

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
المركز الجامعي لعين تموشنت  
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent  
Institut des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique



Projet de fin d'études  
Pour l'obtention du diplôme de Master en :  
Domaine : SCIENCE ET TECHNOLOGIE  
Filière : ELECTRONIQUE  
Spécialité : GENIE DE TELECOMMUNICATION  
Thème

## *Radars ultrasons*

**Présenté Par :**

- 1) ALLAL Meriem
- 2) SABRI Fatima Zahera

**Devant les jurys composés de :**

Dr. MERADI Abdelhafid	MCB	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr. BOUTKHIL Malika	MCA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadreur
Dr. BENCHRIF Kadour	MCA	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Examinateur

**Année universitaire 2014/2015**

## *Remerciement*

*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'étude.*

*Ces remerciements vont tout d'abord au corps professoral et administratif de la Faculté pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts et une grande technique pédagogique 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 mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.*

*Nous tenons à remercier très sincèrement mademoiselle BOUTKHIL Malika qui, en tant qu'encadrant 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 propositions.*

*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 toute personne qui a participé de près ou de loin pour l'accomplissement de ce modeste travail.*



# Dédicaces

*Pour mes parents qui m'ont soutenus et encadré jusqu'à ce jour*

*Pour mon fiancé Mohamed Amine*

*Pour toute ma famille*

*Pour toute la promotion du master 2 en telecommunication 2014/2015 de  
l'université de AIN TEMOUCHENT .*

*Pour ma très chere binome Fatima Zahra.*

*Pour toute personne que j'ai connue lors de mon bref passage à  
l'université.*

*Pour vous tous je dédie ce modeste travail*

*Tout les professeurs qui nous ont enseigné car si nous somme là  
aujourd'hui c'est bien grace à vous tous , donc un grand merci pour vous.*



*Meriem*

# Dédicace

Que ce travail témoigne de mes respects :

A mes parents :

Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux.

Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.

A mes sœurs et à mon frère.

A la famille :

Ils vont trouver ici l'expression de mes sentiments de respect et de reconnaissance pour le soutien qu'ils n'ont cessé de me porter.

A tous mes professeurs :

Leur générosité et leur soutien m'oblige de leurs témoigner mon profond respect et ma loyale considération

A tous mes amis et mes collègues :

Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie.

Fatima Zahra

<b>Table des matières</b> .....	<b>i</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>vi</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>ix</b>
<b>Introduction générale</b> .....	<b>1</b>
<b>Chapitre I : généralités sur les radars</b>	
I.1 Introduction .....	4
I.2 Origine du mot « radar » .....	4
I.3 Histoire de Radar .....	5
I.4 La découverte Du Radar .....	5
I.5 Définition du Radar .....	8
I.6 Cible.....	9
I.7 Les composants d'un radar .....	9
I.7.1 Émetteur .....	9
I.7.2 Duplexeur .....	10
I.7.3 Antenne .....	10
I.7.4 Récepteur .....	11
I.7.5 Écran .....	11
I.8 Principe de fonctionnement .....	12
I.8.1 Les ondes pulsées .....	13
I.8.2 Le radar à émission continue .....	13
I. 9 Principes du Radar .....	14
I.9.1 Mesure de distance. ....	14
I.9.2 L'effet Doppler .....	14
I.10 Pourquoi utiliser le radar comme outil de télédétection ? .....	15
I.11 Utilisation du radar. ....	15

I.12 Les applications principales .....	17
I.13 Classification des radars .....	17
I.13.1 Selon l'information recherchée .....	17
I.13.2 Selon le type de cible.....	17
I.13.3 Selon la position relative de l'émetteur eu du récepteur. ....	17
I.13.4 Selon l'objectif .....	18
I.13.5 Selon la résolution .....	18
I.13.6 Selon le type de signal .....	18
I.14 Les avantage .....	18
I.15 Inconvénients .....	18
I.15.1 Les risque pour l'homme .....	18
I.16 Les facteurs perturbant le fonctionnement du radar .....	19
I.16.1 Les principaux facteurs perturbant le fonctionnement du radar .....	19
I.16.1.1 bruits produits par le récepteur .....	19
I.16.1.2 bruits externes produits par des préonommes naturels .....	20
I.16.1.3 bruit externes produits par l'Homme .....	20
I.16.1.4 signaux réfléchis par des phénomènes naturels .....	21
I.16.1.5 signaux réfléchis par des monticules naturels .....	22
I.16.1.6 la sphéricité de la terre. ....	23
I.16.1.7 la dimension et la forme de l'objet ainsi que la matière dont il est fait .....	23
I.16.1.8 la puissance de l'émetteur .....	24
I.16.1.9 Radar de recherche en surface .....	25
I.16.1.10 Radar de commande de D.C.A .....	25
I.16.1.11 la fréquence de l'émetteur .....	25
I.16.1.12 la sensibilité du récepteur .....	25
I.16.1.13 la forme et les dimensions du faisceau radar .....	26
I.17 Conclusion .....	27

## **Chapitre II : types de radars**

II.1 Introduction .....	29
II.2 Types de radars.. .....	29
II.2.1 Classification des systèmes radars en fonction des technologies .....	29
II.2.1.1 Radars imageurs / Radars non imageurs .....	29
II.2.1.2 Radar primaire. ....	30
II.2.1.2.1 Avantages .....	31
II.2.1.2.2 Inconvénients. ....	31
II.2.1.3 Radar a impulsion .....	31
II.2.1.3 .1 Utilisations des radars pulsés .....	31
II.2.1.3 .2 Diagramme de fonctionnement. ....	31
II.2.1.3 .3 Avantages et inconvénients des radars bi-statiques .....	32
II.2.1.4 Radars à ondes entretenues (ou ondes continues) .....	33
II.2.1.5 Radar secondaire. ....	35
II.2.1.5.1 Avantage.....	35
II.2.1.5.2 Inconvénient.. ....	35
II.2.1.6 Comparaison entre radar secondaire et primaire.....	35
II.2.2 Classification des systèmes radars par usage. ....	36
II.2.2.1 Radars de défense aérienne .....	36
II.2.2.1.1 Quelques exemples sur les radars de défense aérienne.....	37
II.2.2.2 Radar de champ de bataille .....	38
II.2.2.2.1 Quelques exemples sur les radars de champ de bataille.....	38
II.2.2.3 Radars de contrôle aérien .....	41
II.2.2.3.1 Quelques exemples sur les radars de contrôle aérien .....	41
II.2.2.4 Divers radars civils.....	44

II.2.2.4.1 Radar météorologique .....	44
II.2.2.4.2 Radar de contrôle routier .....	45
II.2.2.4.3 Test de matériau. ....	45
II.2.2.4.4 Radar à pénétration de sol. ....	45
II.3 Conclusion .....	45

### **Chapitre III : les Radars ultrasons**

III.1 introduction .....	47
III.2 Historique .....	47
III.3 Définition de son .....	48
III.4 La détection à ultrasons .....	48
III.5 Les ultrasons naturels .....	49
III.6 Principe des ultrasons .....	50
III.7 Propagation des ondes ultrasonores .....	50
III.8 Réflexion et réfraction des ondes ultrasonores.....	51
III.9 Effet Doppler .....	51
III.9.1 Définition .....	51
III.9.2 Principe de fonctionnement .....	52
III.10 Les capteurs ultrasons .....	52
III.10.1 Définition .....	52
III.10.2 Le principe de fonctionnement des capteurs ultrasons .....	53
III.10.3 Utilisation des capteurs ultrasons .....	54
III.10.3.1 Contrôle de caisse pleine .....	54
III.10.3.2 Détection de personnes .....	54
III.10.3.3 Positionnement .....	55

III.10.3.4	Mesure de niveau.....	55
III.10.3.5	Contrôle de qualité .....	56
III.10.3.6	Contrôle d’empilage.....	56
III.10.3.7	Détection d’obstacles .....	57
III.10.4	Quelques limitations des capteurs ultrasons .....	57
III.10.4.1	La forme des obstacles .....	57
III.10.4.2	La texture de l’obstacle .....	57
III.10.4.3	Le cross-talk .....	57
III.10.5	Avantages et inconvénient .....	58
III.11	Radars ultrasons.....	58
III.11.1	Définition .....	58
III.11.2	Types de radars ultrasons .....	58
III.11.2.1	Radars automobile .....	58
III.11.2.1.1	types de radars automobiles .....	59
III.11.2.2	Radar de contrôle routier.....	66
III.11.2.2.1	types de radars de contrôle routier .....	67
III.12	Conclusion .....	68
	<b>Conclusion générale.....</b>	<b>70</b>
	<b>Bibliographie.....</b>	<b>71</b>

<b>Figure I.1</b> : les applications principales d'un radar.....	4
<b>Figure I.2</b> : la découverte du radar.....	6
<b>Figure I.3</b> : cible.....	9
<b>Figure I.4</b> : composants d'un radar.....	11
<b>Figure I.5</b> : fonctionnement du radar.....	12
<b>Figure I.6</b> : Emission pulsée.....	13
<b>Figure I.7</b> : Emission continu.....	13
<b>Figure I.8</b> : Principe d'un système RADAR.....	14
<b>Figure I.9</b> : les applications d'un radar.....	17
<b>Figure I.10</b> : radar est « brouillé » par un émetteur ennemi.....	21
<b>Figure I.11</b> : Signaux Parasites sur écran PPI.....	22
<b>Figure I.12</b> : la dimension et la forme de l'objet et la matière dont il est fait...24	
<b>Figure I.13</b> : Radar de commande.....	25
<b>Figure I.14</b> : faisceau large.....	26
<b>Figure I.15</b> :faisceau étroit.....	27
<b>Figure II.1</b> : Organigramme des systèmes radar.....	29
<b>Figure II.2</b> : Radar primaire.....	30
<b>Figure II.3</b> : Radar à ondes entretenues utilise deux antennes souvent.....	33
<b>Figure II.4</b> : radar secondaire.....	35
<b>Figure II.5</b> : Classification des radars par usage.....	36
<b>Figure II.6</b> : Radar de veille aérienne.....	37

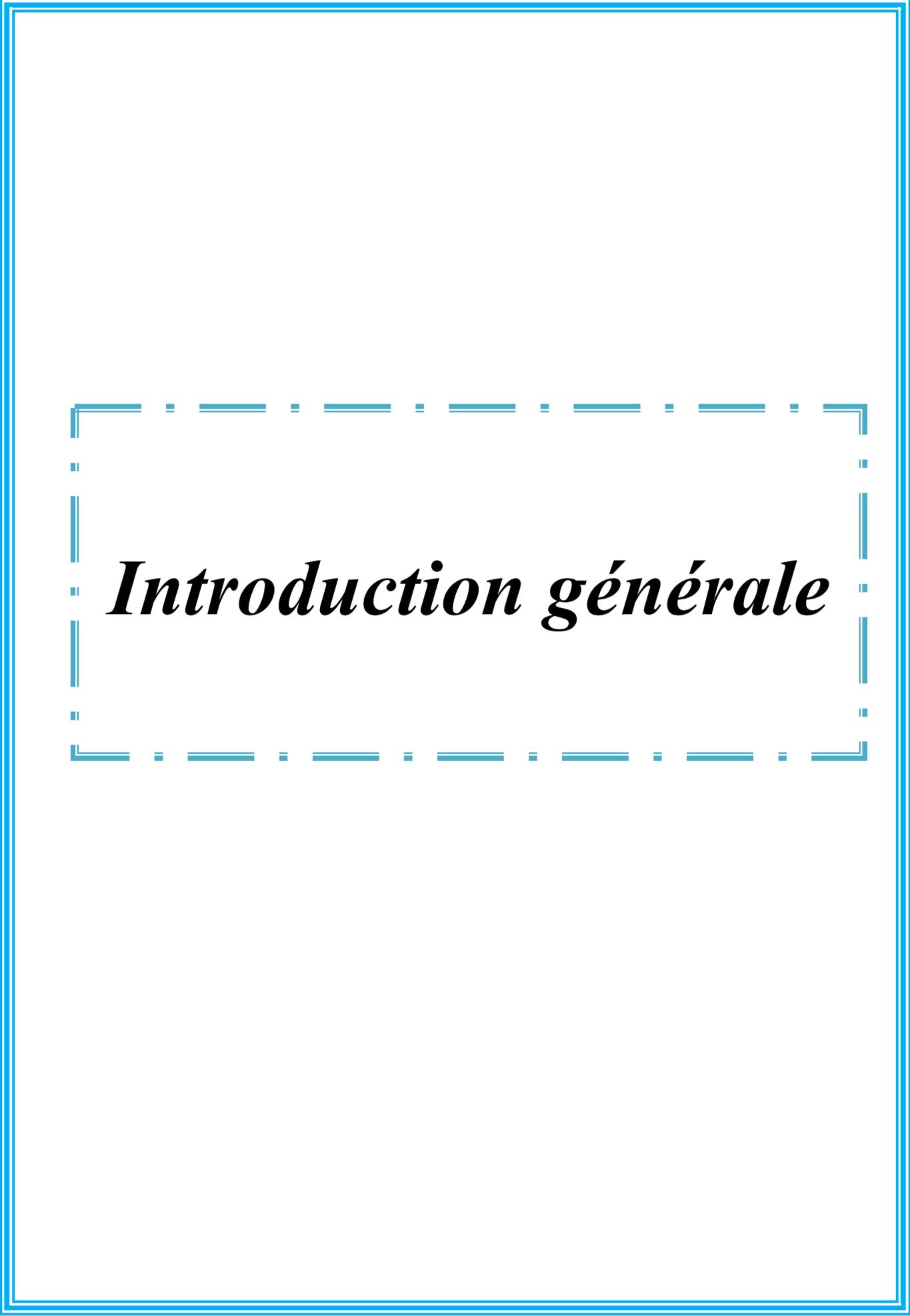
<b>Figure II.7</b> : radar Contrôle des combats.....	<b>38</b>
<b>Figure II.8</b> : radar Interception des missiles.....	<b>38</b>
<b>Figure II.9</b> : radar maritime.....	<b>39</b>
<b>Figure II.10</b> : Radar de contre-batterie.....	<b>40</b>
<b>Figure II.11</b> : radar de guidage.....	<b>40</b>
<b>Figure II.12</b> : radar en route.....	<b>41</b>
<b>Figure II.13</b> : radar de surveillance aérienne.....	<b>41</b>
<b>Figure II.14</b> : Radar d’approche de précision PAR-80 de ITT.....	<b>42</b>
<b>Figure II.15</b> : radar de surface.....	<b>43</b>
<b>Figure II.16</b> : Radars météorologiques spécialisés.....	<b>43</b>
<b>Figure II.17</b> : Radar météorologique.....	<b>44</b>
<b>Figure III.1</b> : les ondes ultrasonores du dauphin.....	<b>49</b>
<b>Figure III.2</b> : les ondes ultrasonores de la chauve-souris.....	<b>49</b>
<b>Figure III.3</b> : Réflexions d’une onde ultrasonore.....	<b>51</b>
<b>Figure III.4</b> : Effet Doppler-Fizeau.....	<b>52</b>
<b>Figure III.5</b> : fonctionnement des capteurs ultrasons.....	<b>53</b>
<b>Figure III.6</b> : Capteur contrôleur caisse pleine.....	<b>54</b>
<b>Figure III.7</b> : Capteur détecteur de personnes.....	<b>54</b>
<b>Figure III.8</b> : Capteur de positionnement.....	<b>55</b>
<b>Figure III.9</b> : Capteur mesure de niveau.....	<b>55</b>
<b>Figure III.10</b> : Capteur contrôleur de qualité.....	<b>56</b>

<b>Figure III.11</b> : Capteur contrôleur d'empilage.....	<b>56</b>
<b>Figure III.12</b> : Capteur détecteur d'obstacles.....	<b>57</b>
<b>Figure III.13</b> : Diverses utilisations d'un radar sur une automobile.....	<b>59</b>
<b>Figure III.14</b> : Radar de sécurité.....	<b>60</b>
<b>Figure III.15</b> : Bête à cornes du système complet.....	<b>61</b>
<b>Figure III.16</b> : Radar de recul.....	<b>62</b>
<b>Figure III.17</b> : Les modes de détections de radar de recul.....	<b>62</b>
<b>Figure III.18</b> : Principe de mesure.....	<b>63</b>
<b>Figure III.19</b> : Activation du radar de recul.....	<b>63</b>
<b>Figure III.20</b> : Méthode de calcul de distance.....	<b>64</b>
<b>Figure III.21</b> : Automobile sans pilote.....	<b>66</b>
<b>Figure III.22</b> : Radar de contrôle routier.....	<b>66</b>
<b>Figure III.23</b> : Pistolet radar.....	<b>67</b>
<b>Figure III.24</b> : Radar embarqué.....	<b>67</b>

Le terme radar signifie la détection et localisation à distance d'un objet (cible) à partir du signal rétrodiffusé (écho) par le système radar. Aujourd'hui les radars recouvrent un large éventail de disciplines dans des domaines varies.

L'objectif principal dans la détection du signal radar est donc la conception d'une structure optimale du récepteur selon certains critères qui sont déterminés.

Les ultrasons sont utilisés dans différentes types de radar. ses deux applications principaux : une première où l'émetteur est utilisé en mode impulsionnel, puis une seconde où le système fonctionne en onde continue.



# *Introduction générale*

## *Introduction générale*

---

Les télécommunications sont aujourd'hui définies comme la transmission à distance d'informations avec des moyens électroniques. Ceci les distingue ainsi de la poste qui transmet des informations ou des objets sous forme physique. Le mot « télécommunication » vient du préfixe grec «tele» signifiant «loin» et du latin «communicare» qui signifie « partager ». Le terme « télécommunication » a été utilisé pour la première fois en 1904.

De nos jours, la télécommunication est tout échange d'information dans n'importe quel espace donné. La spécificité de la télécommunication, contrairement à une communication ordinaire, est que l'information est véhiculée à l'aide d'un support (matériel ou non), lui permettant d'être transmise sur de longues distances.

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.

Le radar est un système électromagnétique utilisé pour détecter la présence d'objets mobiles et déterminer leur trajectoire, leur vitesse, leur point de contact le plus proche, et d'autres données, en transmettant des ondes radioélectriques. Il en extrait alors l'information nécessaire sur la cible à partir du signal échoïque. Il 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. Les radars peuvent être compacts et portables pour être opérés par un seul opérateur ou être très élaborés et nécessiter plusieurs pièces pour les abriter.

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

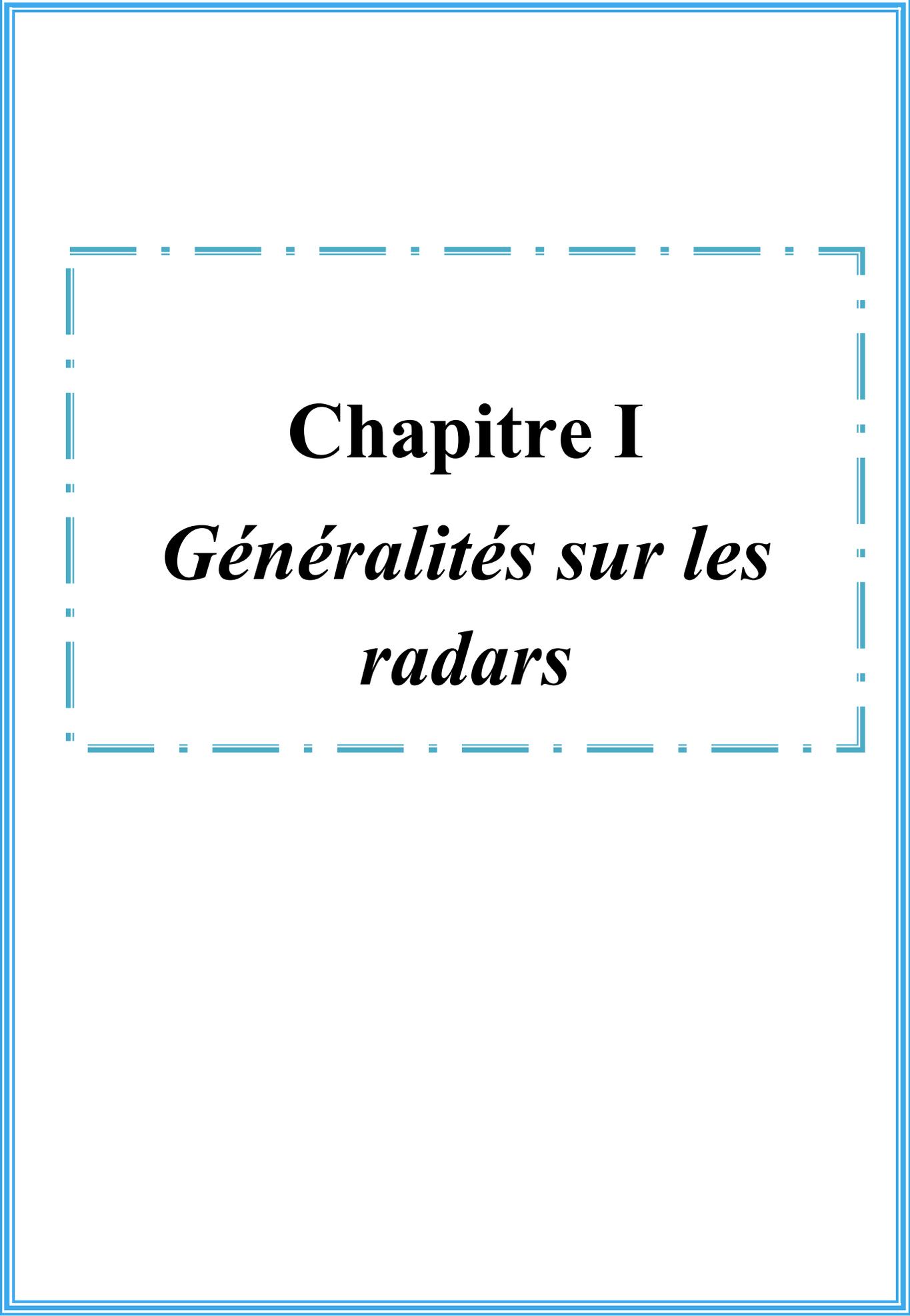
## *Introduction générale*

---

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.

Dans le second chapitre nous donnons un aperçu sur les différents types des radars, leurs utilisations ainsi que les avantages et les désavantages de chaque type et les bandes de fréquences qu'ils utilisent.

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



**Chapitre I**  
*Généralités sur les  
radars*

## **I.1 Introduction :**

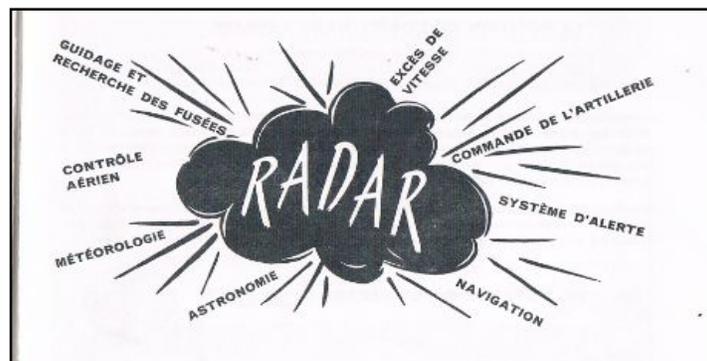
Dans ce chapitre, nous parlons succinctement de l'histoire des radars et introduisons quelques définitions utiles de ces systèmes, leurs divers domaines d'applications et les principes fondamentaux

Le premier objectif des systèmes radars a été de détecter des cibles pouvant présenter un intérêt stratégique ou un danger potentiel. De tels systèmes émettent des ondes radiofréquences vers leur environnement, puis analysent les échos produits par les réflecteurs présents. Le traitement de ces échos permet de détecter les cibles renvoyant des échos suffisamment forts, et de déterminer leurs distances par rapport au radar par une mesure de temps de propagation

Les systèmes radar peuvent également mesurer les vitesses radiales des réflecteurs en exploitant l'effet Doppler, ou encore leurs directions d'arrivée. Contrairement aux systèmes optiques, ils peuvent opérer dans n'importe quelle condition météorologique et avoir des portées de détection bien supérieures, de l'ordre de la centaine de kilomètres. Les systèmes radar sont développés pour de nombreuses applications : cartographie du sol, détection d'obstacles, détection périmétrique d'intrus, aide au stationnement (automobile).

## **I.2 Origine du mot « radar » :**

Le mot radar est un néologisme issu de l'acronyme anglais RADio Detection And Ranging, que l'on peut traduire par « détection et estimation de la distance par ondes radio », « détection et télémétrie radio », ou plus simplement « radiorepérage ». Cet acronyme d'origine américaine — qui est aussi un palindrome — a remplacé le sigle anglais précédemment utilisé : RDF (Radio Direction Finding, que l'on peut traduire par « radiocompas » [1] .



**Figure I.1 :** les applications principales d'un radar

### **I.3 Histoire de Radar :**

Le radar est conçu pour détecter un objet fixe ou en mouvement en fournissant des informations sur cet objet telles que sa distance, son azimut et sa vitesse.

Le radar est l'une des merveilles du vingtième siècle. En ce qui concerne son utilisation pratique la première allusion futuriste le concernant ne fut faite qu'en 1922. Et cependant dix-huit ans plus tard en jouant un rôle essentiel en faveur des chasseurs de la Royal Air force et en facilitant leur victoire lors de la bataille d'Angleterre, il permit de changer le cours de l'histoire mondiale.

De nos jours, le radar est devenu un instrument essentiel à la sécurité de la navigation maritime et aérienne ; il facilite et rend également plus efficace le travail des commandants de port et des contrôleurs aériens.

Constamment en alerte, il aide les Forces Armées dans leurs tâches de détection des avions et fusées téléguidées de l'ennemi ; il est également utilisé sur mer pour détecter la présence de navires ennemis et sur terre pour renseigner sur les mouvements des forces adverses.

La météorologie l'utilise également pour ses prévisions atmosphériques. Il permet à l'homme de science de suivre des divers objets qui sont régulièrement envoyés dans l'espace. La nuit ou lorsque le temps est mauvais il aide les avions à atterrir. Il est même utilisé par la police de la route dans sa chasse à l'excès vitesse !

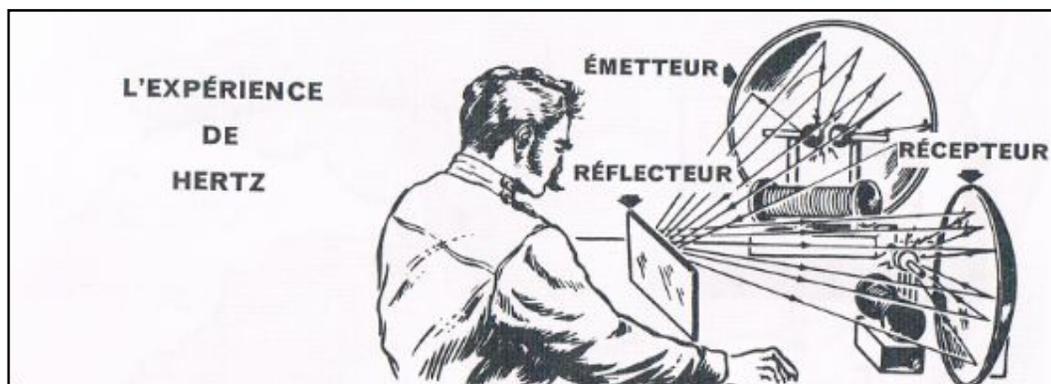
Les fonctions que le radar doit accomplir et ses nouvelles possibilités croissent presque chaque jour de nouvelles techniques y sont introduites à une cadence telle qu'il est impossible de prédire les possibilités futures de cette nouvelle et dynamique branche de l'électronique.

### **I.4 La découverte Du Radar :**

C'est en 1873 que fut découverte le premier indice permettant de penser que quelque chose comme le radar pourrait exister un jour ; le savant James Clerk Maxwell avait prévu, mathématiquement, que ce qu'il appelait une « radiation » et qui plus tard a été défini comme une onde radioélectrique devait posséder de nombreuses propriétés appartenant à celles qui caractérisent les ondes lumineuses.

Il devina en particulier, que cette « radiation » devait se propager à la même vitesse que la lumière et subir une réflexion au contact des objets rencontrés sur son passage.

Quinze ans plus tard, en 1888, Henri Hertz qui poursuivait ses travaux en Allemagne, prouva que la production d'ondes radioélectriques était possible et qu'elles possédaient les caractéristiques annoncées par Maxwell.



**Figure I.2 :** la découverte du radar

Avec son matériel très primitif, Hertz réussit seulement à transmettre ses ondes radioélectriques à une distance de quelques décimètres. Mais il put ainsi prouver que des ondes radioélectriques de haute fréquence pouvaient être réfléchies et dirigées à l'aide de méthodes semblables à celles utilisées pour les rayons lumineux.

En partant de la longueur d'onde et de la fréquence de ses ondes, il put aussi calculer qu'elles se propageaient à la même vitesse que les ondes lumineuses.

En 1895, Marconi commença une série d'expériences sur la transmission à longue distance des ondes radioélectriques. Utilisant des appareils qui n'étaient qu'une mise au point modernisée des appareils utilisés par Hertz lors de ses premiers travaux, il réussit à transmettre des signaux radioélectriques d'Angleterre à Terre-Neuve.

En 1922, Marconi annonça qu'il avait détecté des ondes radioélectriques qui avaient été réfléchies dans sa direction par des objets situés à plusieurs kilomètres de distance ; et il prédit, ce qui marque vraiment la naissance du radar, que les ondes radioélectriques pourraient un jour être utilisées pour détecter la présence, la position et même la distance d'objets très éloignés de l'émetteur.

Marconi continua ses recherches ; et, à partir de 1925, des expériences furent poursuivies pour déterminer la nature et la hauteur de certaines couches ionisées de l'atmosphère terrestre dont on avait découvert le pouvoir de réfléchir les ondes radioélectriques.

La méthode utilisée était la suivante : On dirigeait vers le ciel un court mais puissant train d'ondes radioélectriques et on mesurait l'intervalle de temps qui s'écoulait avant le retour du signal réfléchi.

Dans les premières années 30, lorsque le réarmement allemand apparut évident aux yeux du monde qui se rendit compte que les allemands concentraient une importante partie de leurs efforts à la mise en place d'une importante Armée de l'Air, les chefs des Forces Armées Britanniques s'efforcèrent d'améliorer leurs moyens de défense contre les bombardiers. A l'époque, on parla même de mettre en œuvre une sorte de « rayon de la mort » qui pourrait détruire tout objet sur lequel il serait dirigé.

Cette recherche se révéla stérile ; mais on entreprit la fabrication de chasseurs à hautes performances et dont l'armement huit mitrailleuses constituait une puissance de feu inconnue à cette époque.

Cependant, ces chasseurs et leurs pilotes seraient toujours en nombre insuffisant pour former des « patrouilles permanentes » contre les raids ennemis toujours possibles. Il fallait donc trouver un moyen pour détecter un ennemi qui serait encore à une bonne distance des côtes.

Le « grand pas » fut franchi en 1935 lorsque Robert Watson-Watt fit une démonstration d'un « système de détection Radioélectrique » qui promettait tellement que, quelque temps après, un groupe de cinq stations opérationnelles s'installa sur la côte Est de la Grande-Bretagne.

La guerre approchant, le système connu sous le nom de « China Home » fut développé ; et au moment de la défaite française de 1940, la zone de couverture de CH avait été étendue à la côte Sud.

Le rôle que cette récente invention joua lors des événements de ce bel été fait maintenant partie de l'histoire. Bien que très primaire par rapport aux instruments modernes de la même catégorie, le nouveau dispositif montra qu'il était à même de détecter et de donner la position et la direction des groupes de bombardiers et de chasseurs allemands qui traversaient la Manche. Les faibles effectifs d'Hurricanes et de Spitfires de la Royal Air Force furent ainsi à même de se concentrer au bon moment et au bon endroit et la bataille d'Angleterre fut gagnée.

Bien qu'une technique capable de donner des résultats aussi extraordinaires soit un secret de guerre bien gardé, elle fut révélée au gouvernement des Etats-Unis d'Amérique – qui, en ce qui concerne la Grande-Bretagne, n'était qu'un « neutre bienveillant », mais un « neutre » destiné à devenir rapidement an aillé.

Cette décision eut des conséquences importantes. En effet, dans les mois et les années qui suivirent, les Etats-Unis entreprirent des recherches considérables qui améliorations furent rapidement communiquées à la Grande-Bretagne.

Les Américains lui donnèrent également un nouveau nom. Le nom original que les Britanniques lui avaient consacré était celui de « radiogoniomètre » Les Américains lui conférèrent celui de Radar mot composé dérivé des initiales de RADIO DETECTION AND RANGING [2].

### **I.5 Définition du Radar :**

Le radar (de l'anglais RAdio Detection And Ranging) est un système qui utilise la propriété des ondes électromagnétiques (Radio) 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 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 peut être brièvement résumé comme étant « une méthode utilisant les ondes radioélectriques pour repérer dans l'espace la position relative d'un ou plusieurs objets par rapport à un point connu donné »

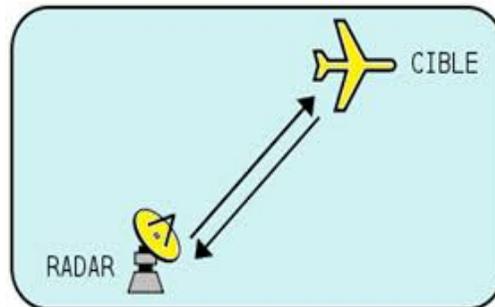
Du fait qu'il utilise des ondes radioélectriques et non des ondes lumineuses, le radar fonctionne aussi bien le jour que la nuit. Dans un rayon relativement élevé (dont vous entendez bientôt parler.), il fonctionne aussi bien lorsqu'il fait beau que lorsqu'il fait mauvais temps.

Le radar est donc un œil qui voit tout et qui vous permet non seulement de détecter la présence des objets qui vous entourent (nuit et jour, qu'il pleuve ou qu'il fasse beau, sur mer,

sur terre, ou dans l'air) mais aussi de déterminer la distance et la direction des objets, par rapport à votre propre position [3].

### **I.6 Cible :**

Au sens large du terme, une cible (target en Anglais) est tout objet qui interfère avec l'onde émise et réfléchit partie de l'énergie vers le radar. On fait la distinction entre une cible qui est l'objet au'on veut détecter et le « clutter » qui représente les objets non désirées (réflexions de la mer, de la terre, pluie, oiseaux, insectes, météorites,...) qui interceptent aussi l'énergie et la renvoient [4].



**Figure I.3 :** cible

### **I.7 Les composants d'un radar :**

#### **I.7.1 Émetteur :**

L'émetteur, site du radar, est un circuit oscillateur qui produit des pulsations électromagnétiques à très hautes fréquences. Il comprend un oscillateur permanent, un amplificateur et un modulateur.

Pour les radars à hyperfréquences, qui forment l'immense majorité des radars en service, la génération d'impulsions courtes et très énergétiques demande une technologie qui est différente de celle, disons, d'un émetteur radio utilisé en télécommunications. Sachant qu'une longueur d'onde courte produit un faisceau radar étroit qui distingue et sépare mieux les échos de deux cibles. On peut également obtenir un faisceau étroit en employant une antenne plus large.

#### **I.7.2 Duplexeur :**

C'est un commutateur électronique qui dirige l'onde vers l'antenne lors de l'émission ou le signal échoïque 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, avec

une perte minimale. Il est primordial qu'il soit bien synchronisé puisque la puissance du signal émis est de l'ordre du mega-watt ce qui est trop important pour le récepteur qui 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.

### **1.7.3 Antenne :**

C'est l'élément le plus visible du radar et également le plus connu du profane. Son rôle est de Concentrer l'énergie émise par le radar dans un angle solide déterminé. Le meilleur rendement d'une antenne radar est obtenu en la fixant à une hauteur de 3 à 6 mètres au-dessus du niveau de la mer, à l'endroit le plus dégagé possible. Placée plus haut, l'antenne devient sensible aux mouvements de roulis et de tangage. Placée trop bas, ses radiations sont dangereuses pour les personnes qui s'en approchent. L'antenne radar est dessinée de façon à concentrer l'énergie des impulsions émises en un faisceau horizontal étroit. Pour repérer les cibles, l'antenne émet sur le plan horizontal, un rayon très étroit (2 à 4°). Plus l'antenne est large, plus le faisceau est étroit. Sur le plan vertical, le rayon de balayage se situe entre 20 et 40°, et son centre est dirigé vers l'horizon de façon à tenir compte du roulis et du tangage sans perdre les cibles de vue. Les antennes radar doivent avoir une directivité élevée. La directivité d'une antenne caractérise la manière dont celle ci concentre son rayonnement dans une certaine direction de l'espace pour envoyer un faisceau étroit étant donné que la largeur du faisceau est proportionnelle à la longueur d'onde du rayonnement et inversement proportionnelle à la largeur de l'antenne. Si le faisceau est trop grand, il y a gaspillage d'énergie. Par contre, s'il est trop petit, un objet se trouvant sous la portée de l'antenne, ne peut, en plus, être repéré. Par conséquent, en général, aucune antenne n'est parfaite.

L'antenne peut être double afin de permettre indépendamment les fonctions d'émission et de réception. Dans ce cas, il est nécessaire que les deux aériens élémentaires soient orientés à chaque instant dans la même direction. Ils doivent donc être solidaires entre eux ou synchronisés. En outre, leur interférence radioélectrique doit être la plus faible possible afin qu'au moment de l'émission, le signal émis qui est de très grande puissance ne vienne perturber le fonctionnement du récepteur [5].

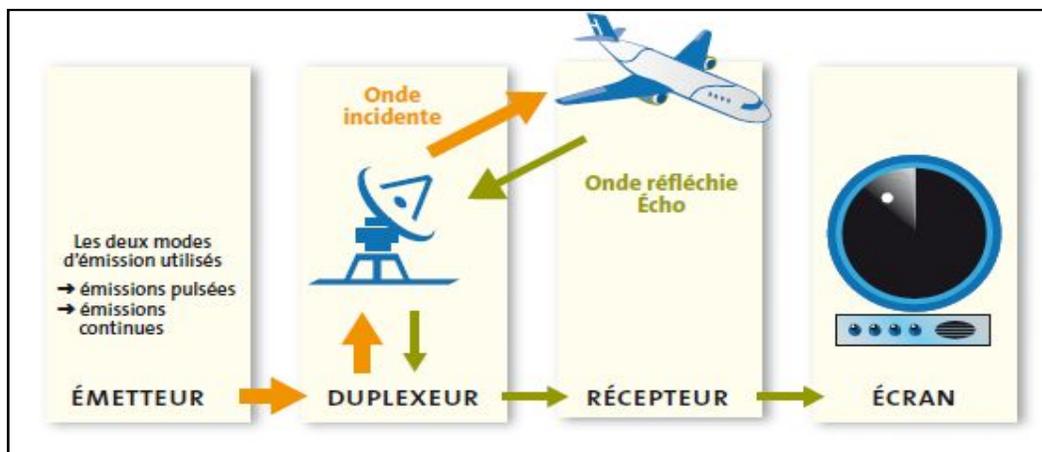
### **1.7.4 Récepteur :**

Le récepteur est l'élément le plus délicat et souvent le plus complexe du radar. Il est installé près de l'antenne. Il doit amplifier et mesurer un signal extrêmement faible à une

fréquence extrêmement haute. Les amplificateurs mobiles ne pouvant remplir directement cette fonction. En effet, le signal est converti et amplifié par un circuit superhétérodyne à une fréquence intermédiaire d'environ 30 MHz. La fréquence très élevée du signal radar nécessite l'utilisation d'un oscillateur et d'un mélangeur de signaux avec une précision beaucoup plus élevée que pour les récepteurs radio ordinaires. Des circuits appropriés ont été mis au point, utilisant comme oscillateurs des tubes hauts puissances à hyperfréquences, autrement dit, les klystrons. La fréquence intermédiaire est amplifiée de manière classique. Le signal est ensuite envoyé dans un ordinateur.

### I.7.5 Écran :

L'écran est la partie utile du radar, celle sur laquelle se font la navigation et la détection des obstacles. Les progrès de la technologie ont permis de développer des écrans couleurs et balayeurs de gauche à droite et de bas en haut (le procédé est répété 60 fois par seconde). Un rayon rotatif synchronisé avec l'antenne balaie l'écran à la recherche d'objets. La représentation d'un objet sur l'écran s'appelle un spot.[5]



**Figure I.4 :** composants d'un radar

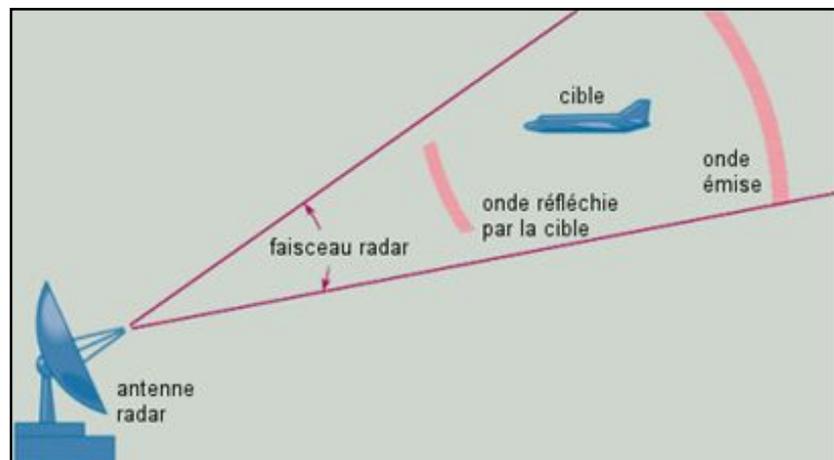
### I.8 Principe de fonctionnement :

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, 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 radar utilise des impulsions d'énergie électromagnétique à peu près de la même manière. Un émetteur puissant diffuse, au moyen d'une antenne (balayeur), une énergie électromagnétique sous forme d'un faisceau concentré dans la direction souhaitée. L'énergie rayonnée dans les limites du faisceau se propage vers son objectif à la vitesse de la lumière. Quand celle-ci frappe un obstacle, une fraction de cette énergie est réfléchiée (écho radar) et captée au retour en un court laps de temps après la transmission, par un récepteur sensible de différentes manières en fonction des caractéristiques de l'onde émise ainsi que la forme, composition et l'état physique de la cible. Ce signal échoïque, est ensuite amplifié et transformé en signal visuel sur l'écran (indicateur), qui est parfois un moniteur d'ordinateur. Sachant que les émetteurs et récepteurs radar sont généralement situés au même endroit.

Il est nécessaire que l'impulsion soit très courte et puissante pour détecter plusieurs petits objectifs souvent rapprochés les uns des autres. Ces caractéristiques sont indiquées par le pouvoir de résolution et la sensibilité. Un radar doté d'un pouvoir de résolution élevé peut identifier séparément des objets éloignés de quelques mètres seulement les uns des autres. Le radar détermine ainsi l'éloignement de la cible en mesurant le temps écoulé entre l'émission de l'impulsion et le retour de l'écho. Le relèvement de la cible détectée est déterminé par la direction vers laquelle pointe l'antenne du radar lorsqu'elle émet l'impulsion.

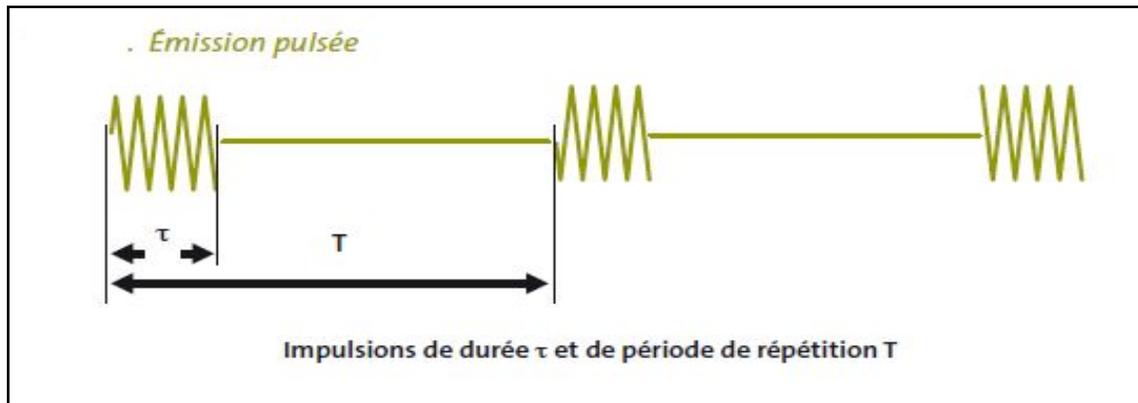
La qualité de la détection dépend non seulement du matériau de la cible. De sa forme mais aussi de la fréquence du signal émis. Les antennes des radars eux-mêmes pouvant être fixes ou installés sur des véhicules (terrestres, aériens ou navires) [6].



**Figure I.5 :** fonctionnement du radar.

Il existe différentes façons d'émettre ces ondes. Les plus utilisées sont :

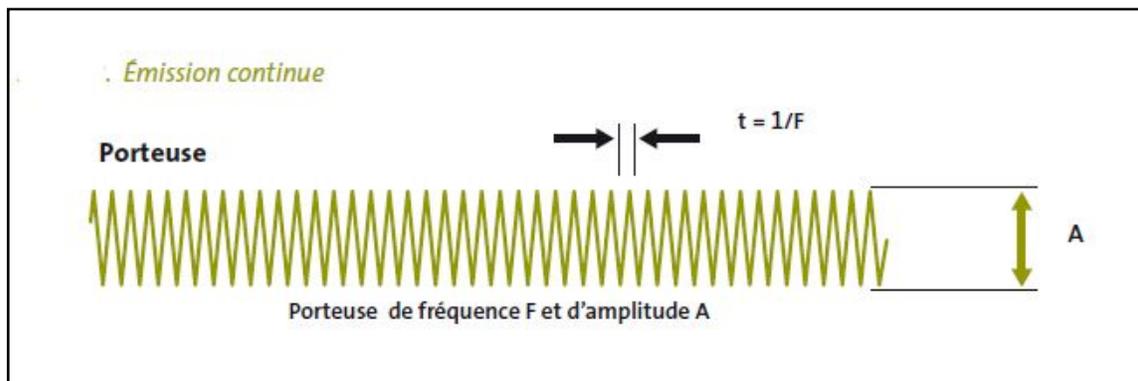
**I.8.1 Les ondes pulsées :** où le radar émet une impulsion et attend le retour.



**Figure I.6:** Emission pulsée

**I.8.2 Le radar à émission continue :** où l'on émet continuellement à partir d'une antenne et on reçoit à l'aide d'une seconde.

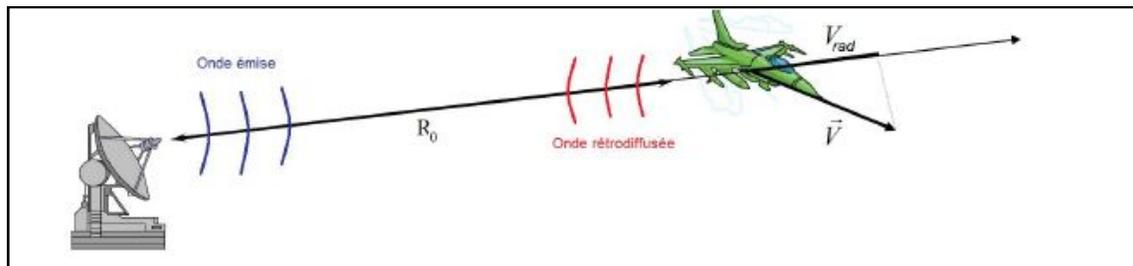
En analysant le signal réfléchi, il est possible de localiser et d'identifier l'objet responsable de la réflexion, ainsi que de calculer sa vitesse [7].



**Figure I.7 :** Emission continu

**I. 9 Principes du Radar :**

Le principe de base des systèmes radars peut être résumé en quatre étapes : émission et propagation d’une onde électromagnétique, rétrodiffusion de cette onde par une cible sous forme d’écho de l’onde, réception et analyse du signal reçu par le radar.



**Figure I.8** : Principe d’un système RADAR

**I.9.1 Mesure de distance :**

L’onde émise par le radar parcourt la distance radar/cible  $R_0$  à la célérité de la lumière  $c$ . Elle est rétrodiffusée par la cible dans tout l’espace. L’onde rétrodiffusée parcourt une nouvelle fois la distance  $R_0$  et une partie de l’onde est recueillie par le radar. La détection de l’écho reçu et la mesure du temps de propagation de l’onde nous informe sur la présence et la distance de la cible. L’onde reçue par le radar est une version atténuée et retardée de l’onde émise [8] d’un retard.

$$T \approx \frac{2R_0}{c}$$

La mesure de ce retard  $T$  permet alors de déterminer la distance  $R_0$  de la cible.

**I.9.2 L’effet Doppler :**

Lorsque la cible est mobile par rapport au radar, son retard évolue au cours du temps.

$$T \approx \frac{2R(t)}{c} \approx \frac{2}{c} (R_0 + v_{rad} t)$$

Où  $v_{rad}$  est la vitesse radiale de la cible, vitesse de rapprochement ou d’éloignement par rapport au radar. L’onde reçue par le radar et issue d’une cible mobile arrive en avance ou en retard par rapport à celle d’une cible fixe. Lorsqu’est  $v_{rad}$  très petit devant  $c$ , ce décalage de

temps d'arrivée se traduit sur l'onde reçue par un décalage sur la fréquence porteuse  $f_0$  de l'onde [9]. Ce phénomène porte le nom d'effet Doppler. Le décalage en fréquence sur la porteuse, appelée fréquence Doppler, s'écrit :

$$f_D = \frac{2v_{rad}}{\lambda} \quad (3)$$

Où  $\lambda = c/f_0$  désigne la longueur d'onde du radar. La mesure de  $f_D$  permet de déterminer la vitesse radiale de la cible.

### **I.10 Pourquoi utiliser le radar comme outil de télédétection ?**

- On peut contrôler la source d'illumination.
  - permet de voir à travers les nuages, la pluie et dans l'obscurité.
- Images à haute résolution (3 – 10 m).
- Possibilité de représenter et de différencier certaines caractéristiques qui ne peuvent être discernées par les capteurs visibles.
- Certains aspects des surfaces ressortent mieux sur des images radar :
  - glace, vagues océaniques.
  - humidité du sol, masse végétale.
  - certains objets fabriqués par l'homme.
  - structures géologiques [10].

### **I.11 Utilisation du radar :**

Si les cibles se déplacent, un effet Doppler est engendré ce qui permet d'en tirer la vitesse radiale de leur déplacement. Le radar peut donc être adapté pour utiliser ce principe :

- **Radar de contrôle routier :**

La police et la gendarmerie utilisent des radars pour déterminer la vitesse des automobiles. Pour cela ils utilisent un radar dont la fréquence est parfaitement connue. La mesure de la fréquence de l'écho donne la vitesse du véhicule.

La technologie moderne permet aujourd'hui d'avoir des radars automatiques et des jumelles lasers.

- **Radar météorologique :**

On utilise non pas la variation de la fréquence par l'effet Doppler dans un radar météorologique, car celle-ci est trop petite, mais plutôt la variation de la phase entre deux impulsions revenant des précipitations. Ceci est un effet de second ordre Doppler.

- **Profileur de vents :**

C'est un radar météorologique pointant verticalement et qui mesure la vitesse de chute et de déplacement horizontal des précipitations.

- **Radar de mesure balistique :**

De nombreuses mesures balistiques sont effectuées grâce au radar Doppler. Il permet de mesurer la vitesse du projectile (calibre de 1 mm, éclat par exemple jusqu'au missile), et surtout la mesure du  $V_0$  (vitesse initiale du projectile à la sortie de la bouche du canon), la vitesse à l'impact (mise au point de gilet pare-balle, par exemple), la vitesse de rotation du projectile ainsi que sa trajectographie et son coefficient de traînée. La gamme de mesure de vitesse va de 30 m/s à 3 000 m/s, ce qui couvre la majorité des applications dans le domaine de la balistique. Rappelons que pour effectuer une bonne prise de mesure de vitesse, les coordonnées  $x$ ,  $y$  et  $z$  de positionnement du radar Doppler par rapport à la bouche du canon de l'arme sont rentrées au mm près dans le logiciel d'analyse et de traitement des données. Les fréquences d'émission en mode CW (*continuous wave*) couramment utilisées sont 10,525 GHz et 35,525 GHz. La distance de mesure est fonction du calibre et de la fréquence d'émission du radar Doppler. La fréquence de 35,525 GHz permet d'obtenir une résolution 3,5 fois meilleure qu'à la fréquence de 10,525 GHz, mais la distance de mesure est pratiquement 3 fois moins importante [11].

## **I.12 Les applications principales :**

Les applications les plus courantes sont :

- La météorologie : détection des nuages et pluies.
- La défense : détection d'avions et de missiles.
- La navigation aérienne : contrôle du trafic aérien, détection et poursuite. d'aéronefs et surveillance des pistes.
- La navigation maritime et fluviale : contrôle du trafic dans les ports.
- Le contrôle de la circulation routière : mesure de la vitesse des véhicules [12].



**Figure I.9 :** les applications d'un radar.

## **I.13 Classification des radars :**

### **I.13.1 Selon l'information recherchée :**

Les radars possèdent différentes technologies. Différentes classifications sont utilisées en fonction de certains critères :

### **I.13.2 Selon le type de cibles :**

- Primaires : le signal reçu est le résultat de la réflexion de l'onde émise par le radar sur un objet.
- Secondaires : système d'identification des cibles où on émet un signal codé pour recevoir des réponses.

### **I.13.3 Selon la position relative de l'émetteur et du récepteur :**

- Mono statiques : émission et réception sur une antenne unique.
- Multistatiques : deux antennes ou plus émettrices et réceptrices séparées par une certaine distance.

**I.13.4 Selon l'objectif :**

- De veille ou de surveillance (à balayage) : le radar explore en continu la zone de couverture .
- De poursuite : en continu ou en discontinu.
- Multifonction : réalise les deux fonctions de surveillance et de poursuite.

**I.13.5 Selon la résolution :**

- Conventionnels
- Haute résolution

**I.13.6 Selon le type de signal :**

- A onde continue
- A impulsions [13].

**I.14 Les avantages :**

Quels sont les avantages liés à une mesure de niveau par RADAR ?

Le radar peut détecter des objets ayant une large gamme de propriétés réfléchissantes, alors que les autres types de signaux, tels que le son ou la lumière invisible, revenant de ces objets, seraient trop faibles pour être détectés.

De plus, les ondes radio peuvent se propager avec une faible atténuation à travers l'air et divers obstacles, tels la poussière ou la fumée, qui absorbent rapidement un signal lumineux ou sonore. Cela rend possible la mesure dans des conditions qui paralysent les autres technologies [14].

**I.15 Inconvénients :****I.15.1 Les risques pour l'homme :**

Compte tenu des puissances mises en œuvre et en fonction des technologies d'amplification utilisées, plusieurs types de risques pour l'homme peuvent être rencontrés :

- Risque lié à l'exposition au champ électromagnétique émis par l'antenne (c'est le risque majeur) ou par une fuite d'énergie le long du guide d'onde ;

- Risque lié à l'exposition aux rayonnements ionisants (rayonnement X) présent aux abords du Klystron (élément d'amplification du signal). Les radars à Klystron sont des radars fixes très puissants utilisés pour la surveillance aérienne civile ou militaire. Lors d'opérations de maintenances, d'autres risques sont à prendre en compte :
- Risque de chute de hauteur : les antennes sont généralement placées au sommet de mâts ou de bâtiments.
- Risque électrique : présence de haute tension.
- Risque mécanique lié aux antennes tournantes [15].

### **I.16 Les facteurs perturbant le fonctionnement du radar :**

L'efficacité d'un poste radar lors de l'accomplissement du travail qu'il doit effectuer dépend en partie des constructeurs, de l'opérateur et des conditions de son fonctionnement. Les constructeurs doivent bien calculer les données telles que la puissance de l'émetteur, la sensibilité du récepteur et le type d'aérien utilisé.

Ensuite, l'opérateur doit utiliser de son mieux l'équipement qui lui a été fourni. Ainsi, il doit choisir l'emplacement de son poste radar de façon à ce que ce dernier ne soit pas gêné par les objets environnants tels que collines, falaise ou bâtiments élevés, et à ce qu'il soit aussi éloigné que possible de sources d'interférences telles que d'autres postes radar par exemple.

Il existe cependant d'autres facteurs pouvant perturber le fonctionnement du radar et sur lesquels le constructeur et l'opérateur n'ont aucun contrôle. Parmi ces facteurs, nous pouvons citer les conditions atmosphériques, la dimension et la forme de l'objet détecté, la sphéricité de la terre et les interférences provoquées par les radiations solaires et cosmiques.

#### **I.16.1 Les principaux facteurs perturbant le fonctionnement du radar :**

##### **I.16.1.1 bruits produits par le récepteur :**

Dans un système radar, les signaux réfléchis par des objets éloignés peuvent être extrêmement faibles et même inférieurs à un microvolt. Le récepteur doit cependant pouvoir amplifier de très petits signaux pour les amener à un niveau permettant leur transmission au tableau d'affichage.

Cependant, le bruit extérieur qui arrive sur l'antenne sera inéluctablement amplifié en même temps que le signal écho, et ils peuvent même s'ils sont suffisamment

importants masquer entièrement le signal d'écho. et comme vous le verrez bientôt, vous ne pouvez pas faire grand-chose contre les bruits au minimum les autres bruits qui peuvent être contrôlés.

Une des sources les plus importantes de bruits électriques se trouve dans les circuits même du récepteur. les constructeurs de radars s'efforcent de réduire au minimum ces « bruits internes » ; en effet, ces bruits s'ajoutent aux bruits externes sur lesquels on ne peut pas agir et rendent la détection particulièrement malaisée.

Il est bien évident qu'aux très hautes fréquences, c'est-à-dire là où se situent les plus importants progrès en matière de radar, et où les bruits externes sont les plus réduits, la difficulté dans la suppression du bruit interne. Cette suppression impose une pratique à l'intensité minimum permettant la détection du signal écho.

Pour réduire au minimum les bruits internes, il suffit de réduire la largeur de bande du récepteur. En fait, cette réduction conduit à une déformation de la forme du signal, et en pratique, on a trouvé un compromis entre une faible largeur de bande donnant peu de bruits, et une forte largeur de bande préservant la forme du signal.

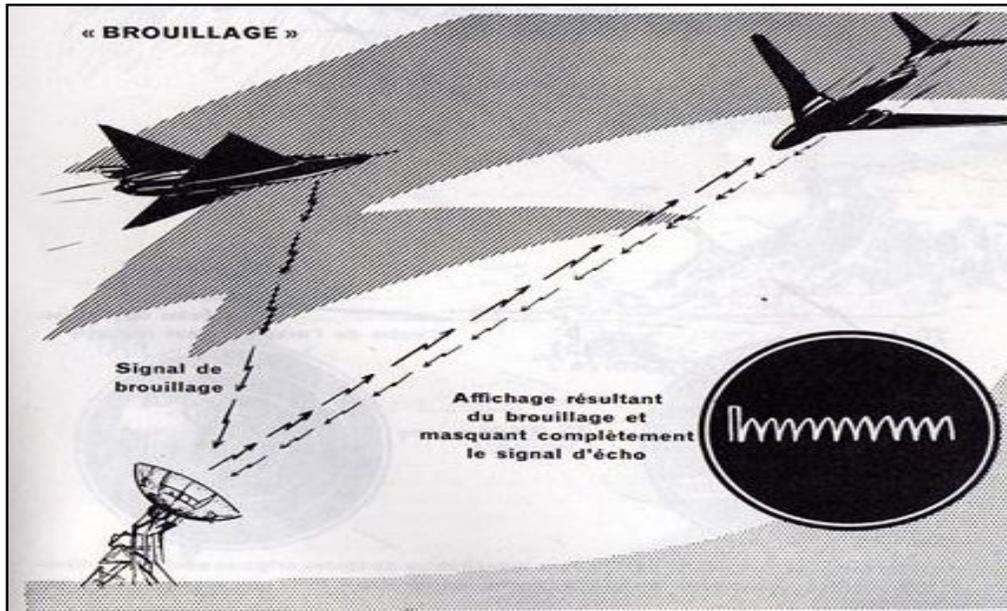
#### **I.16.1.2 bruits externes produits par des phénomènes naturels :**

Les interférences provoquées par des phénomènes naturels tel que la foudre et les radiations solaires et cosmiques, affectent très peu le fonctionnement des équipements radars modernes qui utilisent des ondes centimétriques (c'est-à-dire entre 3 000 Mc/s et 30 000 Mc/s). et heureusement car, s'il en était autrement, on ne pourrait pratiquement rien y faire !

#### **I.16.1.3 bruits externes produits par l'Homme :**

Le plus souvent, ces bruits sont produits par d'autres émetteurs (radio ou radar) ou par des divers instruments électriques. ces signaux sont captés par l'antenne, passent directement dans le récepteur et apparaissent sur le tableau d'affichage.

Ces signaux peuvent être accidents ; il en est ainsi lorsqu'un radar est situé à proximité d'un autre radar fonctionnant à la même fréquence.ils peuvent cependant être intentionnels ; il en est ainsi lorsque, par exemple, votre radar est « brouillé » par un émetteur ennemi. Ce dernier exemple est illustré par la figure ci-dessous.



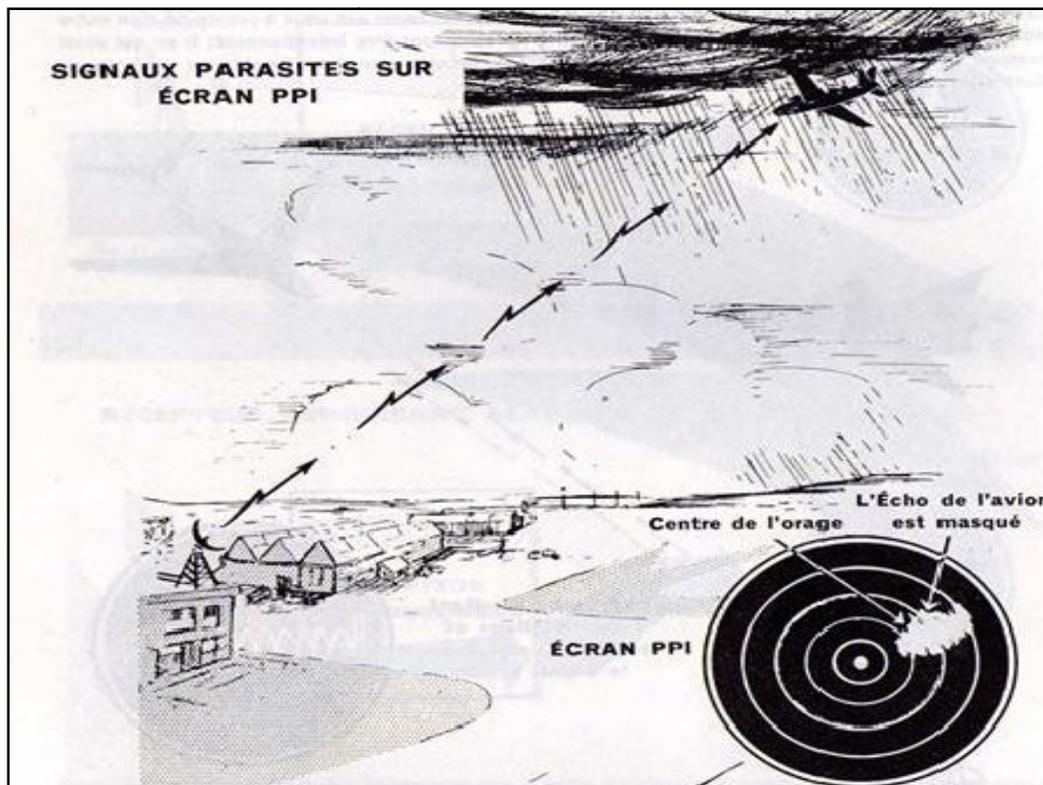
**Figure I.10** : radar est « brouillé » par un émetteur ennemi

#### **I.16.1.4 signaux réfléchis par des phénomènes naturels :**

Les nuages et la pluie d'un orage réfléchissent vers le radar une partie des signaux qu'il a émis. Ce phénomène est utilisé avec profit par les métrologistes qui veulent obtenir des renseignements sur la position et le déplacement de ces perturbations atmosphériques.

Dans une certaine mesure, il est juste de dire que plus la fréquence d'un radar est élevée, et mieux il détecte les nuages orageux. la plupart du temps, les radars météorologiques ont une fréquence supérieure à 10 000 Mc/s.

Les échos renvoyés par les nuages peuvent cependant se révéler fort gênants pour la détection des objets placés à leur proximité ; en effet, les signaux réfléchis par les nuages peuvent alors masquer les signaux que vous recherchez. Pour surmonter cette difficulté, on peut installer une antenne spéciale qui distingue les signaux réfléchis par les nuages orageux de ceux réfléchis par des objets de plus forte densité. Cette technique dont vous entendez encore parler s'appelle la « polarisation variable » [16].



**Figure I.11** : Signaux Parasites sur écran PPI.

#### **I.16.1.5 signaux réfléchis par des monticules naturels :**

Lorsque le radar est utilisé pour la navigation ou les relevés cartographiques, les signaux réfléchis par les obstacles naturels sont précisément les signaux désirés. Mais lorsque le radar est utilisé à la détection d'un objet situé à proximité d'obstacles naturels de dimensions importantes, les signaux réfléchis par ces derniers peuvent masquer les signaux recherchés ; l'écran du PPI est encombré de signaux parasites.

De même, en mer, les icebergs et parfois l'océan, réfléchissent des échos qui (pour les postes radars dont la fonction n'est pas de déceler les icebergs) sont de signaux parasites.

**I.16.1.6 la sphéricité de la terre :**

Elle empêche la détection d'objets situés près du sol, à de grandes distances du radar détecteur.

Ceci est du au fait que les ondes radioélectriques ultra courtes peuvent être considérées (pour toutes les applications pratiques) comme se propageant en ligne droite ; et comme la sphéricité de la terre empêche ces ondes, lorsqu'elles sont émises par un poste radar, d'atteindre les objets situés au delà de la ligne d'horizon, il n'y a pas de signaux réfléchis.

En fait « l'horizon du radar » limite la distance à laquelle les objets peuvent être détecté.il en est donc à peu près de même que pour la vision humaine dont la limite de perception est limitée par l'horizon visible.

Lorsqu'on le compare à la vision humaine, le grand avantage du radar tient au fait qu'il peut détecter des objets situés à une distance de 200 km, et cela même lorsque les conditions atmosphériques sont défavorables ; la seule condition étant que les objets soient situés au dessus de l'horizon du radar. En revanche, et même par une très belle journée, l'œil humain ne peut distinguer un avion situé à une vingtaine de kilomètres.

En dépit de ce que nous venons de dire, l'horizon du radar est parfois supérieur à l'horizon visible ; en effet, en pratique, lorsqu'elles voyagent dans l'atmosphère, parallèlement à la surface de la terre, toutes les ondes radioélectriques sont légèrement inclinées vers le bas.

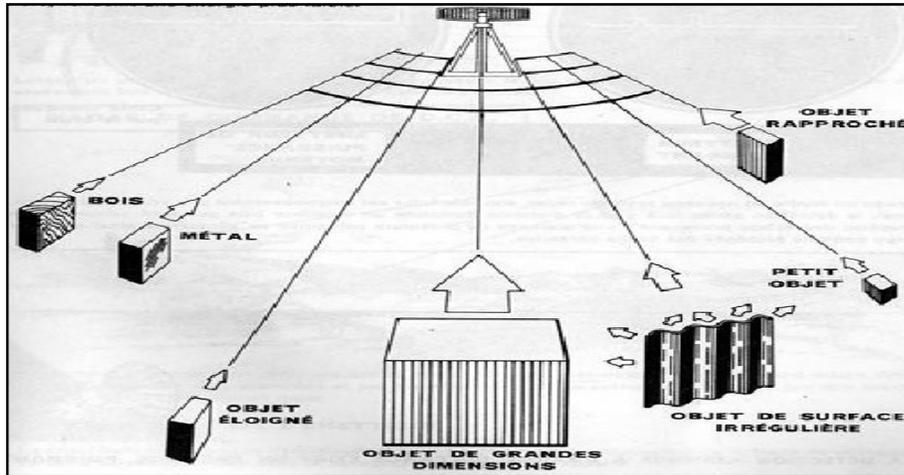
La vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère terrestre des effets spéciaux. Parfois, un poste radar peut décoller des objets situés bien au delà de sa portée normale ; ce phénomène est provoqué par cette vapeur d'eau. En revanche, dans d'autres cas, sa portée peut être considérablement réduite [16].

**I.16.1.7 la dimension et la forme de l'objet ainsi que la matière dont il est fait :**

Les ondes courtes utilisées en radar se propagent dans l'espace et sont réfléchies par tous les objets qu'elles rencontrent. Mais certains objets réfléchissent d'avantage d'énergie que d'autre, la quantité d'énergie réfléchié dépend de la dimension et de la forme de l'objet ainsi que la matière dont il est fait.

Les métaux constituent les meilleurs réflecteurs d'ondes radioélectriques.les objets de grandes dimensions réfléchissent plus d'énergie que les petits, et ceci même s'ils sont tous faite de la même matière. De même, les objets situés à faible distance fournissent un écho plus fort que les objets de même dimension situés à une distance plus importante.

Les objets qui présentent une surface plane au faisceau du radar réfléchissent une énergie accrue alors qu'un objet de la même dimension, et situé à la même distance mais dont la forme est irrégulière, réfléchit une énergie plus faible.



**Figure I.12** : la dimension et la forme de l'objet ainsi que la matière dont il est fait.

#### **I.16.1.8 la puissance de l'émetteur :**

Plus le signal émis est puissant, et plus grande est la portée utile du radar.

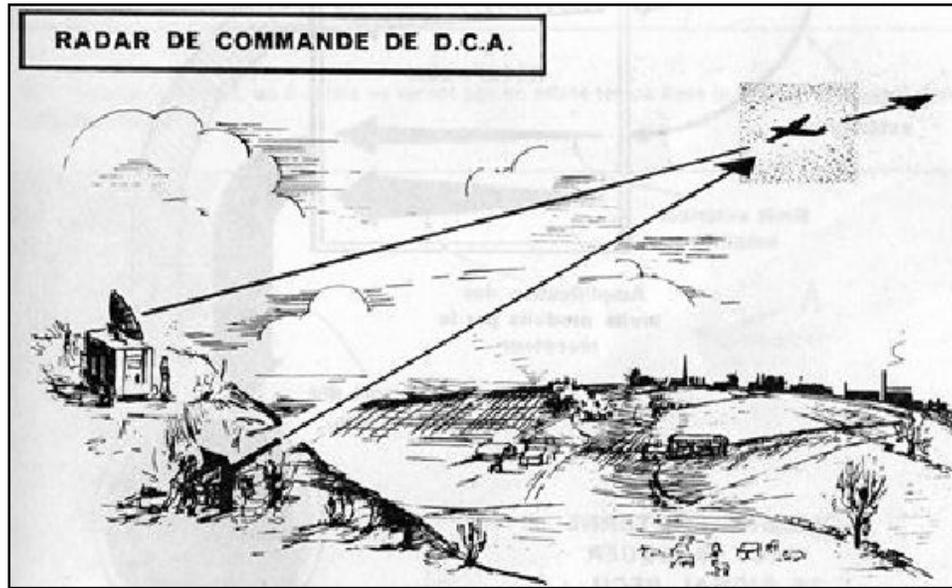
Lorsqu'on étudie un nouveau système radar, son rôle futur est soigneusement pris en considération. Ainsi, la détection aérienne à grande distance demande un émetteur très puissant permettant la réception des échos provenant d'une distance de plusieurs centaines de kilomètres ainsi que leur vision correcte protégée des bruits parasites.

La détection aérienne à grande distance exige un émetteur puissant.

Le radar de recherche en surface est limité par la sphéricité de la terre. Cette limite s'établit entre 30 et 75 kilomètres ; un émetteur de moyenne puissance suffit donc à ce genre de recherche.

**I.16.1.9 Radar de recherche en surface :**

Lorsqu'un poste radar est conçu pour commander le feu de canons anti-aériens, sa portée doit seulement être l'égerment supérieur à celle des canons.

**I.16.1.10 Radar de commande de D.C.A. :**

**Figure I.13** : Radar de commande.

La portée théorique d'un radar est pratiquement illimitée. Cependant, elle est quand même limitée par des considérations pratiques et par les effets des bruits externes et internes (de loin les plus importants) de l'installation radar.

**I.16.1.11 la fréquence de l'émetteur :**

Le choix de la fréquence de l'émetteur est commandé par un grand nombre de facteurs.

**I.16.1.12 la sensibilité du récepteur :**

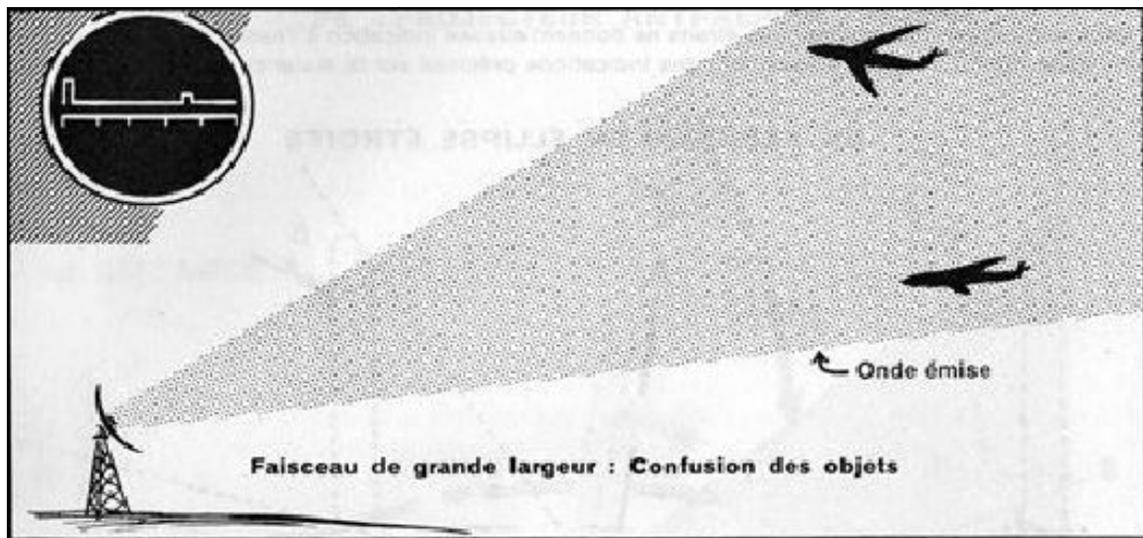
Vous savez qu'en matière de radar, les signaux captés sont extrêmement faibles. Du fait qu'en théorie tout au moins, tout signal reçu, aussi faible soit-il, peut être amplifié pour être amené au niveau nécessaire pour son affichage, ceci ne devrait pas être un problème en soi.

Malheureusement, le récepteur qui effectue l'amplification est lui-même une source de bruits parasites. ces bruits s'ajoutent à ceux capté par l'antenne en même temps que le signal ;il en résulte que si l'ensemble des bruits internes et externes est plus élevé que le signal, ce dernier ne pourra jamais être rendu visible, et cela quelle que soit la puissance de l'amplification réalisée.

Par conséquent, la sensibilité du récepteur radar dépend du niveau des bruits qu'il produit. la qualité d'un récepteur radar est bien évidemment évaluée en termes de « ratio de bruit ». cette mesure se définit comme étant « le rapport signal/bruit à l'entrée (c'est-à-dire à l'antenne) divisé par le rapport signal/bruit à la sortie » (dans le cas présent, ce que l'on voit sur l'écran du tube cathodique). plus le ratio de bruit se rapproche de l'unité, meilleure est la qualité du récepteur.

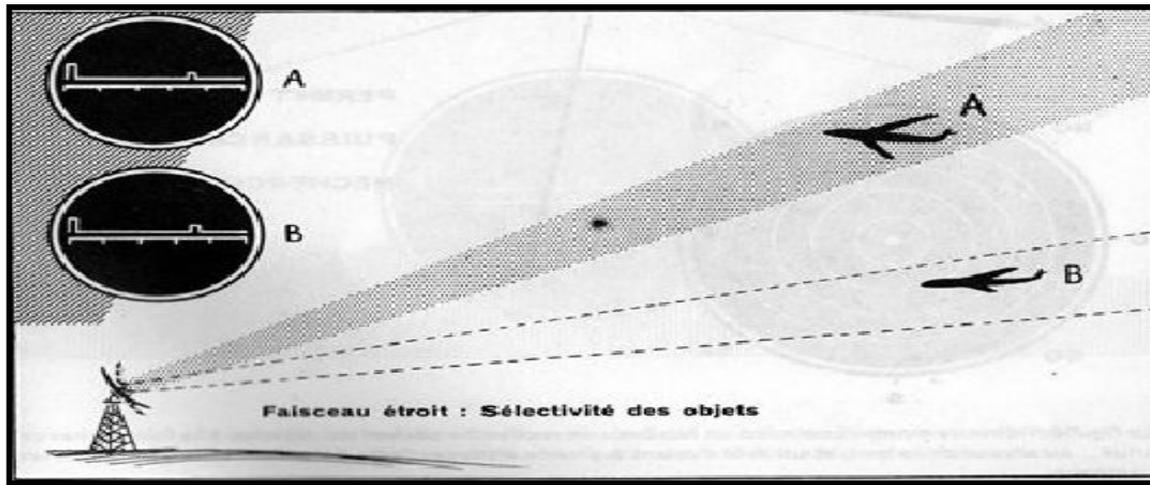
#### **I.16.1.13 la forme et les dimensions du faisceau radar :**

Si le faisceau est large, deux objets situés sur son parcours et à une même distance de l'émetteur seront affichés sous la forme d'un seul echo. ceci est un inconvénient des plus sérieux.



**Figure I.14 :** faisceau large

Si le faisceau est étroit, les 2 objets ne seront pas en même temps dans le faisceau. Et seront donc détectés séparément.

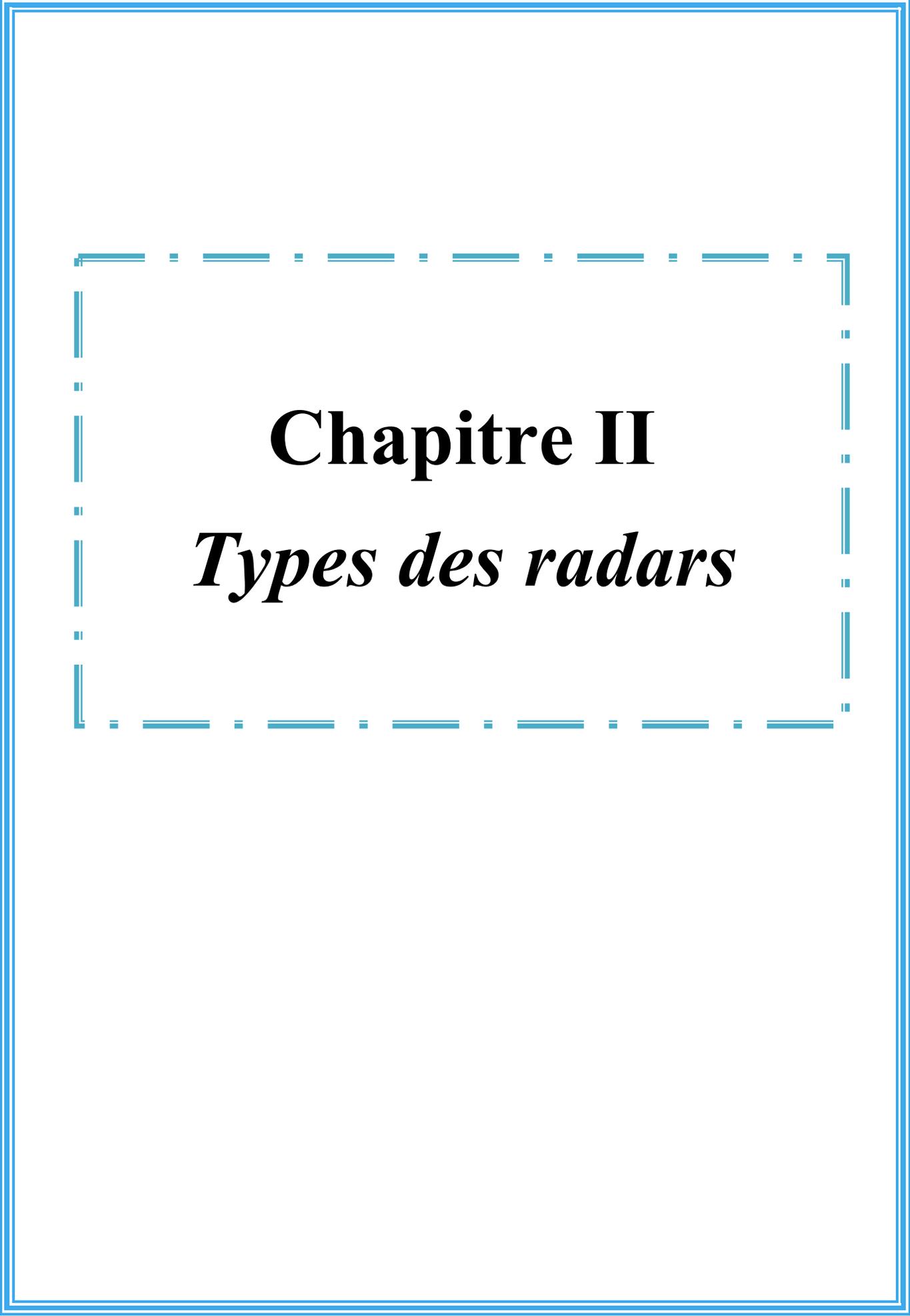


**Figure I.15 :** faisceau étroit

Ainsi, nous voyons que la forme du faisceau doit être adaptée à la forme de l'installation.[16]

### **I.17 Conclusion :**

Le premier chapitre concerne les généralités sur les systèmes radar, tel que l'histoire et la définition de radar avec le principe de fonctionnement et différentes parties des radars primaires et secondaires, dans ce chapitre on donne quelques définitions et la classification de différents types de radar avec leur utilisation.



# **Chapitre II**

## ***Types des radars***

## II.1 Introduction :

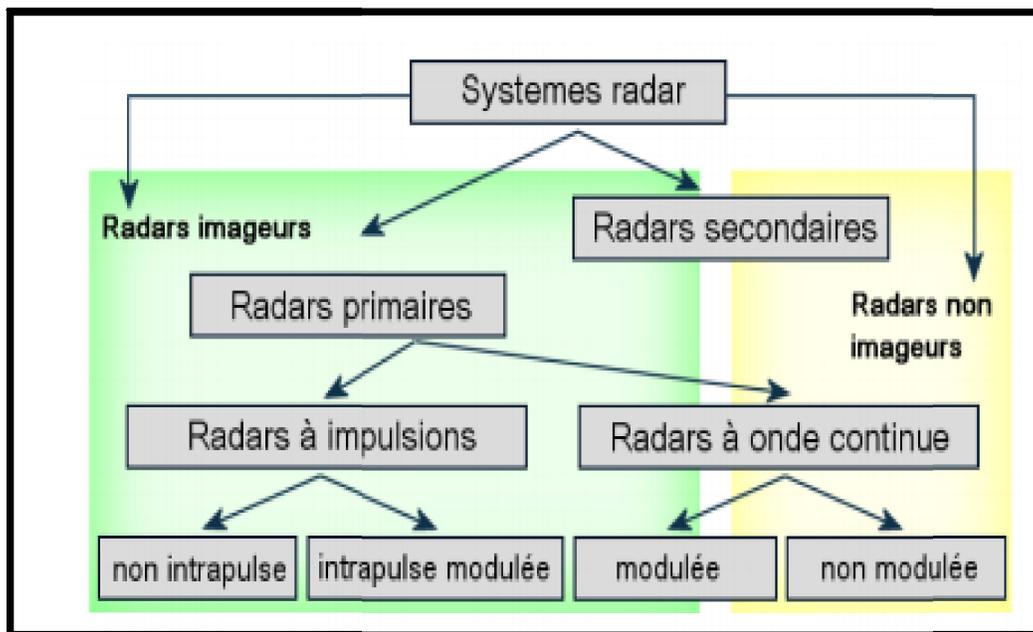
Quand on commence à lire sur le radar , nous rencontrons différents termes qui sont expliqués différemment. Il existe différents types de radar classé de différentes façons.

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

## II.2 Types de radars :

### II.2.1 Classification des systèmes radars en fonction des technologies :

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 II.1 :** Organigramme des systèmes radar.

#### II.2.1.1 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.

- **Un radar non imageur** : sont les cinémomètres radars (les petits, sur le bord de la route...) et le radio altimètres. Ce type de radar est également appelé diffusomètre puisqu'il mesure les propriétés de réflexion de la région ou de l'objet observé. Les applications des radars secondaires non imageurs sont par exemple les dispositifs d'immobilisation antivols installés sur certains véhicules privés récents [17].

### II.2.1.2 Radar primaire :

Ces radars utilisent le principe de l'écho, ils émettent des impulsions d'ondes électromagnétiques et détectent le radar de ces impulsions après leur réflexion sur la cible. la différence de temps entre l'émission et la réception détermine la distance de la cible par rapport à l'antenne.

Il existe aujourd'hui des radars primaires avec déterminations de la position en deux dimensions (2D) (distance et azimuth) ou en trois dimensions (3D) (distance, azimuth, altitude) [18].



**Figure II.2 :** Radar primaire.

**II.2.1.2.1 Avantages :**

- Rien n'échappe au radar primaire. Il présente donc un intérêt stratégique particulier pour le contrôle militaire.
- Il ne nécessite aucun équipement à bord des avions.

**II.2.1.2.2 Inconvénients :**

- Hormis dans le cas particulier des radars militaires tridimensionnels, le radar primaire ne permet pas de connaître l'altitude d'un avion.
- Il ne permet pas d'identifier un avion, uniquement de connaître sa présence.
- Il affiche des échos parasites (relief, précipitations, etc.) [19].

**II.2.1.3 Radar à impulsion :**

Un radar pulsé est un appareil de télédétection qui émet des impulsions puis se met en mode écoute de l'écho renvoyé par les cibles dans l'environnement. Les radars à impulsions émettent des impulsions de signal hyperfréquence à forte puissance, puis il attend l'écho du signal transmis pendant un certain temps avant qu'elle ne transmette une nouvelle impulsion. Radar à impulsions est généralement utilisé lorsque cela est nécessaire pour détecter des cibles au sein d'un certain volume de l'espace et de déterminer la distance et le relèvement et dans certains cas, la vitesse de chaque cible. Le système de radar pulsé nécessitent généralement l'émission de grandes puissances et peut-être très complexe et coûteuse [20].

**II.2.1.3.1 Utilisations des radars pulsés :**

Les radars pulsés sont surtout utilisés pour la détection à longue portée, principalement dans les domaines militaire, du contrôle du trafic aérien, de la météorologie et de la détection par satellite.

**II.2.1.3.2 Diagramme de fonctionnement :**

Radar pulsé varie selon que le transmetteur et le récepteur sont colocalisés (mono-statique) ou à deux endroits différents (bi-statique) :

➤ **Un radar mono-statique :**

Est plus compact. Il inclut les fonctions d'émission, de réception et de synchronisation dans une même unité. La répartition des tâches lors du cycle de fonctionnement est minimisée en évitant les délais reliés au temps de communication dans le circuit.

Une antenne radar avec un système plus complexe à multiplexeur doit être cependant utilisée. Il faut ainsi protéger le récepteur très sensible de toute injection du signal très puissant du transmetteur. Pour y parvenir, un duplexeur sert de lien alternatif entre l'antenne et ces deux composantes. Cela veut aussi dire que le récepteur est mis hors-circuit durant la transmission ce qui cause une distance aveugle près du radar.

➤ **Un radar bi-statique :**

Utilise des antennes différentes pour l'émission et la réception. Cette configuration permet au récepteur de ne pas nécessiter de protection contre le signal du transmetteur. Dans le cas le plus simple, un radar mono-statique pulsé peut servir à un réseau d'antennes réceptrices qui doivent avoir une large ouverture afin de recevoir de plusieurs directions à la fois. Ces antennes peuvent être situées à des endroits très éloignés l'un de l'autre et loin de l'émetteur [21].

**II.2.1.3.3 Avantages et inconvénients des radars bi-statiques :**

➤ **Avantages principaux :**

- Faible coût à l'achat et à l'entretien (si on utilise l'émetteur d'un tiers).
- Pas d'autorisation d'utilisation d'une fréquence (si on utilise l'émetteur d'un tiers).
- Mise en œuvre secrète du récepteur.
- Bonne résistance aux contre-mesures électroniques car le type d'onde, la fréquence utilisée et la position du récepteur sont inconnus.
- Possibilité d'optimiser la surface équivalente radar (SER) résultante des effets géométriques de la cible.

➤ **Inconvénients majeurs :**

- Système complexe.
- Frais de communication entre les différents sites.
- Pas de contrôle de l'émetteur (si on utilise l'émetteur d'un tiers).
- Plus difficile à mettre en œuvre.
- Mauvaise couverture à basse altitude car plusieurs sites doivent être à vue [22].

**II.2.1.4 Radars à ondes entretenues (ou ondes continues) :**

Un radar à onde continue (CW) ou à ondes entretenues est un type de radar caractérisé par l'émission d'ondes en continu, modulées en fréquence ou non. Les radars à ondes entretenues émettent sans interruption un signal hyperfréquence. L'écho est donc reçu et traité continuellement. Pour empêcher l'énergie émise d'entrer directement dans le récepteur et de contaminer celle revenant de la cible, ce type de radar émet et reçoit :

- soit avec deux antennes différentes (radar bi-statique).
- soit mesure l'écart de fréquence entre les deux signaux en utilisant la même antenne.



**Figure II.3 :** Radar à ondes entretenues utilise deux antennes souvent.

Les radars à onde continue sont de deux types :

➤ **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), Détecteur de mouvement (ouverture automatique de la porte d'un supermarché), Ce type de radar peut être utilisé comme un moniteur de rythme cardiaque sans contact. Il est pointé vers le thorax du patient aux soins intensifs et surveille à une fraction de millimètre près la distance.

➤ **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 [23].

**II.2.1.5 Radar secondaire :**

Avec ces radars, la cible doit être équipée 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). La plupart de ces dispositifs sont utilisés pour la navigation et les télécommunications [24].



**Figure II.4 :** radar secondaire.

**II.2.1.5.1 Avantage :**

- Nombreuses informations immédiatement disponibles pour le contrôleur.
- Avion identifié.
- Possibilités nombreuses pour le contrôleur (filtrage, calcul de trajectoire, etc).

**II.2.1.5.2 Inconvénient :**

- Les avions non équipés de transpondeur ne sont pas détectés [25].

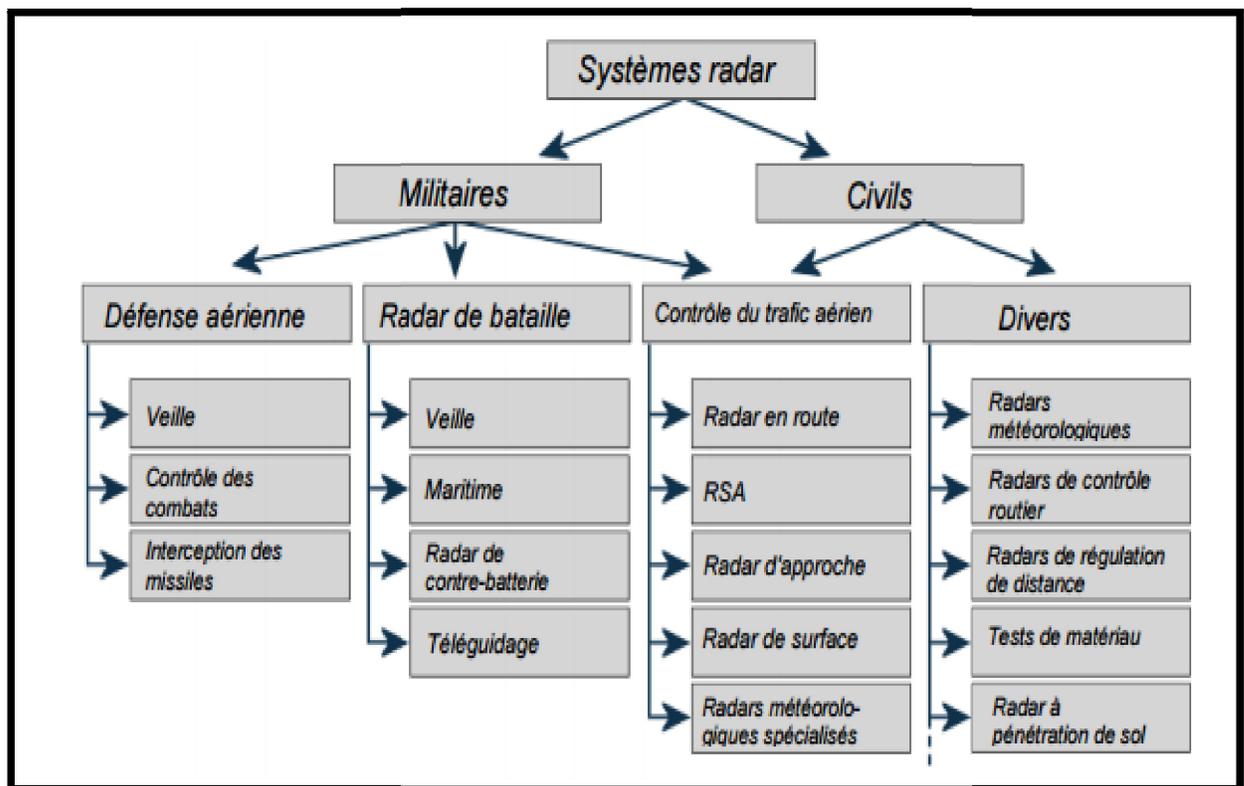
**II.2.1.6 Comparaison entre radar secondaire et primaire :**

Ces deux systèmes ont les avantages et les inconvénients des principes de fonctionnement qu'ils utilisent. Grâce au radar primaire, on obtiendra des informations fiables de direction, de hauteur et de distance de la cible, mais le radar secondaire pourra apporter des informations supplémentaires telles son identification ou encore son altitude. Dans le cas des radars secondaires, la coopération nécessaire de la cible (utilisation d'un transpondeur) permet une très forte réduction de la puissance émise (par rapport à un radar primaire offrant une portée de détection identique). En effet, la puissance émise est un paramètre de l'équation du radar qui doit tenir compte du trajet de l'onde aller et retour dans

le cas du radar primaire, mais uniquement d'un 'aller simple' dans le cas du radar secondaire [26].

**II.2.2 Classification des systèmes radars par usage :**

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 II.5 :** Classification des radars par usage.

**II.2.2.1 Radars 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 obtenues 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.

#### **II.2.2.1.1 Quelques exemples sur les radars de défense aérienne :**

##### **➤ Radar de veille aérienne :**

Les radars de veille aérienne détectent et déterminent la position, la vitesse et la trajectoire des cibles aériennes dans une zone relativement grande (généralement 500 km ou plus sur 360 degrés). On les divise en deux catégories selon les coordonnées qu'ils notent. 2D pour ceux qui donnent la distance et l'azimut des cibles ;3D pour ceux qui ajoute la hauteur.



**Figure II.6 :** Radar de veille aérienne.

➤ **Contrôle des combats :**

Une autre fonction des radars de veille aérienne est de guider la patrouille aérienne au combat. L'information obtenue par le radar passe de l'opérateur aux avions par radio, vocalement ou numériquement.

Dans les chasseurs, la mission primordiale du radar est celle d'un aide à la navigation, de l'interception et de la destruction des avions ennemis. Cela nécessite un suivi des trajectoires.



**Figure II.7 :** radar Contrôle des combats.

➤ **Interception des missiles :**

Le «Patriot» est un système de défense surface-air de la US Army qui comporte un radar spécialisé. Il s'agit d'un système mobile développé à partir du milieu des années 1960 pour intercepter les avions, missiles de croisière et, plus récemment, les missiles de courte portée.



**Figure II.8 :** radar Interception des missiles.

**II.2.2.2 Radar de champ de bataille :**

Les radars de champ de bataille surveillent les mouvements de tout aéronef ou missile dans une zone de combat. Leur opérateurs peuvent alors coordonner le mouvement des troupes amis, les avertir des dangers et éviter les tirs fratricides.

L'équipement radar de l'armée a généralement une portée plus courte et est hautement spécialisé. Sur les navires de la marine, le nombre d'antennes radar spécialisées sont de plus en plus remplacé par un radar multifonctions.

**II.2.2.2.1 Quelques exemples sur les radars de champ de bataille :****➤ Maritime :**

Les radars maritimes sont conçus pour la navigation dans de mauvaises conditions météorologiques. Ils aident le pilote à trouver les obstacles et les autres navires le long de son trajet quand la visibilité est réduite par les précipitations ou le brouillard.



**Figure II.9 :** radar maritime.

➤ **Radar de contre-batterie :**

Le radar de contre-batterie est chargé de localiser la provenance des tirs de canons ou de mortiers de l'ennemi et de permettre ainsi à l'artillerie de les détruire. Il sonde électroniquement l'horizon plusieurs fois par seconde dans le secteur suspecté d'être la source des tirs. Il peut ainsi suivre la position des obus dans le temps. Son système informatique calcule ensuite la trajectoire des projectiles et peut ainsi remonter à leur source. L'analyse est finalement présentée à l'opérateur radar.



**Figure II.10 :** Radar de contre-batterie.

➤ **Téléguidage :**

Un radar de guidage est généralement intégré dans les systèmes de téléguidage des missiles. Ces derniers utilisent les informations pour:

Les missiles peuvent être guidé par un faisceau radar ami jusqu'à la cible;

Les missiles autoguidés vont détecter et suivre leur cible grâce à l'énergie radioélectrique qu'elle réfléchit. Cela peut être fait grâce à un système radar complet à bord du missile ou par un récepteur radar dans le missile qui capte l'illumination produite par un radar ami sur la cible ;Les missiles à détection passive se dirigent grâce à l'énergie émise par la cible (ex. un radar ennemi).



**Figure II.11 :** radar de guidage.

### **II.2.2.3 Radars de contrôle aérien :**

Le contrôle aérien se divise en surveillance du trafic, approche des aéroports et direction à l'atterrissage. Ces différentes phases de la navigation aérienne sont prises en charge par divers types de radars.

#### **II.2.2.3.1 Quelques exemples sur les radars de contrôle aérien :**

➤ **Radars «en route» :**

Utilisant la bande L, ces radars suivent la position, la vitesse et la trajectoire des avions sur une large zone. Habituellement, leur portée va jusqu'à 250 milles nautiques pour leur permettre de coordonner les vols. Ils effectuent une rotation sur 360 degrés.



**Figure II.12 :** radar en route.

➤ **Radars de surveillance aérienne (RSA) :**

Les radars de surveillance aérienne ont une courte portée et servent à coordonner les décollages, atterrissages et déplacement autour d'un aéroport. Utilisant généralement bande E, ils doivent surveiller une zone de 40 à 60 milles nautiques de rayon allant du sol à 7 620 mètres (25 000 pieds).



**Figure II.13 :** radar de surveillance aérienne.

➤ **Radar d'approche de précision (RAP) :**

Ces radars sont une aide à l'atterrissage en cas de mauvais temps. Le pilote suit les instructions du contrôleur aérien qui obtient la position, l'angle de descente et la vitesse de l'appareil à partir de ces radars dont la direction de sondage est celle des pistes.

L'information est envoyée par onde radio en mode audio si elle va au pilote ou en information numérique au pilote automatique.



**Figure II.14 :** Radar d'approche de précision PAR-80 de ITT.

➤ **Radar de surface (SMR) :**

Radar qui permet de localiser les véhicules et aéronefs sur le tarmac et les pistes. Ces radars primaires permettent de coordonner les mouvements pour éviter les accidents. Le terme et l'abréviation ont été uniformisés par l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI). Il s'agit d'un radar primaire qui balaie toutes les zones où des véhicules de surface et les avions peuvent manœuvrer, excluant les quais d'embarquement. Le radar de surface est placé dans un endroit qui a une bonne visibilité de tout l'aéroport, en général sur une tour, et possède un taux de rafraîchissement très rapide. Certains aérodromes ayant plusieurs terminaux possèdent plusieurs radars de surface, chacun s'occupant d'un secteur. L'environnement sondé est fort différent de celui en latitude à cause des nombreux obstacles qui donnent des échos parasites. La qualité de la surveillance est donc souvent mauvaise et limitée. L'identification des cibles n'est souvent pas possible et le contrôleur aérien, du haut

de la tour de contrôle, doit compléter par une identification visuelle. C'est l'un des facteurs limitant les mouvements aériens lors de visibilité réduite.



**Figure II.15 :** radar de surface.

➤ **Radars météorologiques spécialisés :**

Le radar météorologique est un instrument très important dans la panoplie des outils du contrôle aérien. Ces radars permettent non seulement de repérer les précipitations mais également les zones de turbulences, la grêle et bien d'autres conditions météorologiques dangereuses.

Certains de ces radars ont été spécialement conçus pour la navigation aérienne: meilleure résolution spatiale, sondages plus fréquents, algorithmes informatiques spécialement adaptés.



**Figure II.16 :** Radars météorologiques spécialisés.

#### **II.2.2.4 Divers radars civils**

Les radars se retrouvent dans une foule de domaines de télédétection. Cela inclut un grand nombre d'applications civiles.

##### **II.2.2.4.1 Radar météorologique :**

Les radars météorologiques sont utilisés pour détecter les précipitations. Ils sont des radars primaires dont les caractéristiques sont 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.

Ils sont utilisés individuellement ou en réseaux pour suivre les précipitations, estimer leur intensité et les accumulations, détecter les orages ou autres phénomènes météorologiques dangereux.

Les radars météorologiques modernes utilisent des techniques sophistiquées pour transformer le signal brut et en tirer la donnée météorologique. Ils utilisent diverses informations contenues dans le signal de retour : réflectivité, vitesse Doppler et signal à double polarimétrie. D'un autre côté, une technique rapide pour les radars primaires de surveillance aérienne afin de reconnaître les cibles météorologiques est de comparer les signaux provenant de différentes longueurs d'onde d'émission (une technique différente dans ce contexte de celle du radar à diversité de fréquence).



**Figure II.17** : Radar météorologique.

**II.2.2.4.2 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 [27].

**II.2.2.4.3 Test de matériau :**

Des radars spécialisés sont utilisés pour pénétrer les objets manufacturés afin de détecter toute défektivité, sans endommager le matériau.

**II.2.2.4.4 Radar à pénétration de sol :**

Le radar à pénétration de sol est un instrument utilisé en géophysique pour connaître la structure de la couche supérieure du sol à grande résolution. Il fonctionne avec des ondes électromagnétiques de haute fréquence (généralement 10 MHz to 1 000 MHz) qui peuvent pénétrer le sol. L'énergie radiée est réfléchiée par tout changement des propriétés électriques dans la structure du sous-sol. Ce type de radar est utilisé en archéologie, en études environnementales, en ingénierie, en recherche d'indices par la police, etc.

En géologie, le radar de pénétration de sol sert à cartographier les couches du sous-sol, incluant la roche-mère, le niveau de la nappe phréatique, l'épaisseur du sol arable, les couches sédimentaires et les failles géologiques. L'utilisation de ces radars avec d'autres méthodes géophysiques, comme les essais sismiques, la mesure de résistivité et de conductivité électromagnétique du sol, permet de réduire les incertitudes dans l'évaluation d'un site.

D'autres applications incluent la recherche d'objets enfouis comme des tuyaux d'égout, des tambours, des réservoirs souterrains, des câbles, des rochers, cartographier les dépotoirs et leurs tranchés de ceinture à la recherche de pertes de contaminants. L'archéologie et les services policiers sont également des utilisateurs car les radars à pénétrations de sols permettent de localiser des objets avant de creuser [28].

**II.3 Conclusion :**

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 III**

## ***Les radars ultrasons***

**III.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'écholocation.

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 attachant notamment sur la mesure de distance

**III.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 [29]. 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 [30], 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 [31]. 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 [30].

### **III.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 [32].

### **III.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.

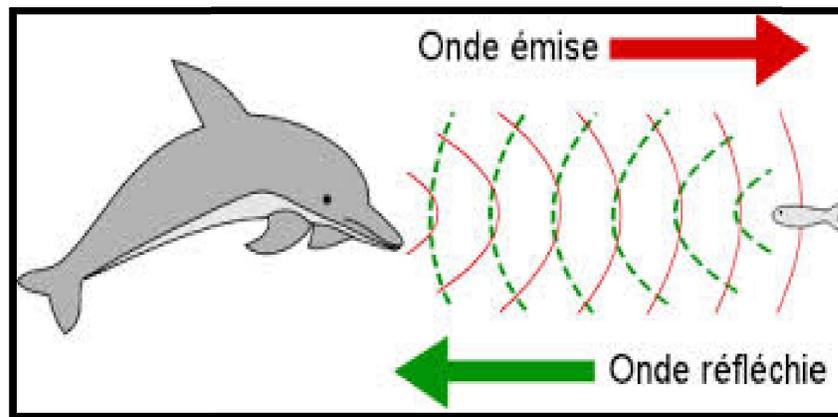
On distingue deux types d'ultrasons selon la gamme de fréquence :

- Les ultrasons de faible puissance qui sont utilisés pour la mesure de distance (télémétrie), le contrôle non destructif, l'échographie et l'acoustique sous-marine.

- 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, thermique ou chimique[33].

### **III.5 Les ultrasons naturels :**

L'homme essaie tant bien que mal de copier le sonar biologique parfait qui équipe les cétacés. Le dauphin est capable d'émettre ou de réceptionner des sons ou ultrasons pour "parler" ou repérer et situer d'éventuelles cibles.



**Figure III.1 :** Les ondes ultrasonores du dauphin.

La chauve-souris dispose d'un système d'écholocation identique dans le principe à celui du dauphin, à la différence près que celui-ci fonctionne dans l'air et non en mer. Acronyme de **sound navigation and ranging**, le sonar est utilisé par les marines de guerre, pour la pêche, pour la navigation maritime et fluviale. Les sonars peuvent être actifs (émission d'un son et écoute de son écho) ou passifs (écoute des bruits) [34].



**Figure III.2 :** Les ondes ultrasonores de la chauve-souris.

### **III.6 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 hyperson [31].

### **III.7 Propagation des ondes ultrasonores :**

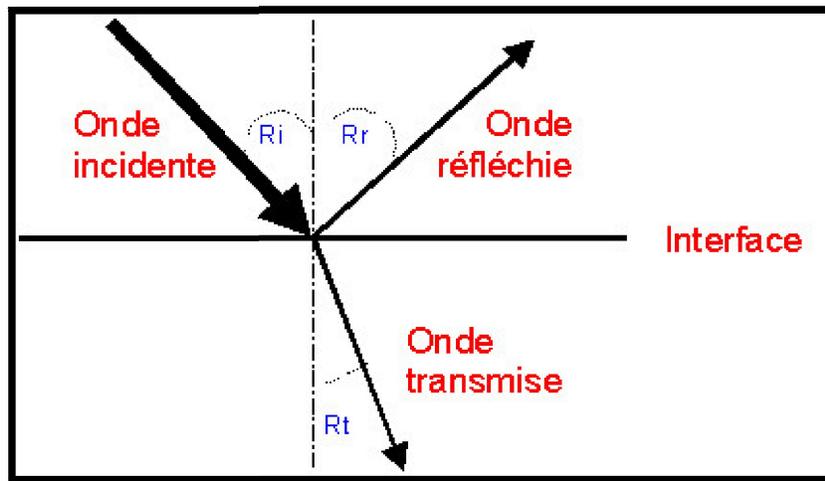
Les ultrasons se propagent à une vitesse qui sera fonction de la nature du milieu (élasticité, densité), indépendamment de la fréquence de l'onde. La relation pour la vitesse d'une onde sonore dans un milieu donné est définie par :

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

Où  $F$  représentent la fréquence et  $\lambda$  la longueur d'onde [33].

### III.8 Réflexion et réfraction des ondes ultrasonores :

Lorsqu'une onde ultrasonore atteint une interface plane séparant deux milieux supposés différents, une partie de son énergie est réfléchiée c'est-à-dire renvoyée vers la source (formation d'un écho ultrasonore), l'autre partie est transmise (voir Figure). L'importance relative de l'intensité de cet écho par rapport à l'onde incidente dépend de l'interface. L'interface acoustique est définie par son coefficient de réflexion qui dépend lui aussi de l'impédance acoustique de chaque milieu [35].



**Figure III.3 :** Réflexions d'une onde ultrasonore.

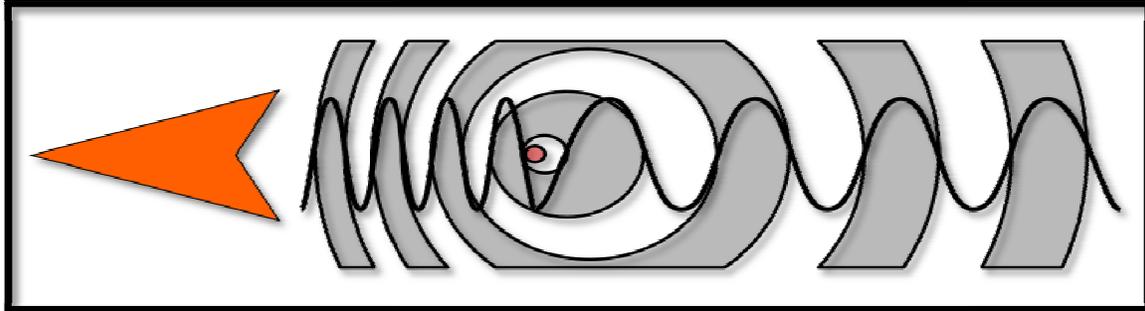
### III.9 Effet Doppler :

#### III.9.1 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 III.4** : Effet Doppler-Fizeau.

### **III.9.2 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 [36].

### **III.10 Les capteurs ultrasons :**

#### **III.10.1 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 important 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 [36].

### III.10.2 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 10 m 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 oeuvre 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 [37].



Figure III.5 : Fonctionnement des capteurs ultrasons.

**III.10.3 Utilisation des capteurs ultrasons :****III.10.3.1 Contrôle de caisse pleine :**

Convient pour des applications comme le contrôle de niveau ou pour la détection de bouteilles vides sur un tapis roulant [38].

**Figure III.6 :** Capteur contrôleur caisse pleine.

**III.10.3.2 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[38].

**Figure III.7:**Capteur détecteur de personnes.

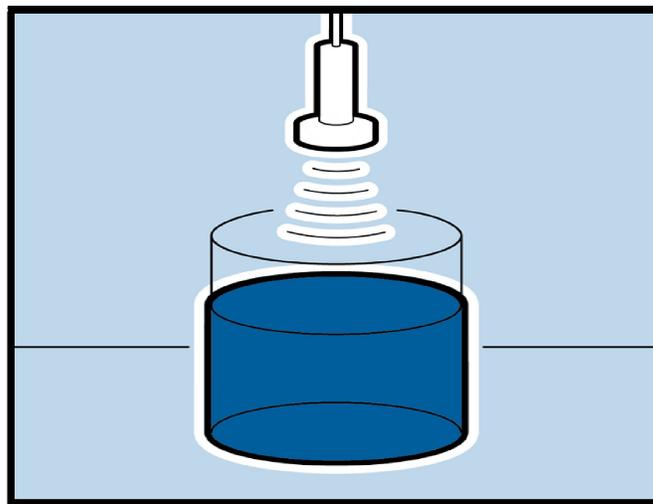
**III.10.3.3 Positionnement :**

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[38].

**Figure III.8 :** Capteur de positionnement.

**III.10.3.4 Mesure de niveau :**

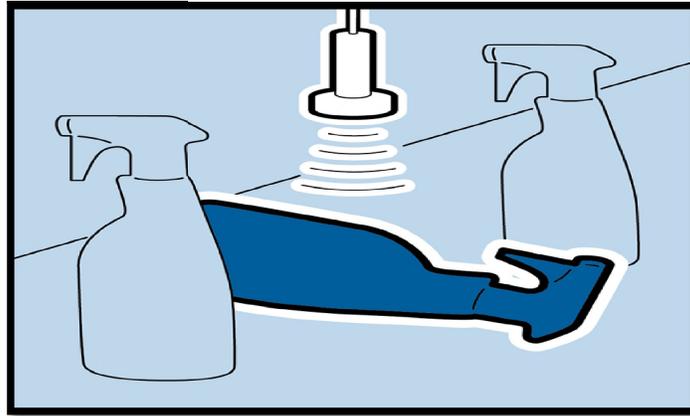
Il est possible de détecter des niveaux de remplissage allant de quelques millimètre à 8 mètres. Des capteurs à ultrasons avec une ou deux sorties de détection pour un réglage min / max[38].



**Figure III.9 :** Capteur mesure de niveau.

**III.10.3.5 Contrôle de qualité :**

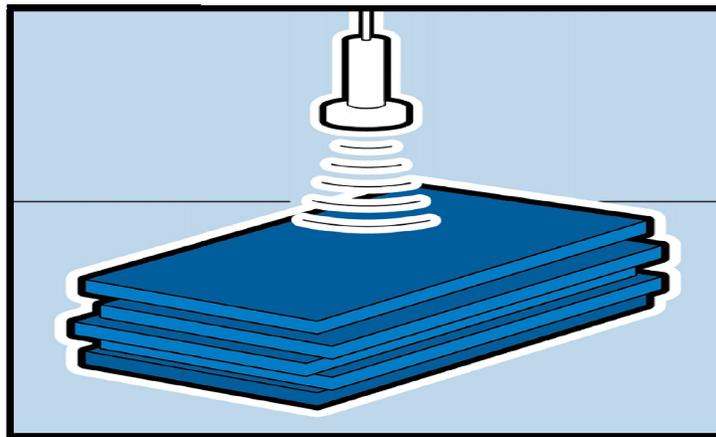
Sur une machine d'emballage. Pour la détection d'objets dans des processus rapides il existe une vaste gamme de capteurs à ultrasons au choix [38].



**Figure III.10 :** Capteur contrôleur de qualité.

**III.10.3.6 Contrôle d'empilage :**

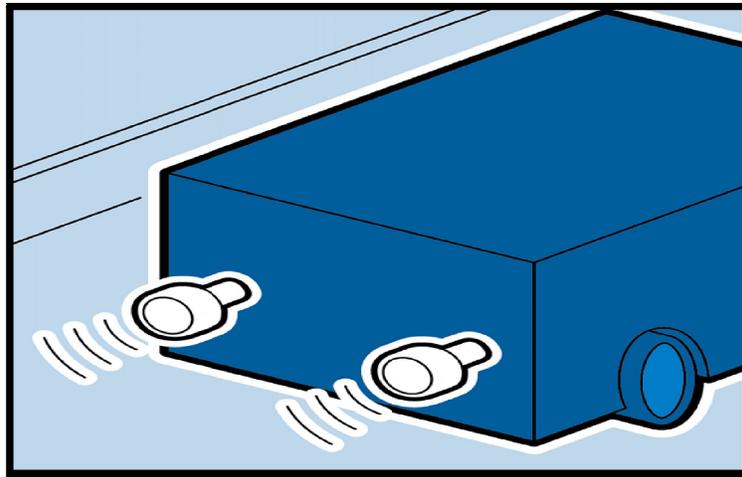
Qu'il s'agisse de plaques de bois, de vitres, de papier ou de plaques plastiques colorées, les capteurs à ultrasons sont parfaitement adaptés au mesurage de la hauteur au millimètre près [38].



**Figure III.11 :** Capteur contrôleur d'empilage.

### III.10.3.7 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[38].



**Figure III.12 :** Capteur détecteur d'obstacles.

### III.10.4 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 :

#### III.10.4.1 La forme des obstacles :

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

#### III.10.4.2 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.

#### III.10.4.3 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[36].

#### **III.10.5 Avantages et inconvénient :**

- **Précision :** Relativement précis mais la précision diminue avec la distance, l'angle de mesure et les conditions de température et de pression.
- **Coût :** Peu chers
- **Sensibilité aux interférences :** Sensible à la température et à la pression. Également sensible aux autres robots utilisant la même fréquence ce qui peut poser problème dans une compétition[39].

#### **III.11 Radars ultrasons :**

##### **III.11.1 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.

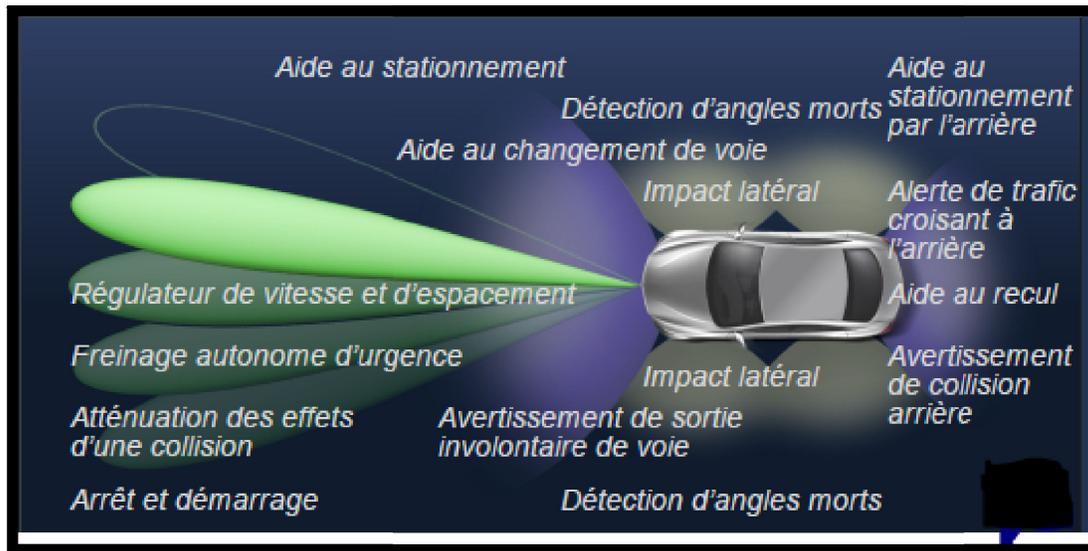
Ils utilisent le même principe qu'un capteur ultrason ; leurs rôles c'est la détection la présence d'un obstacle à distance.

##### **III.11.2 Types de radars ultrasons :**

###### **III.11.2.1 Radars automobile :**

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 [40].



**Figure III.13:** Diverses utilisations d'un radar sur une automobile.

### III.11.2.1.1 types de radars automobiles :

#### ➤ 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.



**Figure III.14 :** Radar de sécurité.

**a) Principe de calcul de la distance de sécurité :**

Nous allons tout d'abord définir comment calculer la distance de sécurité minimale qui doit séparer deux véhicules.

Comme il a été dit dans l'introduction, la loi préconise un temps de 2 secondes séparant les deux véhicules.

Notre véhicule se déplaçant à une vitesse  $v$  en m/s, il parcourt donc une distance  $d = 2 * v$  en deux secondes. Cette distance  $d$  s'exprime en mètres.

Pour que la distance de sécurité soit respectée, il faut que la distance séparant les deux véhicules soit supérieure à  $d$ .

A 50 km/h soit 13,89 m/s, la distance de sécurité est égale à  $d = 2 * 13,89 = 27,78$  m.

A 90 km/h soit 25 m/s, la distance de sécurité est égale à  $d = 2 * 25 = 50$  m.

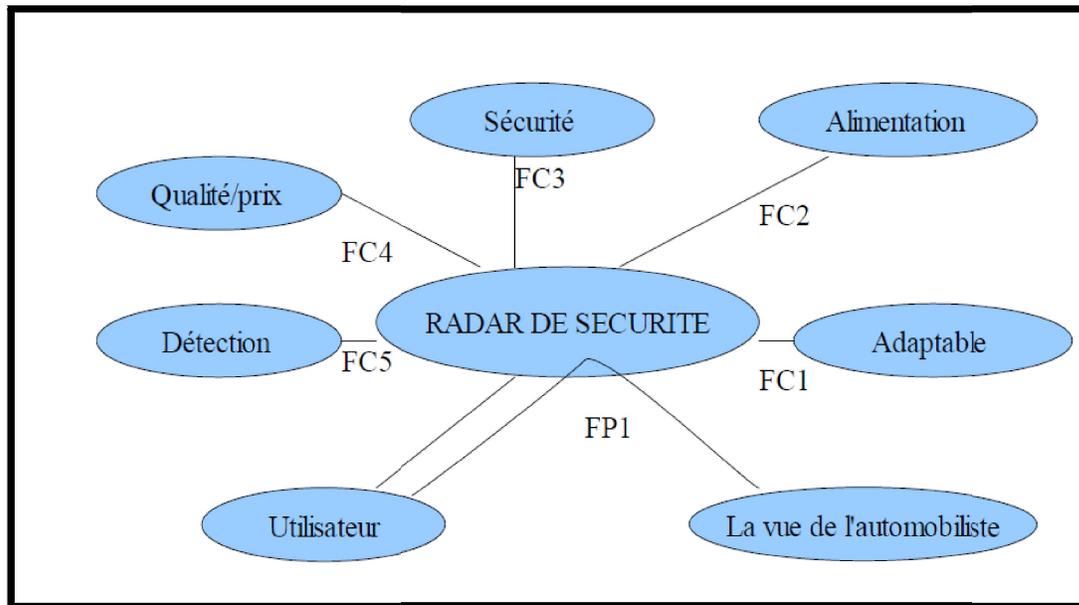
A 130 km/h soit 36,11 m/s, la distance de sécurité est égale à  $d = 2 * 36,11 = 72,22$  m.

**b) Principe de fonctionnement du radar de sécurité :**

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 [41].

Voici une « bête à cornes » du système, permettant de dégager les besoins de ce produit :



**Figure III.15:** Bête à cornes du système complet.

**FP1 :** Prévenir l'utilisateur sur sa distance

**FC1 :** Ne doit pas être trop encombrant

**FC2 :** Alimentation sur l'allume-cigare

**FC3 :** Respecter les normes de sécurité

**FC4 :** Un rapport qualité prix raisonnable

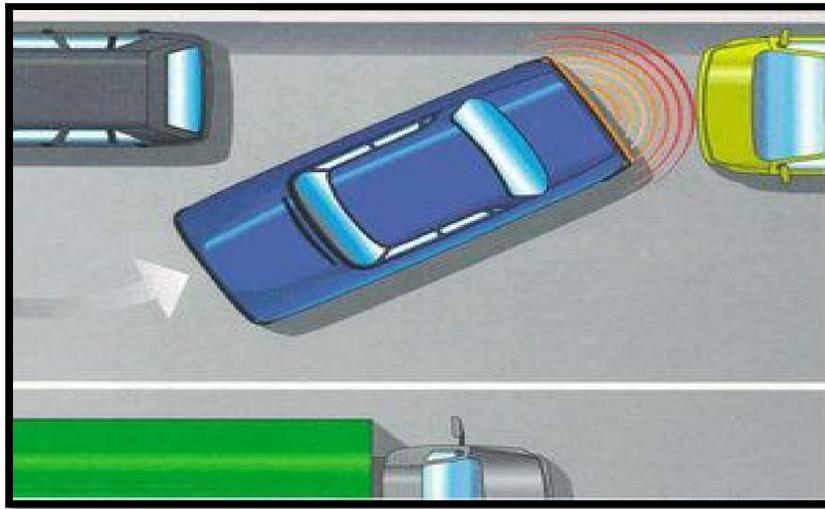
**FC5 :** Doit être capable de détecter une autre voiture à une distance d'environ 50 mètres.

➤ **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 [42].



**Figure III.16** : Radar de recul.

**a) 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.

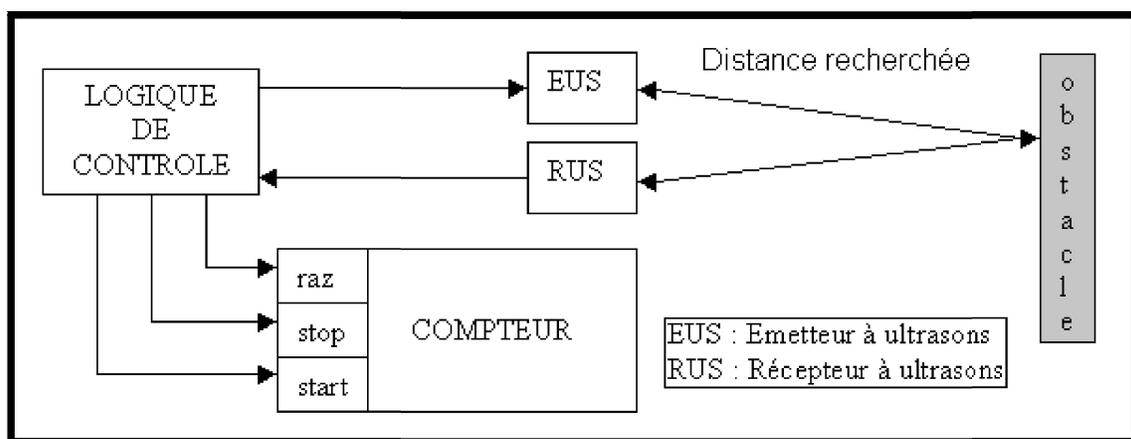
- Les 4 capteurs fixés dans le pare-chocs transmettent une série d'impulsions ultrasoniques.
- Les ondes réfléchies par les obstacles sont reprises par les mêmes capteurs utilisés dans ce cas en récepteur.
- La centrale électronique incorporée, élabore ces signaux, mesure le temps de réaction, vitesse de propagation du son dans l'air et calcule la distance de l'obstacle par rapport au véhicule.



**Figure III.17** : Les modes de détections de radar de recul.

**b) 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 réception du signal.



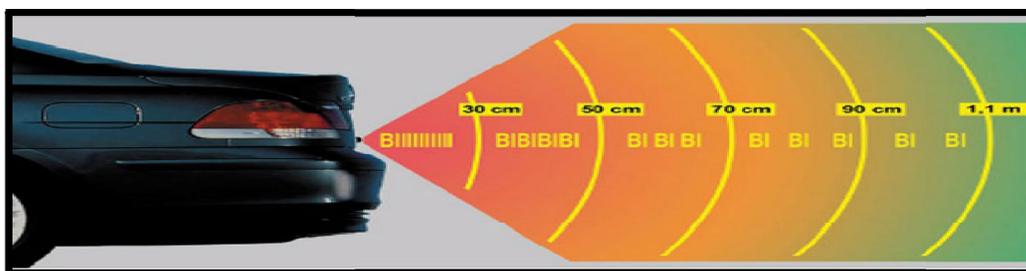
**Figure III.18 :** Principe de mesure.

**c) 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.

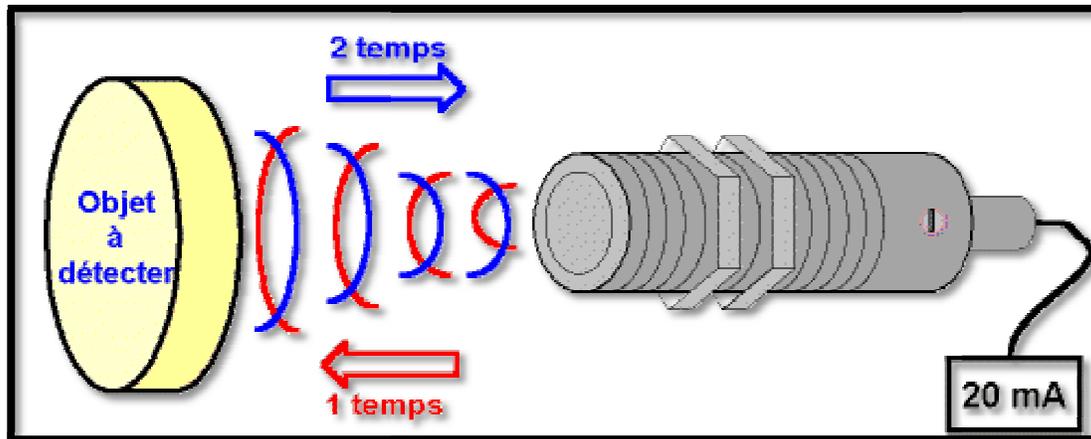
Le signal sonore devient continu lorsque la distance entre l'obstacle et le véhicule est inférieure à 30cm.



**Figure III.19 :** Activation du radar de recul.

**d) 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) [42].



**Figure III.20 :** Méthode de calcul de distance.

On a la relation :

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

Avec D qui correspond a 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.

**e) 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 [42].

➤ **Radars 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 de 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[43].

➤ **Automobile sans pilote :**

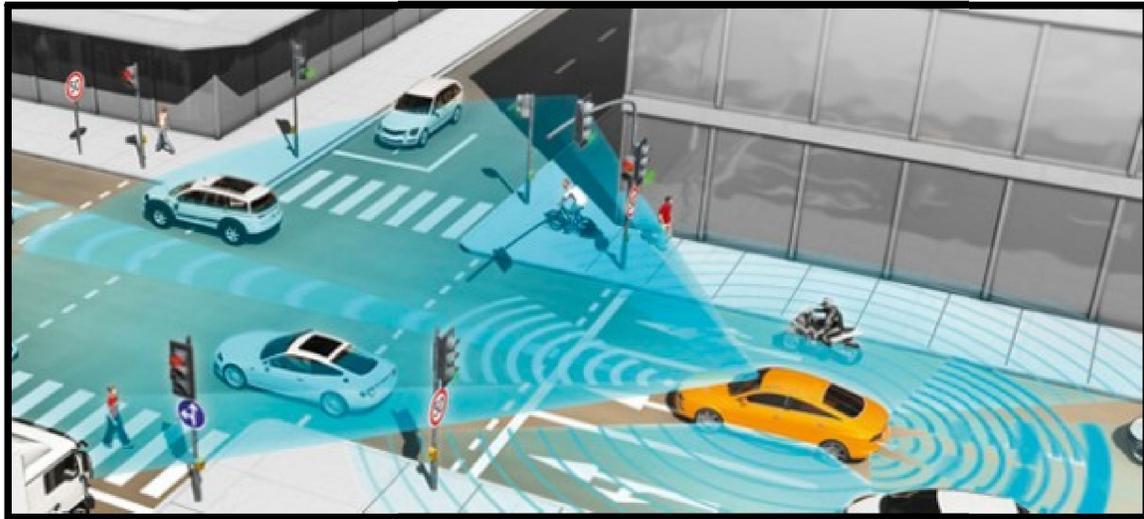
Voiture automate ou voiture autonome est définie comme étant capable de rouler automatiquement et en toute autonomie dans le trafic réel et sur une infrastructure non spécifique sans l'intervention d'un être humain selon wikipedia..

Google médiatise cette avancée technologique depuis octobre 2010, et ce sont aujourd'hui pas moins de 6 constructeurs qui investissent – officiellement – sur la question : Nissan, Volvo, Mercedes, Ford, BMW et VAG sont en lice sur le marché. Tous s'accordent sur une date de lancement : 2020.

**a) Principe de fonctionnement :**

Quel que soit l'équipementier ou le constructeur, une voiture autonome fonctionne toujours sur le même principe : reconnaître l'environnement dans lequel elle évolue afin d'adapter son comportement : vitesse, distance avec les autres véhicules, direction, etc.

Cette reconnaissance passe autant par des radars donnant une vue panoramique, des cameras à haute résolution et un GPS peuvent être associés pour contrôler la conduite du véhicule de façon autonome. L'apprentissage de ces systèmes d'intelligence artificielles est similaire à celle d'un apprenti-pilote et doivent encore faire leur preuves [44].

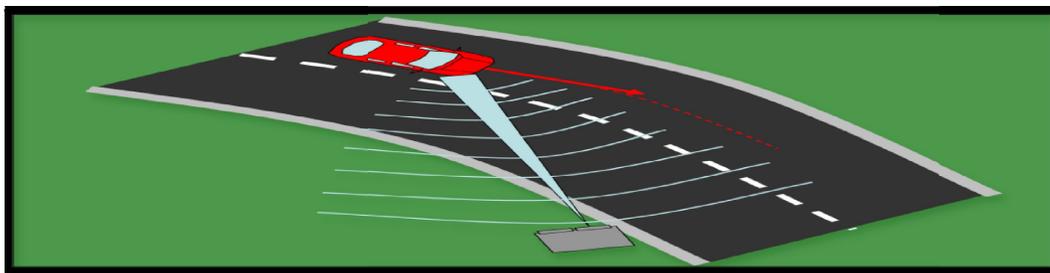


**Figure III.21 :** Automobile sans pilote.

#### **III.11.2.2. Radar de contrôle routier :**

Est un instrument servant à mesurer la vitesse des véhicules circulant sur la voie publique à l'aide d'ondes radar. Ce type est principalement utilisé afin d'identifier les contrevenants aux limites de vitesse.

Ce type de capteur est utilisé massivement au Japon, le plus souvent sur autoroute en raison des facilités de leur maintenance et de l'absence de génie civil sur la chaussée. On n'en rencontre pas en Europe installés de façon permanente, et ils sont seulement utilisés pour réaliser des mesures de nature temporaires : stations mobiles de mesures de débits ou poste de mesure de gabarit [45].



**Figure III.22 :** Radar de contrôle routier.

**III.11.2.2.1 types de radars de contrôle routier :****➤ Pistolet radar :**

Il s'agit d'un radar portatif ayant la forme d'un tube monté sur une poignée qui le fait ressembler à un pistolet. Le policier pointe directement dans la direction d'où viennent les véhicules et après un temps de prise de données, obtient une lecture de la vitesse. On utilise également ce type de radar pour mesurer la vitesse dans certains sports.



**Figure III.23 :** Pistolet radar.

**➤ Radar embarqué :**

En France, des radars équipés d'appareils photo numériques sont embarqués dans plusieurs types de véhicules : des breaks Renault Mégane et Laguna, Ford Mondeo, Opel Mériva et Peugeot 306 banalisés.

De nouveaux radars, appelés radars mobiles de nouvelle génération (RMNG), sont mis en service en France le 15 mars 2013. Le dispositif de photographie infrarouge est situé dans la plaque avant de la voiture banalisée.



**Figure III.24 :** Radar embarqué.

➤ **Radar fixe :**

Il existe plusieurs types de radar automatiques montés de façon permanente et qui permettent de mesurer la vitesse des véhicules. Ceux-ci sont placés à des endroits stratégiques et sont équipés d'une caméra numérique pour photographier et identifier le contrevenant. [46]

**III.12 Conclusion :**

A l'issu 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 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.



# ***Conclusion générale***

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

Nous nous sommes plus particulier intéressés aux radars ultrasons. Maintenant, à notre époque contemporaine, elle est considérée comme la technique de sondage la moins dangereuse avec un rapport information/coût très élevé. 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.

- [1] Wikipedia, « radar », [www.wikipedia.org/wiki/Radar](http://www.wikipedia.org/wiki/Radar).
- [2] Neville, Inc Valkenburgh Nooger « Radars, principe et fonctionnement », Gamma, 1962.
- [3] Wikipedia, « radar », [www.wikipedia.org/wiki/Radar](http://www.wikipedia.org/wiki/Radar).
- [4] Mr S.Meguelati, « Cours Radar », Université De Blida, 5<sup>ème</sup> Année Ingénieur, Département Aéronautique (Option: Installation), Année: 2009/2010.
- [5] CHABBI Souad, « détection adaptative CFAR a censure automatique basee sur les statistiques d'ordre en milieux non gaussiens », université Constantine, année 2008.
- [6] CHABBI Souad, « détection adaptative CFAR a censure automatique basee sur les statistiques d'ordre en milieux non gaussiens », université Constantine, année 2008.
- [7] champs électromagnétique ED 4212, institut national de recherche et de sécurité, décembre 2013.
- [8] M. Skolnik. « Introduction to radar systems ». Mc-Graw-Hill, New York, 1981
- [9] F. Le Chevalier. Principles of Radar and Sonar Signal Processing. Artech House, Norwood, MA, 2002.
- [10] Introduction à la télédétection radar, Centre canadien de télédétection, Ressources naturelles Canada.
- [11] Shirley T, Coentin le Het Cyran A, L'effet Doppler, site : [www.cycoshi-waves.eklablog.com/l-effet-doppler-c17524759](http://www.cycoshi-waves.eklablog.com/l-effet-doppler-c17524759).
- [12] champs électromagnétique ED 4212, institut national de recherche et de sécurité, décembre 2013.
- [13] Mr S.Meguelati, « Cours Radar », Université De Blida, 5<sup>ème</sup> Année Ingénieur, Département Aéronautique (Option: Installation), Année: 2009/2010.

[14] BOVE Sacha, « mesure de niveau par radar », 1<sup>er</sup> science et technique de laboratoire.

[15] champs électromagnétique ED 4212, institut national de recherche et de sécurité, décembre 2013.

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

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

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

[19] radar primaire et secondaire, [www.simmer.fr/archives/189](http://www.simmer.fr/archives/189)

[20] 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.

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

[22] Wikipedia, « radar bi-statique », [www.wikipedia.org/wiki/Radar\\_bistatique](http://www.wikipedia.org/wiki/Radar_bistatique)

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

[24] ACHACHI Abdelali, «Modélisation d'un radar secondaire pour un trafic Aérien», Magister En Electronique Option : Micro-ondes, Université De Batna, 02/03/2010.

[25] site : <http://www.simmer.fr/archives/189>

[26] ACHACHI Abdelali, «Modélisation d'un radar secondaire pour un trafic Aérien», Magister En Electronique Option : Micro-ondes, Université De Batna, 02/03/2010.

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

- [28] Christian Wolff, Traduction En Langue Française Et Révision: Pierre Vaillant Et Christophe Paumier, Version 9 Juillet 2011.
- [29] Gilles MAURIS, « capteurs ultrasonors intelligents », thèse de Doctorat, université de Savoie. 1992
- [30] Michel BRUNRAI, « Fundamentals of Acoustics », ISTE Ltd, 2006
- [31] Jin S, Moon G, Won Chang Lee, Dong Won Jung , « Identification and distance detection for ultrasonic sonors by a correlation method », Proceedings of the 17<sup>th</sup> World Congress The International Federation of automatic control seoul, korea, de 6 au 11 juillet 2008.
- [32] Laboratoire Roberval - Unité de Recherche en Mécanique, UMR CNRS 6066, Université de Technologie de Compiègne, BP 20 529, 60 205 Compiègne Cedex.
- [33] KANOUNI Lahcen, « conditionnement d'un capteur a ultrasons a l'aide d'un FPAA », université HADJ Lekhder de batna, decembre 2013.
- [34] Jean-François RÉCOCHÉ, « Radars et effet Doppler », Dossier thématique n°5.
- [35] Valentin Magori , « Ultrasonic Sensors in Air », IEEE ULTRASONIC SYMPOSIUM, 1994.
- [36] Christian Wolff, Traduction En Langue Française Et Révision: Pierre Vaillant Et Christophe Paumier, Version 3 aout 2011.
- [36] Génération Robots, [www.generationRobots.com](http://www.generationRobots.com)
- [37] Microsonic GmbH, « principe de fonctionnement des capteurs ultrasons », Allemagne.
- [38] Microsonic GmbH, « Utilisation des capteurs ultrasons », Allemagne.
- [39] capteurs ultrason, [www.kamali.e-monsite.com](http://www.kamali.e-monsite.com).
- [40] Christian Wolff, Traduction En Langue Française Et Révision: Pierre Vaillant Et Christophe Paumier, Version 9 Juillet 2011.
- [41] Adrien GRELET, Nicolas BENEVAULT , « le radar de securité », institut universitaire de technologie de Tours, année 2006/2008.

[42] Leonard Cyril, Bourdette Romain, « radar de recul », Etablissement Saint Joseph, année 2008-2009

[43] Pierre Vaillant Et Christophe Paumier, « radars de voiture », année 2009

[44] voiture sans conducteurs, [www.itlink.fr](http://www.itlink.fr).

[45] Cohen S., Ingénierie du trafic routier, Éléments de théorie du trafic et applications, Presses de l'ENPC, Paris, 1993, (2ème édition).

[46] Wikipedia, « radar de contrôle routier », [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org).