

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la  
Recherche Scientifique**

Université Saad d'ahleb institut d'aéronautique Blida

**MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

**En** : AERONAUTIQUE

**Spécialité** : CNS/ATM

**Sujet**

**Etude et simulation de la réponse d'un signal  
radar**

**Réaliser par :**

*Soualah Nadir*

*Lounici Mohammed*

**promotrice :**

**Mme chikhe**

## *Remerciements*

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

Nous souhaitons adresser 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.

Ces remerciements vont tout d'abord à l'équipe de la Direction Nationale de la Navigation Aérienne « **DTNA** » à leur tête **Mme BRAHIMI Fadila** et **Mr DJABRI Mounir**, pour leurs accueils, leurs disponibilités, collaboration et amabilité qui nous a permis d'avoir toutes les informations et données nécessaires pour réussir ce travail.

Nous remercions sincèrement **Mme Chikhe** qui a accepté de diriger ce travail de Master, ainsi que pour sa disponibilité et pour ses précieux conseils et précieuses orientations.

Nous remercions également les membres de jury de nous avoir fait l'honneur en acceptant d'examiner et de juger notre travail.

Nos remerciements vont aussi à tous nos professeurs, enseignants et toutes les personnes qui nous ont soutenus jusqu'au bout, et qui n'ont pas cessé de nous donner des conseils très importants en signe de reconnaissance.

A nos parents de nous avoir encouragés, supportés, épaulés et avoir cru en nous tout au long de ces années, sans eux nous ne serions pas là.

Finalement, nous remercions tous ceux qui ont participé de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail avec un conseil ou autre.

Merci à tous.

# *Résumé*

Dans ce travail de mémoire, nous avons étudié de prendre connaissance sur le système radar qui est inventé depuis la deuxième guerre mondiale .on rappelle le principe fonctionnement de système radar et on donne aussi les différentes formes d'onde et la fonction d'ambigüité .le système radar a été simulé a l'aide de logiciel Matlab en basant sur sa fonction ambigüité, les résultats de la simulation montrent les performances de ce système (vitesse, distance, direction).

**Les mots clés :** le système radar, radar impulsional, fréquence doppler, détection obstacle, forme d'ondes, la fonction d'ambigüité

# *Abstract*

In this work, we have studied and presented the radar system that has been invented since the Second World War, we recall the Principe of operation of radar system and also give the different types of this system. Thus, provide an overview of calculations of the different waveforms and ambiguity function. the radar system was simulated using Matlab software based on its ambiguity function .the results of the simulation show the performances of this system (speed, distance ,direction)

**Keywords:** radar system, puls radar , Doppler frequency , target detection , waveforms, ambiguity function

# Table de matière

## Chapitre 1

1-1-Introduction au Radar .....	2
1-2-Historique .....	3
1-3-Généralités sur les Radars .....	4
1-3-1-Définition et principe du Radar .....	4
1-3-2-Classification des Radars .....	5
1-3-3- Principe de fonctionnement d'un radar élémentaire .....	7
1-3-4-Les fréquences radar .....	8
1-4- Les type de radar .....	9
1.5 Chaîne de transmission radar .....	12
1.5.1 Radar de surveillance .....	12
1.5.2 Radar d'approche (TMA) .....	12
1.5.3 Radar de grande d'approche .....	12
1.5.4 Radars de contrôle en route moyenne et longue portée.....	12
1.6 TX/RX .....	13
1.6.1 Radars avec Emetteur à tubes (Magnétron ou Klystron) .....	14
1.6.2 Radars avec Emetteur Etat Solide.....	15
1.7 Antenne .....	16
1.7.1 Équation général.....	16
Conclusion .....	17

## Chapitre 2

(Radar primaire caractéristique et problématique)

2.1Caractéristique .....	19
2.1.1 Nature des cibles .....	19
2.1.2 Bande de fréquence .....	20
2.1.3 Horizon radioélectrique.....	20
2.1.4 Volume de résolution.....	23
2.1.5 Pouvoir discrimination en distance.....	23
2.1.6 Pouvoir séparation angulaire .....	24
2.1.7 La portée radar .....	25
2.1.8 Nature de la cible2 .....	26

2.1.9 Nature de la réponse.....	26
2.1.10 Théorie Doppler .....	26
2.2 Problématiques.....	27
2.2.1 Influence des lobes secondaires sur la détection.....	27
2.3 Résolution.....	29
2.3.1 Au niveau de l'aérien.....	29
2.3.2 Au niveau de Récepteur.....	30
2.4 Réception du signal dans le bruit .....	31
2.4.1 Phénomène .....	31
2.4.2 Solution .....	31
2.5. Réponse en seconde récurrence .....	33
2.5.1 Phénomène .....	33
2.5.2 Solution .....	34

## Chapitre 3

3.1 Objectifs .....	37
3.2 Les base du radar .....	37
3.3 Travaux connexes .....	37
3.4 Collecte de données .....	38
3.5 Approches techniques .....	39
3.6 Inutilisations .....	39
3.7 Signal de porteuse .....	40
3.8 Impulsions .....	40
3.9 Signal transmis .....	41
3.10 Signal reçu .....	43
3.10.1 Décalage Doppler .....	43
3.10.2 partie "off" .....	45
3.10.3 délais .....	46
3.10.4 Bruit gaussien .....	46
3.11 Estimation de la plage .....	48
3.12 Corrélation .....	49
3.13 Autocorrélation .....	49
3.14 Filtrage adapté .....	50
3.15 Résultats intermédiaires .....	52
3.16 FFT pour validation .....	52
3.17 Points forts .....	53
3.18 Faiblesses .....	53
3.19 conclusion général .....	58

# *Liste des figures*

## Chapitre 1 :

<b>Figure 1-1</b> : Principe de fonctionnement d'un Radar.....	4
<b>Figure 1-2</b> : Radar bi-statique.....	5
<b>Figure 1-3</b> : Signaux du radar continu.....	6
<b>Figure 1-4</b> : Signaux du radar à impulsions.....	7
<b>Figure 1-5</b> : Principe de fonctionnement.....	7
<b>Figure 1-6</b> : Emetteur / Récepteur.....	13
<b>Figure 1-7</b> : Radar Pseudo-Cohérent.....	15
<b>Figure 1-8</b> : Radar Cohérent.....	15
<b>Figure 1-9</b> : Image d'une Antenne.....	16
<b>Figure 1-10</b> : Equation Radar.....	16

## Chapitre 2 :

<b>Figure 2-1</b> : Bande de Fréquence.....	20
<b>Figure 2-2</b> : Horizon Vertical.....	21
<b>Figure 2-3</b> : Mesure Distance Plot.....	21
<b>Figure 2-4</b> : Impulsion Radar.....	22

<b>Figure 2-5</b> : Nombre Coup au But.....	23
<b>Figure 2-6</b> : Volume De Résolution.....	23
<b>Figure 2-7</b> : Résolution en Distance et en Azimut.....	25
<b>Figure 2-8</b> : Portée Radar.....	25
<b>Figure 2-9</b> : Théorie Doppler.....	27
<b>Figure 2-10</b> : Influence des Lobe Secondaire.....	28
<b>Figure 2-11</b> : Loi d'illumination.....	30
<b>Figure 2-12</b> : Relation Signal /Bruit.....	31
<b>Figure 2-13</b> : Probabilité De Fausse Alarme.....	33

### *Chapitre 3 :*

<b>Figure 3-1</b> : Schéma fonctionnel d'ensemble.....	39
<b>Figure 3-2</b> : Entrée utilisateur à la ligne de commande.....	39
<b>Figure 3-3</b> : Impulsions avec une PRF de 8 kHz.....	41
<b>Figure 3-4</b> : Superposition du signal de pulse train et de la porteuse.....	42
<b>Figure 3-5</b> : Impulsion unique du signal transmis.....	43
<b>Figure 3-6</b> : Signal décalé Doppler complet.....	44
<b>Figure 3-7</b> : Signal décalé doppler zoomé.....	44
<b>Figure 3-8</b> : tracé signal de porteuse.....	45
<b>Figure 3-9</b> : Signal décalé Doppler avec partie "off".....	46

<b>Figure 3-10</b> : Signal reçu sans bruit.....	47
<b>Figure 3-11</b> : Signal reçu avec bruit gaussien.....	48
<b>Figure 3-12</b> : Corrélation.....	49
<b>Figure 3-13</b> : autocorrélation.....	50
<b>Figure 3-14</b> : Schéma fonctionnel du filtre apparié [6].....	50
<b>Figure 3-15</b> : Réponse du filtre correspondant au domaine temporel.....	51
<b>Figure 3-16</b> : Réponse du filtre de correspondance du domaine de fréquence.....	52
<b>Figure 3-17</b> : Signal constant avec bruit gaussien ; SNR = 30.....	53
<b>Figure 3-18</b> : Signal reçu, 2e moitié perdu.....	54
<b>Figure 3-19</b> : Réponse corrélée fortement comprimée.....	55
<b>Figure 3-20</b> : Fonction d'autocorrélation décalée et cuto.....	56
<b>Figure 3-21</b> : Signal reçu avec un rapport signal sur bruit de 1.....	57

## **Liste des tableaux :**

<b>Tableau 1-1</b> : les fréquences radar.....	9
--	---

# Introduction générale

L'histoire du **radar** est une branche de l'histoire de l'électronique qui devient un des fondements de la stratégie militaire du XX siècle. Dès le début de ce siècle, plusieurs inventeurs, scientifiques et ingénieurs ont contribué au développement du système radar. Aujourd'hui, l'utilisation du radar s'est étendue à d'autres domaines que le domaine militaire. On l'utilise dans l'aviation civile, l'astrométrie, le contrôle maritime, la détection météorologique et le contrôle du trafic routier (détecteurs de vitesse sur les routes), pour prévention sur les moyens de transport.

Le mot radar vient de l'acronyme anglais « Radio Détection And Ranging » qui signifie littéralement « détection et télémétrie radio ». Le principe du radar est basé sur la propagation des ondes électromagnétiques ou plus exactement sur celle des ondes radiofréquences(RF). La réflexion de l'onde sur une cible permet d'en détecter la présence puis d'en déduire la position et la vitesse et imagerie de faciliter le traitement en vue de la détection, le signal émis par l'émetteur du radar possède certaines caractéristiques qui définissent ce que l'on appelle la forme d'onde.

Dans le but de pouvoir détecter une cible, il est nécessaire de pouvoir relier le signal qu'elle réfléchit à la forme d'onde émise. Pour déterminer quel est le signal utile émis le plus adapté pour améliorer les spécifications du radar souhaitées (compromis entre la précision de la vitesse et de la distance de la cible détectée) on se base sur l'utilisation d'une fonction appelée fonction d'ambiguïté.

Ce mémoire de recherche s'organise de trois chapitres principaux:

Dans le premier chapitre, nous faisons une étude générale sur les radars en rappelant leur théorie et leur principe de fonctionnement aussi en évoquant leurs différents types.

Dans le deuxième chapitre, après une définition sur la notion de fonction d'ambiguïté on travaille à montrer, ses principales propriétés, les principaux facteurs sur les quels est basé, en général, le choix de la forme d'ondes utilisé par le système radar.

Le troisième, qui est le dernier chapitre de ce manuscrit, porte sur des exemples de simulations avec lesquels on peut analyser les performances de notre système radar en se basant principalement sur des graphes obtenus par la programmation des modèles

mathématiques sous le logiciel Matlab et concernant en généralement la fonction d'ambiguïté.

Le manuscrit se termine, bien sùre, par une conclusion générale et des perspectives.

# Chapitre 1

## **1-1-Introduction au Radar :**

Le Radar est un acronyme pour Radio Détection And Ranging. Le système de radar utilise des ondes électromagnétiques pour déterminer la portée, l'altitude et la vitesse d'une cible fixe ou mobile. En raison de la propriété des ondes radio qui leur permet d'être réfléchis par des objets solides, le radar peut être utilisé pour détecter n'importe quelle cible qui possède une grande surface suffisante pour que les ondes «rebondissent» sur elle et se retournent.

Le radar est également utilisé pour cartographier des surfaces qui ne sont pas facilement accessibles ou pour la fabrication des cartes de grandes régions. Pendant la seconde guerre mondiale, le radar a été utilisé pour détecter les avions ennemis et a été utilisé comme un système d'alerte précoce. Après la fin de la seconde guerre mondiale le radar a trouvé l'utilisation dans l'arène commerciale pour la gestion du trafic aérien, ainsi que pour l'étude et la prévision des conditions météorologiques.

Le radar est aussi utilisé en astronomie, les systèmes marins, les systèmes de surveillance océanique, la surveillance de l'espace extra-atmosphérique, surveillance des précipitations météorologiques, altimétrie, systèmes de contrôle de vol et pénétrant dans le sol. Avec l'avènement des processeurs DSP à grande vitesse, le radar est également utilisé pour créer une haute définition des cartes du sol sur de vastes zones.

## **1-2-Historique :**

Il serait vain de chercher à attribuer l'invention du Radar à un savant en particulier, ou à une nation unique. On doit plutôt considérer le Radar comme le résultat de l'accumulation de nombreuses recherches menées antérieurement, et auxquelles les scientifiques de plusieurs pays ont parallèlement participé. Au fil de cette histoire il existe néanmoins des points de repères qui correspondent à la découverte de quelques grands principes de base ou à des inventions importantes:

- 1865 : Le physicien anglais James Clerk Maxwell développe sa théorie de la lumière électromagnétique (Description de l'onde électromagnétique et de sa propagation)
- 1886 : Le physicien allemand Heinrich Rudolf Hertz démontre l'existence physique des ondes électromagnétiques et confirme ainsi la théorie de Maxwell.
- 1904 : Le technicien allemand spécialiste des ondes hertziennes Christian Hülsmeier invente le 'Telemobiloskop', appareil de prévention des collisions en mer. Il mesure le temps de parcours de l'onde électromagnétique, sur le trajet aller-retour, entre l'antenne et un objet métallique (navire). Un calcul de la distance est donc possible. Il s'agit du premier test pratique du Radar. Hülsmeier dépose le brevet de son invention en Allemagne, en France et au Royaume Uni.
- 1921 : Invention par Albert Wallace Hull d'un oscillateur à haut rendement: le Magnétron.
- 1922 : Albert H. Taylor et Leo C. Young, du Naval Research Laboratory (USA), détectent pour la première fois un navire en bois.
- 1930 : Lawrence A. Hyland (également du Naval Research Laboratory), réalise la première détection d'un aéronef.

## Chapitre 01 : Généralités et présentation de l'organisme d'accueil

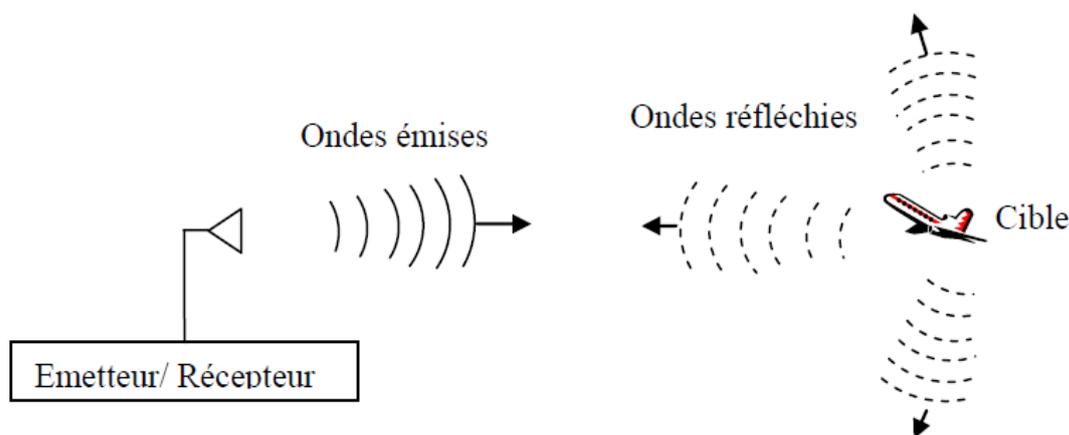
- 1931 : Un navire est équipé d'un Radar. Les antennes sont des paraboles équipées de cornets d'émission.
- 1936 : Développement du Klystron par Metcalf et Hahn. Ce sera un composant important des équipements Radar, comme amplificateur ou oscillateur.
- 1940 : Différents équipements Radar sont développés aux USA, en Russie, en Allemagne, en France et au Japon. Accélérées par la montée en puissance vers une guerre qui semble inévitable, et par le développement général de l'arme aérienne, les recherches dans le domaine de la technologie Radar génèrent des avancées techniques significatives durant la seconde guerre mondiale. Pendant la guerre froide, des radars sont déployés en grande quantité de part et d'autre du « rideau de fer », et en particulier le long des frontières allemandes.

### 1-3-Généralités sur les Radars :

#### 1-3-1-Définition et principe du Radar :

**RADAR** est un acronyme de **RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging qui signifie « Détection et Télémétrie Radioélectriques ».

Un radar est un système qui utilise la propriété des ondes électromagnétiques de se réfléchir (en totalité ou partiellement) sur tout obstacle, permettant ainsi de détecter des objets (cibles) qui sont situés à l'intérieur de son volume de couverture pour en extraire des informations comme la position, la vitesse, la forme.



**Figure 1-1 : Principe de fonctionnement d'un Radar**

### \* Cible :

Au sens large du terme, une cible (target en anglais) est tout objet qui interfère avec l'onde émise et réfléchit une partie de l'énergie vers le radar.

On fait la distinction entre une cible qui est l'objet qu'on veut détecter et le fouillis (clutter en anglais) qui représente les objets non désirés (réflexions de la mer, de la terre, pluie, oiseaux, insectes, météorites,...) qui interceptent aussi l'énergie et la renvoient.

### 1-3-2-Classification des Radars :

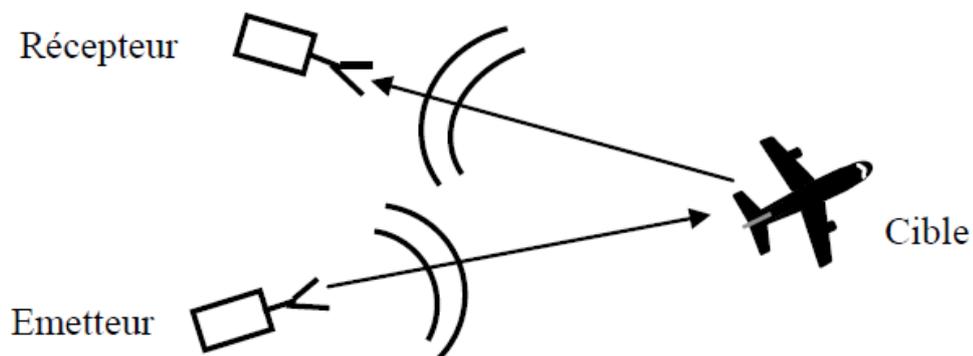
Selon l'information recherchée, les radars possèdent différentes technologies. Différentes classifications sont utilisées en fonction de certains critères :

#### ➤ Selon le type de cibles :

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

#### ➤ Selon la position relative de l'émetteur ou du récepteur :

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



**Figure 1-2 : Radar bi-statique**

### ➤ Selon l'objectif

- Veille ou de surveillance (à balayage) : le radar explore en continu la zone de couverture
- Poursuite : le radar suit la cible en continu ou en discontinu (Track While Scan).

### ➤ Selon le type de signal

- A onde continue : Le radar émet de façon continue un signal d'amplitude et de fréquences constantes. Ce type de radar est utilisé pour mesurer des vitesses (par exemple, dans le contrôle de la circulation routière) par utilisation de l'effet Doppler.

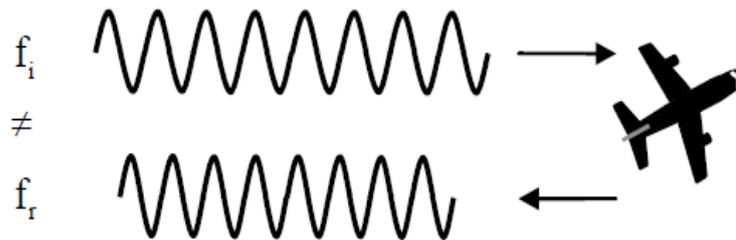


Figure 1-3 : Signaux du radar continu

- A impulsions : Ces radars émettent un signal formé d'impulsions de durée très brève de haute fréquence et de grande puissance. Après l'émission d'une impulsion, suit un temps d'écoute plus ou moins long durant lequel les échos éventuels sont reçus, avant qu'une nouvelle impulsion ne soit émise. La direction, la distance et parfois la taille ou l'altitude de la cible peuvent être déterminées à partir du traitement des échos de retour.

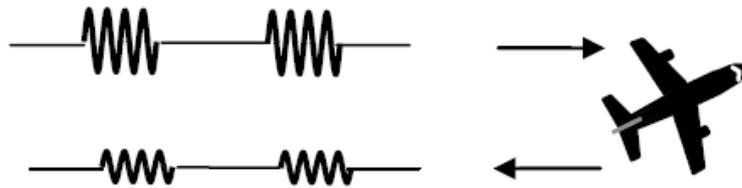


Figure 1-4 : Signaux du radar à impulsions

### 1-3-3- Principe de fonctionnement d'un radar élémentaire :

Les systèmes de radar, comme tous les systèmes électroniques complexes, se composent d'un ensemble de systèmes ayant chacun des fonctions bien déterminées.

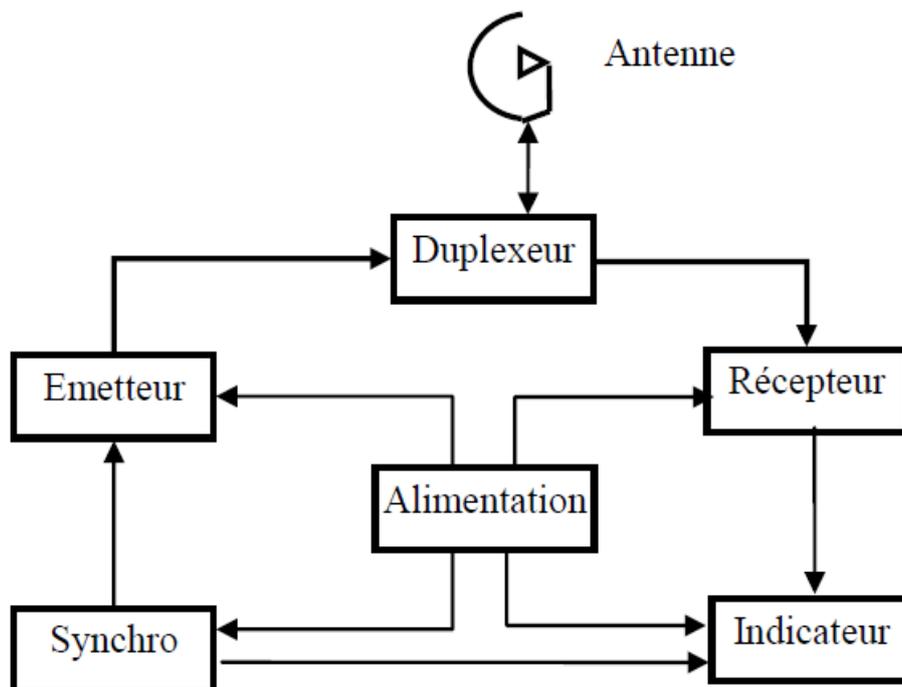


Figure 1-5 : Principe de fonctionnement

- **La synchronisation :** Ce système fournit tous les signaux de synchronisation qui chronomètrent les impulsions émises, le fonctionnement de l'indicateur, et d'autres circuits associés.

## **Chapitre 01 : Généralités et présentation de l'organisme d'accueil**

---

- **L'émetteur** : Il produit de l'énergie électromagnétique sous forme continue ou d'impulsions courtes et puissantes.
- **Le duplexeur** : Il permet à une même antenne d'être utilisée pour émettre et recevoir.
- **L'antenne** : L'antenne rayonne l'énergie électromagnétique de l'émetteur sous forme d'un faisceau fortement directionnel.
- **Le récepteur** : Il amplifie les impulsions électromagnétiques de niveau très faible réfléchies par les cibles.
- **L'indicateur** : L'indicateur produit une indication visuelle des échos sur un écran afin de tirer certaines informations concernant les cibles, comme la distance, l'azimut.

### **1-3-4-Les fréquences radar :**

Les radars fonctionnent sur un éventail de fréquences attribuées par l'organisation internationale des télécommunications, l'UIT (tableau). Chaque gamme possède ses propres caractéristiques qui correspondent à un certain type de radar.

Désignation	Bande	Bandes radars	
MF	0,3-3MHz	1,85-2MHz	
HF	3-30MHz		
VHF	30-300MHz	1,38-144MHz	216-225MHz
UHF	300-1GHz	420-450MHz	890-942MHz
L	1-2GHz	1,215-1,4GHz	
S	2-4GHz	2,3-2,5GHz	2,7-3,7GHz
C	4-8GHz	5,25-5,925GHz	
X	8-12GHz	8,5-10,68GHz	
Ku	12-18GHz	13,4-14GHz	15,7-17,7GHz
K	18-26,5Hz	24,05-24,25GHz	
Ka	26,5-40GHz	33-36GHz	
V	40-75GHz	59-64GHz	
W	75-110GHz	76-81GHz	92-100GHz
mm	110-300GHz	126-142GHz	144-149GHz

Tableau 1-1 : les fréquences radar

### 1-4- Les types de radar :

#### ❖ Radars de veille :

Beaucoup de radars de veille au sol sont utilisés dans le contrôle du trafic aérien et des aéroports. Les radars de veille, appelés aussi radars primaires emploient principalement la bande L et une antenne parabolique à balayage mécanique.

L'ouverture du faisceau en azimut est petite alors que l'ouverture en site est assez grande. Ce radar détecte des avions dans son champ de vision et mesure leur distance et leur azimut.

## **Chapitre 01 : Généralités et présentation de l'organisme d'accueil**

---

Le système radar de veille utilisé pour la surveillance d'avions est en général couplé à un radar secondaire permettant ainsi d'identifier et de connaître l'altitude des avions munis d'un transpondeur. Le radar de veille secondaire fonctionne à une fréquence de 1030 MHz pour les interrogations et 1090 MHz pour les réponses.

### **❖ Radar de mesure de vitesse à onde continue :**

Le radar à onde entretenue est employé couramment par la police pour mesurer la vitesse des véhicules ainsi que dans d'autres applications. Ces radars utilisent l'effet Doppler.

Si la cible se déplace vers le radar, la fréquence Doppler est positive, c'est-à-dire que la fréquence du signal reçue est plus grande que la fréquence d'émission. Si la cible s'éloigne du radar, la fréquence Doppler est négative. La mesure de la fréquence Doppler permet de calculer la vitesse du mobile.

### **❖ Radar météorologique aéroporté :**

Ce radar est utilisé dans les avions civils et militaires pour identifier les régions de précipitation ou de nuages. Une telle information est importante pour la sécurité des avions et le confort des passagers.

Le radar météo peut indiquer également le taux de précipitation. La bande X et les fréquences plus élevées sont nécessaires parce qu'elles permettent une bonne réflexion sur les gouttes de pluie.

### **❖ Radioaltimètres :**

Les radio- altimètres qui équipent les avions sont utilisés pour mesurer avec précision l'altitude. Ce type de radar fonctionne à onde continue modulée en fréquence. La bande de fréquence 4,2-4,4 GHz est réservée à ce type de radar.

### **❖ Radar Doppler aéroporté de navigation :**

C'est un système qui utilise trois ou quatre faisceaux dirigés vers l'avant et vers l'arrière de la trajectoire. Après réflexion sur le sol, les signaux retournent avec des

fréquences différentes à cause du mouvement de l'avion. La combinaison des fréquences Doppler permet de mesurer la vitesse-sol en direction et en module.

### **❖ Radars de veille pour navires :**

Les radars à bord des navires sont utilisés pour alerter des risques de collision avec d'autres navires ou d'obstacles comme les icebergs. Ces radars travaillent dans un environnement où les échos de retour parasites sont très importants.

### **❖ Applications spatiales du radar :**

Les véhicules spatiaux utilisent le radar pour les rendez-vous et l'amarrage et pour détecter des objets dangereux. Des radars sur satellite sont utilisés aussi pour étudier la terre, des planètes, et d'autres objets de l'espace.

### **❖ Radars sol de poursuite de missiles et satellites :**

Ces radars utilisent des antennes de grandes dimensions dans les bandes S et C avec des puissances de l'ordre du mégawatt. Ils utilisent en général la compression d'impulsion pour augmenter la portée sans dégrader le pouvoir de séparation.

### **❖ Radars de suivi de terrain :**

Ces radars utilisent le terrain pour guider un missile vers son objectif. Ils comparent en permanence le terrain observé avec une carte en mémoire. Ils peuvent savoir ainsi à chaque instant où se trouve le missile.

### **❖ Radar à vision latérale aéroporté :**

Ce type de radar utilise une antenne placée latéralement sur l'avion et dirigée vers le sol. On tire profit du mouvement de l'avion pour synthétiser une antenne de très grande envergure et donc une résolution très grande. Il est employé pour la cartographie radar à haute résolution de la terre. Ces systèmes ont l'avantage par rapport aux systèmes optiques : ils peuvent « regarder » à travers les nuages

## **1-5-Les catégories de radar :**

On peut classer les radars dans 4 catégories :

### **1-5-1 Radars de surveillance au sol :**

- Portée typique : 4 à 9 km.
- Résolution : 12 m.
- Renouvellement : 1 seconde.
- Bande X (9 GHz) ou Ku (16 GHz).

### **1.5.2 Radars d'approche (TMA) :**

- Portée typique : 50 à 80 nm).
- Domaine altitude : 30 à 40 Kft.
- Renouvellement : 4 à 5 secondes.
- Bande de fréquence : Bande S ou L.
- Bande de Fréquence : Bande L.

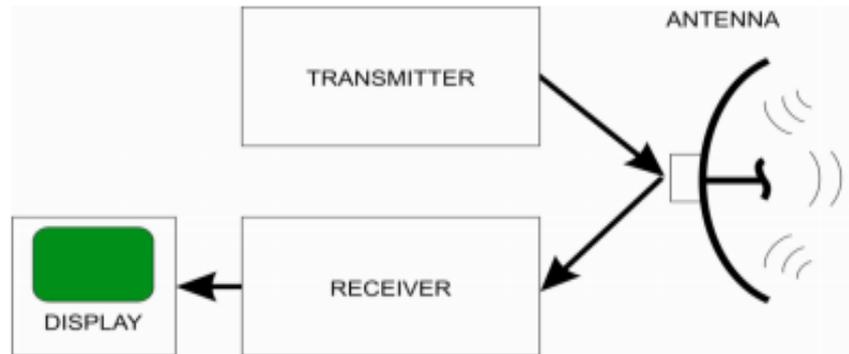
### **1.5.3 Radars de grande approche :**

- Portée typique: 100 à 130 nm.
- Domaine altitude : 40 à 50 kft.
- Renouvellement: 5 à 6 secondes.
- Bande de fréquence : Bande L.

### **1.5.4 Radars de contrôle en route moyenne et longue portée :**

- Portée typique : 150 à 220 nm.
- Domaine altitude : 50 kft.
- Renouvellement : 10 à 15 secondes.
- Bande de fréquence : Bande L.

Dans sa forme la plus fondamentale, un radar se compose de quatre éléments essentiels: un émetteur radio, un récepteur radio réglé sur la fréquence de l'émetteur et l'antenne, et un affichage comme le montre la figure suivante :



**Figure 1-6 : Emetteur / Récepteur**

### **1-6-TX / RX (Emetteur / Récepteur):**

Afin de détecter un objet, une onde radio est générée par l'émetteur et rayonnée par l'antenne. Les ondes radio transmises rebondit alors sur un objet et le récepteur écoute afin de détecter ces échos et les présente sur l'écran. Puisque dans la plupart des systèmes de radar modernes l'émetteur et le récepteur part une antenne, il est important de transmettre les ondes radio dans impulsions avec le récepteur éteint à un taux qui est appelé la fréquence de répétition des impulsions (PRF).

Tout comme la lumière, ondes radio transmises par les systèmes de radar voyagent dans ce qui peut être pensé en lignes droites. En conséquence, seuls les objets dans la ligne de visée du radar seront les échos du signal transmis.

Il existe quelques facteurs principaux qui contribuent à la capacité d'un système radar pour détecter un objet. Le type de motif de balayage peut contribuer énormément à la possibilité de détecter un certain objet. Poutres de numérisation peuvent prendre une variété de formes pour répondre à un objectif prévu. Pour détecter un objet qui est en l'air, un faisceau plus ou moins de forme conique, appelé un faisceau de crayon, est utilisé pour balayer le ciel. Ce faisceau, souvent seulement 3-4 ° à l'ouverture du cône,

## **Chapitre 01 : Généralités et présentation de l'organisme d'accueil**

---

peut avoir un motif de balayage de recherche qui scanne en azimut et à de multiples élévations souvent appelées barres. Pour un radar aéroporté utilisé pour détecter des objets sur le terrain ou au niveau de la mer, un faisceau de forme différente, comme un faisceau de ventilateur peut être utilisé pour maximiser la surface numérisée pour chaque transmission du faisceau radar. Alors que le faisceau en éventail balaye une surface plus grande, l'effet d'une durée légèrement plus longue balayage est observé.

On constate 2 générations de radar en bande S et L : les radars à base de magnétron et klystron et les radars à base de transistors.

Avant 1990 : Magnétron, klystron (bande L et bande S).

Depuis 2000: Etat solide (bande L et bande S).

Puissances émises :

- Magnétron:

600 kW à 2,2 MW crête + COHO (oscillateur cohérent).

- Klystron:

1,3 à 3,5 MW crête Etat solide: 10 à 40 kW crêtes : Puissance crête faible.

Emission d'une impulsion longue avec modulation de fréquence : compression d'impulsion.

Emetteur a tube magnétron ou klystron .

### **1-6-1-Radars avec Emetteur à tubes (Magnétron ou Klystron) :**

- 2 chaînes Emission/Réception/Traitement identiques
- Simultanément sur 2 fréquences  $f_1$  et  $f_2$  différentes.
- Les signaux reçus aux 2 fréquences  $f_1$  et  $f_2$  sont aiguillés séparément sur chacune des 2 chaînes.
- Les détections sont recombinaées au niveau de l'extracteur.

## Chapitre 01 : Généralités et présentation de l'organisme d'accueil

- ✓ **Avantage:** Augmentation des performances de portée (bénéfice de la diversité de fréquence).
- ✓ **Inconvénient:** En cas de panne sur une des chaînes, la portée est réduite.

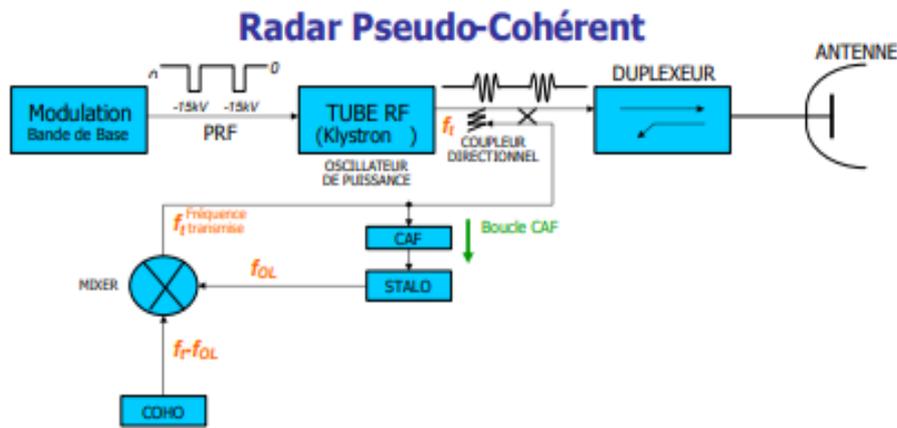


Figure 1-7: Radar Pseudo-Cohérent

### 1-6-2-Radars avec Emetteur Etat Solide :

- L'étage de puissance de l'émetteur, large bande, est commun aux deux chaînes.
- La redondance de l'émetteur est assurée par le fonctionnement en parallèle d'un nombre important de modules identiques (8 ou 16), remplaçables à chaud.
  - Chaque chaîne fonctionne sur les 2 fréquences d'Emission/Réception.
  - Les chaînes sont utilisées selon une logique de commutation.
  - Une chaîne opérationnelle, une chaîne stand-by (commutation automatique en cas de panne).
- ✓ **Avantage:** Les performances sont conservées en cas de panne sur une chaîne.

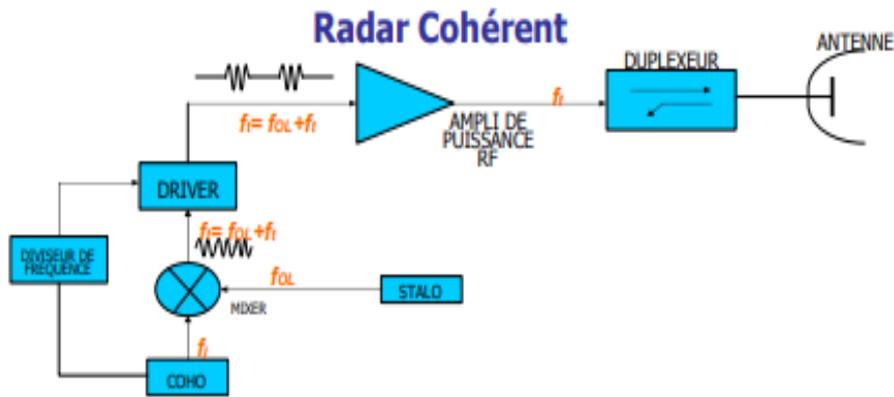


Figure 1-8 : Radar Cohérent

## 1-7- Antenne :



Figure 1-9 : Image d'une antenne

Les antennes jouent un rôle énorme dans la détection d'objets de radar. Pour la plupart des antennes modernes sur les systèmes de radar, l'antenne proprement dite est généralement considérée comme un réseau plan. Contrairement aux anciennes antennes radar où une alimentation centrale rayonnait l'onde transmise dans un réflecteur en forme de cuvette, réseaux plans sont constitués d'un ensemble de plusieurs éléments d'antenne individuels ou des radiateurs répartis sur une surface plane. Chaque radiateur possède une fente et appartient à une conception complexe de guides d'ondes qui sont derrière la face de réseau.

### 1-7-1 Équation générale :

2.3 Équation général :

U<sub>i</sub>

$$\sigma_{\text{Antenne}} : \frac{G \cdot \lambda^2}{4 \pi}$$

$$\text{Puissance recu Avion : } \frac{P_{\text{emise Antenne}} \cdot G \cdot \sigma}{4 \pi R^2}$$

Aller



**Figure 1-10: Equation Radar**

### **CONCLUSION :**

Les émetteurs a état solide ont permis de diminuer la puissance émise tout en gardant la même portée grâce à l'émission d'une impulsion courte et autre longue qui va subir une compression a la réception afin de permettre une résolution fine. Les anciennes technologies telles que le klystron par exemple sont en cours de disparition à cause d'une consommation énorme d'énergie ou le faite d'être très couteux, etc....

# **Chapitre 2**

### 2.1 Caractéristiques :

Le système de PSR (radar primaire) consiste à éclairer une portion de l'espace par une onde électromagnétique et à recevoir les échos produits par la réflexion sur des Object à l'intérieur de son volume.

Le radar Primaire Possède 2 Propriétés Fondamentales:

- Celle de détecter une cible,
- Celle de localiser cette cible.

Nous dirons simplement que le radar primaire permet de répondre aux questions suivantes:

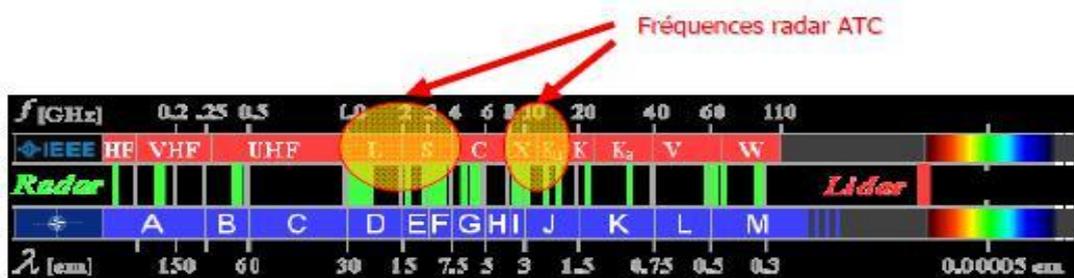
- Existe-t-il un juin cible?
- A quelle distance est située du radar et quel est l'azimut?
- Cette cible, elle est fixe ou mobile?

#### 2.1.1 Nature des cibles :

On peut considérer le radar primaire comme un système non coopératif :

- Cibles passives où la fonction réfléchie dépend de la surface équivalente radar.
- Les cibles sont des avions mais aussi peuvent être des bâtiments, des nuages,...

### 2.1.2 Bande de fréquence :



Longueur d'onde – fréquence:

$\lambda$ : longueur d'onde  
f: fréquence  
c: vitesse de la lumière  
c=300.000km/s

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

**Figure 2-1: Bande de Fréquence**

Le choix de la fréquence est aussi, pour une fonction bien définie, le résultat de Compromis techniques. Nous verrons par exemple pour les radars de veille de l'aviation Civile que le choix de la longueur d'onde  $\lambda = 23$  cm est un compromis dans laquelle Intervient notamment l'envergure et le gain de l'aérien, l'atténuation atmosphérique, la Stabilité des générateurs liées aux performances des systèmes d'élimination des échos fixes ou enfin, la protection contre les échos de pluie.

Nous retrouverons pour les radars météorologiques, au contraire, un choix logique orienté vers une bonne détection d'échos atmosphériques (nuages et pluie).

### 2.1.3 Horizon radioélectrique :

Les aéronefs volant sous l'horizon radioélectrique ne sont pas détectés.

L'horizon radioélectrique dépend de la hauteur sol de la cible.

## Chapitre 02 : radar primaire caractéristiques et problématique

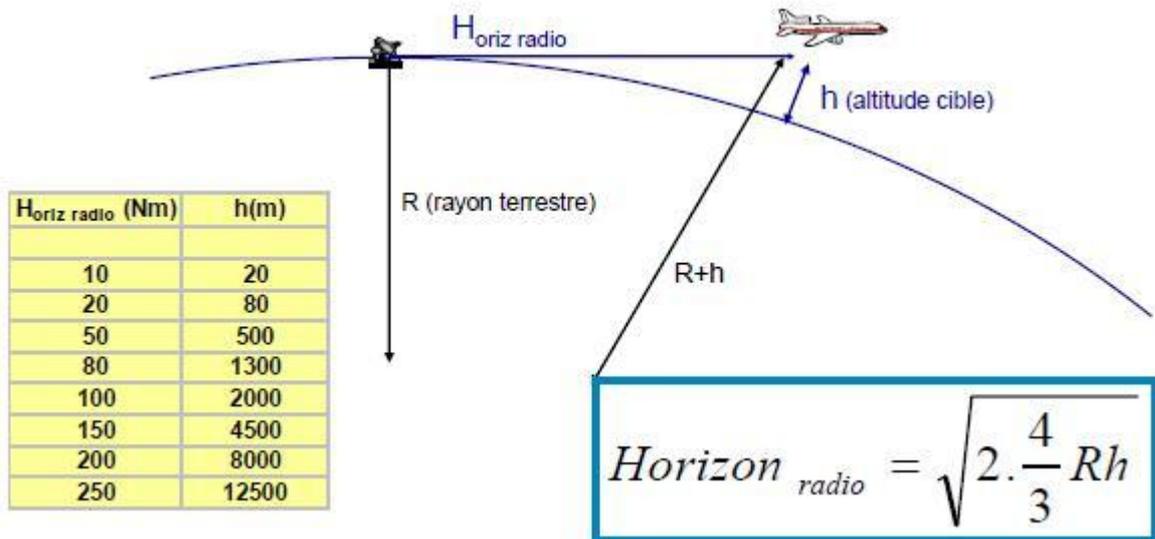


Figure 3-2: Horizon Vertical

Mesure de distance Radar-Avion :

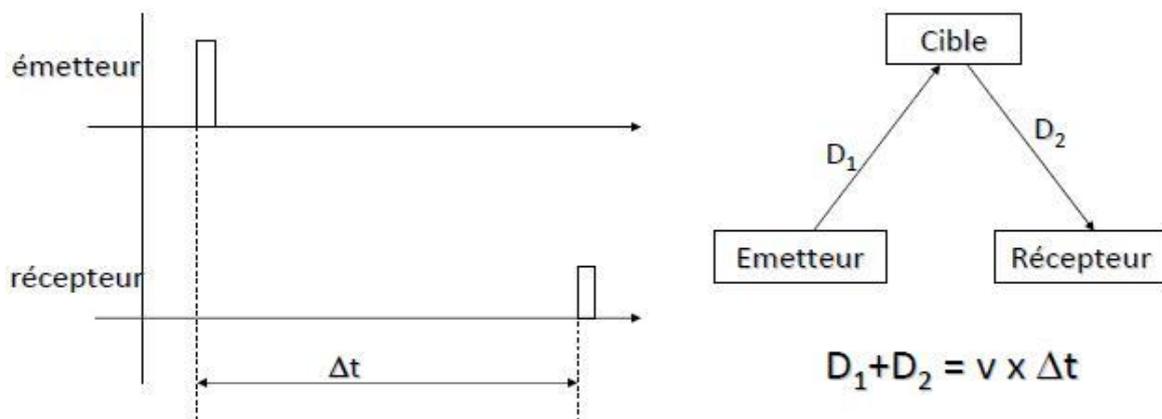


Figure 2-3: Mesure Distance Plot

Paramètre radar :

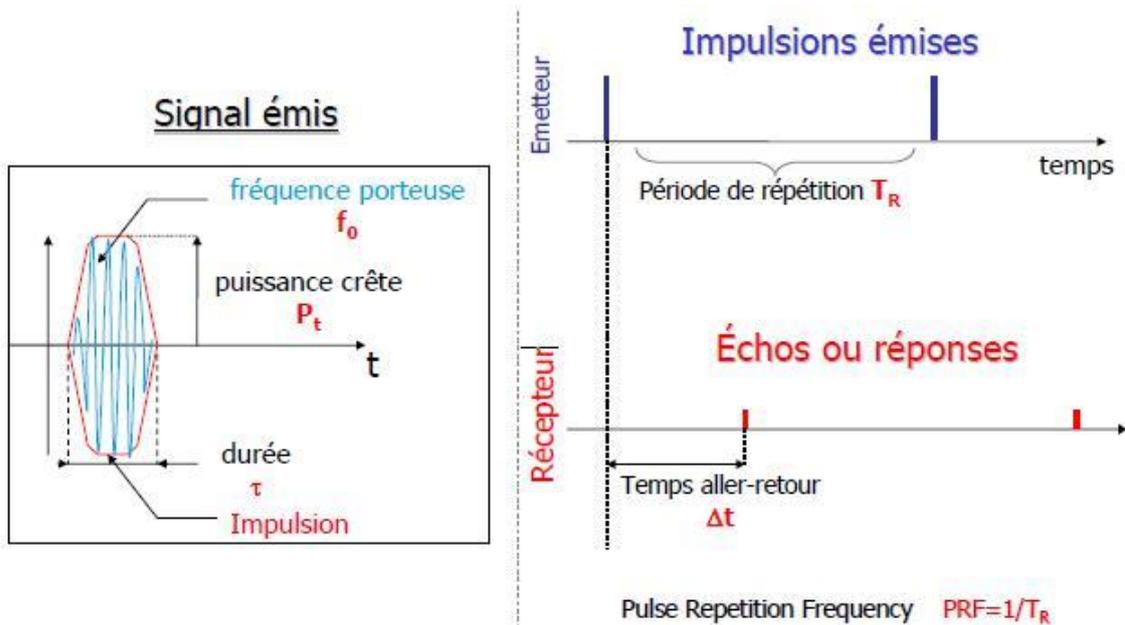


Figure 2-4: Impulsion Radar

La forme du signal émis sur une longueur d'onde  $\lambda$  choisie est un simple signal impulsionnel composé d'impulsions brèves (au maximum quelques  $\mu s$ ) de durée répétées à une fréquence de récurrence  $FR = 1/T_R$ .

- Nombre de coup au but :

1 avion = N sollicitations dans le faisceau principal

Unités :

- $\Theta^{\circ}$  3db en degrés
- V rotation en  $^{\circ}$
- Tr en secondes

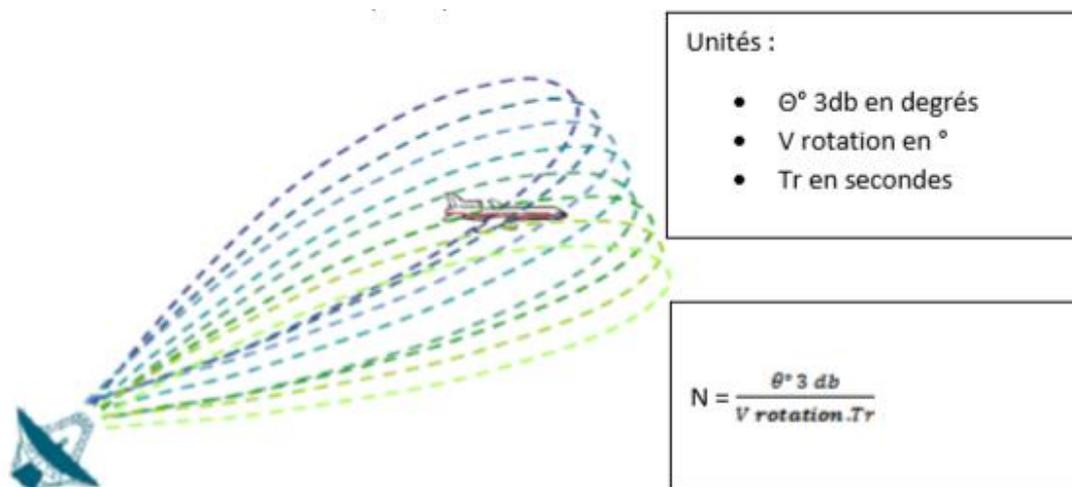


Figure 2-5: Nombre Coup au But

### 2.1.4 Volume de résolution :

C'est le volume définie par la capacité de résolution suivant les différents axes.

-les cibles appartenant à ce volume ne sont pas directement séparables.

-tous les objets présents dans ce volume participent au signal reçu à un moment donné

PSR Civil  
Volume de résolution

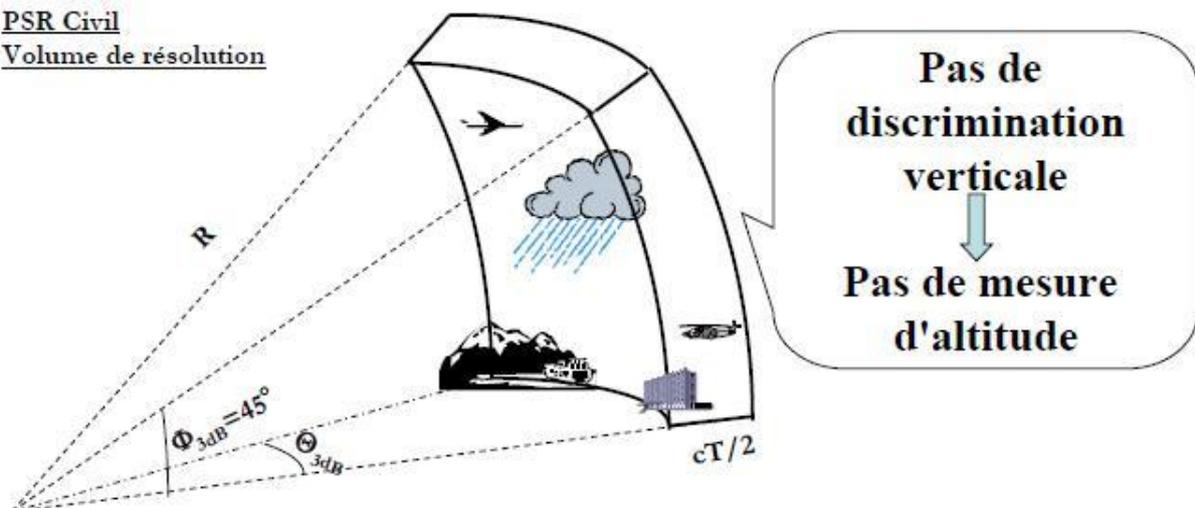


Figure 2-6: Volume De Résolution

- 2.1.5 Pouvoir discrimination en distance :

## Chapitre 02 : radar primaire caractéristiques et problématique

---

C'est la largeur de l'impulsion  $\tau$  représentant la durée du signal émis qui définit l'écart minimum en distance pour que deux cibles puissent être visualisées séparément en radar. De même que nous avons défini la portée théorique max, la résolution en distance définissant la portée minimale utilisable ou le pouvoir séparateur dans l'axe s'écrira :  $S=c.\tau/2$ .

Ainsi, pour une largeur d'impulsion  $\tau=4 \mu s$  dans un même azimut leur avions qui se suit radialement ne serait différencié sur un indicateur que s'ils sont à plus de 600 m l'un de l'autre. Une grande résolution en distance ne pourra donc être obtenue que pour des faibles valeurs de  $\tau$ . Un radar de piste ou de contrôle des mouvements au sol nécessitera, par exemple, pour une résolution suffisante, des largeurs d'impulsions de l'ordre de  $0.03 \mu s$ .

- **2.1.6 Pouvoir séparation angulaire :**

Nous avons défini, précédemment le pouvoir séparateur axial en fonction de la durée  $\tau$  du signal émis ; l'angle d'ouverture en azimut du faisceau ( $\theta$ ) nous permet d'évaluer la séparation latérale minimale de 2 cibles en fonction de la distance R. La séparation latérale est :  $S = \theta R$  ( $\theta$  étant exprimé en radians).

pratiquement  $\theta$  s'exprime en degré ; nous écrivons donc :  $S = 2\pi/360 \theta^\circ R$

. Exemple : Pour un diagramme azimut ayant une ouverture de  $3^\circ$  a 180NM, la

distance de séparation latérale serait :  $S = 2\pi/360 .3.180 = 10NM$

la directivité et le pouvoir séparative militent donc en faveur d'une faible valeur de  $\theta$ . une ouverture de  $1^\circ$ , par exemple, réduirait la séparation latérale a 3.15NM environ.

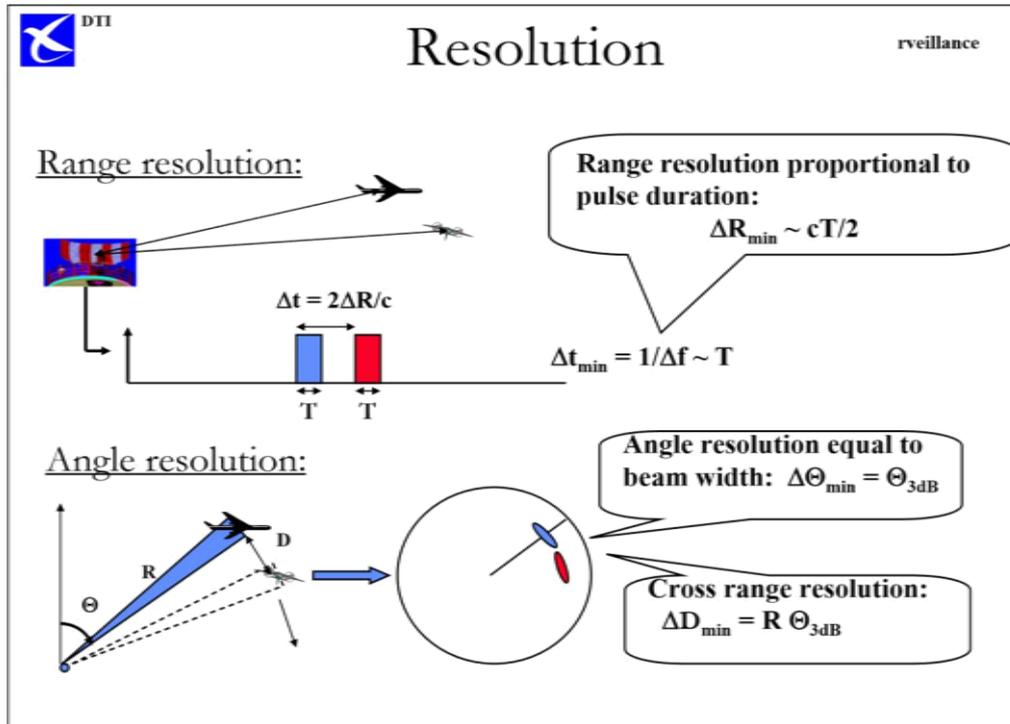


Figure 2-7 : Résolution en Distance et en Azimut

### 3.1.7 La portée radar:

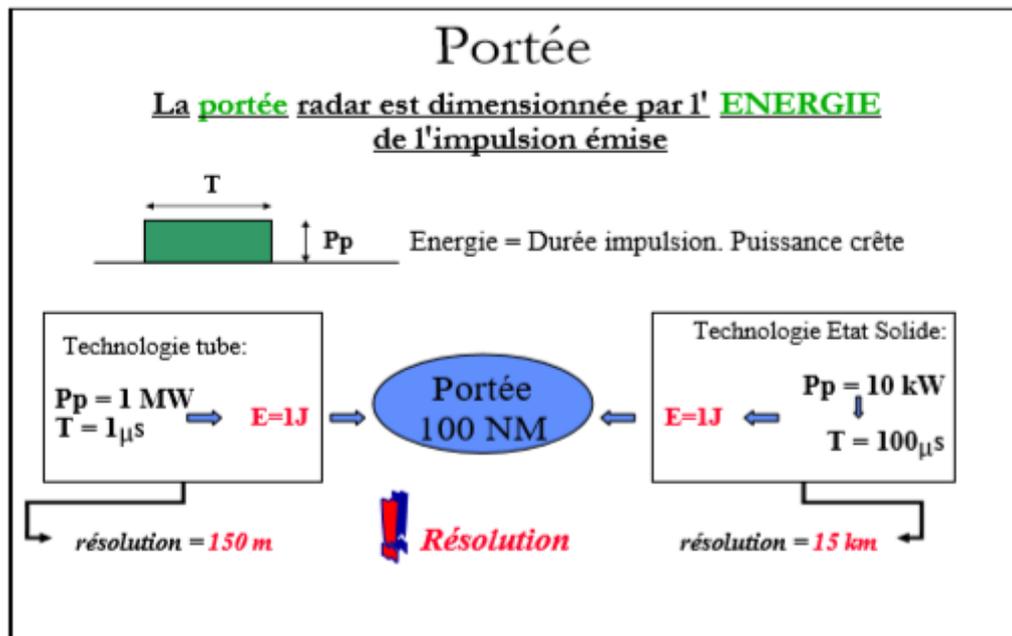


Figure 2-8: Portée Radar

## Chapitre 02 : radar primaire caractéristiques et problématique

---

Remarque : Si nous voulons avoir une résolution fine, la durée de l'impulsion doit être la plus courte possible, ce qui nous impose soit de grandes puissances (difficile à réaliser, emploi de klystrons coûteux) soit d'accepter de réduire la portée utile du radar.

Par exemple dans le cas de la technologie Etat Solide avec une puissance de 10 KW et une largeur d'impulsion de 100 ms, on se retrouve avec une résolution de 15Km ce qui est énorme et inacceptable.

Donc la solution soit de diminuer la largeur d'impulsion a 1ms est ça va diminuer la porte théorique du radar ou bien augmenter la puissance en modifiant le SSPA par un klystron.

- **2.1.8 Nature de la cible :**

On appelle «cible» tout obstacle se présentant sur la trajectoire de l'onde électromagnétique, et donnant lieu a une onde réfléchie.

Ainsi dans le faisceau radar, une cible peut être le mobile de l'objet que l'on veut détecter (avion, bateaux, etc....) mais également tout autre chose qui donnera lieu a une onde réfléchie par exemple bâtiments et forets

Nous voyons donc apparaitre les notions de cibles utiles donnant lieu a des échos utiles et des cibles indésirables donnant lieu à des échos parasites.

- **2.1.9 Nature de la réponse :**

En réception au niveau de l'antenne, le signal réfléchi par la cible mobile se présente, du point de vue énergétique, comme un infime partie de ce qu'il était aux moments de l'émission .cette partie d'énergie est due à 2 facteurs essentiels :

Atténuation atmosphériques lors de la propagation du signal

Dispersion d'énergie au niveau de la cible aux moments de la réflexion : une cible avion n'absorbe qu'en partie d'énergie qu'elle rayonne dans toutes les directions.

- **2.1.10 Théorie Doppler :**

## Chapitre 02 : radar primaire caractéristiques et problématique

La nature de cible est déterminée grâce à l'application de la théorie doppler :

Quand une onde se réfléchit sur une cible, la fréquence de l'écho se décale d'une valeur proportionnelle à la vitesse radiale de la cible par rapport à l'émetteur. La vitesse radiale correspond à la composante de la vectrice vitesse parallèle à la direction de propagation de l'onde.  $\Delta f_d = 2V_r / \lambda$ .

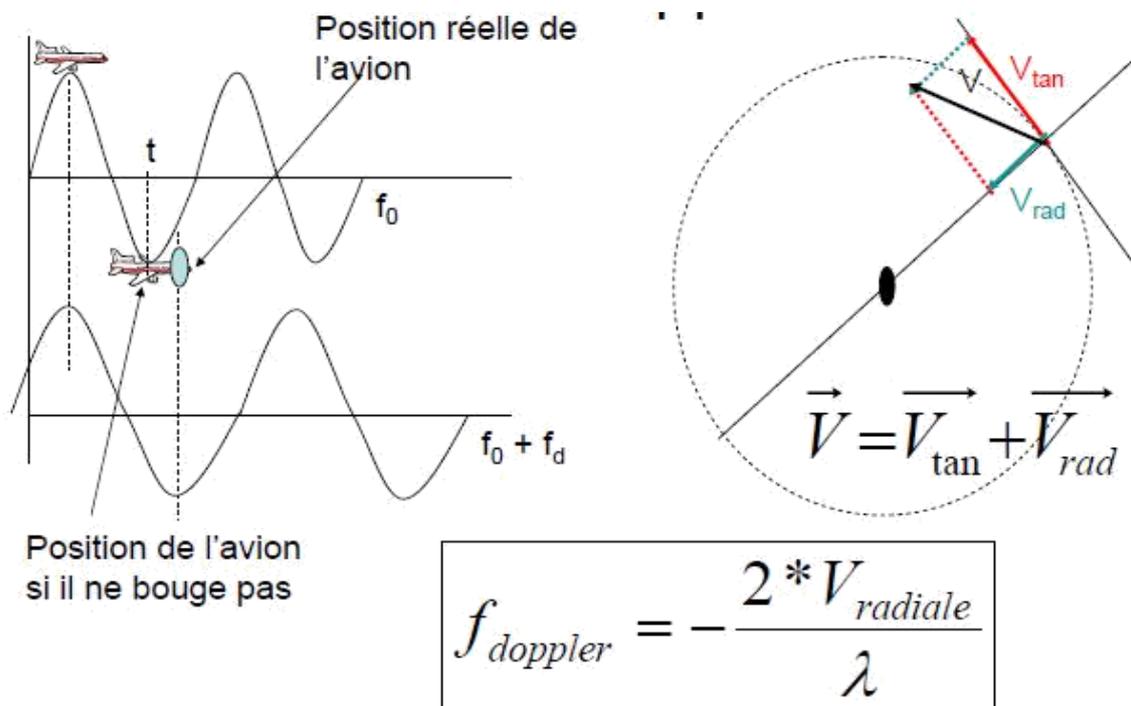


Figure 2-9 : Théorie Doppler

### 2.2 Problématiques :

#### 2.2.1 Influence des lobes secondaires sur la détection :

Phénomène :

Les diagrammes ci-dessous laissent apparaître certains lobes secondaires. Ces lobes secondaires dans le diagramme azimut ont des conséquences très néfastes sur la détection des cibles.

## Chapitre 02 : radar primaire caractéristiques et problématique

---

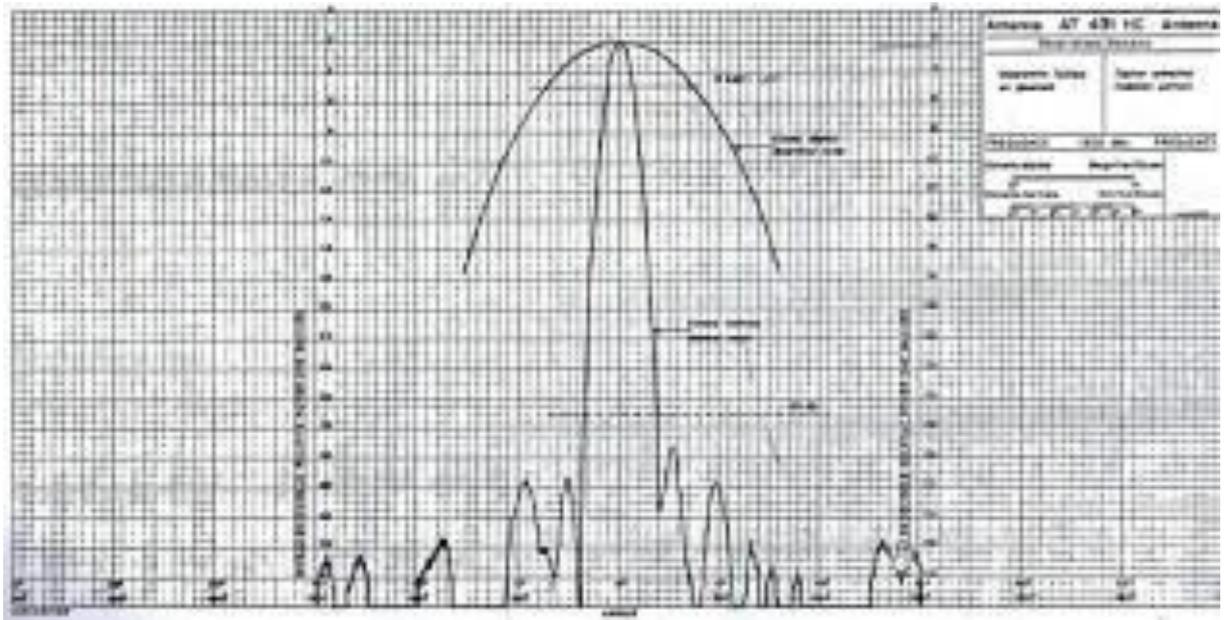
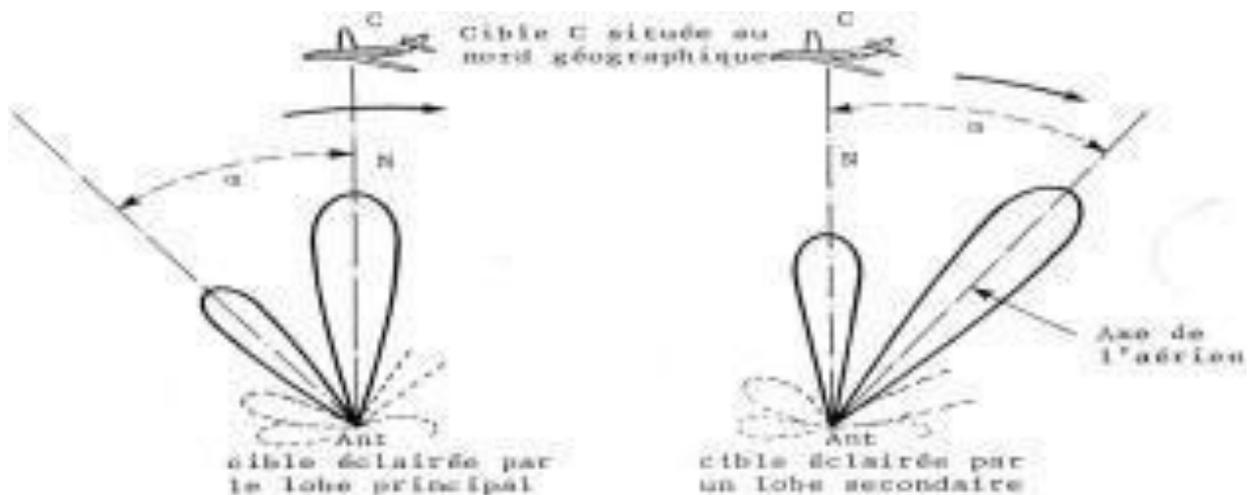


Figure 2-10 : Influence des Lobe Secondaire

Nous avons figuré sur la figure suivante pour concrétiser l'influence de Rayonnement secondaire, 2 positions de l'antenne dans l'espace :

- Le lobe principal face à la cible C
- Le premier lobe secondaire gauche face a la cible



## Chapitre 02 : radar primaire caractéristiques et problématique

---

Une simple observation de la figure permet de constater l'existence de 2 plots C1 et C2.

C2 traduit une réponse sur lobe secondaire et est positionné à une distance exacte mais dans un azimut erroné.

Nous risquons donc de détecter la même cible autant de fois qu'il y a de lobes secondaires importants et de voir une couronne au centre de l'écran.

### **2.3 Résolution :**

#### **-3.3.1 Au niveau de l'aérien :**

En l'absence de toute autre considération d'ordre technique ou écologique nous dirons que le lobe principal est élaboré à partir de l'entrée du réflecteur, alors que les lobes secondaires sont essentiellement produits par les bords du réflecteur.

Les champs rayonnés par une partie élémentaire du réflecteur dépendent de la « loi d'illumination » du réflecteur.

Si on veut réduire le nombre de lobes secondaires, on est amené à diminuer la dimension de l'aérien dans le plan « azimut » considéré, mais alors, on a une directivité moins bonne.

Pour une directivité donnée «  $d$  fixé », on peut réduire le niveau de lobes secondaires en adoptant une loi d'illumination du réflecteur telle que les bords soient beaucoup moins « éclairés » que le centre.

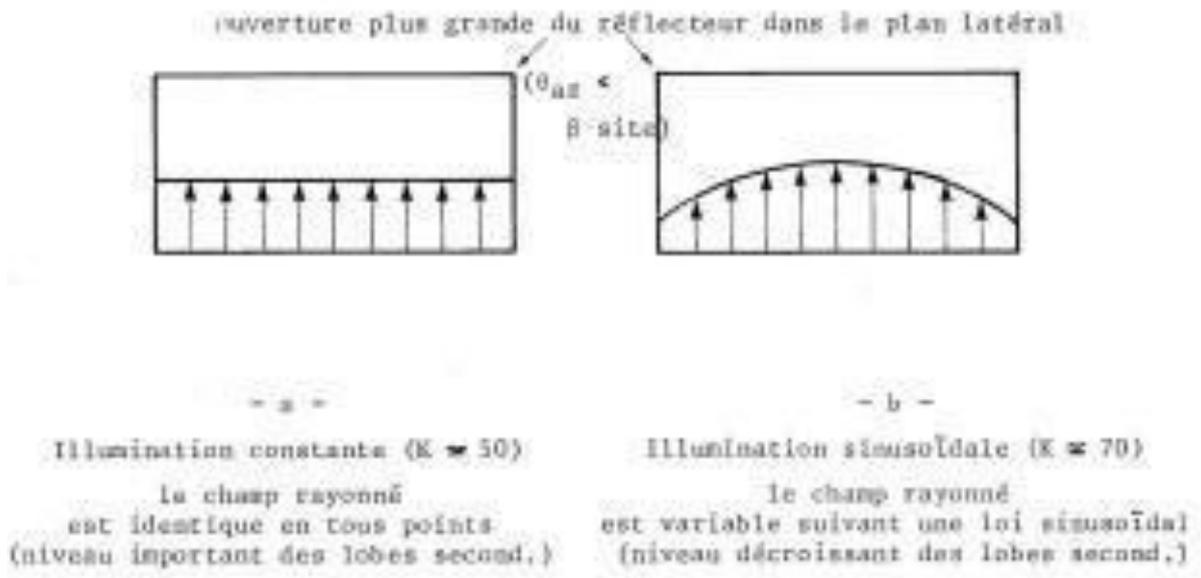
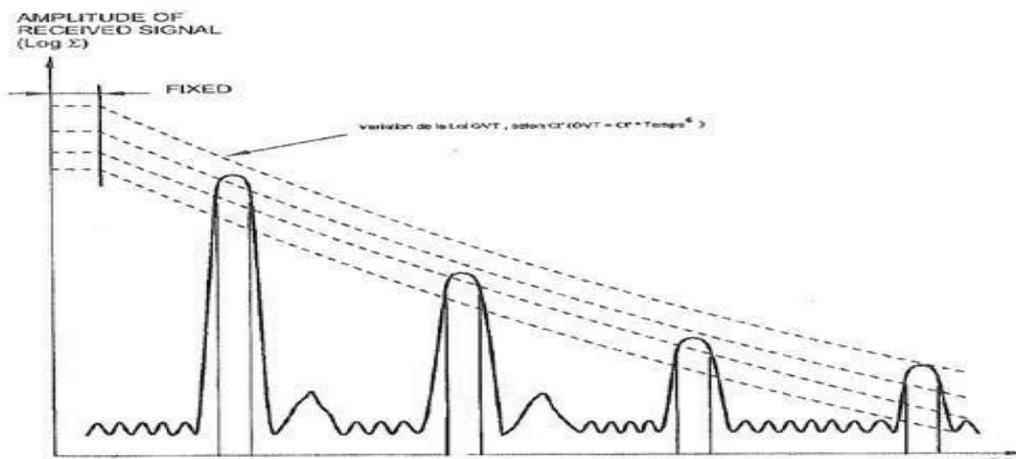


Figure 2-11 : Loi illumination

### -2.3.2 Au niveau de Récepteur :

On atténue ou on neutralise généralement l'influence des lobes secondaires en même temps que le clutter de sol inévitable en zone proche, par l'application en réception d'une loi de gain variable avec la distance ou le temps (GVT).



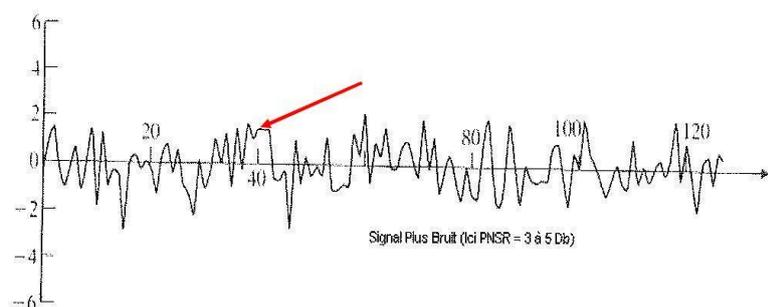
### 2.4 Réception du signal dans le bruit :

#### 2.4.1 Phénomène :

Le problème de réception d'un signal « écho radar », même très petit, ne serait toutefois pas difficile en soi ; il suffirait, en effet, de l'amplifier suffisamment et nous verrons

la fin de notre propos que nous savons réaliser des récepteurs à grande sensibilité, capable de recevoir et d'amplifier des puissances inférieures au pico watt ( $10^{-12}$  W). Le drame est que le signal est toujours accompagné d'un phénomène gênant et

Aléatoire qui dénature l'information utile : le bruit. Le bruit de fond qui accompagne le signal peut être d'origines diverses. Le bruit préconisant est celui qui prend naissance dans le récepteur lui-même. Ce bruit propre qui limite la sensibilité du récepteur est d'origine thermique ; il est lié à l'agitation des électrons et on ne peut le réduire à zéro. Les bruits extérieurs, entrant par l'antenne, bruits atmosphériques, cosmiques, ou parasites accidentels d'origine industrielle, ou de brouillages divers en provenance d'un autre radar par exemple, sont généralement d'importance bien moindre ou supprimés. On ne peut dans tous les cas que très difficilement et dans des conditions particulières, en chiffrer les incidences en détection.



**Figure 2-12: Relation Signal /Bruit**

#### 2.4.2 Solution :

Pour que cet écho soit visible, il faut que le signal détecté lui est la somme du

## Chapitre 02 : radar primaire caractéristiques et problématique

---

Signal utile que l'on aurait en l'absence de bruit et du bruit seul à l'instant considéré, soit supérieur à la puissance du bruit environnant.

Le signal minimum détectable représente en effet, par définition, la valeur de la puissance utile que l'on doit recevoir à l'entrée pour que la puissance utile disponible à la sortie du récepteur soit au moins égale à celle de bruit.

En fait, un écho dont la puissance est égale à la puissance moyenne du bruit en sortie, serait très difficilement perceptible au milieu de celui-ci. La probabilité de détection d'un tel signal serait pratiquement nulle.

D'autre part il se peut que des « pic » ou pointes de bruit atteignent des niveaux de puissance se traduisant sur un indicateur par une tache analogue à un signal utile, écho d'une cible réelle; on dit alors qu'il y a « fausse alarme »

Pour mieux concrétiser les notions de probabilité de détection et de fausse alarme, nous placerons, comme on a coutume de le faire, un seuil d'ébasage

Si nous fixons ce seuil en  $k_1$  pour qu'en l'absence de signal utile le signal bruit parasite ait une probabilité très faible de le dépasser, nous obtiendrons certes un très bon taux de fausse alarme (pfa faible)

Mais comme nous l'avons dit, le signal détecté superposé au bruit fluctue et si nous supposons, par exemple, qu'il passe une fois sur 2 entre 2 niveaux extrêmes  $n_1$  et  $n_2$ , pour le seuil  $k_1$  la probabilité de détection sera limitée à 50%.

Par contre, un seuil ramené en  $k_2$  nous donnerait une probabilité en 100% mais bien illusoire, le signal se trouverait « noyé » dans de nombreuses pointes de bruit constituant autant de fausses alarmes.

En pratique, nous fixerons le seuil d'ébasage pour obtenir une probabilité de fausse alarme tolérable avec considération d'exploitation.

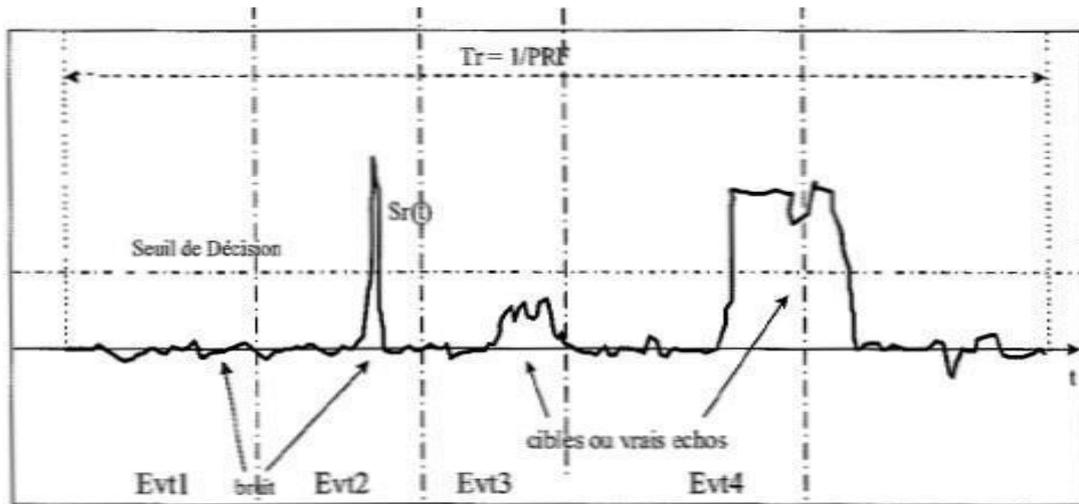


Figure 8 : Vidéo de réception, 4 événements (Evt) possibles

Figure 2-13 : Probabilité De Fausse Alarme

Probabilité de fausse alarme  $P_{fa}$  Probabilité de détection  $P_d$

### 2.5 Réponse en seconde récurrence :

Cible	Existe	N'existe Pas
Détectée	EVT4	EVT2
Non détectée	EVT3	EVT1

#### 2.5.1 Phénomène :

Il n'est pas impossible de détecter des échos de cibles importantes situés à une distance supérieure à  $c \cdot TR / 2$ , la portée utile d'un radar est calculé en effet à partir d'une équation généralisée dans laquelle intervient, entre autre paramètres, la surface équivalente de la cible

.Cette portée pourrait donc être pour certaines cibles importantes supérieures à la portée théorique max. Nous pourrions également avoir des conditions de propagations ou de réflexions particulières.

Il est intéressant de connaître ce qu'il advient d'un écho situé en seconde récurrence, c'est à dire à une distance correspondant à un temps  $t = TR + t''$

La distance erronée calculée correspondant à la distance affichée serait

## Chapitre 02 : radar primaire caractéristiques et problématique

---

$$d'' = c.t''/2 = d - P_{th \max}.$$

- **2.5.2 Solution :**

La puissance du signal reçu décroissant en fonction de la distance, les réponses en

Récurrance arrivent donc du fait de leur éloignement avec un niveau très faible .Le choix d'une

Longue période TR serait une solution si ce choix n'était pas par ailleurs lié à d'autres Impératifs.

Il suffit généralement pour l'équipement, de disposer d'une commande de sensibilité ou de

Gain variable dans le temps (GVT) dans la chaine d'amplification du récepteur, pour supprimer

Les réponses indésirables gênantes ou visibles essentiellement en début de portée sur

L'indicateur panoramique.

### CONCLUSION

La longueur d'impulsion et la puissance crête jouent un rôle très important pour la détermination des caractéristiques d'un radar tel que la résolution en distance et temps d'émission.

La théorie doppler nous permet de distinguer une cible mobile d'une autre fixe.

Le radar est basé sur des compromis afin d'extraire le meilleur de cet équipement comme le cas pour le choix de fréquence ou bien pour déterminer le rapport entre le taux de fausse alarme et probabilité de détection.

# **Chapitre 3**

## Chapitre 03 : Simulation

---

### **3.1 Objectifs :**

Le but de ce projet était de créer un utilitaire pour ceux qui se familiarisent avec les changements radar et doppler, afin de commencer à comprendre comment les paramètres d'entrée ont une incidence sur les formes d'ondes. L'objectif de ce projet est de générer les signaux radar bruts décalés doppler reçus par le radar, mais une démonstration des techniques de traitement des signaux reçus a également été développée.

Le concept principal de traitement des signaux numériques mis en œuvre dans ce projet est l'échantillonnage. La génération, la modification et l'interprétation des signaux radar sont toutes déterminées en utilisant l'échantillonnage du signal global. De plus, afin de maintenir une mise à l'échelle correcte sans atteindre la taille de matrice maximale de Matlab, un sous-échantillonnage a été mis en œuvre.

La transformation de Fourier rapide (t) et la transformation de Fourier rapide inverse de Matlab ont été implémentées dans l'analyse du signal reçu. Un filtre adapté a été mis au point afin de minimiser le rapport signal sur bruit. Le filtre adapté utilise également la transformation de Fourier rapide et, en plus, la transformation de Fourier rapide inverse.

### **3.2 Les bases du radar :**

Les radars utilisent les ondes radio pour détecter la distance et la vitesse d'objets ou de cibles. Ce projet examine les radars composés de deux composants : un émetteur et un récepteur. L'émetteur émet des ondes radio ou des signaux radar et le récepteur capture les signaux radar captés par la cible. Les réflexions permettent au radar de déterminer la distance de la cible en raison de la temporisation reçue du signal et du changement de fréquence du signal dû à l'effet doppler de la réception. Le délai peut être déterminé par  $t_D = 2cR$  où  $c$  est la vitesse de la lumière dans un espace libre. Le facteur de deux vient de

le signal devant voyager du radar à la cible et en revenir. Le signal reçu par la cible subit un décalage de fréquence appelé décalage de fréquence Doppler. La fréquence doppler peut être déterminée par  $f_d = 2V$  où  $V$  est la vitesse de la cible et la longueur d'onde du signal radar qui est  $= \frac{c}{f_c}$ , où  $f$  est la fréquence du signal porteur et  $c$  est à nouveau la vitesse de la lumière dans l'espace libre. En utilisant ces principes de base, la simulation suivante a été développée.

### **3.3 Travaux connexes :**

Traitement de signaux numériques sont décrites . En général, le travail radar est fortement corrélé au traitement des signaux numériques, en particulier du fait que de plus en plus de radars complexes sont développés, ce qui nécessite un pré-traitement et un post-traitement plus complexes pour obtenir une résolution plus élevée et de meilleurs rapports signal / bruit. L'objectif de ce projet étant de développer une simulation simple pour ceux qui commencent à étudier les radars (comme l'auteur), les techniques les plus complexes ne sont pas abordées dans ce rapport. Cependant, les bases du traitement des signaux numériques du cours ont permis une meilleure compréhension. et interprétation du matériel pour les signaux radar en général.

### **3.4 Collectes de données :**

Les tentatives de recherche de données radar simples au cours de la phase d'introduction du projet se sont révélées généralement infructueuses. Il a été constaté qu'il existe des jeux de données disponibles publiquement pour les données SAR, mais que cela est plus complexe et bidimensionnel. Les seules données disponibles qui correspondaient aux paramètres que l'on souhaitait étudier pour ce projet étaient les exemples de données fournis par le cours sur les didacticiels ouverts du MIT. Toutefois, il a été estimé qu'un seul jeu de données ne serait pas suffisant. C'est ce manque de données qui a conduit

Ce projet vise à développer une simulation d'analyse radar

La simulation comporte trois variables pouvant être modifiées par l'utilisateur. La plage de la cible, la vitesse de la cible et le rapport signal sur bruit (SNR). Un ensemble de données a été généré dans lequel chacun de ces trois paramètres a été modifié indépendamment. Alors qu'une variable était modifiée, les deux autres étaient définies à une valeur constante. La plage et la vitesse ont été définies approximativement au milieu de la plage, respectivement. Le RSB constant a été fixé à 30, bien que ce ne soit pas le milieu de la plage. Cette valeur reflète les valeurs communes observées dans la littérature.

La collecte de données pour chaque ensemble de valeurs de inclut la sortie du filtre adapté dans les domaines temporel et fréquentiel ainsi que l'autocorrélation, la

## Chapitre 03 : Simulation

corrélation et le signal reçu brut. Le dossier contenant le jeu de données a été soumis, mais voici quelques notes sur la notation. Chaque dossier est étiqueté avec trois numéros dans l'ordre Range Vitesse SNR, qui correspond également à l'ordre dans lequel ils sont demandés à l'utilisateur. Le code peut générer des graphiques supplémentaires, mais le code a été commenté afin de réduire le temps d'exécution.

### 3.5 Approches techniques :

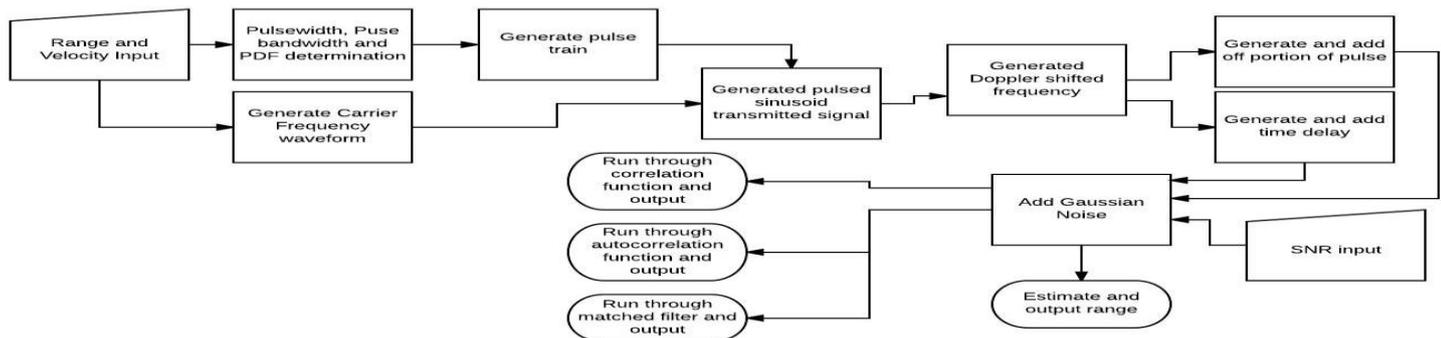


Figure 3-1 : Schéma fonctionnel d'ensemble

### 3.6 Initialisation :

L'idée sous-jacente à cette simulation est que l'utilisateur puisse entrer la distance et la vitesse désirées de la cible radar. Toutefois, la distance admissible est un paramètre de conception d'un radar et ces valeurs doivent donc être comprises dans des plages spécifiques. La simulation radar a été mise en œuvre sous forme de radar doppler pulsé, ce qui signifie que le signal transmis est la porteuse sinusoïde à impulsions pulsées sur et à une fréquence spécifiée, appelée **fréquence de répétition** des impulsions (PRF). La majorité des radars Doppler à impulsions fonctionnent à une fréquence de répétition des impulsions moyenne comprise entre **3 kHz et 30 kHz**, ce qui correspond à une plage allant de 5 km à 50 km et à des vitesses allant de **17,3 m / s à 173 m / s** (pour la fréquence porteuse de la mise en oeuvre). L'entrée utilisateur est vérifiée par rapport à ces limites et une erreur est générée si la valeur est en dehors d'eux.

```
>> main
Enter the distance of the target (5-50, units are km) 5
Enter the velocity of the target (m/s) |
```

Figure 3-2 : Entrée utilisateur à la ligne de commande

## Chapitre 03 : Simulation

---

Une fois la distance et la vitesse spécifiées, le paramètre radar optimisé peut être déterminé. Ces paramètres incluent la largeur de bande d'impulsion, la largeur d'impulsion et la PRF. La largeur de bande d'impulsion est déterminée à l'aide de l'équation, largeur de bande d'impulsion  $B = 2 \cdot c \cdot R$ . A partir de la largeur de bande d'impulsion, la largeur d'impulsion peut être déterminée en prenant l'inverse de la largeur de bande. Pour déterminer un PDF optimisé, il faut choisir la fréquence porteuse. Dans cette simulation, la fréquence porteuse étant codée en dur à **13 GHz**, il serait facile de permettre à l'utilisateur de la simulation de modifier cette variable. Toutefois, si elle tombe trop bas, il existe deux problèmes potentiels. Tout d'abord, si le signal peut contenir une modulation due à la cible en mouvement, si la largeur de la bande passante est  $< 101$  fréquence porteuse, le but de cette simulation est connaître si la fréquence de la porteuse devient trop basse, il pourrait ne pas y avoir autant comme nous somme des étudiant, il est difficile de voir ce qui se passe s'il ya très peu d'oscillations au sein d'une impulsion; la valeur finale a donc été choisie pour assurer la clarté visuelle. la vitesse désirées soient détectées avec précision, la PRF doit être réglée de manière à ce que la plage et la vitesse soient inférieures à la mesure maximale non ambiguë respective. Ceci est accompli en calculant les bornes minimales pour chacune de ces entrées à l'aide des équations suivantes :

Bound 1 =  $c$  et Bound 2 =  $j \cdot V \cdot j \cdot 4 \cdot f_c$ . Pour fixer le PRF final, le maximum de ceux-ci était

$2R \cdot c$  choisi et la différence des bornes a été ajoutée ; pour les entrées données, cela devrait être dans la plage, mais un contrôle lié a également été mis en place.

### 3.7 Signal de porteuse :

La première étape de la simulation est la génération du signal de porteuse. Bien que le tracé ne contienne aucune information utile, il a été tracé aux fins de la simulation pour garantir que la résolution d'échantillonnage était suffisamment élevée pour permettre une reconstruction visuelle décente. Le signal de la fréquence porteuse a été calculé comme suit :  $f_c = \sin(2 \pi C t)$  où  $t$  est le vecteur temps échantillonné tous les  $201 \text{f de } 0$  à  $2E-9$ . Pour satisfaire le taux de Nyquist, il aurait suffi d'échantillonner tous les  $4f1$ , mais en augmentant les intervalles, il est beaucoup plus facile de visualiser sur le graphique, ce qui, bien que non important pour cette étape car générer le signal de porteuse est assez simple, est important. lors des étapes plus spécifiques de cette simulation, il était donc important de s'assurer que la résolution était

### 3.8 Impulsions :

## Chapitre 03 : Simulation

---

Le prochain signal à générer est le train d'impulsions correspondant à la fréquence de répétition des impulsions calculée précédemment. La PRF est très inférieure à la fréquence porteuse (au moins par un facteur de 10 par nécessité). Par conséquent, un vecteur temps séparé a été calculé.

Calculé. Ce vecteur temps est échantillonné à  $1/f$  pour 5 échantillons E6. Les durées des durées et des durées ont également été déterminées. La durée pendant laquelle l'impulsion est "activée" a été définie comme égale à la largeur d'impulsion multipliée par la période de l'impulsion ( $1/PRF$ ). La durée "o" a été fixée à 1 moins la durée "marche". Le train d'impulsions a ensuite été calculé à l'aide du code MatLab ;  $\text{impulsion} = \text{double}(\text{mod}(\text{ts}, \text{somme}(\text{Tr})) < \text{Tr}(1))$  ;. Cela a été tracé pour la compréhension visuelle.

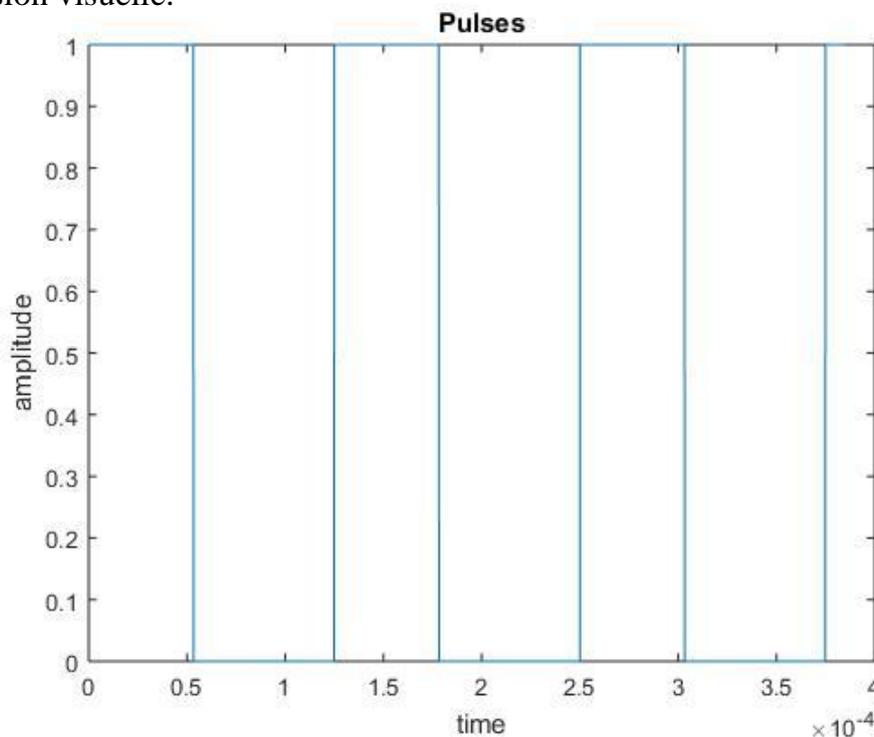
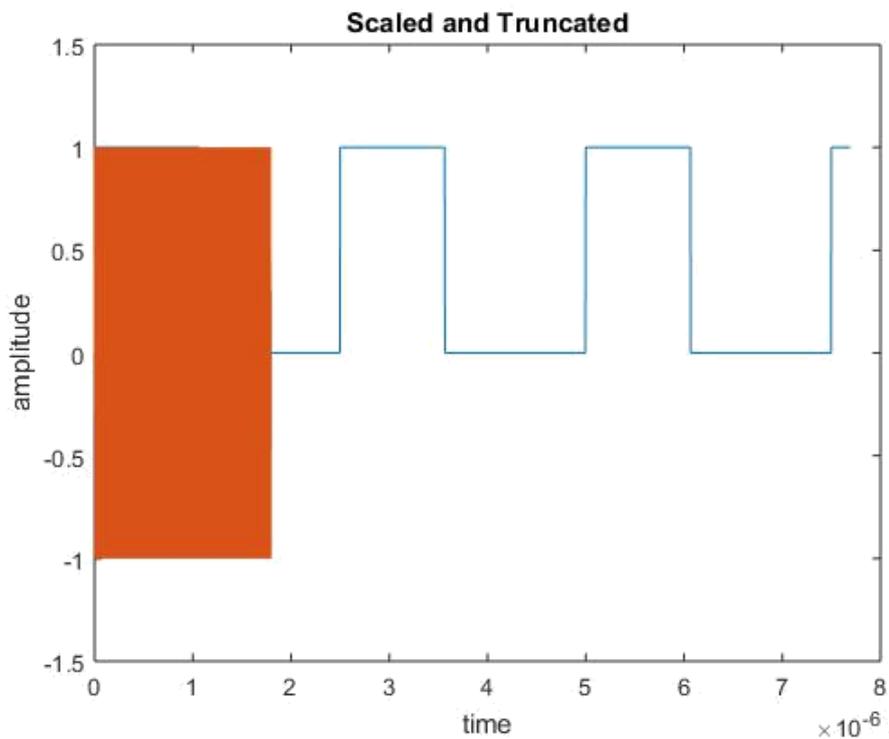


Figure 3-3 : Impulsions avec une PRF de 8 kHz

### 3.9 Signal transmis :

Afin de générer la version pulsée du signal de fréquence porteuse, les deux signaux précédents sont combinés. Par conséquent, les signaux doivent être redimensionnés pour que cela fonctionne. Le signal de fréquence porteuse est interpolé (up shift) par un facteur de 64, puis 7 copies du signal sont ajoutées les unes aux autres. Le train d'impulsions a été sous-échantillonné d'un facteur 5. Un nouveau vecteur temps est créé, les échantillons apparaissant tous les  $101f$  de 0 à  $7E-5$ . Ces signaux ont été tracés sur le même graphique pour montrer la génération de l'impulsion. Notez que le signal de fréquence porteuse est toujours beaucoup plus court que le train d'impulsions.



**Figure 3-4 : Superposition du signal de pulse train et de la porteuse**

Une fois que les échelles de temps ont été décalées et que les signaux ont été tronqués pour avoir la même longueur, le signal transmis est généré en multipliant le train d'impulsions par le signal de fréquence porteuse.

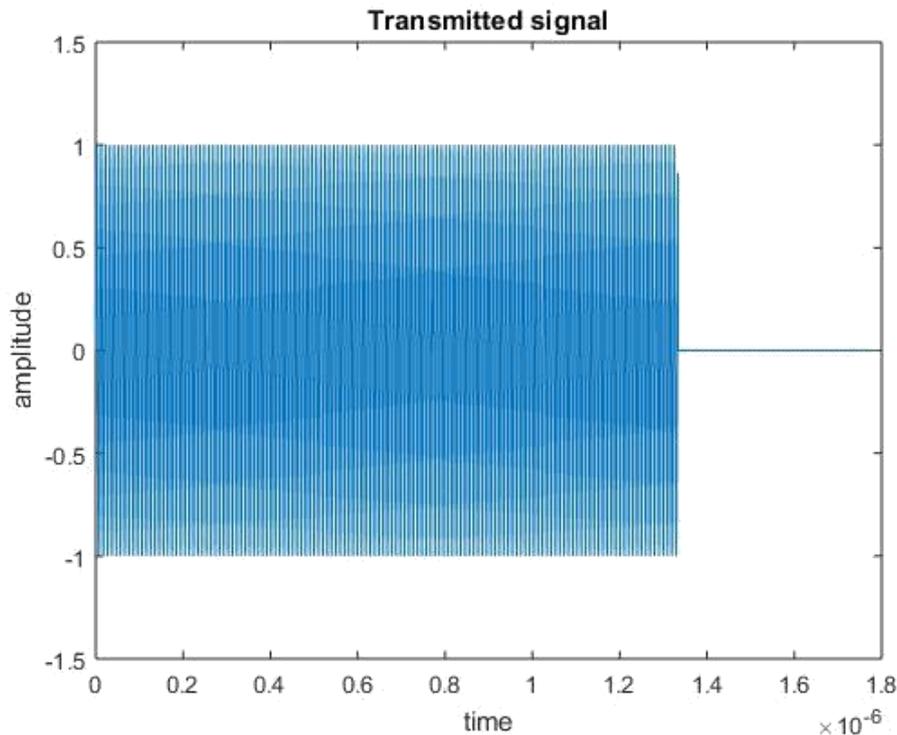


Figure 3-5 : Impulsion unique du signal transmis

### 3.10 Signal reçu :

Le signal reçu est composé de deux parties, la sinusoïde pulsée qui subit un décalage doppler et le retard causé par le temps nécessaire pour que le signal atteigne la cible et soit renvoyé au récepteur.

#### 3.10.1 Décalage Doppler :

La fréquence de décalage Doppler, appelée fréquence Doppler, a été calculée à l'aide de la formule ;  $f_d = 2V/\lambda$ , où  $V$  est la vitesse de la cible et  $\lambda$  est la longueur d'onde. Un nouveau on crée un vecteur temps qui est échantillonné à 1 de zéro à la partie "active" de l'impulsion3 ( $f + f_d$ ) largeur. Pour satisfaire au critère de Nyquist, l'échantillonnage ne devrait être que de 1 mais2 ( $f + f_d$ )

3 produit une meilleure image, bien que l'image agrandie soit impossible à distinguer lorsque vous effectuez un zoom avant 3 a une meilleure résolution. L'impulsion décalée doppler elle-même est générée en créant un signal égal à  $\sin((C + D) \cdot \text{timevector})$

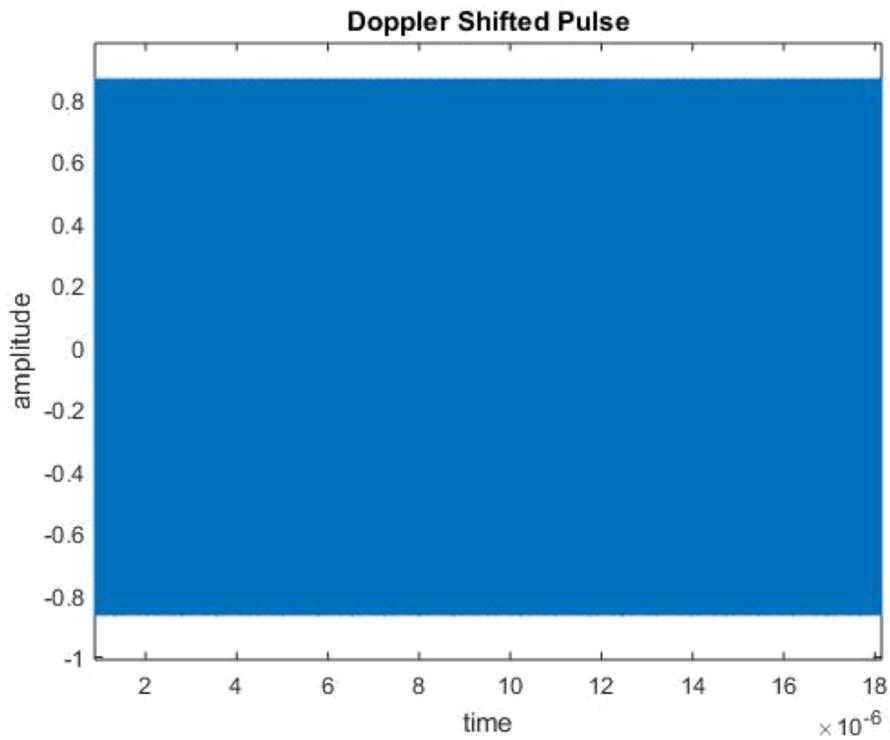


Figure 3-6 : Signal décalé Doppler complet

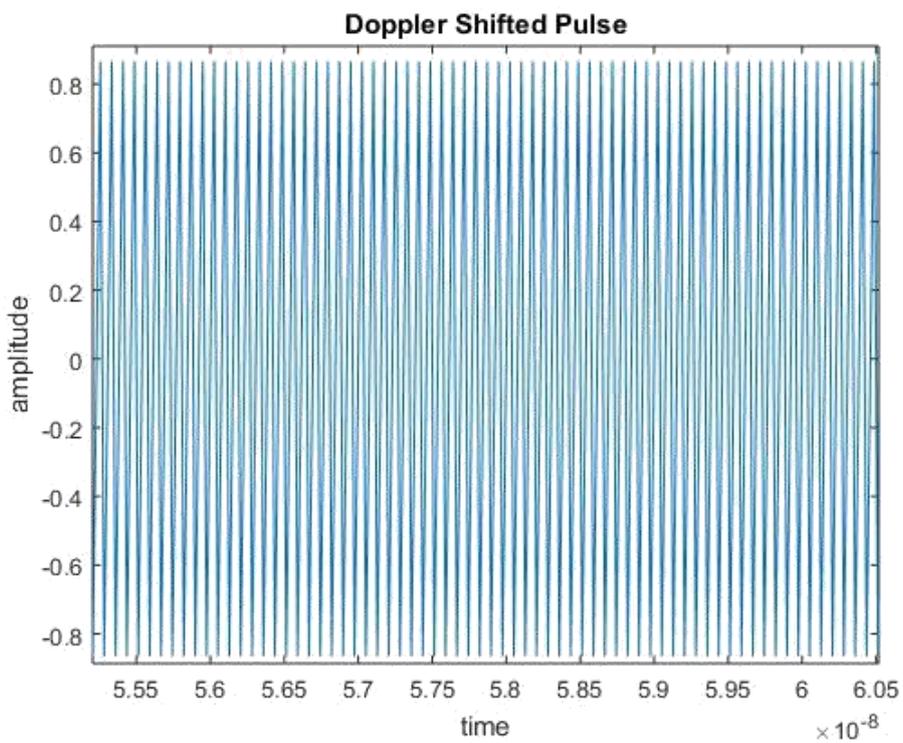


Figure 3-7 : Signal décalé doppler zoomé

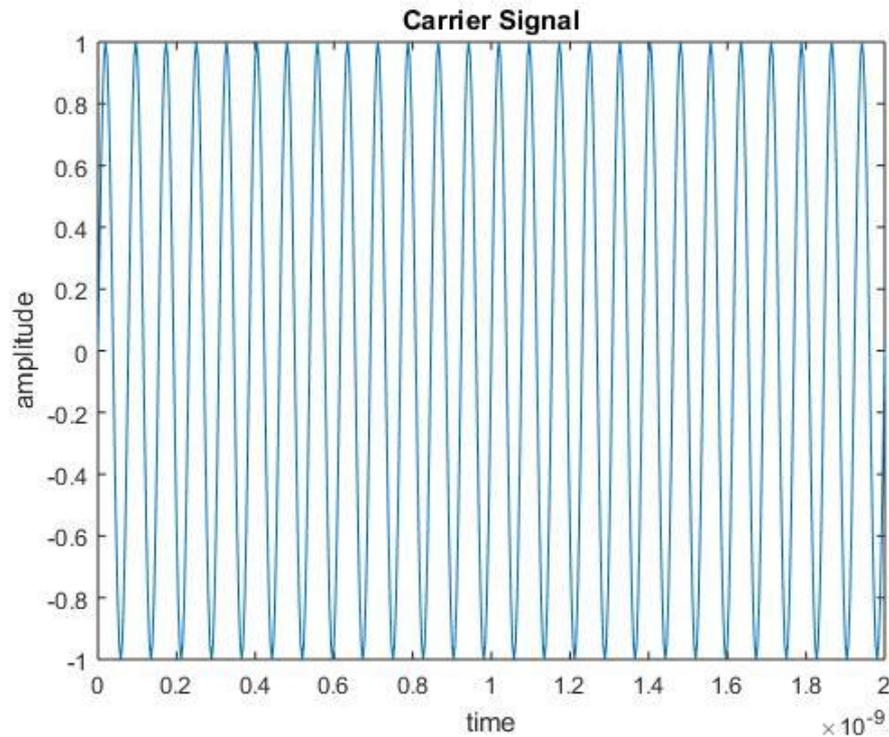


Figure 3-8: Tracé du signal de porteuse

### 3.10.2 Partie "off" :

Le signal transmis comportait à la fois un "on" et un "off". La partie "on" qui avait la fréquence  $f_c$  a été générée avec son décalage doppler supérieur, la partie "off" qui a une amplitude zéro constante doit être rajoutée au signal maintenant décalé par Doppler. Sur la base du nombre d'échantillons en corrélation avec la partie "active" du signal, le nombre d'échantillons supplémentaires nécessaires pour la section "off" du signal est calculé. Un vecteur de rangée de zéros de cette longueur est ensuite ajouté au signal décalé doppler d'origine et le vecteur de temps est étendu afin que MatLab puisse tracer.

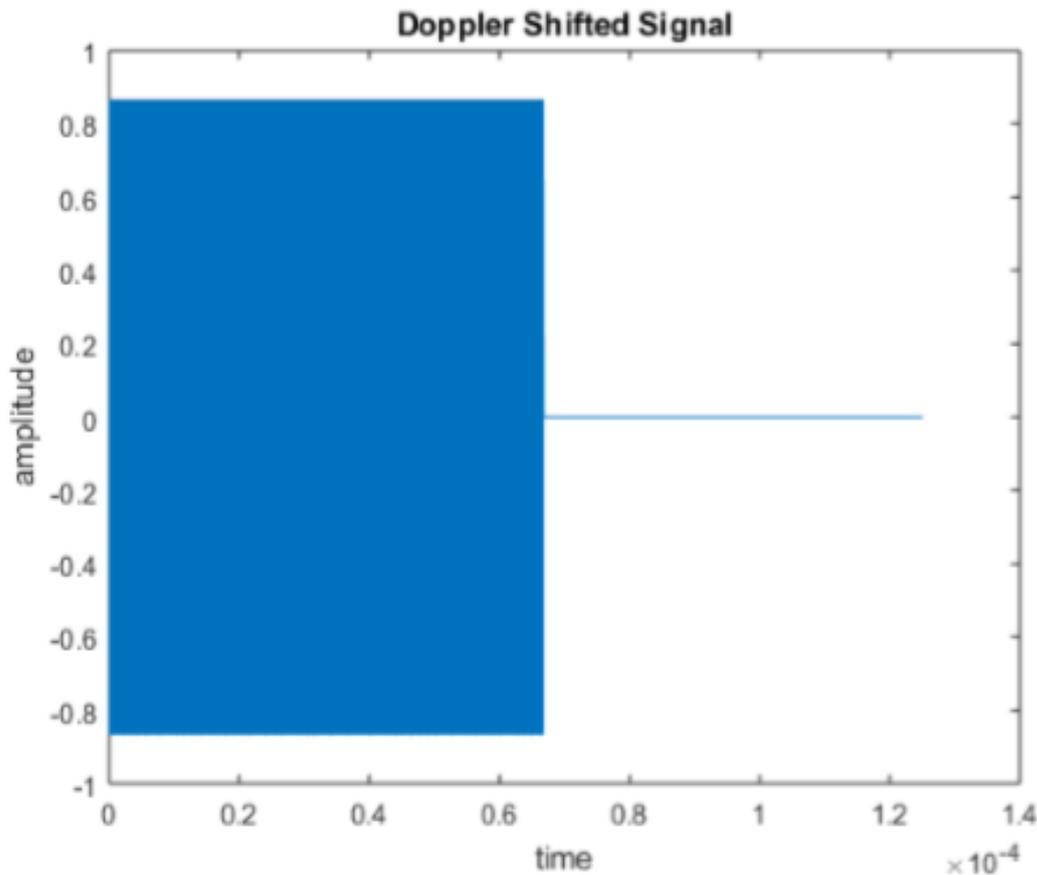


Figure 3-9: Signal décalé Doppler avec partie "off"

### 3.10.3 Délai :

Malgré des déplacements très rapides, les rayonnements électromagnétiques ne se déplacent pas instantanément et, par conséquent, le délai entre l'envoi du signal radar par l'émetteur et la réception du récepteur est non négligeable. Le délai peut être trouvé par la formule ;  $td = 2cR$ , où R est la plage, c la vitesse de la lumière dans l'espace libre et le facteur 2 vient de la nécessité de se rendre à la cible et de revenir à la cible. Une fois que le délai est connu, le nombre d'étapes devant être ajoutées au vecteur temps est déterminé, de même que le nombre de zéros nécessaires pour précéder le signal décalé doppler reçu.

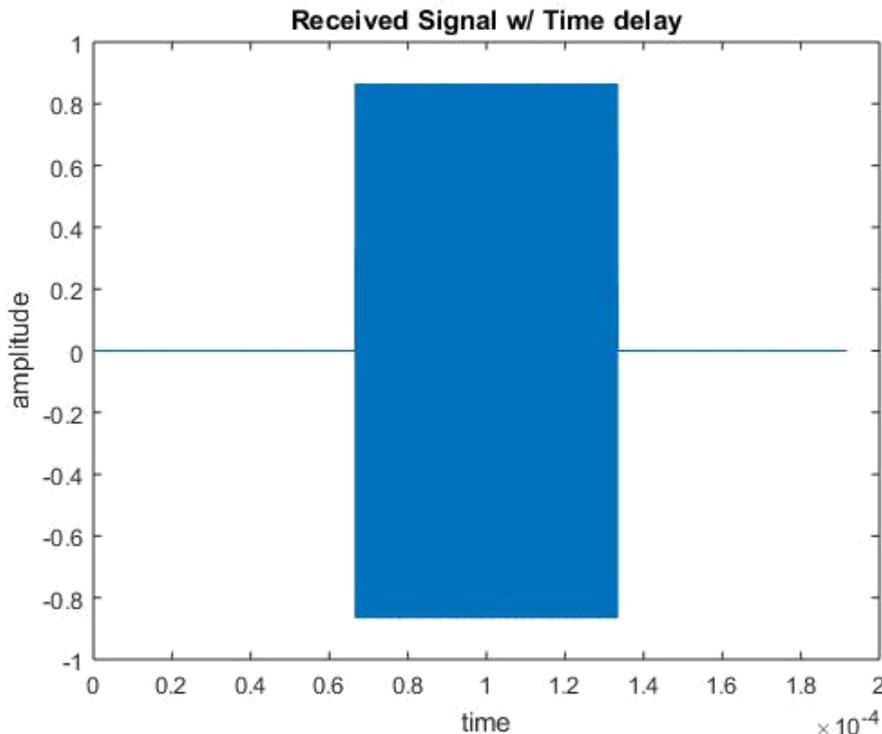
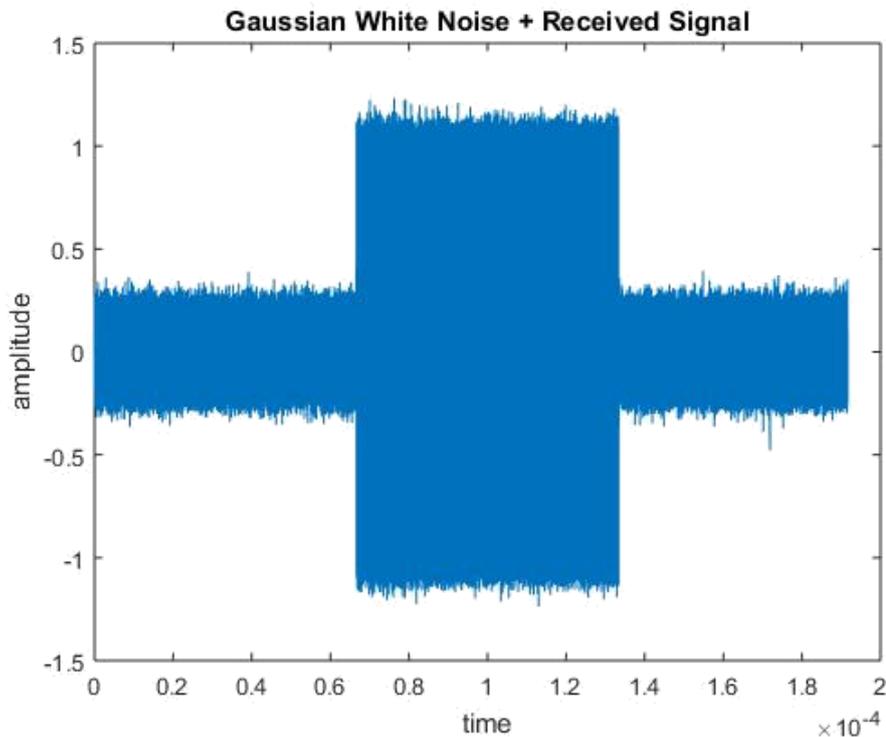


Figure 3-10: Signal reçu sans bruit

### 3.10.4 Bruit gaussien :

La composante finale du signal reçu est le bruit ou le fouillis. Il existe deux principales sources d'erreur potentielles. Bruit de fond thermique et réflexions d'autres objets, tels que le sol. Il existe des modèles qui décrivent les types de fouillis pouvant survenir. Pour maintenir la simplicité de ce modèle, il a été décidé d'ajouter le bruit blanc gaussien. Dans la littérature, il est couramment utilisé pour décrire le bruit et n'a donc pas été considéré comme irréaliste. Il est demandé à l'utilisateur de saisir le rapport signal sur bruit (SNR) souhaité. Il a été décidé de le définir comme une entrée utilisateur en raison de la variation délibérée de ce facteur, ce qui souligne l'importance du bruit et de la réduction du bruit dans le traitement des signaux, ce qui est important. à l'étude des systèmes radar. La fonction Matlab `awgn()` a été utilisée pour générer le bruit au SNR spécifié. `Awgn()` a également été définie de manière à interpréter le SNR sous forme de rapport plutôt que de quantités en dB. Cela a été fait parce que dans la littérature sur les radars, il a été noté que le RSB était généralement discuté en termes de rapports et non de dB. Le signal reçu avec bruit gaussien a ensuite été tracé.



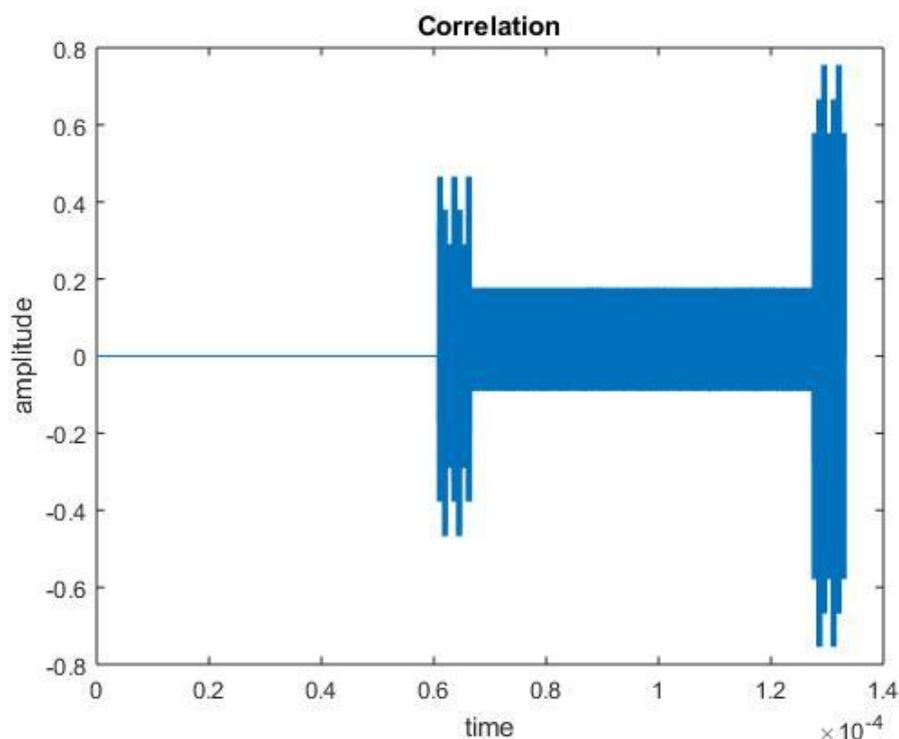
**Figure 3-11: Signal reçu avec bruit gaussien**

### **3.11 Estimation de la plage :**

Maintenant que le récepteur a reçu le signal radar, l'extraction des données et l'analyse peuvent commencer. La première tâche consistait à déterminer la portée de la cible, en gardant une trace du délai - le radar sait à quel moment il envoie l'impulsion et il sait à quel moment il a reçu l'impulsion détectée et connaît donc le délai. L'implémentation de ceci dans la simulation a trouvé le premier point de données du signal qui n'était pas 0 + bruit et a enregistré son heure comme délai. La plage est ensuite estimée à l'aide de l'équation ;  $Plage = 2c \text{ timedelay}$ . L'estimation de la distance a ensuite été affichée dans la fenêtre de commande. Pour une analyse plus poussée, le délai a ensuite été supprimé du signal.

### 3.12 Corrélation :

La corrélation entre deux fonctions est une mesure de leur similarité. En traçant la corrélation entre le signal transmis et le signal reçu, il est possible de voir où se trouve le signal transmis (même si sa fréquence est légèrement différente). Notez qu'il y a du bruit sur les limites du signal, il est possible de l'éliminer grâce à un filtrage supplémentaire.



**Figure 3-12 : Corrélation**

### 3.13 Autocorrélation :

L'autocorrélation est la corrélation d'une fonction avec elle-même. L'autocorrélation est utile pour rechercher des motifs répétés dans un signal, par exemple la présence d'un signal périodique. Pour le signal reçu, l'autocorrélation résulte en une fonction de forme triangulaire, le pic étant concentré là où le signal est situé et se dirigeant vers la partie du signal qui est simplement du bruit. Pour cette analyse spécifique, je n'ai pas trouvé

## Chapitre 03 : Simulation

---

la fonction d'autocorrélation très utile, mais comme il est courant pour ce type d'analyse de signal, je voulais la présenter à l'utilisateur.

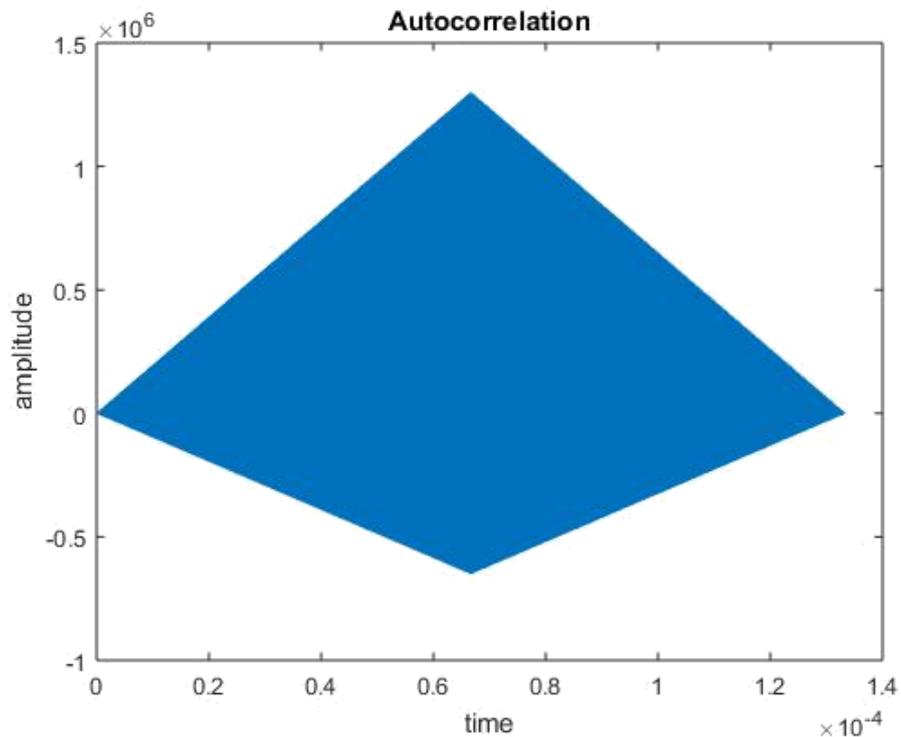


Figure 3-13: autocorrélation

### 3.14 Filtrage adapté :

Le filtre adapté est le filtre optimal pour optimiser le rapport signal sur bruit en présence de bruit aléatoire additif, comme dans cette simulation, ou présent dans les signaux radar dans le monde réel.

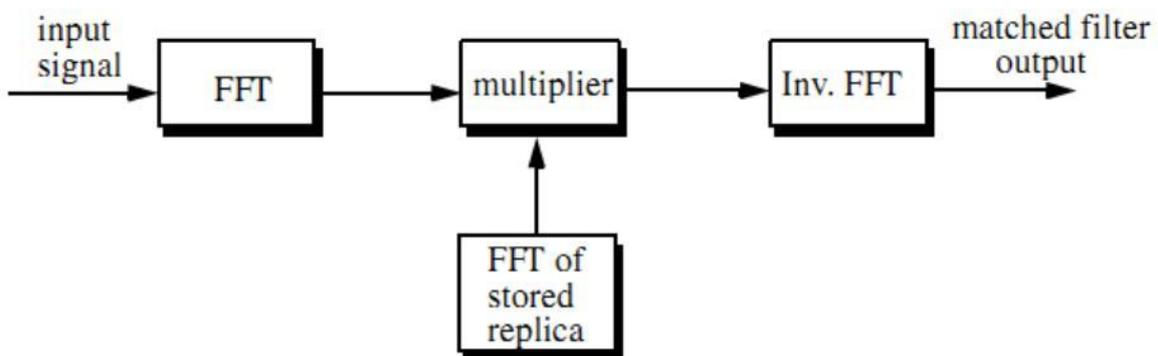
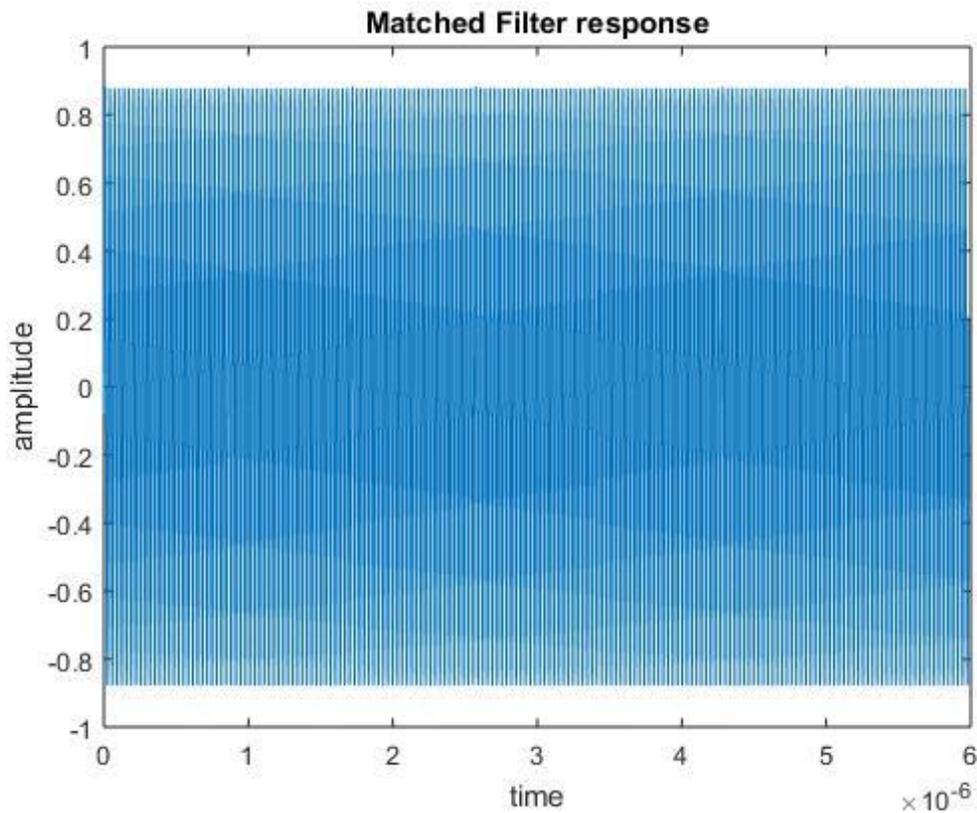


Figure 3-14 : Schéma fonctionnel du filtre apparié [6]

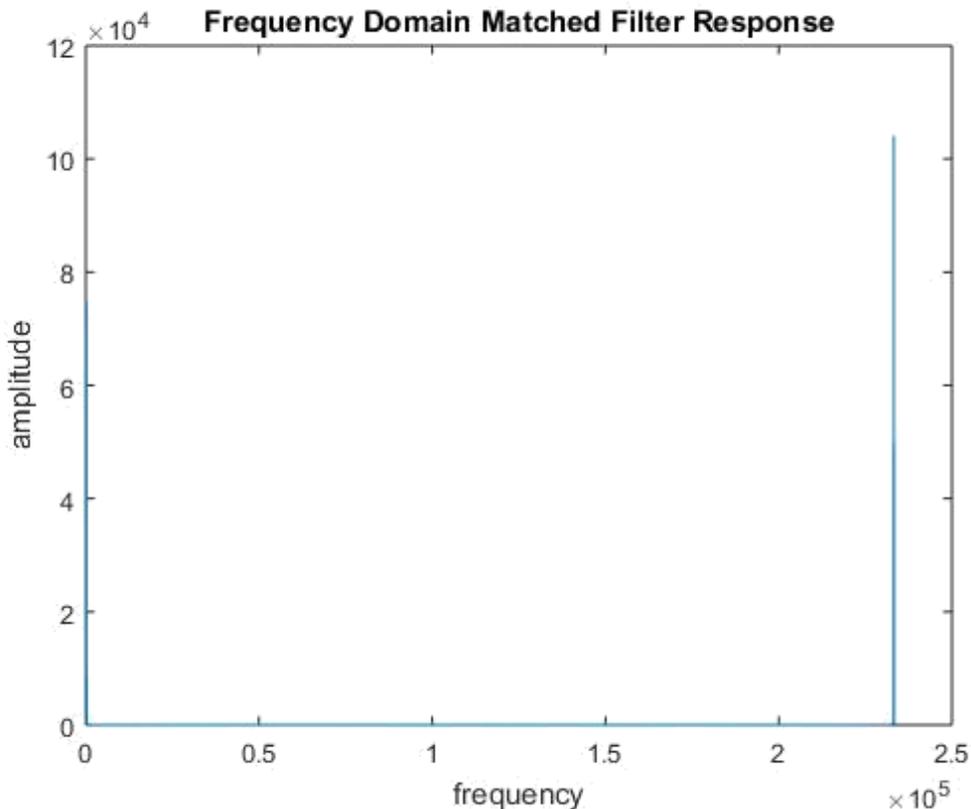
## Chapitre 03 : Simulation

---

La mise en œuvre effective du filtre adapté est la convolution du signal reçu avec le signal transmis. Cela a été fait en calculant le  $t$  de ces deux signaux et en les multipliant, puis en calculant le  $i t$  pour renvoyer le signal dans le domaine temporel. La sortie du filtre adapté peut également être analysée dans le domaine fréquentiel, ce qui montre que le plus grand poids du filtre est appliqué aux composants où le bruit est relativement faible et où la présence du signal est élevée.



**Figure 3-15 : Réponse du filtre correspondant au domaine temporel**



**Figure 3-16 : Réponse du filtre de correspondance du domaine de fréquence**

### **3.15 Résultats intermédiaires :**

La plupart des résultats présentés dans la section Discussion technique sont des étapes intermédiaires de l'analyse finale afin que l'utilisateur puisse avoir une idée de ce qui se passe dans les coulisses. Les autres étapes et décisions intermédiaires sont discutées ci-dessous.

### **3.16 FFT pour validation :**

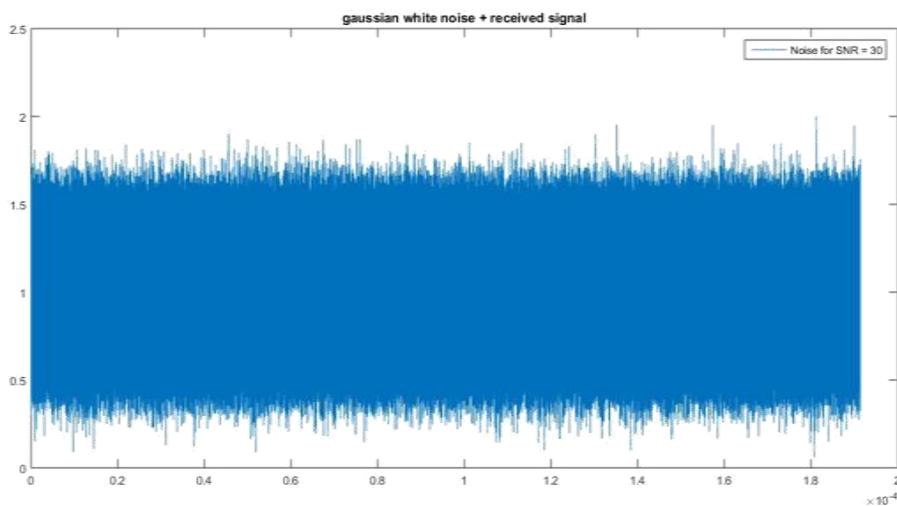
La détermination mathématique de la fréquence souhaitée du signal reçu est facile à calculer via;  $f_r = f_c + f_d$ . Pour vérifier que le signal construit à partir de la porteuse et du décalage doppler le représente, le  $t$  du signal a été tracé et les fréquences du maximum calculées. Celles-ci ont été vérifiées pour s'assurer qu'elles étaient alignées avec la fréquence de récepteur souhaitée et ses harmoniques.

#### 5.2 Graphique de seuil

## Chapitre 03 : Simulation

---

Un concept important dans la détection de signal radar est la détermination d'une valeur de seuil, au-dessus de laquelle la réponse doit être considérée comme une donnée valide. Afin de déterminer les niveaux, le bruit ajouté atteignant le signal radar reçu était réglé sur une constante de 1 (0 a été essayé, mais cela n'a entraîné aucun bruit et n'a donc pas été utile). L'écart maximal par rapport à la constante a été enregistré. Le graphique ci-dessous montre un graphique de ce type sur un signal constant.



**Figure 3-17 : Signal constant avec bruit gaussien ; SNR = 30**

### **3.17 Points forts :**

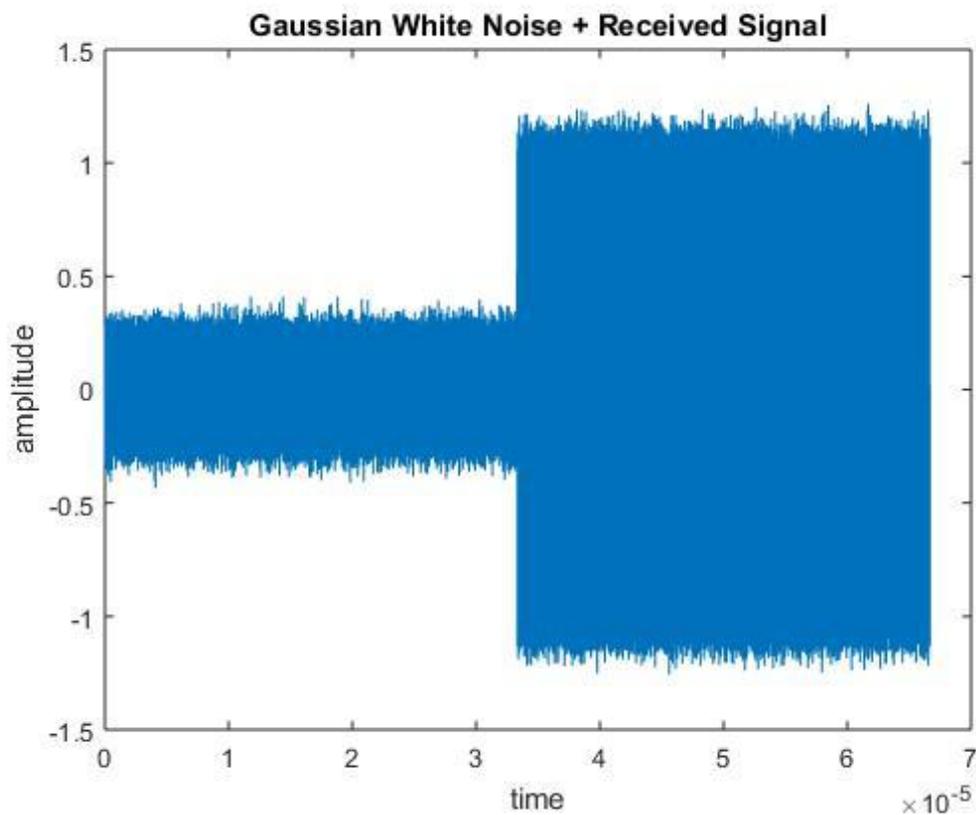
Les points forts de cette simulation sont sa simplicité et son approche progressive. Parce qu'il s'agit d'approcher le radar à son niveau le plus fondamental, cette simulation est en mesure de montrer chaque étape que j'estime importante pour les débutants. Les résultats sont particulièrement nets pour les tagets du milieu de gamme et les bandes de velocity, car ceux-ci commencent à se déplacer vers les extrêmes, des problèmes ont été constatés avec un fenêtrérent temporel de taille assez grande.

### **3.18 Faiblesses :**

La faiblesse de cette simulation réside dans sa capacité limitée à une très petite plage de capacités des radars. Par exemple, cela imite les actions des premiers radars tels que ceux utilisés pendant la première guerre mondiale. Des faiblesses supplémentaires sont apparues aux limites de la plage et du rapport signal sur bruit. Ces cas d'échec sont discutés ci-dessous dans la section des résultats finaux.

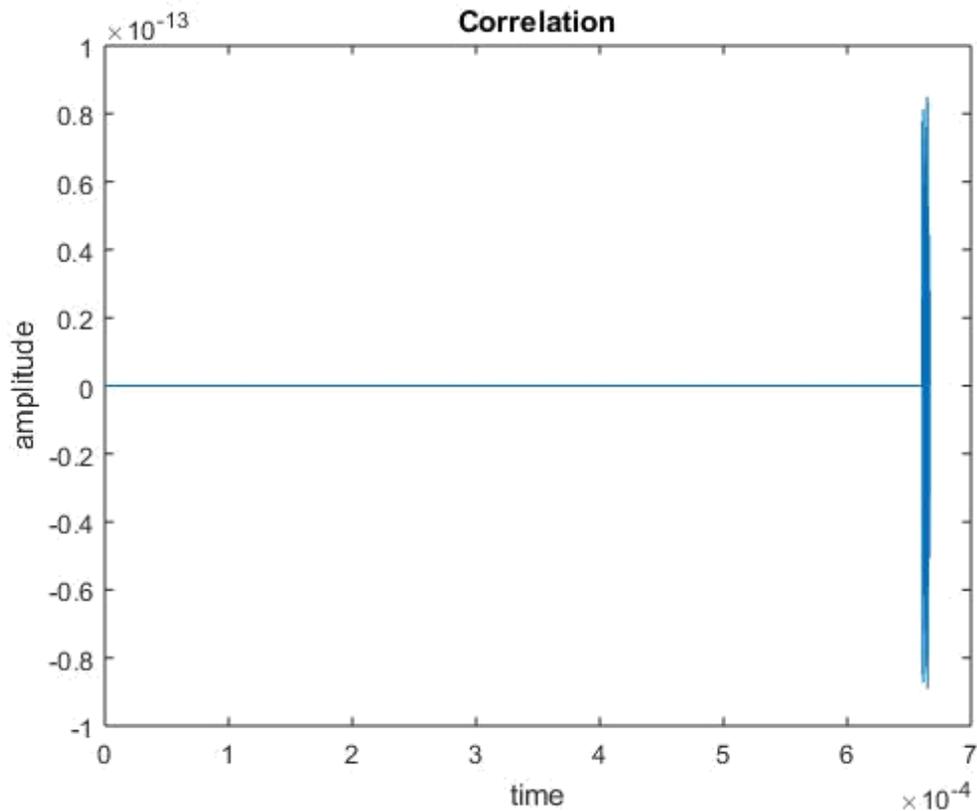
### 3.19 Résultats finaux :

Cette simulation fonctionne particulièrement bien au milieu de sa plage, car les chiffres commencent à se rapprocher des limites, les données sont moins claires. Vous trouverez un bon échantillon d'une exécution performante de cette simulation dans la section Aperçu technique de ce rapport. Dans cet exemple, les données apparaissent principalement centrées sur les graphiques tracés. Lorsque la distance et / ou la vitesse augmentent, le délai augmente dans plusieurs cas, ce qui a poussé la seconde moitié du signal renvoyé sur le tracé visible.



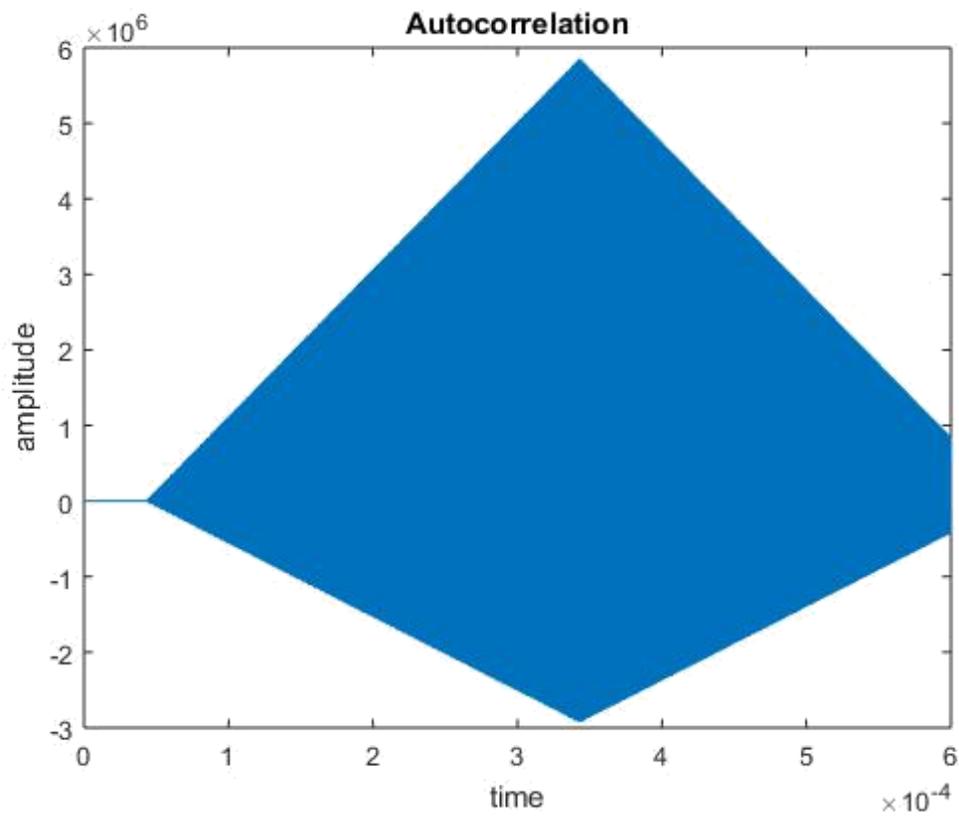
**Figure 3-18 : Signal reçu, 2e moitié perdu**

Il y a eu aussi plusieurs cas où la corrélation semble être plus comprimée qu'elle ne devrait l'être, ou peut-être que l'échelle de temps n'a pas été correctement ajustée à l'ensemble de données. La figure ci-dessous montre l'un de ces cas.



**Figure 3-19 : Réponse corrélée fortement comprimée**

Le dernier résultat inattendu observé était une fonction d'autocorrélation décalée et coupée ; elle peut à nouveau être attribuée à une fenêtre d'échelle de temps non dynamique qui, pour les cas de plage extérieure et de vitesse, a entraîné le déplacement de la fonction d'autocorrélation en dehors de la fenêtre temporelle.



**Figure 3-20 : Fonction d'autocorrélation décalée et cuto**

Un faible SNR a également causé plusieurs problèmes. Les essais avec un rapport signal sur bruit de 1 et 10 avaient des portées non correctes. Pour les deux, la portée aurait dû être de 23 km. Toutefois, avec un rapport signal de bruit de 10, la portée estimée est de 7,4423 m et avec un rapport de 1, la valeur renvoyée était de 1.

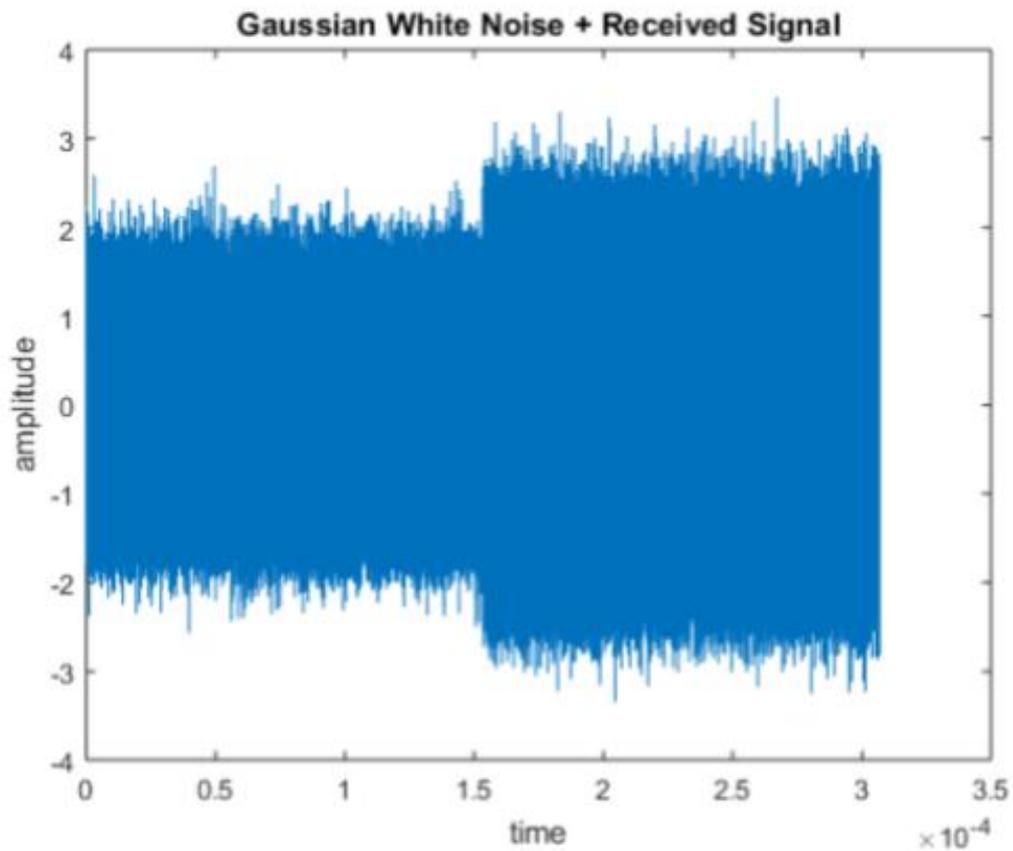


Figure 3-21: Signal reçu avec un rapport signal sur bruit de 1

### Conclusion générales :

Comme dans toute simulation, il y a beaucoup d'endroits où aller. Cette simulation était intentionnellement simple car je viens tout juste d'en apprendre plus sur les radars, car c'est un domaine qui m'intéresse à mesure que j'apprends plus. Cette simulation peut être améliorée et étendue, mon manque de connaissances dans le domaine que j'ai ressenti tout au long du processus a été l'un des facteurs limités, mais tout au long de ce processus, j'ai beaucoup appris et fait la meilleure simulation possible. Avec un délai supplémentaire, les problèmes d'échelle de temps découverts lors des tests auraient pu être résolus. De plus, la simulation aurait pu être plus modulaire pour permettre plus d'interactions utilisateur et d'interaction, notamment grâce à la conception d'une interface utilisateur graphique. Je sais que MatLab a la capacité de le faire, mais je l'ai trouvée déroutante et je ne pensais pas que c'était la meilleure solution. Façon de passer le temps limité.

Maintenant que j'ai terminé le projet, j'aurais envisagé d'utiliser un logiciel différent. Comme

Super comme MatLab, je ne pense pas que c'était la bonne plateforme. Si j'avais à refaire ce projet, j'aurais envisagé d'utiliser Simulink ou LabVIEW. J'ai acquis beaucoup d'expérience dans MatLab au cours de ce semestre et je n'ai pas ce niveau d'expérience dans les autres logiciels. J'aurais donc eu besoin de plus de temps pour apprendre le logiciel ainsi que le travail lui-même.

Certaines extensions de ce projet consisteraient à inclure d'autres types de traitement radar. Cela pourrait prendre de nombreuses voies, mais l'un des plus étroitement liés aux concepts de cours serait le pré-traitement et le post-traitement supplémentaires destinés à réduire le bruit ou à mettre en œuvre des méthodes de codage supplémentaires.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Laurent Déjean , «Détection de petites cibles marines en milieu côtier par radar naéroporté », Thèse doctorat de Telecom Bretagne, 10 novembre 2009.
- [2] INRS, « Champs électromagnétique », Eddition 4212,décembre 2013.
- [3] M. Deban Ramin, « Analyse et développement de radar a diversité spatiale :applications a l'évitement de collisions de véhicules collisions et au positionnement local » , Thèse doctorat Génie électrique , Université de Montréal , L'avril 2010.
- [4] MrS, Muguelati , « cour radar» , 5<sup>eme</sup> Année ingénieur, Université Blida, 2009/2010.
- [5] B. Atrouz, « Les Systems radar » , Ecole militaire polytechnique.
- [6] J. Darricau, « physique et théiore du radar »,3<sup>eme</sup>edition 1984 ,chapitre 8,page 2.
- [7] D.K. Barton, H.R Ward, « Handbook of Radar Measurement », Electronic Edition, Artech House, 1984.
- [8] Beatriz Amante Garcia, « Conception d'un radar d'aide a la conduite automobile utilisant un système discriminateur de fréquence type "six-port" », mémoire Engineering Sciences [physics]. Telecom Paris Tech, 16 Apr 2004.
- [9] Achbi Med, Abdou Abadli, A/Moutaleb , «Analyse des performances des détecteurs ca, os et ml-cardans un clutter de distribution » ,Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Automatique, Université Mohamed khaidr-Biskra, Promotion2007.
- [10] Franck Chebila , «Lecteur Radar pour Capteurs Passifs à Transduction Radio Fréquence» , Thèse doctorat Micro Ondes, Electro Magnétisme et Optoélectronique , université de Toulouse, 31 Mars 2011 .
- [11] Marua chami, «Suppression d'ambiguïté dans les images SAR», mémoire en électronique et télécommunication, université Libanaise Faculté de Génie en convention avec Télécom Bretagne.
- [12] Hamet Bastien ,Obriot Nicolas, « Signal modeling and foundations of Near-field Naval MIMO radar for small targets discrimination », Master thesis In Mobile Communication systems department of electronic systems alborg university, may 2012.

- [13] Han Liang , « integrated communication and radar scheme for future intelligent transportation systems », These Ph.D. génie électrique , Université de Montréal ,Juin 2011 .
- [14] www.radartutorial.
- [15] Brahim Boudmouz, « Contribution à l'étude de nouvelles techniques de radar MIMO pour la détection de cibles en contexte urbain (à l'intérieur des bâtiments) », Thèse doctorat Signal, image, acoustique et optimisation ,Université Toulouse, lundi 11 mars 2013.
- [16] H ,Sauvgeot, « Radar Météorologie», Eddition eyrolles, 1981.
- [17] E ,Moldovan, « Nouveau senseur radar anticollision à 94 ghz en technologie six-port » , mémoire génie électrique, École Polytechnique de Montréal, Département du génie électrique, 2006.
- [18] J. Darricau, « physique et théiore du radar »,3<sup>eme</sup> edition 1984 ,chapitre 4,page2
- [19] Jean-Claude Souyris, CNES, « Service Altimétrie et Radarm » , Janvier 2011
- [20] Geoffroy Mangin, « Le Etude d'un radar cohérent fonctionnant en mode pulsé : application à la surveillance maritime » , Thèse doctorat de Électronique , Université Montpellier2, 8 Mars 2013.
- [21] J. Darricau, « physique et théiore du radar»,3<sup>eme</sup> edition 1984 –chapitre 5,page4
- [22] Jean-François récoché, Dossier thématique n°5 – Radars et effet Doppler .
- [23] Merrill I. Skolnik , « introduction to radar système », Second Edition, 1980.
- [24] N. Levanon, and A. Mozeson, « Radar signal » ,2004.
- [25] F. C. Robey, « MIMO radar theory and experimental results Conf. Record th Asilomar Conf. Signals, Systems & Computers, Pacific Grove, CA» ,mémoire Nov 2004.
- [26] B. R. Mahafza, A. Elsherbeni, « MATLAB simulations for radar systems design », CRC press, 2003.
- [27] B. Chen, J. Wu, « Synthetic Impulse and Aperture Radar (SIAR): A Novel Multi-frequency MIMO Radar», 2014.
- [28] Merrill I. Skolnik, « introduction to radar système », Second Edition 1980, p. 413.
- [29] N. Touati, « Optimisation des formes d'ondes d'un radar d'aide à la conduite automobile, robustes vis-à-vis d'environnements électromagnétiques dégradés» ,thèse électronique , Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis,

- 2015.
- [30] D. K, Barton, S. A , « Leonov, Radar Technology Encyclopedia », Artech House, 1998, page 472.
- [31] D. K. Barton, S. A . « Leonov, Radar Technology Encyclopedia », Artech House, 1998, page 402.
- [32] Jalal Al-Roomym, Akram Abu- Raidam, « waveformgeneration » ,January 2010.
- [33] <http://en.wikipedia.org/wiki/Waveform>.
- [34] Vishal Riché, « Etude et realisation d'un systeme d'imagerie SAR exploitant des signaux et congurations de communication numerique » , Thèse doctorat electronique, l'université Européenne de Bretagne, 25 avril 2013.

## **I. Présentation de l'établissement national de la navigation aérienne(ENNA) :**

L'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA) dans sa nature juridique, est un Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC), sous tutelle du ministère des transports, il est dirigé par un directeur général et administré par un conseil d'administration.

### **I -1 Historique :**

Depuis l'indépendance, cinq organismes ont été chargé de la gestion, de l'exploitation et du développement de la navigation aérienne en Algérie : OGSA, ONAM, ENEMA, ENESA, ENNA.

- De 1962 à 1968 : c'est l'Organisation de Gestion et de Sécurité Aéronautique (OGSA), organisme Algéro-Français, qui a géré l'ensemble des services d'Exploitation de l'Aviation Civile en Algérie.
- Le 1 Janvier 1968 : l'OGSA a été remplacé par l'Office de la Navigation Aérienne et de la Météorologie (ONAM). Ce dernier a été remplacé, en 1969, par l'Etablissement National pour l'Exploitation Météorologique et Aéronautique (ENEMA) qui a géré la navigation aérienne jusqu'à 1983.
- En 1975 : les activités de météorologie ont été transférées à l'Office National de Météorologie créé le 29 Avril 1975, sous forme d'Etablissement Public à caractère administratif.
- Le décret N°83.311 du 07/05/1983 a réaménagé les structures de L'ENEMA et modifié sa dénomination pour devenir ENESA « Entreprise Nationale d'Exploitation et de Sécurité Aéronautique » avec statut d'entreprise nationale à caractère économique. Afin de clarifier les attributions de l'ENESA, il a été procédé aux réaménagements de ses statuts ainsi qu'au changement de dénomination en « ENNA » par décret exécutif N° 91-149 du 18 mai 1991.

## **I -2 Mission de l'ENNA :**

- Assure le service public de la sécurité de la navigation aérienne au nom et pour le compte de l'état.

- Chargé de la mise en œuvre de la politique nationale en matière de navigation aérienne en coordination avec les autorités concernées et les institutions intéressées.

- Le contrôle de la circulation aérienne pour l'ensemble des aéronefs évoluant dans l'espace aérien algérien.

- L'acquisition, l'installation et la maintenance des moyens de surveillance, de radionavigation et de télécommunications aéronautiques ainsi que leur calibration (au moyen de son avion laboratoire).

- La fourniture de l'énergie à l'ensemble des aérodromes.

- La concentration, diffusion ou retransmission au plan national et international des messages d'intérêts aéronautique ou météorologique.

- Le service d'alerte au profit des aéronefs évoluant dans l'espace aérienne algérien et son concours aux services des recherches et de sauvetage.

- Le service de sauvetage et de lutte contre l'incendie sur les plates-formes aéroportuaire.

- Participation à l'élaboration et à la mise en œuvre pour ce qui le concerne :

- des plans d'urgence d'aérodromes.

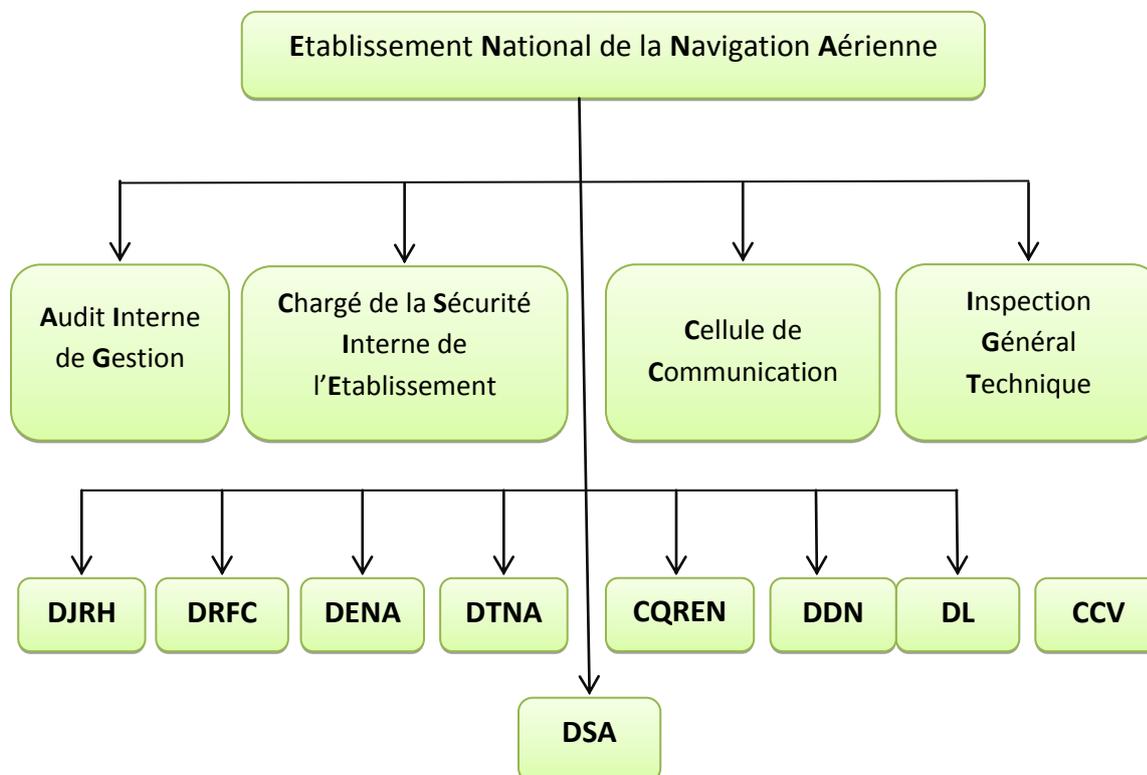
- des plans de servitudes aéronautiques et radioélectriques.

- des plans et programmes des recherches et de sauvetages.

- Gère le domaine aéronautique constitué pour l'espace aérien, les terrains, bâtiments et installation nécessaires à l'accomplissement de sa mission.

### I -3 L'organisation de l'ENNA

La structure générale de l'ENNA est la suivante :



**Figure I -1 : Organigramme de l'ENNA**

**DDNA: Direction du Développement de la Navigation Aérienne.**

**DENA: Direction de l'Exploitation de la Navigation Aérienne.**

**DTNA: Direction Technique de la Navigation Aérienne.**

**DRFC: Direction des Ressources, des Finances et de la Comptabilité.**

**DJRH : Direction Juridique et des Ressources Humaines.**

**CQRENA : Centre de Qualification, de Recyclage et d'Expérimentation de la Navigation Aérienne.**

**DL : Direction de la Logistique.**

**CCV: Centre de Calibration en Vol**

**DSA : Directions de Sécurité Aéronautique.**

## **II. Présentation de la Direction Technique de la Navigation Aérienne (DTNA) :**

La Direction Technique de la Navigation Aérienne (DTNA) est une direction à vocation technique, c'est l'une des directions les plus importantes de l'établissement national de la navigation aérienne vue des tâches qui lui sont confiées.

### **II -1-les missions de la DTNA :**

Ses missions principales sont d'assurer :

- L'acquisition, l'installation et la maintenance des moyens de surveillance, de radionavigation et de télécommunications aéronautiques ainsi que leur calibration (au moyen de son avion laboratoire).
- La fourniture de l'énergie à l'ensemble des opérateurs installés au niveau des plates-formes aéroportuaires.
- Chargé de l'inspection des équipements d'aides à la navigation aérienne et cela à l'aide de l'avion labo dont dispose l'ENNA.

## II -2 L'organisation de la DTNA

La structure générale de la DTNA est la suivante :

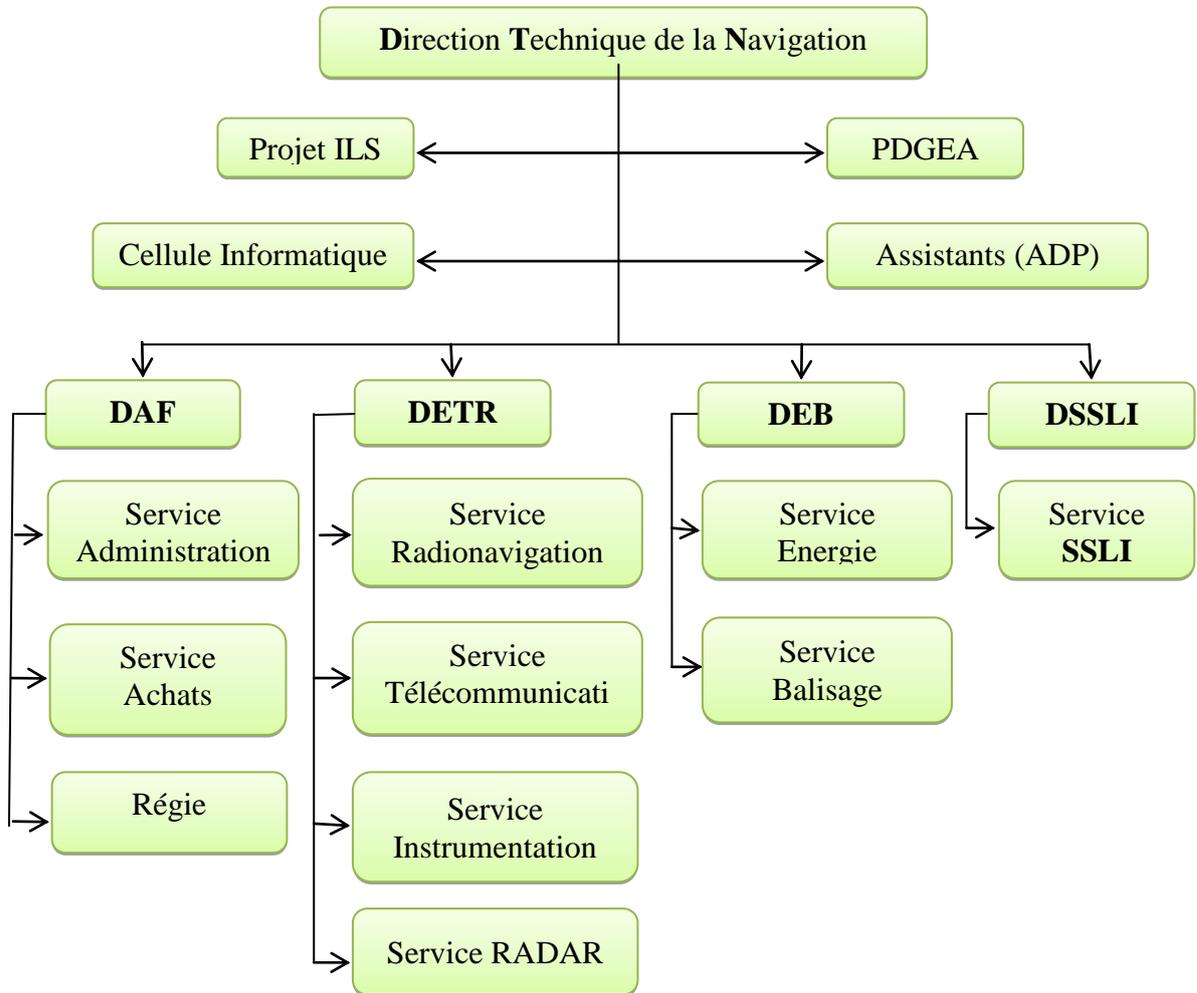


Figure II -1 : Organigramme de la DTNA

## **II -3-Présentation du Département des Equipements de télécommunications et Radionavigation(DETR) :**

Notre stage s'est déroulé au sein de ce service, ce département est le département qui prend en charge tous les équipements de mesure, d'installation et de la maintenance qui apporte le soutien technique pour d'autres services pour assurer la sécurité aérienne.

Il est constitué de quatre services :

- ❖ Service Instrumentation.
- ❖ Service Radio Navigation.
- ❖ Service Télécommunication.
- ❖ Service Radar.