

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



**Université Saad DAHLEB - BLIDA**  
Institut d'aéronautique et des études spatiales

**Projet de fin du cycle**  
pour l'obtention du diplôme de Master

**Spécialité: CNS/ATM**  
Communication, Navigation et Surveillance /Air Traffic Management

**THÈME:**

**Contribution a l'étude et simulation du  
fonctionnement du radar ATCR 33S**

**Présenté par:**

ADJERID Monamed yacine

BOUFIM Youcef

**Promotrice:** <sup>Mme</sup> F.OTMANE

**Encadreur:** <sup>Mme</sup> F.BRAHIMI





# Dédicace

Merci Allah (mon Dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire " Ya Kayoum "

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère.

A mon père, écolle de mon enfance, qui ont été mon ombre durant toutes les années des études, et qui ont veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.

Que Dieu les gardes et les protège.

A mes adorables frères et ma sœur.

A mon cousin Oussama qui habite à Qatar.

A mes amies Aymen Boumezioud, Nadir soualah, Abdenabi Ahmed, Adli Abderahmane, Chatem Yacine, mon binôme Adjerid Mohamed Yacine, , et tous mes collègues de masjid El-bachir El-ibrahimi de Baraki.

A tout mes amies de l'Institut d'aéronautique et des études spatiales

A ma grand-mère.

A tous ceux qui me sont chères.

A tous ceux qui m'aiment.

A tous ceux que j'aime.

Je dédie ce travail.





# Dédicace

*Je dédie humblement cette thèse à ...*

*Mes parents :*

*Ma mère, qui a œuvrée pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.*

*Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutient permanent venu de toi.*

*Mes frères qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité*

*Mon binôme Youcef, mes amis et mes cousins*

*Tous ceux qui sont chère, proches de mon cœur, et a tous ceux qui m'aiment et qui aurait voulu partager ma joie*

*Toute la promotion CNS 2017/2018*



# Chapitre I Généralité

Introduction	1
I.1. Historique	1
I.2. Principe général du radar	2
I.3. Classification et types des radars	2
I.3.1. Radar primaire	3
I.3.2. Radar à onde continu (CW-radar)	4
I.3.3. Radar à impulsions	5
I.3.4. Radar secondaire	6
I.3.5. Radar imageur	7
I.4. Mesures radar	7
I.4.1. Mesure de la direction angulaire	7
I.4.2. Mesure de la distance	8
I.4.3. Mesure de la vitesse radiale	8
I.5. Performance radar	8
I.5.1. Résolution radar	8
I.5.2. Ambiguïté	10
I.5.3. Distance aveugle	10
I.6. Expression générale du signal radar	11
I.7. Rapport signal au bruit	12
I.8. Fréquences radar	12
I.9. Applications radar	16
I.10. ENNA et service Radar	17
I.10.1. Présentation de l'établissement national de la navigation aérienne(ENNA)	17
I.10.2. Mission de l'ENNA	17
I.10.3. Organisation de l'ENNA	18
I.10.4. Direction Technique de la Navigation Aérienne (DTNA)	29
I.10.5. Service Radar	20
Conclusion	21

## Chapitre II Radar ATCR 33S

Introduction .....	22
II.1. Schéma de principe .....	23
II.1.1. Bloc Emetteur .....	24
II.1.2. Récepteur .....	28
II.1.3. Antenne .....	30
II.1.4. Système d'affichage .....	34
II.2. Traitement du Signal Radar .....	34
II.2.1. Principe de base du radar pulse doppler .....	34
II.2.2. Principe de la compression d'impulsions .....	37
II.2.4. Traitement par filtrage adapté .....	39
II.2.5. Traitement spectral .....	39
II.2.6. Bruit Radar .....	39
Conclusion .....	40

## Chapitre III Simulation et résultats

Introduction .....	41
III.1. Propriété du signal LFM .....	42
III.2. Traitement en distance .....	43
III.3. Traitement en vitesse .....	51
Conclusion .....	60

## Conclusion générale

## Bibliographie



# LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau II.1</b> Fréquence de transmission d'impulsions courtes et longues.....	<b>25</b>
<b>Tableau II.2</b> Caractéristiques de l'émetteur.....	<b>26</b>
<b>Tableau II.3</b> Caractéristiques du récepteur principal.....	<b>28</b>
<b>Tableau II.4</b> Paramètres du système.....	<b>31</b>

# LISTE DES FORMULES

<b>Formule I.1</b> Fréquence doppler.....	<b>5</b>
<b>Formule I.2</b> Mesure de distance.....	<b>6</b>
<b>Formule I.3</b> Vitesse radiale.....	<b>7</b>
<b>Formule I.4</b> Résolution angulaire ramenée à une distance R.....	<b>8</b>
<b>Formule I.5</b> Distance max non ambiguë.....	<b>9</b>
<b>Formule I.6</b> Fréquence max non ambiguë.....	<b>9</b>
<b>Formule I.7</b> Distance aveugle.....	<b>10</b>
<b>Formule I.8</b> Signal radar.....	<b>10</b>
<b>Formule II.1</b> Couverture radar.....	<b>31</b>
<b>Formule II.2</b> fréquence doppler.....	<b>35</b>



# Liste des figures

<b>I.1</b>	: Principe générale du radar .....	<b>2</b>
<b>I.2</b>	: Différents types de radar.....	<b>3</b>
<b>I.3</b>	: Représentation du principe d'un radar primaire .....	<b>4</b>
<b>I.4</b>	: Principe du radar a onde contenue .....	<b>5</b>
<b>I.5</b>	: Principe du radar doppler.....	<b>5</b>
<b>I.6</b>	: Direction ongulaire .....	<b>6</b>
<b>I.7</b>	: Mesure de la distance .....	<b>7</b>
<b>I.8</b>	: Résolution distance.....	<b>7</b>
<b>I.9</b>	: Diagramme résolution azumut.....	<b>8</b>
<b>I.10</b>	: Résolution azumut.....	<b>8</b>
<b>I.11</b>	: Distance aveugle.....	<b>10</b>
<b>I.12</b>	: Illustration d'un exemple simple de signal radar.....	<b>11</b>
<b>I.13</b>	: Onde des bandes de de fréquence radar .....	<b>11</b>
<b>I.14</b>	: Exemple des radars utilises et leurs bandes de fréquences .....	<b>14</b>
<b>I.15</b>	:Application radar.....	<b>15</b>
<b>I.16</b>	: Organigramme de l'ENNA.....	<b>18</b>
<b>I.17</b>	: Organigramme de la DTNA.....	<b>19</b>
<b>II.1</b>	: Diagramme fonctionnel du radar ATCR 33S.....	<b>22</b>
<b>II.2</b>	:Armoire de l'émetteur –disposition mécanique .....	<b>23</b>
<b>II.3</b>	: Diagramme du bloc de l'émetteur.....	<b>24</b>
<b>II.4</b>	:Modele de transmission .....	<b>25</b>
<b>II.5</b>	: Antenne radar ATCR 33S .....	<b>30</b>
<b>II.6</b>	: Diagramme de rayonnement de l'émission.....	<b>31</b>
<b>II.7</b>	: Masque de couverture .....	<b>32</b>
<b>II.8</b>	: Sortie vidéo traite.....	<b>32</b>
<b>II.9</b>	: Sortie vidéo non traitée.....	<b>33</b>
<b>II.10</b>	: Structure en bloc de traitement signal radar .....	<b>34</b>
<b>II.11</b>	: Principe de compression d'impulsion.....	<b>34</b>
<b>II.12</b>	: Méthode de production d'un signal compressé .....	<b>37</b>

<b>II.13</b>	: Forme d'onde LFM typique .....	<b>37</b>
<b>III.1</b>	: Schéma du traitement radar .....	40
<b>III.2</b>	: Représentation de l'impulsion LFM .....	41
<b>III.3</b>	: Signal LFM pour traitement en distance (short pulse).....	42
<b>III.4</b>	: Signal LFM pour traitement en distance (short pulse).....	43
<b>III.5</b>	: Signal LFM pour traitement en distance (longue pulse) .....	44
<b>III.6</b>	: Bruit additif des chaînes I et Q.....	45
<b>III.7</b>	: Réponse impulsionnelle du filtre adapté.....	45
<b>III.8</b>	: Impulsion LFM bruitée.....	46
<b>III.9</b>	: Sortie du filtre adapté (long pulse).....	47
<b>III.10</b>	: Sortie du filtre adapté( long pulse).....	48
<b>III.11</b>	: Sortie du filtre adapté (long pulse).....	48
<b>III.12</b>	: Sortie du filtre adapte en distance (longue pulse).....	49
<b>III.13</b>	: Sortie du filtre adapte en distance (short pulse).....	49
<b>III.14</b>	: Train d'impulsion LFM (short pulse).....	50
<b>III.15</b>	: Train d'impulsion LFM (long pulse).....	51
<b>III.16</b>	: Décalage doppler.....	52
<b>III.17</b>	: Train d'impulsion bruitée avec décalage doppler .....	53
<b>III.18</b>	: Sortie du filtre adapte pour un train d'impulsion LFM.....	53
<b>III.19</b>	: Spectre doppler du filtre adapte en fréquence .....	54
<b>III.20</b>	: Spectre doppler adapté en vitesse .....	55
<b>III.21</b>	: Spectre doppler en cas d'ambiguïté .....	56
<b>III.22</b>	: Spectre doppler en cas de résolution.....	57
<b>III.23</b>	: Spectre doppler a la limite de la résolution.....	58
<b>III.24</b>	: Spectre doppler avec perte de résolution.....	59

# LISTE DES ABREVIATIONS

ACOM	Autogate Criterion Overriding Map
AGC	Automatic Gain Control
ADC	Analog to Digital Conversion
AID	Asynchronous Interference Detector
AMDU	Azimuth Motor Driver Unit
ASR	Approach Surveillance Radar
ATC	Air Traffic Control
ATCR	Air Traffic Control Radar
A-MTD	Adaptive Moving Target Detection
BITE	Built In Test Equipment
CDM	Clear Day Map
CLM	Censoring Level Map
CMS	Control and Monitoring System
CNR	Clutter to Noise Ratio
CSM	Clutter Sensor Map
COHO	Coherent Oscillator
COTS	Commercial Off The Shelf
CPI	Coherent Pulse Interval
CFAR	Constant False Alarm Rate
DBM	Detection Blanking Map
DCOM	Detection Criterion Overriding Map
DDC	Digital Down Conversion
DET-T	Target Detection Circuit
DET-W	Weather Detection Circuit

DP	Data Processor
EMCON	Emission Control
EMI	Electro-Magnetic Interference
FAN	False Alarm Normalizer
FDM	Fine Doppler Map
FIR	Finite Impulsive Response
HPA	High Power Amplifier
ICR	Integrated Cancellation Ratio
IF	Intermediate Frequency
LAN	Local Area Network
LRU	Least Replaceable Unit
MCA	Main Computer Assembly
MPS	Main Power Supply
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTR	Mean Time To Repair
NLF	Non Linear Frequency Modulation
NM	Nautical Mile
NRP	North Reference Pulse
PRF	Pulse Repetition Frequency
PRT	Pulse Repetition Time
PSR	Primary Surveillance Radar
RCP	Radar Control Panel

## Résumé

Dans ce travail nous avons étudié le system radar ATCR 33S disponible à l'établissement national de la navigation aérienne. Le radar ATCR 33S est un radar pulse doppler utilisé en approche et en route au profit du control du trafic aérien. Une étude générale des composantes principales du radar a été menée avec un intérêt particulier au traitement de la chaine de réception. Cette étude a été renforcée par deux programmes d'estimation en distance et en vitesse sous logiciel "Matlab". Les résultats de plusieurs simulations ont été commentés.

## Abstract

In this work we studied the radar system ATCR 33S available at the national establishment of the air navigation. The ATCR 33S radar is a pulse doppler radar used in approach and en route for the benefit of air traffic control. A general study of the main components of the radar has been conducted with particular interest in the processing of the reception chain. This study was reinforced by two programs of distance estimation and speed under "Matlab" software. The results of several simulations were commented.

## ملخص

في هذا العمل قمنا بدراسة نظام الرادار ATCR 33S المتاح في المؤسسة الوطنية للملاحة الجوية. رادار ATCR 33S هو رادار دوبلر نبضي يستخدم في كلتا المرحلتين الإقتراب و في المسار من أجل التحكم في الحركة الجوية. أجريت دراسة عامة للمكونات الرئيسية للرادار مع إهتمام خاص بسلسلة الإستقبال. تم تعزيز هذه الدراسة بواسطة برنامجين لتقدير المسافة والسرعة, بواسطة "Matlab". كما تم التعليق على نتائج العديد من عمليات المحاكاة.

## Introduction Générale

---

Le terme radar est l'acronyme de l'expression anglaise "Radio Détection And Ranging" qui signifie littéralement "détection et télémétrie radio". Le principe du radar est fondé sur l'émission d'une onde électromagnétique qui par réflexion sur un obstacle permet d'en détecter la présence puis d'en déduire la position et la vitesse et peut même fournir une image.

Dès le début de ce siècle, plusieurs inventeurs scientifiques et ingénieurs ont contribué au développement du système radar. Originellement le radar a été développé pour satisfaire des besoins militaires de surveillance et de contrôle d'armes. 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).

Le signal émis par l'émetteur radar joue un rôle primordial dans la qualité de l'information fournie à propos de la cible. Plusieurs types de radars sont définis selon la forme de leur signal d'émission. Le radar doppler pulsé fonctionne par détection des fréquences doppler. Il émet un train d'impulsions cohérentes et reçoit des échos successifs auxquels un traitement adéquat est appliqué pour aider à la discrimination des cibles. Ce type de radars associé à la technique de compression d'impulsion et son traitement via un filtre adapté est une des innovations radars qui permet d'améliorer les performances radar en termes de portée radar et consommation en puissance.

Dans ce contexte, notre mémoire s'articule autour du radar doppler pulsé ATCR 33S qui est exploité par l'Entreprise Nationale de Navigation Aérienne (ENNA) au profit du contrôle de trafic aérien en utilisant la technique de compression d'impulsions. Pour bien mener ce travail, nous avons divisé ce manuscrit comme suit :

- Dans le premier chapitre, une étude générale sur les radars est effectuée en rappelant leur principe de fonctionnement, classification, mesures et performances.
- Le deuxième chapitre est consacré au radar ATCR 33S où l'on explicite ses composantes principales. Un intérêt particulier sera porté au récepteur et traitements qui ont lieu pour la détection des cibles.
- Le troisième chapitre porte sur des exemples de simulations sous Matlab à travers lesquels on peut analyser les performances de notre système radar en considérant les traitements en distance et en vitesse.
- Le manuscrit se termine, par une conclusion générale et les perspectives en vue.

## I.2. Principe général du radar

La première fonction d'un radar est comme son nom l'indique la détection de cibles, il exploite la propriété des ondes radio de se réfléchir sur les objets. Une onde radio à haute fréquence produite par un émetteur (oscillateur et amplificateur) et acheminée vers une antenne via un guide d'ondes et émise dans l'espace. La figure I.1 ci-dessous illustre le principe de fonctionnement du radar primaire. L'antenne du radar illumine la cible avec des micro-ondes, qui sont alors réfléchies puis interceptées grâce à un récepteur. Le signal électrique recueilli par l'antenne est appelé « écho » ou « signal de retour ». Le signal transmis par le radar est généré par un émetteur puissant, l'écho réfléchi par la cible est capté par un récepteur très sensible.

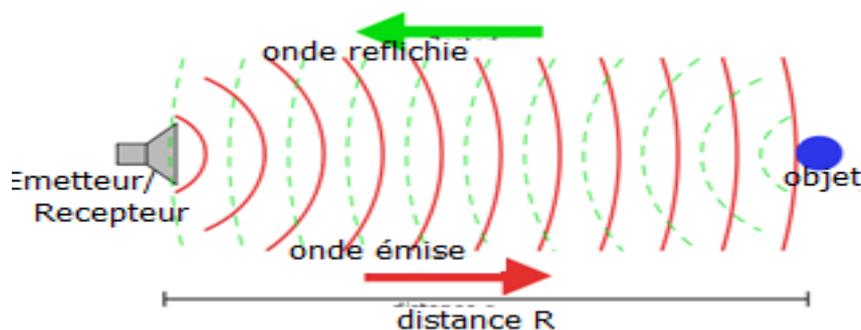


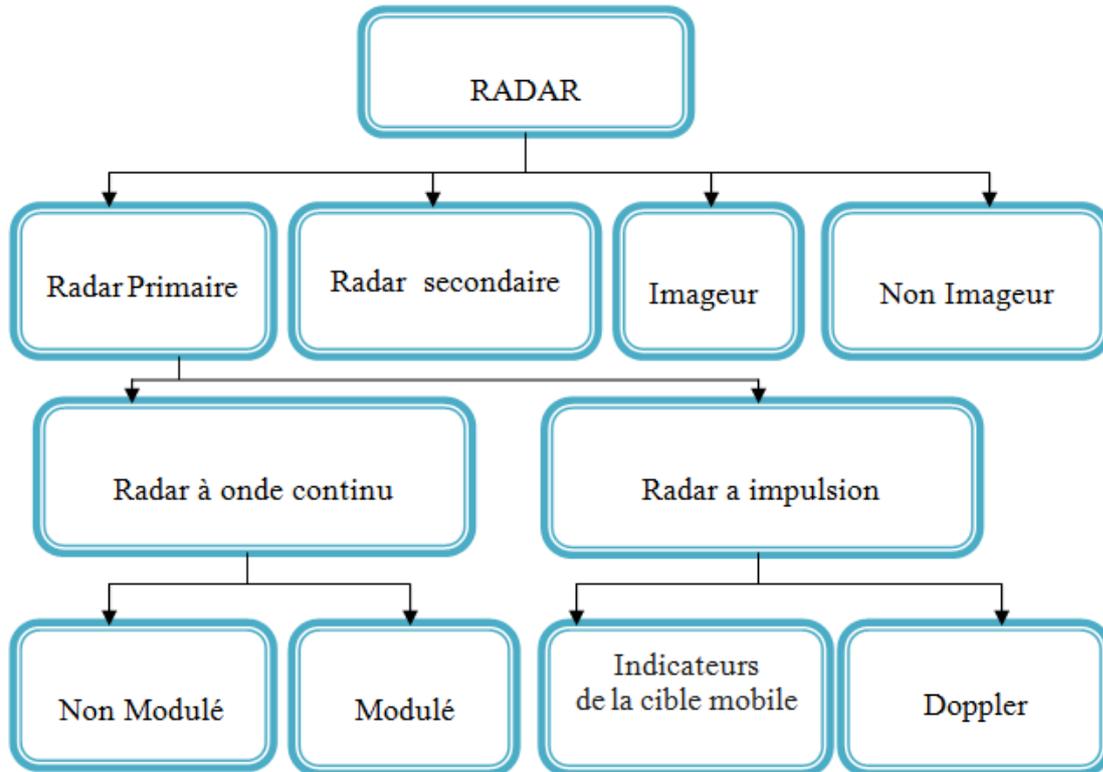
Figure I.1: Principe général du radar.

## I.3. Classification et types des radars

Selon l'information recherchée, les radars possèdent différentes qualités et technologies. Ceci se traduit par différentes classifications qui peuvent être utilisées en fonction de certains critères, les critères de base peuvent être résumés en suivant :

- **Fonction** : Détection, poursuite.
- **Applications** : Contrôle du trafic, météo, navigation, cartographie. Guidage, mesure des distances, mesure des vitesses, imagerie, etc.
- **Formes d'ondes** : pulsées, continues (CW), continues et modulées en fréquence (FM / CW).
- **Type de cibles** : avions, précipitations, missiles, et autres.

Il existe différents types de radar, ces variétés sont présentées sur la figure suivante :

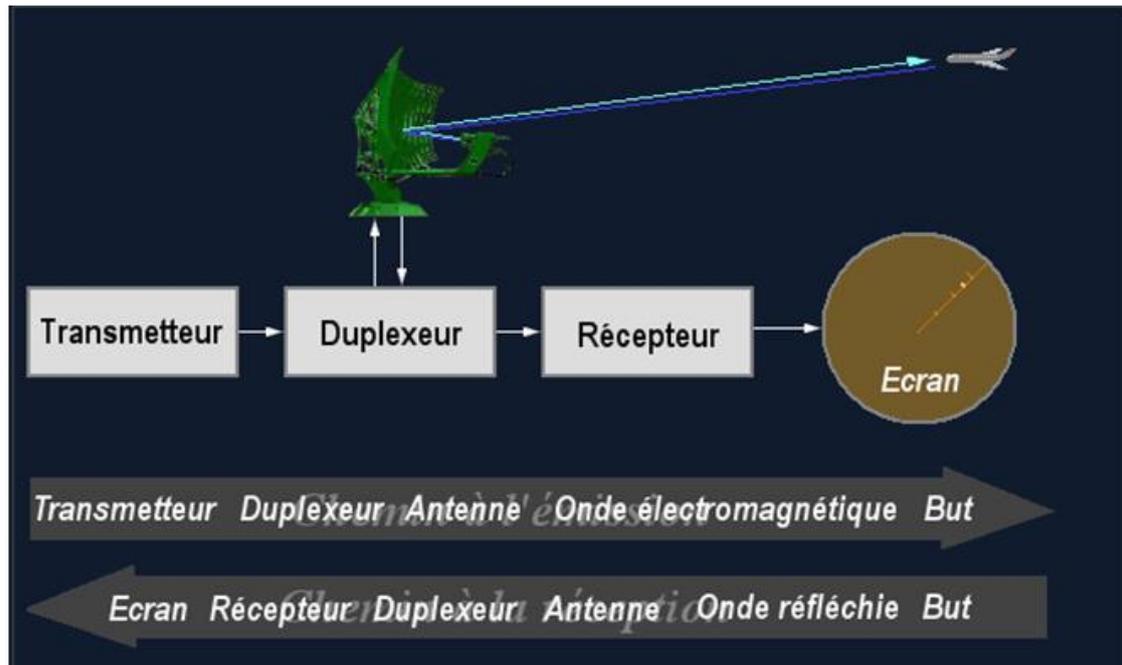


**Figure I.2 :** Différents types de radar.

### I.3.1. Radar primaire

Le radar primaire utilise le principe de l'émission d'une énergie électromagnétique et la détection du signal réfléchi pour fournir des informations à propos de la cible (distance, position, ...etc.). Le schéma ci-dessous illustre le principe de fonctionnement du radar primaire. L'antenne du radar illumine la cible avec des micro-ondes, qui sont alors réfléchies puis interceptées grâce à un récepteur. Le signal électrique recueilli par l'antenne est appelé écho ou retour. Le signal transmis par le radar est généré par un émetteur puissant, l'écho réfléchi par la cible est capté par un récepteur très sensible.

Chaque cible réfléchit le signal en le dispersant dans un grand nombre de directions. Le signal réfléchi est aussi appelé diffusion (scattering) avec le terme rétrodiffusion (backscattering) désignant la partie du signal réfléchi diffusée dans la direction opposée à celle des ondes incidentes (émises).



**Figure I.3 :** Représentation du principe d'un radar primaire.

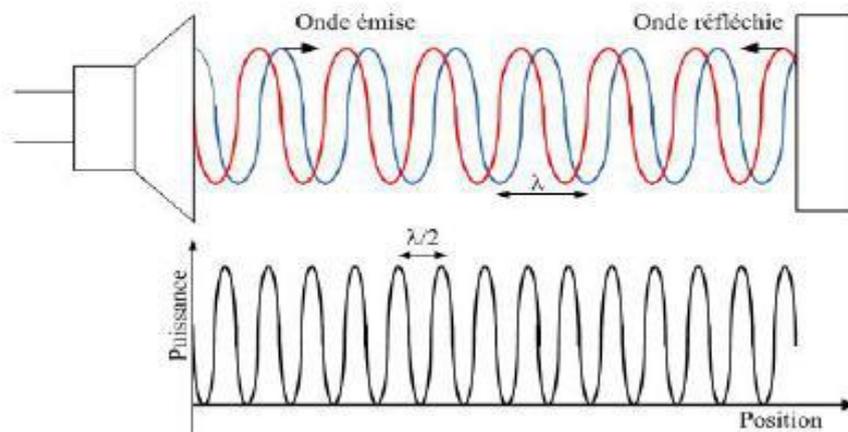
Les échos détectés par le radar peuvent être visualisés sur l'écran traditionnel de type PPI (Plan Position Indicator) ou sur tout autre système de visualisation plus élaboré. L'écran type PPI permet de visualiser un vecteur dont l'origine est la position actuelle du radar et la direction l'axe de l'antenne. Ce vecteur fait le tour de l'écran à la vitesse de rotation de l'antenne, et la position de l'axe de l'antenne au moment où un écho est détecté correspond à la direction dans laquelle se trouve cet écho.

### I.3.2. Radar à onde continu (CW-radar)

Ce type de radar est généralement utilisé par les constructeurs automobiles pour la réalisation des systèmes embarqués anticollision et de contrôle intelligent de la conduite automobile. L'émetteur génère une oscillation continue en fréquence et en amplitude qui est rayonnée par l'antenne. Il existe également deux types de radar à ondes continues, le radar à ondes continue non-modulée (le plus simple) et le radar à ondes continue modulée.

- **Radar à onde continue non-modulée**

Un radar à onde continue non modulée émet en continu des ondes électromagnétiques à fréquence et amplitude constantes et en même temps reçoit les réflexions de la cible sur une antenne de réception (radar bistatique). Ce type de radar est utilisé essentiellement pour la mesure de vitesse par décalage Doppler. Les radars CW ne permettent pas de déterminer directement la distance.



**Figure I.4** : Principe du Radar à onde continue.

- **Radar à onde continue modulée en fréquence**

Le deuxième type de radar à onde continue est le radar à onde continue modulée en fréquence (FMCW). Comme tous les systèmes CW, ce type de radar émet et reçoit en permanence un signal mais la fréquence du signal d'émission est variable en fonction du temps selon une loi généralement linéaire. Son principe repose sur une modulation en fréquence du signal à onde continue, ce qui introduit un marquage temporel du signal nécessaire à la mesure de distance. Le signal reçu par le radar est retardé d'une durée correspondante à la distance de la cible divisée par la vitesse de la lumière.

### I.3.3. Radar à impulsions

Dans leur forme la plus élémentaire, ces radars émettent un signal formé d'un train d'impulsions de durée très brève, de très haute fréquence et de grande puissance (amplitude importante). 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. Dans ce type de radars on peut trouver :

- **Radar à visualisation des cibles mobiles**

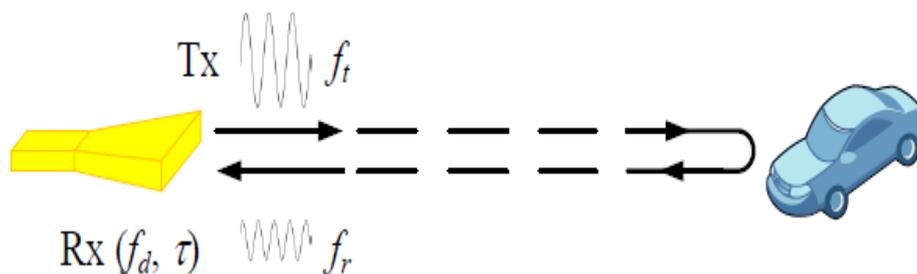
C'est un radar à impulsions capable de détecter la cible mobile dans un encombrement spécial en utilisant une fréquence de répétition d'impulsion faible (PRF).

- **radar Doppler**

Le radar doppler à micro-ondes est utilisé pour la détection de mouvements physiologiques depuis 1975. C'est la forme la plus simple de radars CW et il utilise l'effet doppler pour détecter la vitesse radiale d'une cible. Il est bien connu que lorsqu'une onde est incidente sur une cible en mouvement, sa fréquence serait décalée d'une quantité appelée fréquence doppler. Ce décalage est proportionnel à la vitesse radiale de la cible :

$$f_d = 2v/\lambda \quad (I.1)$$

La figure I.5 illustre le principe de fonctionnement du radar Doppler.



**Figure I.5:** Principe du radar doppler.

#### I.3.4. Radar secondaire

Les radars connus sous le nom de radars secondaires, dépendent dans leur fonctionnement d'une réponse de la cible. La plupart de ces dispositifs sont utilisés pour la Navigation et les télécommunications. Avec ces radars, l'avion doit être équipé d'un transpondeur (transmetteur répondeur) qui répond à l'interrogation du radar en générant un signal codé. Cette réponse peut contenir des informations différentes et complémentaires à celles qu'un radar primaire peut collecter (par exemple niveau de vol, un code d'identification, ou encore un rapport de problème à bord comme une panne totale des radiocommunications, une intervention illicite ou autre situation critique).

#### I.3.5. Radar imageur

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

appelé diffusmètre puisqu'il mesure les propriétés de réflexion de la région ou de l'objet observé.

## I.4. Mesures radar

### I.4.1. Mesure de la direction angulaire

L'angle, entre la direction du nord et celle de la cible (azimut) il est déterminé grâce à la directivité de l'antenne. La directivité est la capacité de l'antenne à concentrer l'énergie rayonnée dans une direction particulière. En mesurant la direction dans laquelle est pointée l'antenne à l'instant où elle reçoit un écho, on peut déterminer non seulement l'azimut mais aussi le site de la cible (donc son altitude). La précision de la mesure de ces angles dépend de la directivité de l'antenne. Pour une fréquence émise donnée (ou une longueur d'onde définie), la directivité d'une l'antenne est fonction de ses dimensions propres.

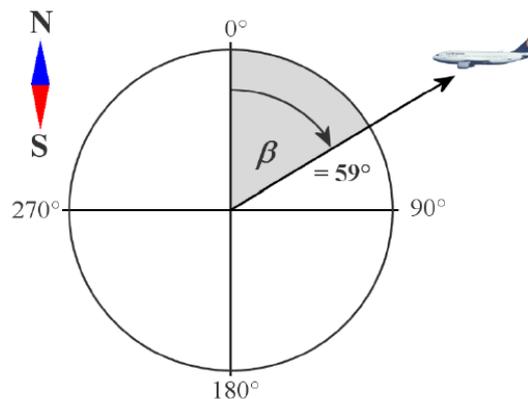


Figure I.6 : direction angulaire.

### I.4.2. Mesure de la distance

La mesure de la distance nécessite d'émettre une courte impulsion de signal radio, et de mesurer le temps d'aller-retour de l'onde émise. La distance est la moitié du temps de retour de l'onde multipliée par la vitesse de l'onde électromagnétique (qui est la vitesse de la lumière dans le vide si le milieu traversé est l'atmosphère). La formule permettant de calculer cette distance est donc :

$$D = C \cdot \Delta t / 2 \quad (I.2)$$

Où :

- $D$  : est la distance oblique antenne-cible (mètre),
- $C$  : est célérité de la lumière  $\approx 3.108 \text{ m / s}$ ,
- $\Delta t$ : le temps mesuré par le radar qui est le temps du trajet aller-retour.

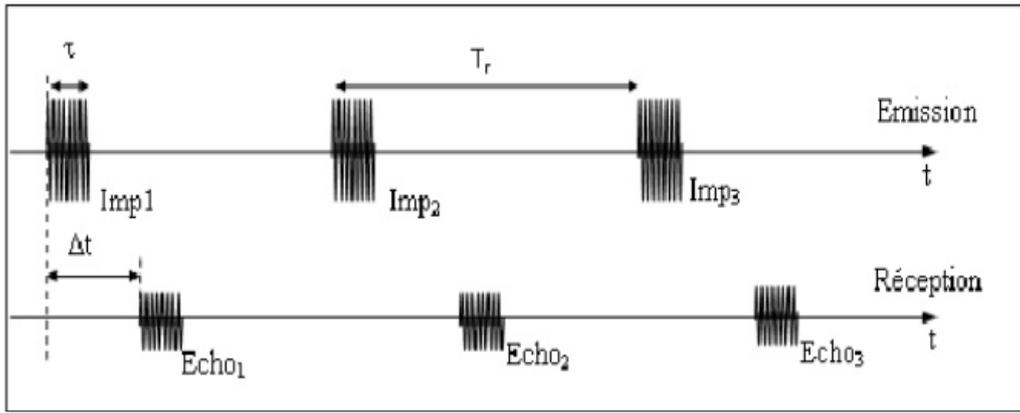


Figure I.7 : Mesure de la distance.

**1.4.3. Mesure de la vitesse radiale**

La vitesse radiale d'une cible est obtenue à partir du taux de changement de distance sur une période de temps (vitesse dérivée), comme elle peut aussi être obtenue directement à partir de la mesure du déplacement de fréquence appelé décalage doppler  $f_d$  :

$$v = \lambda f_d / 2 \tag{I.3}$$

**I.5. Performances radar**

**I.5.1. Résolution radar**

La résolution radar est le pouvoir de discernement entre deux cibles proches l'une de l'autre en azimut et en distance.

- **Resolution distance**

C'est l'aptitude du radar à distinguer entre deux ou plusieurs cibles se trouvant dans la même direction, elle dépend de de la largeur d'impulsion.

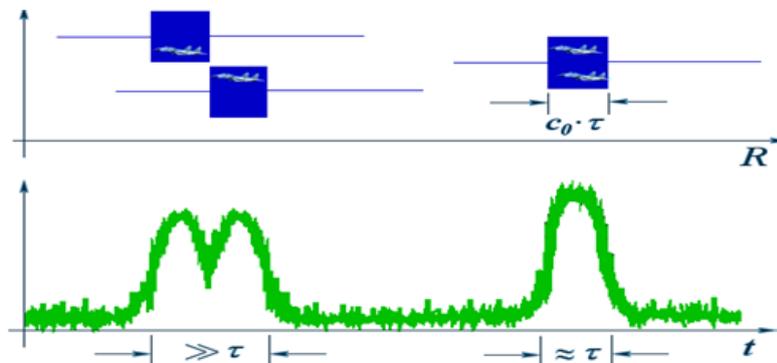


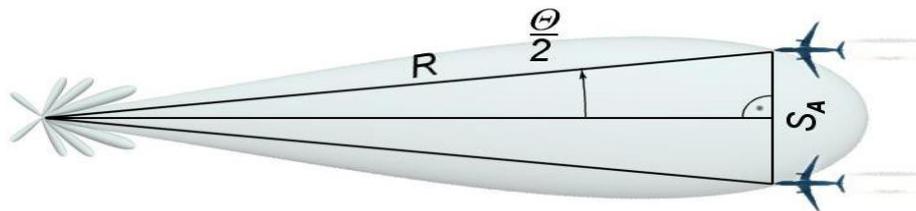
Figure I.8 : Résolution en vitesse

- **Resolution azimuth**

C'est l'aptitude du radar à distinguer deux cibles à la même distance présentant un écart en azimuth  $\Theta$  :

$$Sr \geq 2R \sin (\Theta/2) \quad (I.4)$$

Avec,  $Sr$  la résolution angulaire ramenée à une distance  $R$ .



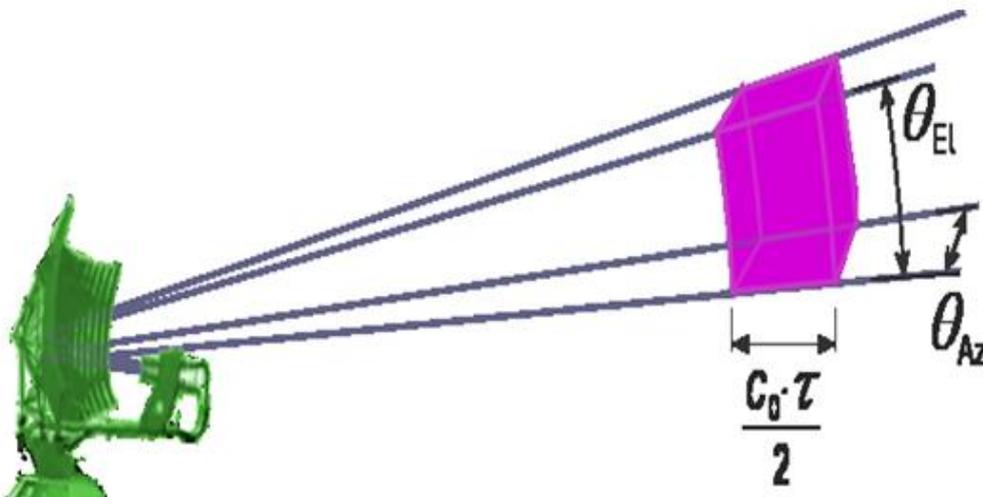
**Figure I.9 :** Diagramme résolution azimut.

- **Volume de resolution**

Un volume de résolution radar est défini par:

- La largeur de l'impulsion,
- L'ouverture de l'antenne en azimuth,
- l'ouverture de l'antenne en site.

Deux cibles contenues dans ce volume seront confondues.



**Figure I.10 :** Volume de résolution

- **Resolution distance**

C'est l'aptitude du radar à distinguer entre deux ou plusieurs cibles se trouvant dans la même direction, elle dépend de de la largeur d'impulsion.

### I.5.2 Ambiguïté

La PRF est le taux auquel les impulsions radar sont transmis (nombre d'impulsions par seconde).elle détermine a quel étendu les distances d'observations et les fréquences doppler sont ambiguë.

- **Ambiguïté distance**

Pour que la distance soit non ambiguë, il faut que toutes les sources de réflexions détectables soient à des distances ambiguës. La distance maximale qu'un radar pulse doppler peut mesurer sans ambiguë est donner par :

$$R_{\max} = c/2PRF \quad (\text{m/s}) \quad (\text{I.5})$$

- **Ambiguïté Doppler**

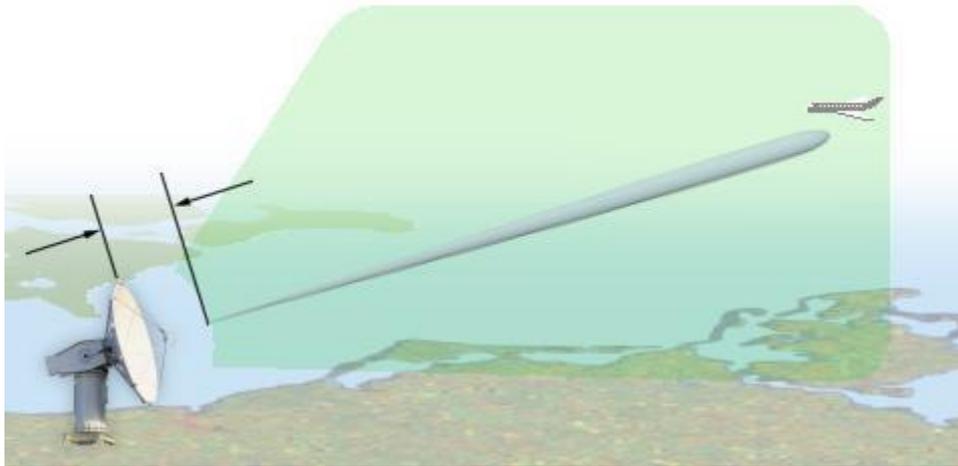
Comme la distance, la fréquence doppler est naturellement ambiguës les ambiguïtés sont significatifs alors elles dépendent non seulement de la PRF mais aussi d'autres paramètres tels que la largeur d'onde.

$$f_{\max} = PRF/2 \quad (\text{m/s}) \quad (\text{I.6})$$

### I.5.3. Distance aveugle

Un radar à impulsions monostatique utilise la même antenne à l'émission et à la réception. Pendant le temps d'émission, le radar ne peut pas recevoir: la réception est coupée. Pour la détection, il est nécessaire que l'impulsion émise ait entièrement quitté l'antenne et que le radar ait remis en fonction son récepteur (TMES = temps de mise en service du récepteur). La distance minimum  $R_{\min}$  («distance aveugle») est donc la distance minimum à laquelle doit se trouver une cible pour pouvoir être détectée.

Le temps de transmission doit être le plus court possible si l'on veut détecter des objets très proches.



**Figure I.11** : distance aveugle.

$$R_{\min} = C(DI + T_{\text{MES}}) / 2 \quad (\text{I.7})$$

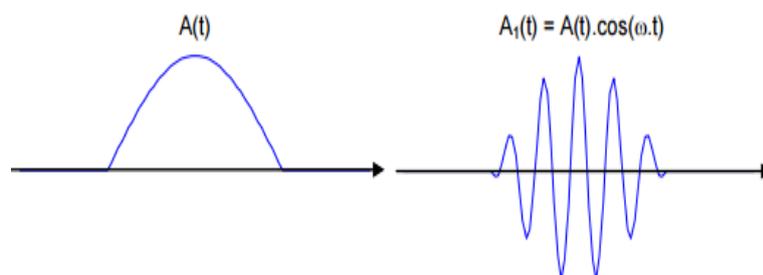
Les cibles situées à une distance inférieure à la durée d'impulsion ne sont pas détectées.

### I.6. Expression générale du signal radar

Le signal radar est généralement un signal sous porteuse à bande étroite modulé en amplitude et /ou en phase qui peut être entièrement défini par la relation suivante :

$$A_1(t) = A(t) \cos \omega.t + \varphi(t) \quad (\text{I.8})$$

L'amplitude  $A(t)$  et la phase  $\varphi(t)$  contiennent toute l'information utile du signal radar.



**Figure I.12** : Illustration d'un exemple simple de signal radar.

## I.7. Rapport signal au bruit

L'exactitude de toutes les mesures radar, ainsi que la détection fiable des cibles dépend du rapport  $E/N_0$ , où le  $E$  est l'énergie totale du signal reçu traité par le radar et  $N_0$  est la puissance de bruit par largeur de bande de l'unité du récepteur. Ainsi  $E/N_0$  est une mesure importante de la capacité d'un radar.

## I.8. Fréquences radar

Le choix des fréquences radars est dépendant des exigences de leur fonctionnement. Les radars peuvent avoir une fréquence allant de quelques Mégahertz jusqu'à plusieurs centaines de Mégahertz. Pendant la deuxième guerre mondiale, et pour garder les secrets militaires, les lettres P, L, S, C, X et K ont été assignées à différentes plages de fréquence. À titre d'exemple, le radar de surveillance d'aéroport ASR-9 a été développé dans la bande S avec une largeur de bande de 200 MHz. Le radar PILOT de la surveillance maritime avec la technologie des ondes continues modulées en fréquence a été développé dans la bande X avec une largeur de bande de 400 MHz.



Figure I.13: Ondes et bandes de fréquences radar

- **Bande HF (3 à 30 MHz)**

La principale utilisation de la bande HF pour le radar est de détecter les cibles à longue portée (nominalement à 2000 Nm) en profitant de la réfraction de l'énergie HF par l'ionosphère qui se trouve au-dessus de la surface de la terre. Les radioamateurs qualifient cette technique par propagation à courte-onde et l'utilisent pour communiquer sur de longues distances. Les cibles pour de tels radars HF peuvent être des avions, des navires et des missiles balistiques, ainsi que l'écho de la surface de mer, qui fournit des informations sur la direction et la vitesse des vents qui mènent la mer.

- **Bande VHF (30 à 300 MHz)**

Au début du développement radar dans les années 1930, les radars ont été dans cette bande de fréquences parce que ces fréquences ont représenté la frontière de la technologie radio à ce

moment. C'est une bonne fréquence pour la surveillance aérienne à longue distance ou la détection de missiles balistiques. À ces fréquences, le coefficient de réflexion sur la diffusion de la surface de la terre peut être très large, en particulier sur l'eau, de sorte que l'interférence constructive entre le signal direct et le signal réfléchi par la surface peut augmenter significativement la gamme d'un radar VHF. Bien qu'il y ait de nombreux avantages attractifs des radars VHF pour la surveillance à long terme, ils ont également des limites sérieuses.

- **Bande UHF (300 à 1000 MHz)**

Beaucoup de caractéristiques de radar fonctionnant dans la région VHF s'appliquent également à une quelconque mesure UHF. La gamme UHF offre de bonnes fréquences pour le radar indicateur de cibles mobiles embarqué (AMTI). Elle offre également de bonnes fréquences pour l'exploitation de radars à longue distance pour la détection et le suivi de satellites et de missiles balistiques. À la partie supérieure de cette bande, on peut trouver des radars de surveillance aérienne à bord de longue portée ainsi que des radars qui mesurent la vitesse et la direction du vent (appelés profileurs de vent).

- **Bande L (1,0 à 2,0 GHz)**

C'est la bande de fréquence privilégiée pour l'exploitation de radars de surveillance de l'air à longue portée (200 Nm). Le radar de surveillance en route (ARSR) utilisé pour le contrôle du trafic aérien à longue portée est un bon exemple. Cette bande de fréquences est également attractive pour la détection à long terme des satellites et la défense contre les missiles balistiques intercontinentaux.

- **Bande S (2,0 à 4,0 GHz)**

Le radar de surveillance des aéroports (ARS) qui surveille la circulation aérienne dans la région d'un aéroport est à la bande S. Sa gamme typique est de 50 à 60Nm. Si un radar 3D est requis (celui qui détermine la distance, l'angle d'azimut et l'angle d'élévation), il peut être conçu à la bande S.

Le radar météo Nexrad fonctionne également à la bande S. c'est une bonne gamme de fréquences pour l'observation du temps. Il existe des radars météorologiques à des fréquences supérieures, mais ils sont habituellement plus courts que Nexrad et peuvent être utilisés pour une application radar météorologique plus spécifique que les mesures météorologiques précises fournies par Nexrad.

- **Bande C (4,0 à 8,0 GHz)**

Cette bande se trouve entre les bandes S et X et possède des propriétés entre les deux. Souvent, l'une ou l'autre des bandes X ou de la bande S peuvent être préférés à l'utilisation que la bande C, bien qu'il y a eu des applications importantes auparavant dans la bande C.

- **Bande X (8 à 12,0 GHz)**

C'est une bande radar relativement populaire pour des applications militaires. Elle est largement utilisée dans les radars militaires aériens pour effectuer les rôles d'intercepteur, de combattant et d'attaque (des cibles au sol). La bande X est favorables pour les radars maritimes civils, les radars de prévisions météorologiques aériennes, les radars de navigation doppler embarqués et le compteur de vitesse de police. Les systèmes de guidage missile sont parfois à la bande X.

- **bandes Ku, K, et Ka (12.0 à 40 GHz)**

Au fur et à mesure que l'on passe à des fréquences plus élevée, la taille physique des antennes diminue et, en général, il est plus difficile de générer une grande puissance d'émission. Ainsi, la performance des radars aux fréquences au-dessus de la bande X est généralement inférieure à celle de la bande X. les radars militaires embarqués se trouvent à la bande Ku ainsi qu'à la bande X. Ces bandes de fréquences sont attractives lorsqu'un radar de plus petite dimension doit être utilisé pour une application qui ne requiert pas une longue portée.

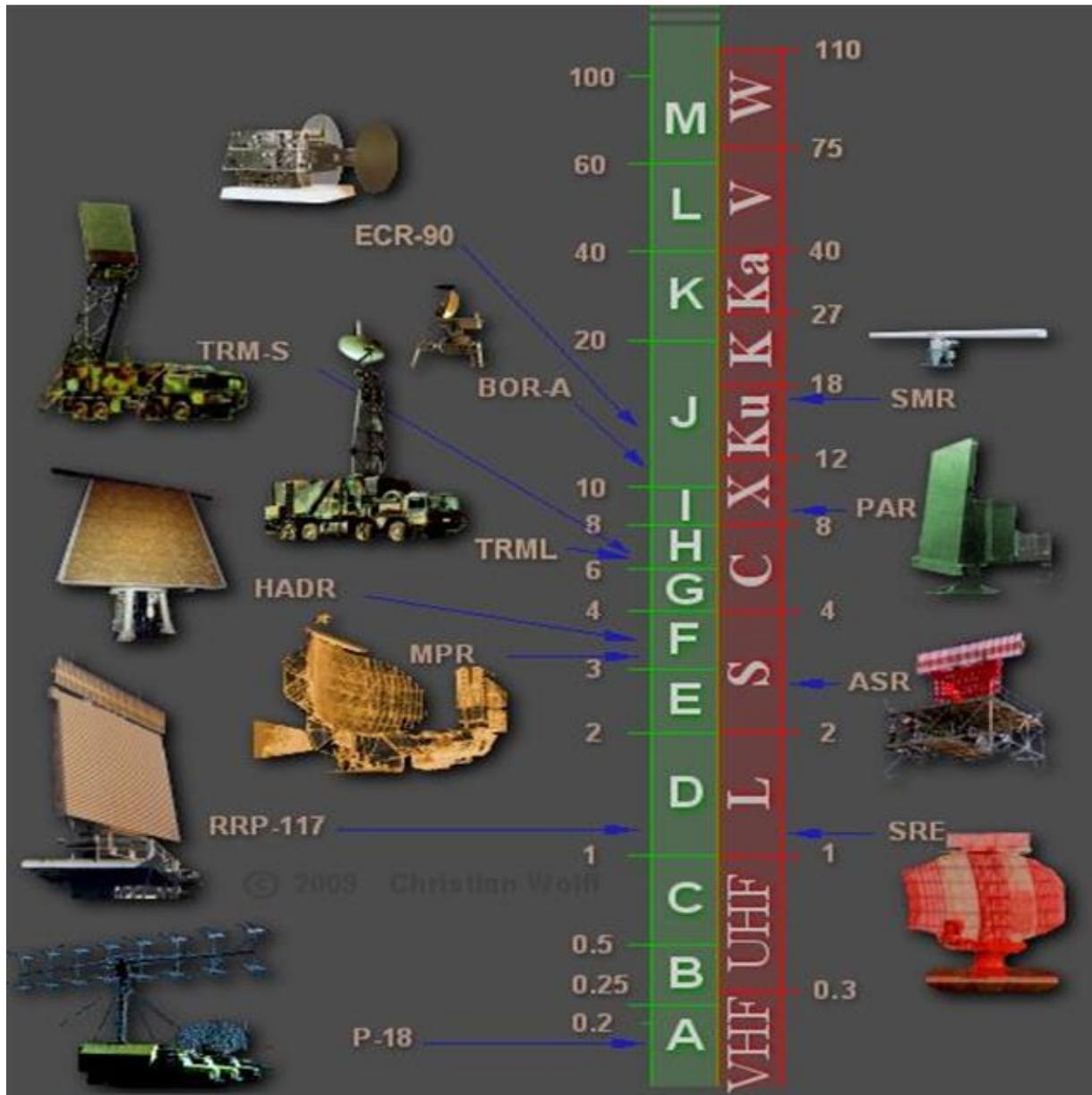


Figure I.14: Exemple des radars utilise et leurs bandes de fréquences.

## I.9. Applications radar

Les radars ont une très grande variété d'applications dans de nombreux domaines tels que la surveillance et le contrôle que ce soit dans un contexte civil ou militaire. On utilise par exemple, le radar pour le contrôle aérien, maritime et routier, météorologie et astronautique pour l'observation de la terre et de sa biomasse. La figure I.15 recense en grande partie les applications radar actuelles. Pour les applications strictement militaires, on retrouve par exemple les radars de défense aérienne qui détectent et suivent les avions ou missiles représentant un danger ainsi que les radars de contre batterie servant à déterminer le point de départ d'un tir d'artillerie adverse. Il y a d'autre part les radars subsurface, tels que les radars à détection d'objets souterrains et à travers les murs utilisés pour le déminage de terrains et la détection en milieu urbain.

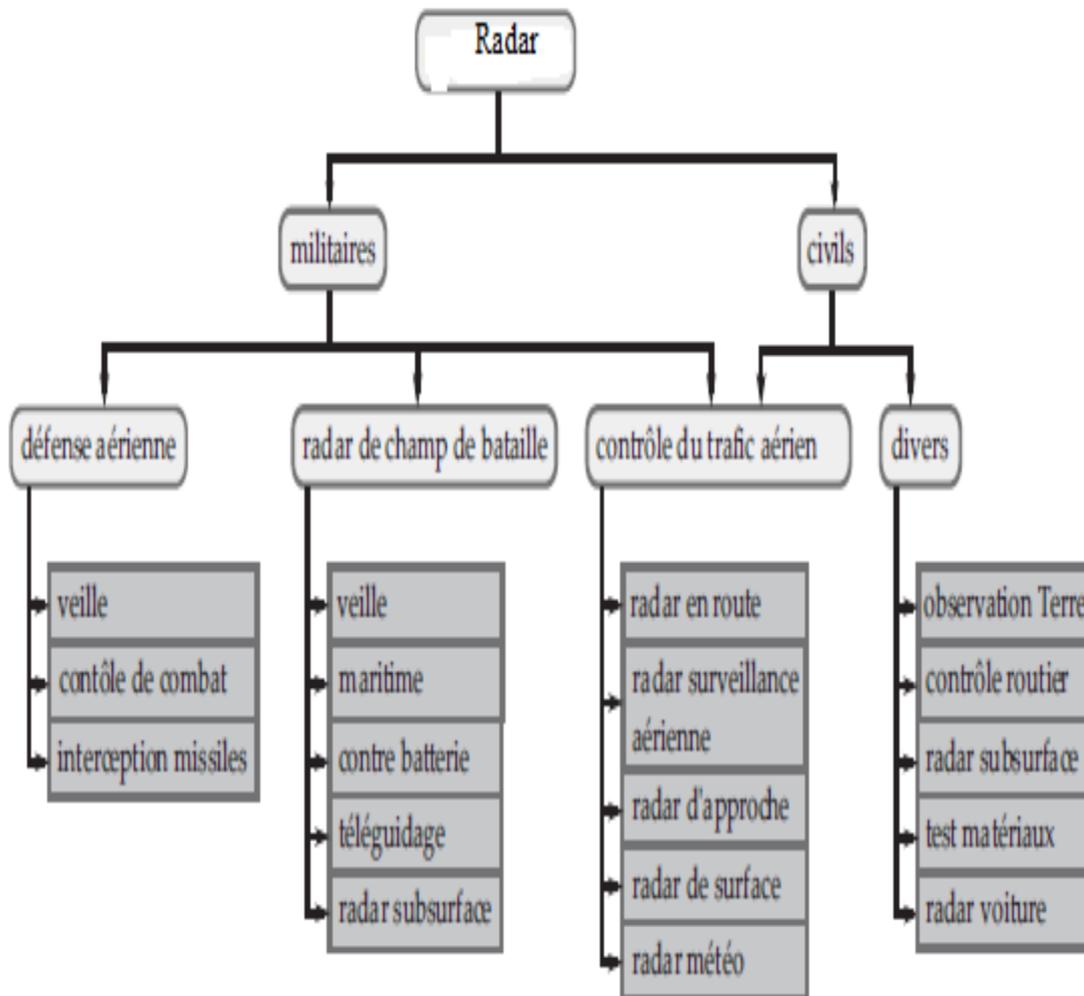


Figure I.15 : Applications radar.

## **I.10. ENNA et service Radar**

### **I.10.1. Présentation de l'établissement national de la navigation aérienne(ENNA)**

L'établissement national de la navigation aérienne (ENNA) dans sa nature juridique, est un établissement 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. 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.10.2. Mission de l'ENNA**

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

### **I.10.3. Organisation de l'ENNA**

L'ENNA est constituée de plusieurs directions, réparties selon l'organigramme de la figure I.16:

**DDNA:** Direction du **D**éveloppement de la **N**avigation **A**érienne.

**DENA:** Direction de l'**E**xploitation de la **N**avigation **A**érienne.

**DTNA:** Direction **T**echnique de la **N**avigation **A**érienne.

**DRFC:** Direction des **R**essources, des **F**inances et de la **C**omptabilité.

**DJRH :** Direction **J**uridique et des **R**essources **H**umaines.

**CQRENA :** Centre de **Q**ualification, de **R**ecyclage et d'**E**xpérimentation de la **N**avigation **A**érienne.

**DL :** **D**irection de la **L**ogistique.

**CCV:** Centre de **C**alibration en **V**ol

**DSA :** **D**irections de **S**écurité **A**éronautique.

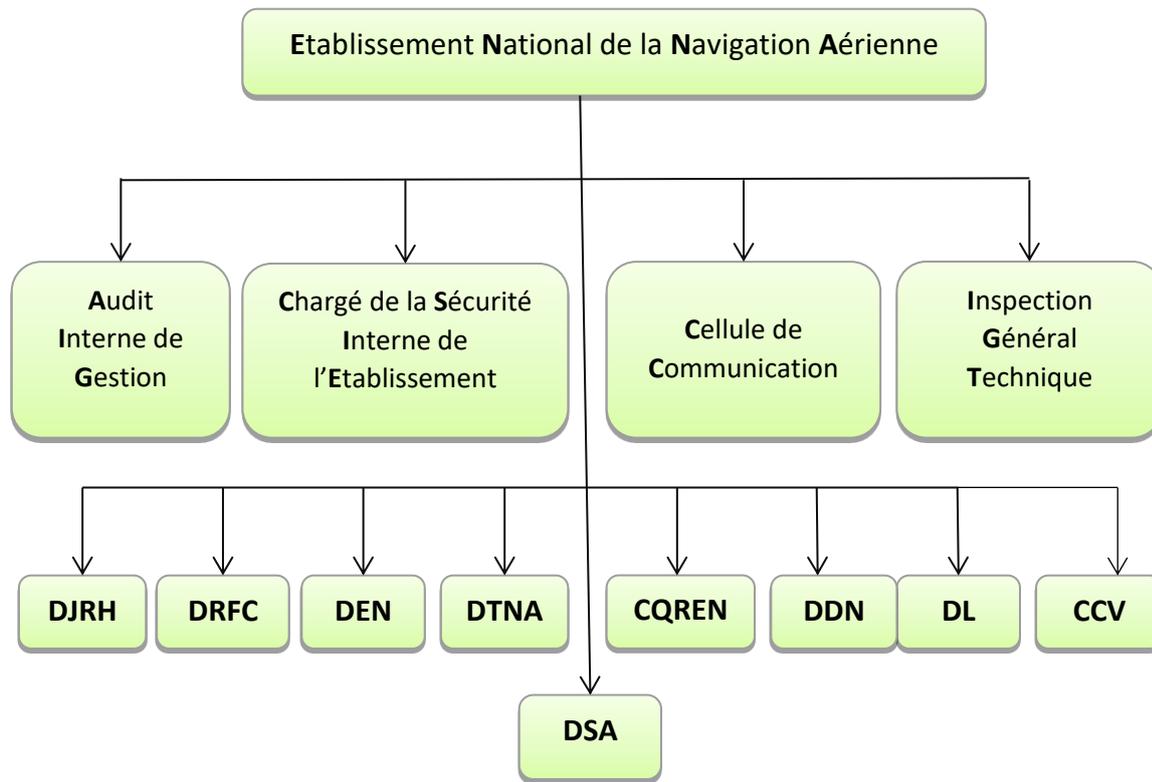
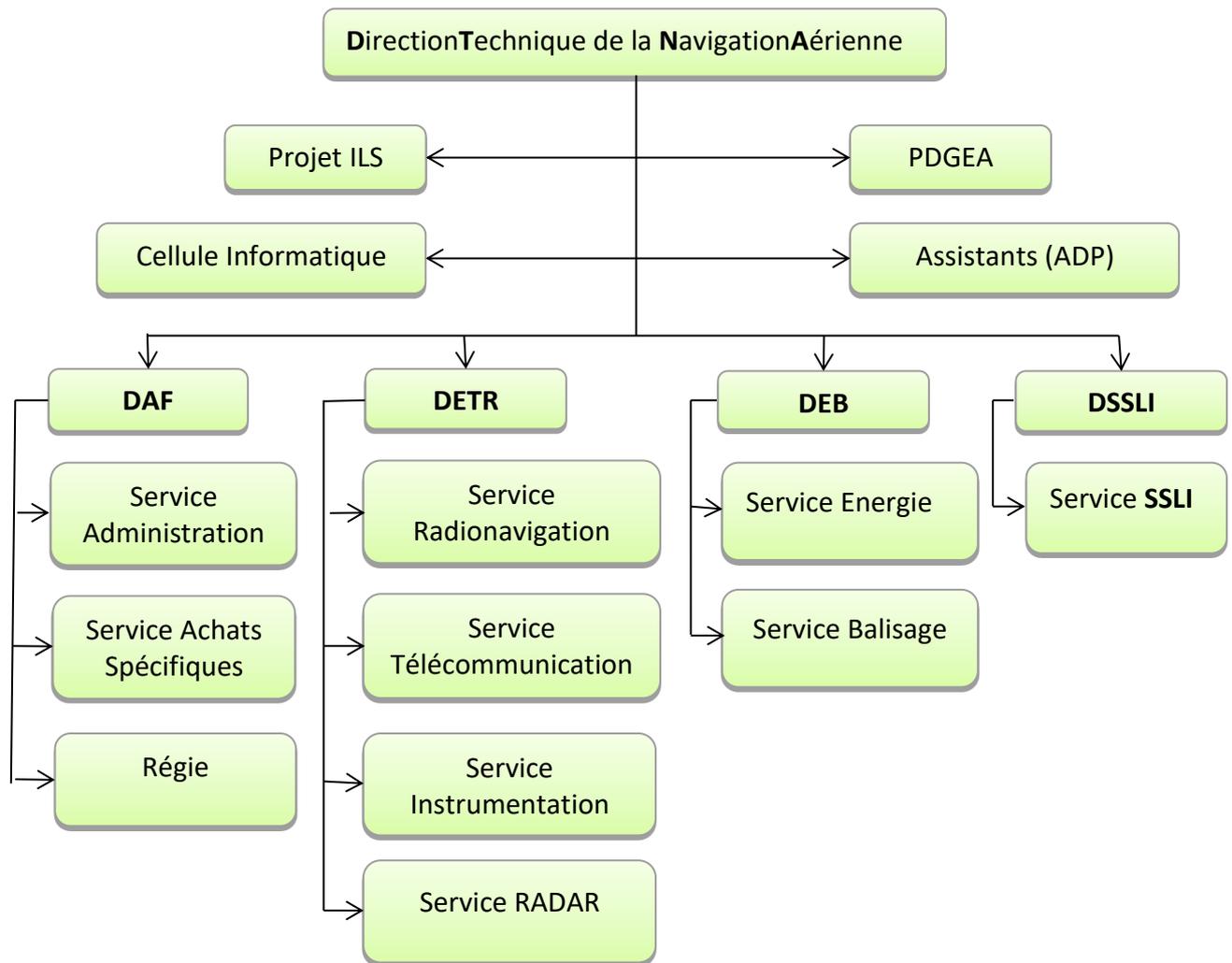


Figure I.16 : Organigramme de l'ENNA

#### I.10.4. 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. La structure générale de la DTNA est la suivante :



**Figure I.17:** Organigramme de la DTNA

### I.10.5. Service Radar

Le DETR 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 composé de quatre services :

- Service Instrumentation
- Service Radionavigation
- Service Télécommunication
- Service Radar

## Conclusion

Dans ce premier chapitre nous avons présenté les notions essentielles sur un système radar, tels que l'historique, le principe de fonctionnement et les différents types de radars ainsi que les différentes bandes de fréquence utilisées. Nous avons également donné une idée sur les méthodes de positionnement de la cible et les applications de radar dans différents domaines. Un intérêt particulier a été consacré à l'Entreprise Nationale de Navigation Aérienne (ENNA) qui est chargée de 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) pour assurer le contrôle du trafic aérien sur le territoire algérien. Le stage effectué au sein de l'établissement, nous a permis de nous familiariser avec le radar ATCR 33S acquis par l'ENNA et fonctionnel actuellement.

## Introduction

Le radar ATCR-33S est un radar primaire doppler pulsé à compression d'impulsions et fonctionnel en bande S (2 – 3 GHz) est conçu pour la détection d'aéronefs non coopératifs et adapté à la zone terminale et au contrôle de la circulation aérienne en route. La philosophie de conception des radars Leonardo Air Traffic Control peut être synthétisée dans le concept d'adaptation des radars modernes qui doivent fonctionner avec des systèmes ATC automatisés basés sur un traitement de données hautement sophistiqué. Par conséquent, des signaux radar de haute qualité doivent être assurés même en présence d'échos indésirables, tels que le fouillis terrestre et les interférences météorologiques.

Le radar ATCR-33S fait partie de la famille Leonardo ATC Radar et utilise les dernières technologies récentes héritées assurant des performances avancées telles que la capacité à fonctionner en continu sur des sites sans pilote, 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, la télécommande de paramètres, l'utilisation d'extracteurs de données radar intégrés, la transmission de données à bande étroite en utilisant des composants sophistiqué dans toutes les unités. L'équipement est conçu selon les critères de redondance opérationnelle de toutes les unités critiques.

### II.1. Schéma de principe

Les composantes principales d'un système radar sont en général :

- L'émetteur,
- Le récepteur,
- L'antenne,
- Un dispositif d'affichage.

Dans ce contexte, nous résumons le schéma de principe du radar ATCR 33S par ses composantes principales.

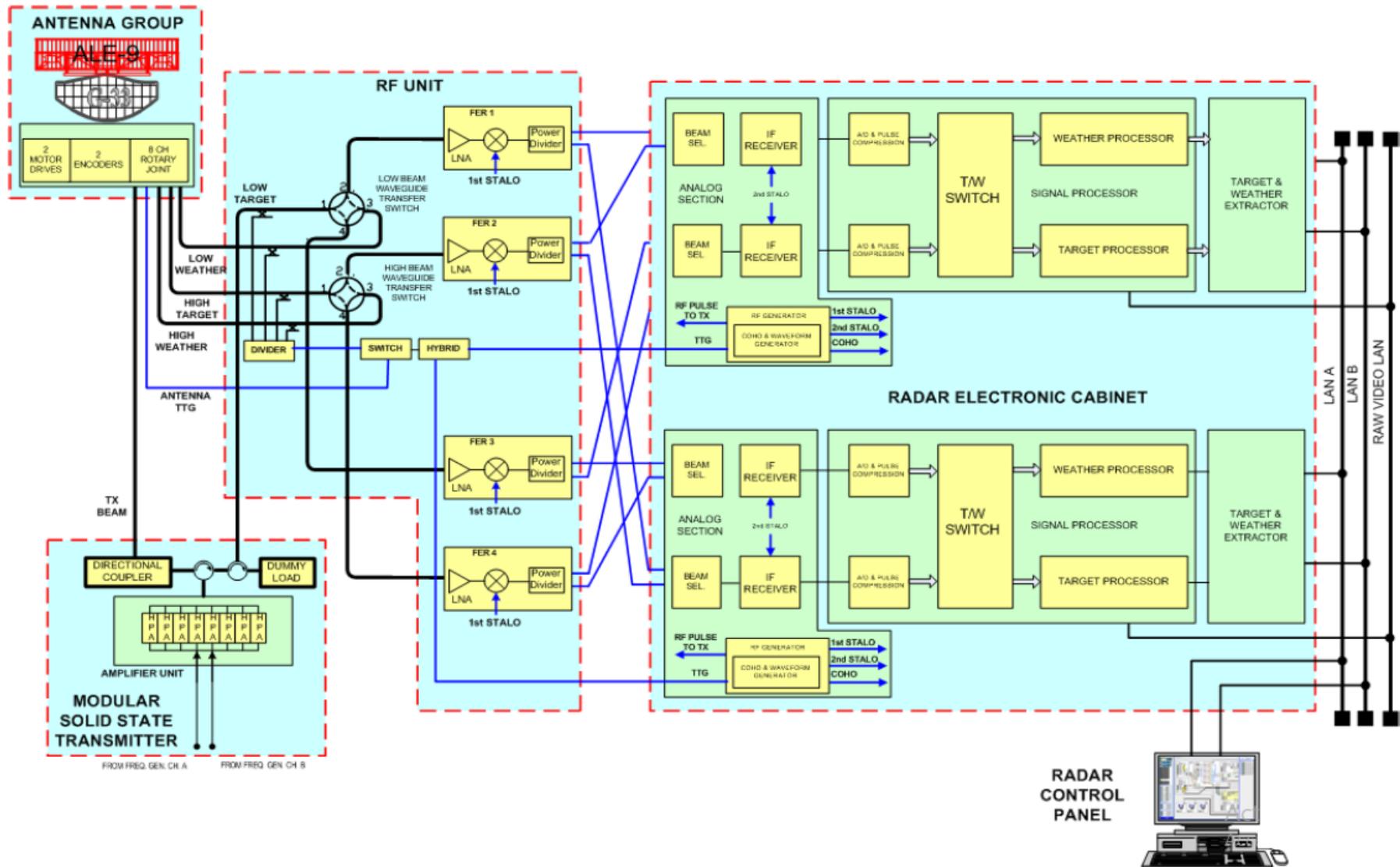


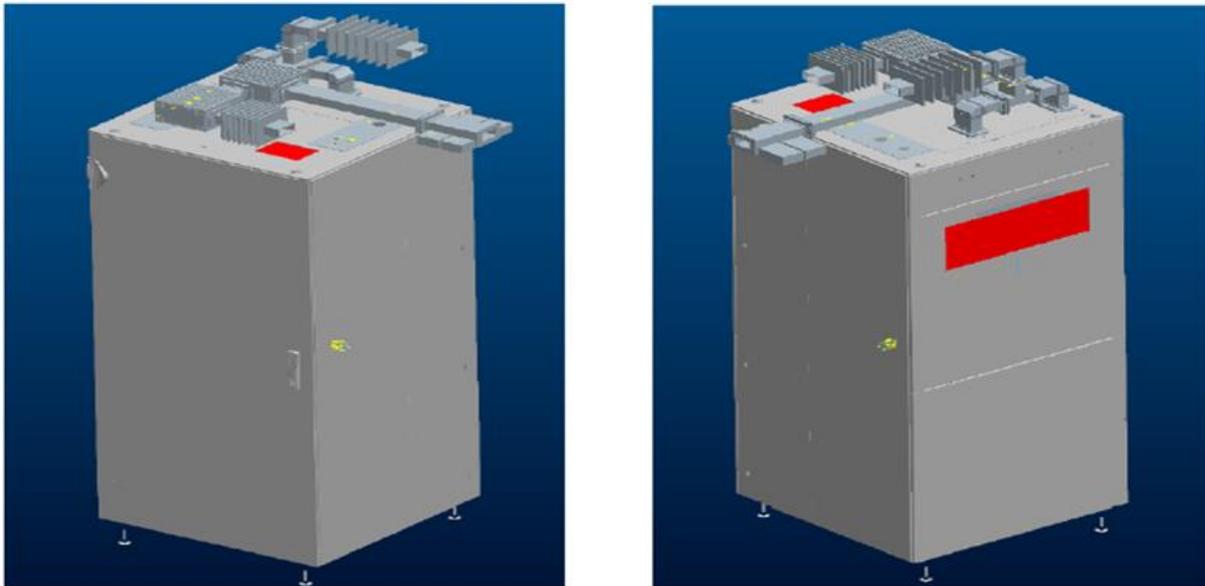
Figure II.1 : Diagramme fonctionnel du radar ATCR 33S.

### II.1.2. Bloc Emetteur

L'ATCR 33S fonctionne en diversité de fréquence. Les deux fréquences opérationnelles sont sélectionnables dans la gamme de fréquences de 2700 MHz à 2900 MHz. Les changements de fréquence sont effectués directement à partir du panneau de commande du radar, sans qu'il soit nécessaire de remplacer les composants, l'alignement ou le réglage. Les générateurs de fréquence des deux canaux de réception sont indépendants les uns des autres, de sorte qu'en cas de défaillance d'un canal, le système est toujours capable de fonctionner en diversité de fréquence. Les éléments principaux et caractéristiques dans l'émission sont :

- Emetteur transistorisés,
- Etage de puissance modulaire (8 ou 10 modules),
- ces modules fonctionnent en parallèle,
- Le remplacement d'un module ne nécessite pas l'interruption de la fonction émission
- Assure une stabilité supérieure à 1/10000.

L'émetteur est modulaire et tolérant aux pannes, avec 8 modules de puissance et un ensemble de contrôle inclus dans une seule armoire. L'étage de puissance RF utilise la toute dernière technologie de transistor au nitrure de gallium (GaN), permettant d'augmenter simultanément la puissance transmise, l'efficacité et la fiabilité.



**Figure II.2 :** Armoire de l'émetteur – disposition mécanique.

Les unités d'amplification haute puissance (HPA) RF sont composées de:

- RF 1: 8 diviseurs de puissance.
- 8 modules d'amplificateur de puissance élevée (HPA).
- Combineur de puissance RF 8: 1.

Le signal de sortie du générateur RF alimente l'unité HPA (High Power Amplifier) où un diviseur de puissance 1: 8 divise le signal RF en 8 signaux RF (puissance et phase) égaux. Ces signaux sont amplifiés en parallèle par les 8 modules HPA. Après l'amplification, les sorties HPA sont additionnées dans le combineur HPA 8: 1, puis entraînées dans un guide d'ondes en bande S, où le dispositif capteur de puissance est connecté pour contrôler la puissance de pointe nominale.

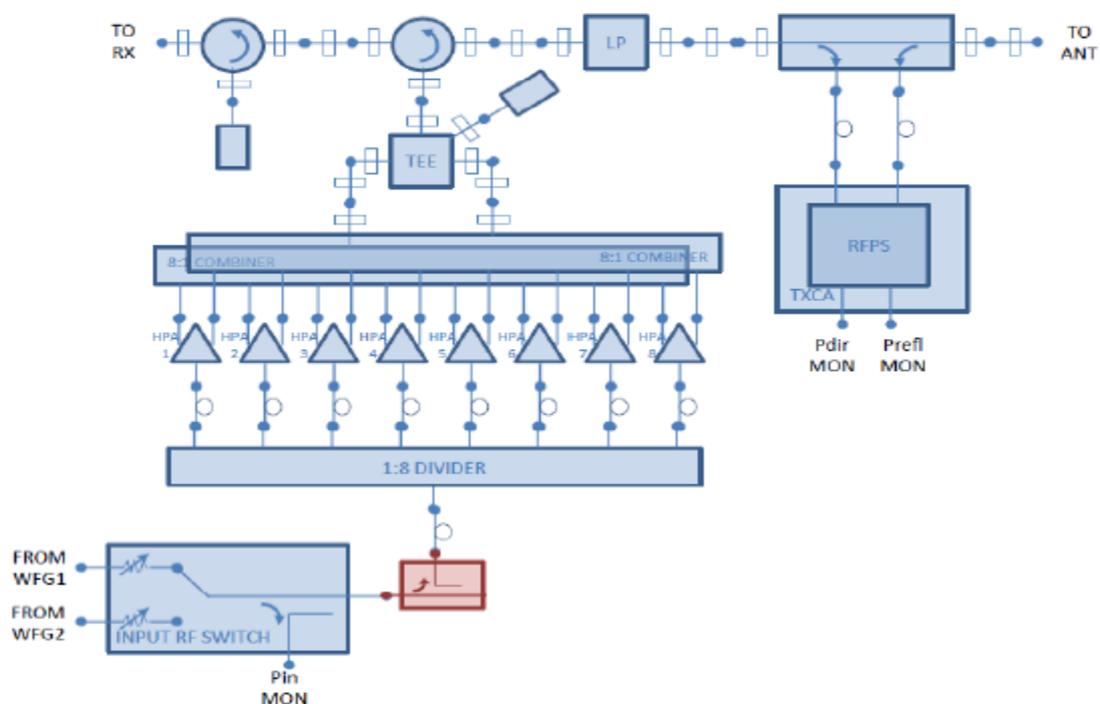
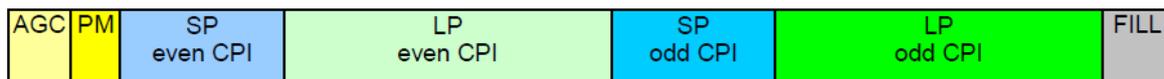


Figure II.3 : Diagramme du block de l'émetteur.

- **Forme d'onde émise**

L'émission dans le temps sur cible se compose de trains d'impulsions courtes et longues cohérentes respectivement utilisées pour la couverture courte et longue portée. Des impulsions longues (codées par la technique de compression d'impulsion) sont nécessaires pour atteindre de grandes portées. Cependant, l'utilisation de Longues impulsions a un inconvénient majeur sous la forme d'un large angle mort (distance aveugle). Pour surmonter ce problème, le radar émet également de courtes impulsions qui réduisent la portée globale aveugle à moins de 0,5 NM. La forme d'onde finale émise peut alors être composée de 2 périodes à impulsion courte suivies de deux périodes à impulsion longue, comme indiqué sur le schéma de la figure II.4.



**Figure II.4 :** Modèle de transmission.

Deux fréquences F1 et F2 sont sélectionnées manuellement par l'opérateur via le panneau de commande radar dans un ensemble de quarante (40) fréquences disponibles dans la gamme de fréquence opérationnelle (2700 MHz - 2900 MHz), dans les modes de fonctionnement suivants:

- Fixé: Un couple des fréquences sélectionnées est transmis pour le balayage entier respectivement pour les impulsions courtes et longues.
- Diversité: un couple des fréquences sélectionnées est transmis pour le balayage entier respectivement pour les impulsions courtes et longues. Les deux fréquences sélectionnées sont permutées automatiquement à chaque couple.

L'émetteur est capable de fonctionner en diversité de fréquence. La forme d'onde émise est composée d'impulsions courtes pour les faibles portées de longues impulsions de longues portées. Le mode de fonctionnement échelonné est effectué en changeant la fréquence de répétition des impulsions.

	Fréquence transmise dans le ODD CPI	Fréquence transmise dans le EVEN CPI
<b>Impulsion courte</b>	F1	F2
<b>Impulsion longue</b>	F2	F1

**Tableau II.1 :** Fréquence de transmission d'impulsions courtes et longues.

Les principales caractéristiques de l'émetteur ATCR 33S sont indiquées dans le tableau II.1:

Technology	Solid state (GaN Technology)
Operating frequency range	2700 to 2900 MHz
Modulation	Pulse compression
PRF (Hz):	>900 Hz (average)
Stagger Ratio	16% (Max)
Duty cycle	10% max.
Output peak power (nominal):	≥ 17 KW
Pulse widths (short and long);	or <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 [μs] ± 100 [ns]</li> <li>• 90 [μs] ± 100 [ns]</li> <li>• 10 [μs] ± 100 [ns]</li> <li>• 100 [μs] ± 100 [ns]</li> </ul>
Rise time	< 200 [ns]
Fall time	< 65 [ns]

**Tableau II.2 :** Caractéristiques de l'émetteur.

Les fonctions de surveillance suivantes sont fournies au niveau de l'émetteur et du module unique:

- Le fonctionnement des HPA est surveillé avec un ensemble BITE associé et un transformateur de détection de courant. Le transformateur détecte le courant d'impulsion prélevé pendant le temps d'impulsion et envoie le signal de commande à des fins de surveillance.
- L'étage final de chaque amplificateur est surveillé par des circuits BITE qui envoient des indications de défaut à l'opérateur. Les erreurs de VSWR et de rapport cyclique supprimeront la puissance d'entrée si les paramètres dépassent les valeurs nominales.
- La surveillance de la puissance est fournie à la sortie de l'unité émettrice au moyen d'un capteur de puissance dédié.
- La température est surveillée en permanence au niveau des échangeurs de chaleur de chaque module HPA et au niveau de la fenêtre de sortie d'air de l'armoire. En cas de surchauffe, le module concerné est automatiquement désactivé.

L'état de l'émetteur et les paramètres de surveillance sont affichés sur le panneau de commande du radar, fournissant une indication de défaillance pour chaque LRU. Le refroidissement de l'ensemble émetteur est assuré par des ensembles de soufflantes qui forcent l'air de la pièce d'équipement conditionné dans les armoires. L'air froid est prélevé de la fenêtre d'entrée au fond

des armoires et l'air chaud est expulsé à travers la fenêtre de sortie dans la partie supérieure des armoires.

### II.1.2. Récepteur

L'ATCR 33S est fourni avec deux récepteurs redondants inclus dans une seule armoire. Chaque canal comprend une section analogique, où la conversion de fréquence vers le bas et l'amplification du signal sont effectuées, et une section de traitement radar numérique, où les seules détections émises par le processeur de signal numérique A-MTD alimentent l'extracteur intégré; il analyse les données et extrait les informations synthétiques sous forme de graphiques cibles et de vecteurs météorologiques. Les sorties du processeur de données sont envoyées au double réseau local.

- **Description générale**

Les 'échos reçus par l'antenne atteignent le système RF à travers le joint rotatif de l'antenne. Quatre signaux sont disponibles à l'entrée du récepteur:

- Signal de faisceau faible pour la détection de la cible (sortie d'antenne polarisée linéaire),
- Signal de faisceau HIGH pour la détection de cible (sortie d'antenne polarisée linéaire),
- Signal de faisceau FAIBLE pour la détection météorologique (sortie d'antenne orthogonale),
- Signal de faisceau élevé pour la détection météorologique (sortie d'antenne orthogonale).

Les sorties orthogonales sont utilisées pour la détection météorologique lorsque le système radar fonctionne uniquement en polarisation circulaire. En utilisant la polarisation linéaire, le processeur Météo est alimenté par les sorties LOW/HIGH linéaires. En cas de panne, le deuxième canal devient opérationnel sans perte d'information, car les deux canaux détectent et traitent en continu les données, même en état de veille. Le récepteur est équipé de manière appropriée d'un équipement de test intégré (BITE) pour faciliter la surveillance et la maintenance des performances, en fournissant l'identification des défauts au niveau LRU. Le CMS reçoit les informations BITE du récepteur pour l'affichage de l'état et des échecs. Des sorties de test tamponnées sont fournies pour vérifier les signaux du récepteur principal ou synchroniser les équipements de test externes sans affecter le fonctionnement normal du système radar.

Les principales caractéristiques générales du récepteur ATCR 33S NG sont indiquées dans le tableau II.3. Une description détaillée de chaque sous-ensemble est présentée dans les paragraphes suivants.

paramètre	valeur
Bande RF	2700-2900 MHz
Récepteur Plage dynamique	$\geq 68$ dB
Figure de bruit	$\leq 2.5$ dB
Signal minimum détectable	$\leq -120$ dBm Le niveau de MDS est mesuré par l'injection d'un signal de test cohérent (via un générateur de cible de test) dans le trajet de réception et l'évaluation du niveau de signal nécessaire pour obtenir la probabilité de détection requise (avec $P_{fa} = 10^{-6}$ ).
Fréquence IF	255 MHz
Bande passante IF	2.5 MHz

**Tableau II.3.** Caractéristiques du récepteur principal.

Les principaux sous-ensembles qui composent chaque unité de réception sont:

- **Section IF**

La section IF effectue la conversion du signal RF reçu jusqu'à la fréquence IF (255 MHz). Cette conversion vers les basses fréquences est faite en mélangeant le signal d'entrée provenant du FER avec le signal provenant du STALO. Le signal de sortie est alors à 255 MHz. En outre, la fonction de contrôle automatique du gain (AGC) est appliquée pour équilibrer les variations de la puissance du bruit dans le canal du récepteur. Le STALO fournit les fréquences pour la deuxième conversion vers les hautes fréquences durant l'émission et une conversion vers les basses fréquences durant la réception. Le STALO fournit des fréquences dans la bande de fonctionnement avec une haute stabilité de fréquence/phase, afin de permettre le facteur d'amélioration requis pour le filtrage cohérent.

La section IF amplifie également (amplification linéaire) les signaux d'entrée, normalisés selon la commande AGC du Data Processor, qui modifie le gain global afin de maintenir la constante de bruit de niveau RMS thermique. Cette fonction permet d'utiliser des seuils fixes dans des zones claires, réduisant ainsi les pertes de traitement CFAR.

A la sortie de la section de réception IF, un filtre est présent, adapté aux caractéristiques du signal reçu, présent pour rejeter la contribution de bruit en dehors de la bande passante du signal radar.

Une estimation de la puissance de bruit à l'entrée de chaque ADC est normalement effectuée par des routines du processeur de signal. Les niveaux de bruit estimés sont comparés à une valeur nominale. Le résultat de la comparaison est transmis au processeur radar qui augmente ou diminue le gain des canaux du récepteur IF, ce qui amène le niveau de bruit le plus proche possible de la valeur nominale. Cette boucle de correction est effectuée séparément pour chacune des fréquences incluses dans le sous-ensemble sélectionné. Les informations de correction de gain sont affichées sur le panneau de commande du radar. La correction AGC des canaux de réception est indiquée par des alarmes.

### II.1.3. Antenne

L'antenne est l'organe qui relie le radar au monde extérieur. Il performe plusieurs objectifs:

- Concentre l'énergie rayonnée en transmission; c'est-à-dire: il est directif et a une largeur de faisceau étroite,
- Recueille l'énergie écho reçue de la cible,
- Fournit une mesure de la direction angulaire à la cible,
- Fournit une résolution spatiale pour résoudre ou séparer les cibles dans les angles,
- Permet d'observer le volume désiré de l'espace.



**Figure II.5 :** Antenne radar ATCR 33S.

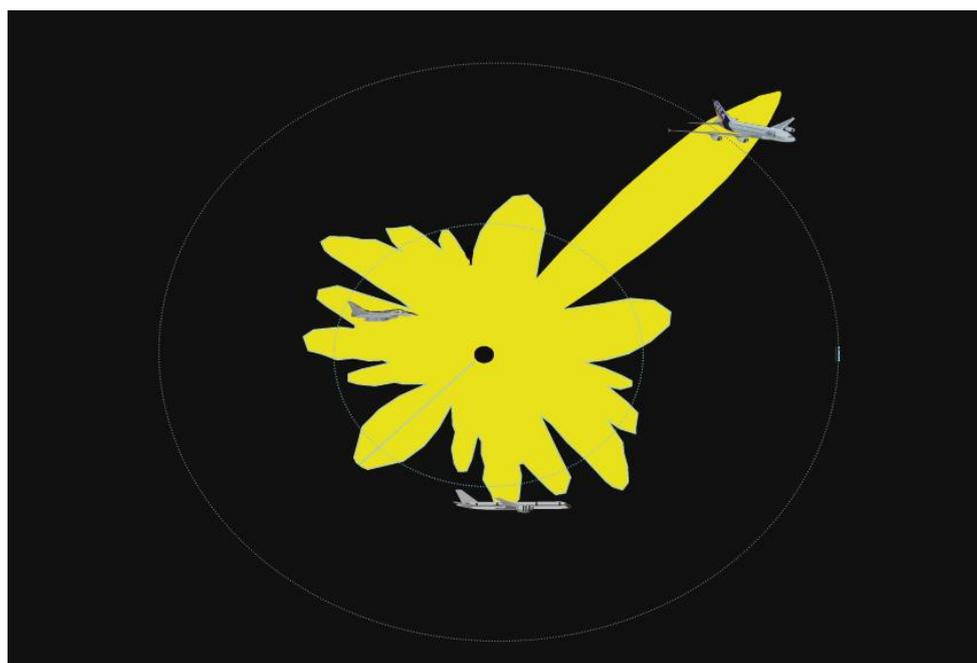
L'antenne peut être un réflecteur parabolique à balayage mécanique, un réseau planaire à balayage mécanique, ou un réseau à balayage électronique utilisant un émetteur unique avec un aliment corporatif ou une configuration spatiale. Chaque type d'antenne a des avantages et limitations particuliers. Généralement, plus l'antenne est grande, plus les contraintes pratiques peuvent en limiter la taille. Une antenne est caractérisée par :

- **Gain d'antenne**

Le gain est le rapport entre l'énergie irradiée dans une direction particulière et l'énergie totale émise par l'antenne dans toutes les directions. Il s'agit donc du taux de concentration de l'énergie dans une direction donnée par rapport celui d'une antenne isotrope. Plus l'antenne est directionnelle, plus le gain est grand. Le gain s'applique également à la réception et a la même valeur.

- **Diagramme d'émission**

La plupart des systèmes radiants ont des directions privilégiées d'émission, ils sont anisotropes. Il est habituel de mesurer l'émission autour d'une antenne c'est ce qui s'appelle le diagramme d'émission. La position des maxima et des minima dépend du type d'antenne et de ses caractéristiques particulières. Il s'agit donc d'un diagramme énergie versus l'angle d'azimut ou d'élévation qui peut être affiché sur différents type de graphiques. La façon la plus courante est d'utiliser un graphique en coordonnées polaires comme sur la figure II.6. L'antenne est le point central et l'intensité autour de ce point, selon l'angle de visée, est indiquée par les cercles concentriques. L'intensité est normalisée, c'est-à-dire que l'énergie pointée dans une direction donnée est le rapport de l'énergie dans cette direction à celle dans la direction d'émission maximale, appelée axe du lobe principal. Dans la figure II.6, ce lobe est dans l'angle zéro degré, habituellement utilisé pour indiquer le Nord.



La figure II.6 : Diagramme de rayonnement.

- **Diagramme de couverture**

Le PSR considéré dans ce travail fournit des informations pour toutes les cibles de 1 m<sup>2</sup> dans un rayon minimum de 60 miles nautiques (NM) centré sur l'antenne radar dans les conditions suivantes:

Operation	Frequency Diversity CPI by CPI
Type d'antenne	G-33
Polarization	Linear
Inclinaison de l'antenne	2.2°
Antenne Azimuth Largeur de faisceau	1.45 ± 0.1°
Taux de rotation de l'antenne	15 rpm
Puissance de pointe transmise	17 kW
Fonctionnement de l'émetteur en condition dégradée	13 KW - 1 module in fault
Probabilité de détection PD	90 % in Clear 80% in Ground/Rain Clutter
Probabilité d'alarme fausse Pfa	10 <sup>-6</sup> in free space 10 <sup>-5</sup> in Ground/Rain Clutter
Section transversale du radar	1 m <sup>2</sup>
Plage minimale détectable	0.2 NM
Azimut	360°
Angle d'élévation de la couverture	from Radar Horizon up to 40°
Plage de vitesse radiale cible	From 30 to 800 Knots

Tableau II.4 : Paramètres du système

La couverture dépend du diagramme d'antenne, de l'émetteur, du récepteur et de la section transversale radar de la cible. La couverture radar est exprimée par la formule suivante:

$$R_{\max} = \left[ \frac{P_t G_t G_r \sigma \lambda^2}{4\pi^2 (S/N)_{\min} k T_s B_n L} \right]^{1/4} \quad (\text{II.1})$$

Où,

$P_t$	puissance de crête
$G_t, G_r$	gain d'antenne en TX et en RX
$\sigma$	coefficient de réflexion
$\lambda$	longueur d'onde
$(S/N)_{min}$	rapport signal / bruit minimum requis pour atteindre la détection d'une cible aux valeurs prédéfinies de probabilité de détection et probabilité de fausses alarmes
$k$	Constante de Boltzmann
$T_s$	température de bruit du système
$B_r$	bande passante du récepteur
$L$	facteur de perte

Dans la figure II.7 nous dressons limites du masque de couverture du radar ATCR 33S qui permet d'évaluer la couverture radar :

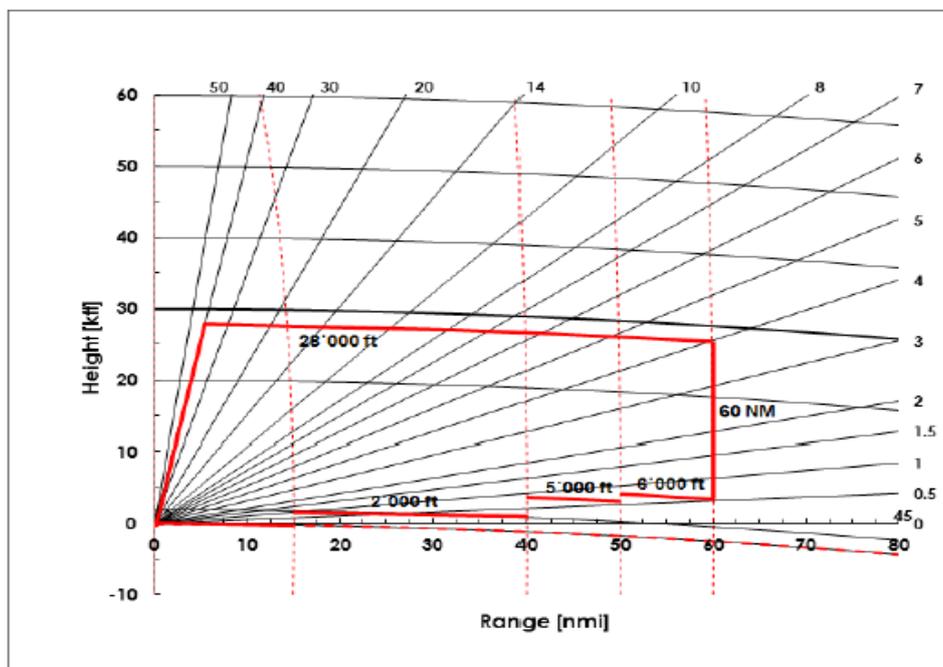


Figure II.7 : Masque de couverture

1. Couverture depuis l'horizon radar jusqu'à une élévation d'au moins 40 °
2. Entouré d'une hauteur d'au moins 28 000 pieds (FL 280)
3. La provision de couverture de bas niveau doit être:
  - Jusqu'au niveau du sol, jusqu'à la distance RHD (Radar Horizon Distance) ou jusqu'à 15 NM, selon la valeur la plus élevée,

- Jusqu'à 2 000 pieds à partir de RHD ou 15 NM, selon la plus grande des deux; jusqu'à 40 NM.
- Jusqu'à 5 000 pieds de 40 NM jusqu'à 50 NM.
- Jusqu'à 6 000 pieds de 50 NM jusqu'à 60 NM.

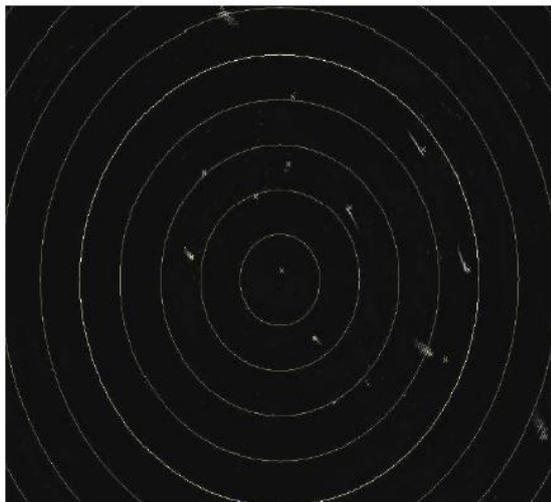
#### II.1.4. Système d'affichage

La fonction génératrice vidéo numérique est implémentée dans le processeur radar.

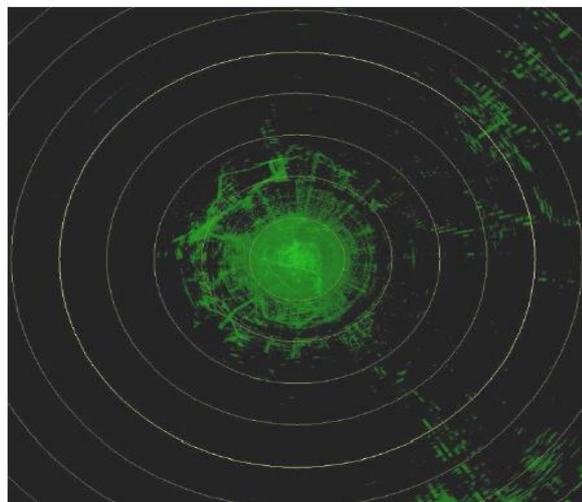
Les flux vidéo numériques suivants sont fournis:

- Vidéo 1 : Non traité (sélectionnable à l'entrée ou à la sortie du processeur MTD),
- Vidéo 2 : Vidéo traitée (en sortie de la fonction de détection),
- Vidéo 3 : Niveaux météorologiques (six niveaux météorologiques fournis par la carte WLM),
- Vidéo 4 : Cartes dynamiques du processeur de signal.

Des exemples de captures d'écran des sorties vidéo brutes typiques sont fournis dans la figure suivante :



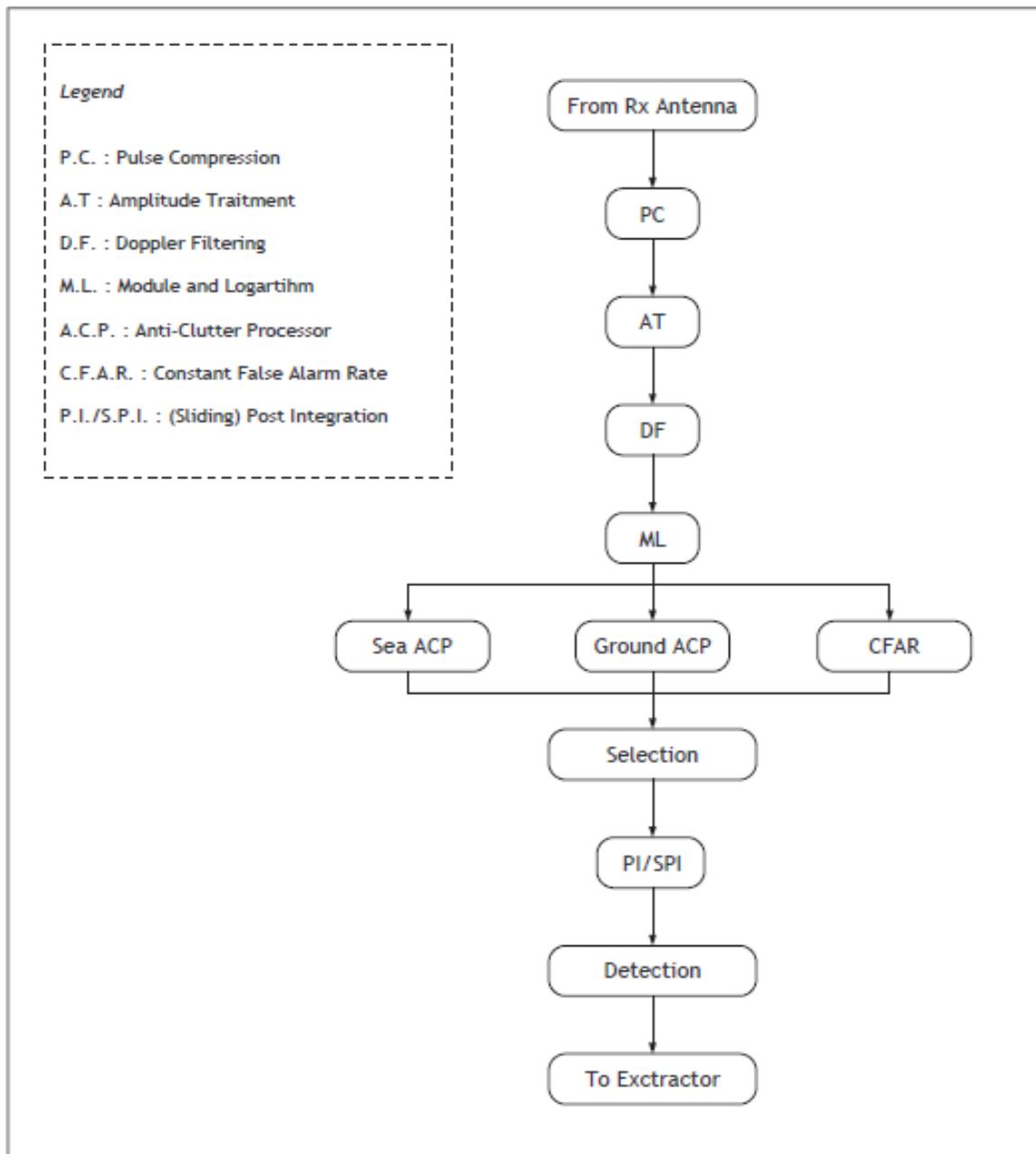
**Figure II.8 :** Sortie vidéo traitée.



**Figure II.9 :** Sortie vidéo non traitée.

## II.2. Traitement du Signal Radar

Le radar ATCR 33S est doté d'un processeur de signal qui remplit un traitement du signal cible/météorologique et un extracteur. La structure en blocs des techniques de traitement du signal impliquées dans le radar ATC 33S est illustrée dans la figure II.10. Chaque bloc a son propre rôle dans le processus de détection et / ou de suivi de la cible:



**Figure II.10** : Structure en bloc du traitement de signal radar.

- PC (Pulse Compression) permet via des techniques de filtrage spécifiques de récupérer le signal transmis par l'écho rétrodiffusé bruyant,
- AT (traitement d'amplitude) : élimine les valeurs parasites en vérifiant chaque échantillon amplitude,

- DF (filtrage Doppler) : évalue la vitesse radiale des cibles à travers une banque de filtres à bande étroite.
- ML (Module et Logarithme): modifie mathématiquement le signal reçu dans le but d'améliorer la capacité de détection du radar.
- ACP (Anti-Clutter Processor) : évalue la puissance du bruit environnant en fonction de situation (mer, sol),
- CFAR (Constant False Alarm Rate): ajuste les seuils de détection et les paramètres radar afin de maintenir les performances de détection,
- PI (post-intégration): combine des impulsions dans un train émis pour améliorer la détection,
- SPI (Sliding PI) : fonctionne comme PI mais utilise la sortie de PI de tour en tour,
- Détection : fournit un indicateur indiquant la présence d'une cible dans chaque cellule définie.

Le radar ATCR 33S étant un radar doppler pulsé à compression d'impulsions, conçu pour fournir des informations de distance et vitesse concernant des cibles avions ou météorologiques en approche et en route, un traitement numérique du signal adéquat est nécessaire.

### II.2.1. Principe de base du radar pulse doppler

Le radar doppler pulsé est fondé sur deux prémisses. La première est que la position de la cible peut être calculée en notant le temps entre l'émission d'une impulsion radar et son retour. La seconde sur le fait qu'une cible se déplaçant avec une vitesse radiale non nulle par rapport au faisceau radar provoque un glissement de fréquence entre la fréquence de référence de l'émetteur et celle de la porteuse reçue après réflexion sur la cible (effet doppler). Comme la fréquence est inversement proportionnelle à la longueur d'onde, la fréquence de l'onde augmente si la cible s'approche du radar. Si la cible s'éloigne du système radar, le contraire se produit. Si le radar est au sol, alors tous les changements de fréquence Doppler seront dus au mouvement de l'objet cible. Si le radar est un véhicule ou embarqué, alors les changements de fréquence Doppler seront dus au mouvement relatif entre le radar et l'objet cible. Le décalage de fréquence Doppler peut être calculé comme suit:

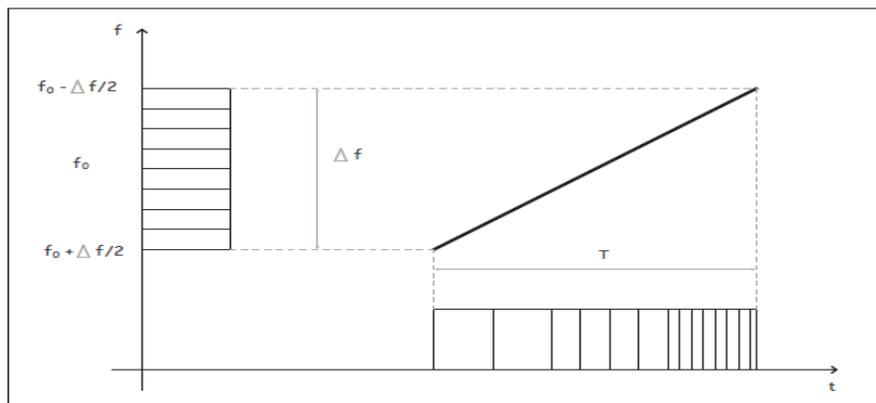
$$f_{\text{Doppler}} = 2 V_{\text{relative}} / \lambda. \quad (\text{II.2})$$

Pour qu'un radar Doppler pulsé fonctionne, il est indispensable que les échos reçus soient cohérents avec la porteuse, au moins le temps que tous les échos soient reçus et traités. Pour cela il existe plusieurs techniques. La plus immédiate est que le signal de l'émetteur soit

généralisé par un oscillateur ultra-stable (Coho) et que le signal reçu soit démodulé par un autre oscillateur ultra-stable (Stalo) sur lequel la phase est verrouillée. Le déplacement Doppler peut alors être déterminé avec précision en comparant les différentes fréquences des échos avec les fréquences du signal émis. Pour déterminer le décalage doppler en général, on utilise pour cela, soit une transformée de Fourier rapide, soit la technique de l'auto-corrélation.

### II.2.2. Principe de la compression d'impulsions

La compression d'impulsions est impliquée dans les systèmes radar où la portée de détection maximale et le facteur discriminatoire de distance est important, il est évident que la portée de détection maximale  $R_{max}$  est proportionnelle à la durée d'impulsion  $\tau$ . D'autre part, le facteur discriminatoire de distance  $d$  est  $d = c\tau/2$  et ce paramètre doit être minimisé pour assurer la séparation de cibles multiples. Evidemment, il semble qu'il soit impossible d'avoir des valeurs optimales pour les deux paramètres. En premier l'idée était d'augmenter la puissance de crête tout en gardant la durée de l'impulsion à une valeur faible, augmentant ainsi la détection de la portée maximale. Cependant, en raison de contraintes matérielles, cette solution n'était pas faisable. La solution la plus populaire consiste à utiliser des impulsions particulières appelées impulsions compressées, tel que au point d'émission  $T \gg \tau$  et au point de réception, leur durée est remise à  $\tau$  après filtrage. En définissant  $T / \tau$  comme le taux de compression. Les impulsions rectangulaires de base sur un support ne permettent pas de tels résultats. Il est nécessaire d'ajouter un schéma de modulation ou de codage sur la phase du signal. Le plus utilisé des schémas de codage est le schéma appelé Chirp.



**Figure II.11:** Principe de compression d'impulsion.

La figure II.11 illustre le principe de base de la compression d'impulsion. La fréquence du signal est linéairement modulée dans la gamme de fréquences  $[f_0 - \Delta f / 2, f_0 + \Delta f / 2]$  sur une durée d'impulsion  $T$  où  $f_0$  est la fréquence porteuse. Ainsi, le signal émis est une répétition d'impulsions modulées en fréquence de durée  $T$ .

Plusieurs techniques existent pour réaliser la compression d'impulsion. La figure II.12 décrit une méthode de production d'un signal compressé. Dans cette méthode un filtre spécifique est utilisé pour produire la modulation linéaire de fréquence à partir d'une impulsion rectangulaire de base. En effet, les impulsions compressées ont des caractéristiques spécifiques qui ont un impact sur la performance globale du radar. Par exemple, durée d'impulsion  $T$  et  $\tau$  impacts la gamme couverte ou le discriminateur de gamme; la dérive de fréquence  $\Delta f$  a un impact sur le Filtrage Doppler et peut également être sélectionné.

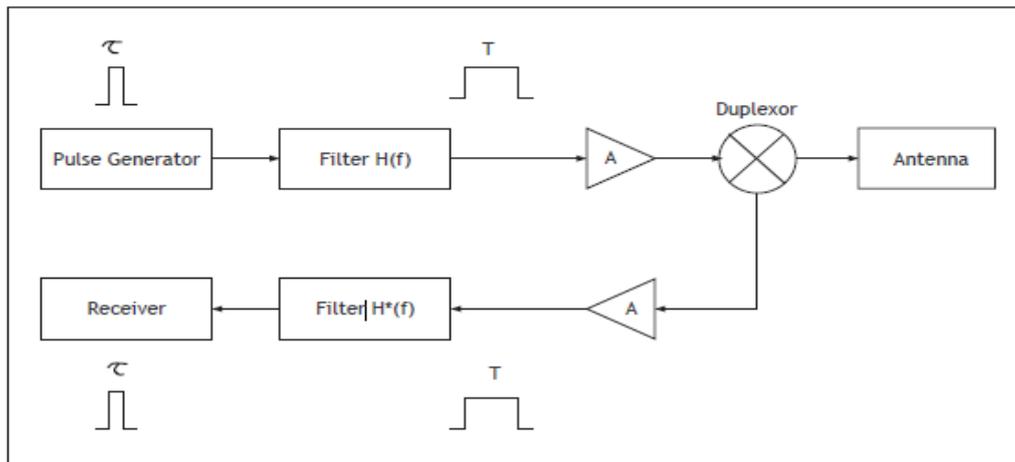


Figure II.12 : méthode de production d'un signal compressé.

En modulation linéaire de fréquence (LFM), la fréquence du signal de modulation varie linéairement pendant la durée d'impulsion du signal. Deux types de compression existent, LFM "Down" et LFM "Up". La figure montre les courbes temporelles de variation de fréquence pour les deux LFM typiques.

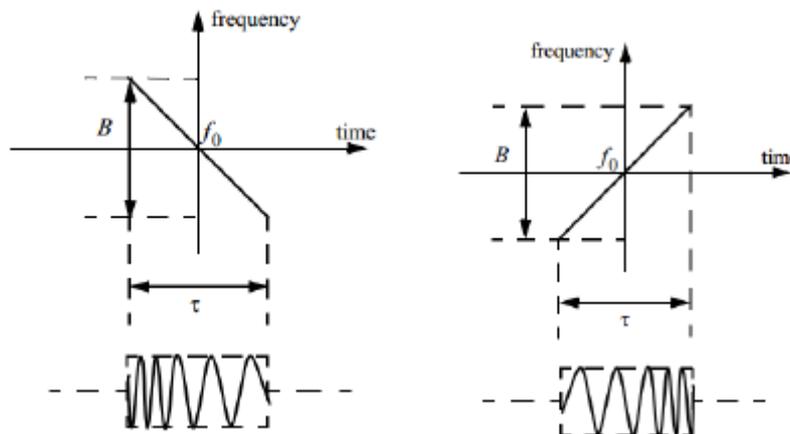


Figure II.13: Typical LFM waveform (a) up-chirp (b) down-chirp.

**\* Avantages de la technique LFM**

- améliorer la dynamique de la portée et la résolution du radar.
- Techniques de génération à complexité de calcul plus faible.

**II.2.3. Traitement par filtrage adapté**

Le traitement par filtre adapté consiste à filtrer les signaux recueillis au niveau du récepteur radar par un filtre de réponse impulsionnelle qui est le conjugué du signal LFM émis. A la sortie du filtre adapté, le rapport signal au bruit (SNR) est maximisé, ce qui améliore la détection des cibles.

**II.2.4. Traitement spectral**

Le récepteur enregistre l'écho aux trains d'impulsions rayonnés sous forme d'énergie électromagnétique. Pour détecter les décalages doppler, les échos reçus sont comparés au signal de référence d'émission. Deux sorties vidéo bipolaires sont produites : une sortie "en phase" I et une sortie "quadrature" Q, le vecteur somme des échantillons I et Q est proportionnel à l'énergie du signal échantillonné. Ces échantillons sont convertis en nombres et fournis au processeur du signal qui doit remplir un traitement adéquat en temps réel qui consiste essentiellement à l'estimation du spectre doppler.

L'avènement de la fft (Fast Fourier Transform) a favorisé l'utilisation directe des méthodes spectrales pour la l'estimation des densités spectrales de puissance (répartition de la puissance dans le domaine fréquentiel). Cette approche a montré des résultats admissibles pour une grande classe de processus stochastiques.

**II.2.5. Bruit Radar**

Dans un radar l'antenne reçoit le signal et le bruit externe, chacun ayant une certaine puissance. Le bruit dépend de la fréquence  $f$  et de la bande passante du récepteur  $B$ . La température de bruit équivalente de l'antenne est le plus souvent dépendante de l'angle de site (angle d'élévation). Elle provient des radiations extra-terrestres comme la radiation cosmique, l'absorption des ondes électromagnétiques par l'atmosphère et par la radiation infrarouge de la terre (sa température). Comme le bruit ne peut être séparé des échos radars, il est amplifié par le récepteur. Les sources de bruit interne au circuit proviennent le plus souvent des semi-conducteurs, du bruit thermique des résistances et des capacités, et du bruit du courant. Le bruit thermique dépend de l'agitation thermique des porteurs de charges, c'est-à-dire des électrons

dans les résistances électriques du circuit. Sa moyenne temporelle est nulle mais sa valeur quadratique moyenne ne l'est pas.

Le bruit étant le seul paramètre qui limite la capacité d'un radar à détecter, une attention très particulière est portée au bruit généré par les amplificateurs de cette chaîne. En radiofréquence, le bruit total des amplificateurs de la chaîne pouvant être approxime au bruit généré par le premier amplificateur, c'est le plus souvent à cet étage que se situe l'amplificateur faible bruit. Le rôle de cette chaîne est également d'adapter le signal en fréquence et en amplitude pour optimiser la dynamique du convertisseur analogique numérique.

### **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les composantes principales du radar ATCR 33S. Nous avons focalisé notre attention sur la forme du signal d'émission et sur le fonctionnement du récepteur où se déroulent les traitements nécessaires pour la détection des cibles en particulier le filtrage adapté et l'estimation du spectre doppler. Ces traitements seront concrétisés dans le chapitre suivant par une simulation.

## Introduction

Dans ce chapitre on s'intéresse à l'aspect signaux radar et traitement numérique. En premier on génère un signal LFM et examine ses propriétés. Dans une seconde étape, on simule la chaîne de traitement des échos reçus pour l'extraction de la distance de la cible. Les impulsions LFM de longue (long pulse) durée et de courte durée (short pulse) du radar ATCR 33S seront utilisées pour comprendre son fonctionnement et ses performances. Les signaux utilisés seront complexes pour une représentation réaliste des chaînes I et Q du processeur radar. Un bruit additif aléatoire sera généré selon une loi gaussienne et les résultats obtenus seront commentés pour différents rapports signal au bruit. Un filtre adapté sera simulé à travers sa réponse impulsionnelle qui est le conjugué du signal d'émission LFM. La sortie du filtre adapté obtenue par produit de convolution sera examinée et commentée.

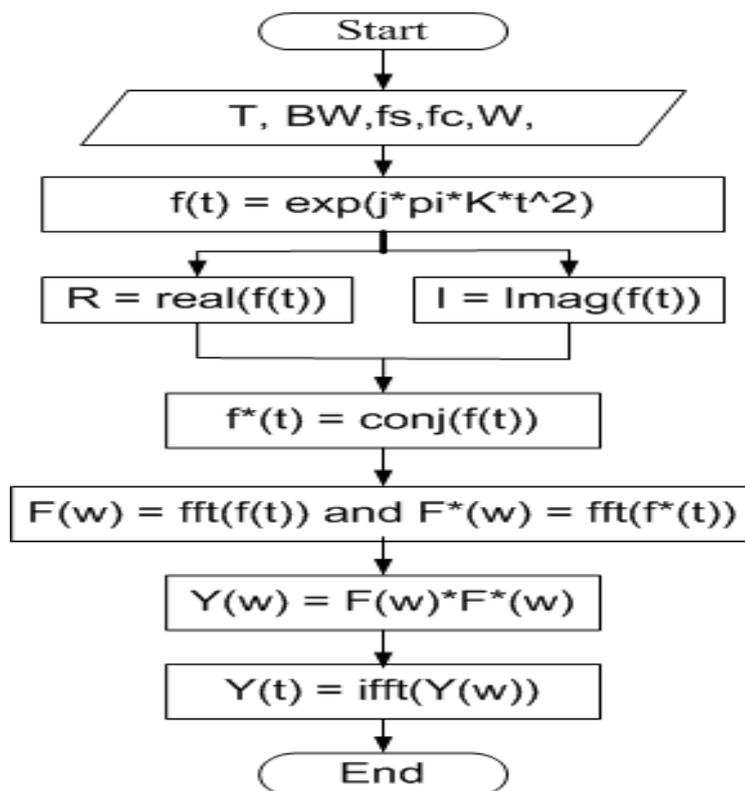


Figure III.1 : Schéma traitement radar.

Une seconde simulation sera consacrée au traitement des échos pour l'extraction du décalage doppler et la vitesse de la cible. Des trains de courtes impulsions (short pulses) et longues impulsions (long pulses) utilisées pour le radar ATCR 33S seront générées et commentées. L'écho radar sera obtenu par introduction d'un décalage doppler et d'un bruit additif. Après traitement dans un filtre adapté, on fait appel à la transformée de Fourier pour l'estimation du spectre doppler. Des simulations seront menées pour différents SNR et les performances du radar seront examinées. Les simulations ont été menées sous Logiciel **Matlab**. L'organigramme suivant illustre les étapes de génération des signaux.

### III.1. Propriété du signal LFM

La figure III.2 représente la forme de l'impulsion LFM. On remarque que la fréquence diminue pendant la première demi période selon une loi linéaire puis augmente selon la même loi dans la 2eme demi période (période : durée de l'impulsion LFM). On aperçoit un décalage de  $90^\circ$  entre les parties réelle et imaginaire de l'impulsion LFM.

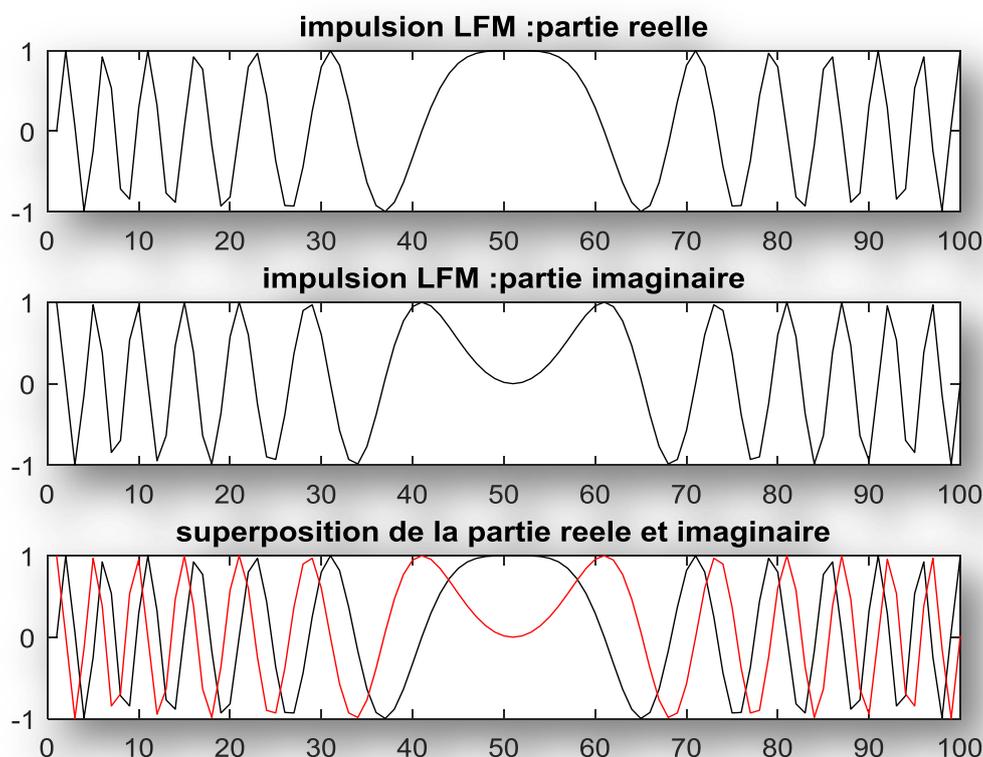
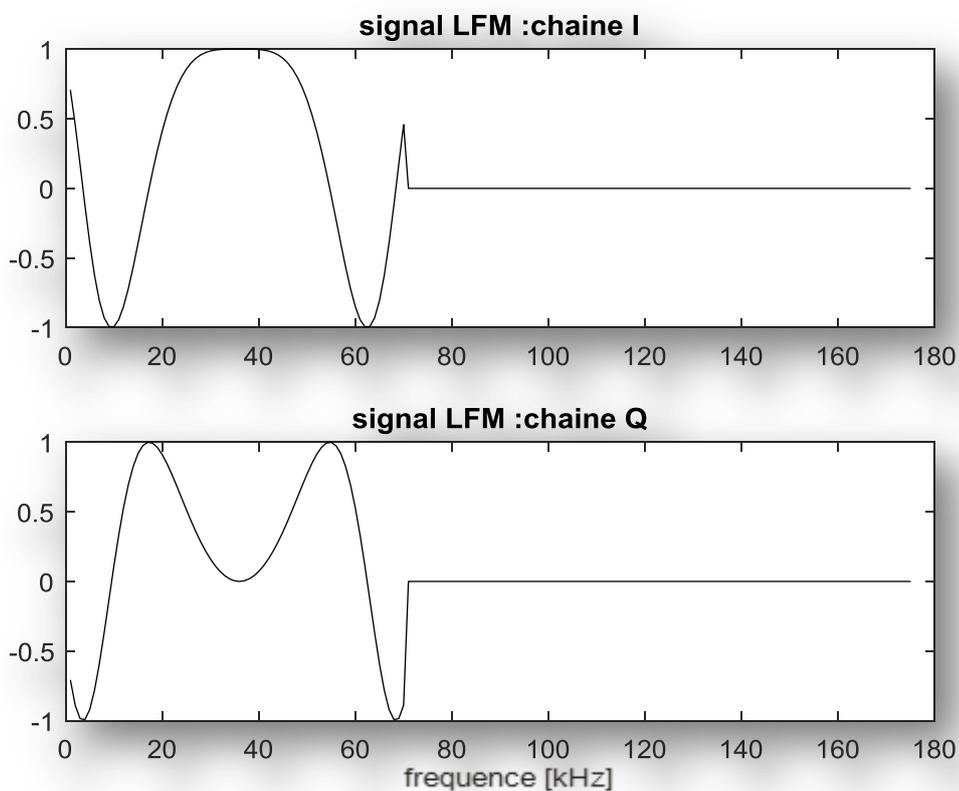


Figure III.2 : Représentation de l'impulsion LFM.

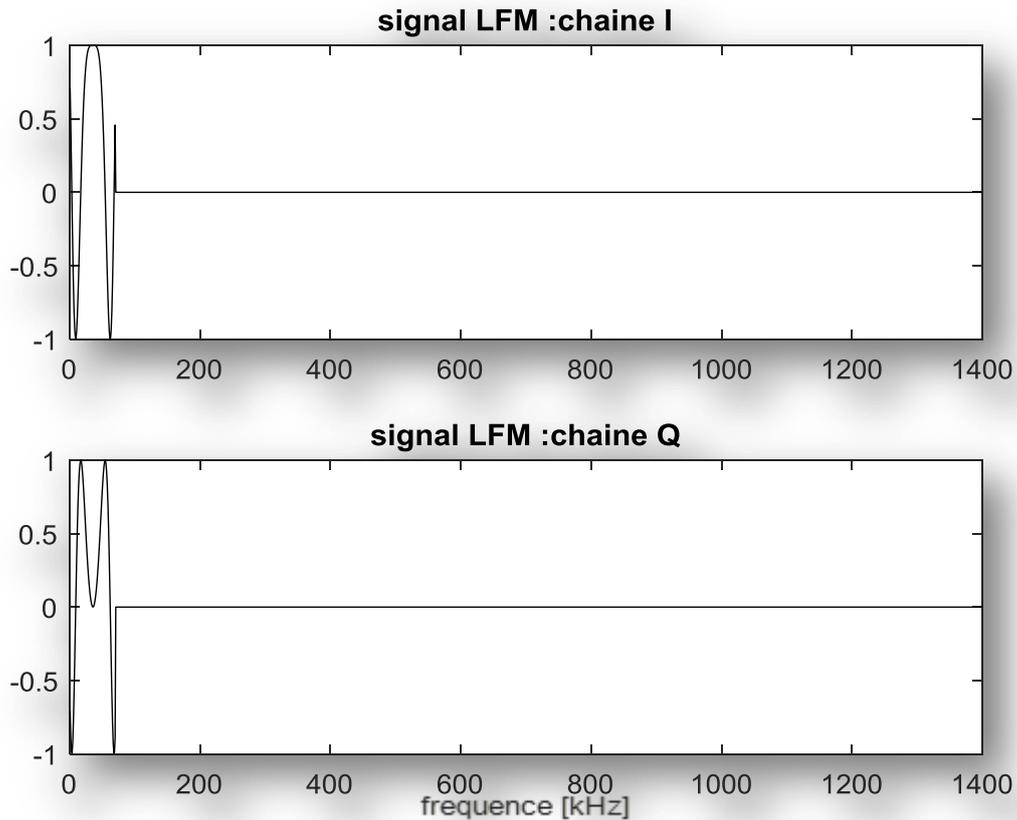
### III.2. Traitement en distance

Pour connaître la distance d'une cible, le radar pulsé émet un signal durant un très court laps de temps et écoute ensuite les échos revenant des cibles frappées par le faisceau radar. Le temps d'émission et le temps d'écoute définissent une période dite période de répétition radar (variable selon la portée). Cette période définit la distance maximale calculée sans ambiguïté. La durée de l'émission définit la distance minimale de séparation.



**Figure III.3 :** Signal LFM pour traitement en distance (Short pulse).

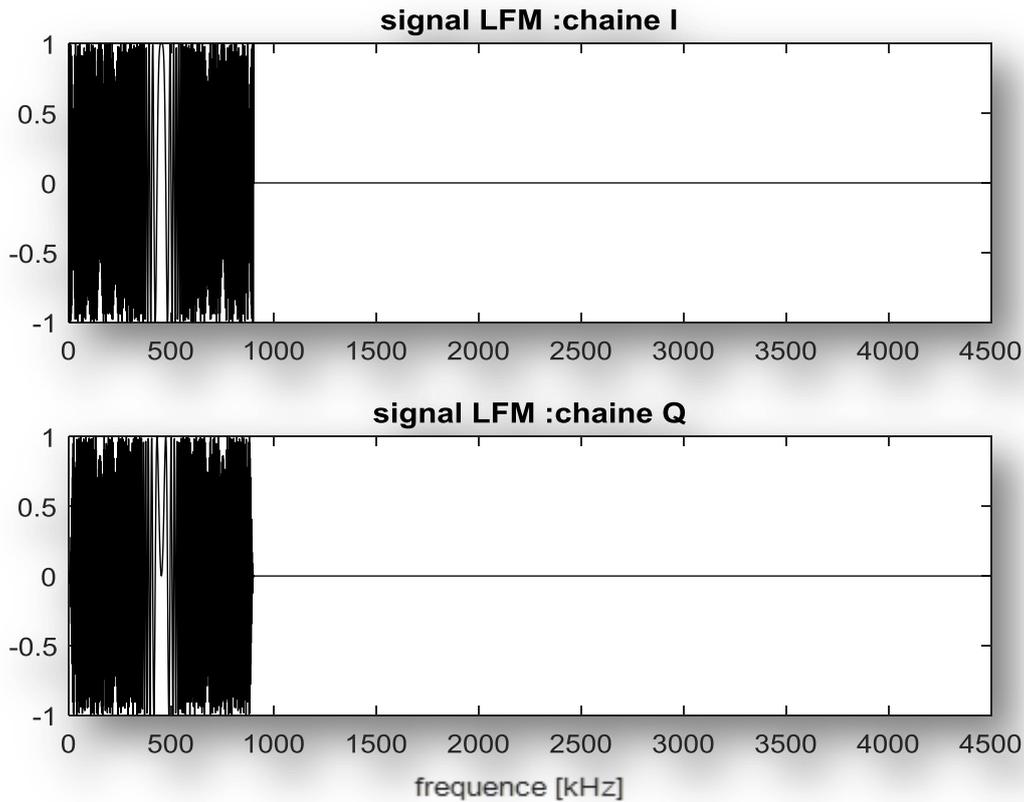
Durée d'impulsion= $1\mu\text{s}$ , Bande de fréquence occupée= 7MHz, distance maximale sans ambiguïté ( $R_{\text{max}}$ ) : 450m.



**Figure III.4 :** Signal LFM pour traitement en distance (short pulse).

Durée d'impulsion= $1 \mu\text{s}$ , Bande de fréquence occupée= 7MHz,

Les figures III.3 à III.4 montrent le lien de la période de répétition avec la portée maximale non ambiguë du radar. Il s'avère que l'utilisation d'une impulsion LFM de courte durée est valable pour de très courtes portées (Approche).

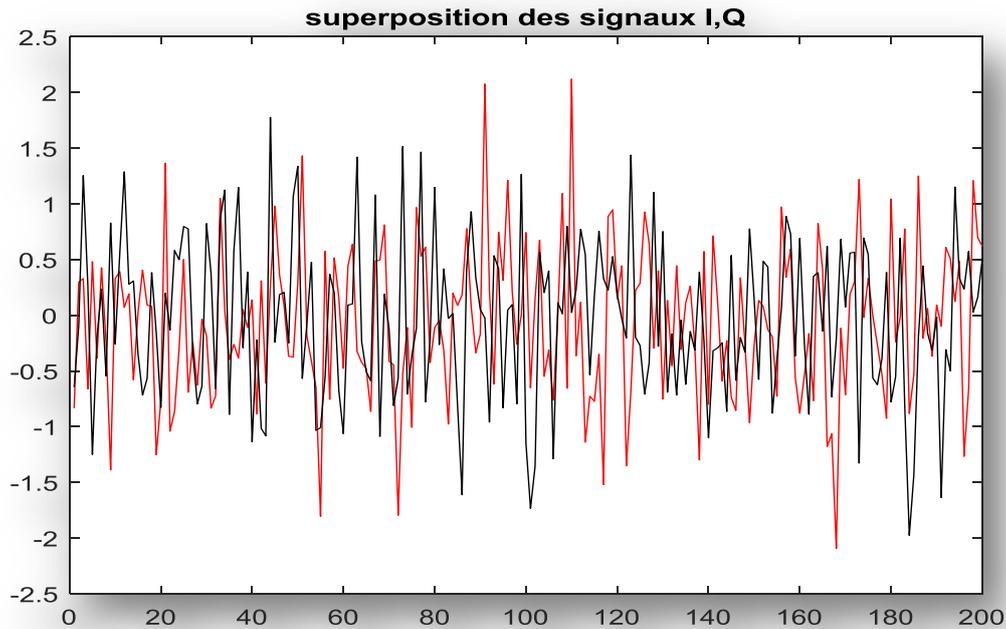


**Figure III.5 :** Signal LFM pour traitement en distance (Long pulse : 67.5 km)

Durée d'impulsion=90  $\mu$ s, Bande de fréquence occupée= 10MHz, Rmax: 67.5 km.

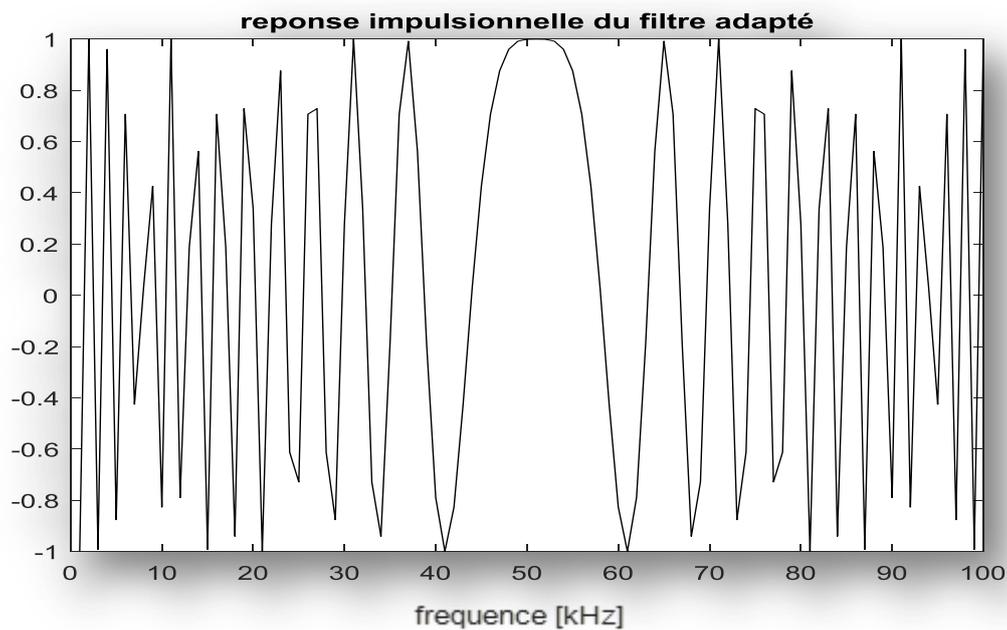
Lorsqu'on utilise une impulsion de longue durée, on améliore la portée maximale non ambiguë du radar. La distance minimale de séparation par contre devient 13.5 Km se qui est excessif pour un radar. Il existe un compromis entre la résolution radar est la portée maximale sans ambiguïté pour ce radar.

L'écho reçu au niveau du récepteur est affecté par un bruit aléatoire qu'on suppose gaussien blanc. Le bruit est de nature externe (bruit atmosphérique) et interne (bruit thermique généré dans le premier étage du récepteur). On génère donc un bruit blanc de moyenne nulle et variance donnée. La variance du bruit détermine le rapport signal au bruit SNR. Le bruit généré est sous forme complexe pour représenter les chaines I et Q (Figure III.5).



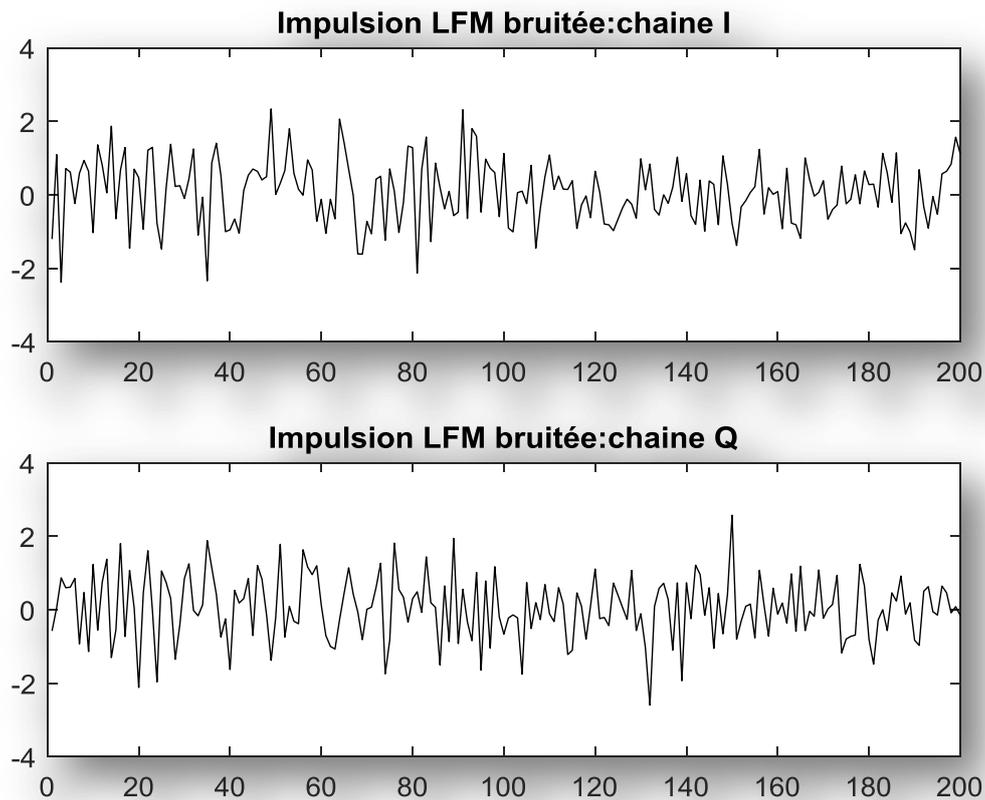
**Figure III.6 :** Bruit additif des chaines I et Q.

La figure III.7 illustre la réponse impulsionnelle d'un filtre adapté utilisée en radar a compression d'impulsion dans le but de détecter des cibles dans un environnement bruité. La réponse impulsionnelle du filtre adaptée est le conjugué du signal LFM, ce qui permet de maximiser le SNR à la sortie du filtre (ce qui revient à maximiser le signal devant le bruit).



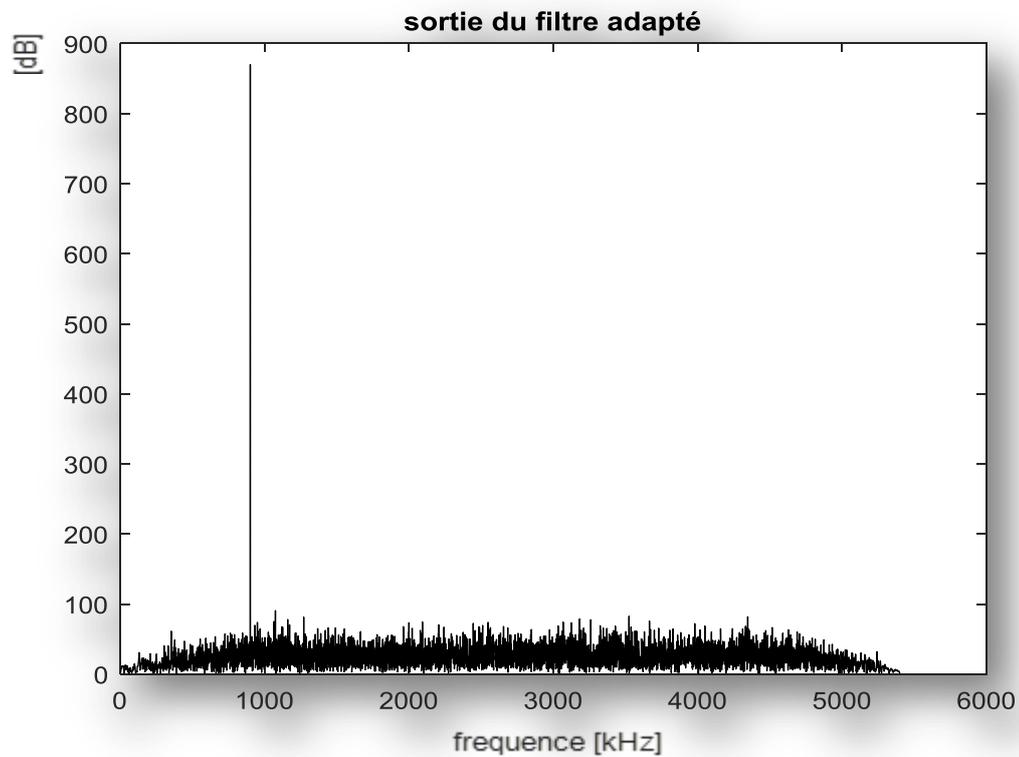
**Figure III.7 :** Réponse impulsionnelle du filtre adapté.

La figure III.8 montre l'effet du bruit sur le signal LFM généré, nous observons un signal LFM complètement noyé dans le bruit (SNR= - 6.9887 dB). Dans la figure III.8 on représente la sortie du filtre adapté pour un rapport signal au bruit de (-6.9887 dB) (variance du bruit= 1). La sortie du filtre adapté se compose d'un pic principal détecté à l'échantillon 901 et des ondulations secondaires dues au bruit additif.



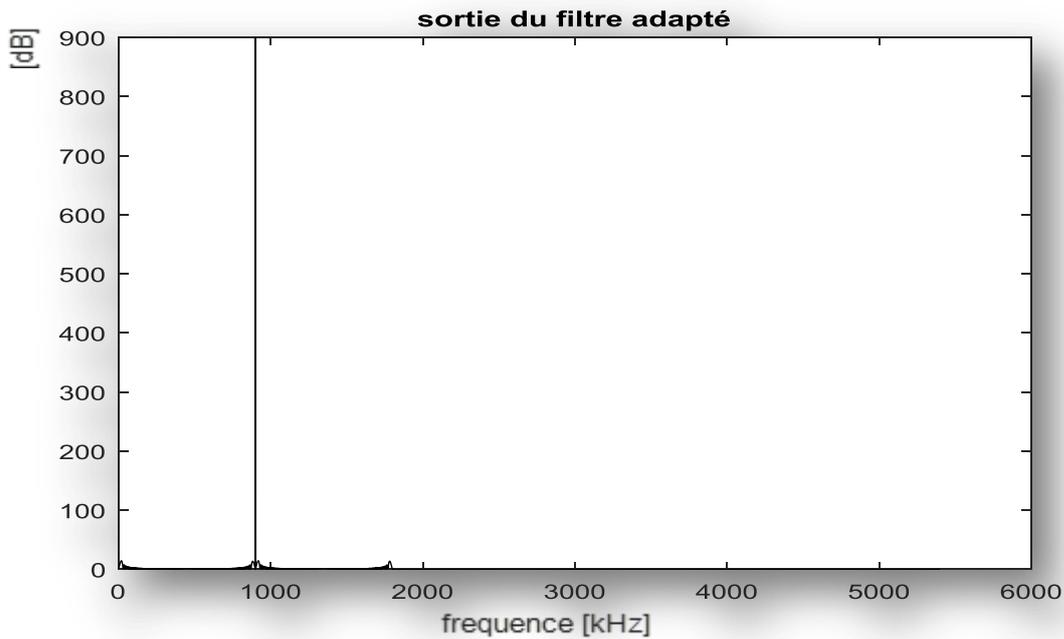
**Figure III.8 :** Impulsion LFM bruitée.

La sortie du filtre adapté se compose d'un pic principal détecté à l'échantillon 901 et des ondulations secondaires dues au bruit additif.



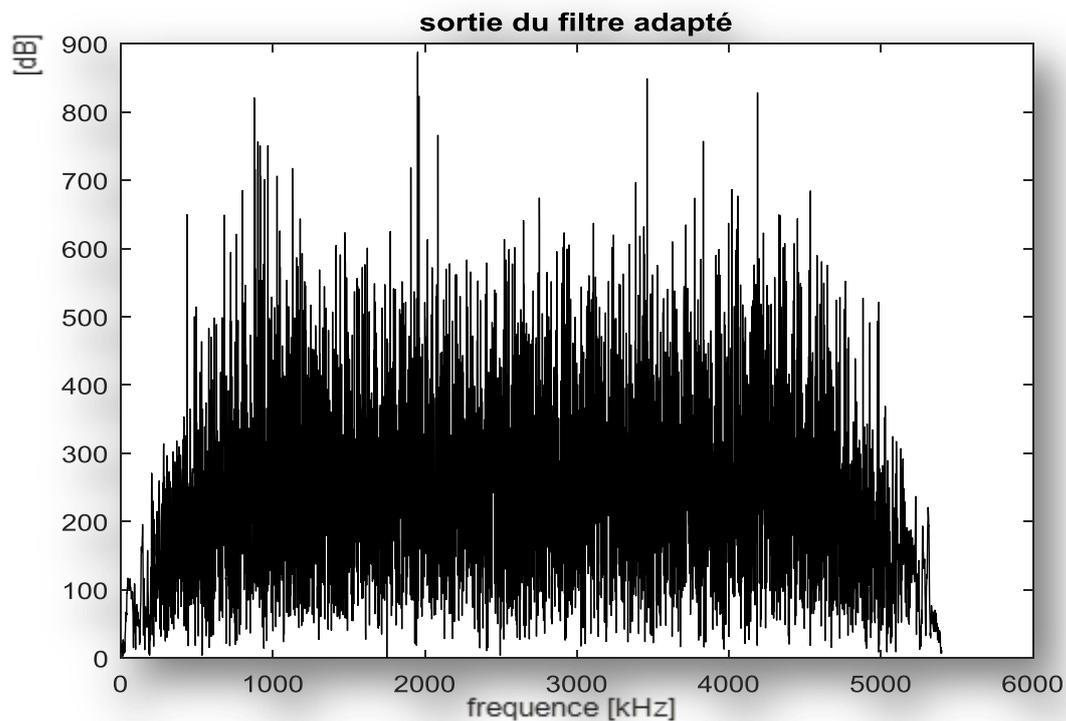
**Figure III.9 :** Sortie du filtre adapté (Long pulse, SNR= - 6,9887 dB).

La figure III.10 montre la disparition des ondulations secondaires dans la sortie du filtre adapté en absence du bruit additif (variance bruit nulle). Avec les mêmes paramètres on retrouve le pic principal à l'échantillon 901.



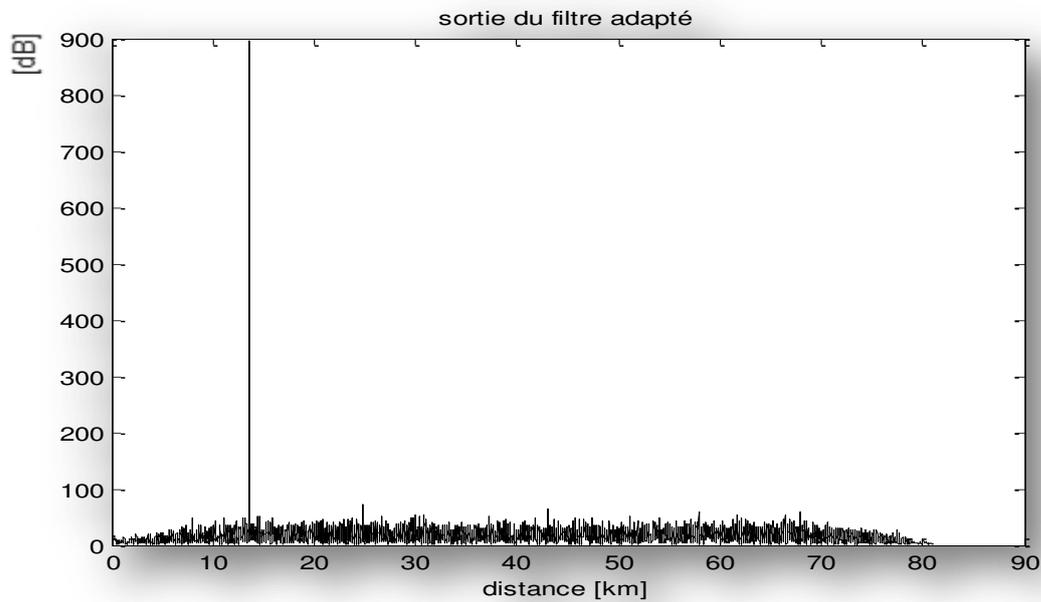
**Figure III.10 :** Sortie du filtre adapté (Long pulse, SNR=infini).

La figure III.11 par contre montre l'accentuation des ondulations secondaires dans la sortie du filtre adapté en présence d'un bruit additif intense (variance bruit: 100). Nous assistons à la disparition du pic principal à l'échantillon 901 et on détecte un maximum à l'échantillon 1952, ce qui est erroné. Ce type de pics indésirables dus au bruit peut induire de fausses alarmes

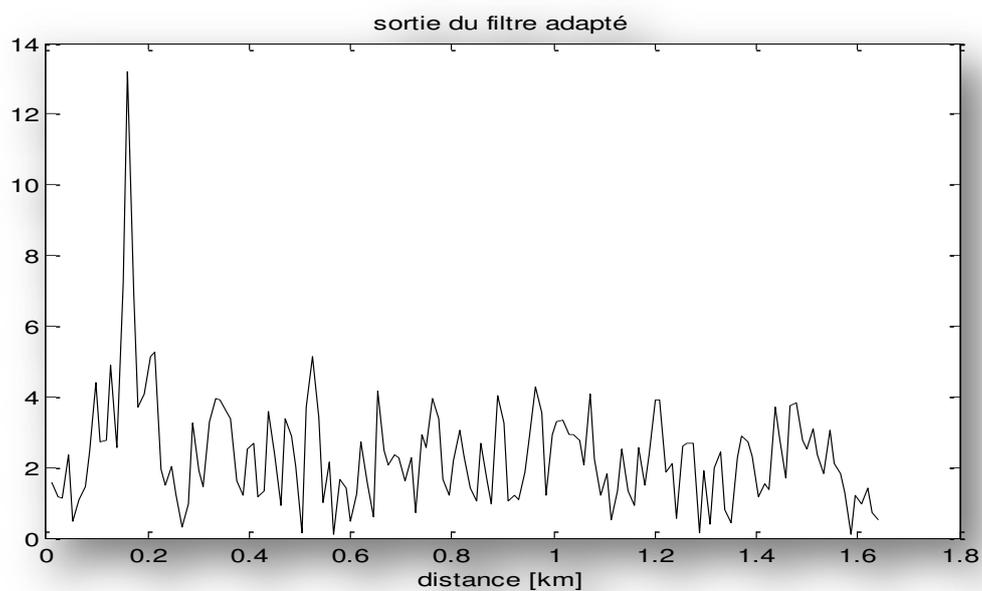


**Figure III.11 :** Sortie du filtre adapté (Long pulse, SNR=-26,587dB).

Dans la figure III.12 et la figure III.13 on donne deux exemples de la sortie du filtre adapté en distance.



**Figure III.12 :** Sortie du filtre adapté en distance (Long pulse,  $R_{\max}=67.5$  km).

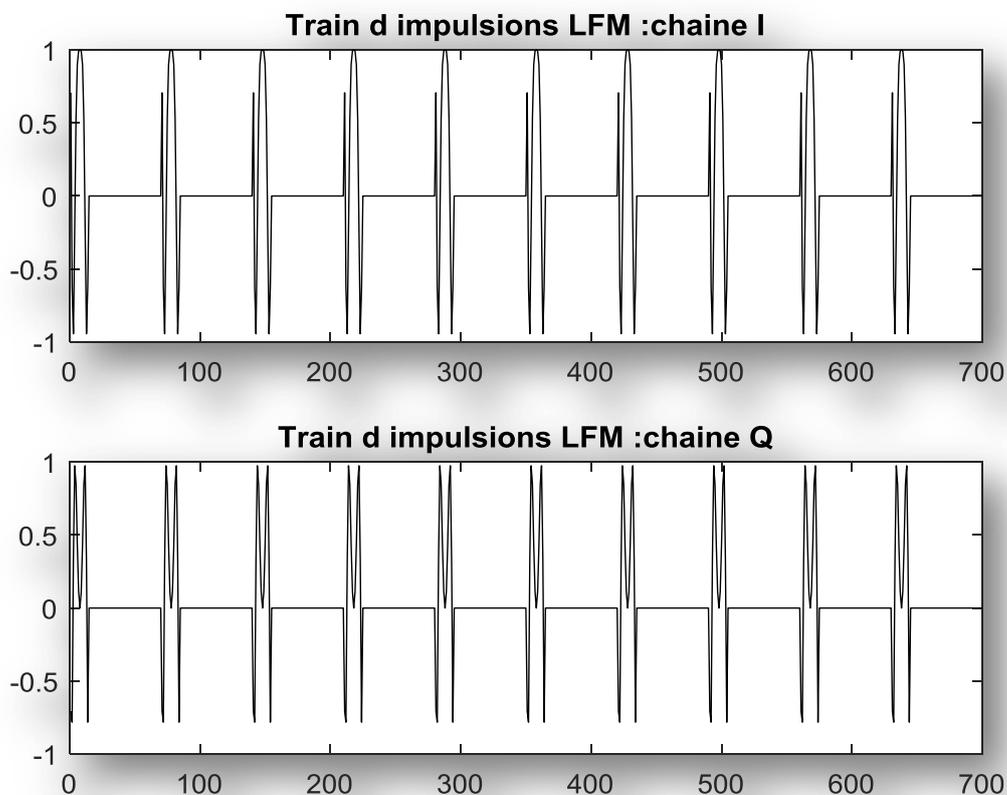


**Figure III.13 :** Sortie du filtre adapté en distance (Short pulse,  $R_{\max}=1.5$  km)

### III.3. Traitement vitesse

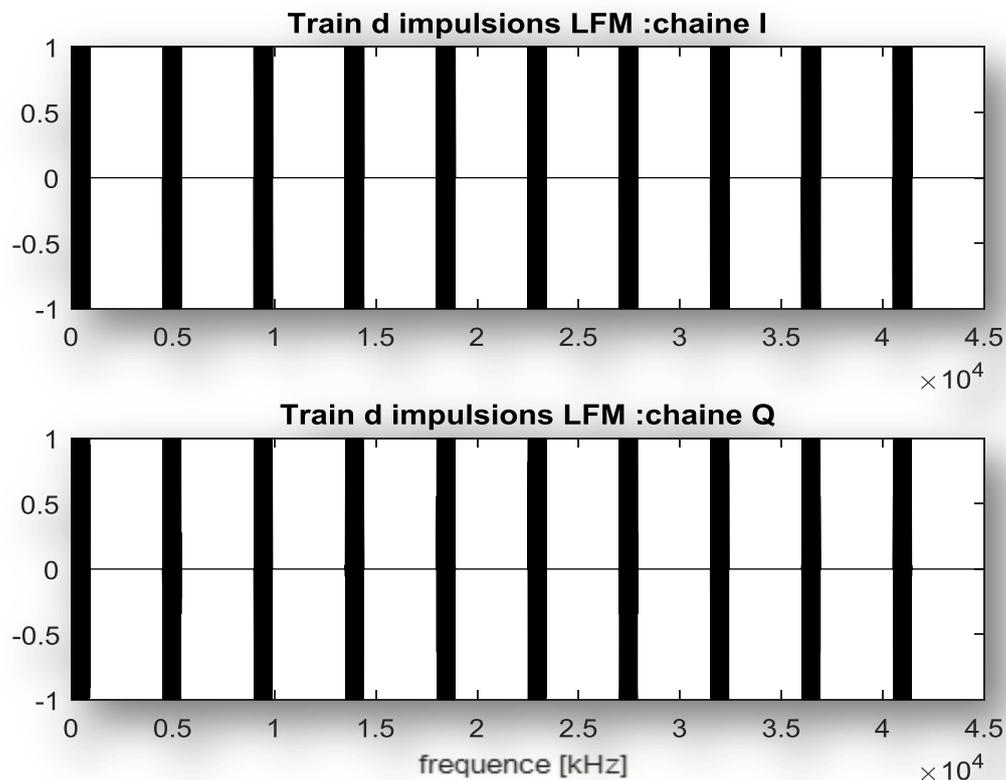
Pour détecter la vitesse d'une cible mobile, il est nécessaire d'émettre un train d'impulsions cohérentes.

Dans la figure III.14 on représente un train d'impulsions LFM (Short pulses) de durée  $10^{-6}$  s, qui se répètent périodiquement à une fréquence de répétitions (PRF) de 200KHz. Le train d'impulsions (Short pulses) possède une PRF élevée. La PRF est un paramètre radar important qui détermine l'ambiguïté distance et l'ambiguïté doppler.



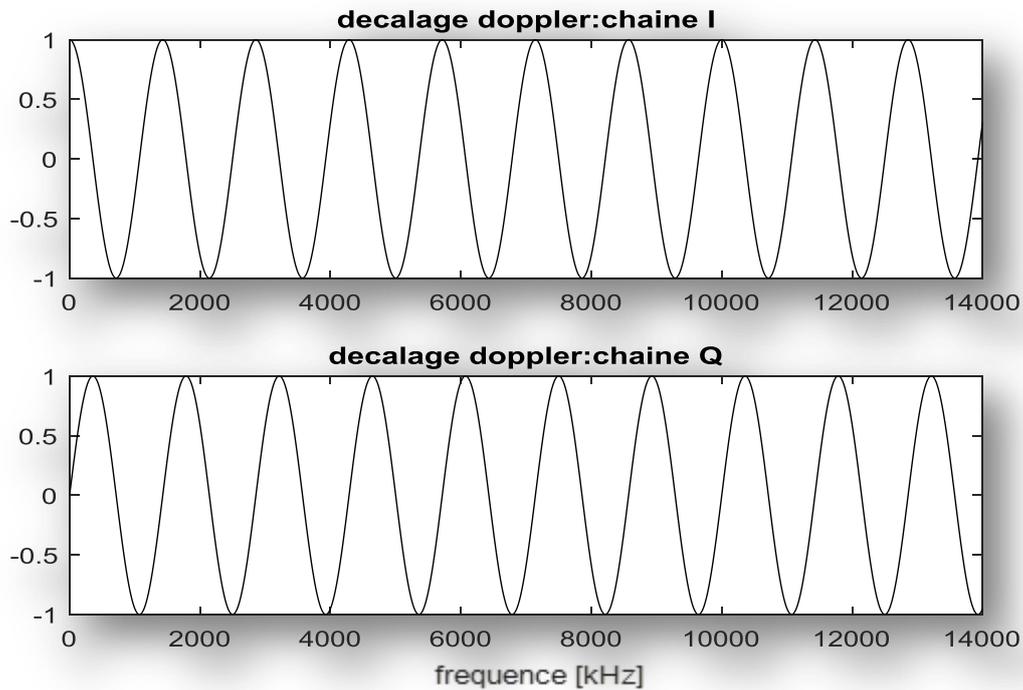
**Figure III.14 :** Train d'impulsions LFM (short pulses).

La figure III.15 par contre illustre un train d'impulsions "Long pulses" caractérisées par une durée de  $90 \mu\text{s}$  ce qui donne une faible PRF de 2.22 KHz. Cette catégorie de PRF limite la détection de grandes vitesses.



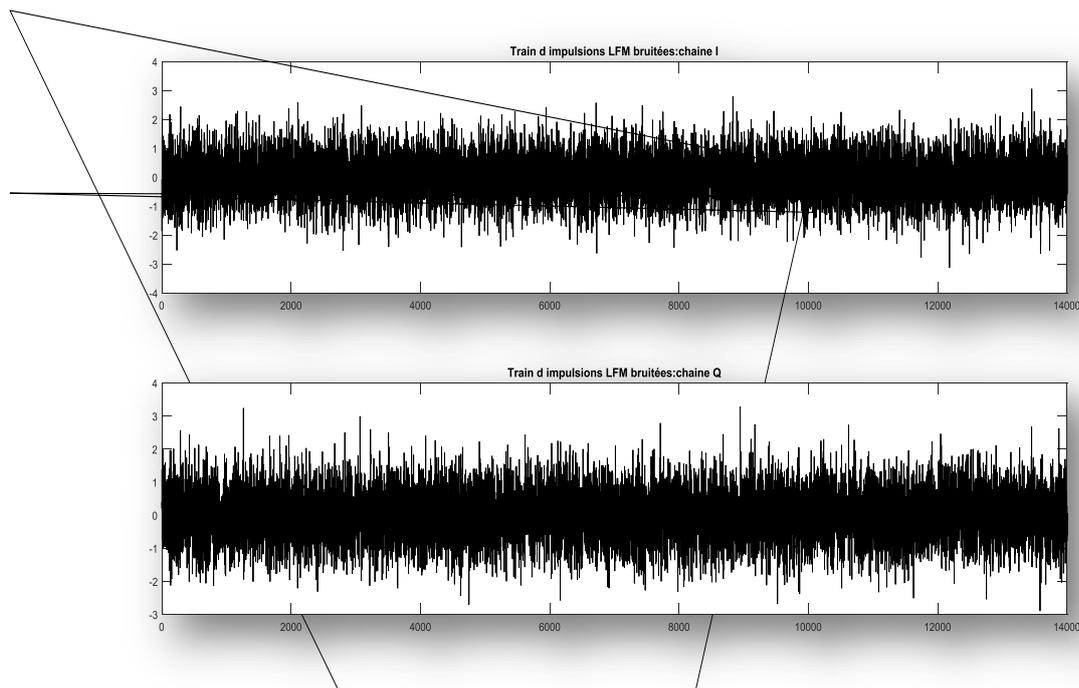
**Figure III.15:** Train d'impulsions LFM (Long pulses).

Dans la figure III.16 est représenté le décalage doppler qui est proportionnel à la vitesse de la cible mobile. C'est un signal à faible fréquence comparativement aux signaux utilisés en radar



**Figure III.16:** Décalage doppler (  $f_d=9,8$  KHz ).

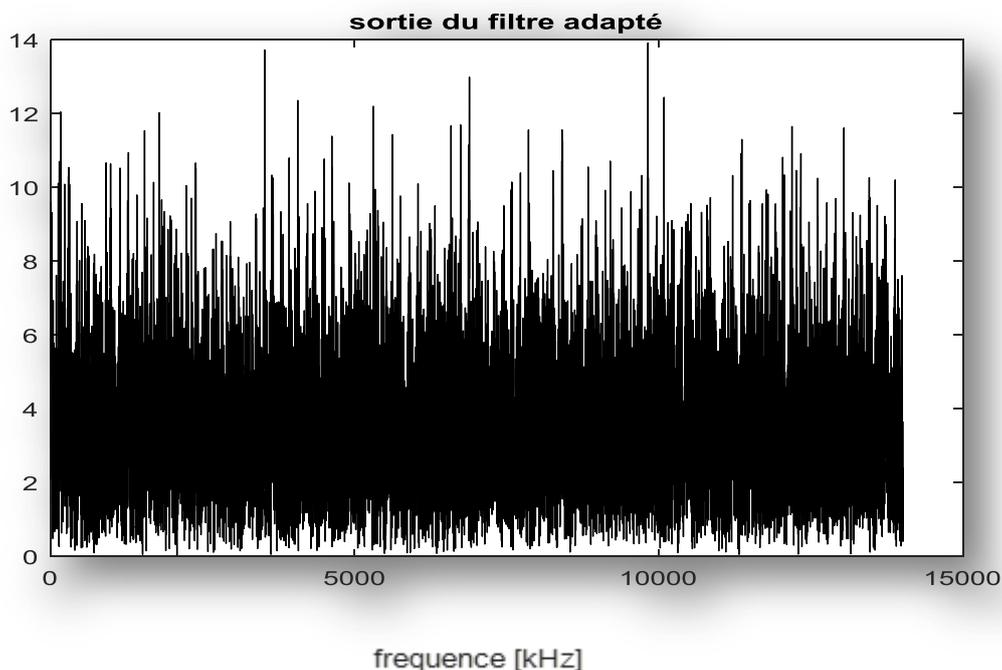
Le train d'impulsions LFM est sujet au bruit additif et au décalage doppler due a la cible. L'écho reçu au niveau de récepteur radar se compose du signal d'émission (train d'impulsions LFM) légèrement décalé (décalage doppler correspondant a la vitesse de la cible), du bruit additif et des fois d'échos de cibles indésirables. Le rôle de récepteur radar est de décerner le signal d'intérêt dans ce signal composé (Figure III.17).



**Figure III.17 :** Train d'impulsion LFM bruitées avec décalage doppler.

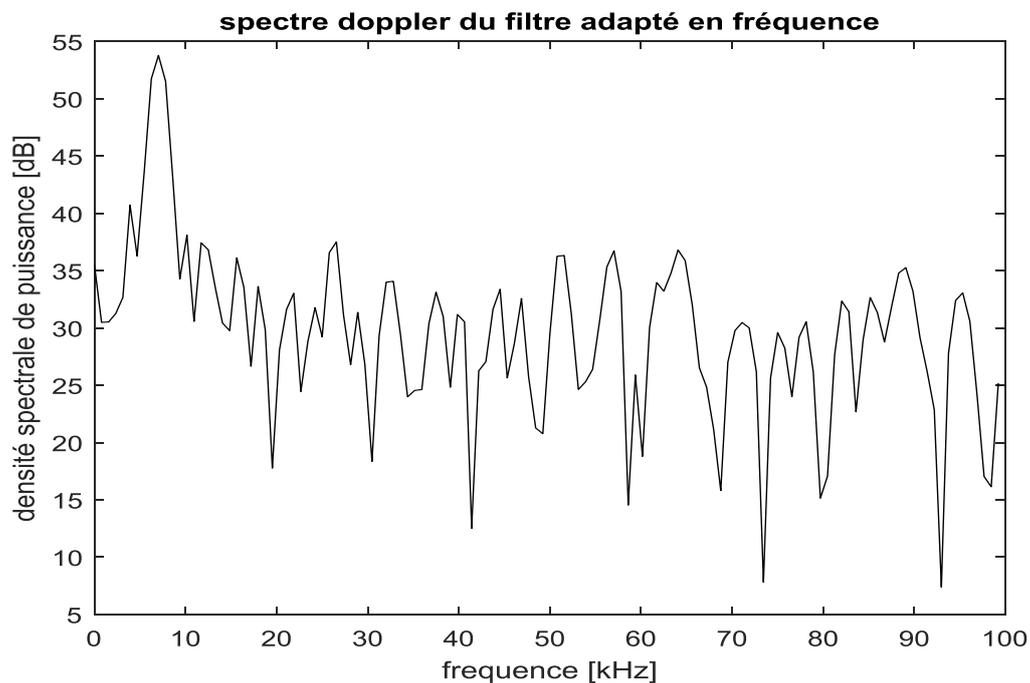
SNR : - 10dB, PRF= 100kH.

On exécute le signal composé reçu au niveau du récepteur dans un filtre adapté de réponse impulsionnelle qui est le conjugué du signal LFM, on obtient le signal représenté dans la figure III.18 qui est sous forme de pics représentent le signal maximisé devant le bruit le long du train d'impulsions.



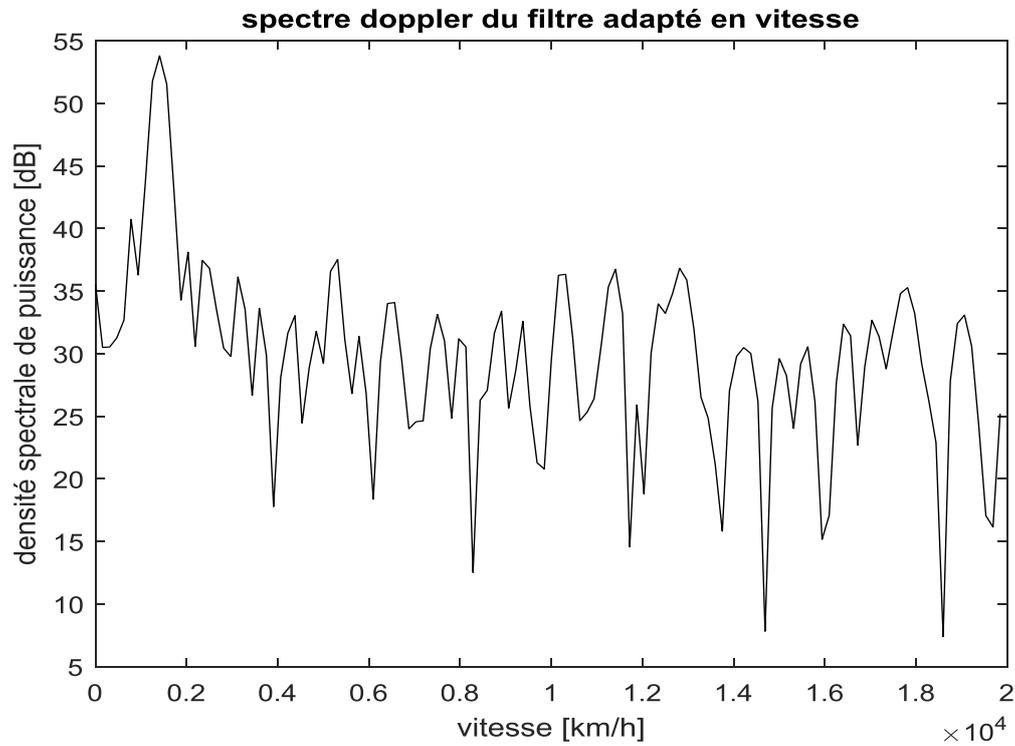
**Figure III.18 :** Sortie du filtre adapté pour un train d'impulsions LFM.

Pour obtenir le spectre doppler, on échantillonne le signal a la sortie du filtre adapté a la PRF et on exécute la FFT. On obtient la densité spectrale de puissance (DSP) répartie dans un intervalle de fréquence. Cette DSP est maximale à la fréquence correspondant au décalage doppler. La figure III.19 illustre un exemple de détection doppler à une fréquence doppler de 7.0312 KHz pour une cible présentant un décalage doppler réel de 7 KHz a un SNR de -7 dB.

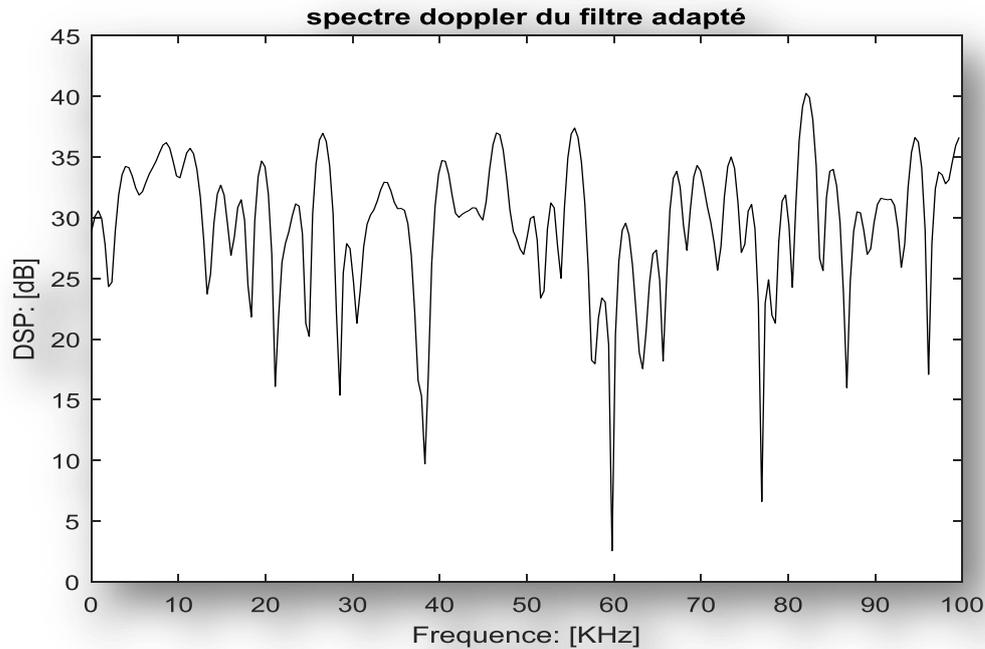


**Figure III.19:** Spectre doppler du filtre adapté en fréquence.

Dans la figure III.20 on présente directement la DSP en fonction de la vitesse. L'exemple considéré en simulation donne une vitesse estimée de 1406.2 km/h pour une cible volant réellement à 1400 Km/h.



**Figure III.20:** Spectre doppler du filtre adapté en vitesse.

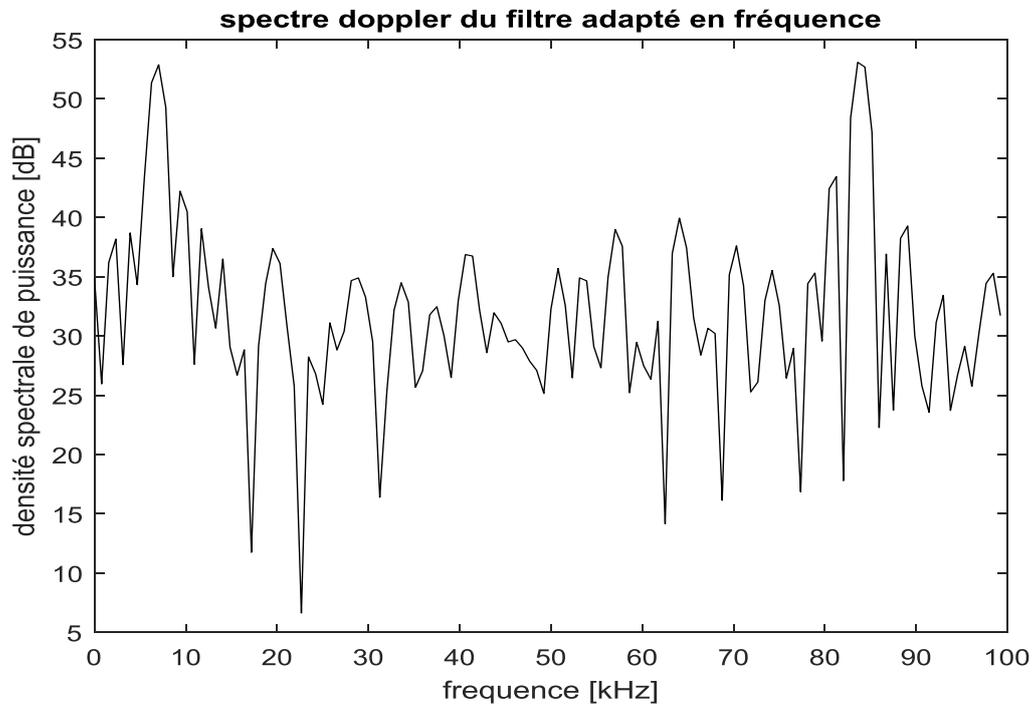


**Figure III.21** : Spectre doppler en cas d'ambigüité.

SNR= -7dB,  $F_{amb}=100\text{KHz}$  ,  $F_{est}=82.03\text{KHz}$  ,  $F_{doppler}=120.4\text{KHz}$ .

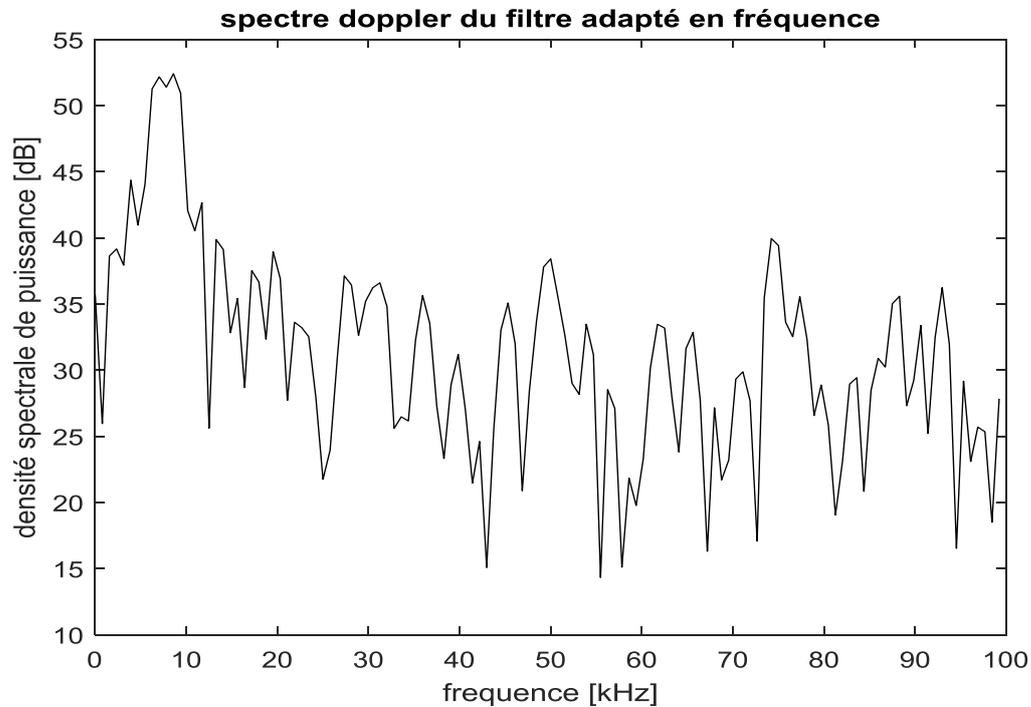
Nous avons conduit une simulation pour un cas ambiguë ou nous avons essayé de détecter une fréquence Doppler supérieur a la fréquence maximale sans ambiguïté qui vaut 100 kHz (PRF/2). Le résultat obtenu pour une fréquence de 120 KHz génère et 82.03KHz ce qui est ambigu.

Dans la figure III.22 nous avons également déroulé notre simulation pour un cas de deux échos doppler pour voir l'aptitude de séparation des deux signaux. Les résultats obtenus sont :  $F_{\text{doppler1}} = 7.0312 \text{ KHz}$ ,  $F_{\text{doppler2}} = 83.5937 \text{ KHz}$ , a un SNR de  $-7\text{dB}$ .

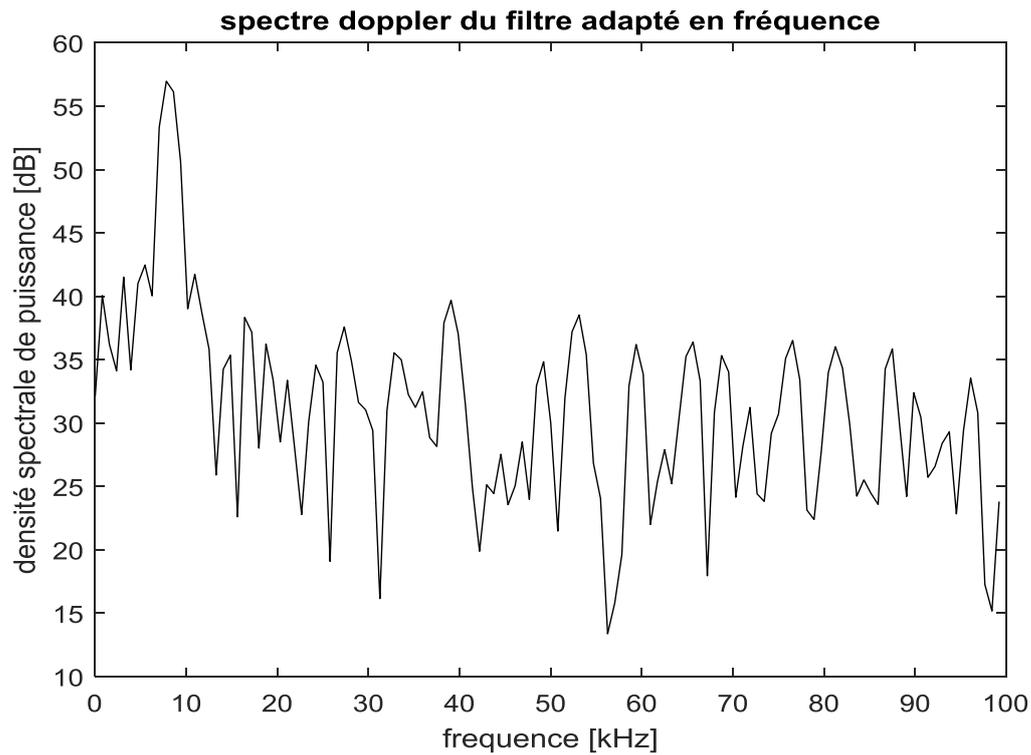


**Figure III.22 :** Spectre Doppler en cas de résolution.

En rapprochant en fréquence des deux échos, nous avons pu détecter deux fréquence doppler séparément a :  $F_{doppler1} = 7.0312$  KHz,  $F_{doppler2} = 8.5937$  KHz (Figure III.21). Au de la les deux fréquences sont considérées comme un seul pic (Figure III.23).



**Figure III.23 :** Spectre doppler à la limite de la résolution.



**Figure III.24.** Spectre doppler avec perte de résolution ().

SNR=-7dB, Fdoppler1 = 7.8125 KHz, Fdoppler2 = 8.5937 KHz,

## Conclusion

A travers les différentes simulations menées dans ce travail, nous avons mieux compris le fonctionnement du radar ATCR 33S et nous avons concrétisé ses performances.

## CONCLUSION GENERALE

Ce modeste travail nous a permis de se familiariser avec le principe et les applications du radar ATCR 33S disponible à l'établissement nationale de la navigation aérienne ENNA.

Le radar ATCR-33S est un radar primaire doppler pulsé à compression d'impulsions et fonctionnel en bande S (2 – 3 GHz) est conçu pour la détection d'aéronefs non coopératifs et adapté à la zone terminale et au contrôle de la circulation aérienne en route, et pour cela il utilise une impulsion longue pour attendre les cible lointaines en phase de route et une impulsion courte pour détecter les cibles dans la phase d'approche.

Les caractéristiques principales du radar ATCR 33S sont double couverture, double pulsation, compression d'impulsion et le contrôle de la puissance émise.

Le radar ATCR 33S peut effectuer les mesures de distances et de vitesses. Le traitement en distance différent de celui en vitesse, pour un traitement en distance on émet une seule impulsion LFM et on écoute son écho, l'évaluation de décalage temporel permet d'extraire la distance, par contre, pour estimer le décalage doppler le radar émet un train d'impulsion LFM, Le décalage doppler est implicitement lie à la vitesse de la cible.

Pour les deux traitements le filtrage adaptée est indispensable, il améliore le rapport signal sur bruit, nous l'avons également utilisé pour réaliser la compression de l'impulsion.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] : ATCR33S-DPC EQUIPMENT (TX10KW) TECHNICAL MANUEL TM-RS-2000\_02-1\_ATC33S\_DPC\_10KTX
- [2] : ATCR 33S-DPC RECEIVER TECHNICAL MANUAL TM-RS-9905-1\_ATC33S\_DPC\_RX
- [3] : annex 2 PSR(ATCR 33S NG)-leonardo (issu 1-date12-10-2015)
- [4] : Merrill skolnik,Radar habdbook 3<sup>rd</sup> edition,2008
- [5] International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) p-ISSN: 2395-0072
- [6] : M.Lagha : "cours Radar", Institut d'aéronautique et d'étude spatial
- [7] : M.Benachenhou : "cours CNS", Institut d'aéronautique et d'étude spatial
- [8] : <https://www.enna.dz/historique.htm>"06-04-2017" "15-06-2018"
- [9] : <https://www.enna.dz/organisation.htm>"06-04-2017" "15-06-2018"
- [10] : [www.irjet.net](http://www.irjet.net) "09-06-2018 "
- [11] : <http://www.radartutorial.eu/13.ssr/sr04.fr.html> "11-06-2018"
- [12]: [www.radartutorial.eu/druck/Chapitre1.pdf](http://www.radartutorial.eu/druck/Chapitre1.pdf)