



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 Security Industrielle

Département de Maintenance en Instrumentation

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie industriel
Spécialité: Génie Industriel

Thème

Détection et mesure de distance à l'aide d'un capteur ultrason avec Arduino

Présenté et soutenu publiquement par :

BENMOUSSA Mehdi
ERRAIS Abdallah

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
ADJLOUA Abdel Aziz	MAA	IMSI Univ d'Oran2	Président
MEKKI IBRAHIM El Khalil	MCB	IMSI Univ d'Oran2	Encadreur
ZEBIRATE Soraya	PR	IMSI Univ d'Oran2	Examineur

Juin 2017

Dédicace

À mes parents qui m'ont soutenu et encadré jusqu'à ce jour,
avec leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices.

À mon frère et ma sœur

À toute ma famille

À tous mes collègues du master 2

À mon très cher binôme.

À toute personne que j'ai connue lors de mon passage à
l'université.

À vous tous, je dédie ce modeste travail...

À tous nos professeurs qui nous ont enseignés car si nous
sommes là aujourd'hui, c'est bien grâce à vous.

Donc, un grand merci pour vous.

MEHDI

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents qui m'ont aidé et qui ont veillé sur moi surtout pour que je sois toujours à l'aise.

À mes adorables frères et sœurs qui n'ont pas cessé de m'encourager dans les moments les plus difficiles.

À toute ma famille qui m'a soutenu.

À mes amis, à mon binôme Benmoussa Mehdi et à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin.

Qu'ils trouvent ici l'expression de mes sentiments les plus profonds pour le confort moral qu'ils m'ont assuré tout au long de mes études.

À vous mes amis de la promotion 2^{ème} année master Génie Industriel.

Donc un grand merci pour vous.

ABDALLAH

Remerciements

En préambule à ce mémoire nous remercions ALLAH qui nous a aidé et nous a donné la patience et le courage durant ces longues années d'études.

Ces remerciements vont d'abord au corps professoral et administratif de la Faculté pour la richesse et la qualité de leur enseignement en déployant de grands efforts et de multiples techniques et moyens pédagogiques pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Nous souhaitons adresser encore nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce modeste mémoire

Nous tenons à remercier très sincèrement Monsieur **Mekki Ibrahim El Khalil** qui, en tant qu'encadreur de notre mémoire, s'est toujours montré à notre écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire. Ainsi nous lui devons beaucoup pour sa contribution, son aide et ses conseils en consacrant presque tout son temps pour que ce projet de fin d'étude réussisse à son optimum.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs précieux conseils.

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

Enfin, nous remercions à toute personne qui a participé de près ou de loin pour l'accomplissement de ce modeste travail.

TABLE DES MATIERES	i
LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES	iii
INTRODUCTION GENERALE	1

CHAPITRE I : ETAT DE L'ART SUR LES RADARS

1. Introduction	04
2. Historique	04
3. Principe du radar	05
4. Schéma synoptique d'un radar	06
4.1. Composants	06
4.1.1. Antennes radar	07
4.1.2. Emetteur	07
4.1.3. Récepteur	07
4.1.4. Traitement du signal radar	07
4.1.5. Affichage	07
5. Radar mono-statique, bi-statique et multistatique	10
6. Principe de mesure	10
6.1. Calcul de la distance	10
6.2. Mesure de la direction	11
6.3. Distance aveugle	11
6.4. Résolution en distance	12
6.5. Précision	12
7. Surface équivalente radar	13
7.1. Mesure	13
7.2. Réduction de la SER	13
8. Classification des radars	14
8.1. Classification en fonction des informations qu'ils doivent fournir	14
8.1.1. Radars imageurs/ radars non imageurs	14
8.1.2. Radars primaires	15
8.1.3. Radars secondaires	15
8.1.4. Radars à ondes impulsions	15
8.1.5. Radars à ondes continues	15
8.1.6. Radars à ondes continues non modulées	16
8.1.7. Radars à ondes continues modulées	16
8.2. En fonction de l'utilisation	16
8.2.1. Applications civiles	16
8.2.2. Applications militaires	19
9. Conclusion	22

CHAPITRE II : LES RADARS ULTRASONS

1. Introduction	24
2. Historique	24
3. Définition de son	25
4. La détection à ultrasons	25

5. Principe des ultrasons	25
6. Propagation des ondes ultrasonores	26
7. Effet Doppler	26
7.1 Définition	26
7.2 Principe de fonctionnement	27
8 Les capteurs ultrasons	27
8.1 Définition	27
8.2 Le principe de fonctionnement des capteurs ultrasons	27
8.3 Utilisation des capteurs ultrasons	28
8.3.1 Contrôle de caisse pleine	28
8.3.2 Détection de personnes	28
8.3.3 Positionnement	29
8.3.4 Mesure de niveau	29
8.3.5 Contrôle de qualité	30
8.3.6 Détection d'obstacles	30
8.4 Quelques limitations des capteurs ultrasons	31
8.4.1 La forme des obstacles	31
8.4.2 La texture de l'obstacle	31
8.4.3 Le cross-talk	31
8.5 Avantages et inconvénient	31
9. Radars ultrasons	31
9.1 Définition	31
9.2 Radars automobile à ultrason	32
9.2.1 Types de radars automobiles	32
10 Conclusion	36

CHAPITRE III : REALISATION D'UN RADAR AVEC ARDUINO

1. Arduino	38
1.1 Définition	38
1.2 Caractéristiques techniques	38
1.3 Présentation du logiciel	39
2. Présentation du projet	41
3. Description des composants	41

4. Application1(Télémetre)	43
5. Application2 (Radar à ultrason)	46
6. Conclusion	48

CONCLUSION GENERALE	50
----------------------------	----

BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE	52
-------------------------------------	----

ANNEXE	55
---------------	----

Liste des tableaux :

Tableau I.1 : Quelques types de radars et leurs différentes caractéristiques	12
---	----

Liste des figures :

Figure I.1 : Principe d'un radar	06
Figure I.2 : Schéma synoptique d'un radar	06
Figure I.3 : Oscilloscope	08
Figure I.4 : Affichage de type A	08
Figure I.5 : Affichages de type E et type B	09
Figure I.6 : Affichage C	09
Figure I.7 : Affichage PPI	10
Figure I.8 : Radars mono-statique, bi-statique et multistatique	10
Figure I.9 : Azimut de la cible	11
Figure I.10 : Distance aveugle	12
Figure I.11 : Classification des systèmes radar selon l'information qu'ils doivent fournir	14
Figure I.12 : Radar imageur	15
Figure I.13 : classification des radars en fonction de leur utilisation	16
Figure I.14 : Exemple de radar GPR	17
Figure I.15 : Evolution de la fréquence émise en fonction du temps pour un radar fonctionnant en vobulation linéaire de fréquence.	18
Figure I.16 : Radar de contrôle routier	19
Figure I.17 : Radar transhorizon OTH	20
Figure I.18 : Implantation d'un réseau d'antennes transhorizon, base Nostradamus.	21
Figure I.19 : Salle de commande et réseau sous- terrain NOSTRADAMUS	21
Figure II.1 : Effet Doppler-Fizeau.	26
Figure II.2 : Fonctionnement des capteurs ultrasons.	28
Figure II.3 : Capteur contrôleur caisse pleine	28
Figure II.7 :Capteur détecteur de personnes.	29
Figure II.5 : Capteur de positionnement.	29
Figure II.6 : Capteur mesure de niveau.	30
Figure II.7 : Capteur contrôleur de qualité.	30
Figure II.8 : Capteur détecteur d'obstacles.	31
Figure II.9 : Radar de recul.	33
Figure II.10 : Les modes de détections de radar de recul.	33
Figure II.11 : Principe de mesure	34
Figure II.12 : Activation du radar de recul.	34
Figure II.13 : Méthode de calcul de distance.	35
Figure III.1 : Carte Arduino UNO	38
Figure III.2 : IDE Arduino	39
Figure III.3 : Les broches d'arduino UNO	41
Figure III.4 : Capteur à ultrason HC-SR04	42
Figure III. 5 : Servomoteur SG90	43
Figure III.5 : Illustration du télémètre en fonctionnement	43
Figure III.6 : Schéma de montage du télémètre	44
Figure III.7 : Principe de fonctionnement de l'ultrason	44

Figure III.8 : affichage des résultats de mesure sur IDE Arduino	45
Figure III.9 : Prototype du radar à ultrason réalisé	46
Figure III.10 : Schéma du montage du radar à ultrason	47
Figure III.11 : Echange d'informations entre Arduino et Processing	47
Figure III.12: Affichage de l'écran du radar sur Pc	48

Introduction générale

Introduction générale

Parfois quand on réalise un projet, on a besoin de mesurer des distances, détecter des obstacles, etc.

En robotique par exemple, il est très classique d'avoir un capteur de distance sur l'avant du robot pour éviter de se prendre un mur en pleine face.

Les télécommunications sont aujourd'hui définies comme la transmission à distance d'informations avec des moyens électroniques.

La télédétection est une technique de la télécommunication qui permet, à l'aide d'un capteur d'observer et d'enregistrer le rayonnement électromagnétique, émis ou réfléchi par une cible quelconque sans contact direct avec celle-ci. La détection du signal est une procédure qui peut être implémentée dans diverses applications telles que les radars, les sonars, et les systèmes de communications.

Dans ce projet on va parler du radar en définissant son principe de fonctionnement, ses types et expliquant ses applications dans divers domaines.

L'étude des radars et en particulier les radars ultrason, fait l'objet de notre mémoire.

Cette étude est faite en trois chapitres, dans le premier nous allons parler d'une manière générale sur les radars, ces derniers s'appliquent donc à une vaste gamme de matériels et d'installations allant d'équipements de bord, de volume et de poids très réduits, à de très gros ensembles servis par des centaines de personnes. Cependant, en dépit de cette extrême diversité d'aspects et d'emplois, les mêmes principes de base se retrouvent sur tous les types d'équipements. Ce sont donc surtout ces principes qui sont étudiés dans la littérature radar.

Le second chapitre est consacré pour les radars ultrasons avec des exemples et des explications.

Dans le troisième chapitre nous donnons un aperçu sur la carte Arduino, sur son utilisation ainsi que la réalisation d'un radar ultrason afin de détecter et calculer la distance des objets.

Chapitre I :

L'état de l'art sur les radars

1. Introduction :

Le radar est une invention qui a révolutionné les domaines de l'aviation et de la stratégie militaire au XXe siècle. L'idée de repérer un objet à distance, la télédétection, a commencé au début de ce siècle avec l'application des lois de l'électromagnétisme et l'utilisation des ondes électromagnétiques découvertes par Hertz dans un précurseur du radar. Le radar a joué un rôle crucial dans le conflit, et a probablement eu une contribution plus importante pour la victoire des Alliés que la bombe atomique dans les guerres mondiales.

L'expérience acquise pendant le conflit par un grand nombre de chercheurs a permis d'élargir l'utilisation du radar à d'autres domaines que le militaire. On le retrouve directement ou indirectement aujourd'hui dans l'aviation civile, le contrôle maritime, la détection météorologique, les détecteurs de vitesse de nos routes et même en médecine.

1.1 Définition :

Le mot RADAR signifie 'Radio Detection And Ranging' [1]: détection et télémétrie par ondes radio. Le radar est un instrument qui permet de détecter la présence d'un objet cible et de déterminer sa position et sa vitesse au moyen des ondes électromagnétiques. Grâce aux propriétés des ondes qu'il utilise, le radar peut acquérir des données dans n'importe quelles conditions atmosphériques, de jour comme de nuit. Pour cette raison, le radar est très utile pour de nombreuses applications.

2. Historique :

Il serait vain de chercher à attribuer l'invention du Radar à un savant en particulier, ou à une nation unique. 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 1864, James Clerk Maxwell décrit les lois de l'électromagnétisme, ce qui permet pour la première fois de travailler sur leur source.

En 1888, Heinrich Rudolf Hertz montre que les ondes électromagnétiques sont réfléchies par les surfaces métalliques.

Au début du XXe siècle, le développement de la radio et de la TSF (par Marconi, entre autres) permet de développer les antennes nécessaires à l'utilisation du radar.

Plusieurs inventeurs, scientifiques, et ingénieurs ont contribué ensuite au développement du concept du radar.

Les fondements théoriques datent de 1904 avec le dépôt du brevet du « Telemobiloskop » par l'allemand Christian Hülsmeier. Celui-ci a démontré la possibilité de détecter la présence de bateaux dans un brouillard très dense.

Il faut ensuite résoudre les problèmes de longueur d'onde et de puissance soulevés en 1917 par le physicien serbe, naturalisé américain, Nikola Tesla.

Durant les années 1920, on commence donc les expériences de détection avec des antennes. À l'automne 1922, Albert H. Taylor et Leo C. Young, du Naval Research Laboratory (NRL) aux États-Unis, effectuaient des essais de communication radio dans le fleuve Potomac. Ils remarquèrent que les bateaux en bois traversant la trajectoire de leur signal d'onde continu causaient des interférences, redécouvrant ainsi le même principe qu'Hülsmeier.

Au début des années 1930, Taylor confia à un de ses ingénieurs, Robert M. Page, la tâche de développer un émetteur à impulsion et une antenne d'émission que lui et Young avait imaginé pour contourner ce problème.

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 Tesla. C'est ainsi que naissent les « radars » à ondes décimétriques. Le premier équipa en 1934 le cargo Orégon, suivi en 1935 par celui du paquebot Normandie.

En 1935, faisant suite à un brevet déposé par Robert Watson-Watt (l'inventeur dit « officiel » du radar), le premier réseau de radars est commandé par les Britanniques et portera le nom de code Chain Home. Le Hongrois Zoltán Lajos Bay a produit un autre des premiers modèles opérationnels en 1936 dans le laboratoire de la compagnie Tungsram (Hongrie). L'Allemagne nazie, l'Union soviétique, les Américains et d'autres pays ont également poursuivi des recherches dans ce domaine. [2]

On peut considérer que l'architecture des radars était quasiment finalisée à l'aube de la Seconde Guerre mondiale. Il manquait cependant l'expérience opérationnelle au combat qui a poussé les ingénieurs à trouver de nombreuses améliorations techniques. Ainsi, les radars aéroportés ont été développés pour donner la possibilité à l'arme aérienne de procéder aux bombardements et à la chasse de nuit. On mena également des expériences sur la polarisation. Depuis cette guerre, les radars sont utilisés dans de nombreux domaines allant de la météorologie à l'astrométrie en passant par le contrôle routier et aérien. Dans les années 1950, l'invention du radar à synthèse d'ouverture a ouvert la voie à l'obtention d'images radar à très haute résolution. En 1965, Cooley et Tuckey(re) découvrent la transformée de Fourier rapide qui a pris tout son intérêt surtout lorsque l'informatique a commencé à devenir suffisamment performante. Cet algorithme est à la base de la plupart des traitements des radars numériques d'aujourd'hui.

3. Principe 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, comme le montre la figure 1. 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 ECHO, 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[3].

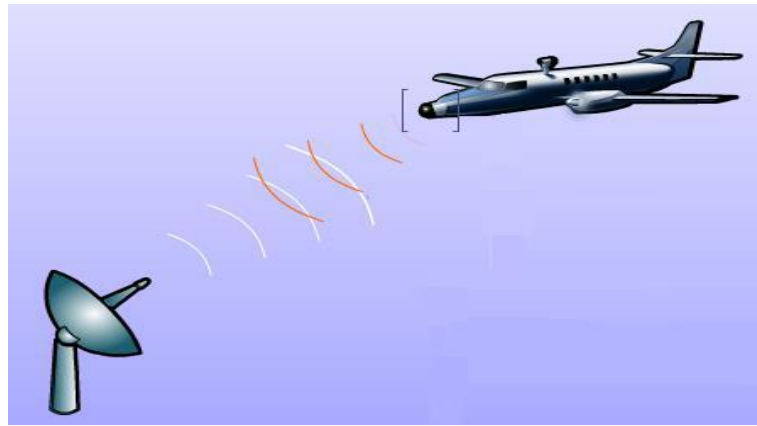


Figure I.1 : Principe d'un radar

4. Schéma synoptique d'un radar

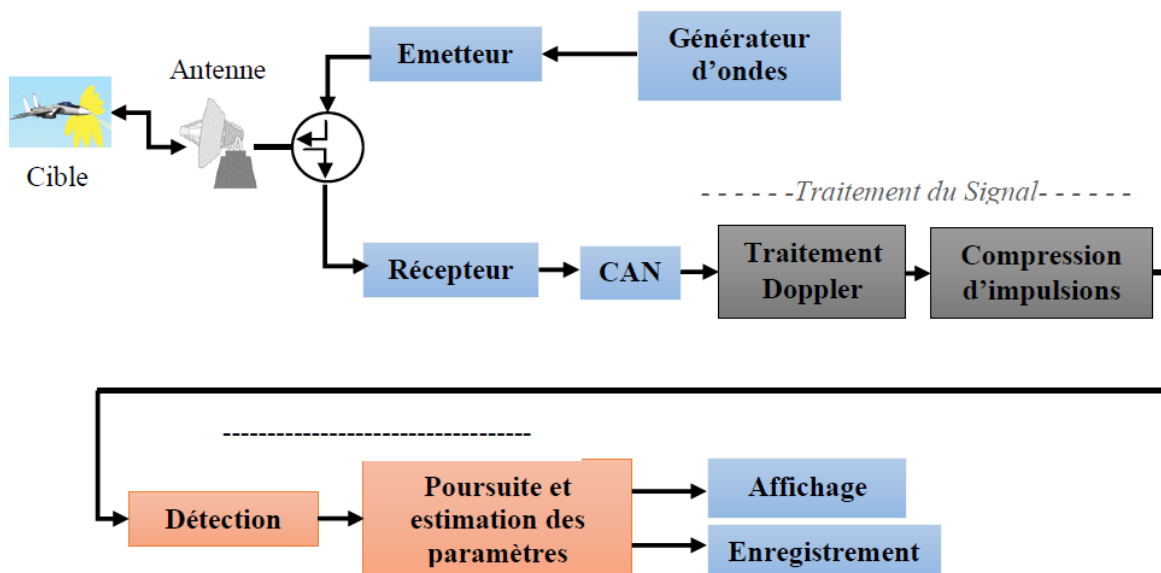


Figure I.2 : Schéma synoptique d'un radar [4]

4.1. Composants :

4.1.1. Antennes radar :

L'antenne est la partie visible d'un système radioélectrique qui sert à la transmission et la réception du signal dans l'espace libre. Elle sert à concentrer le signal produit par l'émetteur vers l'espace libre et/ou à percevoir les faibles signaux venant de l'extérieur pour les diriger vers le récepteur. Les modules de cette section traitent des antennes utilisées dans les radars [5].

4.1.2. Emetteur :

Le transmetteur de radiofréquences est la pièce maîtresse d'un radar. Il doit souvent fournir une grande énergie, modulée et pulsée par un synthétiseur, qui sera émise par l'antenne dans

la direction de sondage. Le tout doit être fait selon un horaire bien précis afin de pouvoir bien interpréter plus tard les échos de retour.

4.1.3. Récepteur :

Le récepteur dans un radar sert à détecter les faibles échos captés par l'antenne, puis de les amplifier suffisamment pour en extraire l'information afin de l'afficher sur l'écran de l'opérateur. Cet appareil doit être capable d'extraire des signaux qui sont de plusieurs ordres de grandeur plus faibles que le signal émis par le radar et de les amplifier par un facteur de 20 à 30 millions de fois. Cela est une tâche ardue à la fréquence originale de l'onde porteuse radar et c'est pourquoi les récepteurs utilisent un procédé appelé « superhétérodyne » qui transforme l'onde reçue à une fréquence intermédiaire avant de procéder à l'amplification.

4.1.4. Traitement du signal radar :

Le processeur du signal radar est un système électronique où entre le signal brute revenant du récepteur et qui donne à la sortie les échos réels. Il sépare ces derniers des échos parasites grâce à leur vitesse radiale Doppler et à leur intensité caractéristique. Dans les radars modernes, la conversion du signal en données numériques se fait après le passage de la fréquence d'émission à la fréquence intermédiaire (FI) et à la détection de la phase Doppler. Le signal FI, qui a une bande passante type de 250 KHz à 5 MHz, est échantillonné à environ 500 000 points par seconde (500 KHz) de son cycle. Un tel échantillonnage est permis par les circuits électroniques modernes des convertisseurs analogique-numériques.

Le processeur comprend les composantes suivantes:

- le détecteur de phase $I&Q$;
- la Visualisation des cibles mobiles;
- la détection du taux constant de fausses alarmes.

4.1.5. Affichage :

Différents systèmes d'affichage ont été imaginés dès le début du radar pour permettre l'affichage analogique des données sur des écrans cathodiques. Chaque affichage avait une configuration particulière qui dépendait de l'utilisation désirée. Les radars modernes utilisent maintenant une conversion numérique des données et divers types d'images matricielles pour afficher des cartes similaires [4].

4.1.5.1. Oscilloscope : Tous les affichages des premiers radars étaient conçus autour d'oscilloscopes modifiés avec différents types d'entrées.

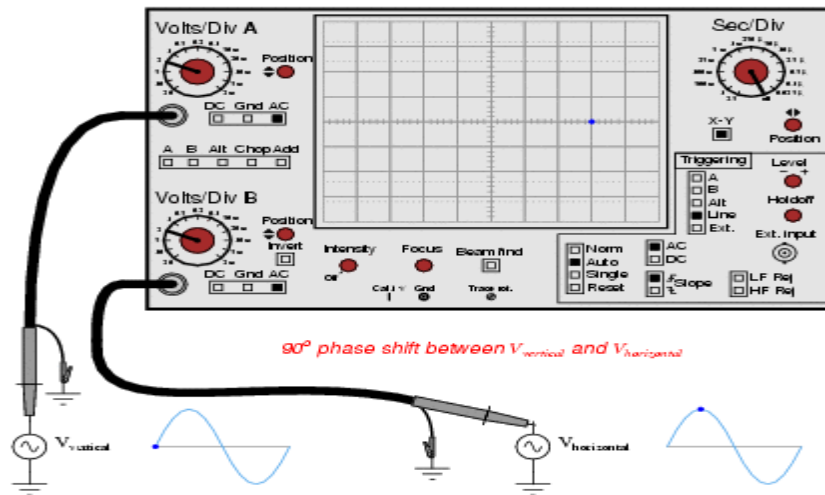


Figure I.3 : Oscilloscope

4.1.5.2. Affichage A : Ce type d'affichage permet de voir que la distance de la cible par rapport au radar et son intensité relative.

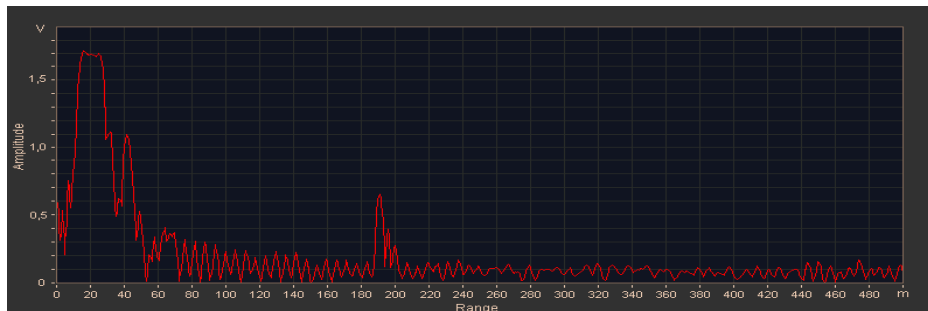


Figure I.4: Affichage de type A

4.1.5.3. Affichage B :

Un affichage de type B (en anglais : B-scope) donne une représentation de l'espace en deux dimensions (2D) dont, généralement, l'axe vertical représente la distance et l'axe horizontal l'azimut.

Un affichage de type E (en anglais « E-scope ») est un type B qui affiche la distance et l'angle d'élévation au lieu de la distance et de l'azimut.

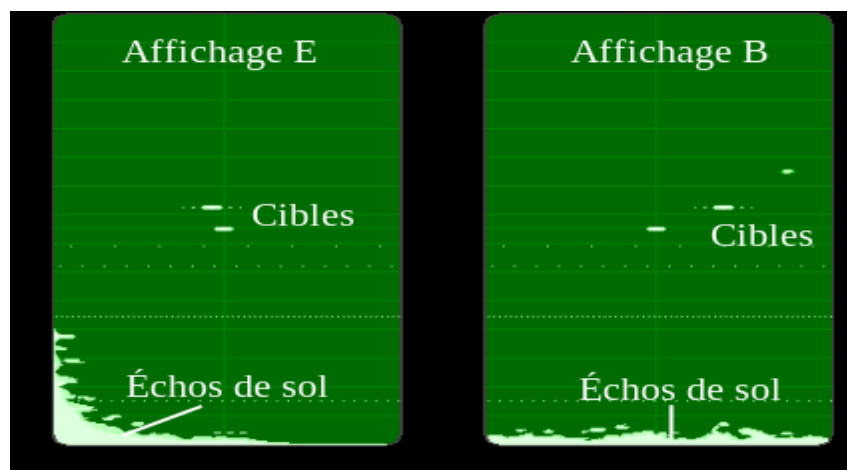


Figure I.5 : Affichages de type E et type B

4.1.5.4. Affichage C :

L'affichage C (en anglais C-scope) donne une vue circulaire de l'élévation (ϵ) par rapport à l'azimut (β).

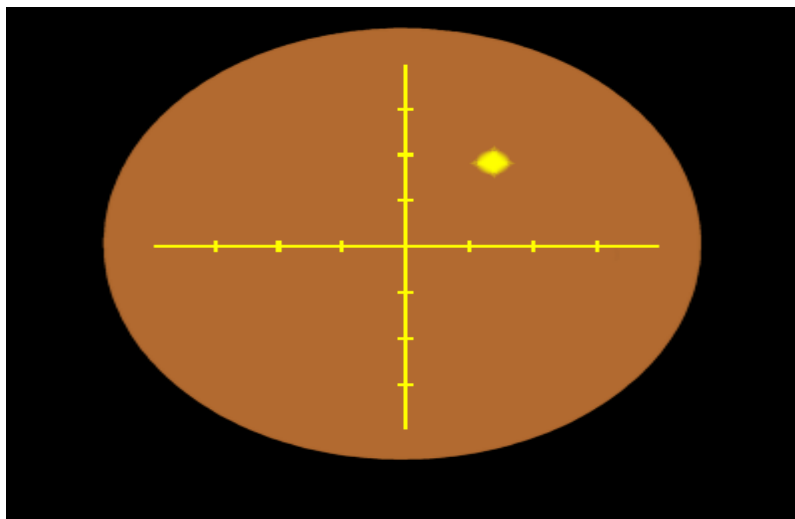


Figure I.6 : Affichage C

4.1.5.5. Affichage PPI (Plan Position Indicator) :

Affichage PPI ou vue panoramique radar, est l'affichage radar le plus courant aujourd'hui, restitue une vue en deux dimensions de l'espace à 360° degrés autour du radar. La distance du spot à partir du centre de l'afficheur donne une indication de la distance et l'angle correspond à l'azimut de la cible.

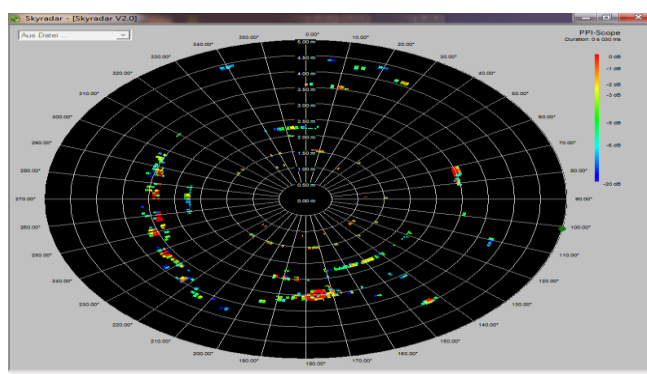


Figure I.7 : Affichage PPI

5. Radar mono-statique, bi-statique et multistatique :

Un radar est dit mono-statique lorsqu'une seule antenne est utilisée pour l'émission et la réception des signaux. C'est la configuration classique pour un radar.

Un radar bi-statique est un radar dont l'émetteur et le récepteur sont séparés. Ce système est avantageux car le type d'onde, la fréquence utilisée et la position du récepteur sont inconnus. Cependant il est plus difficile à mettre en œuvre avec son système plus complexe [6]. On parle aussi de configuration multistatique, si l'on a un émetteur et plusieurs récepteurs distincts.

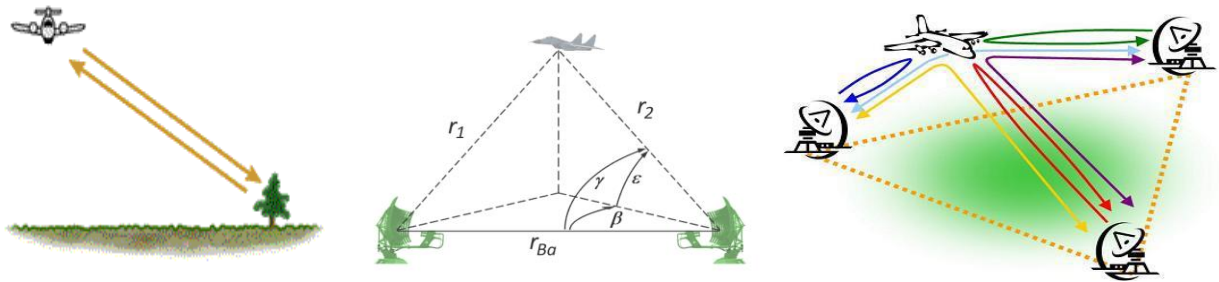


Figure I.8 : Radars mono-statique, bi-statique et multistatique

6. Principes de mesure :

6.1. Calcul de la distance :

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. 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. La formule permettant de calculer cette distance est donc la suivante [7]:

$$D = \frac{C_0 \cdot t}{2} \quad (1)$$

C_0 = vitesse de la lumière

t = temps mesuré

D = distance [m]

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 D .

6.2. 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). Pour une fréquence émise donnée (ou une longueur d'onde définie), la directivité d'une 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).

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.

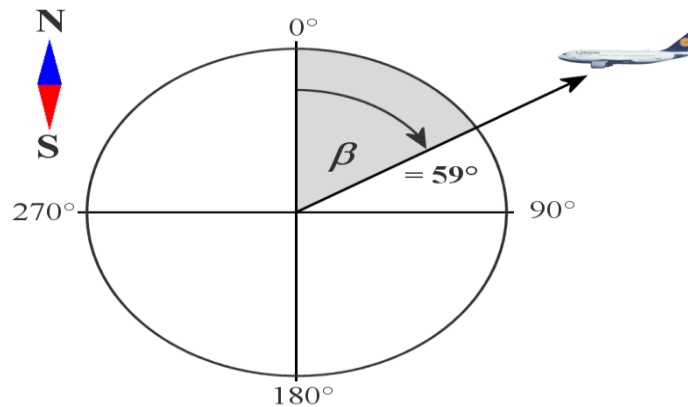


Figure I.9: Azimut de la cible

6.3. Distance aveugle :

Un radar à impulsions mono-statique utilise la même antenne à l'émission et à la réception. Pendant le temps d'émission, le radar ne peut pas recevoir: la réception est coupée. La distance minimum R_{min} (distance aveugle) est la distance minimum à laquelle doit se trouver une cible pour pouvoir être détectée. Pour cela il est nécessaire que l'impulsion émise ait entièrement quitté l'antenne et que le radar ait remis en fonction son récepteur (T_{mes} temps de mise en service du récepteur). Ainsi donc le temps de transmission doit être le plus court possible si l'on veut détecter des objets très proches.

$$R_{min} = \frac{C_0(D_i + T_{mes})}{2} \quad [m] \quad (2)$$

D_i = durée d'impulsion

Les cibles situées à une distance équivalente à la durée d'impulsion ne sont pas détectées.

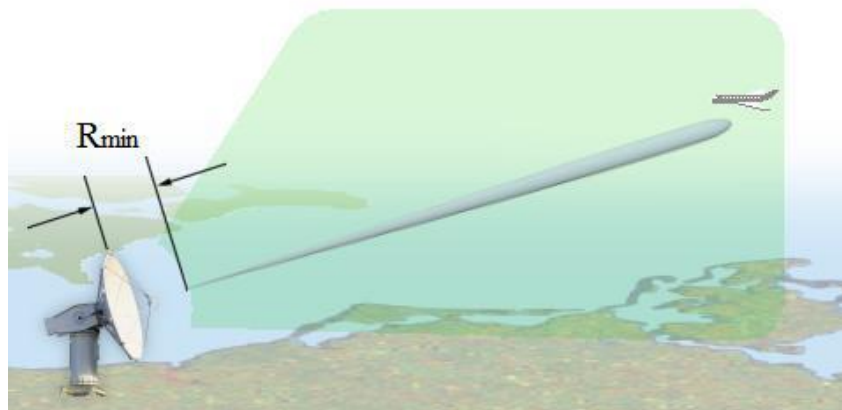


Figure I.10 : Distance aveugle

6.4. Résolution en distance :

La résolution d'un radar est sa capacité à distinguer deux cibles très proches l'une de l'autre, en azimut ou en distance. La résolution en distance est la capacité d'un système radar à distinguer deux ou plusieurs cibles situées dans la même direction mais à des distances différentes. La qualité de la résolution dépend de la largeur de l'impulsion émise, du type et de la taille des cibles, et de l'efficacité du récepteur et de l'indicateur. Distinguer des cibles espacées d'un temps égal à une demi-largeur d'impulsion τ . En conséquence, la résolution en distance théorique d'un radar peut être calculée grâce à la formule suivante:

$$S_r \geq \frac{C_0 \cdot \tau}{2} \quad (3)$$

6.5. Précision :

La précision est le degré de correspondance entre la position et/ou la vitesse de la cible mesurée par le radar à un instant t et la position et/ou la vitesse réelle de cette même cible au même instant. La précision d'un système de radionavigation est en général déterminée par une mesure statistique de ses erreurs.

Les performances de ces quelques systèmes de radars sont indiquées à titre d'exemple:

Radar	Précision en Azimut	Précision en distance	Précision en altitude
BOR-A 550	$< \pm 0.3^\circ$	< 20 m	
LANZA	$< \pm 0.14^\circ$	< 50 m	340 m (de 185 km)
GM 400	$< \pm 0.3^\circ$	< 50 m	600 m (de 185 km)
AN/FPS-117	$< \pm 0.18^\circ$	< 463 m	1000 m (de 185 km)
MSSR-200	$< \pm 0.049^\circ$	< 44.4 m	
STAR-2000	$< \pm 0.16^\circ$	< 60 m	
Variant	$< \pm 0.25^\circ$	< 25 m	

Tableau I.1 : Quelques types de radars et leurs différentes caractéristiques

7. Surface équivalente radar :

La surface équivalente radar (*SER* ou *RCS* pour radar cross section en anglais), ou surface efficace radar, est une propriété physique inhérente des objets indiquant l'importance relative de la surface de réflexion d'un faisceau électromagnétique qu'ils provoquent.

La surface équivalente radar est fonction de :

- La forme de l'objet,
- La nature de ses matériaux constitutifs
- Ainsi que de la longueur d'onde, des angles d'incidence et de réflexion du rayonnement.

Présenter une SER faible est une qualité essentielle pour un engin militaire (aéronef) qui lui permettra d'autant mieux d'échapper à un radar adverse. Des technologies de furtivité ont par conséquent été mises au point dans le but de réduire la SER. La SER d'un objet est en règle générale un secret militaire et n'est pas divulguée.

7.1. Mesure :

La SER d'un objet se mesure de manière typique à l'aide de radars. Cela peut s'effectuer en plein air ou dans une chambre anéchoïque absorbant dans leur totalité les ondes électromagnétiques de la fréquence émise.

Valeurs typiques mesurées à l'aide d'un radar à ondes centimétriques :

- avions furtifs : 0,01 à 0,02 m²
- missiles anti-aériens : environ 0,1 m²
- avions de chasse : 0,1 à 1 m²
- bombardiers : 1 à 2 m²
- avions de transport lourds et avions commerciaux civils : jusqu'à 50 m².

7.2. Réduction de la SER :

On peut réduire la SER en modifiant la forme d'un objet, en utilisant des matériaux absorbants ou perméables aux rayonnements ou même en réduisant de manière active la puissance réfléchi. Un avion comme le Lockheed F-117 possède une forme spécialement étudiée empêchant la réflexion de la majeure partie du faisceau radar en direction de l'émetteur. On obtient cela en utilisant presque exclusivement des surfaces planes et en évitant les angles droits. Les angles droits provoquent dans une large mesure la réflexion pratiquement totale d'un rayonnement incident en direction de son émetteur. À titre d'exemple, les réflecteurs pour radars (navigation maritime) se composent de trois surfaces métalliques assemblées à angle droit.

Les matériaux absorbants provoquent ou bien la transformation du rayonnement en un réchauffement de la cible ou, si la longueur d'onde est connue, en l'éliminant par rotation de phase.

La réduction active de la SER s'opère par l'émission d'ondes d'interférences et n'est pas encore utilisée en pratique [4].

8. Classification des radars :

Quand on commence à lire sur le radar, nous rencontrons différents termes qui sont expliqués différemment. Il existe différents types de radar classé de différentes façons.

Dans ce chapitre nous allons voir quelques types de radars et leurs utilisations dans différents domaines (militaire, contrôle routier, météorologique...).

8.1. Classification en fonction des informations qu'ils doivent fournir :

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

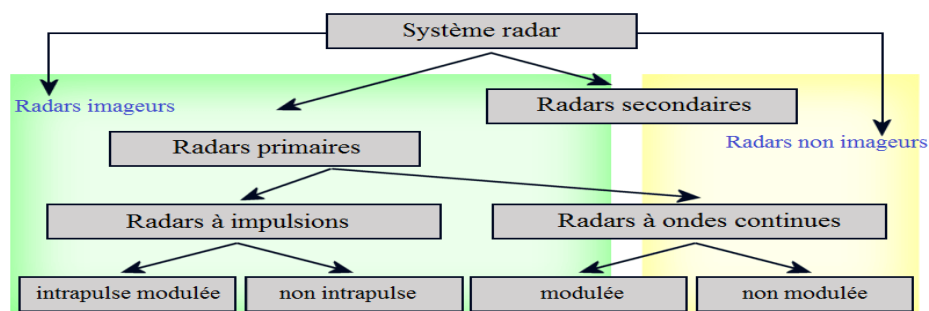


Figure I.11 : Classification des systèmes radar selon l'information qu'ils doivent fournir

8.1.1. 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 radioaltimètres. 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 [8].

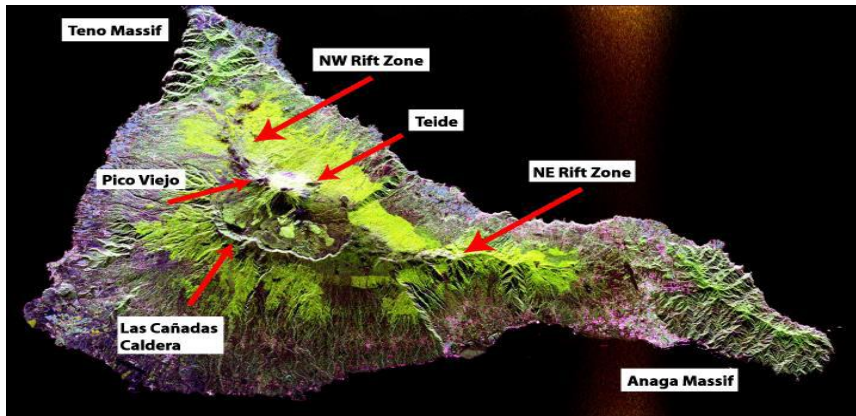


Figure I.12 : Radar imageur

8.1.2. Radars primaires :

Un radar primaire émet des signaux hyperfréquences qui sont réfléchis par les cibles. Les échos ainsi créés sont reçus et étudiés. Contrairement à un radar secondaire, un radar primaire reçoit la partie réfléchi de son propre signal. [9]

8.1.3. 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 radiocommunications) [10].

8.1.4. 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 [11].

8.1.5. Radars à ondes continues :

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.

8.1.6. Radars à ondes continues non modulées :

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.

8.1.7. Radars à ondes continues 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 [12].

8.2. En fonction de l'utilisation :

Les radars peuvent se classer en différents types selon l'usage auquel ils sont destinés. Cette section donnera les caractéristiques générales de plusieurs radars en usage courants :

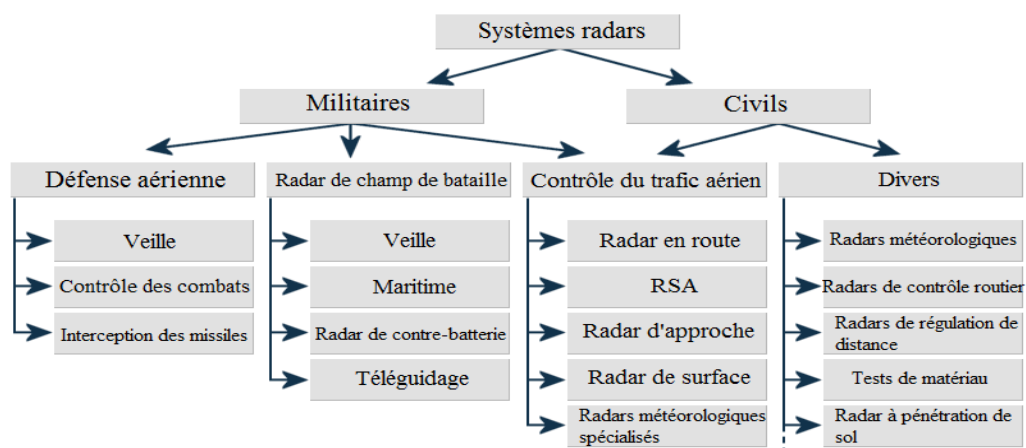


Figure I.13: classification des radars en fonction de leur utilisation

8.2.1. Applications civiles :

Les principales applications civiles du radar se trouvent dans le domaine de la navigation aérienne et maritime. Les radars sont également utilisés lors des relevés cartographiques et, en

météorologie, pour suivre le déplacement des masses nuageuses, des tornades et ouragans. Le radar permet de mesurer l'altitude des couches ionisées de la haute atmosphère ainsi que leur fréquence critique (fréquence maximale réfléchiée par chacune des couches). Les radars utilisés par la police et la gendarmerie permettent de contrôler la vitesse des véhicules.

Dans le domaine scientifique, le radar a permis d'améliorer la connaissance de la météorologie, des météores, des aurores boréales et même de la structure d'autres planètes du système solaire grâce aux sondes spatiales.

a. Radar GPR (Radar à pénétration de sol) :

Le radar géologique, aussi appelé *Ground Penetrating Radar* (GPR) ou géoradar, est un instrument conçu pour sonder le sous-sol à partir de la surface en utilisant des impulsions radar dans des longueurs d'ondes métriques et décamétriques, soit la gamme de fréquence de quelques MHz à 1GHz. L'utilisation des hyperfréquences fait du radar géologique un outil de prospection géophysique présentant une résolution supérieure à la sismique et au TDEM. Sa large gamme de fréquence de sondage alliée à sa nature non destructive et à sa facilité de mise en œuvre, ont permis de lui trouver un grand nombre d'applications tant dans le domaine du génie civil, qu'en géologie [13].

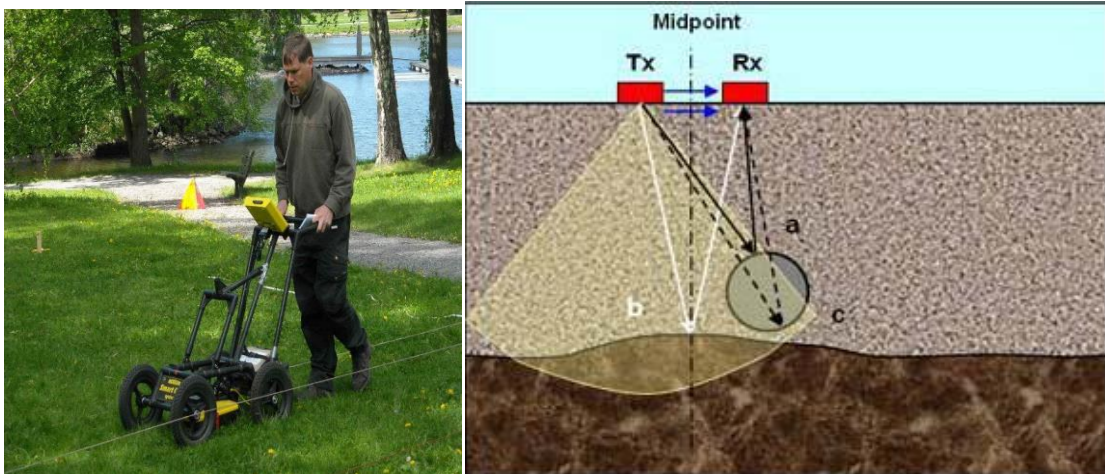


Figure I.14 : Exemple de radar GPR

Différents types de radar :

La forme du signal émis par le dispositif dépend de l'utilisation du radar et du type d'objet recherché. Chaque type de signal possède ses avantages et ses inconvénients. Il s'agit donc d'établir un compromis entre les performances, l'encombrement, la facilité d'utilisation, la modularité, le coût... Les modes d'émission les plus couramment employés sont :

- Le mode impulsionnel (également appelé modulation d'amplitude AMCW)
- La modulation de fréquence
- Les sauts de fréquence

i) Méthode impulsionnelle :

Parmi les différentes méthodes de modulation utilisées en radar de surface, la méthode impulsionnelle est la plus répandue. Elle nécessite l'utilisation d'interrupteurs radiofréquences large bande et une forte puissance afin d'émettre des impulsions de courte durée (inférieures à 1 nanoseconde). Les transistors à avalanche permettent de générer des impulsions inférieures

à 600 ps et plusieurs Watts de puissance moyenne. L'acquisition est le point le plus délicat puisqu'il faut généralement échantillonner à quelques Gigahertz.

ii) Vobulation linéaire de fréquence (Frequency Modulated Continuous Wave) :

La fréquence d'émission est vobulée linéairement sur une large bande de fréquence $\Delta f = F_{max} - F_{min}$ en un temps T (chirp).

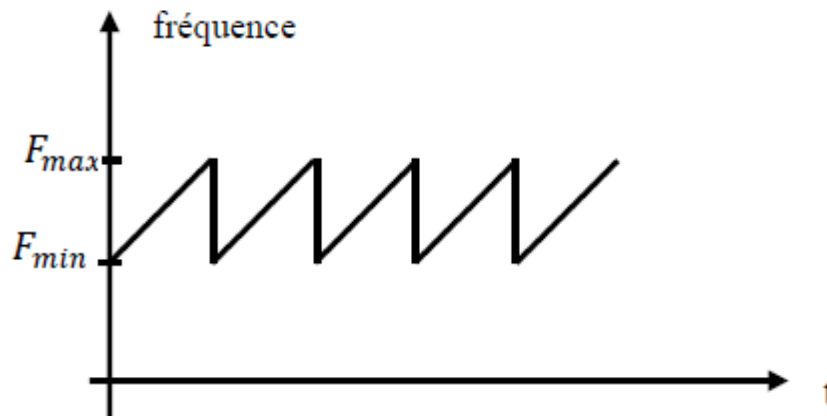


Figure I.15 : Evolution de la fréquence émise en fonction du temps pour un radar fonctionnant en vobulation linéaire de fréquence.

Le spectre du produit du signal reçu avec le signal émis présente alors des raies dont la fréquence est proportionnelle à la distance radar-cible et inversement proportionnelle au temps de balayage. La résolution de ce radar est inversement proportionnelle à Δf .

Les avantages de la compression d'impulsion sont nombreux :

- Le rapport signal à bruit est multiplié par le rapport de compression $T\Delta f$
- La puissance crête nécessaire est divisée par le rapport de compression $T\Delta f$
- Les systèmes peuvent être rapides
- La possibilité de balayer une très large bande et d'obtenir ainsi une résolution importante

iii) Radars à sauts de fréquence (Step Frequency Ground Penetrating Radar) :

La synthèse d'impulsion est une variante de la compression d'impulsion. Elle s'appuie aussi sur le balayage d'une large bande de fréquence. Une mesure du signal complexe (amplitude et phase) reçu est réalisée pour chaque fréquence. Une transformée de Fourier inverse permet alors de retrouver la réponse impulsionnelle.

Comme pour les radars FMCW, la puissance crête émise est réduite et la réception est réalisée en bande étroite, ce qui réduit le bruit et la vitesse d'échantillonnage. Le principal avantage du saut de fréquence est de pouvoir pondérer les mesures complexes pour chaque fréquence de manière à corriger des effets gênants comme l'atténuation du sol, la réponse des antennes, le couplage... Ainsi, les antennes utilisées doivent être large bande mais la position du centre de phase peut varier avec la fréquence.

b. Radar météorologique :

Un radar météorologique fonctionne sur le même principe qu'un radar primaire de surveillance aérienne mais possède des caractéristiques adaptées à ce rôle : vitesse de rotation

de 3 à 6 tours minutes, angles d'élévation multiples, longueur d'onde adaptées à la taille des hydrométéores. Il souffre également des mêmes limitations : problèmes d'échos de sol, de réfraction anormale à travers l'atmosphère, de cibles biologiques comme les oiseaux et les insectes, de blocages, etc.

La différence fondamentale entre les deux est dans le traitement des données. Alors qu'un radar primaire ne doit qu'identifier la présence et la position d'une cible (présente oui/non), le radar météorologique sonde un volume de l'atmosphère qui est rempli d'une multitude de hydrométéores (pluie, neige, grêle, etc.). Il doit non seulement permettre de reconnaître la position de ces précipitations mais à partir du signal de retour, il doit estimer leur intensité, la vitesse à laquelle elles se déplacent et leurs mouvements à l'intérieur des nuages.

c. Radar de contrôle routier :

Les radars de contrôle routier sont une application spécialisée des radars à onde continue. La variation de la fréquence entre le signal émis et celui retourné (effet Doppler-Fizeau) permet de calculer la vitesse des véhicules sur la route. Ils opèrent en général dans la bande K [14].



Figure I.16 : Radar de contrôle routier

8.2.2 Applications militaires :

Les applications militaires des radars sont particulièrement nombreuses ; outre la surveillance de l'espace aérien, des radars spécialisés sont utilisés pour contrôler le tir des canons ou des missiles, pour guider les patrouilles d'interception, pour repérer les objectifs lors d'attaques. Des radars à très longue portée (radar transhorizon) sont capables de détecter les missiles et les bombardiers ennemis.

a. Radar transhorizon :

Un radar transhorizon, ou Over-the-horizon radar (OTH) est un équipement radar qui permet le repérage d'une cible à très longue distance, de l'ordre de quelques milliers de kilomètres.

Les radars transhorizon utilisent la réflexion des ondes émises soit sur la surface de la mer (onde de surface), soit sur l'ionosphère (onde de ciel) afin de détecter des objets (mobiles ou non) au-delà de la ligne d'horizon. Outre l'avantage de voir beaucoup plus loin que les radars à visée directe, les radars transhorizon ou OTH (over the Horizon) permettent d'appréhender des menaces furtives ou à très basse altitude. En contrepartie, ils ont des contraintes non négligeables. Ils nécessitent généralement à une distance fixe de leur pourtour un réseau antennaire de grandes dimensions destiné à mesurer la hauteur précise à l'instant t de l'ionosphère afin de déterminer la résolution angulaire. Toutefois les scientifiques français ont

résolu ce problème. Par ailleurs, le radar suppose une grande agilité de fréquence et de réduction des interférences [4].

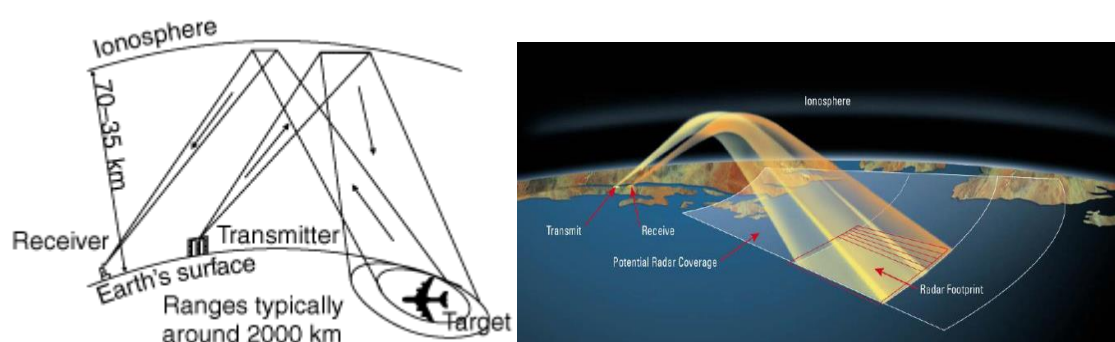


Figure I.17 : Radar transhorizon OTH

Les radars transhorizon permettent essentiellement de détecter les missiles pendant leur phase propulsée. Ils peuvent donc apporter des capacités similaires à celles des satellites d'alerte, avec l'inconvénient que leur couverture est limitée par leur puissance et la distance séparant le site d'implantation de la zone à surveiller.

b. Radar transhorizon Nostradamus :

Nostradamus est un radar en forme d'étoile de trois bras d'environ 400 mètres de long, chacun d'eux étant constitué de 96 antennes biconique baptisées "Diabolo", disposées d'une manière aléatoire sur le sol.



Figure I.18 : Implantation d'un réseau d'antennes transhorizon, base Nostradamus.

Cette disposition particulière sur une cinquantaine de mètres de largeur permet de mieux contrôler la formation de faisceaux à l'avant et à l'arrière. Dans le sous-sol, trois tunnels, longs de près de 80 mètres chacun, abritent les émetteurs. Le radar Nostradamus est capable de détecter n'importe quel aéronef situé entre 700 et 2 000 km de distance, ceci sur 360°.

Nostradamus représente le moyen de surveillance pour lequel le rapport coût/performance est le plus intéressant. Il pourrait aussi être utilisé pour mener des études ionosphériques, dresser l'état de la mer ou des courants marins, repérer et suivre des bateaux en perdition, détecter des météorites.



Figure I.19 : Salle de commande et réseau sous- terrain NOSTRADAMUS

c. Radar de défense aérienne :

Les radars de défense aérienne peuvent détecter les cibles, leur position, leur trajectoire et leur vitesse sur un large territoire. La portée maximale d'un tel radar peut être de plus de 300 milles nautiques (560 km) dans toutes les directions. On les divise généralement en deux catégories, selon la quantité d'information obtenue : en deux dimensions pour ceux donnant la portée et l'azimut de la cible, en trois dimensions pour ceux ajoutant l'altitude. Les applications les plus importantes des radars de défense aérienne sont :

- Alerte précoce à longue portée (incluant celle par les radars aéroportés de type AWACS);
- Alerte de tirs balistiques et acquisition de leurs mouvements;
- Trouver l'élévation des cibles;
- Guidage des intercepteurs à partir d'un poste de commande au sol.

Les radars de défense aérienne sont utilisés comme veille avancée car ils peuvent détecter les avions ou missiles ennemis à longue portée. En cas d'attaque, une alerte précoce est vitale pour permettre un déploiement des défenses comme les batteries anti-aériennes (DCA), les missiles anti-missiles et les avions-chasseurs, qui prennent un certain temps pour être activées.

La distance et l'azimut des cibles, obtenus par ces radars sont également utilisés par les radars de contrôle de tir comme premier estimé de leur position dans leur séquence de travail.

Une autre fonction des radars de défense aérienne est de guider les patrouilles de combat aérien pour l'interception des avions ennemis. Dans ce cas, l'information du radar est passée par l'opérateur radar aux escadrilles de combat sous forme de message vocal à la radio ou par une communication directe avec l'ordinateur de bord.

9. Conclusion :

Le radar (Radio Detection and Ranging) est un système qui illumine une portion de l'espace avec une onde électromagnétique et reçoit les ondes réfléchies par les objets qui s'y trouvent, ce qui permet de détecter leur existence et (sauf exception rare) de déterminer certaines

caractéristiques de ces objets. Ces caractéristiques sont variables : il peut s'agir de la position horizontale des objets, de leur altitude, de leur vitesse et parfois de leur forme.

La technologie a fait de gros progrès ces dernières années et les radars sont devenus sans cesse plus performants, plus petits (et donc moins détectables) et terriblement plus efficaces.

Dans ce chapitre, nous avons pu avoir une idée sur les différents types de radars et leurs importances dans notre vie quotidienne.

Chapitre II :
Principe de fonctionnement
d'un capteur ultrason

1. Introduction :

Les signaux ultrasonores sont des ondes de pression mécanique de fréquences supérieures à celles qui sont audibles par l'oreille humaine. D'une manière générale, cette bande de fréquences se situe entre 20 kHz et 1 GHz et couvre une grande variété d'applications. En effet, la plage de fréquences située entre 20 kHz et 300 kHz est principalement utilisée par les sonars et par les animaux pour l'écholocalisation.

Ce chapitre va nous permettre d'introduire le principe de la génération, de la propagation et de la détection des ultrasons ainsi que leurs applications qui sont très nombreuses et variées, en nous attardant notamment sur la mesure de distance.

2. Historique :

Les ultrasons originellement appelé supersoniques sont restés pendant longtemps seulement un sujet de recherche. En 1883, Galton produisit par un sifflet des vibrations justes au-dessus des fréquences audibles perçues par l'oreille humaine afin de connaître la limite du spectre audible [15].

Pendant trente ans les ultrasons resteront une curiosité assez mal connue.

L'intérêt pour ces vibrations a été éveillé par la catastrophe du Titanic en avril 1912. À cette occasion, L. F. Richardson entrevoit la possibilité d'utiliser une méthode d'écho ultrasonore pour la détection d'obstacles immergés comme les icebergs, les épaves, récifs et autres écueils océaniques. Cette idée prend corps durant la Première Guerre mondiale pour le repérage des sous-marins ennemis et un système de détection rudimentaire, mais opérationnel, est mis au point par Langevin en 1918 [16], utilisant le phénomène de la piézoélectricité. C'est l'ancêtre du sonar (Sound Navigation And Ranging), équivalent au radar (Radio Detection And Ranging) pour les déplacements en mer. Les ultrasons se développèrent par la suite en bénéficiant des progrès parallèles de l'électronique. Après la première guerre mondiale, l'électronique a connu des développements considérables et c'est en 1925 que Pierce utilisa des transducteurs en quartz et en nickel pour générer des ultrasons atteignant des fréquences de quelques mégahertz. Puis en 1932, les équipes de Debye et Sears, d'une part, de Lucas et Biquard, d'autre part, travaillant indépendamment l'une de l'autre, réalisent les premières expériences de diffraction de la lumière par les ultrasons et vérifient les prévisions théoriques de L. Brillouin faites en 1922. Les expériences de propagation des ultrasons, d'abord limitées aux fluides, s'étendent ensuite aux solides. L'utilisation des ultrasons pour la détection des défauts dans les matériaux denses remonte aux travaux de Sokolov en 1934, qui peuvent être considérés comme les premiers pas en contrôle non destructif (NDT Non Destructive Testing).

Ces techniques se développeront beaucoup après la deuxième guerre mondiale dans les domaines de l'industrie, des services et de la médecine. Des ultrasons de très hautes fréquences, on peut en produire jusqu'à 100 GHz, peuvent être générés à l'heure actuelle. Leur utilisation concerne la recherche physique de base et trouve également son application dans les télécommunications et les techniques modernes des calculateurs [17] aujourd'hui nous connaissons un progrès sans précédent dans des domaines pluridisciplinaires qui font appel aux ultrasons. En 2005, le site web « ISI Web of Science » a enregistré plus de 10 000 nouveaux articles dans ce domaine, cette littérature s'enrichissant de façon spectaculaire [16].

3. Définition de son :

Le son est une onde mécanique et élastique se propageant dans un milieu physique sous forme d'ondes longitudinales ou de compression. Ce phénomène est par exemple mis à profit par les hauts parleurs qui font vibrer une membrane qui à son tour fait vibrer l'air. Le son se propage d'autant plus vite que le milieu est dense, ce qui explique que le son soit plus rapide sous l'eau que dans l'air. Ceci explique également que les capteurs ultrasons ne fonctionnent pas dans le vide car le son ne s'y propage pas [18].

4. La détection à ultrasons :

Elle est devenue mature et elle est largement utilisée dans divers domaines. En fait, de nombreux types d'instruments à ultrasons conventionnels, des appareils et des logiciels sophistiqués sont commercialisés et utilisés pour des applications de recherche académiques, industrielles et médicales. Il y a d'innombrables avantages à la détection par ultrasons, tels que la capacité exceptionnelle de sonder à l'intérieur des objets de façon non destructive, car ses ondes peuvent se propager à travers toutes sortes de milieux, y compris les solides, les liquides et les gaz, sauf le vide.

Des ondes ultrasonores se déplacent dans un milieu et leurs échos véhiculent une information utile sous forme de signal électrique. Dans la pratique, néanmoins, il est assez difficile d'interpréter ces échos à cause de leur faible niveau et de la présence de pics suspects dans le signal et de bruits, induits par l'environnement. Pour remédier à cela nous faisons appel généralement à un circuit analogique.

On distingue deux types d'ultrasons selon la gamme de fréquence :

- Les ultrasons de faible puissance qui sont utilisés pour la mesure de distance (Téléométrie), le contrôle non destructif, l'échographie et l'acoustique.
- Les ultrasons de forte puissance qui modifient le milieu dans lequel ils se propagent. Leur action dépend du milieu dans lequel ils se propagent. Ces actions peuvent être mécaniques, thermiques ou chimiques [19].

5. Principe des ultrasons :

Les ondes ultrasonores sont des vibrations mécaniques représentatives d'un déplacement particulaire. Ces ondes se propagent dans un milieu fluide ou solide mais ne peuvent être transmises dans le vide comme les ondes électromagnétiques. On peut observer plusieurs modes de propagation suivant la nature du milieu. Les ondes ultrasonores, concentrées sous forme de faisceaux vont interagir avec la matière qu'elles traversent.

L'amplitude de ces ondes décroît au cours de la propagation car les liaisons entre atomes ou entre molécules ne sont pas purement élastiques. Plusieurs phénomènes se produisent qui aboutissent à leur atténuation :

- Une absorption dans les milieux homogènes, lorsque l'onde ultrasonore se propage elle cède une partie de son énergie au milieu.
- Des réflexions, réfractions et diffusions aux changements de milieux (interface acoustique).

Le spectre des ultrasons a été élargi suivant le progrès technologique, aujourd'hui on utilise désormais le terme hyper-son [17].

6. Propagation des ondes ultrasonores :

Les ultrasons se propagent à une vitesse qui sera fonction de la nature du milieu (élasticité, densité), indépendamment de la fréquence de l'onde. La relation pour la vitesse d'une onde sonore dans un milieu donné est définie par :

$$C = \lambda F \quad (4)$$

Où F représente la fréquence et λ la longueur d'onde [19].

7. Effet Doppler :

7.1 Définition :

L'effet Doppler est le décalage de fréquence d'une onde acoustique ou électromagnétique entre la mesure à l'émission et la mesure à la réception lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps. Cet effet fut découvert par le physicien allemand Christian Doppler en 1842 et fut également proposé par Hippolyte Fizeau pour les ondes électromagnétiques en 1848.

L'effet Doppler Fizeau est utilisé par un radar pour deux tâches :

- Mesure de vitesse des cibles.
- Filtre des faux échos pour la visualisation des cibles mobiles.

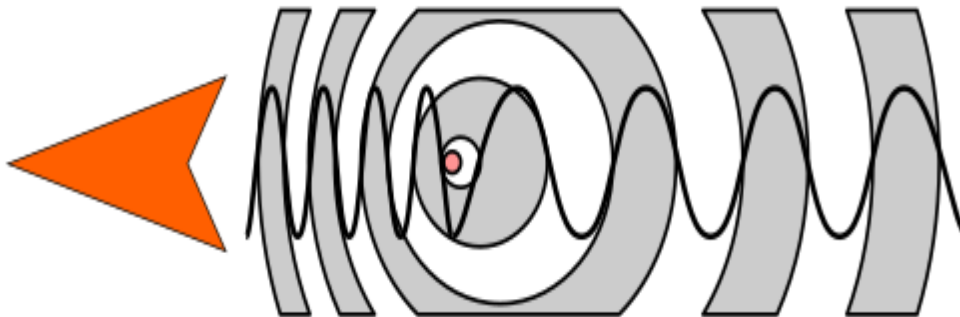


Figure II.1: Effet Doppler-Fizeau.

7.2 Principe de fonctionnement :

Pour comprendre ce phénomène, il s'agit de penser à une onde à une fréquence donnée qui est émise vers un observateur en mouvement, ou vis-versa. La longueur d'onde du signal est constante mais si l'observateur se rapproche de la source, il se déplace vers les fronts d'ondes successifs et perçoit donc plus d'ondes par seconde que s'il était resté stationnaire, donc une augmentation de la fréquence. De la même manière, s'il s'éloigne de la source, les fronts d'onde l'atteindront avec un retard qui dépend de sa vitesse d'éloignement, donc une diminution de la fréquence.

Dans le cas sonore, cela se traduit par un son plus aigu lors d'un rapprochement de la source et un son plus grave en s'éloignant de celle-ci [20].

8. Les capteurs ultrasons :

8.1 Définition :

Les capteurs de niveau à ultrasons ont été sur le marché depuis des années et sont encore considérés comme une technologie de confiance dans l'industrie de mesure de processus. Émetteurs à ultrasons sont sans contact et offrent un choix rentable pour la plupart des applications.

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

Les capteurs jouent des rôles de plus en plus importants car ce sont eux qui permettent de mesurer les effets des phénomènes de toutes natures qui agissent sur l'environnement de l'homme, avec l'évolution de la technologie, l'électronique en particulier, leur importance s'accroît car il permette d'assurer la liaison homme – machine – environnement [20].

8.2 Le principe de fonctionnement des capteurs ultrasons :

Un capteur à ultrasons émet à intervalles réguliers de courtes impulsions sonores à haute fréquence. Ces impulsions se propagent dans l'air à la vitesse du son. Lorsqu'elles rencontrent un objet, elles se réfléchissent et reviennent sous forme d'écho au capteur. Celui-ci calcule alors la distance le séparant de la cible sur la base du temps écoulé entre l'émission du signal et la réception de l'écho.

La distance étant déterminée par le temps de propagation des ultrasons et non par leur intensité, les capteurs à ultrasons conviennent parfaitement à une suppression d'arrière-plan.

Pratiquement tous les matériaux réfléchissant le son peuvent être détectés, quelle que soit leur couleur. Même les objets transparents ou films minces ne posent aucun problème à un capteur à ultrasons.

Les capteurs à ultrasons microsonic sont disponibles pour des portées de 20 mm à 10m et, du fait même de leur principe, donnent la valeur mesurée au millimètre près. Certains capteurs peuvent même atteindre une précision de 0,025 mm

Les capteurs à ultrasons peuvent être mis en œuvre dans des atmosphères poussiéreuses comme dans des brouillards d'aérosols. Même de fins dépôts sur la membrane du capteur n'empêchent pas son bon fonctionnement [21].

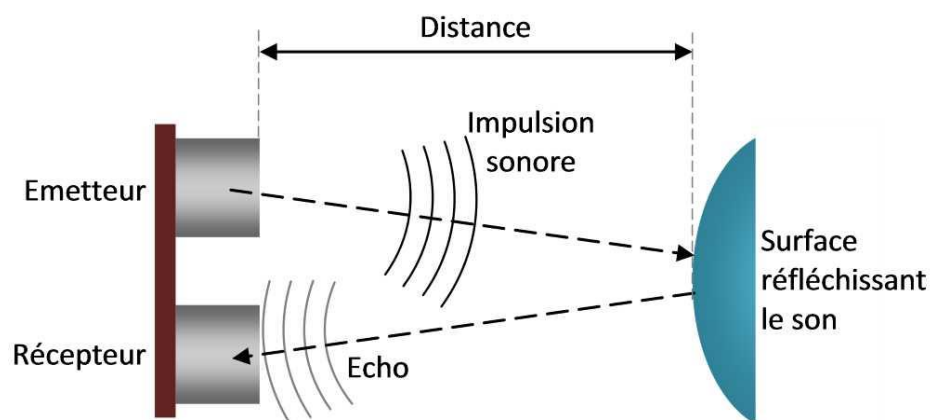


Figure II.2 : Fonctionnement des capteurs ultrasons.

8.3 Utilisation des capteurs ultrasons :

8.3.1 Contrôle de caisse pleine :

Convient pour des applications comme le contrôle de niveau ou pour la détection de bouteilles vides sur un tapis roulant [22].

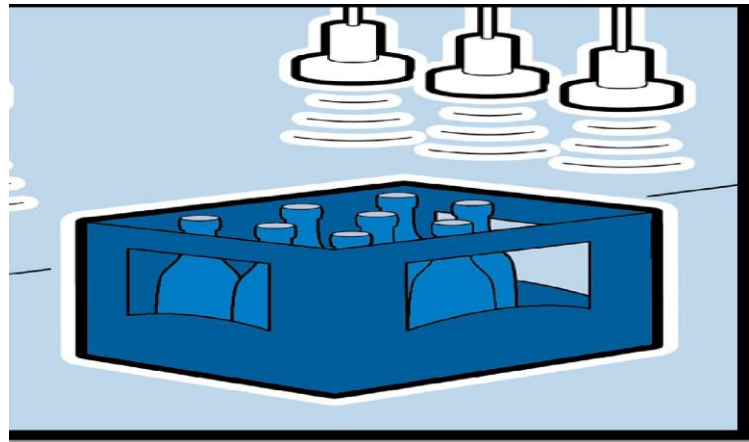


Figure II.3 : Capteur contrôleur caisse pleine.

8.3.2 Détection de personnes :

S'il s'agit de détecter des personnes, il est recommandé de choisir un capteur à ultrasons dont la largeur de détection en service dépasse nettement la distance de mesure exigée. Plus la portée de détection de service du capteur est élevée, plus sa fréquence ultrason est basse. Plus la fréquence ultrason est basse, plus il est facile de détecter des matières de revêtement absorbantes comme par ex. la laine [22].

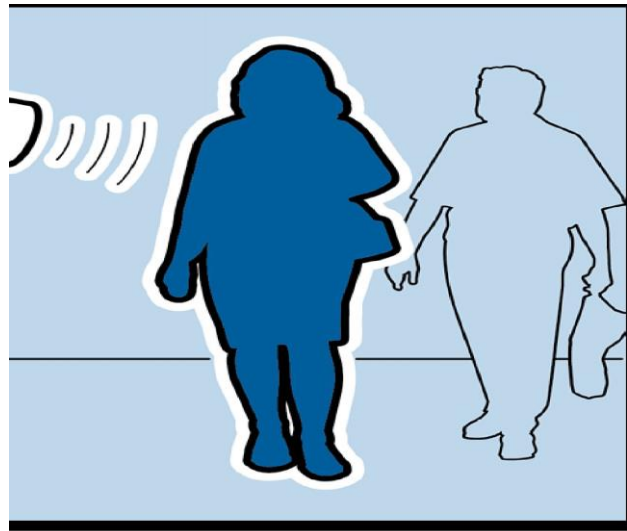


Figure II.4: Capteur détecteur de personnes.

8.3.3 Positionnement :

Pour la détection de vitres ou d'autres surfaces lisses et planes, veiller à ce que le capteur à ultrasons mesure à la verticale sur la surface.

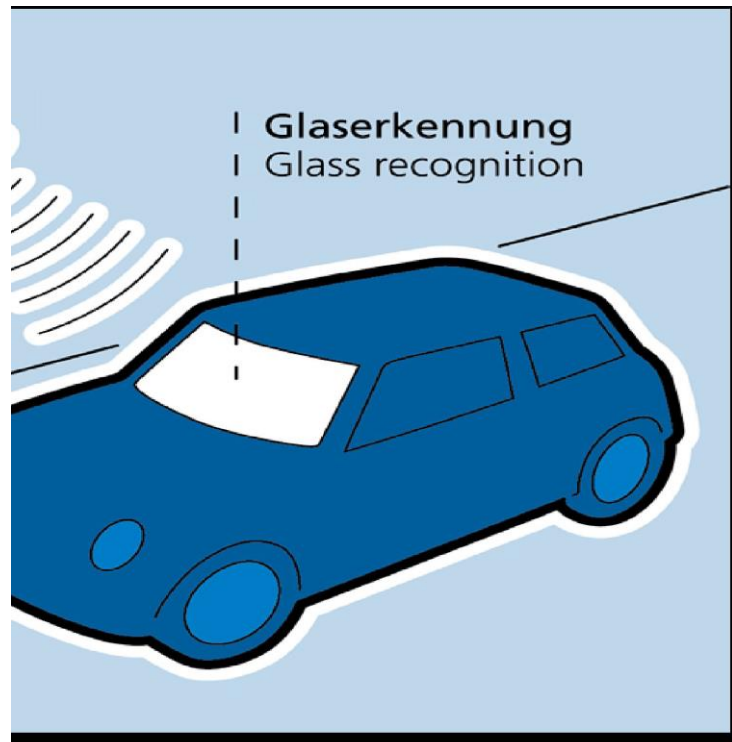


Figure II.5 : Capteur de positionnement.

8.3.4 Mesure de niveau :

Il est possible de détecter des niveaux de remplissage allant de quelques millimètres à 8 mètres. Des capteurs à ultrasons avec une ou deux sorties de détection pour un réglage min /max.

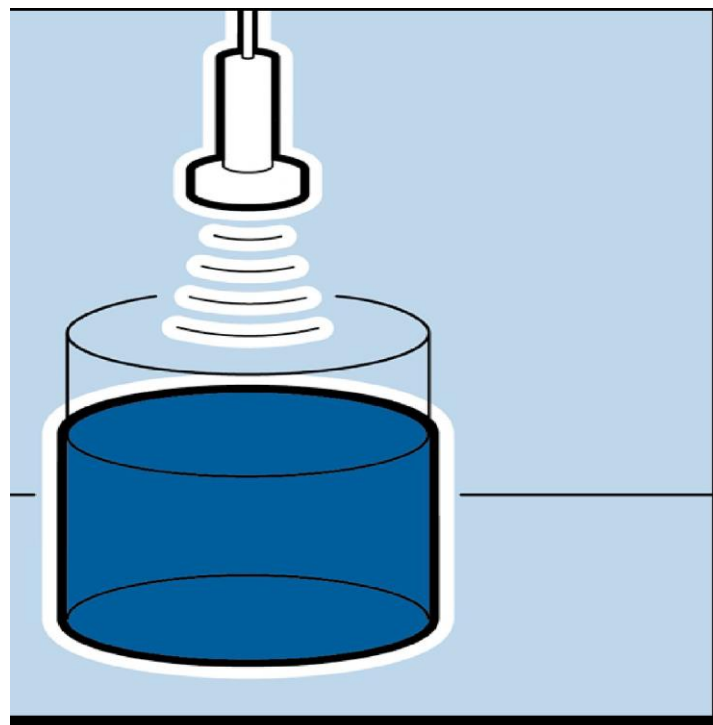


Figure II.6 : Capteur mesure de niveau.

8.3.5 Contrôle de qualité :

Sur une machine d'emballage. Pour la détection d'objets dans des processus rapides il existe une vaste gamme de capteurs à ultrasons au choix[22].

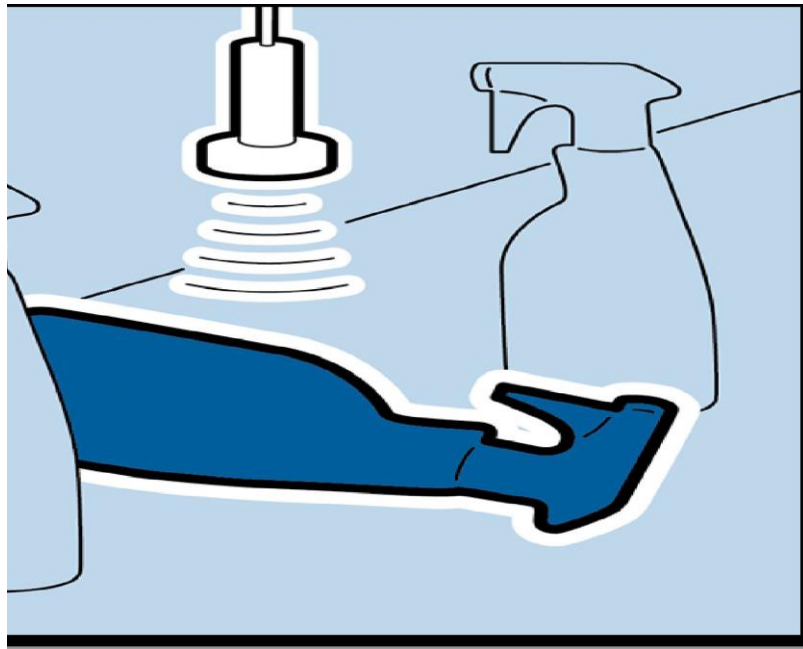


Figure II.7 : Capteur contrôleur de qualité.

8.3.6 Détection d'obstacles :

Des capteurs à ultrasons permettent la protection sans contact des véhicules de transports sans conducteur dans le sens de la marche. En cas d'utilisation de plusieurs capteurs, ils peuvent être synchronisés afin d'éviter une interaction. Le véhicule peut être arrêté en douceur en cas d'obstacle sur la voie grâce à une zone de pré- alarme et d'arrêt sans que cela ne provoque le déclenchement du dispositif de protection mécanique.

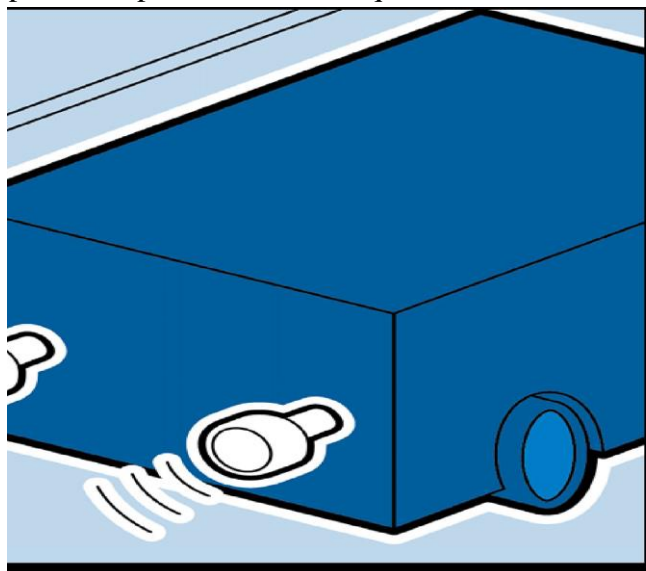


Figure II.8 : Capteur détecteur d'obstacles.

8.4 Quelques limitations des capteurs ultrasons :

La forme des obstacles joue un rôle essentiel car elle peut amener le robot à ne pas se représenter correctement son environnement :

8.4.1 La forme des obstacles :

Il faut tenir compte des erreurs générées par la forme des obstacles.

8.4.2 La texture de l'obstacle :

Elle joue également un rôle important. Un mur recouvert de moquette réfléchira moins bien l'onde qu'un mur recouvert de peinture uniquement.

8.4.3 Le cross-talk :

Deux capteurs ultrasons ne peuvent pas être utilisés côte à côte car dans ce cas, il n'est pas possible, s'ils ont la même fréquence, de distinguer lequel des deux a émis une onde. On parle de phénomène de cross-talk.

Une autre solution pour un robot qui possède plusieurs capteurs ultrasons, c'est d'activer les capteurs les uns après les autres, ce qui diminue le taux de rafraîchissement global [23].

9. Radars ultrasons :

9.1 Définition :

Les radars ultrasons sont une technologie récente, qu'on entend parler de plus en plus et qu'on le découvre petit à petit, c'est une invention primordiale nécessaire pour notre vie quotidienne. Un grand merci pour son inventeur qui nous a facilités la tâche.

Ils utilisent le même principe qu'un capteur ultrason ; leurs rôles c'est la détection la présence d'un obstacle à distance.

9.2 Radars automobile à ultrason:

Les radars utilisent une longueur d'onde qui permet une utilisation dans la plupart des conditions atmosphériques qui limitent la visibilité, comme la forte pluie ou le brouillard. Ils peuvent également traverser certains obstacles comme les hautes herbes et les buissons.

Finalement, un ensemble de radars spécialisés peut faire une surveillance sur 360 degrés autour de l'automobile et les résultats peuvent être affichés sur un écran tête-haute laissant le conducteur concentré sur sa conduite.

Ils sont aussi souvent associés à d'autres capteurs infrarouges ou à des caméras [24].

9.2.1 Types de radars automobiles :

A) Le radar de Sécurité :

De nombreux accidents se produisent quand deux véhicules sont trop proches l'un de l'autre.

Si le véhicule de devant freine brusquement, le conducteur du véhicule arrière n'a pas le temps de réagir et de freiner et il se produit un accident.

La loi préconise un temps de 2 secondes séparant les deux véhicules (1 seconde pour réagir et 1 seconde pour agir). Mais il n'est pas toujours évident de vérifier que l'on est séparé de 2 secondes du véhicule de devant. C'est pourquoi ils ont réalisé un radar de sécurité permettant d'automatiser cette tâche.

Notre système doit pouvoir :

- Mesurer la vitesse instantanée de notre véhicule.
- Calculer la distance de sécurité théorique avec la vitesse mesurée.
- Mesurer la distance séparant notre véhicule de celui de devant.
- Confronter la distance de sécurité théorique avec la distance mesurée.
- Avertir le conducteur si sa distance de sécurité est trop faible [25].

B) Le radar de recul :

Le radar de recul fonctionne avec le même principe qu'un radar mais cependant n'utilise pas le même type d'onde. Un radar basique utilise des ondes radio, tandis que le radar de recul utilise des ondes sonores. C'est donc par banalisation du mot qu'on a appelé ce système « Radar de recul »

Le radar de recul est utilisé dans les automobiles ou camions pour acquérir une meilleure « visibilité » à l'arrière du véhicule.

Le système est composé de 4 capteurs (ou plus selon la largeur du véhicule), une centrale électronique incorporée et un avertisseur sonore et/ou visuel [26].

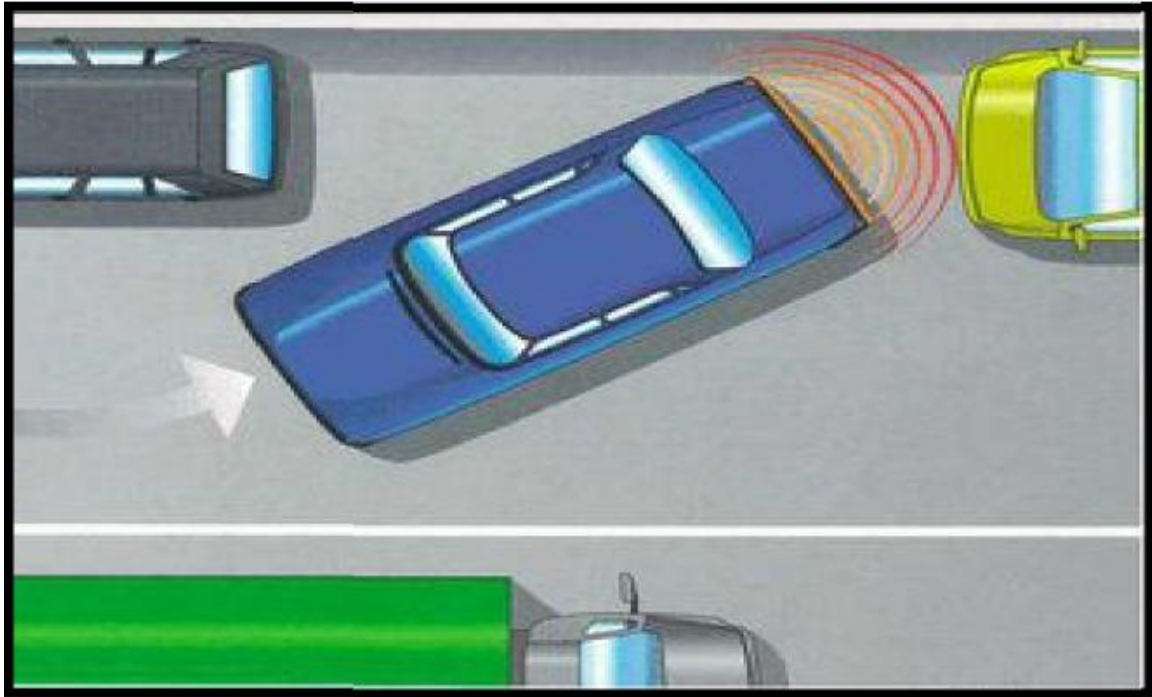


Figure II.9: Radar de recul.

.Principe de fonctionnement :

Les capteurs utilisent le principe de la propagation des ondes ultrasonores dans l'air qui sont réfléchies quand elle rencontre un obstacle.

Les 4 capteurs fixés dans le pare-chocs transmettent une série d'impulsions ultrasoniques.

Les ondes réfléchies par les obstacles sont reprises par les mêmes capteurs utilisés dans ce cas en récepteur.

La centrale électronique incorporée, élabore ces signaux, mesure le temps de réaction, vitesse de propagation du son dans l'air et calcule la distance de l'obstacle par rapport au véhicule.



Figure II.10 : Les modes de détections de radar de recul.

. Principe de mesure :

- Il est basé sur la mesure du temps écoulé entre l'émission et le retour de l'écho.
- Le système de contrôle remet le "chronomètre" à zéro puis commence l'émission ultrasonique.
- L'onde ultrasonore se propage à la vitesse du son dans l'air environnant, soit 340 m/sec.
- Dès qu'un obstacle est rencontré, l'écho revient vers le transducteur qui stop le chronomètre dès la réception du signal.

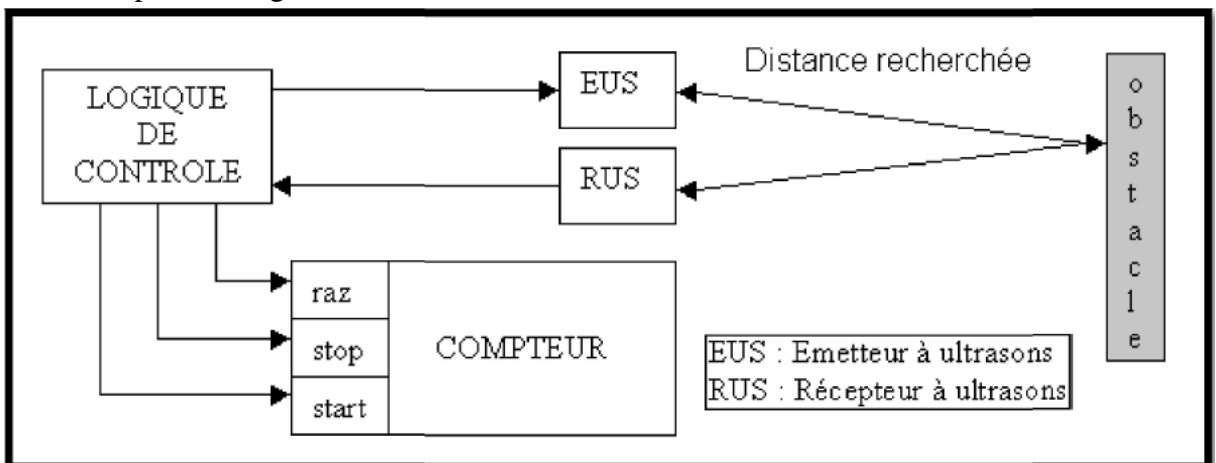


Figure II.11 : Principe de mesure

. Activation du système

Le système d'aide au stationnement est automatiquement activé dès que l'on passe la marche arrière, un double "bip" signale son activation.

La présence d'un obstacle est indiquée par un signal acoustique qui devient de plus en plus continu en fonction du rapprochement dudit obstacle.

Le signal sonore devient continu lorsque la distance entre l'obstacle et le véhicule est inférieure à 30cm.

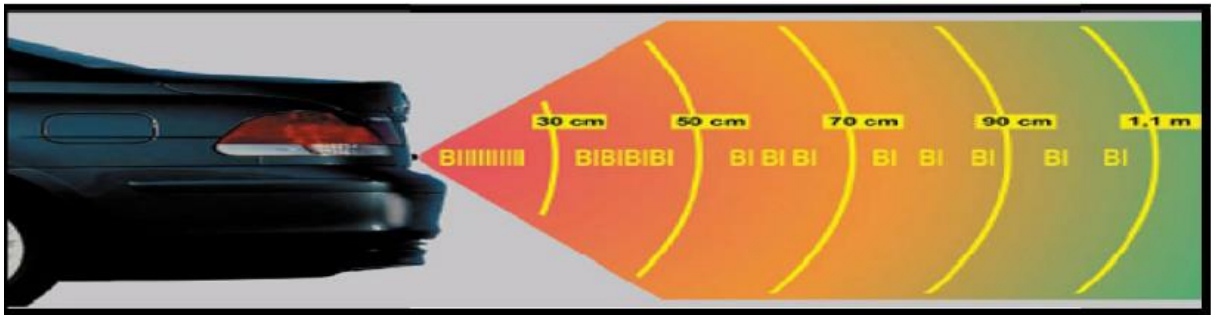


Figure II.12 : Activation du radar de recul.

. Calcul de distance

De courtes pulsations ou séries de pulsations sont émises à intervalles réguliers via le convertisseur de sons piézoélectrique. Les signaux sont réfléchis par l'objet cible et réceptionnés par le capteur. Le temps de réponse du signal est mesuré. Sur la base de ce temps qui dépend du chemin du signal, la distance de l'objet est calculée à l'aide de la vitesse du son (340 m.s-1 au niveau de la mer)[26]

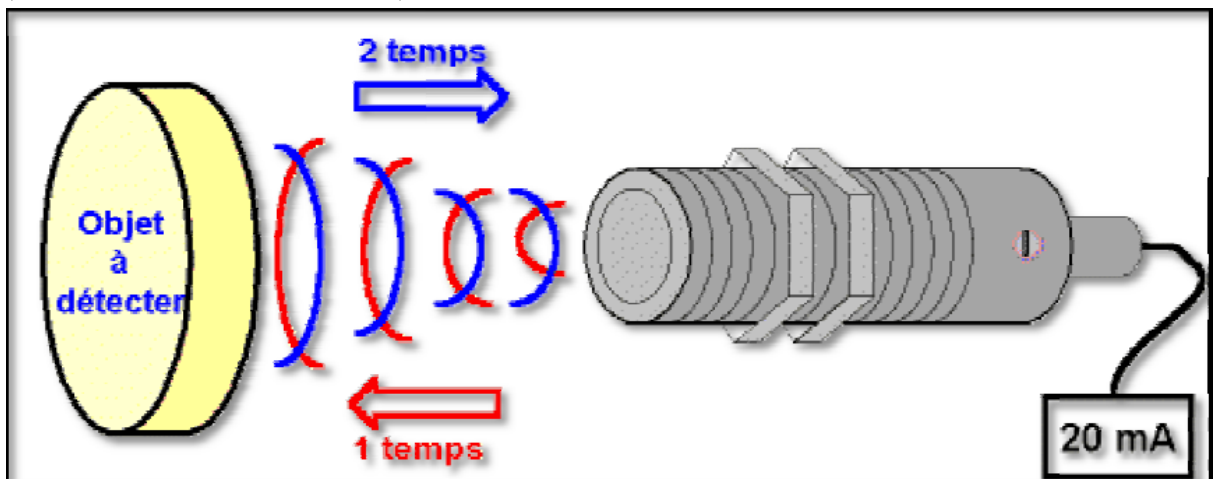


Figure II.13 : Méthode de calcul de distance.

On a la relation :

$$D = (C \times T) / 2 \quad (5)$$

Avec D qui correspond à la distance de l'objet par rapport à la voiture.

C : la vitesse du son dans l'air 340m.s-1

T : le temps mis par l'impulsion pour aller de l'émetteur au récepteur.

La distance est divisée par 2 car l'impulsion fait un aller-retour.

. Les avantages de radar de recul :

Ce type de capteur a été choisi dans l'industrie automobile car :

- Il est peu coûteux
- Ce type d'ondes permet de détecter tout type de matériau avec n'importe quelle texture de surface, sauf les objets absorbant les ondes sonores (tel que la ouate, le feutre,... ce qui est peu fréquent à l'extérieur)
- Le signal n'est pas influencé par la poussière et les environnements brumeux [26].

C) Radar de rehaussement synthétique de la vision :

Ces radars produisent un affichage complet de la situation du véhicule dans la circulation. La projection tête-haute en haute résolution en cas visibilité réduite, sur le pare-brise ou une plaque semi-permanente, peut être consulté par le conducteur sans quitter la route de vue. Les zones autour du véhicule montrant un danger sont entourées ou marquées de symboles [27].

10 Conclusion :

A l'issue de ce chapitre, nous pouvons dire que les ultrasons sont présents partout autour de nous, même si nous ne les entendons pas.

Leurs utilisations et leurs applications sont diverses et touchent un grand nombre de domaines telle que l'industrie ou encore la médecine. Au-delà des activités humaines, certains animaux en tirent parti à chaque instant avec la plus grande précision. Nous avons d'ailleurs dans ce domaine encore beaucoup de mystères à élucider. A l'heure actuelle on peut remarquer que ces ondes à haute fréquence sont de plus en plus utilisées dans le milieu industriel.

Chapitre III :

Réalisation d'un radar avec Arduino

1. Arduino :

1.1 Définition :

L'Arduino est une carte électronique en matériel libre pour la création artistique interactive. Elle peut servir pour des dispositifs interactifs autonomes simples ; comme interface entre capteurs/actionneurs (ex : ordinateur) et aussi comme programmeur de certains microcontrôleurs. [28]

1.2 Caractéristiques techniques de l'Arduino UNO :

Un des modèles les plus répandus de carte Arduino est l'Arduino UNO (FigIII.1). C'est la première version stable de carte Arduino. Elle possède toutes les fonctionnalités d'un microcontrôleur classique en plus de sa simplicité d'utilisation.

Elle utilise une puce ATmega328P (1) cadencée à 16Mhz. Elle possède 32ko de mémoire flash destinée à recevoir le programme, 2ko de SRAM (mémoire vive) et 1 ko d'EEPROM (mémoire morte destinée aux données). Elle offre 14 pins (broches) d'entrée/sortie numérique (données acceptées 0 ou 1) (2) dont 6 pouvant générer des PWM (Pulse Width Modulation, détaillé plus tard). Elle permet aussi de mesurer des grandeurs analogiques grâce à ces 6 entrées analogiques (3). Chaque broche est capable de délivrer un courant de 40mA pour une tension de 5V. Cette carte Arduino peut aussi s'alimenter et communiquer avec un ordinateur grâce à son port USB (4). On peut aussi l'alimenter avec une alimentation comprise en 7V et 12V grâce à sa connecteur Power Jack (5).

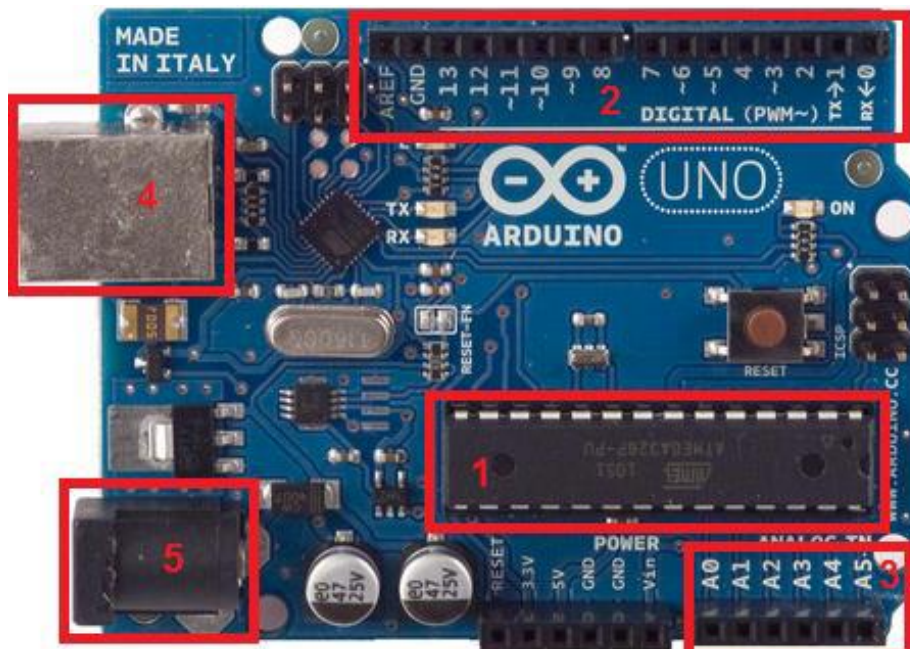


Figure III.1 : La carte Arduino UNO [29]

1.3 Présentation du logiciel :

Pour la plupart des projets, il est souvent nécessaire d'ajouter des fonctionnalités aux cartes Arduino. Plutôt que d'ajouter soit même des composants extérieurs (sur une platine d'essai, circuit imprimé, etc.)

a) IDE Arduino :

Un IDE (environnement de développement) libre et gratuit est plutôt simple, il offre une interface minimale et épurée pour développer un programme sur les cartes Arduino. Il est doté d'un éditeur de code avec coloration syntaxique (1) et d'une barre d'outils rapide (2). Ce sont les deux éléments les plus importants de l'interface, c'est ceux que l'on utilise le plus souvent. On retrouve aussi une barre de menus (3) plus classique qui est utilisé pour accéder aux fonctions avancées de l'IDE. Enfin, une console (4) affichant les résultats de la compilation du code source, des opérations sur la carte, etc. [30]

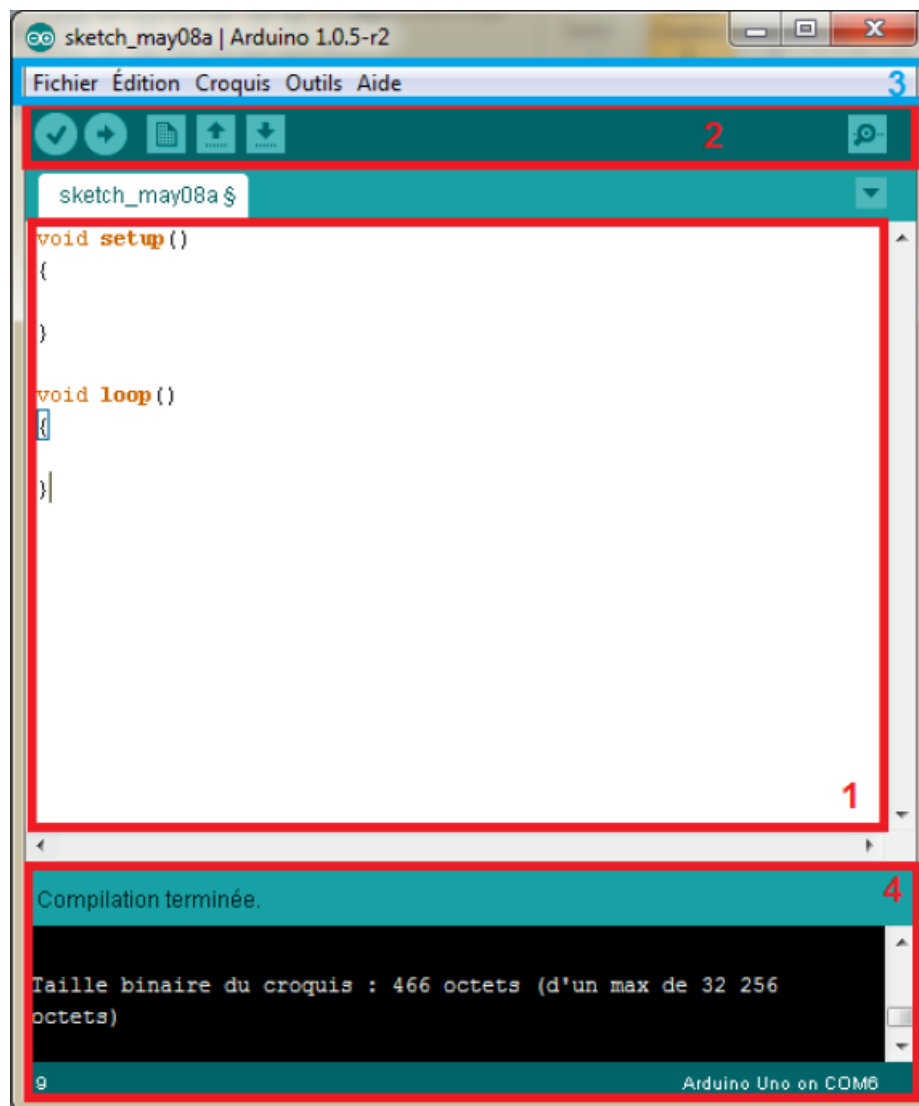


Figure III.2 : IDE Arduino

b) Langage Arduino :

Le langage Arduino est inspiré de plusieurs langages. On retrouve notamment des similarités avec le C, le C++, le Java et le Processing. Le langage impose une structure particulière

typique de l'informatique embarquée. La fonction 'setup' contiendra toutes les opérations nécessaires à la configuration de la carte (directions des entrées sorties, débits de communications série, etc.). La fonction 'loop' elle, est exécutée en boucle après l'exécution de la fonction setup. Elle continuera de boucler tant que la carte n'est pas mise hors tension, redémarrée (par le bouton reset). Cette boucle est absolument nécessaire sur les microcontrôleurs étant donné qu'il n'y a pas de système d'exploitation.

Les entrées/sorties : Le langage Arduino vient avec un nombre important de fonction de base permettant d'interagir avec son environnement. Les fonctions les plus utilisées sont les fonctions d'entrée/sorties. Ce sont elles qui permettent d'envoyer ou de mesurer une tension sur une des broches de la carte.

Dans un premier temps, avant d'effectuer une mesure ou d'envoyer une commande. Il est nécessaire de définir la direction des broches utilisées. Pour cela on fait appel à la fonction 'pinMode' en lui donnant d'une part, la broche concernée, et d'autre part, la direction :

```
void setup() {  
    pinMode(1,OUTPUT) ; // Broche 1 en sortie  
    pinMode(2,INPUT) ; // Broche 2 en entrée  
}
```

Une fois cette configuration faite, on peut procéder à l'utilisation des broches. Toutes les broches sont capables d'écrire et de lire des données numériques (c'est-à-dire des 0 (0V) ou des 1 (5V)). Mais, certaines disposent de fonctionnalité supplémentaire.

Tout d'abord, toutes les cartes Arduino possèdent des entrées analogiques. Ce sont les broches A0-A1-A2 etc. Elles permettent de lire des tensions analogiques (comprise entre 0 et 5V) et de le convertir en entier (compris entre 0 et 1023) proportionnellement à la tension mesurée. Certaines cartes Arduino possède des sorties analogique faisant l'opération inverse (met une tension sur la broche proportionnellement à l'entier donné), mais ce n'est pas le cas pour l'Arduino UNO.

2. Présentation du projet :

Le projet 'radar Arduino' est composé de deux applications à base d'un capteur ultrason qui permet de détecter des objets et de calculer la distance qui les séparent du radar. La première application (télémètre) est basée sur l'émission et la réception d'ondes ultrasonores.

Pour la deuxième application le radar sera commandé par une carte Arduino, qui commande la rotation d'un servomoteur sur lequel est placé le capteur ultrason, et récupère les informations issues du capteur (détection ou pas d'un objet et sa distance) et du servomoteur (position angulaire). Ces informations seront envoyées au PC à l'aide du serial port de l'Arduino, et seront exploitées par le Processing qui nous permet de tracer le radar et de l'afficher sur l'écran.

Ce projet est composé des éléments suivants :

- Carte arduino
- Capteur ultrason HC-SR04
- Servo moteur
- Breadboard
- Fils

3. Description des composants :

- Carte Arduino UNO :

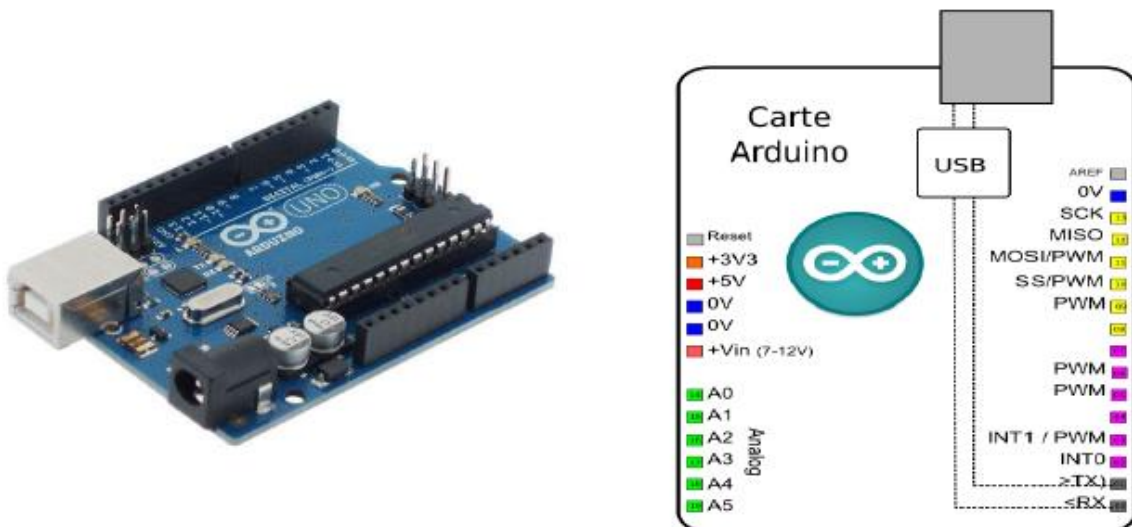


Figure III.3 : Les broches d'Arduino UNO

La carte Arduino Uno est basée sur l'ATmega328 dispose de :

- 14 broches numériques d'entrées/sorties (dont 6 peuvent être utilisées en sorties PWM (largeur d'impulsion modulée)),
- 6 entrées analogiques (qui peuvent également être utilisées en broches entrées/sorties numériques)
- Un quartz 16Mhz
- Une connexion USB
- Un connecteur d'alimentation jack

- Un connecteur ICSP (programmation "in-circuit")
- et d'un bouton de réinitialisation (reset)

- Capteur ultrason HC-SR04 :



Figure III.4 : Capteur à ultrason HC-SR04

Caractéristiques techniques :

Les caractéristiques techniques du module HC-SR04 sont les suivantes :

- Alimentation du module : 5V
- Courant : 15mA
- Etendue de mesure : 2 cm à 400 cm
- Angle de la mesure : 15°
- Précision de la mesure : 3cm

Le module dispose de 4 bornes :

- Vcc : alimentation en 5V
- Trig : entrée. Une impulsion (5V) supérieure à 10µs permet de lancer la mesure.
- Echo : sortie. La durée de l'impulsion correspondra à la distance.
- Gnd : commun

-Servomoteur :

SG90 9 g Micro Servo



Figure III. 5 : Servomoteur SG90

Le servomoteur utilisé pour ce montage est un SERVO SG90 . Ce composant est utilisé pour la rotation du capteur ultrason. Ce servomoteur offre une rotation de 180° (90° dans chaque direction).

- Breadboard:

La 'plaque à essai' nous permet de brancher et d'interconnecter les différents composants du radar à l'aide des fils, elle nous sert aussi de plate-forme pour le montage.

4. Application 1 : Télémètre

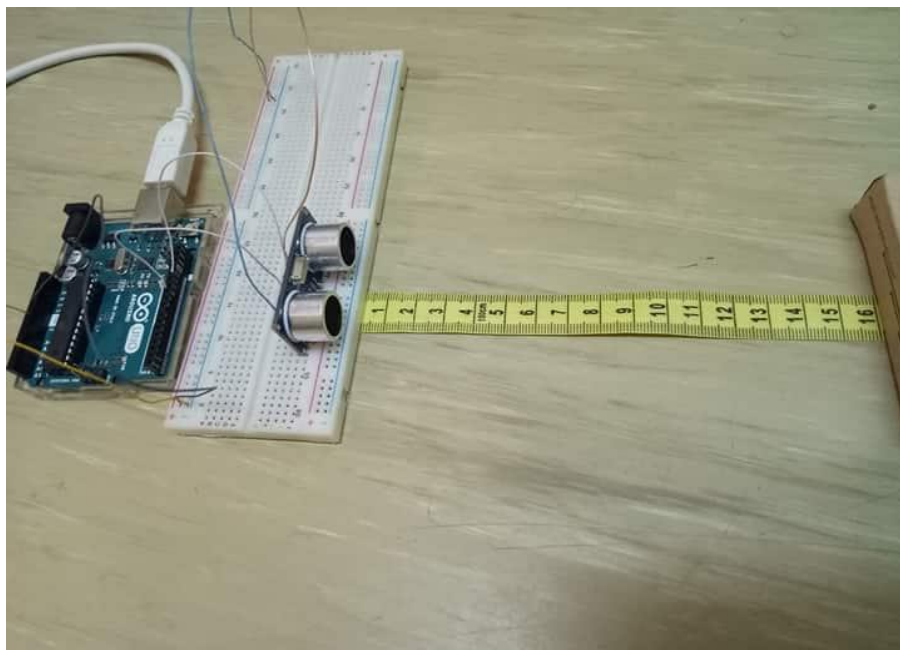


Figure III.7:Illustration du télémètre en fonctionnement

4.1. Schéma du montage :

Les éléments constituant le radar sont placés sur la breadboard et interconnectés de la manière suivante :

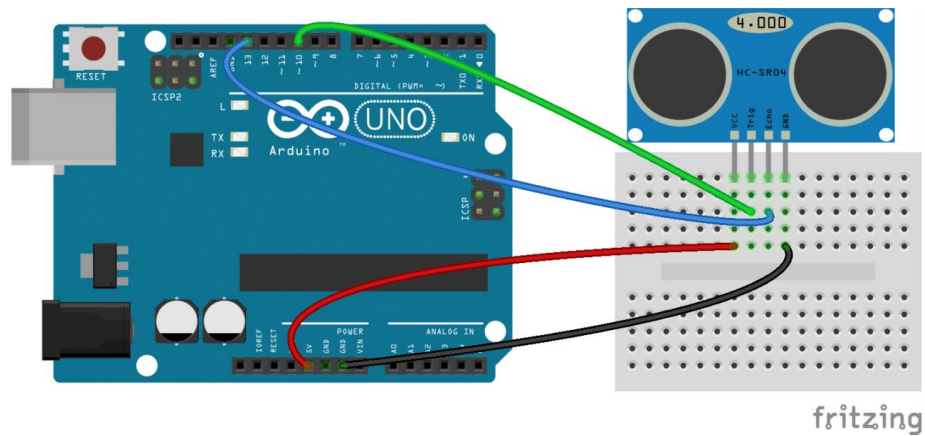


Figure III.5 : Schéma du montage du télémètre

4.2 Calcul de la distance HC-SR04 :

Le calcul de la distance se fait par le capteur ultrason, ce dernier envoie une impulsion niveau haut (à +5V) pendant au moins 10 μs sur la broche 'Trig Input'; cela déclenche la mesure. En retour la sortie 'Output' ou 'Echo', va fournir une impulsion +5v dont la durée est proportionnelle à la distance si le module détecte un objet. Afin de pouvoir calculer la distance, on utilisera la formule suivante :

$$\text{Distance} = c * t / 2$$

c : vitesse du son dans l'air 340 m/s

t : le temps mis par l'impulsion pour aller de l'émetteur au récepteur

La distance est divisée par 2 car l'impulsion fait un aller-retour.

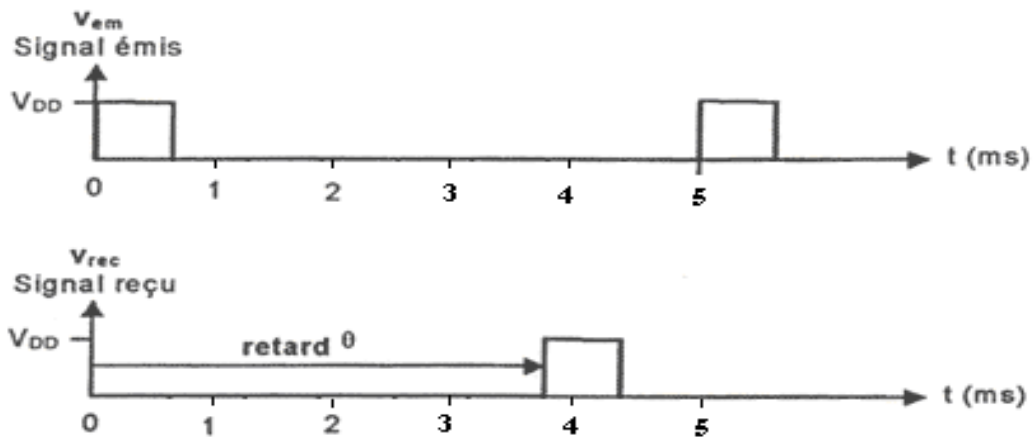


Figure III.6: Principe de fonctionnement de l'ultrason

4.3 Programme Arduino :

Le télémètre est commandé essentiellement par la carte Arduino, qui commande et permet de récupérer les informations, issues de l'ultrason. Le code Arduino contient deux boucles *for* et

à l'aide du capteur ultrason on calcul la durée d'émission et réception d'une onde s'il y a détection d'un objet, cette information sera exploité pour calculer la distance de l'objet détecté (voir code en annexe).

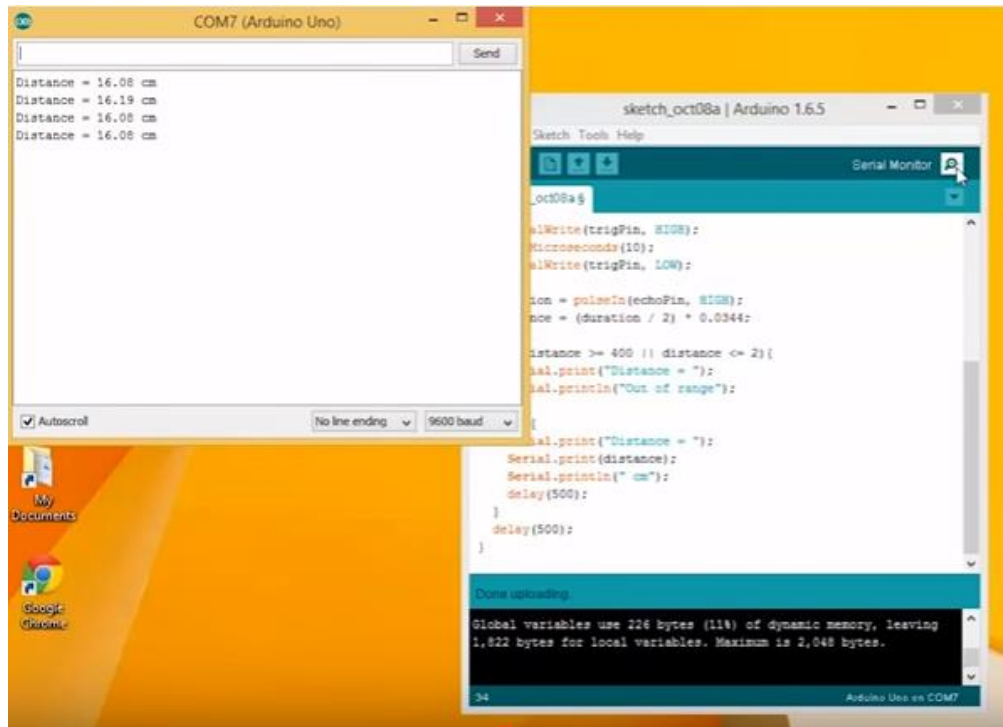


Figure III.8 : Affichage des résultats de mesure sur IDE Arduino

5. Application 2 : Radar à ultrason

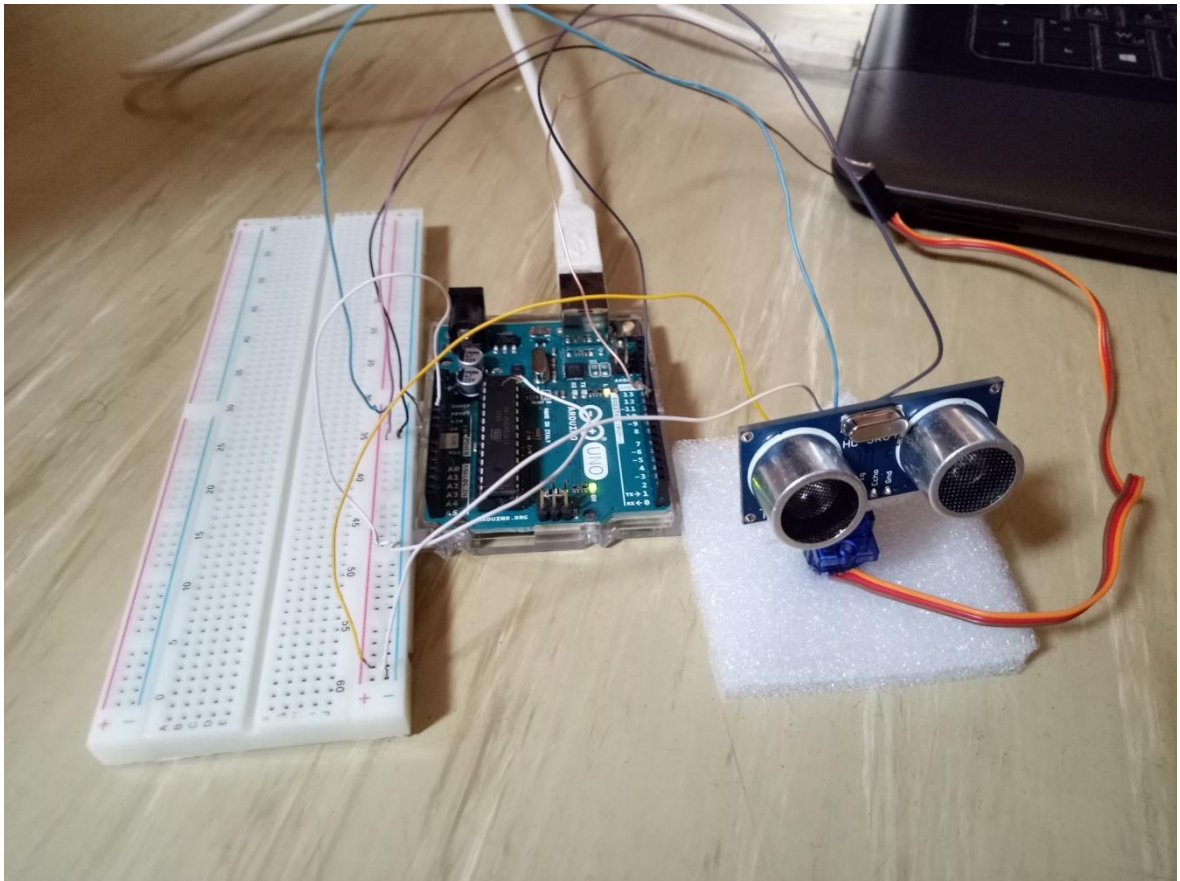


Figure III.9 : Prototype du radar à ultrason réalisé

5.1. Schéma du montage :

Les éléments constituant le radar sont placés sur la breadboard et interconnectés de la manière suivante :

Le capteur ultrason est connecté aux pins 10 et 11, et le servomoteur est connecté à la pin 9. Le schéma du montage est illustré par la figure ci-dessous.

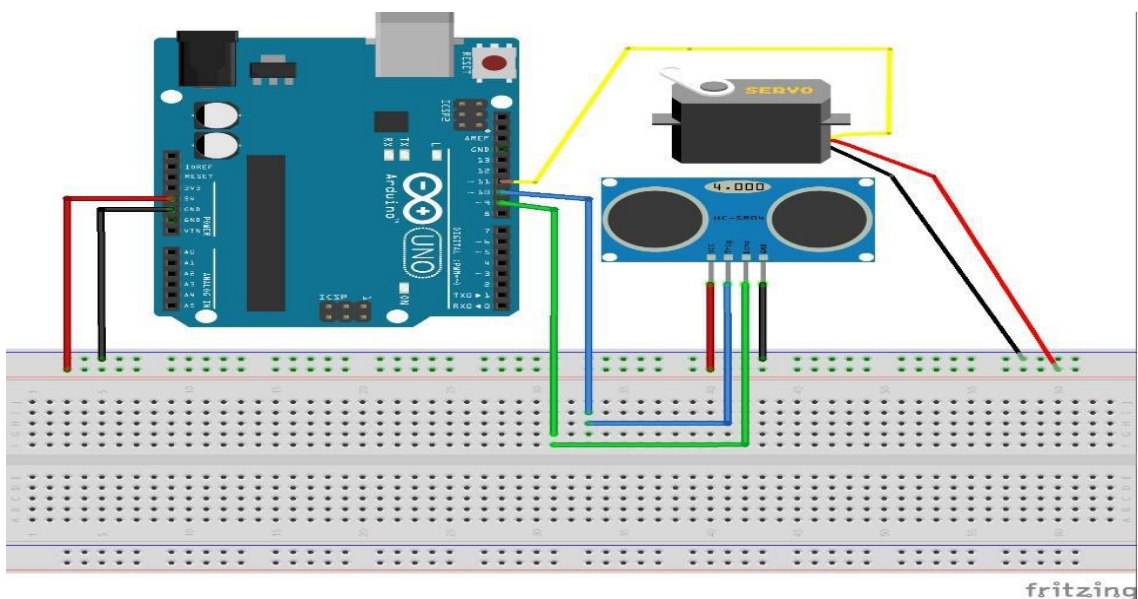


Figure III.10 : Schéma du montage du radar à ultrason

5.2. Processing :

Le code Arduino nous permet de récupérer l'angle de rotation du moteur et de calculer la distance des objets détectés. Ces informations seront exploitées par le Processing IDE en utilisant la fonction SerialEvent() qui lit les données du port série en mettant les valeurs de l'angle et de la distance dans deux variables iDistance et iAngle ces informations seront utilisées pour tracer le radar.



```
radar | Arduino 1.6.8
Fichier Edition Croquis Outils Aide

radar

//      Projet Tutoré
//      Titre : Réalisation d'un radar à ultrason
//      Réalisé par : Hacene BENDJ

#include <Servo.h>

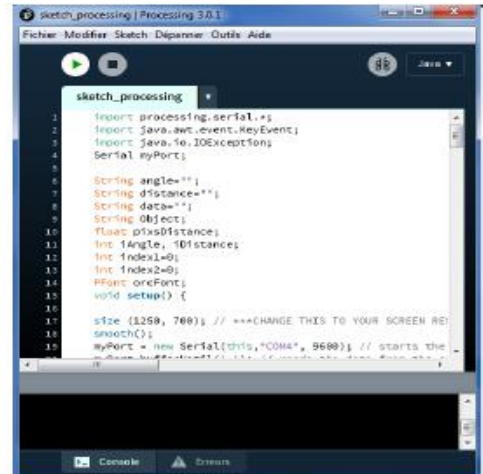
const int trigPin = 10;
const int echoPin = 9;

int distance;
long durée;

Servo monServo;

void setup () {
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
}

void loop () {
  // ... (code for sending and receiving data) ...
}
```



```
sketch_processing | Processing 3.0.1
Fichier Modifier Sketch Dépanner Outils Aide

sketch_processing

import processing.serial.*;
import java.awt.event.KeyEvent;
import java.io.IOException;
Serial myPort;

String angle="";
String distance="";
String data="";
String object;
float objDistance;
int iAngle, iDistance;
int index1=0;
int index2=0;
float onePoint;

void setup() {
  size (1280, 700); // ***CHANGE THIS TO YOUR SCREEN RESOLUTION***
  smooth();
  myPort = new Serial(this,"COM4", 9600); // STARTS THE SERIAL PORT AT COM4
}
```



Figure III.11 : Echange d'informations entre Arduino et Processing

Pour tracer le radar nous avons utilisé la fonction TracerRadar() qui est composée de deux autres fonctions line() et arc() (voir code en annexe). La fonction line() permet de tracer des lignes droites cependant arc() permet de tracer des arcs.

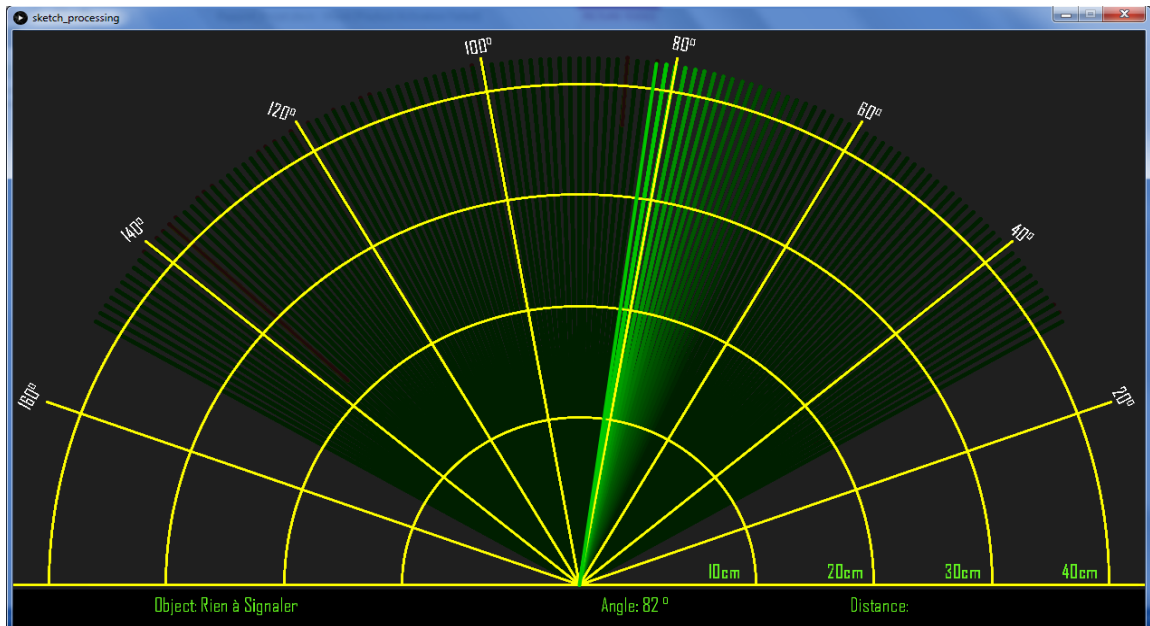


Figure III.12: Affichage de l'écran du radar sur Pc

6. Conclusion

Ce système montre le principe général du fonctionnement d'un radar et l'affichage des informations acquises. Le prototype réalisé est un simple radar qui peut être utilisé dans des petites applications pour la détection sur de petites distances vu la faible portée de l'ultrason (de quelques cm à quelques mètres seulement).

Les deux applications réalisées dans cette partie illustrent bien le principe de fonctionnement d'un radar mais cependant n'utilise pas le même type d'ondes. Un radar basique utilise des ondes radio, tandis que nos deux radars utilisent des ondes sonores.

Basés sur des capteurs ultrason, nos radars permettent la détection et la mesure de la distance du radar à l'objet. Ce type de capteurs est largement utilisé notamment dans l'industrie automobile car :

- Ils sont peu coûteux
- Ils permettent de détecter tout type de matériau avec n'importe quelle texture de surface, sauf les objets absorbant les ondes sonores (tel que la ouate, le feutre,... ce qui est peu fréquent à l'extérieur)
- Le signal n'est pas influencé par la poussière et les environnements brumeux.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le travail présenté dans ce mémoire introduit les principes généraux de fonctionnement de système radar.

Le radar se décline en une variété de forme et de dimensions selon les demandes de l'utilisateur. Il est utilisé pour le contrôle du trafic aérien autour d'un aéroport, la surveillance à longue portée, la détection des missiles ou dans leur système de contrôle de vol, en météorologie, etc.

Nous sommes particulièrement intéressés aux radars ultrasons. Actuellement, ces derniers utilisent une technique de détection polyvalente, c'est pourquoi ils sont principalement utilisés lorsque toutes les autres techniques échouent.

Les radars ultrasons sont utilisés dans l'industrie pour mesurer des distances, sous la forme de capteurs de proximité et détectent différents types de matériaux, comme le métal, le plastique, le bois, les liquides, les granulats, la poudre, la nourriture etc., Ils fonctionnent dans des environnements poussiéreux et sales, brumeux et fortement lumineux, que l'objet soit transparent ou non.

Pour bien expliquer cette technique nous avons fait deux applications (télémètre et radar à ultrason) en utilisant une carte Arduino qui est le module principale pour la création artistique interactive (interface entre capteurs/actionneurs).

Dans la première application, on a mesuré la distance entre le capteur ultrason et l'obstacle en face détecté (émissions et réceptions des ondes ultrasonores).

Dans la deuxième application, on a pu détecter et mesurer la distance angulaire des cibles, et cela grâce à une rotation de 180° effectué par un servomoteur SG90. Une interface graphique d'un radar a été réalisée en utilisant le logiciel Processing pour mieux visualisé l'objet détecté.

L'application ultrasonore n'a pas cessé d'évoluer ces derniers temps, à tel point qu'on arrive à produire des appareils déplaçables de plus en plus léger. Par conséquent, il est évident d'affirmer que les ultrasons jouent un rôle prépondérant dans la société actuelle, non seulement du point de vue scientifique mais aussi du point de vue industriel.

Bibliographie

Bibliographie et Webographie :

[1] Neville, Inc Valkenburgh Nooger « Radars, principe et fonctionnement », Gamma, 1962.

[2] Wikipedia, « radar », www.wikipedia.org/wiki/Radar.

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

[4] Mr Henry Baumert « Cours Radar » Faculté des sciences et techniques, Université HAUTE-ALSACE.

[5] CHABBI Souad, « détection adaptative CFAR à censure automatique basée sur les statistiques d'ordre en milieux non gaussiens », université Constantine, année 2008.

[6] Christian Wolff, Traduction En Langue Française Et Révision: Pierre Vaillant Et Christophe Paumier, Version 9 Juillet 2011, Www.Radartutorial.Eu.

[7] Mr Henry Baumert « Cours Radar », Faculté des sciences et techniques, Université HAUTE-ALSACE

[8] Christian Wolff, Traduction En Langue Française Et Révision: Pierre Vaillant Et Christophe Paumier, Version 3 Août 2011, Www.Radartutorial.Eu.

[9] Neville, Inc Valkenburgh Nooger « Radars, principe et fonctionnement », Gamma, 1962.

[10] Radar primaire et secondaire, www.simmer.fr/archives/189

[11] KRATTOU Mohamed Riad, « Étude De La Détection Radar Dans Un Milieu Homogène », l'université de Tlemcen faculté des sciences de technologie département d'électronique, 2012/2013.

[12] Christian Wolff, Traduction En Langue Française Et Révision : Pierre Vaillant Et Christophe Paumier, Version 9 Juillet 2011, Www.Radartutorial.Eu.

[13] Christian Wolff, Traduction En Langue Française Et Révision: Pierre Vaillant Et Christophe Paumier, Version 9 Juillet 2011.

[14] Christian Wolff, Traduction En Langue Française Et Révision: Pierre Vaillant Et Christophe Paumier, Version 9 Juillet 2011, Www.Radartutorial.Eu

[15] Gilles MAURIS, « capteurs ultrasonors intelligents », thèse de Doctorat, université de Savoie. 1992.

[16] Michel BRUNRAI, « Fundamentals of Acoustics », ISTE Ltd, 2006

[17] Jin S, Moon G, Won Chang Lee, Dong Won Jung, « Identification and distance detection for ultrasonic sensors by a correlation method », Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of automatic control, Seoul, Korea, de 6 au 11 juillet 2008.

- [18] Laboratoire Roberval - Unité de Recherche en Mécanique, UMR CNRS6066, Université de Technologie de Compiègne, BP 20 529, 60 205 CompiègneCedex.
- [19] KANOUNI Lahcen, « conditionnement d'un capteur à ultrasons à l'aide d'un FPAA », université HADJ Lekhder de batna,decembre 2013.
- [20] Christian Wolff, Traduction En Langue Française Et Révision: PierreVaillant Et Christophe Paumier, Version 3 aout 2011.
- [21] MicrosonicGmbH, « principe de fonctionnement des capteursultrasons », Allemagne.
- [22] MicrosonicGmbH, « Utilisation des capteurs ultrasons », Allemagne.
- [23] capteurs ultrason, www.kamali.e-monsite.com.
- [24] Christian Wolff, Traduction En Langue Française Et Révision: PierreVaillant Et Christophe Paumier, Version 9 Juillet 2011.
- [25] Adrien GRELET, Nicolas BENEVAULT, « le radar de sécurité », institutuniversitaire de technologie de Tours, année 2006/2008.
- [26] Leonard Cyril,Bourdette Romain, « radar de recul », Etablissement SaintJoseph, année 2008-2009.
- [27] Pierre Vaillant Et Christophe Paumier, « radars de voiture », année 2009.
- [28] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- [29] www.fablab.univ-tlse3.fr
- [30] <http://arduino.cc/en/main/software>.