaire pour la conception 3D, l'électronique et la programmation. Voici une présentation de ses principales fonctionnalités :

Fonctionnalités de Tinkercad

1. **Conception 3D** : Tinkercad permet de créer des modèles 3D de manière intuitive en utilisant des outils de glisser-déposer. C'est idéal pour les débutants qui souhaitent apprendre les bases de la conception 3D.
2. **Électronique** : L'application offre la possibilité de concevoir des circuits électroniques virtuels. Vous pouvez expérimenter avec divers composants tels que des capteurs, des LED et des cartes Arduino sans avoir besoin de matériel physique.
3. **Programmation** : Tinkercad prend en charge la programmation avec des "Codeblocks", une méthode de programmation visuelle qui simplifie l'apprentissage du codage en utilisant des blocs au lieu de lignes de code.
4. **Projets éducatifs** : Le site propose de nombreux projets éducatifs que les enseignants peuvent utiliser pour enseigner les compétences en conception, programmation et électronique aux élèves.

Processing :

De manière structurelle, l'IDE de Processing ressemble à Arduino. Avec une communication en série, l'IDE de traitement peut interagir avec l'IDE Arduino. Ainsi, il est possible d'échanger des données de l'Arduino à l'IDE de traitement et de l'IDE de traitement à l'Arduino. La liaison entre le logiciel Arduino IDE et Processing se déroule en utilisant une liaison série half duplex. Les données sont envoyées à la carte Arduino où le traitement se déroule, puis les résultats du traitement sont transférés vers le logiciel Processing via la même liaison. Si la simulation est effectuée, une fois le code Arduino compilé, il est nécessaire d'exporter les données de type La carte Arduino peut exécuter un script binaire en hexadécimale pour traiter les données reçues et orienter les résultats vers les processeurs. Cependant, il n'y a pas de liaison entre eux. Pour résoudre ce problème, il est nécessaire de créer une liaison virtuelle en utilisant le logiciel « Virtual Serial Port Driver ».Il faut identifier deux ports, l'un à côté du processeur et l'autre pour la carte Arduino. De plus, il est nécessaire d'ajouter un adaptateur pin-port à côté de la carte Arduino afin d'être prêt à émettre des données à travers cette liaison.

12-Fonctionnement du radar de détection

L'Arduino va mettre en marche le temps1 et envoyer une impulsion HIGH de 10µs sur la broche tri du capteur.Ce dernier reçoit un ordre pour envoyer une onde ultrasonore de 8 impulsions à 40KHz dans l'air, ce qui entraîne une sortie écho à l'état haut.L'Arduino détecte l'état élevé de sa broche numérique connectée à l'écho et enregistre la valeur du temps1.Une fois que l'onde réfléchie par la cible est renvoyée au récepteur ultrasons du capteur.Celui-ci va modifier l'état de l'écho vers l'état bas.L'Arduino repérera la modification de l'état sur sa broche numérique et interrompra l'augmentation du timer1.Il enregistrera sa valeur dans une variable temps2.Ensuite, il calculera la différence entre le temps 2 et le temps 1, puis calculera la valeur.Calcule la distance et l'envoie à l'ordinateur via la liaison parallèle.En utilisant la carte ARDUINO, le servomoteur effectue un balayage de gauche à droite qui couvre le champ exploré de 180 degrés, puis effectue le balayage inverse, et ainsi de suite.

➢ L'opération qui permet de calculer la distance [21] :

$$d = (v \cdot t)/2 \qquad (2.1)$$

Avec :

d : la distance en cm

v : la vitesse du son dans l'aire (v=340 m/s).

t : temps écoulé entre l'émission du l'onde et la réception de l'écho.

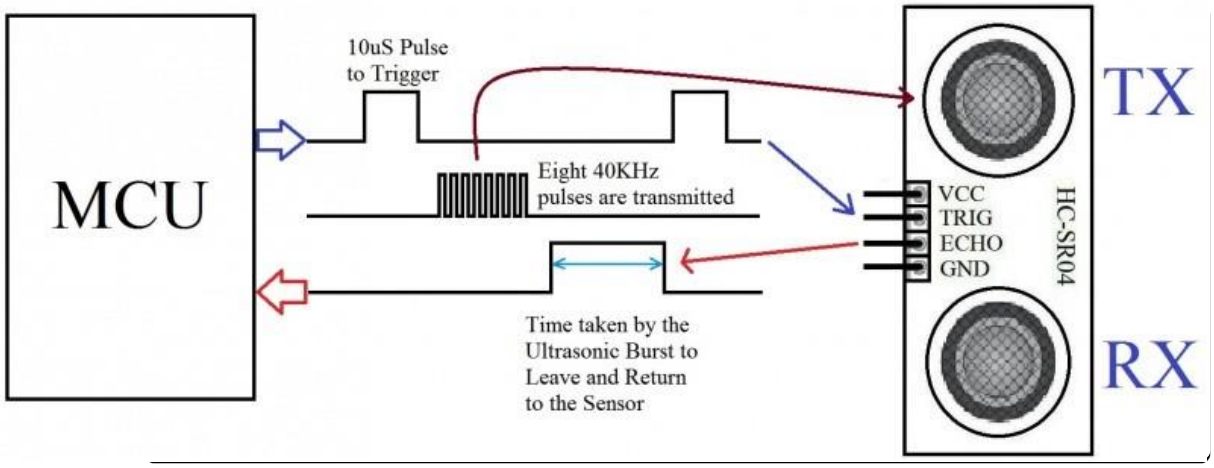


Figure 3.18: Diagramme temporel de HC-SR04.

13-L'organigramme du projet :

Le logiciel Arduino lit le port et sauvegarde la valeur dans une variable, puis il lit l'angle du servomoteur et calcule la coordonnée cartésienne de la cible afin d'afficher le

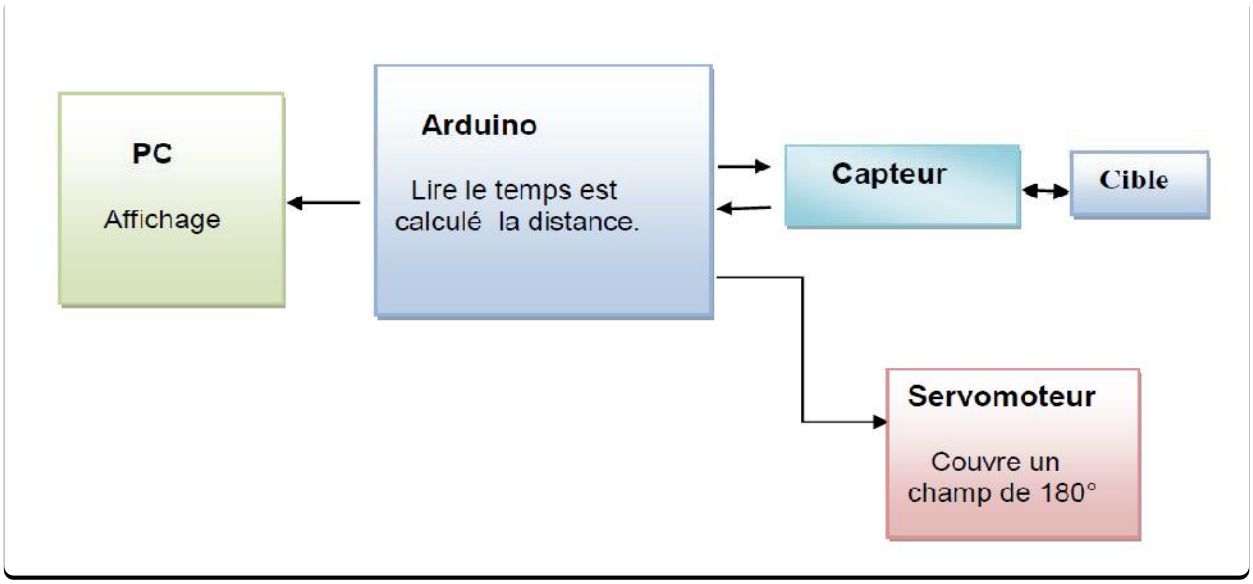


Figure 3.19 : Communication entre les composants du projet

14-Conclusion

Ce chapitre présente une description des divers éléments qui composent le Radar de détection.Une description des éléments matériels tels que la carte Arduino Uno et ses composantes, le capteur Ultrasons HC-SR04, l'écran LCD et le servo.Les logiciels utilisés comprennent le logiciel de programmation du module Arduino, l'IDE de Processing et le site tinkercad.Nous avons expliqué comment le radar fonctionne et nous avons présenté son organigramme.Le prochain chapitre traitera de la création d'un système de détection à capteur ultrason à l'aide d'un radar.

CHAPITRE 4 :

Simulation de Radar

1-Introduction :

Au cours de ce chapitre, nous exposerons le système expérimental intitulé « La création d'un Radar de détection ». Suite à la présentation théorique de la carte Arduino, du servomoteur, du capteur à ultrason et de l'afficheur LCD dans le chapitre précédent. L'application expérimentale que nous allons réaliser sera divisée en deux étapes. La première étape consistera en une simulation et la deuxième étape consistera en une réalisation.

2-Les différentes étapes du projet

La réalisation de notre Radar a été faite en deux parties:

1) La première partie est la conception assistée par ordinateur CAO et la simulation avecArduino & procession .
2) La deuxième partie est la réalisation, le montage pratique.

3-Partie simulation du Radar de détection

Les composants utilisés dans cette simulation sont :

- Un capteur Ultrason HC-SR04
- Arduino UNO R-3
- Une Résistance variable.
- Un servomoteur
- Un écran LCD 16*2.

Avant d'effectuer la simulation du logiciel Proteus, nous avons inclus la bibliothèque du capteur ultrasonique (cette bibliothèque contient des librairies de la carte Arduino) appelée Arduino.IDX, Arduino.LIB.

L'étape suivante c'est l'ajout des composants ci-dessous dans l'espace de travail :

- Capteur Ultrason HC-SR04
- Carte Arduino UNO R-3
- Résistance variable.
- Un écran LCD 16*2

4-Circuit global de la simulation

La figure suivante présente le circuit global de notre simulation sous tinkercad

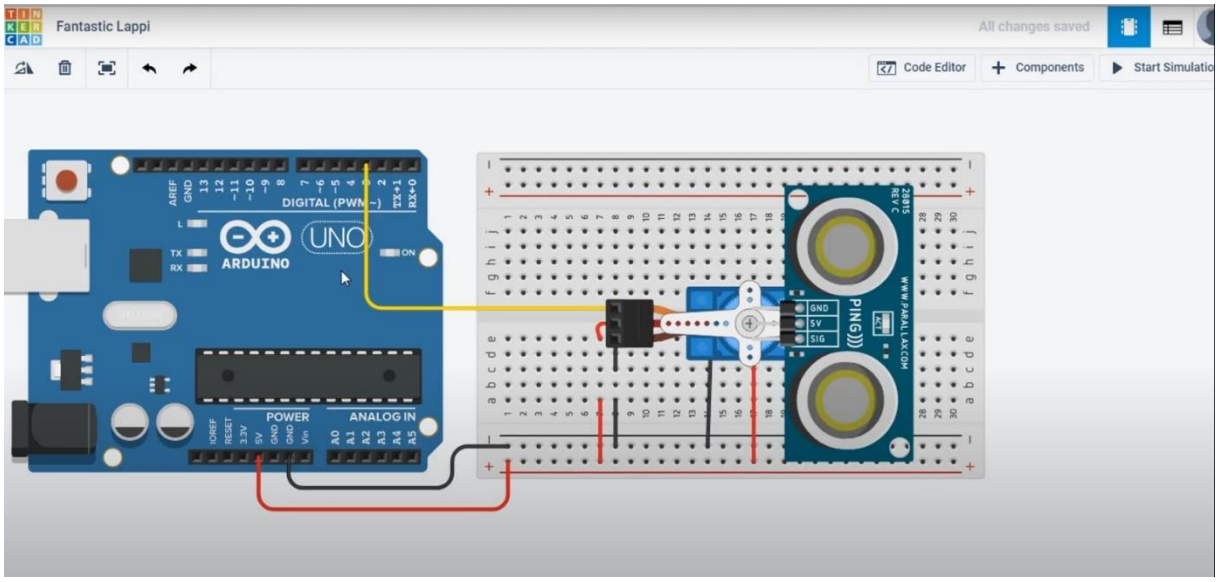


Figure 4.1 : Le circuit global de notre simulation

5-Injection du ficher code sur tinkercard :

Après avoir copier le fichier code sur le site tinkcard, nous allons faire un clique sur la fenêtre ouvrir , ce qui nous permet d'ouvrir e t de sélectionner le fichier du code comme le (figure 3.4).

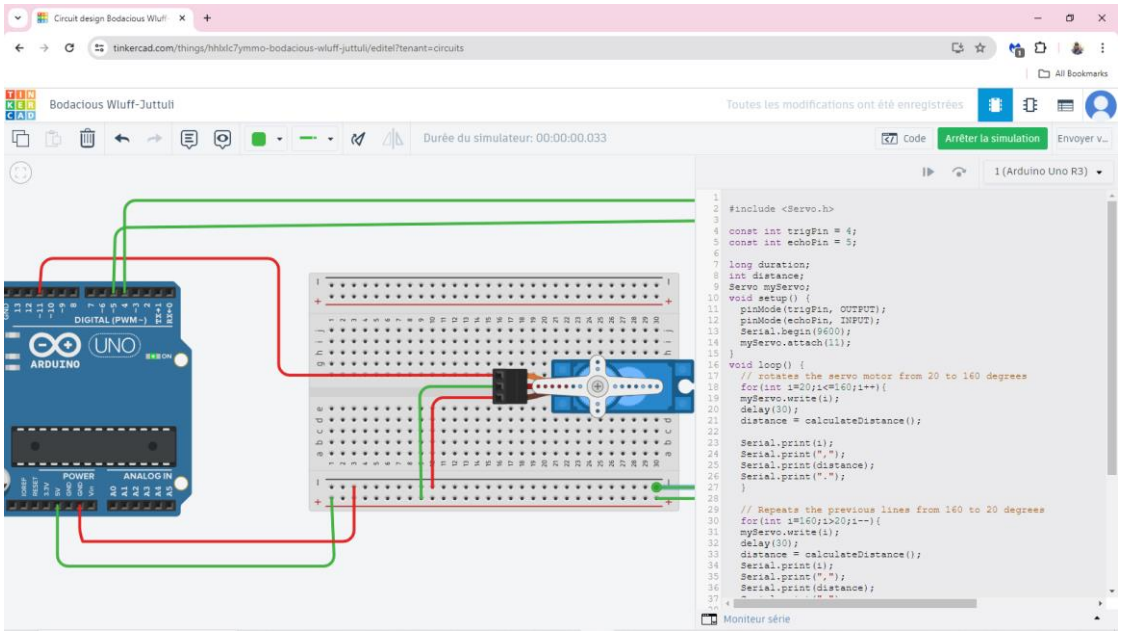


Figure 4.2 : Résultats de simulation sur le terminal virtuel

Le terminal virtuel montre la distance et l'angle, qui varient en fonction de la résistance variable liée au capteur à ultrasons. Lorsque la tension de la résistance variable augmente ou diminue, la valeur de la distance et de l'angle change également.

6-Schéma synoptique de notre Radar

La figure ci-dessous illustre le schéma synoptique de notre radar de détection :

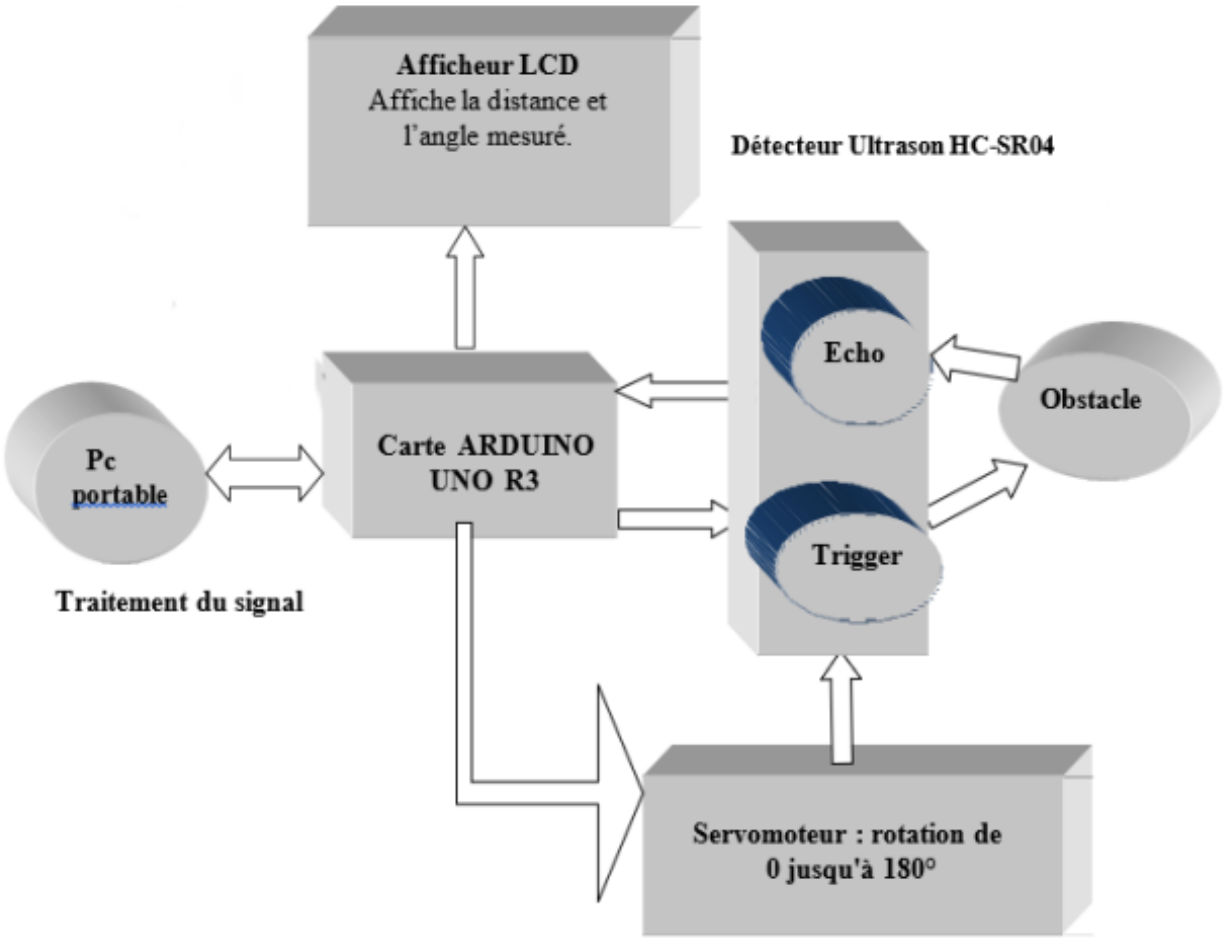


Figure 4.3 : Schéma synoptique de notre Radar.

7-Algorithme principale de détection d'un objet

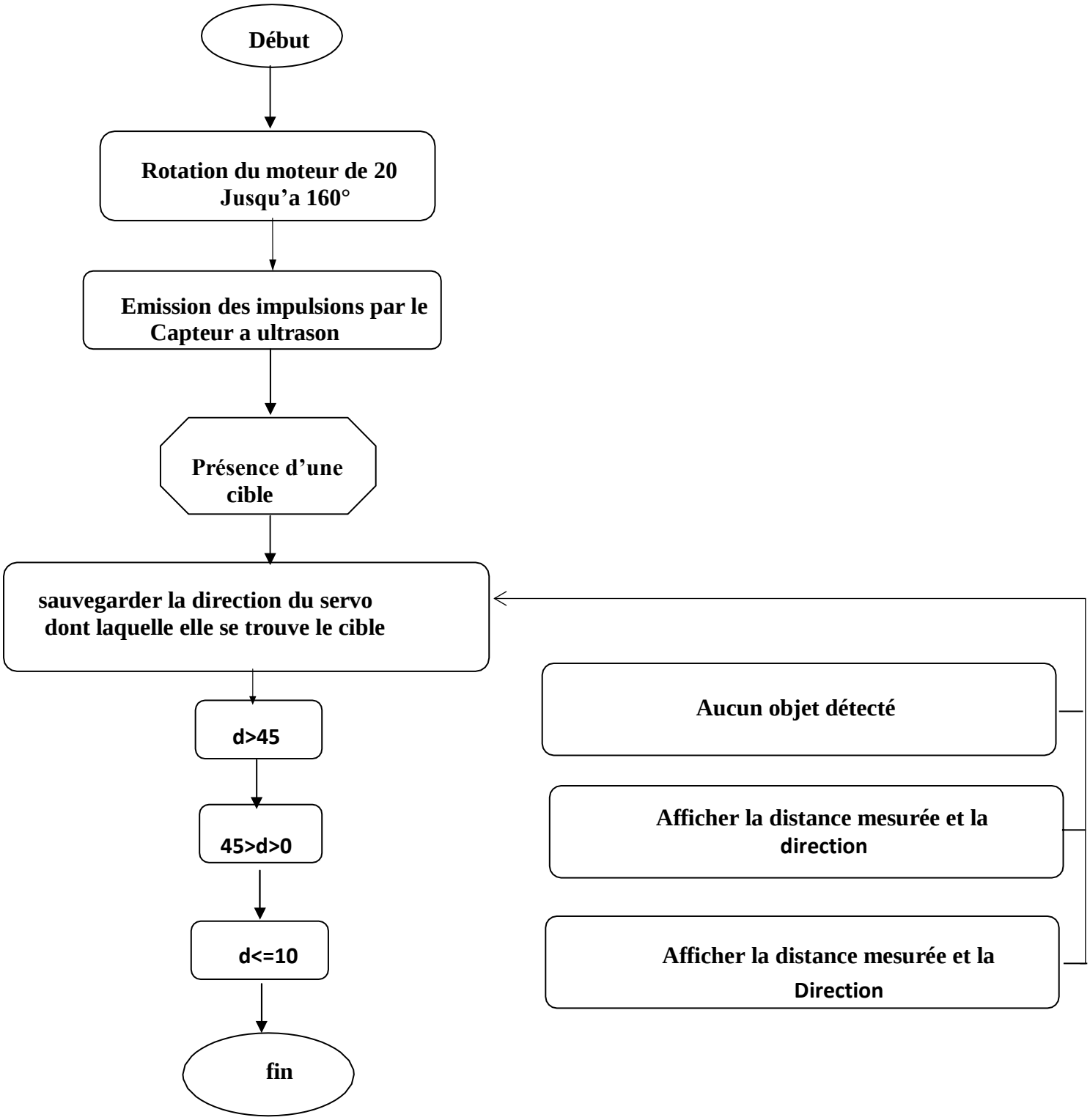


Figure 4.4 : Algorithme principale de détection d'un objet

8-Dessiner un radar sur processing

Pour dessiner un radar sur processing on le fait en trois étapes :

Dessiner l'arc et les lignes du Radar

Pour dessiner l'arc nous utilisons la fonction **drawRadar()** et po r dessiner les ligne nous utilisons la fonction **drawLine().**

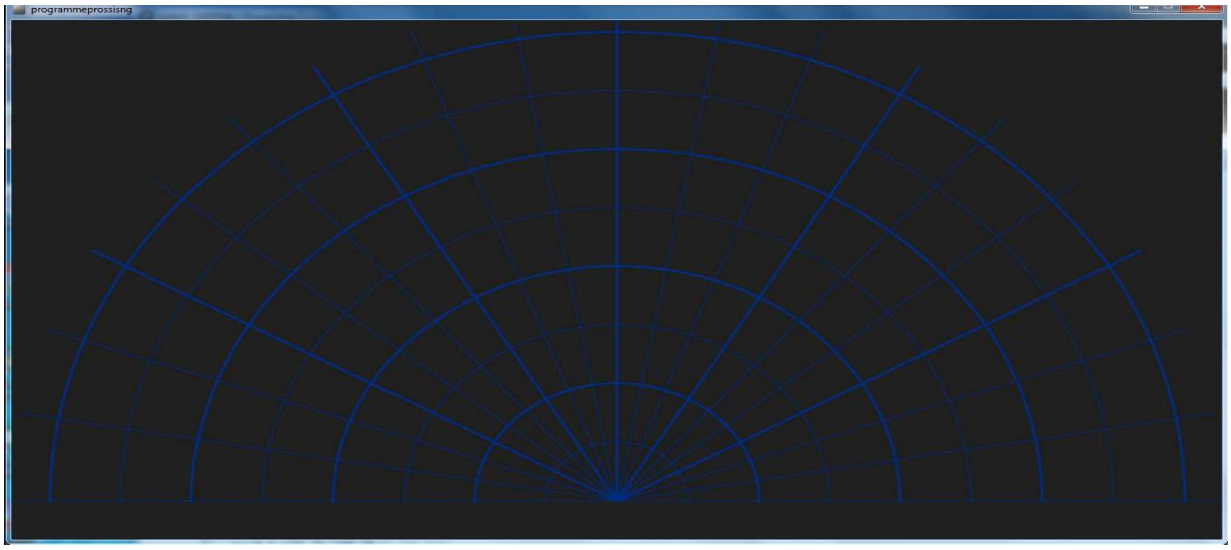


Figure 4.5 : l'arc et les lignes du Radar.

Dessiner l'objet

Pour dessiner l'objet nous utilisons la fonction **drawObject() ,** il reçoit la distance du l'ultrason et la transforme en pixels objet .



Figure 4.6: l'objet détecté par la fonction **drawObject().**

Ecriture du texte sur processing

Pour écrire un texte sur l'écran nous utilisons la fonction **drawText()** sur des emplacements particuliers.

Figure 4.7 : écriture d'un texte à l'aide de la fonction **drawText()**



Simulation complète sur Processing

Sur Processing la détection d'objet est affiché en rouge, la distance mesurés ne dépasse pas 13cm.

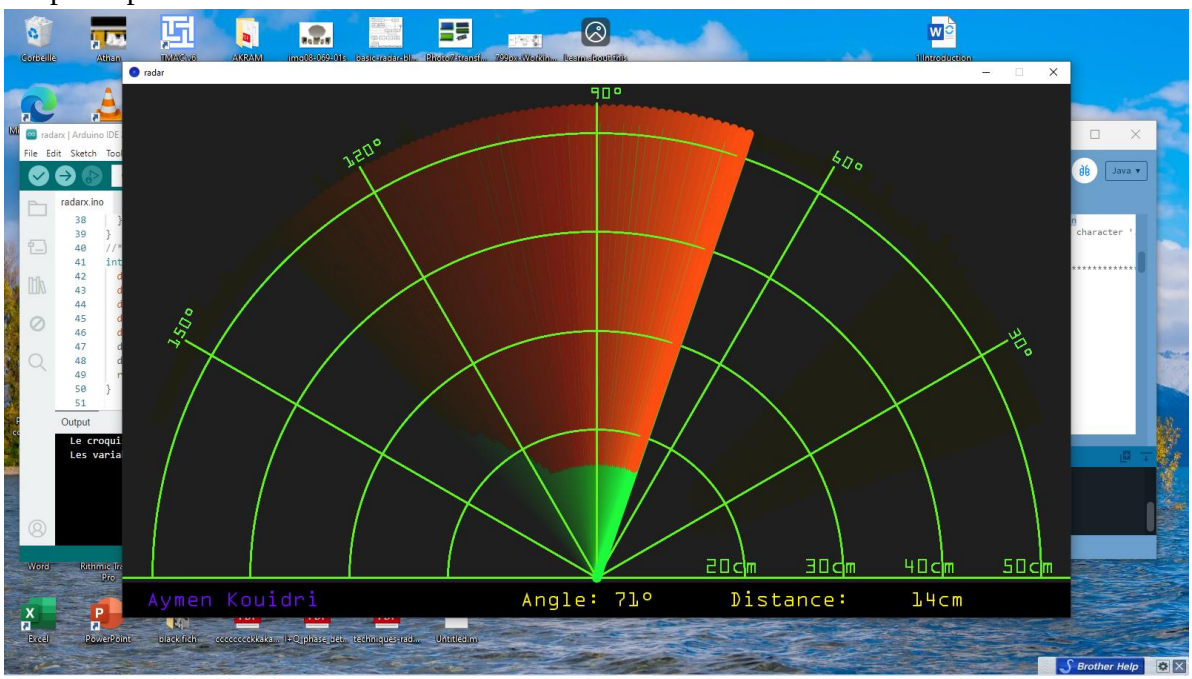


Figure 4.8 : Simulation complète sur Processing.

9-Partie réalisation de notre Radar détection

Les différentes connexions et numéro des pins du circuit

Le tableau suivant représente les différentes connexions et numéro de pins du circuit que nous avons réalisé:

Composant	Pin composant	Pin Arduino Uno
Capteur A Ultrason	VCC	+5V
	Trigger	10
	Echo	9
	GND	GND
Afficheur LCD	RS pin	12
	Enable pin	11
	D4	5
	D5	4
	D6	3
	D7	2
	R/W	GND
	VSS pin	GND
	VCC	+5V
Servomoteur	Marron	GND
	Rouge	+ 5v
	Orange	6
Port Com liaison	3	TX
Virtuelle	2	RX

Tableau 4.1 : Broche et connexion de notre circuit électronique

10-Principe de fonctionnent du circuit

La carte Arduino brancher sur l'USB du pc envoie un signal de (+5V) vers tout ces pins connectés d'où le déclenchement du servomoteur qui est très important, il offre l'action rotationnelle au capteur pour qu'il puisse détecter les objets mobiles et situant dans les 180 degrés.

La carte envoie une impulsion HIGH de largeur (10µs) sur la broche TRIGGER du capteur pour régénérer une séries de (08) ondes ultrasonores de fréquence de 40 KHz dans l'air provenant de l'émetteur (Inaudible pour l'être humain). Les ultrasons se propagent dans l'air jusqu'à toucher un obstacle et retourne dans l'autre sens vers le capteur par la broche ECHO,

Le capteur détecte la largeur de l'impulsion pour calculer la distance.

Le signal sur la broche ECHO du capteur reste à HIGH pendant l'envoi et la réception,ce qui permet de mesurer la durée de l'aller-retour des ultrasons et donc de déterminer la distance. La représentation Circuit final de notre projet de réalisation du Radar de détection est faite sur la figure 3.12.

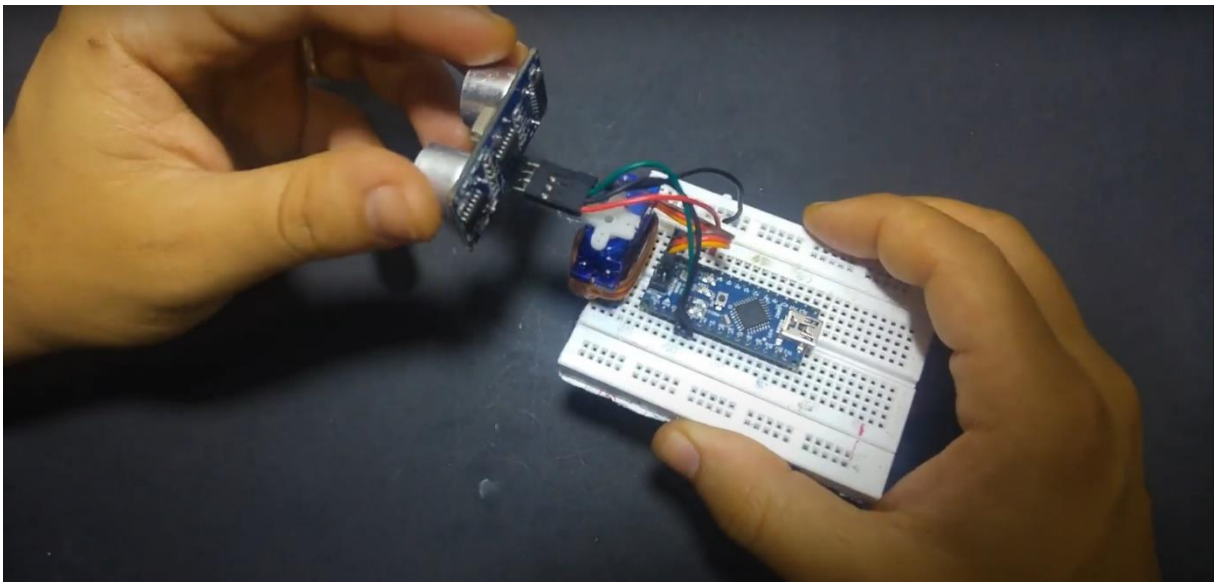


Figure 4.9. Circuit final de notre projet de réalisation du Radar de détection.

11-Résultats des différents objets détectés

Les figures ci-dessous extraites des résultats pratiques

Mise en marche du Radar

La figure suivante (3.14) représente la mise en marche de notre Radar de détection.

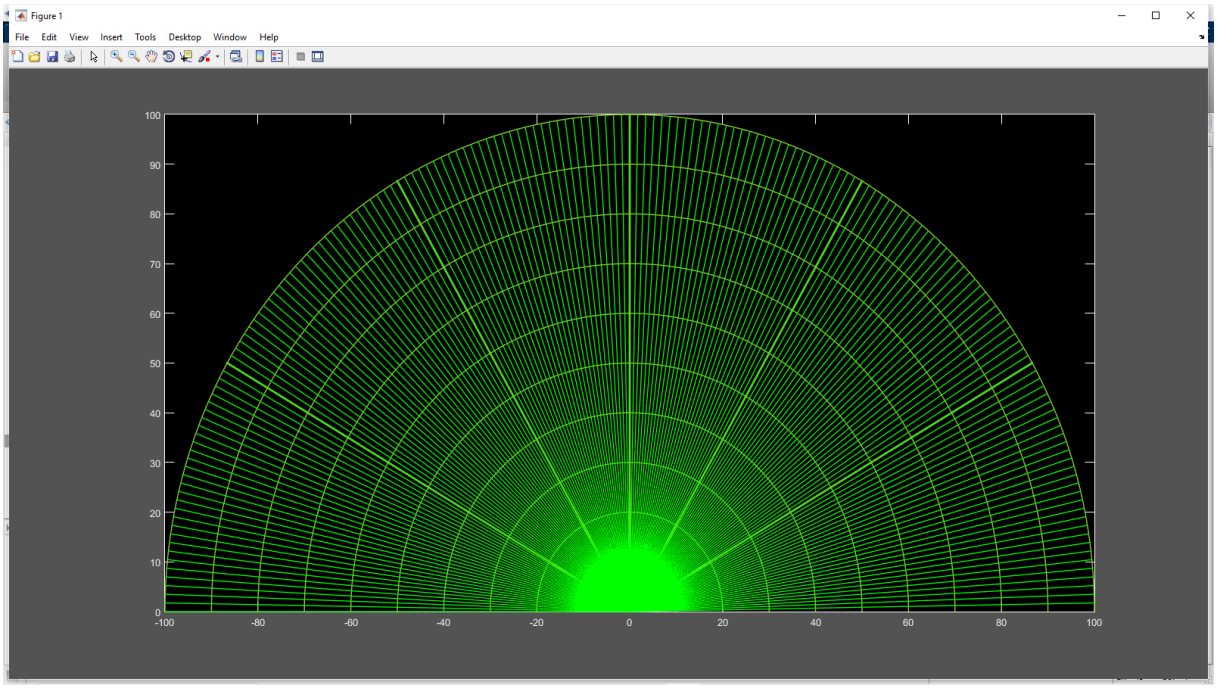


Figure 4.10 : Image global de la mise en marche du Radar.

Détection d'un objet à une distance 5cm et à un angle de 32°

Cette figure illustre un exemple d'objet que nous avons détecté à une distance 5cm et àun angle de 32°.

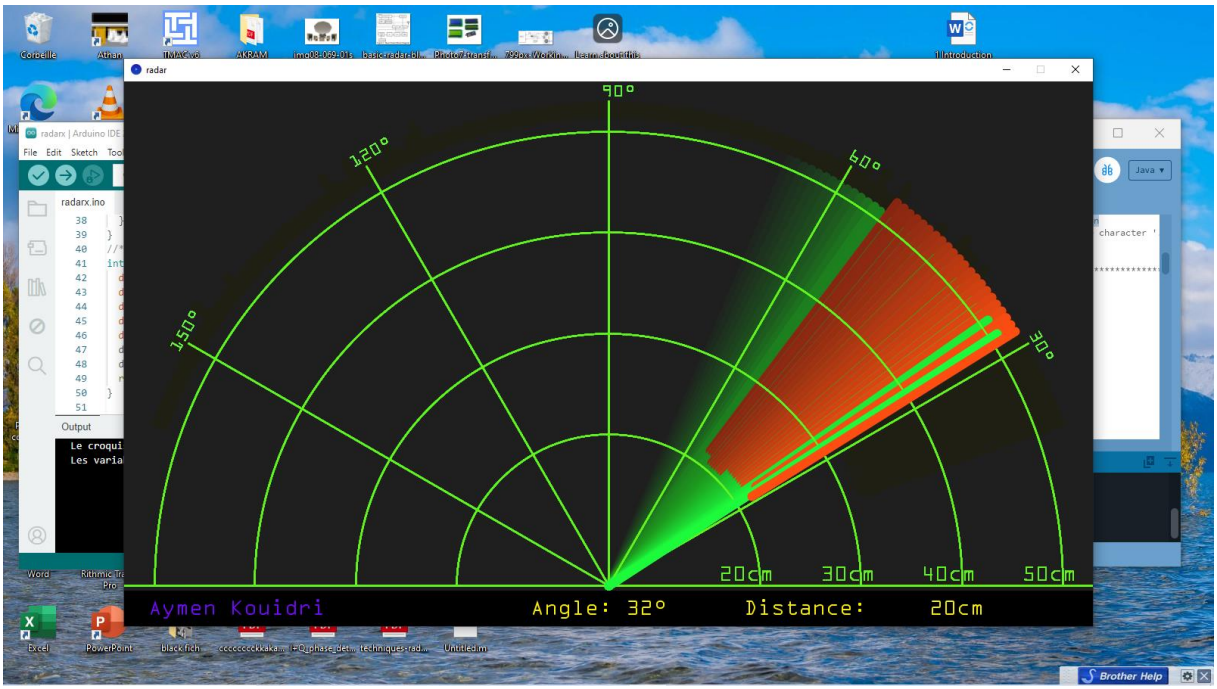


Figure 4.11 : Détection de l'objet 09.

Les deux figures précédentes obtenues dans notre réalisation du projet radar de détections (figure 3.15, figure 3.16) montrent que les résultats obtenus avec la simulation ressemblent aux résultats pratiques.

12-Détection de plusieurs objets à des différentes distances et à différents angle

Le tableau ci-dessous montre les déférents objets détectés dans plusieurs places.

N° d'objets détectés	Distance mesurés	L'angle mesuré
Objet 01	34	20
Objet 02	40	29.35
Objet 03	10	89
Objet 04	9	98
Objet 05	8	136
Objet 06	38	180
Objet 07	19	97
Objet 08	20	73
Objet 09	5	37

Objet 10	33	41
Objet 11	23	73
Objet 12	37	165

Tableau 4.2 : Les résultats des différents objets détectés par notre radar

13-Interprétations des résultats trouvés

Les résultats pratiques que nous avons obtenus dans le tableau ci-dessus sont les informations (distance et direction) de plusieurs objets fixes détectés.

Le bipeur déclenche lorsque l'objet est repéré à une distance inférieure ou égale à 10 cm. Quand une cible fixe est présente, il y a une forte puissance réfléchie vers le récepteur et une variation de fréquence.

Le signal d'écho a une fréquence faible, lorsque nous positionnons une cible devant le capteur, nous observons ensuite une variation de fréquence, ce qui permet de détecter l'objet fixe.

14-Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé une simulation et une mise en place d'un Radar de détection en utilisant la carte Arduino Uno . Nous avons utilisé un capteur à ultrason pour mesurer la distance et la direction des objets, ainsi que des directions de 20 à 160° à l'aide d'un servomoteur. Lors de la simulation sur THINCARD, nous avons observé que la valeur de la distance varie en fonction de la résistance variable liée au capteur à ultrasons. Lorsque la tension de la résistance variable augmente ou diminue, la valeur de la distance varie également.
Au cours de la réalisation, nous avons effectué des mesures de distance en utilisant un capteur en mouvement rotationnel de 20à 160° pour mesurer la distance d'une cible.

Conclusion générale :

Conclusion générale :

Le radar de détection est un dispositif qui permet de détecter des objets en utilisant des ondes électromagnétiques afin de découvrir leur portée, leur altitude, leur direction et leur vitesse. Les impulsions d'ondes de l'antenne Radar rebondissent sur tout objet qui se trouve sur leur trajet. Cette partie de l'onde reçue par le récepteur est renvoyée par l'objet en ligne de vue avec l'émetteur.

Nous avons approfondi notre étude d'un type de radar particulier, mettant en évidence ses caractéristiques distinctives et ses éléments clés. Nous avons également étudié la relation entre le mercure rouge et les radars et son utilisation dans les armes qui les exploitent. Finalement, nous nous sommes penchés sur le problème constant du bruit qui peut perturber le bon fonctionnement de ces systèmes indispensables.

Les différents composants d'un radar de détection ont été décrits, y compris la carte Arduino Uno, le capteur ultrasonique HC-SR04, l'écran LCD et le commandant. Les logiciels utilisés sont également inclus : l'IDE Arduino, Processing et Tinkercad. Le fonctionnement du radar a été exposé et son organigramme a été présenté.

Au cours de cette mémoire , nous avons réalisé une simulation et établi un radar de détection en utilisant une carte Arduino Uno. Nous avons utilisé un capteur à ultrasons pour évaluer la distance et la direction des objets sur un arc de 20 à 160°, en utilisant un servomoteur. En effectuant une simulation sur Tinkercad, nous avons constaté que la distance mesurée fluctue en fonction de la tension de la résistance variable associée au capteur à ultrasons. La distance d'une cible a été mesurée en pratique en déplaçant le capteur sur un arc de 20 à 160°.

Références Bibliographies:

[1]./www.radartutorial.eu/04.history/hi04.fr.html

[2].http://www.iniversalis.fr/encyclopedie/radar/

[3]. **Philippe Goy,** «Détection d'obstacles et de cibles de collision par un radar FMCW aéroporté». Thèse de doctorat de l'université de Toulouse, France. mardi 18 décembre 2012.

[4]. **M. Skolnik** , « Introduction to radar systems». Mc-Graw-Hill, New-York, 1981.

[5]. **DJEDOUI Nacéra & BOUKERN Dounya**, « Étude et réalisation d'un RADAR de détection », mémoire de master 2 en télécommunications, Université Aboubakr Belkaïd,Tlemcen. Algérie. 19/06/ 2017.

[6]. **B.MAHAFZA,** ***Matlab*** *simulations for radar systems design*, 2004, CRC Press/Chapman& Hall

[7]. C.Wolff, « Classification des systèmes radars » https://www.radartutorial.eu/02.basics/Classification%20des%20syst%C3%A8mes%20radars%20%281%29.fr.html , 2021

[8]. Wikipedia, « radar primaire ».

[9]. **KRATTOU Mohamed Riad**, « Étude De La Détection Radar Dans Un Milieu Homogène », mémoire de master 2 en télécommunications, l'université de Tlemcen, Algérie. Promtion2012/2013.

[10]. B.MAHAFZA, *Matlab simulations for radar systems design*, 2004, CRC Press/Chapman& Hall.

[11]. https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/documents-dinformation/le-radar.

[12]. Wikipedia, « Signal sur bruit »

https://fr.wikipedia.org/wiki/Rapport_signal_sur_bruit 2021

[13]. Wikipedia, « facteur de bruit »
https://fr.wikipedia.org/wiki/Facteur_de_bruit, 2021

[14]. Habibur Rahman, *fundamental principles of radar*, 2019, CRC Press, ISBN-139780429279478

[15]. https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/documents-dinformation/le-radar.
[16]. https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/documents-dinformation/le-radar.

[17]. **DJAFRI Menad& CHELOUCHE Djalal**, « Étude et réalisation d'une Carte Arduino»,mémoire de master 2 en Electronique, Université A.MIRA de Bejaia. Algérie. 20/06/2016.

[18]. **B.Cottenceau, «** Carte ARDUINO Uno Microcontrôleur ATMega328 ». Microcontrôleurs EI3 Option AGI.

[19]. **Mohanad Mahdi Abdulkareem, Qusay Adil Mohammed Muhanned Mahmood Shakir**, « A Short Range Radar System», Electric and Electronic Engineering Department, University of Turkish Aeronautical AssociationAnkara, Turkey ,2016.

[20]. **BENRABAH Youcef Islam & BOUHINI Mouhammed Yacine**, « Étude et réalisation d'un Radar électronique « Radar à ultrason», mémoire de master 2 en Télécommunications, Université Djilali Bounaama Khemis Miliana. Algérie. Promotion 2016/2017.

[21]. **Frank Ervin,** « Arduino-based Object Detection System », Project Final Report, April 27, 2010.

[22]. **LAKRID DJAHID,** « Emulation de Système SCADA pour le Contrôle et Distribution d'eau », mémoire de master 2 en automatique industriel, Université Badji Mokhtar Annaba. Algérie. Promotion 2017.

[23]. **Kadam D.B, Patil YuvrJ B,Chougale Krishnat V,Perdeshi Swagat** , « Arduino BasedMoving Radar System »,www.ijisset.org, ISSN 2455-4863 (Online), Volume: 3 Issue: 4 | April 2017.

[24]. **KRAMA Abdelbasset, GOUGUI Abdelmoumen**. « Etude et réalisation d'une

carte de contrôle par Arduino via le système Androïde ». Mémoire de Master Académique 2 enElectrotechnique Industrielle. Université Kasdi Merbah Ourgla. Algérie. Le 08/06/2015.

[25]. **Reas and Ben Fry**, «Processing: A Programming Handbook for Visual Designers and Artists (Second Edition) ». Publié, The MIT Press. December 2014.

[26]. **hc-sr04** « pj2-hc-sr04-utilisation-avec-picaxe-1343.pdf »