



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد  
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي  
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

**Département : Maintenance en instrumentation**

## MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

**Filière : Génie Industriel**

**Spécialité : Génie Industriel**

### Thème

# Simulation d'un système de télémétrie Radar

Présenté et soutenu par :

Nom : **BELGACEM**

Prénom : **Ibrahim**

Nom : **YAHIA**

Prénom : **Abdeldjalil**

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
MrTITAH Mawloud	MCB	IMSI-Univ. D'Oran2	<b>Président</b>
MmeAOUIMER Yamina	MAA	IMSI-Univ. D'Oran2	<b>Encadreur</b>
Mme ABDI Ghezail	MCB	IMSI-Univ. D'Oran2	<b>Examineur</b>

**Année 2021/2022**

## Remerciements

Avant tout nous tenons tout d'abord à remercier notre dieu tout puissant de nous avoir donné, la force et le courage, la santé, les moyens afin de pouvoir accomplir ce modeste travail.

Nous remercions notre promotrice M<sup>me</sup> Aouimer Yamina pour ses précieuses orientations, son aide et ses conseils tout au long de ce projet.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements et respects à tous les professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

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 près ou de loin à la réalisation de ce projet.

## Dédicaces

C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que je dédie ce modeste travail de fin d'étude à mes chers parents ; qui ont sacrifié leur vie pour ma réussite et m'ont éclairé le chemin par leurs conseils judicieux.

J'espère qu'un jour, Je pourrai leurs rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour moi, que dieu leur prête bonheur et longue vie. Je dédie aussi ce travail à mes frères.

J'espère que ce travail soit un exemple pour vous de persévérance, de courage et de générosité.

Je tiens de dédier ce travail :

A toute ma famille ainsi mes amis.

A mon binôme et meilleur ami « YAHIA Abdeljalil ».

A tous ceux que j'aime.

A tous ceux qui m'aiment.

A tous mes ami(e)s et mes collègues.

*Ibrahim*

## Dédicaces

Du plus profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers,

A mes chers parents

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tous les soutiens et l'amour que vous me portez et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formolés, le fruit de vos innombrables sacrifices. Puisse Dieu, le très haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie.

Je tiens de dédier ce travail : à tous les membres de ma famille ainsi mes amies.

A mon binôme et meilleur ami « BELGACEM Ibrahim ».

*Abdeljalil*

# SOMMAIRE

<i>Remerciements</i> .....	I
<i>Dédicace</i> .....	II
<i>Sommaire</i> .....	IV
<i>Liste des figures</i> .....	VII
<i>Liste des tableaux</i> .....	IX
<i>Introduction générale</i> .....	1

## Chapitre 1 : Généralité sur la télémétrie et les radars

1.1 Introduction .....	3
1.2 Les radars .....	4
1.2.1 Définitions .....	4
1.2.2 Historique .....	4
1.2.3 Principe de fonctionnement du radar .....	7
1.2.4 Description générale .....	8
1.2.5 Les types des radars .....	9
1.2.5.1 Radar lidar .....	9
1.2.5.2 Radar onde électromagnétique .....	10
1.2.5.3 Radar ultrasons .....	12
1.2.5.4 Définition des transducteurs .....	13
1.2.6 Bandes de fréquence radio-radar .....	14
1.2.7 Classification des systèmes radars.....	14
1.2.7.1 Radars imageurs / Radars non imageurs .....	15
1.2.7.2 Radars primaires .....	15
1.2.7.3 Radars secondaires .....	16
1.2.7.4 Radars à impulsions .....	16
1.2.7.5 Radars à onde continue .....	16
1.2.8 Composantes principales .....	17
1.2.8.1 Le transmetteur .....	17
1.2.8.2 Le duplexeur .....	18
1.2.8.3 L'antenne .....	18
1.2.8.4 Récepteur .....	18
1.2.9 Applications RADAR .....	19

1.2.9.1 Militaire .....	19
1.2.9.2 Aéronautique .....	19
1.2.9.3 Maritime .....	19
1.2.9.4 Météorologie .....	19
1.2.9.5 Circulation et sécurité routière .....	19
1.3 La Télémétrie .....	20
1.3.1 Calcul de la distance .....	20
1.3.2 Mesure de la direction .....	20
1.3.3 Angle de site et altitude .....	23
1.3.4 Equation du radar .....	24
1.3.4.1 Distance maximale de détection .....	28
1.3.4.2 Influence du sol .....	30
1.3.4.3 Surface équivalente radar .....	30
1.4 Conclusion .....	32

## **Chapitre 2 : Étude des composants et logiciels utilisés dans les radars**

2.1 Introduction .....	33
2.2 Description des composants.....	34
2.3 Définition du module Arduino.....	34
2.3.1 La Carte Arduino Uno.....	35
2.3.2 Composantes de la carte Arduino Uno.....	36
2.3.2.1 Microcontrôleur ATmega328.....	37
2.4 Capteur Ultrasons HC-SR04.....	39
2.4.1 Fonctionnement du capteur Ultrasons HC-SR04 .....	40
2.4.2 Caractéristiques et spécification du Capteur Ultrasons HC- SR04.....	41
2.4.3 Considérations pratiques pour l'utilisation du Capteur Ultrasons.....	41
2.5 Module Afficheur LCD.....	43
2.5.1 Connecteur de l'afficheur LCD.....	44
2.5.2 Communication avec l'afficheur LCD.....	45
2.6 Logiciels de programmation.....	46
2.6.1 Le logiciel de programmation du module Arduino.....	46
2.6.2 Structure générale du programme (Arduino).....	48
2.7 Logiciel PROTEUS.....	49
2.8 Fonctionnement du radar.....	49

2.9 Conclusion.....	51
---------------------	----

## **Chapitre 3 : Simulation d'un système de télémétrie Radar**

3.1 Introduction .....	52
3.2 Principe de fonctionnement.....	52
3.3 Simulation du projet sous PROTEUS .....	52
3.3.1 Présentation.....	52
3.3.2 Les différentes étapes du projet .....	52
3.3.3 Les composants utilisés dans cette simulation sont.....	52
3.3.4 Démarche de la simulation.....	53
3.3.4.1 Bibliothèque Arduino pour Proteus .....	53
3.3.4.2 Bibliothèque de capteurs à ultrasons pour PROTEUS .....	54
3.3.4.3 Circuit global de simulation .....	56
3.3.5 Injection du fichier .HEX sous Proteus.....	58
3.4 Principe de fonctionnement du circuit électronique de simulation.....	50
3.5 La méthode de mesure.....	61
3.6 Résultats de la simulation.....	62
3.7 Conclusion .....	63
<i>Conclusion générale</i> .....	64
<i>Références</i> .....	65
<i>Annexe code arduino</i> .....	67

## Liste des figures

Figure 1.1 : Henri GUTTON près du radar de détection du Normandie.....	5
Figure 1.2 : Station de la Chain Home vue générale (1939).....	6
Figure 1.3 : Radar expérimental de détection des satellites STRADIVARIUS sur son site de Bruz (1970).....	7
Figure 1.4 : principe de l'émission du radar.....	8
Figure 1.5 : Principe du sondage radar.....	9
Figure 1.6 : Lidars télémètres laser à balayage.....	10
Figure 1.7 : Les ondes électromagnétiques.....	11
Figure 1.8 : Organigramme des systèmes radar.....	15
Figure 1.9 : Azimut de la cible.....	21
Figure 1.10 : Détermination de l'azimut par rapport à la largeur du faisceau.....	21
Figure 1.11 : Relation trigonométrique simple entre l'élévation et la hauteur.....	23
Figure 1.12 : Densité de puissance omnidirectionnelle.....	25
Figure 1.13 : Relation entre les puissances émises et réfléchies.....	26
Figure 2.1: MODULE ARDUINO.....	34
Figure 2.2: CARTE ARDUINO UNO.....	35
Figure 2.3 : Constitution de la carte Arduino UNO.....	37
Figure 2.4 : Microcontrôleur ATmega328.....	38
Figure 2.5 : Capteur Ultrasons HC-SR04.....	39
Figure 2.6 : Le diagramme temporel.....	40
Figure 2.7 : distance supérieur à 3 mètres.....	41
Figure 2.8 Surface peut réfléchissante de l'objet.....	42



Figure 2.9 : Objet trop petit.....	42
Figure 2.10 : Afficheurs LCD : (a) (16x2), (b) (20x4).....	43
Figure 2.11 : Connecteur de l’afficheur LCD.....	44
Figure 2.12 : Plateforme Arduino.....	46
Figure 2.13 : Plateforme générale de Arduino.....	47
Figure 2.14 : Consignes du programme Arduino.....	47
Figure 2.15 : Structure générale du programme (Arduino).....	48
Figure 2.16 : Logiciel PROTEUS.....	49
Figure 2.17 : Diagramme temporel de HC-SR04.....	50
Figure 3.1 : Intégrer carte Arduino sous Proteus.....	53
Figure 3.2 : Intégrer Capteur Ultrasons HC-SR04 sous Proteus.....	54
Figure 3.3 : Rajout du fichier UltrasonicTEP.HEX sous Proteus.....	55
Figure 3.4 : Circuit électronique de simulation.....	56
Figure 3.5 : Injection du fichier .HEX sous Proteus.....	58
Figure.3.6 : Résultats de simulation sur le terminal virtuel de Proteus.....	59
Figure 3.7 : Diagramme temporel de HC-SR04.....	60
Figure 3.8 : Diagramme de mesure de HC-SR04.....	61

## Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Caractéristiques de la Carte Arduino UNO.....	36
Tableau 2.2 : Spécifications des capteurs ultrason HC-SR04. ....	41
Tableau 2.3 : Nomenclature du connecteur de l’afficheur LCD.....	45
Tableau 3.1 : Broche et connexion du notre circuit électronique.....	57
Tableau 3.2 : Résultats de plusieurs détections de simulation.....	63

# **INTRODUCTION GENERALE**

## Introduction générale

Depuis la seconde guerre mondiale, les technologies radars ont fait l'objet de nombreux développements industriels. Si initialement, les applications étaient purement militaires. De nos jours, les radars recouvrent un large éventail de disciplines dans des domaines variés tels que le militaire, l'aéronautique, la marine, la météorologie. La détection du signal radar est une tâche très complexe qui requiert un matériel spécial et un énorme calcul de traitement du signal.

Le mot radar est un acronyme anglais « Radio Détection And Ranging », c'est un instrument de télédétection active qui génère des impulsions d'onde électromagnétique de fréquence donnée suivi par des applications d'imagerie pour détecter et déterminer la distance, la vitesse ou les deux au mêmes temps d'un objet tels que les avions, les bateaux ...etc. Il est utilisé dans plusieurs domaines tels que la météorologie pour l'observation des nuages, la mesure de la vitesse du vent, dans le domaine militaire pour la détection d'intrusion.

Le radar est constitué de deux parties : un émetteur et un récepteur, l'émetteur envoie des ondes radio qui sont réfléchies par la cible et détectées par le récepteur de ce radar .La position de l'objet est calculée grâce au temps d'aller et retour du signal reçu. Quant à la vitesse, elle est mesurée en utilisant le principe de l'effet Doppler-Fizeau qui consiste à détecter le changement de fréquence d'une cible mobile (plus grande fréquence pour les cibles s'approchant du radar et plus petite pour ceux s'éloignant). En mesurant la différence de fréquence entre l'onde émise et celle retournée, la vitesse de la cible peut être calculée. Dans ce mémoire nous présentons Simulation d'un système de télémétrie Radar.

Le but principal de ce projet Simulation d'un système de télémétrie Radar en utilisant la carte Arduino, nous avons faire une étude générale sur la théorie des radars, regrouper suffisamment d'informations sur une grande catégorie des cartes de prototypage Arduino, La logicielle est conçue à l'aide de la plate-forme de proteus. Les matérielles sont composée : la carte Arduino, un capteur ultrasonique pour la distance, et d'un afficheur LCD, tous ces composants sont contrôlés par un micro-contrôleur à base de l'environnement Arduino.

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 étude des composants et logicielles utilisées dans les radars.
- Dans le troisième chapitre, nous présenterons simulation d'un système de télémétrie Radar.

**Chapitre I :**  
**Généralité sur la télémessure et les radars**

## 1.1 Introduction :

Le radar est un système qui utilise les ondes électromagnétiques pour détecter la présence et déterminer la position ainsi que la vitesse d'objets tels que les avions, les bateaux, ou la pluie.

Les ondes envoyées par l'émetteur sont réfléchies par la cible, et les signaux de retour « appelés écho radar » sont captés et analysés par le récepteur, souvent situé au même endroit que l'émetteur.

La distance est obtenue grâce au temps aller/retour du signal, la direction grâce à la position angulaire de l'antenne où le signal de retour a été capté et la vitesse avec le décalage de fréquence du signal de retour généré selon l'effet Doppler. Il existe également différentes informations trouvées par le rapport entre les retours captés selon des plans de polarisation orthogonaux.

Le radar est utilisé dans de nombreux contextes: en météorologie pour détecter les orages, pour le contrôle du trafic aérien, pour la surveillance du trafic routier, par les militaires pour détecter les objets volants mais aussi les navires en astronautique.

## 1.2 Les radars :

### 1.2.1 Définitions :

L'équipement de détection et de localisation s'est appelé successivement détection électromagnétique (France), Radio Location (Grande-Bretagne) et enfin RADAR (nom du projet secret aux Etats-Unis, vulgarisé en 1945). Le terme RADAR est l'acronyme de Radio Detecting And Ranging :

- **Radio** : Pour électromagnétique. Les radars fonctionnent à des fréquences comprises entre 3 MHz (ondes de surface ou par réflexion ionosphérique) et 100 GHz (courtes portées).

- **Détection** : seules, les cibles utiles, définies par les spécifications de besoin des utilisateurs, et rejette des signaux parasites.

- **And** : simultanément.

- **Ranging** : localisation des cibles en quatre dimensions, Site, Gisement, Distance, Vitesse radiale.

Le RADAR est un instrument d'alerte (détection) et de mesure (localisation), deux caractéristiques sont essentielles :

- Précision, incertitude sur la valeur exacte de chaque paramètre de localisation.
- Pouvoir séparateur, ou résolution, possibilité de distinguer et de localiser séparément plusieurs cibles. [1]

### 1.2.2 Historique :

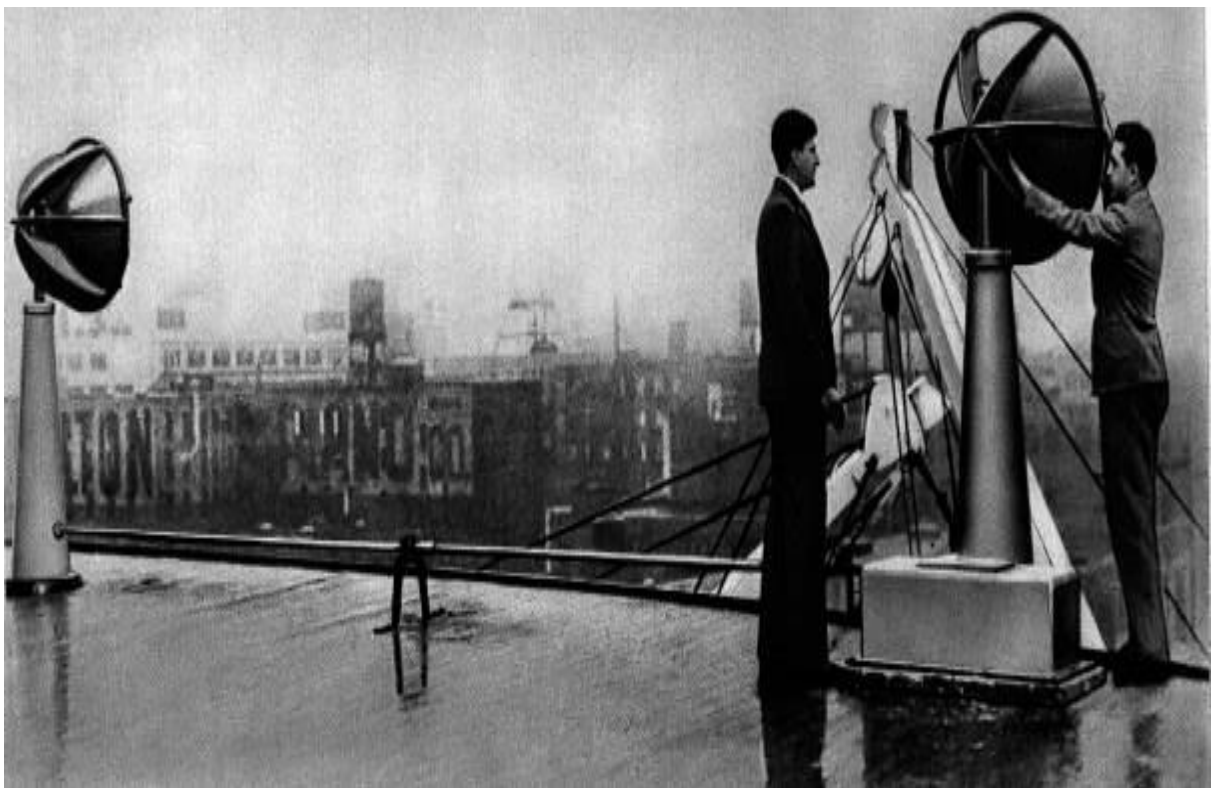
Le radar n'est pas l'invention d'une seule personne. On doit plutôt considérer le Radar comme le résultat de l'accumulation de nombreuses recherches menées antérieurement, et auxquelles les scientifiques de plusieurs pays ont parallèlement participé. Au fil de cette histoire, il existe néanmoins des points de repères qui correspondent à la découverte de quelques grands principes de base ou à des inventions importantes.



En 1904, le technicien allemand spécialiste des ondes hertziennes, Christian Hülsmeier, 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 d'un appareil qui suit les principes de ce que sera le radar plus tard. Hülsmeier dépose un brevet de son invention en Allemagne, en France et au Royaume-Uni.

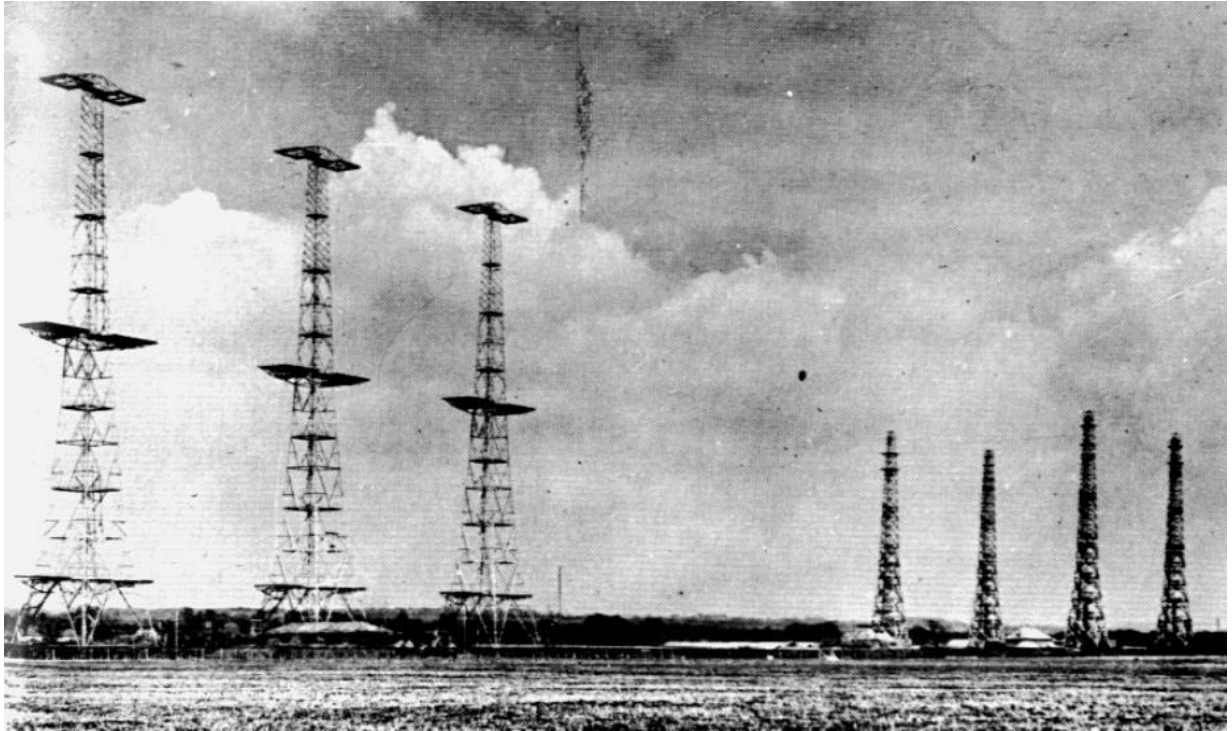
En 1921, Albert Wallace Hull développe un oscillateur à haut rendement, le magnétron, qui servira plus tard comme source de l'onde radar et en 1922, A. H. Taylor et L. C. Young, du Naval Research Laboratory (USA), détectent pour la première fois un navire en bois dans une expérience assez similaire à celle de Hülsmeier.

En 1934, faisant suite à une étude systématique du magnétron, des essais sur des systèmes de détection par ondes courtes sont menés en France par la CSF (16 et 80 cm de longueur d'onde) selon les principes de Nicolas Tesla. Un brevet est déposé (brevet français n° 788795). Le premier équipa en 1934 le cargo Oregon, suivi en 1935 par celui du paquebot Normandie.



**Figure 1.1 : Henri GUTTON près du radar de détection du Normandie.**

En 1935, faisant suite à un brevet déposé par Robert Watson-Watt (l'inventeur dit « officiel » du radar) (brevet anglais GB593017), le premier réseau de radar est commandé par les Britanniques et portera le nom de code Chain Home. [2]



**Figure 1.2 : Station de la Chain Home vue générale (1939)**

L'évènement des antennes réseau à balayage électronique constitue certainement l'une des mutations les plus significatives qui ont modifié profondément la physionomie des radars modernes.

La première conception en France d'une antenne à balayage électronique 2D date de 1968, à partir d'un projet de 1966 de l'équipe antenne CSF dirigée par Mr Landesmann, sur un cahier des charges du STTA, dans le cadre d'un projet ambitieux d'un prototype de radar de surveillance spatiale le STRADIVARIUS. [3]



**Figure 1.3 : Radar expérimental de détection des satellites STRADIVARIUS sur son site de Bruz (1970)**

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. D'autre part, le radar fait son apparition dans le domaine civil après le conflit. En premier, c'est le domaine de l'aviation civil qui en est équipée, permettant un rapide développement du contrôle aérien. Il se répand ensuite dans des domaines aussi divers que la détection des précipitations en météorologie, l'étude des planètes en astronomie, le contrôle de la vitesse sur les routes et la détection des artefacts archéologiques dans le sol. [2]

### **1.2.3 Principe de fonctionnement du radar :**

Le principe utilisé par les radars est voisin de celui de la réflexion des ondes sonores. Lorsque vous criez dans la direction d'un objet qui peut réfléchir le son de votre voix (dans un canyon ou dans une grotte par exemple), vous en entendez l'écho. Si vous connaissez la vitesse du son dans l'air, vous pouvez alors estimer la distance et la direction générale de l'objet. Le temps nécessaire à l'aller et au retour du son vers vous peut être converti en distance si vous connaissez sa vitesse.

Le radar utilise des impulsions d'énergie électromagnétique à peu près de la même manière. Le signal hyperfréquence est émis en direction de la cible. Une petite partie de

l'énergie transmise est réfléchi par la cible dans la direction du radar. Cette énergie renvoyée par la cible jusqu'au radar est appelée «écho», exactement comme lorsque l'on considère les ondes sonores. Un radar utilise l'écho afin de déterminer la direction et la distance de l'objet qui a réfléchi son signal. La figure 03 illustre principe de l'émission du radar. [2]

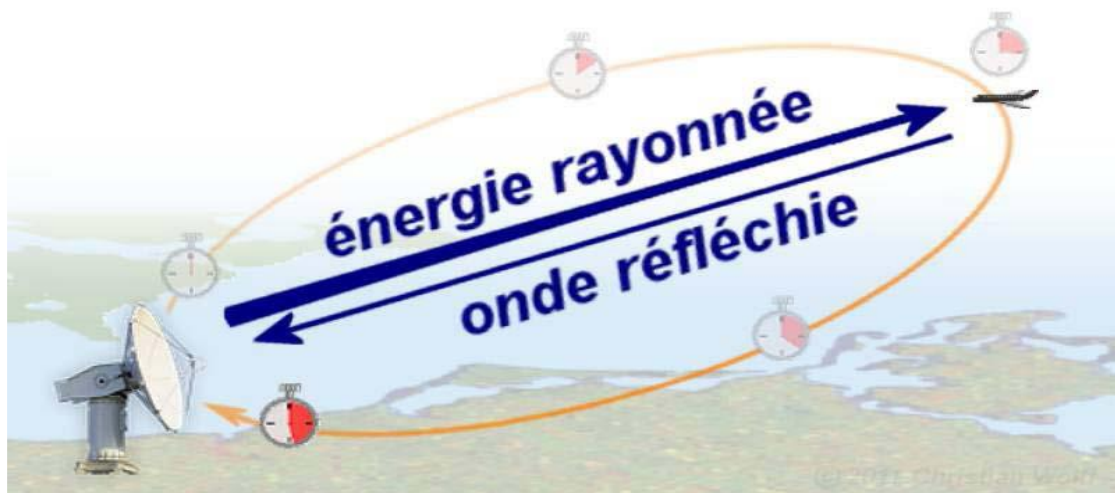


Figure 1.4 : principe de l'émission du radar.

### 1.2.4 Description générale :

Un radar émet de puissantes ondes produites par un oscillateur radio et transmises par une antenne. Bien que la puissance des ondes émises soit de grande amplitude, le signal renvoyé est le plus souvent d'amplitude très petite. Les signaux radio sont facilement détectables électroniquement et peuvent être amplifiés de nombreuses fois.

Il existe différentes façons d'émettre ces ondes, les plus utilisées sont :

- Les ondes pulsées, où le radar émet une impulsion et attend le retour.
- Le radar à émission continue, où l'on émet continuellement à partir d'une antenne et on reçoit à l'aide d'une seconde.

En analysant le signal réfléchi, il est possible de localiser et identifier l'objet responsable de la réflexion, ainsi que de calculer sa vitesse de déplacement. Le radar peut détecter des objets ayant une large gamme de propriétés réfléchives. La figure 04 illustre le principe du sondage radar.



Figure 1.5 : Principe du sondage radar

## 1.2.5 Les types des radars :

### 1.2.5.1 Radar lidar :

#### a) Définition de radar lidar :

C'est un capteur actif utilisant comme source émettrice un laser, analysant les données transmises par divers capteurs (radar, ultrasonique et vidéo). Le terme lidar couvre une très grande variété de systèmes de mesure à distance par lumière. Actuellement, on trouve encore l'acronyme « LIDAR » « Light Détection And Ranging », qui est plutôt utilisé dans le domaine militaire sur des cibles.

De manière générale, le fonctionnement du lidar ressemble à celui du radar « basé sur l'écholocalisation », la différence étant le domaine spectral des ondes électromagnétique employées. Alors que le radar fonctionne dans le domaine des micros onde (fréquence de 1 à 100 GHz), longueurs d'onde millimétriques et centimétriques), le lidar est fondé sur des lasers rayonnant dans le domaine infrarouge. [4]

#### b) Lidar à cible dure :

- **Lidars télémètres laser à balayage :**

Le type de lidar le plus simple et le plus répandu demeure le télémètre laser qui calcule directement la distance d'un objet réfléchissant les impulsions laser émises, à partir de la différence de temps entre l'émission d'une impulsion et la réception de l'écho le plus

important avec une vitesse de la lumière de l'ordre de  $299\,800\text{ km s}^{-1}$ . La précision de cette mesure est inversement proportionnelle à la durée de l'impulsion et augmente avec l'énergie récupérée sur la photo Détecteur du lidar. La figure 05 illustre la structure de ce type de lidar.



**Figure 1.6 : Lidars télémètres laser à balayage**

- **Lidars à détection la mesure de vitesse :**

Il est caractérisé par sa capacité à détecter un décalage en fréquence, son fonctionnement est basé sur la mesure de vitesse d'une cible dure. [4]

### **1.2.5.2 Radar onde électromagnétique :**

Il est utilisé dans le domaine militaire (détection d'avion généralement), ce type de radar est basé sur la propagation et réflexion des ondes électromagnétique. Une onde électromagnétique comporte à la fois un champ électrique et un champ magnétique oscillant même fréquence. La propagation de ces ondes s'effectue à une vitesse qui dépend du milieu considéré. Dans le vide, la vitesse de propagation est égale à  $3.108\text{ m/s}$ . [5]



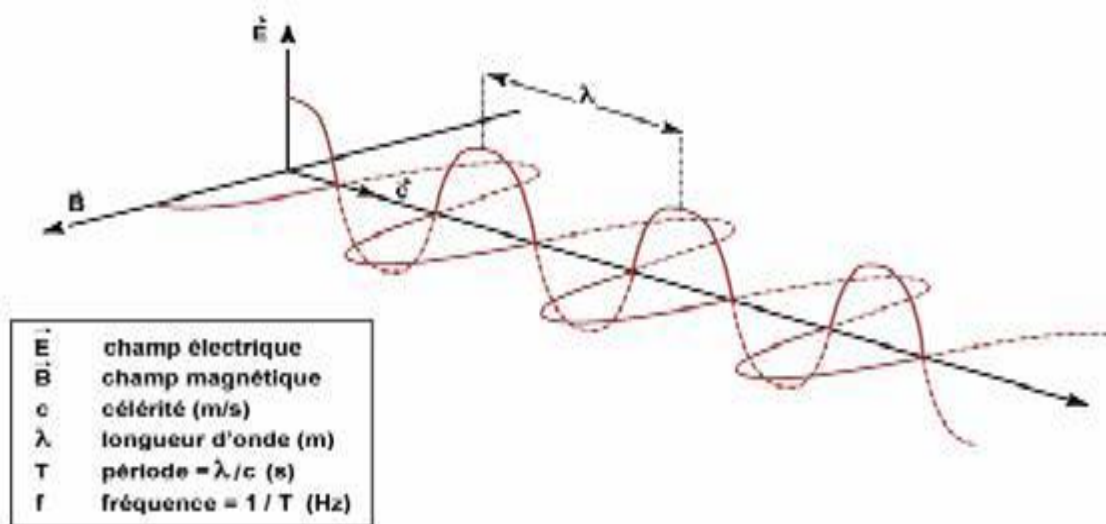


Figure 1.7 : Les ondes électromagnétiques

### c) Caractéristiques des ondes électromagnétiques :

- **Période (T):** elle représente le temps nécessaire pour que l'onde effectue un cycle. L'unité est la seconde.
- **Fréquence (f):** c'est l'inverse de la période, elle traduit le nombre de cycles par unité de temps.
- **Longueur d'onde ( $\lambda$ ):** elle exprime le caractère oscillatoire périodique de l'onde dans l'espace. C'est la longueur parcourue par l'onde pendant une période  $T$  dans l'espace (figure 04) donc la distance séparant deux crêtes successives.

Nous avons donc la relation :

$$\lambda = c * T$$

Ou encore :

$$\lambda = c / f$$

car :

$$f = 1 / T$$

Par conséquent, plus la longueur d'onde est petite, plus la fréquence est élevée, et réciproquement.

### 1.2.5.3 Radar ultrasons :

#### a) Définition des ultrasons :

Les ultrasons sont des ondes acoustiques qui se caractérisent par une fréquence supérieure à 20kHz, ce sont des vibrations de même nature que le son, mais de fréquence audible pour l'homme [6].

#### b) Propriétés des ultrasons :

Parmi les propriétés des ultrasons nous pouvons citer :

- **Amortissement :**

Le coefficient d'amortissement  $\alpha$  est dû à la dissipation de l'énergie de l'onde ultrasonore lorsqu'elle s'éloigne de la source. C et amortissement se traduit par une décroissance de l'intensité ultrasonique en fonction de la distance parcourue suivant la loi :

$$I = I_0 * e^{-2\alpha L}$$

$\alpha$  : Coefficient d'amortissement

$I_0$  : Intensité de la source

$L$  : Distance parcourue dans le milieu

- **Vitesse :**

La vitesse de propagation dépend de plusieurs paramètres :

-La densité du milieu

-L'élasticité du milieu

-Nature des matériaux



-Mode de propagation

- **Réfraction :**

La réfraction est le phénomène d'incurvation des rayons sonores lorsqu'ils se propagent dans un milieu dont la célérité varie spatialement.

- **Longueur d'onde :**

Si un point milieu élastique est le siège de vibration périodique, la longueur d'onde explicitant la périodicité dans l'espace, est définie par analogie à T. Elle est égale au chemin parcouru par un front d'onde pendant une période. Elle est donnée par relation suivante :

$$\lambda = c$$

- **Propagation :**

Dans un milieu déterminé de dimensions infinies, les ultrasons se propagent comme des ondes acoustiques. L'émetteur d'ultrasons provoque la mise en vibration des particules du milieu qui l'entoure, ensuite les oscillations se transmettent de proche en proche, nous distinguons deux modes de propagation :

a- Le mode longitudinal : Les particules du milieu vibrent suivant la direction de propagation.

b- Le mode transversale : Les particules du milieu vibrent suivant la direction perpendiculaire à la direction de propagation.

#### 1.2.5.4 Définition des transducteurs :

Un transducteur est un système qui transforme l'énergie reçue sous une forme donnée (par exemple : mécanique, thermique, lumineuse...) en énergie utilisable sous une forme différente (par exemple acoustique, électrique...). Ainsi, un transducteur électroacoustique transforme une énergie acoustique (onde sonore) en énergie électrique (signal). Le phénomène exploité dans les transducteurs est l'électroacoustique et la piézoélectrique. Ils sont peu coûteux et faciles à mettre en œuvre.

### 1.2.6 Bandes de fréquence radio-radar :

Elles représentent l'ensemble des bandes de fréquence employées en détection électromagnétique active et passive et en radio communication. La plupart des applications radar utilisent les bandes situées entre 1 GHz et 40 GHz. Les fréquences inférieures à 1GHz ou supérieures à 40 GHz peuvent cependant être utilisées pour répondre à des besoins particuliers.

Les bandes définies par l'Union Internationale des Télécommunication (UIT) sont généralement utilisées pour les liaisons radio [5].

- **Bande UHF :**

Les fréquences de 300 MHz à 1 GHz sont utilisées pour la détection et la poursuite des satellites, ainsi que les missiles balistiques sur de longues trajectoires.

- **Bande L :**

Les fréquences de 1 à 2 GHz sont préférées pour les radars de portée jusqu'à 400 km (250 milles nautiques). Dans le domaine de la gestion de la circulation aérienne, les radars de longue portée utilisent cette fréquence.

- **Bande S :**

L'atténuation atmosphérique de l'onde dans la bande S (2 à 4 GHz) est plus grande que dans la bande précédente sans être excessive, et les radars utilisant ces fréquences doivent avoir une plus grande puissance pour obtenir une portée équivalente de la bande L.

### 1.2.7 Classification des systèmes radars :

Les équipements radars utilisent des qualités et des technologies différentes. Ceci se traduit par une première classification des systèmes radars : [2]

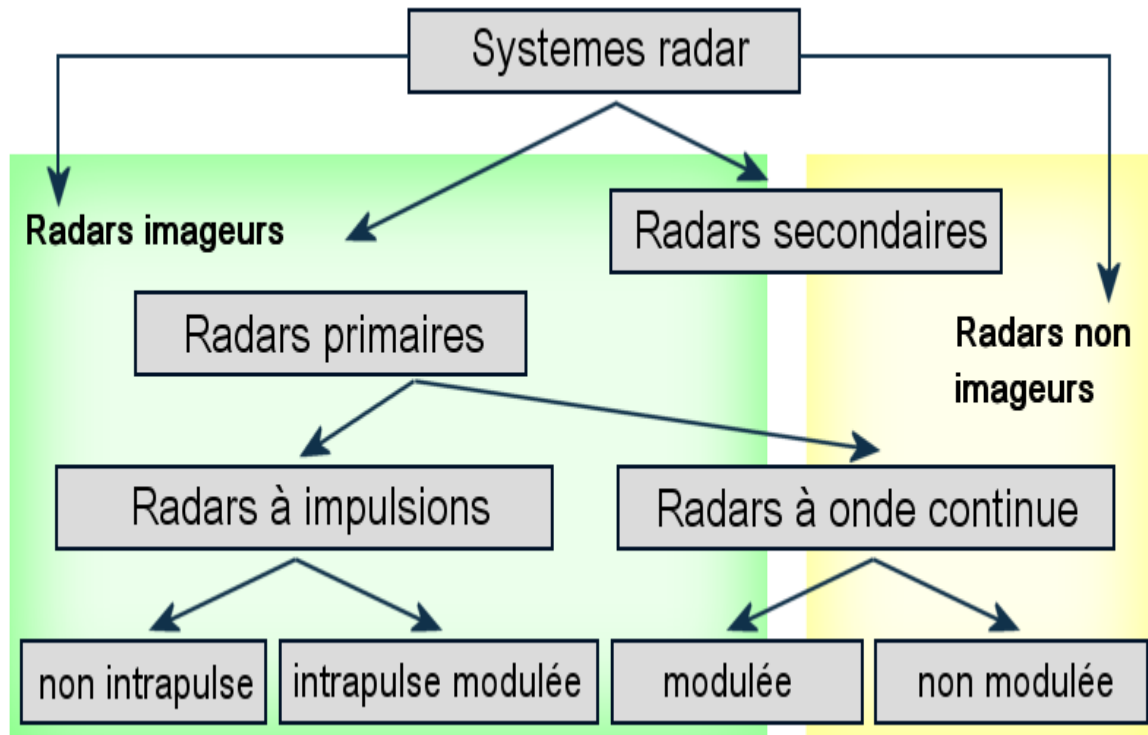


Figure 1.8 : Organigramme des systèmes radar.

### 1.2.7.1 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 diffus mètre 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.

### 1.2.7.2 Radars primaires :

Un radar primaire émet des signaux hyperfréquences qui sont réfléchis par les cibles. Les échos réfléchis sont reçus et étudiés. Contrairement à un radar secondaire, un radar primaire reçoit la partie réfléchi de son propre signal.

### 1.2.7.3 Radars secondaires :

Avec ces radars, l'avion doit être équipé d'un transpondeur (transmetteur répondeur) qui répond à l'interrogation du radar en générant un signal codé. Cette réponse peut contenir beaucoup plus d'informations que celles qu'un radar primaire peut collecter (par exemple l'altitude, un code d'identification, ou encore un rapport de problème à bord comme une panne totale des radios communications).

### 1.2.7.4 Radars à impulsions :

Les radars à impulsions émettent des impulsions de signal hyperfréquence à forte puissance. Chaque impulsion est suivie d'un temps de silence plus long que l'impulsion elle-même, temps durant lequel les échos de cette impulsion peuvent être reçus avant qu'une nouvelle impulsion ne soit émise. Direction, distance et parfois, si cela est nécessaire, hauteur ou altitude de la cible, peuvent être déterminées à partir des mesures de la position de l'antenne et du temps de propagation de l'impulsion émise.

### 1.2.7.5 Radars à onde continue :

Les radars à onde continue génèrent un signal hyperfréquence continu. Le signal réfléchi est reçu et traité, mais le récepteur (qui dispose de sa propre antenne) n'est pas tenu d'être au même emplacement que l'émetteur. Tout émetteur de station radio civile peut être simultanément utilisé comme un émetteur radar, pour peu qu'un récepteur relié à distance puisse comparer les temps de propagation du signal direct et du signal réfléchi. Des essais ont montré que la localisation d'un avion était possible par la comparaison et le traitement des signaux provenant de trois différentes stations émettrices de télévision.

- **Radars à onde continue non modulée :**

Le signal émis par ces équipements est constant en amplitude et en fréquence. Spécialisés dans la mesure des vitesses, les radars à onde continue ne permettent pas de mesurer les distances. Ils sont employés par exemple par la gendarmerie pour les contrôles de vitesse sur les routes (cinémomètres radars). Des équipements plus récents (LIDAR) fonctionnent dans la bande de fréquence des lasers et permettent d'autres mesures que celle de la vitesse.

- **Radars à onde continue modulée :**

Le signal émis est constant en amplitude mais modulé en fréquence. Cette modulation rend à nouveau possible le principe de la mesure du temps de propagation. Un autre avantage non négligeable de ce type d'équipement est que, la réception n'étant jamais interrompue, les mesures s'effectuent en permanence. Ces radars sont utilisés lorsque les distances à mesurer ne sont pas trop grandes et qu'il est nécessaire d'effectuer des mesures ininterrompues (par exemple une mesure d'altitude pour un avion ou un profil de vents par un radar météorologique). Un principe similaire est utilisé par des radars à impulsions qui génèrent des impulsions trop longues pour bénéficier d'une bonne résolution en distance. Ces équipements modulent souvent le signal contenu dans l'impulsion afin d'améliorer leur résolution en distance. On parle alors de compression d'impulsion.

## **1.2.8 Composantes principales :**

### **1.2.8.1 Le transmetteur :**

Le transmetteur est un appareil électronique qui génère une impulsion électromagnétique de la gamme des ondes radio qui sera envoyé à l'antenne pour diffusion. Il doit pouvoir :

- Produire l'onde de radiofréquence à une puissance moyenne et de pointe désirée.
- Émettre des ondes sur une gamme de fréquences.
- Émettre de façon stable la ou les fréquences désirées afin de permettre un traitement reproductibles des données.

- Être modulable en fréquence ou en phase pour les besoins de la formation de l'impulsion.

- Être fiable, facile à entretenir et efficace pour une très longue durée de vie. Le transmetteur radar est construit en tenant compte des appareils qu'il alimente et ce chapitre décrira ceux-ci. Les types principaux de transmetteurs sont :

- Les oscillateurs de puissance: un tube à vide ou une cavité résonnante, habituellement un magnétron, génère une impulsion de radiofréquence lorsqu'il est excité par générateur de décharges de puissance de courant continu appelé modulateur. Ce type est utilisé dans les radars non-cohérents ou pseudo-cohérents (la cohérence étant la possibilité de toujours émettre des impulsions de même phase). [2]

### 1.2.8.2 Le duplexeur :

Un commutateur électronique, dirige l'onde vers l'antenne lors de l'émission ou le signal de retour depuis l'antenne vers le récepteur lors de la réception quand on utilise un radar mono statique. Il permet donc d'utiliser la même antenne pour les deux fonctions.

Il est primordial qu'il soit bien synchronisé, puisque la puissance du signal émis est de l'ordre du mégawatt ce qui est trop important pour le récepteur qui, lui, traite des signaux d'une puissance de l'ordre de quelques nano watts. Au cas où l'impulsion émise serait dirigée vers le récepteur, celui-ci serait instantanément détruit. [7]

### 1.2.8.3 L'antenne :

L'antenne est une des parties les plus importantes d'un radar. Elle réalise les fonctions essentielles suivantes:

- Elle transfère la puissance de l'émetteur à des signaux dans l'espace avec l'efficacité voulue et la selon la répartition nécessaire. Le même processus est appliqué à la réception.
- Elle permet d'obtenir le diagramme de rayonnement souhaité. En général il sera suffisamment étroit dans le plan horizontal pour obtenir la précision et la résolution demandée en azimut.
- Elle doit assurer la mise à jour de la position de la cible à la fréquence voulue. Dans le cas d'une antenne à balayage mécanique, cette mise à jour se fera au rythme de la rotation de l'antenne. Une vitesse de rotation élevée peut poser des problèmes mécaniques importants, notamment pour les équipements qui émettent dans des bandes de fréquences nécessitant l'utilisation d'antennes imposantes et pouvant peser plusieurs tonnes.
- Elle doit mesurer sa direction de pointage avec une grande précision.

### 1.2.8.4 Récepteur :

Le récepteur reçoit les échos de retour qui ont été perçus par l'antenne. Il transforme le signal à haute fréquence du faisceau en un signal modulé de fréquence intermédiaire qui contient l'information des échos, l'amplifie et les transmet ensuite au système de traitement du circuit radar qui en retirera ensuite les cibles d'intérêt. Le récepteur idéal doit :

- Amplifier les signaux reçus sans y ajouter de bruit de fond ou distorsion;
- Optimiser la probabilité de détection de signaux grâce à une bande passante adaptée.
- Avoir une large plage d'intensités qu'il peut traiter sans saturation.
- Rejeter les signaux d'interférence pour optimiser l'extraction de l'information.

## 1.2.9 Applications RADAR :

Les applications du Radar sont multiples :

### 1.2.9.1 Militaire :

- Radars de détection et de surveillance aérienne au sol ou embarqués.
- Radars de veille surface sur navire de guerre.
- Auto directeurs de missiles.
- Brouilleurs radars.
- Satellites radar d'observation de la terre.

### 1.2.9.2 Aéronautique :

- Control du trafic aérien.
- Guidage d'approche d'aéroport.
- Radars d'altimétrie.
- Radars de navigation.

### 1.2.9.3 Maritime :

- Radars de navigation.
- Radars anti collision.
- Balises radars.

### 1.2.9.4 Météorologie :

- Détection de précipitations (pluie, neige, grésil, grêle) et la formation nuageuse.

### 1.2.9.5 Circulation et sécurité routière :

- Control de la vitesse des automobiles (cinémomètre) ;
- Radar de recul sur automobiles ;
- Radar fixe ;
- Détection et mesure de vitesse jusqu'à 300 km/h ;
- Portée de l'ordre de 50 mètres ;
- Précision de vitesse de la classe de  $\pm 3$ km/h.

## 1.3 La Télémétrie:

### 1.3.1 Calcul de la distance :

Dans le cas d'un radar à impulsions, la distance est calculée à partir du temps de transit (aller et retour) d'une brève impulsion radioélectrique émise et de sa vitesse de propagation  $c_0$ . La distance de l'écho (calculée par le radar) est la distance en ligne droite entre l'antenne du radar et la cible. La «distance-sol» est la distance «horizontale» entre l'antenne du radar et la cible: elle ne peut être déterminée que si l'on calcule l'altitude de la cible, ou son angle de site. Le temps mesuré par le radar est le temps nécessaire à l'impulsion pour aller de l'antenne à la cible, puis de la cible vers l'antenne après réflexion. Chaque impulsion revenant au radar a parcouru deux fois la distance radar-cible à la vitesse de la lumière. En mesurant le temps «  $t$  » écoulé entre le départ et le retour de l'impulsion au radar, il est donc possible de déterminer la distance «  $R$  » entre le radar et la cible. La formule permettant de calculer cette distance est donc la suivante :

$$R = c_0 * t / 2$$

$R$  : Distance [m]

$t$  : temps mesuré [s]

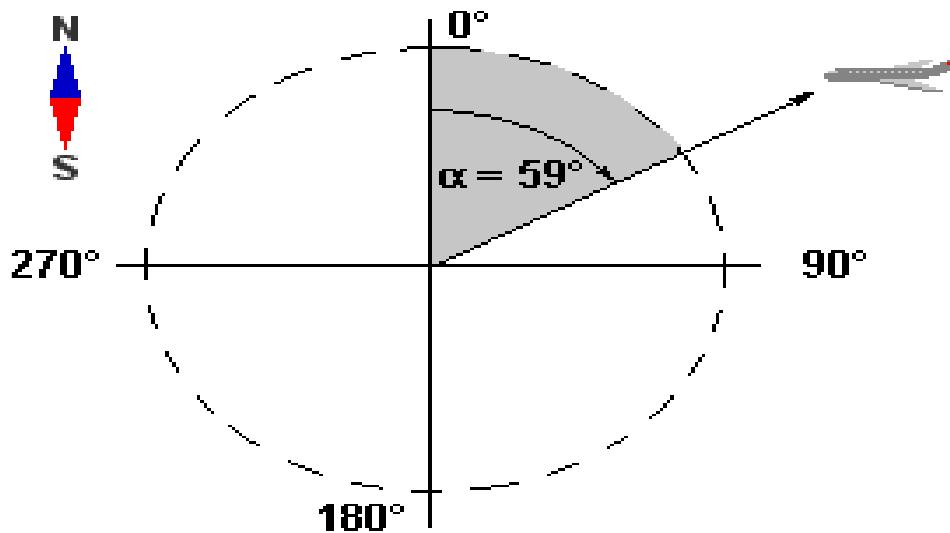
$c_0$  : vitesse de la lumière =  $3 \cdot 10^8$  m/s

La distance est dans ce cas exprimée en mètres. En divisant le résultat par 1 852, on obtient la distance en milles nautiques. La distance «  $R$  » est la distance en ligne droite entre le radar et la cible. Dans le cas de l'atmosphère, la trajectoire de l'onde radar est légèrement courbée par la variation de densité de l'air avec la hauteur, ce qui donne une distance parcourue légèrement plus longue que la réalité. [4]

### 1.3.2 Mesure de la direction :

L'angle entre la direction du nord et celle de la cible (azimut) est déterminé grâce à la directivité de l'antenne. La directivité, parfois appelée «gain directif», est la capacité de l'antenne à concentrer l'énergie rayonnée dans une direction particulière. Une antenne à forte directivité est appelée «antenne directive». En mesurant la direction dans laquelle est pointée l'antenne à l'instant où elle reçoit un écho, on peut déterminer non seulement l'azimut mais aussi le site de la cible (donc son altitude).

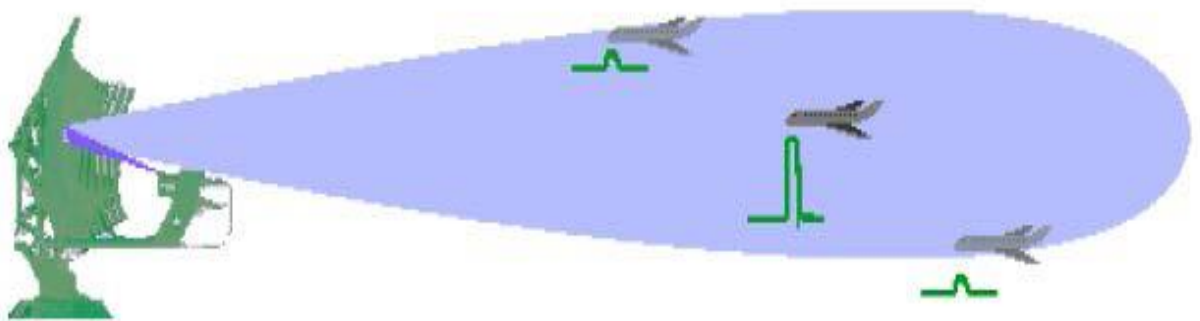




**Figure 1.9 : Azimut de la cible**

La précision de la mesure de ces angles dépend de la directivité de l'antenne. Pour une fréquence émise donnée, ou une longueur d'onde définie, la directivité d'une l'antenne est fonction de ses dimensions propres. Les radars émettent normalement de très hautes fréquences pour les raisons suivantes:

- propagation quasi rectiligne de ces ondes.
- haute résolution (plus la longueur d'onde est courte, plus le radar est capable de détecter un petit objet).
- encombrement réduit de l'antenne (plus on augmente la fréquence du signal rayonné, plus la directivité est grande pour une antenne de taille donnée).



**Figure 1.10 : Détermination de l'azimut par rapport à la largeur du faisceau.**

L'azimut vrai d'une cible détectée par un radar est l'angle entre la direction du nord vrai et celle de la ligne directe antenne-cible. Cet angle se mesure dans le plan horizontal, dans le sens des aiguilles d'une montre, et à partir du nord vrai. Les antennes de la plupart des radars sont étudiées et réalisées de façon à rayonner l'énergie dans une direction donnée sous la forme d'un faisceau directionnel appelé «lobe principal».

En général le balayage en azimut par ce lobe s'effectue par un simple mouvement de l'antenne. A cause de la forme du lobe rayonné, la puissance du signal réfléchi varie au fur et à mesure de l'éclairage de la cible par le lobe. Elle atteint son amplitude maximum théoriquement lorsque la cible est exactement dans l'axe du faisceau.

Les radars de conduite de tir et de guidage d'arme déterminent donc la position de la cible dans le faisceau pour que le signal réfléchi soit maximum. Ils réagissent ensuite de façon à conserver le calage de la cible dans la même position grâce à un système de poursuite manuel ou automatique.

Afin de déterminer précisément l'azimut de la cible, la position exacte du nord doit être connue. Par conséquent les équipements les plus anciens nécessitaient l'emploi d'une boussole ou l'aide de quelques calculs trigonométriques. Les radars modernes assurent directement cette tâche et, grâce au GPS, reçoivent une information extrêmement fiable concernant la direction du nord. La transmission rapide et précise de l'information de direction de la cible (azimut) entre la plaque tournante supportant l'antenne et le scope radar peut être assurée par :

- des servo-systèmes.
- un comptage d'impulsions d'horloge «azimut».

Les servo-systèmes sont utilisés sur les anciens équipements et fonctionnent grâce à des éléments tels que les transmetteurs et les récepteurs de téléaffichage. Sur les systèmes plus récents, un codeur synchronisé génère des tops durant la rotation de l'antenne. Le comptage de ces tops permet à tout instant de déterminer la position de l'antenne.

Les nouveaux radars balayent leur secteur de recherche sans mouvements mécaniques, ou avec des mouvements minimums. Ces radars mettent en œuvre un balayage électronique en azimut ou en élévation (antenne réseau à commande de phase). [2]

### 1.3.3 Angle de site et altitude :

Les radars d'altimétrie rayonnent un faisceau (ou lobe) très étroit dans le plan vertical. Ce faisceau est déplacé suivant un axe vertical, mécaniquement ou électroniquement, afin de balayer en site son volume de détection et d'y positionner les cibles. Les radars d'altimétrie ayant également la capacité de déterminer l'azimut des cibles doivent utiliser un faisceau étroit tant dans le plan vertical que dans le plan horizontal. L'angle de site est l'angle que forme, avec sa projection sur le plan horizontal, l'axe «antenne radar – cible», mesuré dans le plan vertical.

La lettre grecque Epsilon ( $\epsilon$ ) désigne l'angle de site (ou d'élévation). L'angle de site est positif lorsqu'il est au-dessus de l'horizon (site  $0^\circ$ ), et négatif en dessous.

La hauteur d'une cible par rapport à la surface du globe terrestre est appelé altitude. Dans les formules et schémas qui suivent elle sera désignée par la lettre H (comme Hauteur). L'altitude peut être calculée à partir des mesures de distance R et d'angle de site  $\epsilon$ . [5]

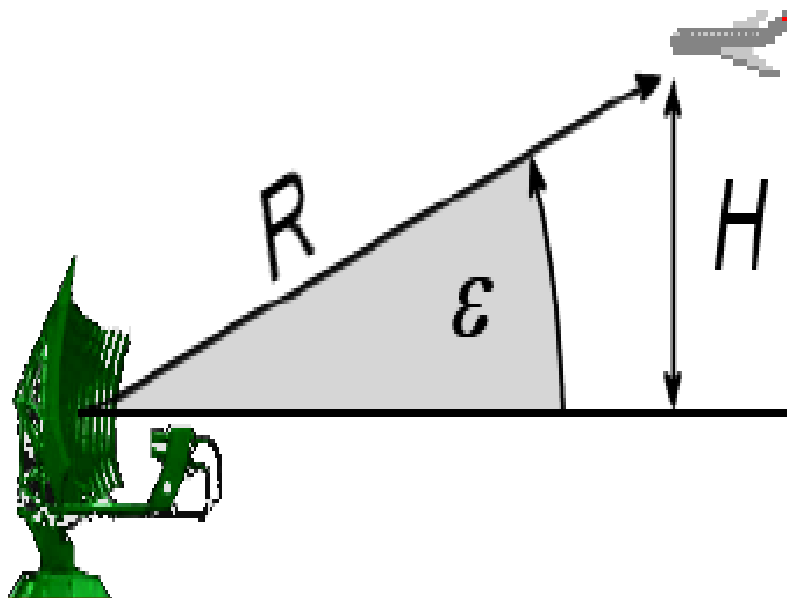


Figure 1.11 : Relation trigonométrique simple entre l'élévation et la hauteur.

### 1.3.4 Equation du radar :

L'équation du radar traduit l'influence de phénomènes physiques sur la puissance rayonnée, la propagation de l'onde, et jusqu'à la réception du signal réfléchi (écho). L'équation du radar permet de réaliser une estimation des performances d'un système radar.

Nous supposons que les ondes électromagnétiques se propagent dans des conditions idéales, sans subir de quelconque perturbation. Lorsque l'énergie haute fréquence est rayonnée à partir d'une antenne isotrope, elle se propage de façon uniforme dans toutes les directions. Les zones d'égale densité de puissance forment donc des surfaces sphériques ( $A = 4\pi \cdot R^2$ ) concentriques autour de l'antenne. Lorsque le rayon de la sphère augmente, une même quantité d'énergie est diffusée sur une plus surface sphérique. Cela revient à dire que la densité de puissance, dans une direction donnée, diminue lorsque la distance de l'émetteur augmente.

La formule suivante permet de calculer la densité de puissance pour un aérien omnidirectionnel  $Su$  :

$$Su = PS / 4 * \pi * R1^2$$

$Su$  : Densité de puissance «omnidirectionnelle».

$PS$  : Puissance émise [W].

$R1$  : Distance antenne - cible [m].

Si l'antenne n'émet que sur une portion de la sphère (pour une puissance d'émission constante), la densité de puissance augmente dans la direction de l'émission.

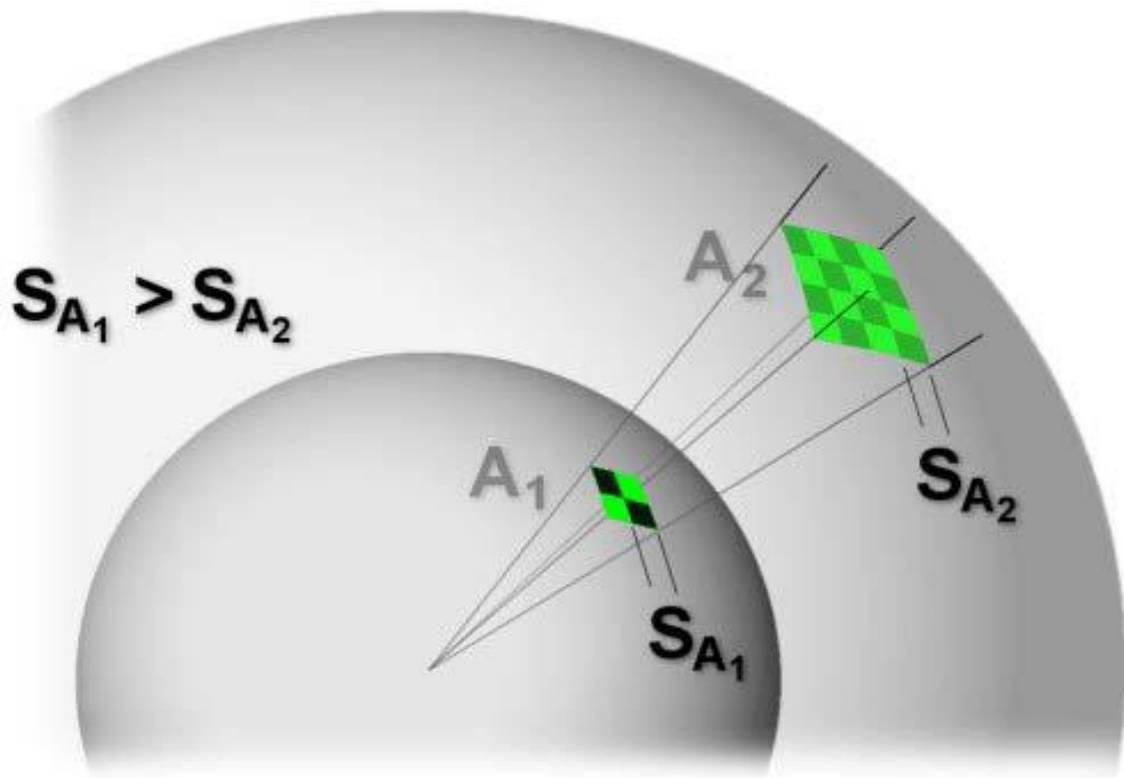
Cette caractéristique est appelée gain d'antenne. Ce gain est dû à la concentration de la puissance émise dans une seule direction. La formule permettant de calculer la densité de puissance dans la direction du gain maximum est la suivante:

$$Sg = Su * G$$

$Sg$  : Densité de puissance «directive» [W/ m<sup>2</sup>].

$Su$  : Densité de puissance «omnidirectionnelle» [W/ m<sup>2</sup>].

$G$  : gain d'antenne.



**Figure 1.12 : Densité de puissance omnidirectionnelle.**

Évidemment, dans la réalité, les antennes de radars ne sont pas des antennes isotropes n'émettant que dans un secteur limité. Elles génèrent un lobe étroit et un gain pouvant aller jusqu'à 30 ou 40 dB. (Ex. antenne parabolique ou antenne à réseau de phases).

La détection d'une cible ne dépend pas uniquement de la densité de puissance à sa position. Elle dépend également de la partie de l'énergie réfléchie par la cible qui est renvoyée vers l'antenne du radar. Afin de déterminer la valeur de cette puissance réfléchie «utile», il est nécessaire de connaître la surface équivalente radar de la cible. Cette valeur difficile à appréhender dépend de plusieurs paramètres.

Dans un premier temps, il est relativement logique de considérer que plus la surface éclairée par le signal est grande, plus la puissance réfléchie est importante. Par exemple, une surface équivalente radar plus grande qu'un avion de tourisme dans la même configuration de vol. Au-delà des considérations de taille, la capacité d'un objet à réfléchir les ondes dépend de sa forme, de la composition de sa surface et de la nature des matériaux utilisés.

Reprenons donc toute notre démonstration : lorsqu'elle atteint sa destination finale, la puissance réfléchie  $P_r$ , découle de la densité de puissance  $S_u$ , du gain d'antenne  $G$  et de la très fluctuante surface équivalente radar  $\delta$

$$Pr = [PS / 4 * \pi * R1^2] * G * \delta \quad [\text{Watt}]$$

$Pr$  : Puissance réfléchie [W].

$PS$  : Puissance émise [W].

$R1$  : Distance radar - cible [m].

$G$  : gain d'antenne.

$\delta$  : Surface équivalente radar [m<sup>2</sup>].

D'une façon simplifiée nous pouvons considérer la cible comme un émetteur (du signal réfléchi). La puissance réfléchie  $Pr$  est donc assimilable à une puissance émise (par la cible).

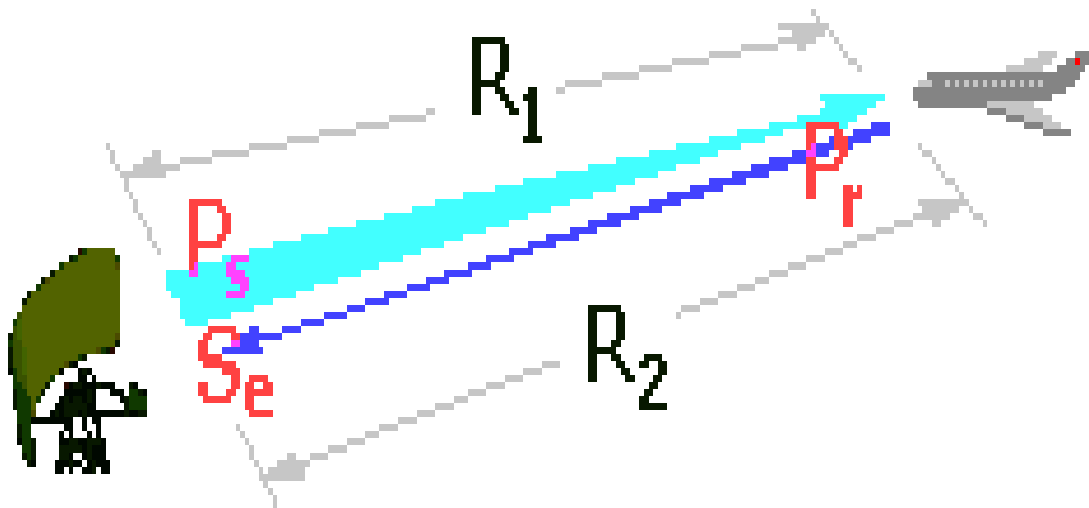


Figure 1.13 : Relation entre les puissances émises et réfléchies.

Comme les conditions de propagation du signal sont identiques sur le trajet aller et sur le trajet retour, nous pouvons réutiliser la formule  $Pr$  pour déterminer la densité de puissance  $Se$  atteignant l'emplacement de l'antenne du radar :  $Se = [Pr / 4 * \pi * R2^2] \quad [W / m^2]$

$Se$  : Densité de puissance au retour à l'antenne [W / m<sup>2</sup>].

$Pr$  : Puissance réfléchie [W].

$R2$  : Distance cible - radar [m].

L'énergie globale reçue par l'antenne  $Pe$ , c'est à dire la «quantité de densité de puissance» captée par l'antenne, dépend de la surface apparente de l'antenne  $Aw$ .

$$P_e = S_e * A_w$$

$P_e$  : Puissance [W].

$A_w$  : Surface apparente de l'antenne [m<sup>2</sup>].

$S_e$  : Densité de puissance au retour à l'antenne [W/ m<sup>2</sup>].

La notion de surface apparente de l'antenne découle de ce qu'aucune antenne ne fonctionne sans perte (son efficacité n'est jamais de 100%). Dans la réalité, la surface «efficace» de l'antenne est donc toujours inférieure à sa surface géométriquement mesurée, et ce dans un facteur de 0,6 à 0,7 (facteur d'efficacité  $K_a$ ). Nous pouvons donc définir la surface apparente par :

$$A_w = A * K_a$$

$A_w$  : Surface apparente de l'antenne [m<sup>2</sup>].

$A$  : surface réelle (géométrique) de l'antenne [m<sup>2</sup>].

$K_a$  : Facteur d'efficacité.

Le calcul de la puissance captée par l'antenne  $P_e$  peut donc s'effectuer ainsi :

$$P_e = S_e * A_w$$

Avec :  $A_w = A * K_a$

Donc :  $P_e = S_e * A * K_a$

Alors :  $S_e = [P_r / 4 * \pi * R_2^2] * A * K_a$

Nous avons jusqu'à présent considéré séparément le trajet aller ( $R_1$ = antenne - cible) et le trajet retour ( $R_2$  = cible - antenne) du signal. Nous allons maintenant étendre l'équation au trajet global de l'onde en prenant les définitions des équations précédentes et en notant que  $R_1=R_2$  nous obtenons l'équation suivante :

$$P_e = [P_r / 4 * \pi * R_2^2] * A * K_a$$

Avec :  $P_r = [P_s / 4 * \pi * R_1^2] * G * \delta$

$$\text{Où : } P_e = [P_s * G * \delta / (4 * \pi)^2 * R_1^2 * R_2^2] * A * K_a$$

$$\text{Donc : } P_e = [P_s * G * \delta / (4 * \pi)^2 * (R^4)] * A * K_a$$

Le gain d'antenne  $G$  en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$  du signal émis.

$$G = [4 * \pi / \lambda^2] * A * K_a$$

Si l'on en extrait l'expression de  $A * K_a$ , et qu'on l'insère dans l'équation de  $P_e$ , on obtient après simplification l'équation du radar :

$$P_e = P_s * G * \delta * \lambda^2 / [(4 * \pi)^3 * (R^4)] \quad [\text{Watt}]$$

### 1.3.4.1 Distance maximale de détection :

Après mise en forme nous pouvons exprimer la distance  $R$  sous la forme suivante :

$$R_{\max} = \sqrt[4]{[P_s * G * \delta * \lambda^2 / P_e * ((4 * \pi)^3)]} \quad [\text{Mètre}]$$

Tous les paramètres qui influencent la propagation de l'onde émise par le radar ont été pris en compte dans cette équation théorique. Cependant, avant qu'elle soit réellement utilisable dans la pratique, par exemple pour déterminer l'efficacité d'un radar, il convient d'y apporter d'autres précisions.

Pour un radar donné, la plupart des grandeurs ( $P_s$ ,  $G$ ,  $\lambda$ ) peuvent être considérées comme des constantes puisqu'elles ne varient que dans des fourchettes très étroites. D'autre part, la surface équivalente radar (variant énormément dans le temps, pour des raisons pratiques nous la poserons égale à  $1 \text{ m}^2$ ).

Soit  $P_{\min}$  la puissance minimum du signal autorisant sa détection par le radar. Tout signal de puissance inférieure ne peut être exploité puisqu'il est noyé dans le bruit du récepteur. Ce signal de puissance minimum  $P_{\min}$  est donc celui qui permet au radar d'atteindre sa portée maximum de détection  $R_{\max}$  comme indiqué par l'équation :

$$R_{\max} = \sqrt[4]{[P_s * G * \delta * \lambda^2 / P_{\min} * ((4 * \pi)^3)]}$$

Cette équation permet notamment de visualiser rapidement l'influence des caractéristiques d'un système radar sur sa portée de détection:



- Le gain d'antenne (**G**) et la longueur d'onde, la même antenne est utilisée à l'émission et à la réception, sont au carré sous une racine quatrième ce qui veut dire que la portée maximale est directement proportionnelle à la racine carrée de ces deux paramètres. En pratique, les antennes plus grandes nécessitent de plus longs câblages, les pertes le long de ces lignes et celles dues à l'utilisation d'une nouvelle antenne imparfaitement ajustée au système original privent jusqu'à la moitié de l'amélioration attendue.

- Une diminution de la puissance minimum détectable (**P<sub>emin</sub>**) par le récepteur se traduit par un allongement de la portée maximum du radar. Pour chaque récepteur il existe un niveau de puissance minimum à partir duquel il peut détecter un signal. Cette puissance minimum à partir de laquelle le récepteur peut fonctionner est appelée Signal Minimum Détectable (**SMD**). Les valeurs courantes de **SMD** s'échelonnent entre -104 dBm et -110 dBm.

- Les deux paramètres antérieurs sont des constantes pour un radar donné. Leur influence peut être calculé une fois pour toute. Par contre, la portée maximale dépend directement d'un variable changeante, soit la surface équivalente radar  $\delta$  de la cible. Celle-ci peut varier grandement selon les dimensions de la cible et l'angle de vue par rapport au radar. Donc un radar a un **R<sub>max</sub>** pour chaque type de cibles ou inversement, on peut calculer  $\delta$  minimal pour un **R<sub>max</sub>**.

### ❖ Pertes :

Lors de l'élaboration de notre équation du radar, nous avons considéré des conditions de propagations idéales, libres de toute perturbation. Cependant, dans la pratique, la propagation est affectée par de nombreuses pertes qui peuvent considérablement réduire l'efficacité du radar.

Nous allons donc pondérer notre équation d'un facteur de pertes **L<sub>ges</sub>**.

$$R_{max} = \sqrt[4]{[P_s * G * \delta * \lambda^2 / P_{emin} * ((4 * \pi)^3) * L_{ges}]}$$

Ce facteur regroupe les pertes suivantes:

**LD** : Atténuations internes dans les circuits à de l'émetteur et du récepteur.

**L<sub>f</sub>** : Pertes dues aux fluctuations de la surface équivalente.

**LATM** : Pertes atmosphériques lors de la propagation de l'onde électromagnétique en direction de la cible (et sur le trajet retour).

Les composants hyperfréquences, tels les guides d'onde, les filtres, ou encore les radômes, génèrent des pertes «internes». Pour un radar donné, ces pertes sont relativement constantes et facilement mesurables. L'atténuation atmosphérique et les réflexions sur la surface de la terre sont d'autres problèmes qui affectent en permanence les performances des radars.

#### 1.3.4.2 Influence du sol :

Une forme plus complète (mais moins couramment utilisée) de l'équation du radar prend en compte des paramètres supplémentaires, comme l'influence des réflexions sur le sol, mais néglige la sensibilité du récepteur et les absorptions atmosphériques.

#### 1.3.4.3 Surface équivalente radar :

La forme et la capacité de rétrodiffusion d'un signal radar par une cible est appelé sa surface équivalente radar ( $\sigma$ ) ou **RCS** pour Radar Cross Section en anglais. Il a pour unité les mètres carrés. Si toute l'énergie incidente du faisceau radar était diffusée de façon égale dans toutes les directions,  $\sigma$  serait alors la section efficace de la cible perpendiculaire au faisceau. En pratique, une partie de l'énergie est absorbée et la diffusion n'est pas isotrope. Donc, la surface équivalente radar est difficile à estimer. Sa mesure est approximatif et dépend de :

- La géométrie de l'aéronef et de ses appendices.
- La direction d'où provient le faisceau radar.
- La fréquence de transmission du radar.
- Le matériau composant l'appareil.

##### a) Calcul de la surface équivalente radar :

La surface équivalente radar (**SER**) est la mesure de la partie de l'énergie du faisceau qui sera rétrodiffusé vers le radar par rapport à l'énergie totale frappant la cible. Cette dernière

agit théoriquement comme une sphère réémettant dans toutes les directions. Sa surface étant  $(4 \cdot \pi \cdot R^2)$ , la surface équivalente radar  $\sigma$  est donc définie comme :

$$\sigma = [4 * \pi * R^2 * Sr / St]$$

$\sigma$  : Capacité de la cible de rétrodiffuser vers le radar, en  $[m^2]$ .

$R$  : Diamètre de la cible.

$Sr$  : Énergie reçue par la cible à la distance  $[w/m^2]$ .

$St$  : Énergie rétrodiffusée par la cible  $[w/m^2]$ .

La **SER** est donc le rapport entre l'énergie reflétée dans la direction du radar par une cible et celle d'une sphère lisse de  $1 m^2$  émettant de manière égale dans toutes les directions. [2]

## 1.4 Conclusion :

Dans ce premier chapitre nous avons entamé les généralités sur les systèmes RADAR, tel que l'histoire et la définition du RADAR avec le principe de fonctionnement et les différents types des RADARS primaires et secondaire ainsi ses composants principaux et bien sûr positionnement de la cible et nous avons vu que le radar est caractérisé par une équation spécifique à l'environnement dans lequel il fonctionne et nous avons cité ses applications dans différents domaines. Dans le deuxième chapitre, nous allons expliquer en détails les géométries et le principe de fonctionnement des réseaux d'antennes à balayage.

**Chapitre 2 :**  
**Étude des composants et logicielles utilisées dans les radars**

## 2.1 Introduction :

Le Radar est un instrument de détection des cibles utiles, définies par les spécifications de besoin des utilisateurs, Avec le développement de logiciel embarqué et rejet des signaux parasites après identification, diverses technologies sont de plus en plus intégrées. Son but est de simplifier les schémas électroniques et par conséquent réduire l'utilisation de composants électroniques, en réduisant ainsi le coût de fabrication d'un produit. et en résulte des systèmes plus complexes et performants pour un espace réduit. Au cours des dernières années, le mouvement open source du matériel est populaire dans le monde. Arduino est un chef de file dans ce mouvement d'où les groupes d'utilisateurs répartis des ingénieurs aux étudiants.

L'objectif de ce chapitre est de présenter les composants et les logiciels utilisés pour la conception du radar, l'explication de son principe de fonctionnement.

## 2.2 Description les composants :

Pour la conception du radar nous avons besoin :

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

## 2.3 Définition du module Arduino :

Arduino, et son récent synonyme Genuino, est une marque qui couvre des cartes matériellement libres sur lesquelles se trouve un microcontrôleur (D'architecture Atmel comme l'Atmega328p, et d'architecture ARM comme le Cortex-M3 pour l'Arduino Due). Les schémas de ces cartes sont publiés en licence libre. Cependant, certains composants, comme le microcontrôleur par exemple, ne sont pas sous licence libre.

Une carte Arduino est une interface programmable capable de piloter des capteurs et des actionneurs afin de simuler ou créer des systèmes automatisés. Elle peut stocker un programme et le faire fonctionner. La carte reçoit des informations analogiques ou numériques sur ces entrées.

Le modèle UNO de la société ARDUINO est une carte électronique dont le cœur est un microcontrôleur ATMEL de référence ATmega328. Le microcontrôleur ATmega328 est un microcontrôleur 8bits de la famille AVR dont la programmation peut être réalisée en langage C. [8]



**Figure 2.1: MODULE ARDUINO**

### 2.3.1 La Carte Arduino Uno :

Les unités de traitement existent sous différentes formes. Les microcontrôleurs en font partie. Leurs coûts et les fonctionnalités qu'ils proposent dépendent du cahier de charge du système à concevoir. Nous utiliserons la carte Arduino Uno.

La carte Arduino Uno fondée sur un microcontrôleur ATmega328 de 8bits cadencé à 16 MHz qui peut être programmée pour analyser et produire des signaux électriques. Aux niveaux de programmation on peut contrôler l'Arduino en langage C ou C++. Et contient un boot loader qui permet de modifier le programme sans passer par un programmeur. [9]

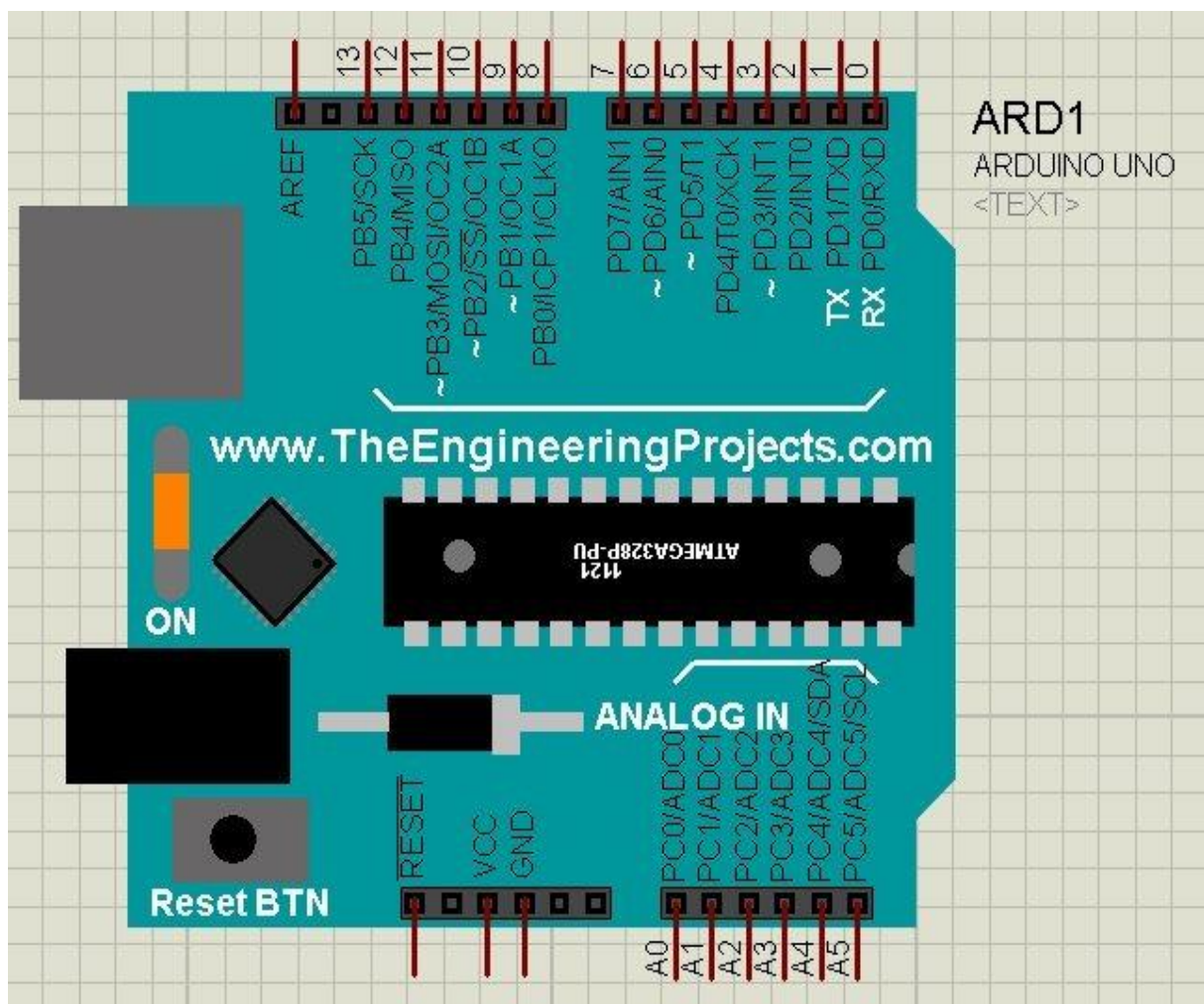


Figure 2.2: CARTE ARDUINO UNO



### 2.3.2 Composantes de la carte Arduino Uno :

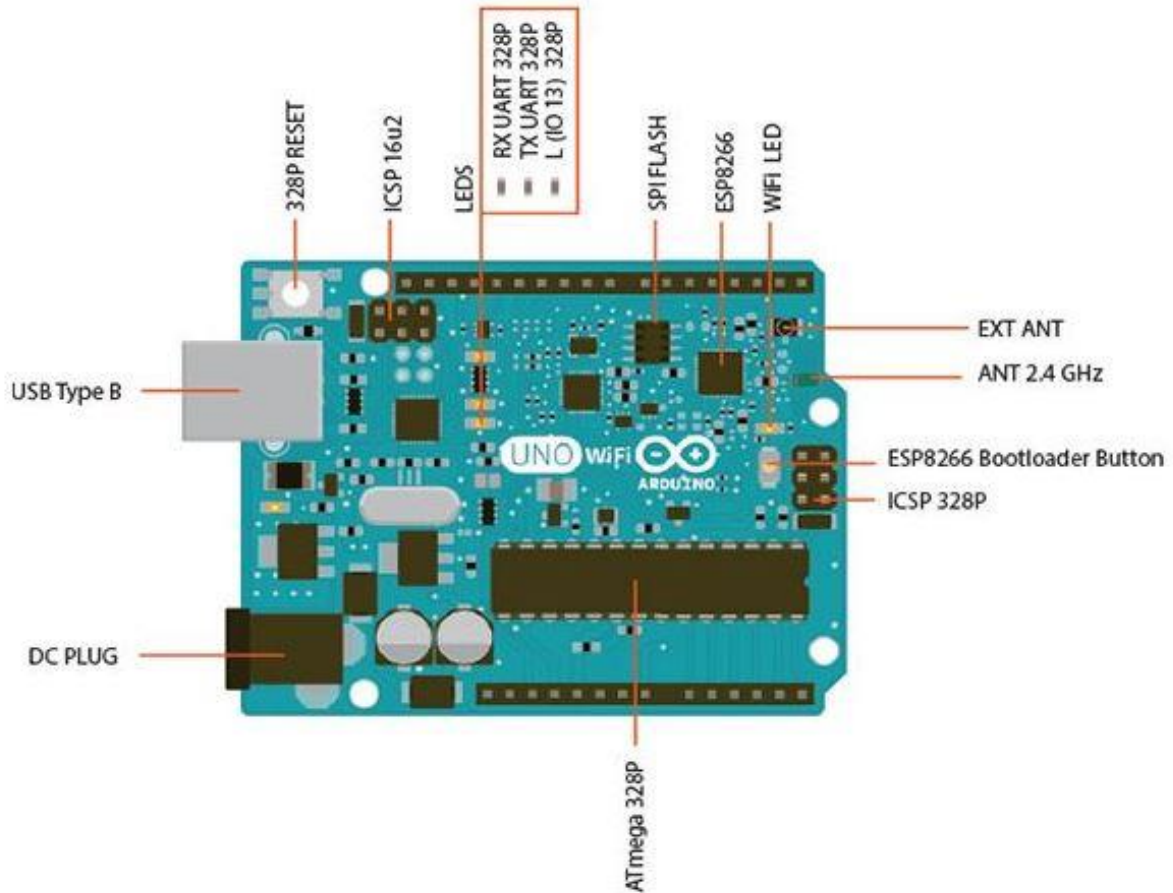
La carte Arduino Uno est basée sur un Microcontrôleur ATmega328 cadencé à 16 MHz. C'est la plus récente carte à microcontrôleur. [10]

- Les caractéristiques techniques de la carte Arduino UNO sont présentées dans le tableau 2.1

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 boot loader
Mémoire SRAM (Mémoire volatile)	2 KB (ATmega328)

**Tableau 2.1 : Caractéristiques de la Carte Arduino UNO**

- Les différents composants constituant la carte Arduino UNO sont représentés sur la figure 2.3.



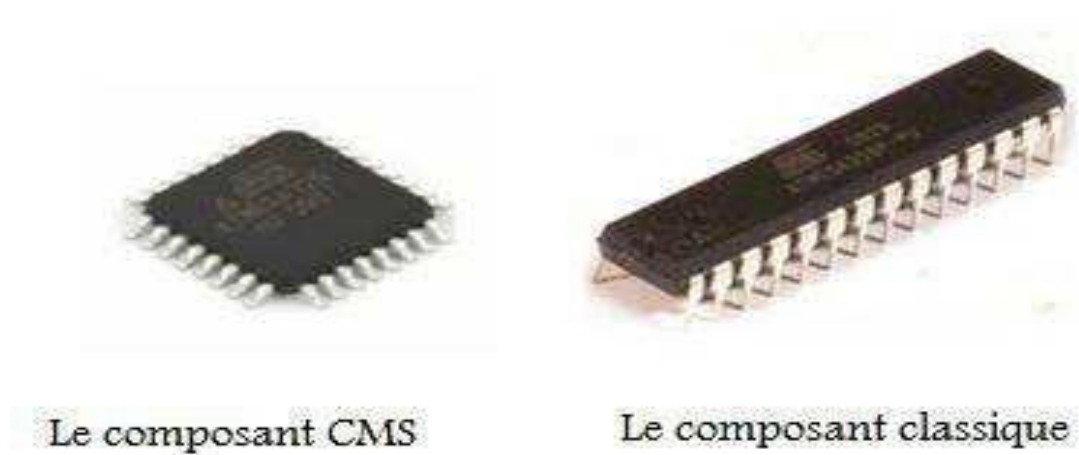
**Figure 2.3 : Constitution de la carte Arduino UNO.**

### 2.3.2.1 Microcontrôleur ATmega328 :

Le microcontrôleur utilisé sur la carte Arduino UNO est un microcontrôleur ATmega328. C'est un microcontrôleur ATMEL de la famille AVR 8bits.

Un microcontrôleur ATmega328 est un circuit intégré qui rassemble sur une puce plusieurs éléments complexes dans un espace réduit en soudant un grand nombre de composants encombrants; tels que les transistors; les résistances et les condensateurs tout peut être logé dans un petit boîtier en plastique noir muni d'un certain nombre de broches dont la programmation peut être réalisée en langage C. [10]

- La figure (2.4) montre deux types de microcontrôleur ATmega328, qu'on trouve sur les cartes Arduino.



**Figure 2.4 : Microcontrôleur ATmega328**

➤ **Le microcontrôleur ATmega328** : est constitué par un ensemble d'éléments qui ont chacun une fonction bien déterminée. Il est en fait constitué des mêmes éléments que la carte mère d'un ordinateur. Globalement, l'architecture interne de ce circuit programmable se compose essentiellement de :

- **Mémoire Flash** : C'est celle qui contiendra le programme à exécuter. Cette mémoire effaçable et réinscriptible est une mémoire programmée de 32Ko (dont boot loader de 0.5 ko).
- **RAM** : c'est la mémoire dite "vive", elle va contenir les variables du programme. Elle est dite "volatile" car elle s'efface si on coupe l'alimentation du microcontrôleur. Sa capacité est 2 ko.
- **EEPROM** : C'est le disque dur du microcontrôleur. On y enregistre des infos qui ont besoin de survivre dans le temps, même si la carte doit être arrêtée. Cette mémoire ne s'efface pas lorsque l'on éteint le microcontrôleur ou lorsqu'on le reprogramme. [10]

## 2.4 Capteur Ultrasons HC-SR04 :

Un capteur est une interface entre un processus physique et une information manipulable. Il ne mesure rien, mais fournit une information en fonction de la sollicitation à laquelle il est soumis. Le HC-SR04 est un capteur de distance utilise les ultrasons, Il offre une excellente plage de détection avec des mesures stables. Ce capteur fonctionne avec une tension d'alimentation de 5 volts, dispose d'un angle de mesure de 15° environ et permet de faire des mesures de distance entre 2 centimètres et 3 mètres avec une précision de 3mm. [11]

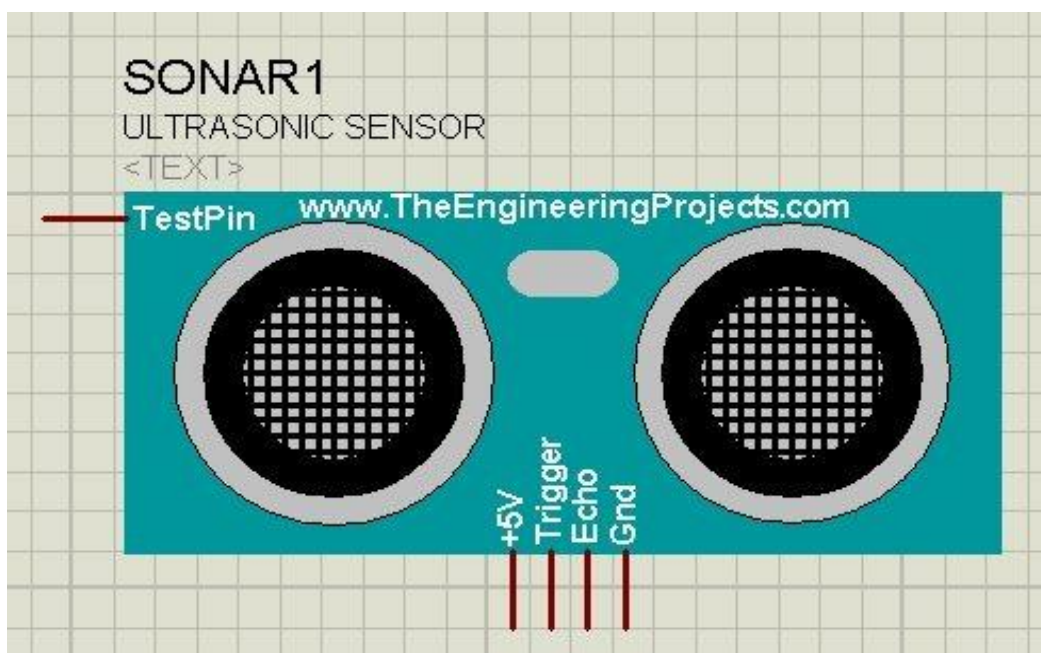


Figure 2.5 : Capteur Ultrasons HC-SR04.

### ➤ Le module HC-SR04 possède 4 broches :

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

### 2.4.1 Fonctionnement du capteur Ultrasons HC-SR04 :

- **Le principe de fonctionnement consiste à :**
  - ❖ Envoyer un signal numérique à l'état haut sur l'émetteur pendant 10  $\mu$ s.
  - ❖ Le capteur envoie automatiquement 8 impulsions d'ultrasons à 40 kHz et détecte les signaux qui reviennent.
  - Si le signal revient, la durée de l'état haut du signal reçue correspond au temps entre l'émission des ultrasons et leur réception.

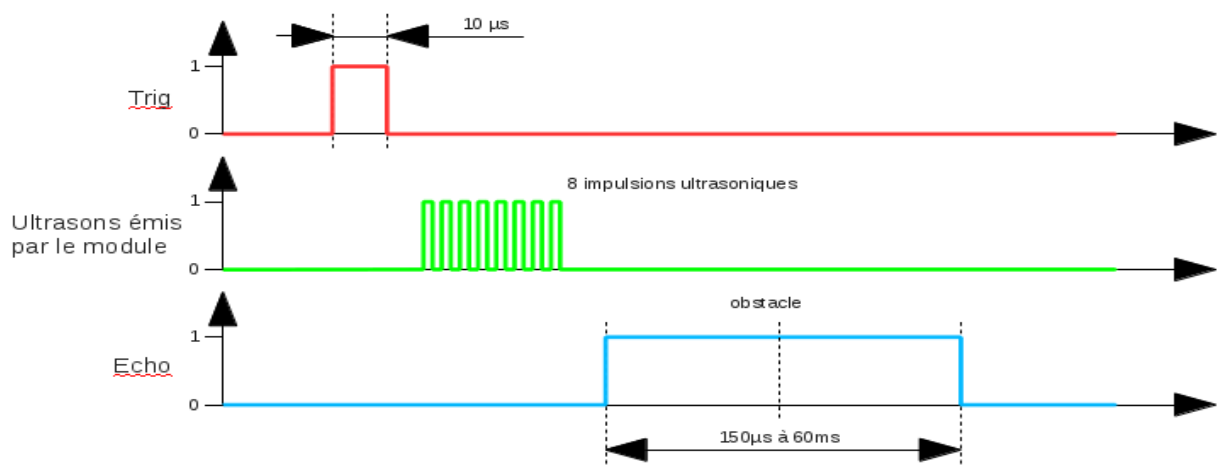
- **Calcul de la distance :**

$$\text{Distance} = (\text{temps à l'état haut signal reçu} * \text{vitesse du son}) / 2$$

(vitesse du son dans l'air : 340 m/s).

- **Le diagramme temporel :**

Le diagramme temporel est affiché ci-dessous. Il faut fournir un signal à l'état haut pendant 10 $\mu$ s à l'entrée de l'émetteur pour déclencher la salve d'ultrasons. Le module envoie ensuite 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.



**Figure 2.6 : Le diagramme temporel.**

### 2.4.2 Caractéristiques et spécification du Capteur Ultrasons HC-SR04 :

Les caractéristiques en détail du Capteur Ultrasons HC-SR04 sont présentées dans le tableau ci-dessous. [11]

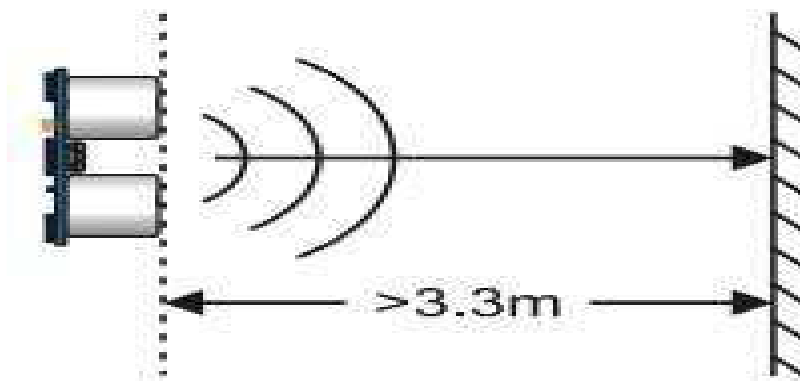
Distance de captation	2 cm à 5 m
Résolution (précision)	3mm
Tension d'exploitation (Voltage d'entrée)	5 V
Courant (Ampérage d'entrée)	15 mA
Fréquence d'opération	40 Hz
Angle de mesure	30 degrés
Angle efficace	15 degrés
Signal d'entrée trigger	10 $\mu$ s TTL impulsion
Dimensions L x W x H	45 mm x 20 mm x 15mm
Poids	8.5g

**Tableau 2.2 : Spécifications des capteurs ultrason HC-SR04.**

### 2.4.3 Considérations pratiques pour l'utilisation du Capteur Ultrasons :

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

- a) Qui est supérieure à 3 mètres :



**Figure 2.7 : distance supérieur à 3 mètres.**

- b) Qui à une surface réfléchissante à un angle faible de sorte que le son ne sera pas renvoyé vers le capteur :

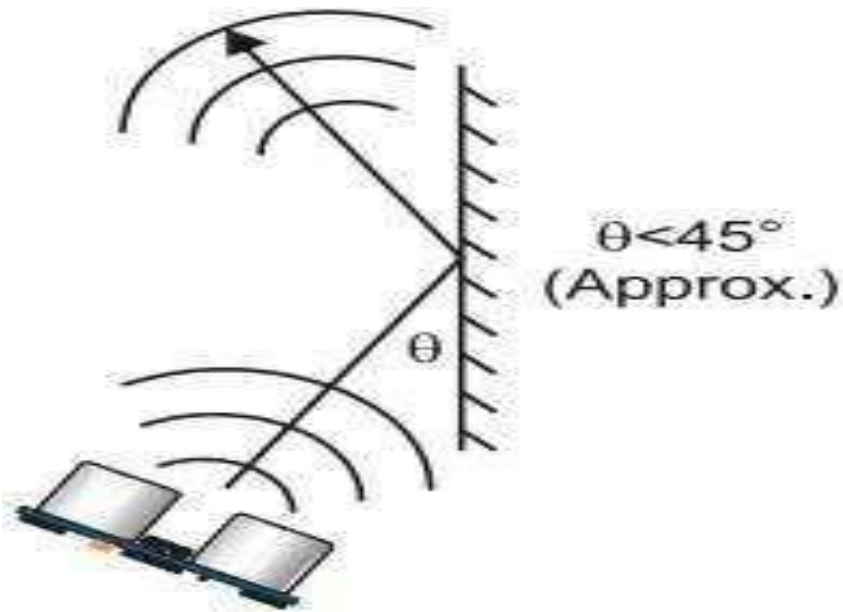


Figure 2.8 Surface peut réfléchissante de l'objet.

- c) Qu'est trop petit pour tenir compte du retour de son écho vers le capteur :

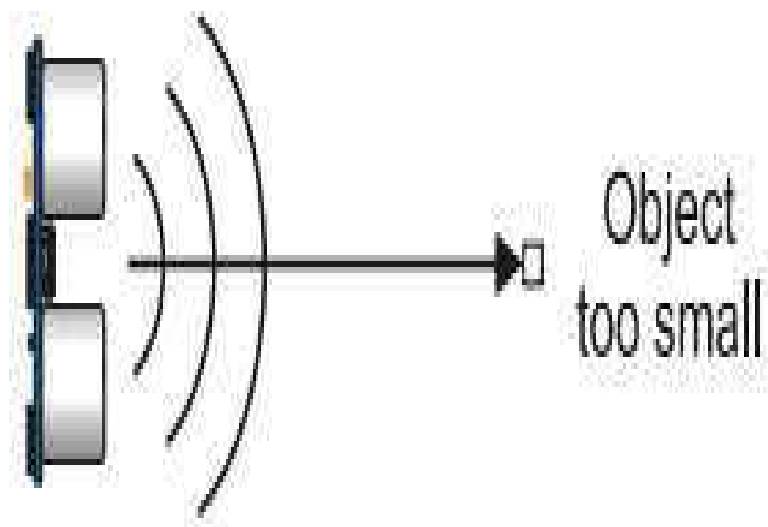


Figure 2.9 : Objet trop petit.

## 2.5 Module Afficheur LCD :

Les afficheurs LCD sont devenus indispensables dans les systèmes techniques qui nécessitent l'affichage des paramètres de fonctionnement. Ces Afficheurs permettent d'afficher des lettres, des chiffres et quelques caractères spéciaux. Vu de l'extérieur, les écrans LCD alphanumériques sont essentiellement caractérisés par leur taille. [12]

Deux modèles se rencontrent très fréquemment, celui ayant 2 lignes et 16 colonnes d'affichage et celui ayant 4 lignes et 20 colonnes d'affichage voir figure 2.10.



(a)

(b)

**Figure 2.10 : Afficheurs LCD : (a) (16x2), (b) (20x4)**



### 2.5.1 Connecteur de l'afficheur LCD :

Ces deux écrans ont exactement la même nomenclature des broches, un connecteur 16 broches Véhicules plusieurs signaux dont une partie forme un bus de communication parallèle 4 ou 8 bits selon la configuration choisie ainsi que les signaux permettant de contrôler la communication entre l'Arduino et l'écran. [12]

La figure ci-dessous donne la nomenclature des broches de ce connecteur :

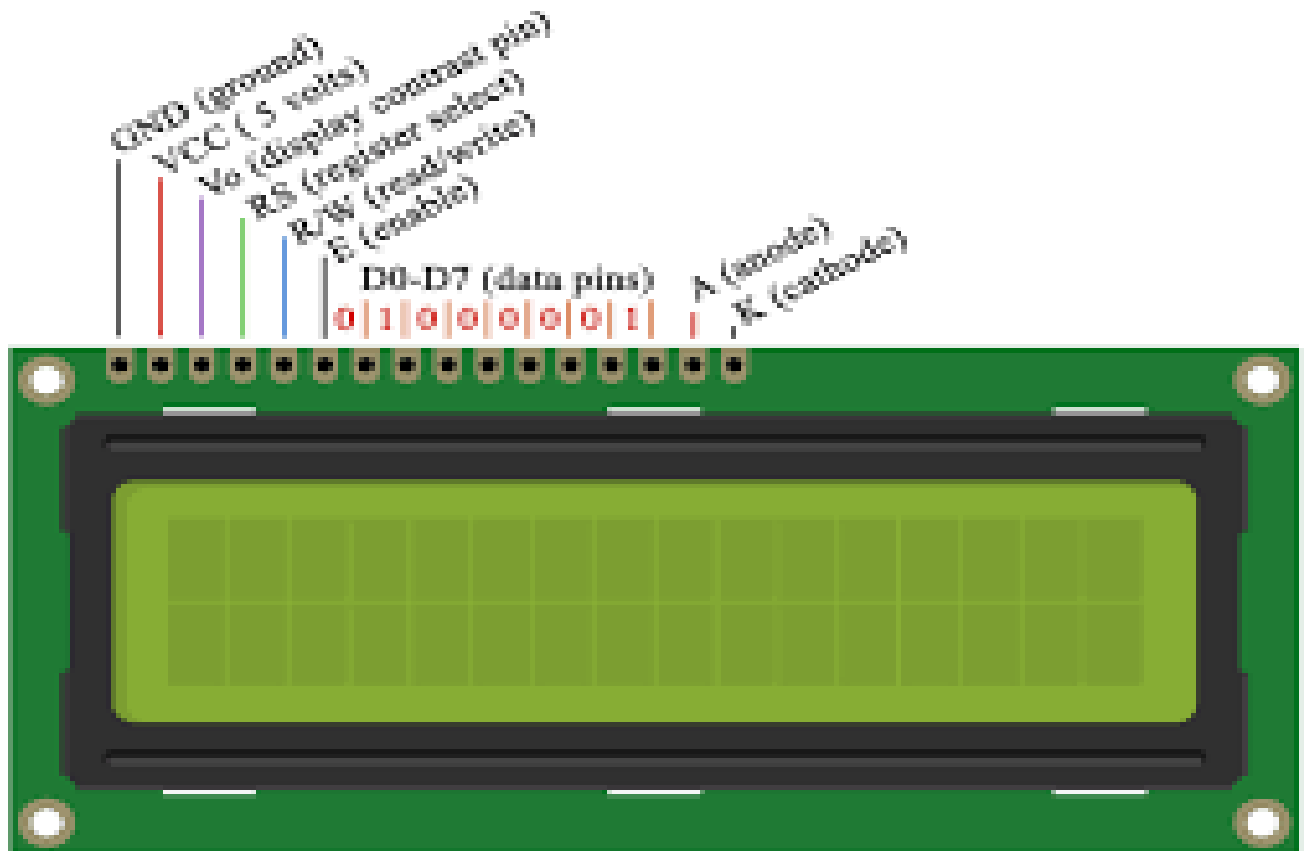


Figure 2.11 : Connecteur de l'afficheur LCD

- Le tableau suivant présente les spécifications des broches et leur rôle: [13]

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 2.3 : Nomenclature du connecteur de l'afficheur LCD.**

### 2.5.2 Communication avec l'afficheur LCD :

L'afficheur LCD peut fonctionner en mode 8 bits ou en mode 4 bits. En mode 8 bits les octets sont transférés sur les lignes DB0 à DB7. En mode 4 bits les octets sont transférés en deux fois sur les lignes DB4 à DB7.

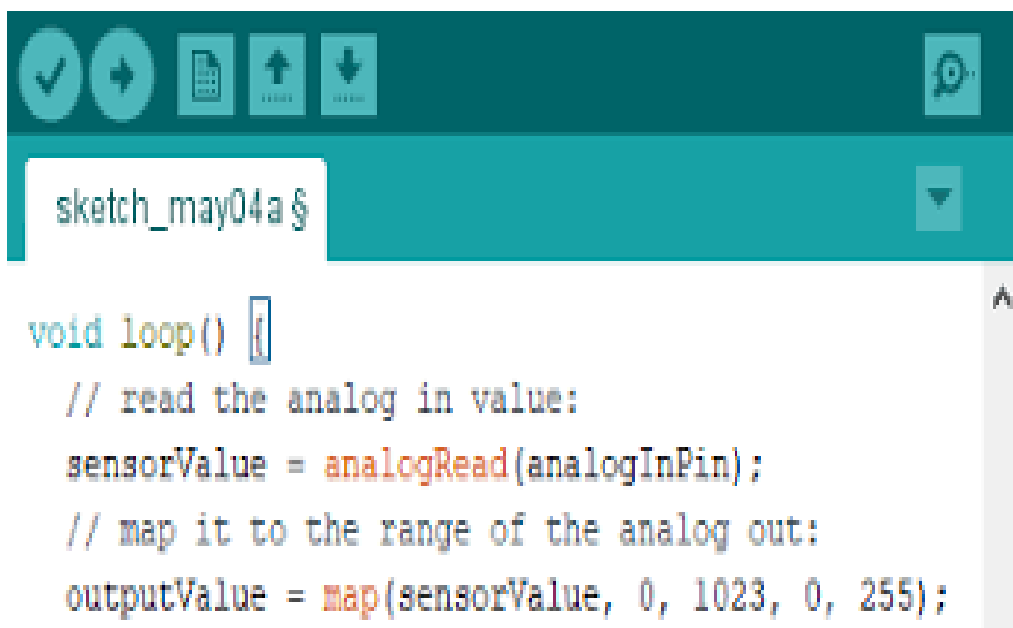
Le LCD dispose de 3 registres internes, le registre de données permettant entre autre l'envoi des codes des caractères à afficher, le registre de commande permettant d'envoyer des commandes d'effacement de l'écran, de positionnement du curseur, etc. et le registre d'état

qui permet de consulter notamment la disponibilité du LCD pour recevoir des commandes ou des données. Piloter directement un afficheur LCD est un processus relativement compliqué. Évidemment, comme c'est très souvent le cas avec l'Arduino comme dans notre situation, il existe des bibliothèques pour ça, ce qui permet de les utiliser aisément sans avoir à plonger en mode (4 bits), les broches à connecter à l'Arduino sont donc RS, EN, DB4, DB5, DB6 et DB7 ainsi que, de façon optionnelle le RW. [12]

## 2.6 Logiciels de programmation :

### 2.6.1 Le logiciel de programmation du module Arduino :

Un programme Arduino doit impérativement être divisé en 2 parties : une fonction « **setup** » et une fonction « **loop** ». Ces deux fonctions sont de type **void**, c'est à dire qu'elles ne peuvent pas prendre de valeurs. La fonction setup est la fonction qui se lance au début du programme. Elle permet d'initialiser les variables et de définir les broches de la carte Arduino qui seront utilisées. La fonction loop se lance après la fonction setup et, comme son nom l'indique, fait une boucle jusqu'à ce que la carte soit débranchée.



```
void loop() {  
  // read the analog in value:  
  sensorValue = analogRead(analogInPin);  
  // map it to the range of the analog out:  
  outputValue = map(sensorValue, 0, 1023, 0, 255);  
}
```

Figure 2.12 : Plateforme Arduino.

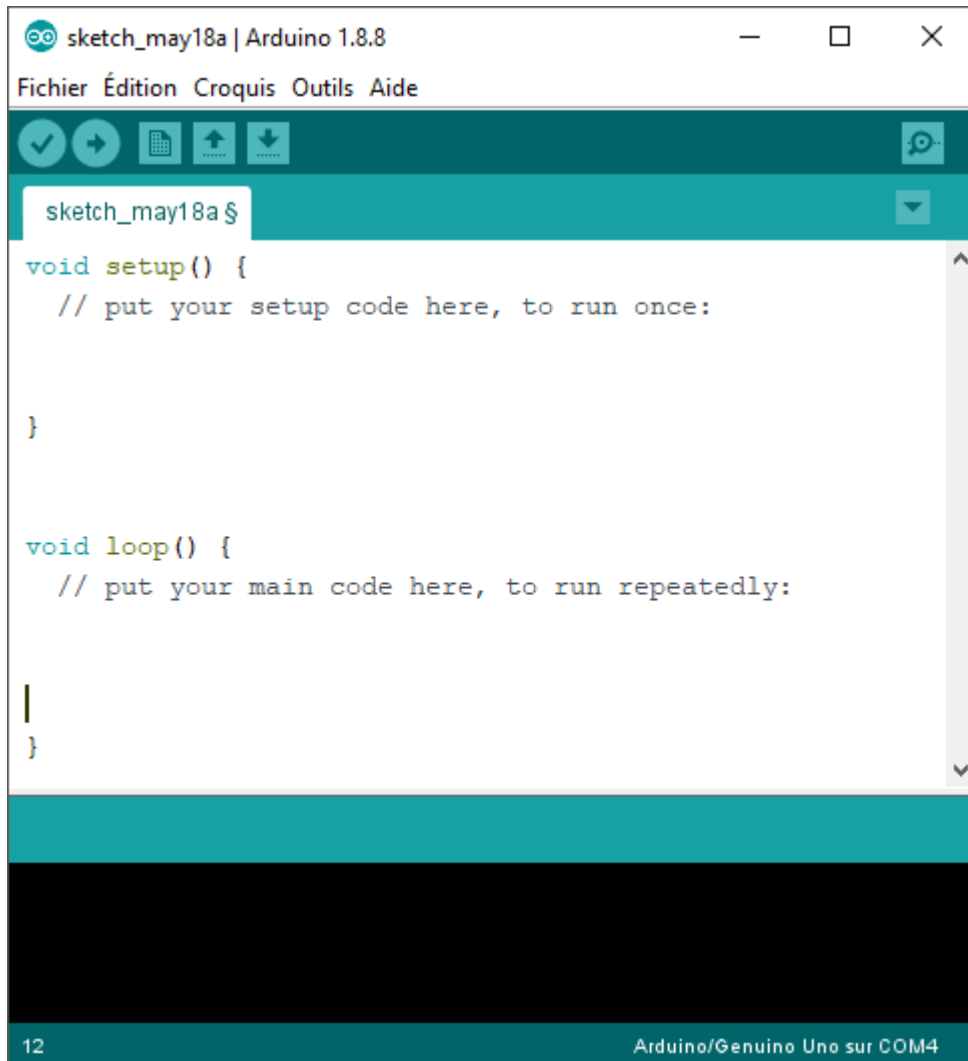


Figure 2.13 : Plateforme générale de Arduino.

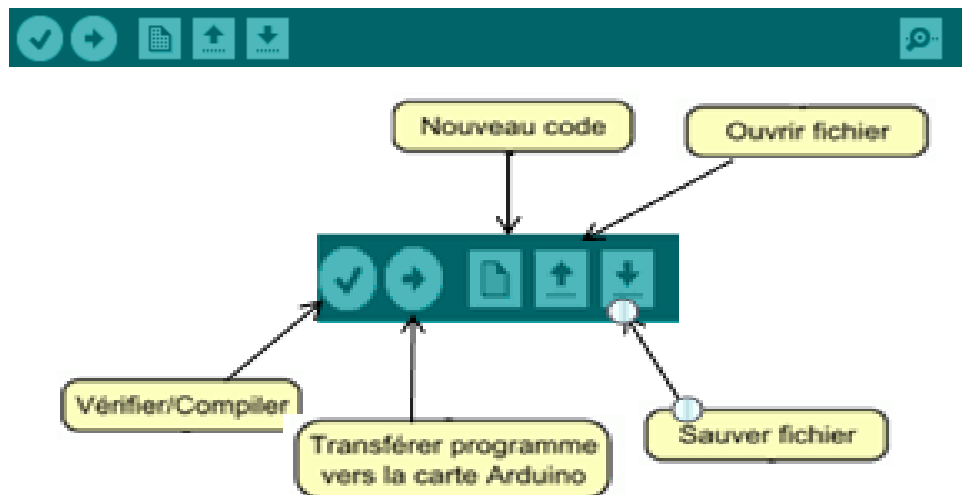


Figure 2.14 : Consignes du programme Arduino.

### 2.6.2 Structure générale du programme (Arduino) :

Un programme utilisateur Arduino est une suite d'instructions élémentaires sous forme textuelle, ligne par ligne. La carte lit puis effectue les instructions les unes après les autres, dans l'ordre défini par les lignes de code. La structure d'écriture d'un programme sous Arduino est de la forme suivante :

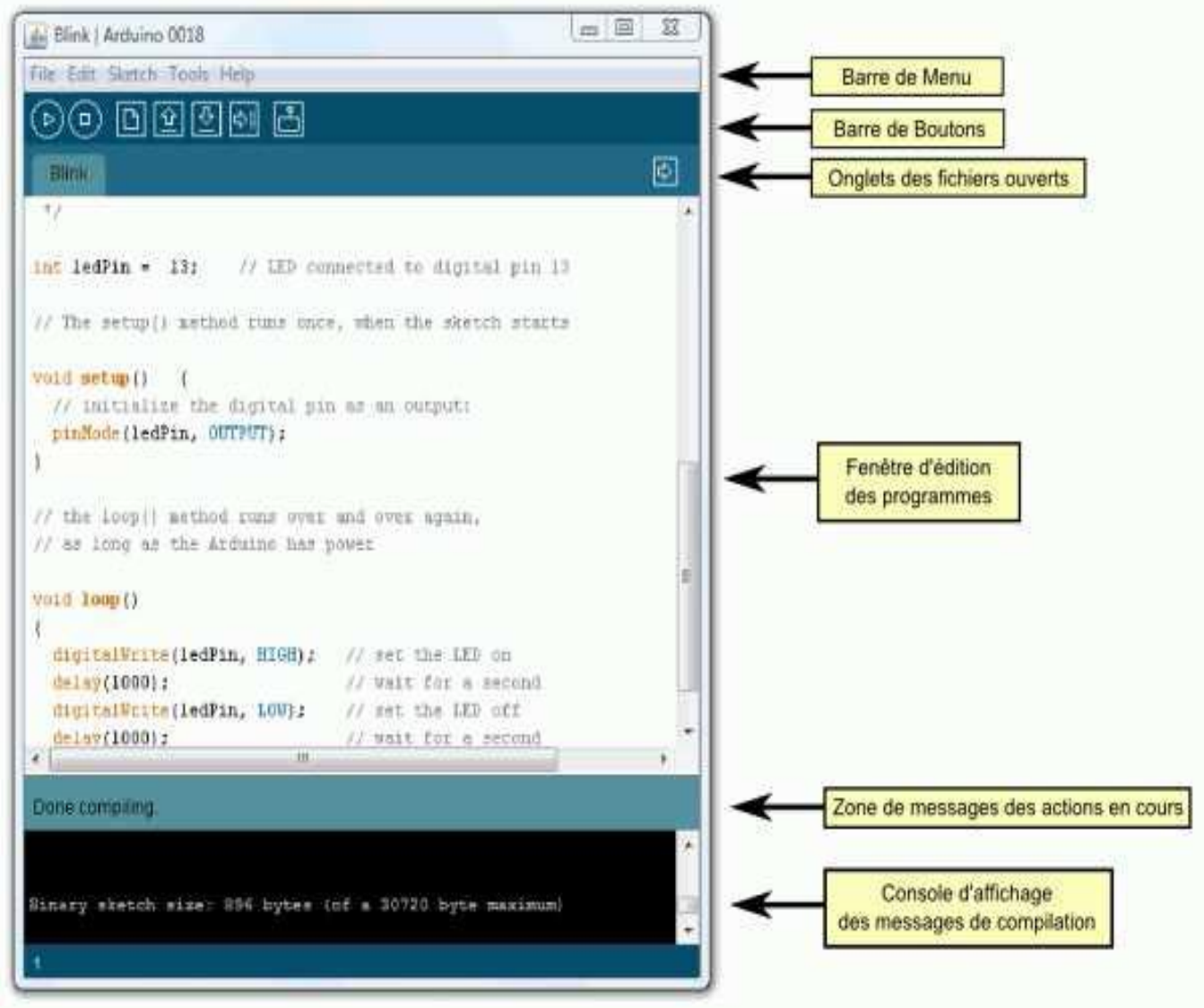


Figure 2.15 : Structure générale du programme (Arduino).

## 2.7 Logiciel PROTEUS :

Le logiciel PROTEUS à la capacité de simuler des montages à base de microcontrôleur, il permet davantage de donner une idée sur la réalisation matérielle et la conception des circuits imprimés. Grâce à des modules additionnels, PROTEUS est également capable de simuler le comportement d'une carte Arduino et son interaction avec les composants qui l'entourent (capteur ultrason, écran LCD....ex).

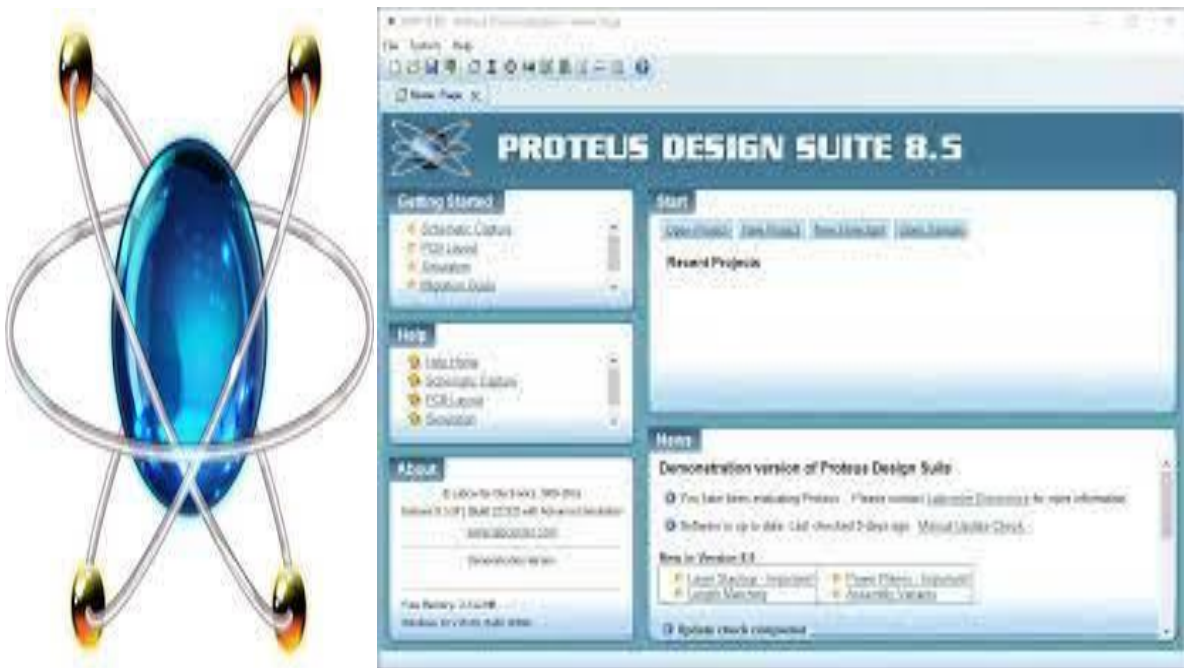


Figure 2.16 : Logiciel PROTEUS.

## 2.8 Fonctionnement du radar :

L'Arduino va démarrer le **temps1** et envoie une impulsion **HIGH** de 10µs sur la broche tri du capteur, ce dernier reçoit un ordre pour l'envoi d'une onde ultrasonore de 8 impulsions à 40KHz dans l'air et met la sortie écho à l'état **haut**.

L'Arduino détecte l'état **haut** de sa broche numérique connectée à l'écho et enregistre la valeur du **temps1**, une fois l'onde réfléchit par la cible elle revienne au récepteur ultrasons du capteur. Ce dernier va changer l'état de l'écho vers l'état **bas**.

L'Arduino va détecter le changement de l'état sur sa broche numérique et arrête l'incréméntation du **temps1** et enregistre sa valeur dans une variable **temps2** puis il calcule la différence entre le **temps 2** et le **temps1** et il calcule la distance. [14]

➤ L'opération qui permet de calculer la distance:

$$d = (v * t) / 2$$

Avec :

**d**: la distance en cm

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

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

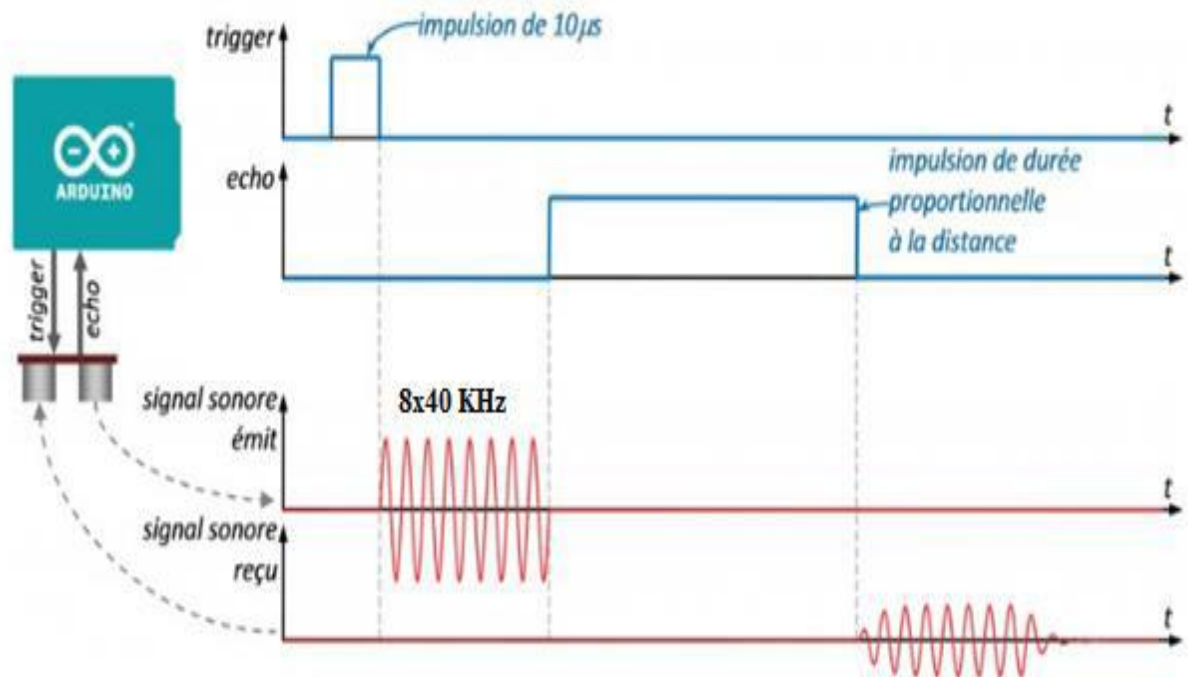


Figure 2.17 : Diagramme temporel de HC-SR04.

## 2.9 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons fait une description des différents éléments constituant le Radar. Une description Matériel tels que la carte Arduino Uno et de ces composantes comme Le microcontrôleur ATmega328, le capteur Ultrasons HC-SR04, l'afficheur LCD, avec fonctionnement du capteur Ultrasons HC-SR04 et communication avec l'afficheur LCD. Une description des logiciels utilisés tels que le logiciel de programmation du module Arduino, logiciel Proteus.

Nous avons expliqué le fonctionnement du radar. Le chapitre suivant sera consacré à la simulation d'un dispositif Radar à capteur ultrason.



**Chapitre 3 :**  
**Simulation d'un système de télémétrie Radar**

### **3.1 Introduction :**

Dans ce chapitre, nous présenterons « Simulation d'un Radar ». Après avoir donné dans le chapitre précédent une description théorique sur la carte Arduino, le capteur à ultrason, l'afficheur LCD. Nous allons procéder à l'application expérimentale qui se développera pour simulation d'un Radar.

### **3.2 Principe de fonctionnement :**

RADAR est un système de détection d'objet qui utilise des ondes radio ou pour déterminer la portée, l'altitude, la direction et la vitesse des objets. L'antenne Radar transmet des impulsions d'ondes radio ou de micro-ondes qui rebondissent sur tout objet sur leur chemin. L'objet renvoie une partie de l'onde reçue par le récepteur qui est en ligne de vue avec l'émetteur.

### **3.3 Simulation du projet sous PROTEUS :**

#### **3.3.1 Présentation :**

Nous avons procédé à une simulation, d'où nous avons travaillé avec plusieurs logiciels, principalement logiciel Arduino pour fonctionner le circuit, logiciel Proteus pour simuler les circuits électronique.

#### **3.3.2 Les différentes étapes du projet :**

Notre projet de Simulation d'un Radar :

- La conception assistée par ordinateur et la simulation avec Proteus.
- Visualisation des résultats trouvés sur l'afficheur LCD sur l'écran d'ordinateur.

#### **3.3.3 Les composants utilisés dans cette simulation sont :**

Pour notre simulation, nous avons assemblé les différents composants suivants :

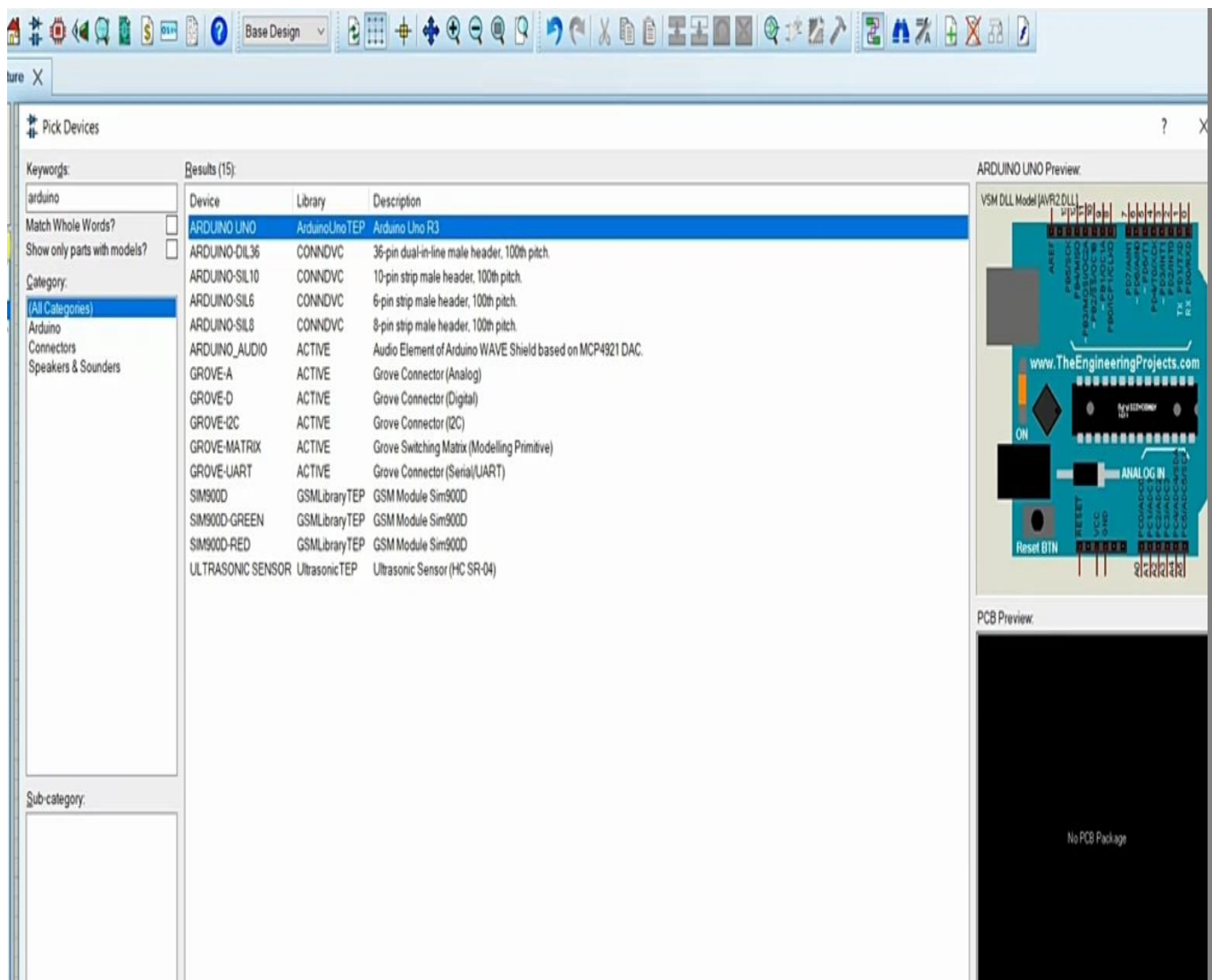
- Arduino UNO.
- Un capteur Ultrason HC-SR04.
- Une Résistance variable.
- Un écran LCD 16\*2.

### 3.3.4 Démarche de la simulation :

#### 3.3.4.1 Bibliothèque Arduino pour Proteus :

Pour simuler la carte Arduino sur Proteus, tout d'abord, il faut télécharger la librairie Arduino disponible sur internet, décompresser et copier les deux fichiers nommés « ArduinoTEP.LIB et ArduinoTEP.IDX » et les placer dans le dossier des bibliothèques de notre logiciel Proteus.

Maintenant, on redémarre le logiciel Proteus et dans la recherche de sections de composants pour ArduinoTEP on choisit Arduino Uno comme indiqué ci-dessous:



**Figure 3.1 : Intégrer carte Arduino sous Proteus.**

Maintenant, notre carte Arduino Uno est prête à être utilisée.

### 3.3.4.2 Bibliothèque de capteurs à ultrasons pour PROTEUS :

Pour interagir le capteur à ultrasons avec Arduino on télécharge une bibliothèque de capteurs ultrasoniques pour Proteus, disponible sur internet et qui présente trois fichiers nommés « UltrasonicTEP.IDX, UltrasonicTEP.LIB, UltrasonicTEP.HEX »  
Maintenant, on les place dans la bibliothèque de logiciel Proteus.

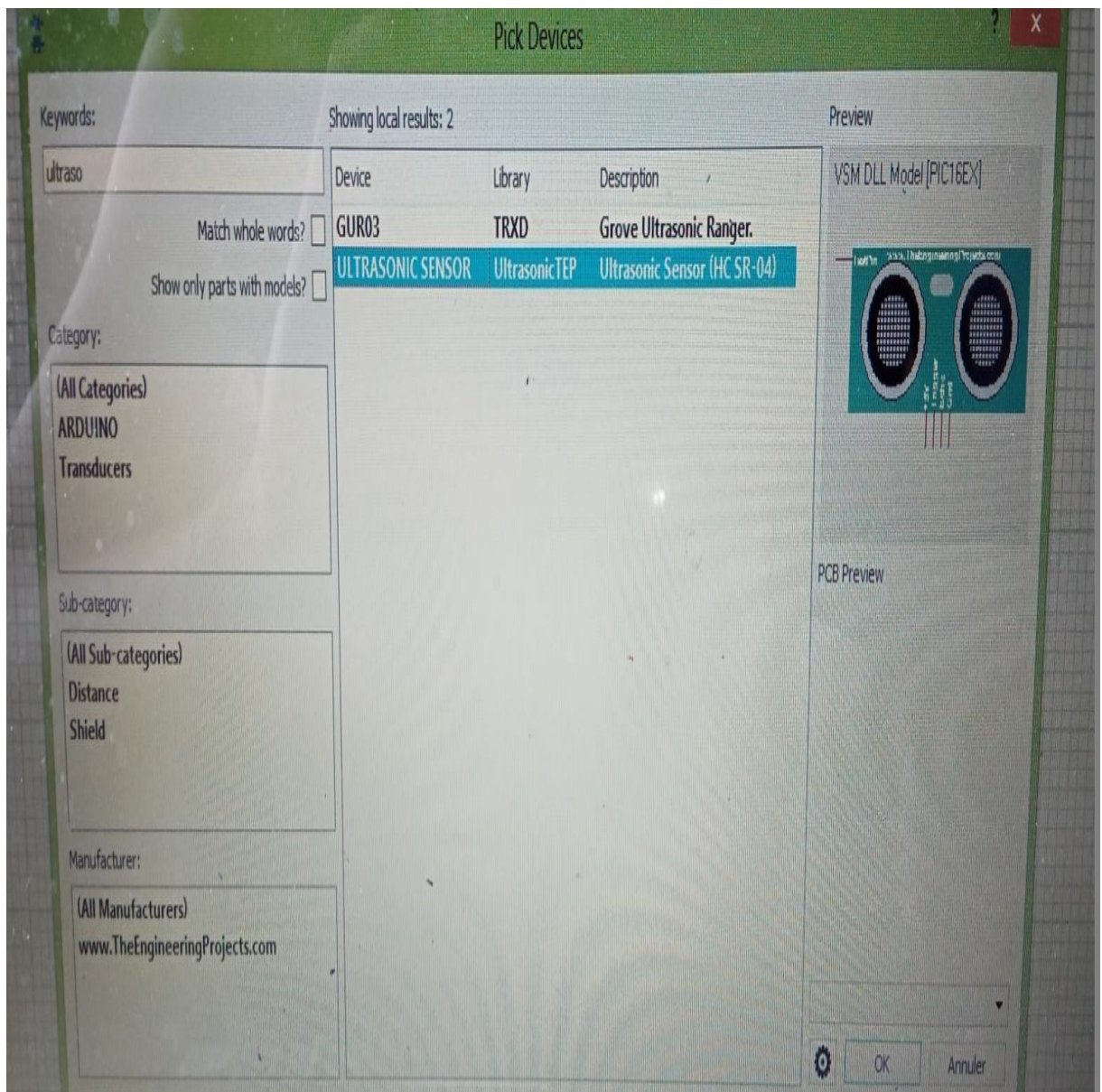
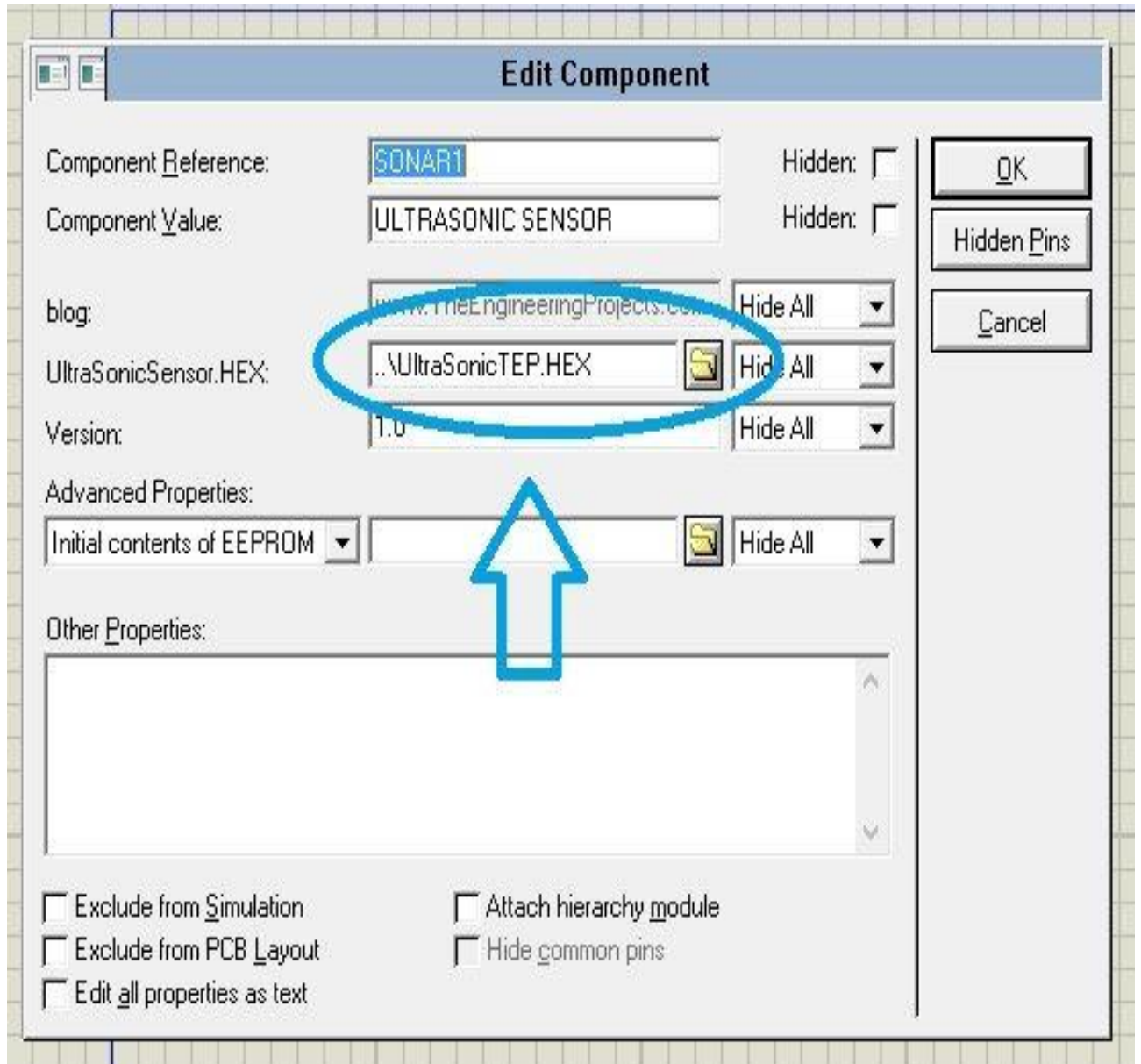


Figure 3.2 : Intégrer Capteur Ultrasons HC-SR04 sous Proteus.

- Initialement le capteur à ultrason est hors service. Afin d'ajouter ses fonctionnalités, on double-clique sur ce capteur à ultrasons et ouvre ses propriétés et on sélectionne la section Fichier du programme et on choisit le fichier UltrasonicTEP.HEX comme indique ci-dessous:



**Figure 3.3 : Rajout du fichier UltrasonicTEP.HEX sous Proteus.**

Maintenant, notre capteur à ultrasons est prêt à être utilisé.



3.3.4.3 Circuit global de simulation :

La figure suivante le circuit global de notre simulation sous Proteus :

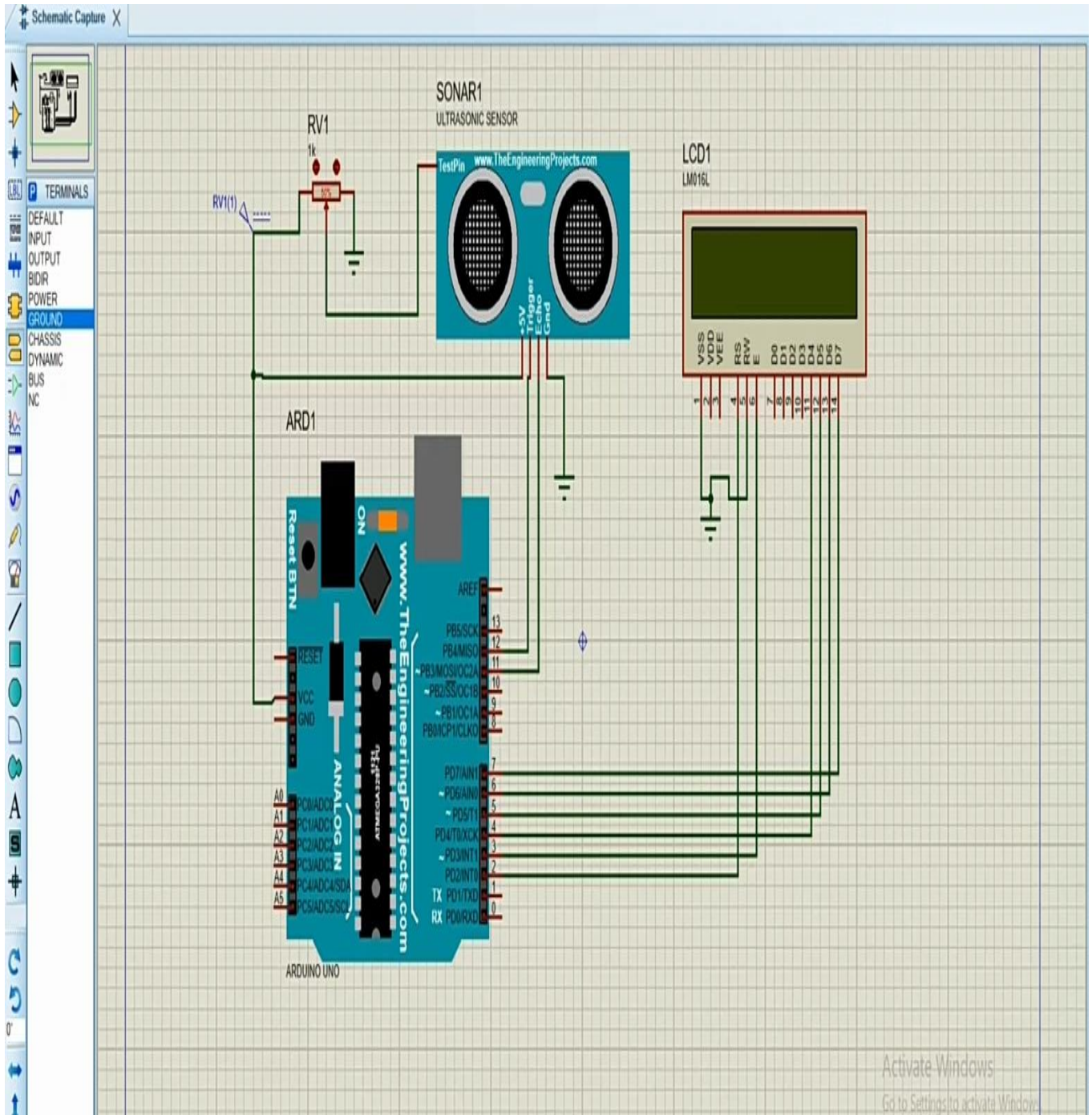


Figure 3.4 : Circuit électronique de simulation.

- Les différentes connexions et numéro des pins de circuit sont présentés par le tableau suivant :

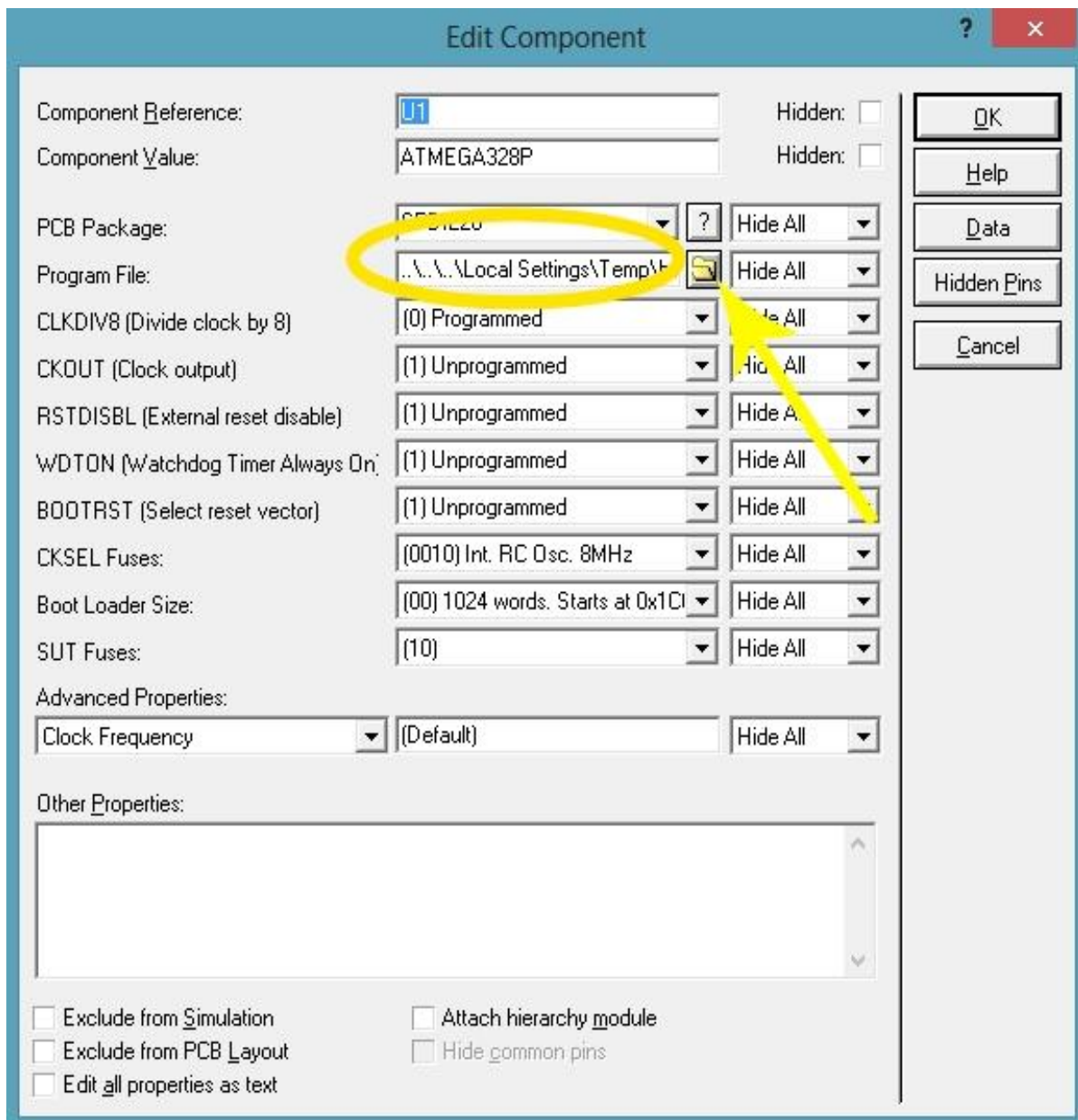
Composant	Pin composant	Pin Arduino Uno
<b>Capteur à ultrason</b>	VCC	+5V
	Trigger	12
	Echo	11
	GND	GND
<b>Afficheur LCD</b>	RS pin	2
	Enable pin	3
	D4	4
	D5	5
	D6	6
	D7	7
	R/W	GND
	VSS pin	GND

**Tableau 3.1 : Broche et connexion du notre circuit électronique.**

### 3.3.5 Injection du fichier .HEX sous Proteus :

Pour commencer la simulation, on compile le code de programme Arduino afin de récupérer le fichier **.Hex** et on l'injecte dans la carte Arduino, puisque c'est une simulation, .On clique sur démarrer pour lancer la simulation.

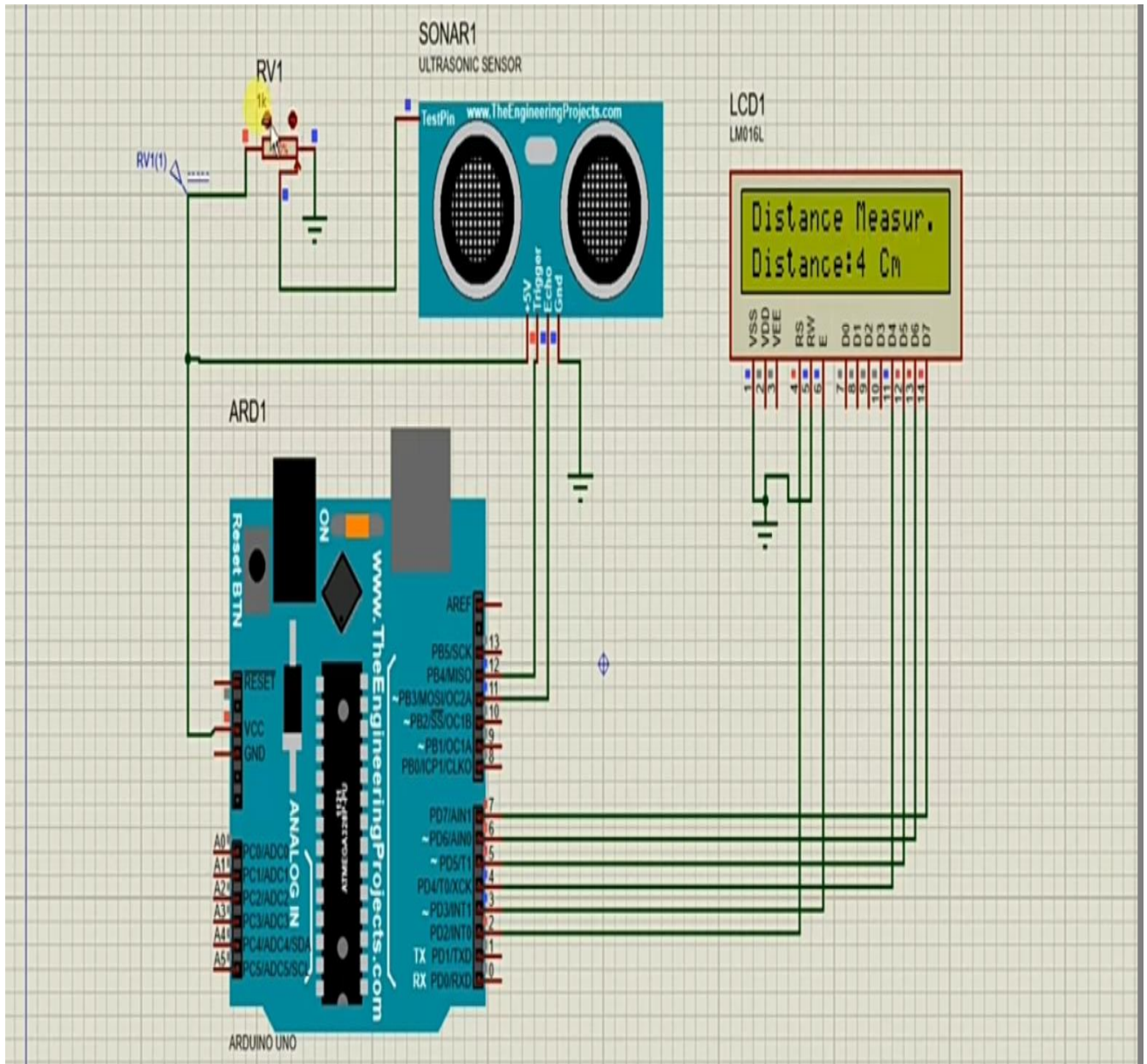
Après avoir copié le fichier hexadécimal sur le logiciel ARDUINO, nous allons faire un double clic sur la carte Arduino, ce qui nous permet d'ouvrir ses propriétés et de sélectionner le fichier du programme afin de parcourir le fichier .HEX et de le télécharger comme indiqué ci-dessous (figure 3.4) :



**Figure 3.5 : Injection du fichier .HEX sous Proteus.**



- Pour avoir les résultats de simulation nous appuyons sur le bouton Démarrer et les résultats seront affichés comme sons représentés sur la figure ci-dessous.



**Figure.3.6 : Résultats de simulation sur le terminal virtuel de Proteus.**

Le terminal virtuel de proteus affiche la valeur de distance, cette valeur dépend de la résistance variable associée au capteur à ultrasons, lorsque nous augmentons ou nous réduisons la tension de la résistance variable la valeur de la distance.

### 3.4 Principe de fonctionnement du circuit électronique de simulation :

- La carte Arduino envoie un signal de (+5V) vers tout ces pins connectés, il offre l'action rotationnelle au capteur pour qu'il puisse détecter les objets mobiles.
- La carte Arduino envoie une impulsion HIGH de largeur (10 $\mu$ s) 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.

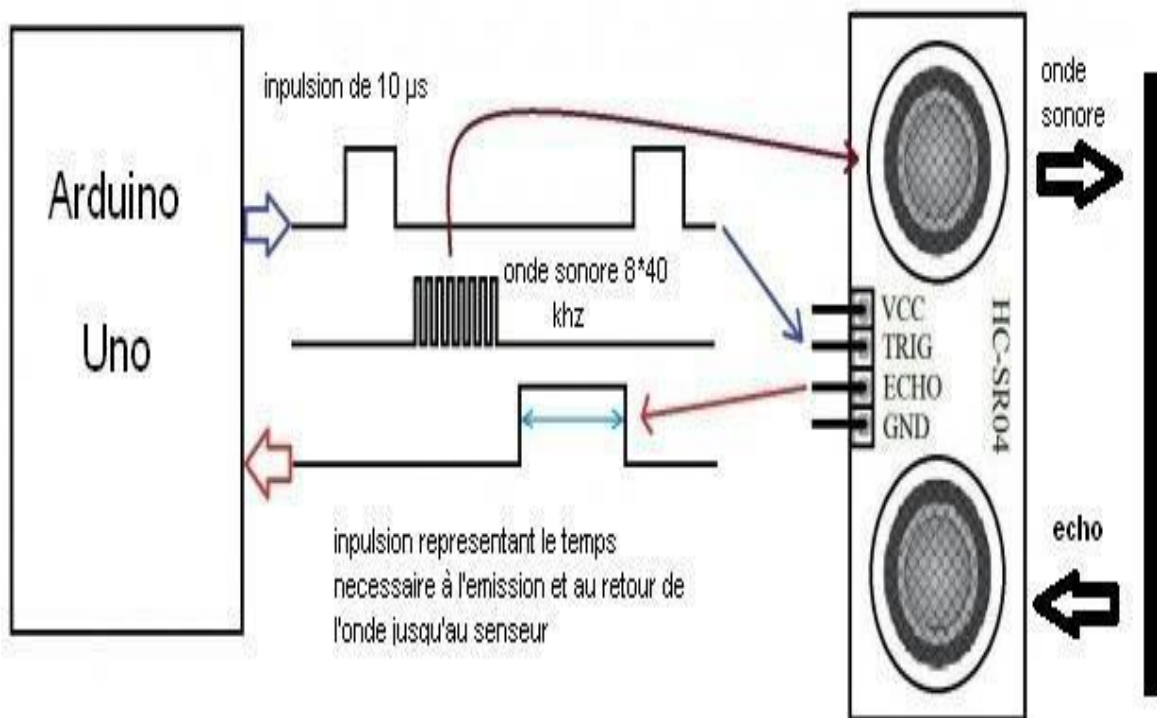
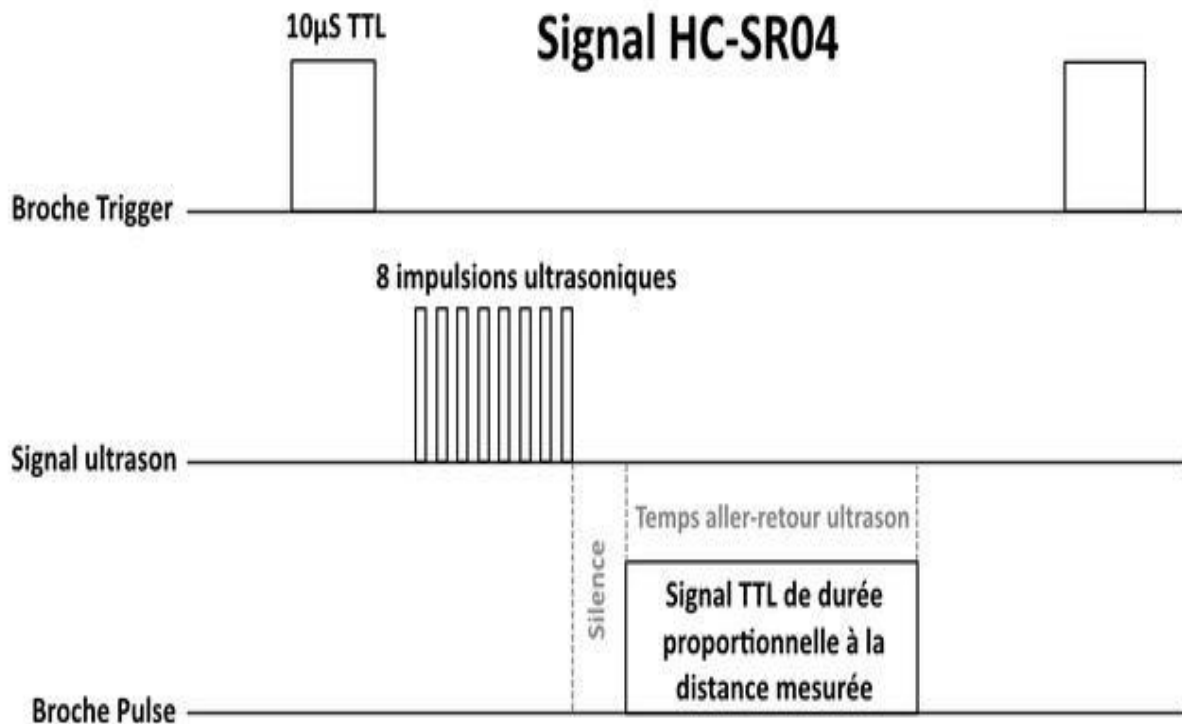


Figure 3.7 : Diagramme temporel de HC-SR04

### 3.5 La méthode de mesure :

Essentiellement, le capteur de distance à ultrasons HC-SR04 se compose de deux transducteurs à ultrasons. L'appareil agit comme un émetteur qui convertit le signal électrique en impulsions sonores ultrasonores de 40 kHz. Le récepteur écoute les impulsions transmises. S'il le reçoit, il produit une impulsion de sortie dont la largeur peut être utilisée pour déterminer la distance parcourue par l'impulsion.



**Figure 3.8 : Diagramme de mesure de HC-SR04**

1. On envoie une impulsion HIGH de 10µs sur la broche TRIGGER du capteur.
2. Le capteur envoie alors une série de 8 impulsions ultrasoniques à 40KHz.
3. Les ultrasons se propagent dans l'air jusqu'à toucher un obstacle et retournent dans l'autre sens vers le capteur.
4. Le capteur détecte l'écho et clôture la prise de mesure.

Le signal sur la broche ECHO du capteur reste à HIGH durant les étapes 3 et 4, ce qui permet de mesurer la durée de l'aller-retour des ultrasons et donc de déterminer la distance.

Le capteur à ultrasons HC-SR04 que nous utiliserons a quatre broches: masse (GND), sortie d'impulsion d'écho (ECHO), entrée d'impulsion de déclenchement (TRIG) et alimentation 5 V (Vcc). Nous alimentons le module à l'aide de Vcc, le mettons à la terre à l'aide de GND et envoyer un signal d'entrée à TRIG, ce qui déclenche l'envoi par le capteur d'une impulsion ultrasonique. Les ondes de pouls rebondissent sur les objets à proximité et certains sont réfléchis vers le capteur. Le capteur détecte ces ondes de retour et mesure le temps entre le déclenchement et l'impulsion renvoyée, puis envoie un signal de 5 V sur la broche ECHO.

ECHO sera «faible» (0 V) jusqu'à ce que le capteur se déclenche lorsqu'il reçoit l'impulsion d'écho. Une fois qu'une impulsion de retour a été localisée, ECHO est réglé sur «haut» (5 V) pour la durée de cette impulsion. La durée d'impulsion est le temps complet entre la sortie d'une impulsion ultrasonique par le capteur et la détection de l'impulsion de retour par le récepteur du capteur et mesurer la durée d'impulsion puis calculer la distance.

### 3.6 Résultats de la simulation :

Pour obtenir des différentes détections, on a changé la valeur de potentiomètre afin d'avoir une variation de puissance au pin de test de capteur à ultrason, la distance calculée est proportionnelle à cette puissance.

La distance peut varier de (04cm) à (110.6cm), les résultats de simulation sont présentés dans le tableau suivant résume les différentes détections obtenues :

Numéro de détection	la valeur de potentiomètre	Distance (cm)
1	0	1106
2	10	1017
3	20	912
4	30	784
5	40	708
6	50	579

7	60	486
8	70	342
9	80	254
10	90	122
11	100	4

**Tableau 3.2 : Résultats de plusieurs détections de simulation**

- **Le résultat :** Lorsque nous diminuons la tension de la résistance variable la valeur de la distance augmente. et lorsque nous augmentons la tension de la résistance variable la valeur de la distance diminue.

### 3.7 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons fait une simulation d'un Radar à l'aide de la carte Arduino Uno, afin de mesurer la distance à travers un capteur à ultrason.

Nous avons constaté lors de la simulation sur Proteus que la valeur de la distance dépend de la résistance variable associée au capteur à ultrasons, lorsque nous augmentons la tension de la résistance variable la valeur de la distance diminue. Lorsque nous diminuons la tension de la résistance variable la valeur de la distance augmente.

Finalement, Les résultats obtenus (Distance) sont affichés sous l'afficheur LCD.

## Conclusion générale :

Le Radar est un système de détection d'objet qui utilise des ondes électromagnétique pour déterminer la portée, l'altitude, la direction et la vitesse des objets. L'antenne Radar transmet des impulsions d'ondes qui rebondissent sur tout objet qui se trouve sur leur chemin. L'objet renvoie une partie de l'onde reçue par le récepteur qui est en ligne de vue avec l'émetteur.

Son objectif consiste sur étude et la simulation d'un radar. Pour faire preuve notre simulation nous avons utilisé une carte Arduino, le capteur de distance à ultrason, un afficheur LCD 2\*16.<sup>2</sup> Notre radar est calcule les distances suivant un programme avancé. On a passé par différentes étapes : On a utilisé un détecteur à ultrason HC-SR04 pour calcul de la distance.

L'ensemble de système de RADAR est commandé par la carte Arduino programmable. Pour notre cas; on a utilisé la carte Arduino Uno R3 dont ses caractéristiques particulières nous à faciliter les taches surtout en ce qui concerne sa programmation.

Notre projet de simulation assistée par ordinateur, On a passé par la programmation ainsi la visualisation des résultats trouvés. Dans la simulation, pour obtenir des différentes détections, on a changé la valeur de potentiomètre connecté au pin de test de capteur à ultrason, afin d'avoir une variation de distance.

Finalement, Nous avons constaté lors de la simulation sur Proteus que la valeur de la distance dépend de la résistance variable associée au capteur à ultrasons, lorsque nous augmentons la tension de la résistance variable la valeur de la distance diminue. Lorsque nous diminuons la tension de la résistance variable la valeur de la distance augmente.

Résultat de la simulation : La distance calculée est inversement proportionnelle à cette puissance.

## Références :

[1] : Mr S.Meguelati, « Cours Radar», Université De Blida, 5ème Année Ingénieur, Département Aéronautique (Option: Installation), Année:2009/2010.

[2] : [www.radartutorial.eu](http://www.radartutorial.eu). Éditeur: Christian Wolff, Traduction En Langue Française Et Révision: Pierre Vaillant Et Christophe Paumier, Version 9 Juillet 2011.

[3] : HISTOIRE du RADAR dans le MONDE puis en FRANCE par Jacques DARRICAU et Yves BLANCHARD.

[4] : J.Pelon .coure sur << La mission spatiales lidar>> [PDF], sur centre national de rechercher météorologique, 2010 (consulté le 17 nombre 2017).

[5] : Atelier Sciences-Roger MEVEL (0607864863), CR de la Séance n0 4 du 4/12/2017. Les OEM (Ondes Electromagnétiques) et leurs APPLICATIONS.

[6] : Melle Siad Farida. Mémoire de mastre2 en << Etude et Réalisation D'un RADAR DE REcul >>.Promotion 2006. Option : contrôle.

[7] : Souâd Chabbi, « Détection Adaptative CFAR à Censure Automatique Basse Sur Les Statistiques D'ordre En Milieux Non Gaussiens » Université De Constantine, Département D'électronique, Promotion 2008.

[8] : 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.

[9] : 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.

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

[11] : Kadam D.B, Patil YuvrJ B,Chougale Krishnat V,Perdeshi Swagat , « Arduino Based Moving Radar System »,[www.ijisset.org](http://www.ijisset.org), ISSN 2455-4863, Volume: 3 Issue: 4 April 2017.

[12] : KRAMA Abdelbasset, GOUGUI Abdelmoumen. « Etude et réalisation d'une carte de contrôle par Arduino via le système Androïde ». Mémoire de Master Académique 2 en Electrotechnique Industrielle. Université Kasdi Merbah Ourgla. Algérie. Le 08/06/2015.

[13] : 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.

[14] : hc-sr04 « pj2-hc-sr04-utilisation-avec-picaxe-1343.pdf



**ANNEXE**

## Annexe code ARDUINO

```
#include <LiquidCrystal.h> //lcd library

LiquidCrystal lcd(2, 3, 4, 5, 6, 7);    //LCD object parameters: (rs, enable, d4, d5, d6,
d7)

const int trigPin = 12; //trig pin connection

const int echoPin = 11; //echopin connection

long duration;

int distanceCm;

float liquid;

void setup () { // setup parameter

lcd.begin(16,2);

pinMode(trigPin, OUTPUT);

pinMode(echoPin, INPUT);

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print(" Distance ");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print(" Measurement ");

delay(2000);

lcd.clear();

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print(" M2 GI 2022 ");
```

```
delay(2000);  
lcd.clear();  
}  
  
void loop() { // loop of flow program  
digitalWrite(trigPin,LOW);  
delayMicroseconds(2);  
digitalWrite(trigPin,HIGH);  
delayMicroseconds(10);  
digitalWrite(trigPin,LOW);  
duration = pulseIn (echoPin,HIGH);  
distanceCm= duration*0.034/2;  
lcd.setCursor(0,0);  
lcd.print("Distance Measur.");  
delay(10);  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print("Distance:");  
lcd.print(distanceCm);  
lcd.print(" Cm ");  
delay(10);  
}
```