

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A.MIRA-BEJAIA



Faculté de Technologie
Département génie électrique
Spécialité télécommunication

Projet de Fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de Master en systèmes des
Télécommunications

Thème

Optimisation d'un système de navigation aérienne par radar

Réalisé par :

MIMOUNI Sonia

LOUNAS Mounia

Encadré par :

Mr.KHIREDDINE Abdelkrim

Membre du jury :

Mr. S.BERRAH

Melle. L.ACHOUR

Mr. Med.A.OUAMRI (invité)

Année Universitaire : 2017/2018

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Mr : A.KHIREDINE, ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.

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

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants à notre formation.

Nous souhaitant adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de
gratitude ;*

*A mes très chers parents que dieu me les gardent
pour leur sacrifices ; encouragements et leur
croyances en moi,*

A mes très chers Sœurs Lynda, Tawes, Safia,

A mes très chers frères Abdelhak, Elghani,

A mes très chers neveux Amine, Amir, Ghani,

*A mes chères copines Merieme, widade, feyrouz,
Zoubida, Souade, Louiza et Samah,*

*A tous mes camarades de la promo et tous mes
camarades du groupe et tous mes amis de loin ou de
prêt.*

A ma cher binôme Mounia.

Merci à tous.

M. Sonía

Dédicaces

A ma Chère Mère

A mon cher Père

*Dont le mérite, les sacrifices et les qualités humaines
m'ont permis de vivre ce jour.*

A mon Frères et mes sœurs.

*A mon binôme A tous mes amis et A tous les gens qui
nous ont aider à réaliser
ce mémoire.*

L. Mounia

Table de matières

Table de matières.....	I
Liste des figures.....	VI
Liste des tableaux.....	XIII
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Généralités sur la navigation aérienne

Introduction	3
I.1. Notions élémentaires et formules de base.....	3
I.1.1. Route et cap.....	5
I.1.2. La dérive (x).....	6
I.1.3. La déclinaison magnétique.....	7
I.1.4. Le vent effectif (Ve).....	7
I.1.5. Le facteur de base	8
I.1.6. Le temps de vol.....	8
I.2. Condition de navigation.....	8
I.2.1. Le vol à vue	8
I.2.2. Le vol aux instruments.....	9
I.3. Méthodes de navigation	9
I.3.1. Navigation par cheminement.....	9
I.3.2. Navigation astronomique.....	9
I.3.3. Navigation à l'estime	9
I.4. L'organisation de l'espace aérien.....	10
I.4.1. Les routes aériennes	10
I.4.2. Les secteurs aériens	11
I.5. Les classes de l'espace aérien.....	11
I.6. Contrôle du trafic aérien.....	13
I.7. La surveillance.....	13
Conclusion.....	14

Chapitre II : Etude des radars.

L'historique du radar.....	15
II.1. Principes du Radar.....	15
II.1.1. 1Mesure de distance.....	16
II.1.2.L'effet doppler.....	16
II.1.3.Mesure de la direction.....	17
II.2. La structure de base d'un système radar.....	18
II.3.Classification des radars.....	19
II.3.1. Radars imageurs et Radars non imageurs.....	19
II.3.2. Radar primaire.....	20
II.3.2.1. Radar à impulsion.....	20
II.3.2.1.1. Radar à MTI (Moving Target Indicator/ indicateur de la cible mobile).....	20
II.3.2.1.2. Radar Doppler à impulsions.....	21
II.3.2.2. Radar à ondes contenues.....	21
II.3.2.2.1. Radar à onde continues non modulées.....	21
II.3.2.2.2. Radar à onde continues modulées.....	21
II.3.3. Radar secondaire.....	22
II.4. Fréquences utilisées en système radar.....	22
II.5. Performances des radars.....	23
II.5.1. Ambiguïté en distance et vitesse.....	24
II.5.1.1. Ambiguïté sur la mesure de la distance.....	24
II.5.1.2. Ambiguïté sur la mesure de la vitesse.....	25
II.5.2. Equation du radar.....	25
II.5.2.1. Propagation des ondes radar.....	25
II.5.2.2. Surface équivalente radar.....	26
II.5.2.3. Equation radar.....	27
II.5.2.4. Influence des pertes sur la portée.....	29

II.5.2.5. Bruit à la réception.....	29
II.6. Domaines d’application des radars.....	30
II.7. principaux avantages du radar.....	31
Conclusion.....	31
Chapitre III : Proposition d’un système de navigation avec radar RSO	
Introduction.....	32
Partie 1.....	32
III.1.1. Présentation de l’Etablissement National de La Navigation aérienne (ENNA).....	32
III.1.1.1. Mission de l’ENNA.....	32
III.1.1.2.L’organisation de L’ENNA	33
III.1.2. Le service Technique de l’ENNA	33
III.1.2.1. Service radionavigation.....	34
III.1.2.1.1. Le DME (distance measuring equipment).....	34
III.1.2.1.2. Le VOR (VHF Omnidirectionnel Range).....	36
III.1.2.1.3. ILS instrument landing system.....	37
III.1.2.2.Service télécommunication.....	39
Partie 2.....	42
III.2.1. Radar à synthèse d’ouverture RSO.....	42
III.2.2. Composants d’un radar RSO.....	44
III.2.3. La résolution d’un radar à synthèse d’ouverture.....	45
III.2.3.1. la résolution en distance.....	45
III.2.3.2. La résolution en azimuth.....	46
III.2.4. La compression d’impulsion.....	47
III.2.4.1. La synthèse d’ouverture.....	47
III.2.5. L’image radar.....	48
III.2.5.1. La formation d’image RSO.....	48
III.2.5.2. Chatolement.....	49

III.2.6. Avantages et inconvénients des RSO.....	49
III.2.7. Animation d'un avion capté par un radar à son arrivée à l'aéroport de Bejaia.....	50
Conclusion.....	51
Conclusion générale	
Références webographiques	
Références bibliographiques	

Liste des figures

Figure (I.1) : Petit cercle et grand cercle	3
Figure (I.2) : L'équateur, parallèle et méridien	4
Figure (I.3) : La longitude	4
Figure (I.4) : La latitude.....	4
Figure (I.5) : Le Nord magnétique et nord géographique	5
Figure (I.6) : La route et le cap	6
Figure (I.7) : La dérive X	6
Figure (I.8) : Les types de dérive	7
Figure (I.9) : Le vent effectif.....	8
Figure (I.10) : La navigation segmentée.....	10
Figure (I.11) : Les routes et les secteurs aériens.....	11
Figure (I.12) : Norme de séparation pour la phase en route.....	13
Figure (II.1) : Principe d'un système radar.....	16
Figure (II.2) : Mesure de la direction.....	17
Figure (II.3) : Schéma synoptique simplifié d'un radar.....	18
Figure (II.4) : Classification des systèmes radars.....	19
Figure (II.5) : Radar primaire.....	20
Figure (II.6) : Mesure de distance avec un radar FMCW.....	22
Figure (II.7) : Le radar secondaire d'El oued.....	22
Figure (II.8) : Ambiguïté en distance.....	24
Figure (II.9) : Détection de deux cibles.....	24
Figure (II.10) : Zone optique d'un radar.....	25
Figure (II.11) : Relation entre la forme de la cible et surface équivalente radar.....	27
Figure (II.12) : Schéma synoptique d'un radar.....	27
Figure (III.1) : Organisation de L'ENNA.....	33
Figure (III.2) : Le DME.....	35
Figure (III.3) : L'antenne du DME.....	35
Figure (III.4) : Fonctionnement du DME.....	35
Figure (III.5) : Baie VOR.....	36
Figure (III.6) : Antenne du localizer.....	38
Figure (III.7) : Antenne du glide.....	38

Figure (III.8) : l'atterrissage (ILS).....	39
Figure (III.9) : Pupitre d'exploitation.....	40
Figure (III.10) : Le poste opérateur.....	40
Figure (III.11) : Banc d'essai de la VHF	40
Figure (III.12) : Armoire du VCC.....	41
Figure (III.13) : Systèmes d'enregistrement des communications.....	41
Figure (III.14) : Baie radio HF et son antenne.....	42
Figure (III.15) :Radar RSO.....	43
Figure (III.16) :Principe de la synthèse d'ouverture RSO.....	43
Figure (III.17) :Les composantes d'un radars RSO.....	44
Figure (III.18) : Résolution en distance.....	45
Figure (III.19) : Configuration de la résolution azimutale du RSO	46
Figure (III.20) :principe de la synthèse d'ouverture.....	48
Figure (III.21):L'image RSO.....	48
Figure (III.22) : Image RSO avec un chatoiement	49
Figure (III.23) : la distance oblique et la distance horizontale para port au radar RSO.....	50
Figure (III.24) : La détection d'un avion qui survole la ville de Bejaia	52
Figure (III.25) : Détection d'un avion atterrissant par un système radar ou niveau de l'aéroport de Bejaia.....	52

Liste des tableaux

Tableau (I.1) : Les classes de l'espace aérienne.....	12
Tableau (II.1) : Les fréquences utilisées en système radar.....	23
Tableau (III.1) : Les types des surfaces par apport au coefficient de la rétrodiffusion.....	47

Introduction générale

La navigation aérienne, au cours de la seconde moitié du XXe siècle, s'est développée grâce à la radionavigation, aidée par le fait que la propagation des ondes radioélectriques est plus facile entre le sol et l'air qu'au niveau du sol. Le développement et la généralisation, au début du XX le siècle, des moyens satellitaires de navigation rendent plus performant tous les moyens de la navigation aérienne [1].

L'acquisition des données dans la bande optique (visible, infrarouge) reste tributaire des conditions atmosphériques (pluies, nuages, brouillard...) et de l'éclairement de la cible observée (l'avion). Ces problèmes peuvent être en partie résolus par les systèmes micro-ondes, et en particulier le radar.

L'obtention d'images à haute résolution est très recherchée par les utilisateurs des radars de contrôle aéroportés, du fait qu'elles fournissent plus de détails sur la cible illuminée. Dans les radars conventionnels, la résolution en distance (R_d) est aisément améliorée par le procédé de compression d'impulsion. Cependant, une bonne résolution azimutale (R_a) est difficile à atteindre.

Elle devient même impossible aux longues portées, sans l'emploi de grandes antennes de l'ordre du kilomètre. Le radar RSO (Radar à ouverture synthétique) fournit une solution à ce problème d'obtention d'une haute résolution suivant la direction azimut.

Cet avantage se fait au prix d'une complexité du traitement effectué lors de l'élaboration de l'image. En plus, le radar RSO doit comprendre des fonctions pour pallier aux phénomènes perturbateurs de l'image entre autre les distorsions radiométriques, les distorsions géométriques, les migrations en distance, les erreurs de phase et le mouvement du porteur.

La navigation aérienne se distingue par le fait que l'avion peut survoler aussi bien des zones maritimes que des zones terrestres qui comportent des obstacles. La vitesse des avions est bien plus élevée que celles des navires et l'autonomie est limitée ; il en résulte que le calcul de la position, puis de la route à suivre, doivent être effectué le plus souvent et plus rapidement.

Notre projet consiste en une étude de fond qui permet l'utilisation des radars pour la navigation aérienne, nous avons présenté les résultats du stage basés essentiellement sur le fonctionnement de la station ENNA, concernant le décollage et l'atterrissage d'un avion, au niveau de l'aéroport de Bejaia. Par ailleurs, vu qu'il n'y a pas de disponibilité de radar, nous

avons présenté une proposition théorique de l'utilisation d'un radar RSO, pour l'aéroport de Bejaia.

Notre mémoire est répartie en trois chapitres :

Le premier chapitre portera sur la description générale des généralités sur la navigation aérienne, son fonctionnement, ses avantages et ses inconvénients.

Le second chapitre, concerne l'étude technique et la description de différents modèles de radars.

Le troisième sera consacré au processus théorique d'utilisation de radar RSO pour la navigation aérienne ainsi qu'une présentation des résultats du stage à l'ENNA de Bejaia concernant là de la radionavigation aérienne.

Enfin nous terminerons notre travail par une conclusion générale.

Introduction

La navigation aérienne est largement héritière de la navigation maritime. Elle se distingue par le fait que l'avion peut survoler aussi bien des zones maritimes que des zones terrestres qui comportent des obstacles. La vitesse des avions est bien plus élevée que celles des navires et l'autonomie est limitée ; il en résulte que le calcul de la position, puis de la route à suivre, doivent être effectués le plus souvent et plus rapidement.

La navigation aérienne, au cours de la seconde moitié du XX^{ème} siècle, s'est développée grâce à la radionavigation, aidée par le fait que la propagation des ondes radioélectriques est plus facile entre le sol et l'air qu'au niveau du sol. Le développement et la généralisation, au début du XX^{ème} siècle, des moyens satellitaires de navigation rendent plus performant tous les moyens de la navigation aérienne [1].

I.1. Notions élémentaires et formules de base

➤ Les références terrestres

- ➔ On appelle " Grand cercle ", tout cercle imaginé sur la surface terrestre, concentrique et de rayon égal à celui de la terre.
- ➔ On appelle " Petit cercle ", tout cercle imaginé sur la surface de la terre et dont le plan est perpendiculaire à l'axe des pôles.

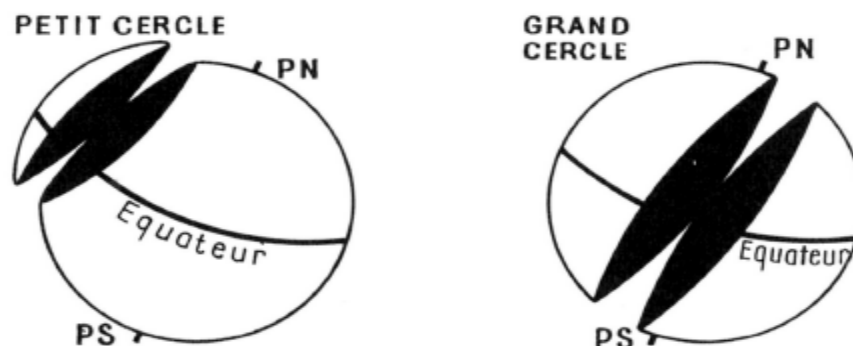


Figure (I.1) : Petit cercle et grand cercle [2].

- ➔ Équateur: c'est le grand cercle de la sphère terrestre dont le plan est perpendiculaire à la ligne des pôles.
- ➔ Parallèle : petit cercle parallèle à l'équateur.
- ➔ Méridien: grand cercle passant par les pôles. Le méridien de Greenwich est conventionnellement défini comme le méridien d'origine.

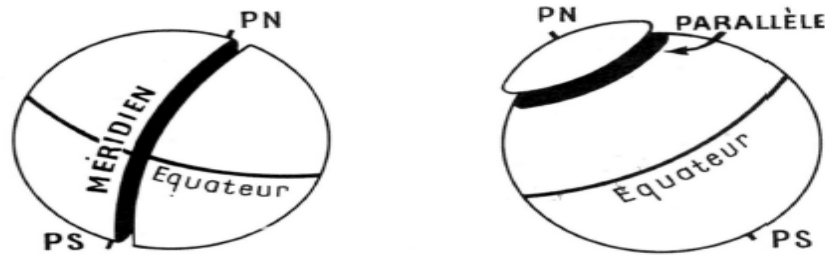


Figure (I.2) : L'équateur, parallèle et méridien [2].

➤ Les coordonnées géographiques

- ➔ La longitude : angle mesuré sur un parallèle et compris entre le méridien d'origine (Greenwich) et un point situé sur ce parallèle. (elle s'exprime en degrés, minutes et secondes de longitude Est ou Ouest).

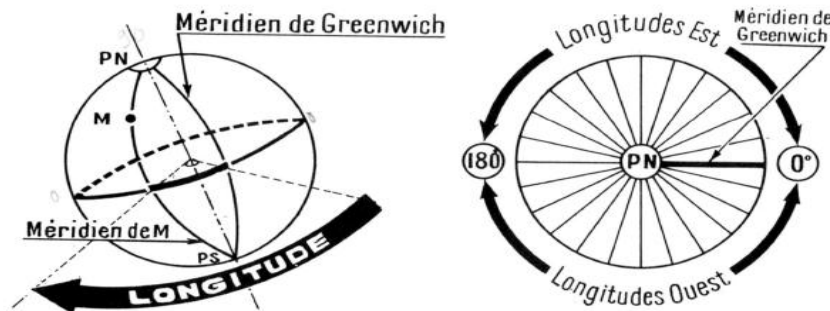


Figure (I.3) : La longitude [2].

- ➔ La latitude : angle mesuré sur un méridien et compris entre l'équateur et un point défini sur ce méridien (elle s'exprime en degrés, minutes et secondes de latitude Nord ou Sud).

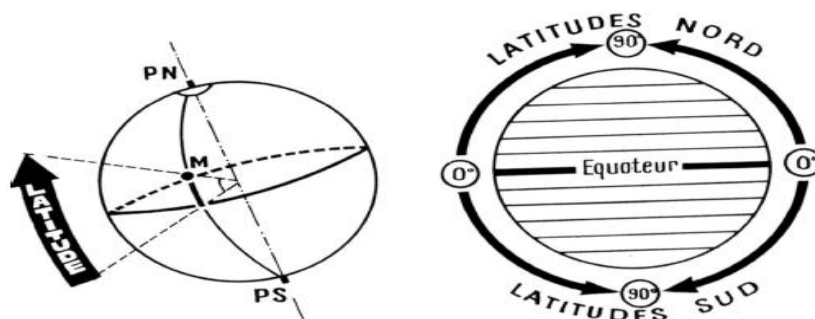


Figure (I.4) : La latitude [2].

➤ Nord magnétique et nord géographique

Il existe deux types :

- ➔ Le nord géographique (pôle nord), (N_v) qui est le point d'intersection sur l'hémisphère nord des méridiens du globe. C'est la référence d'orientation de nos cartes.
- ➔ Le nord magnétique (N_m) qui est indiqué par une boussole et qui ne se confond pas avec le nord géographique. Suivant l'endroit où l'on se situe sur le globe, il faudra donc tenir compte de la déclinaison magnétique du lieu afin de corriger cette différence [3]. Ce qui est illustré sur la figure suivante

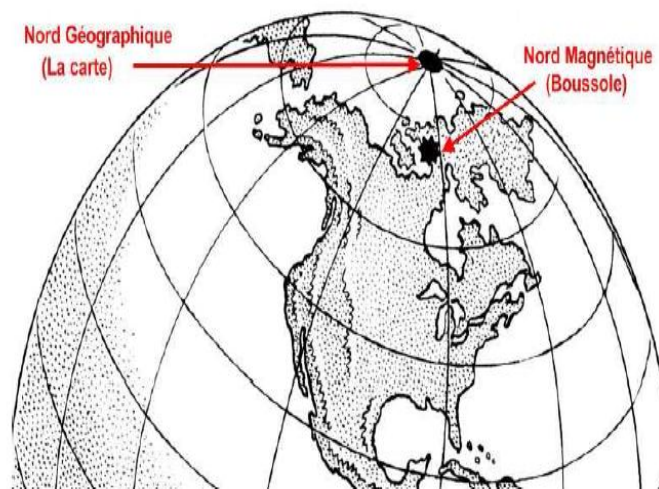


Figure (I.5) : Le Nord magnétique et nord géographique [3].

I.1.1. Route et cap

La route est la trajectoire suivie par l'aéronef sur la terre, alors que le cap est l'angle entre le nord et l'axe longitudinal de l'avion.

Le cap pourra être magnétique, s'il est mesuré par rapport au nord magnétique, ou géographique, s'il est mesuré par rapport au nord géographique (nord vrai). sans vent, le cap et la route sont confondus. Puisque le vent souffle toujours du cap vers la route.

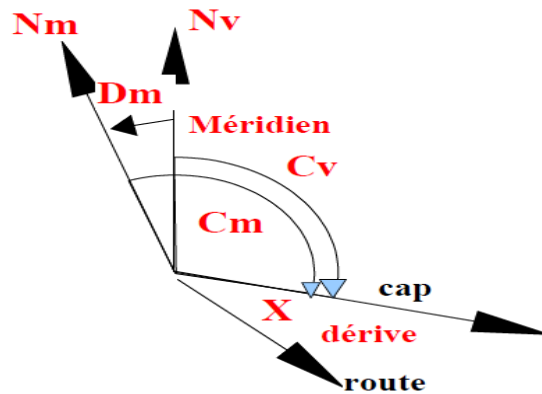


Figure (I.6) : La route et le cap [2].

$$\text{Route} = \text{cap} + \text{dérive} \quad (1)$$

$$C_m = c_v + (\pm D_m) \text{ et } R_m = C_m + X \text{ ou } R_v = C_v + X \text{ et } C_v = R_v - X. \quad (2)$$

I.1.2. La dérive (X)

L'avion placé dans la direction AB suit en réalité la route AC qui fait un angle X avec AB cet angle est appelé angle de dérive ou plus simplement « dérive ».

Le vent exerce une influence sur le trajet de l'avion, et retarde l'avance ou crée une dérive de la route prévue ; il faudra donc tenir compte de l'effet du vent sur l'avion afin de corriger la dérive.

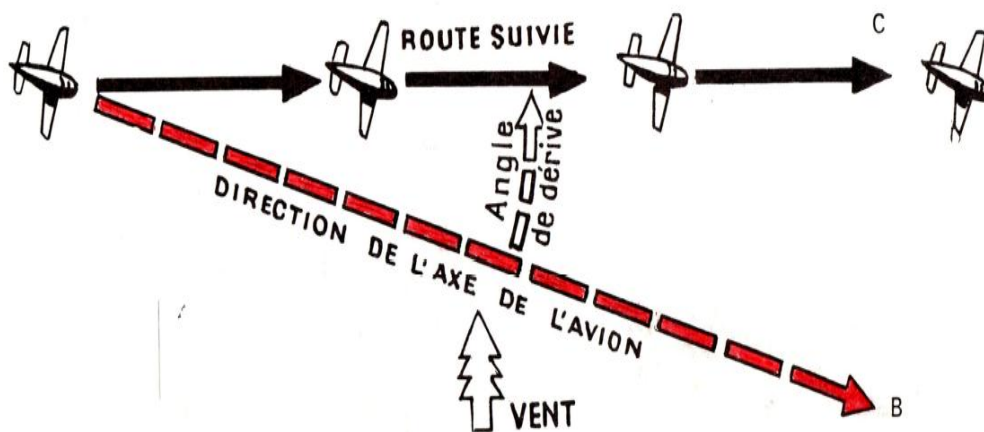


Figure (I.7) : La dérive X [2].

La dérive se compte toujours à partir de l'axe longitudinal de l'avion. Si la route suivie est à la droite de l'axe, la dérive droite et positive. Si la route suivie est à gauche de l'axe, la dérive est dit gauche et négative.

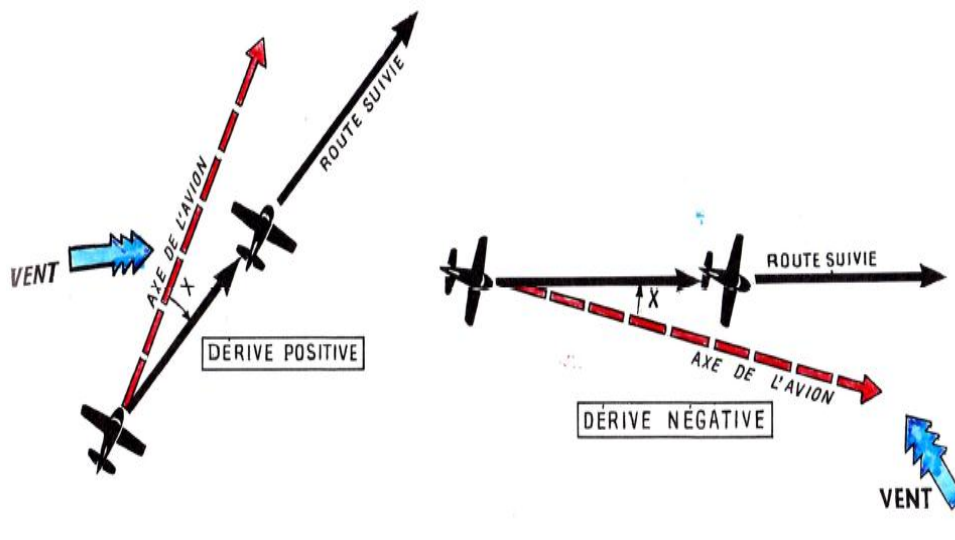


Figure (I.8) : Les types de dérive [2].

Afin de suivre la route prévue il faudra corriger notre cap de la dérive du vent en réduisant le cap. On dit que l'on met le nez de l'avion « au vent » pour corriger la dérive [2].

I.1.3. La déclinaison magnétique

La déclinaison magnétique est variable dans le temps ; elle change au fil des années pour des données différentes et dans l'espace (fonction de l'endroit de position). Aussi, on peut prendre connaissance de la déclinaison magnétique à l'endroit concerné en consultant la carte [3].

I.1.4. Le vent effectif (V_e)

Le vent effectif est la composante de vent parallèle à la route. Elle permet de gagner en vitesse sol (composante de vent arrière) et inversement (composante de vent face). Elle s'exprime en nœuds et se calcule de façon suivante :

$$V_e = V_w \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

Avec :

V_w : est la vitesse du vent en nœuds.

$\cos \alpha$: La projection de la composante de l'angle et de la vitesse du vent sur l'axe des abscisses [3].

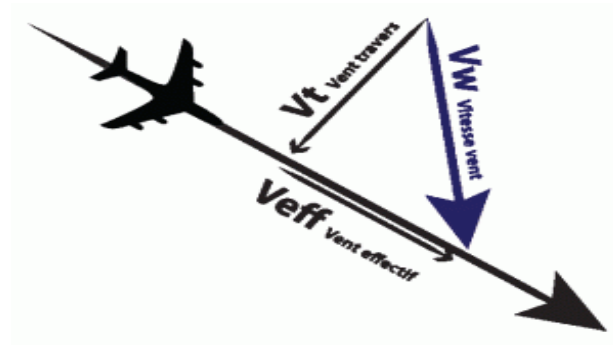


Figure (I.9) : Le vent effectif [3].

I.1.5. Le facteur de base

Le facteur de base est une variable que l'on utilise couramment dans la navigation aérienne ; il permet de calculer rapidement des temps de vol. Il est spécifique à chaque type d'avion suivant sa vitesse donc de ses performances ; il est donc lié à la vitesse propre de l'avion (V_p) et représente le nombre de minutes pour parcourir 1NM, il se calcule comme suit [2] :

$$FB = \frac{60}{V_p} \quad (4)$$

I.1.6. Le temps de vol

En utilisant le facteur de base (FB,) le temps de vol sur un trajet peut se calculer ainsi :

$$T \text{ (min)} = Fb * D. \quad (5)$$

Avec :

T est le temps de vol en minute,

FB= facteur de base

D= distance en NM. [3]

I.2. Condition de navigation

I.2.1. Le vol à vue

Il s'effectue suivant les règles de l'air concernant le vol dit VFR (Visual Flight Rules).

Le pilote doit :

- ➔ Contrôler les évolutions de son appareil en prenant en compte des références extérieures à l'aéronef qu'il pilote.

- ➔ L'aéronef n'étant pas systématiquement suivi par les services de la circulation aérienne au sol, le vol s'effectue sous des conditions météorologiques permettant une visibilité suffisante [4].

I.2.2. Le vol aux instruments

Il s'effectue suivant les règles de l'air concernant le vol dit IFR (Instruments Flight Rules). Le pilote :

- ➔ Contrôle les évolutions de son appareil en ne prenant en compte que les références instrumentales de son appareil [4].

I.3. Méthodes de navigation

I.3.1. Navigation par cheminement

Elle consiste à :

- ➔ suivre les lignes naturelles de l'itinéraire choisi.
- ➔ trace préalablement sur la carte, le pilote oriente donc l'avion à vue.

Cette méthode est aisée lorsque le temps est beau et les repères au sol sont nombreux, elle devient beaucoup moins efficace lorsque les conditions météorologiques sont mauvaises ou lorsque les conditions du vol VFR ne sont pas respectés.

Il s'agit donc de se déplacer d'un point à un autre point de la surface terrestre en observant et en suivant des lignes ou repères naturels ou artificiels situés sur cette surface.

I.3.2. Navigation astronomique

Elle consiste à calculer notre position sur la surface terrestre à partir de l'observation des astres. Cette méthode n'est plus utilisée en aéronautique [4].

I.3.3. Navigation à l'estime

Elle consiste, en fonction de la vitesse de l'avion :

- ➔ A calculer les capes à prendre et les heures d'arrivées à des points caractéristiques du parcours et à l'aérodrome de destination.
- ➔ Ou à calculer notre position à une heure donnée en fonction des caps et vitesses adoptés depuis le départ.

C'est la méthode de base de toute navigation. Des récepteurs-indicateurs de bord reçoivent des signaux radioélectriques émis par des balises sol faisant office de point de repère ou par des satellites. Les indicateurs sont donnés au pilote de connaître ainsi sa position ou orientation par rapport à ces points. Ce moyen de navigation est considéré comme une aide permettant de contrôler le travail de la navigation à l'estime [4].

I.4. l'organisation de l'espace aérien

I.4.1. Les routes aériennes

Le réseau aérien se présente sous la forme d'un réseau de transport classique. Il peut se modéliser sous la forme d'un graphe. Ce qui présente comme suit :

- Les nœuds sont les aéroports ou les balises (point de repère ou sol).
- Les arcs sont les tronçons possibles entre chaque nœud. Une route aérienne est constituée d'une succession de tronçons.

En préparant sa navigation, le pilote suit sa route de balises sur les quels il devra faire un passage à la verticale afin de confirmer sa position aux contrôleurs. Le nombre de balises étant limité, la route réellement suivie s'écartera plus ou moins de la route idéale. Ainsi, un pilote au départ de l'aéroport A1 sélectionne la balise B1 et détermine sa position par rapport au segment A1B1 à l'aide des instruments de bord ; ce qui lui permet d'apporter les corrections nécessaires. Arrivé à la verticale de balise B1, la balise B2 est sélectionnée pour cheminer sur le tronçon B1B2 [5].

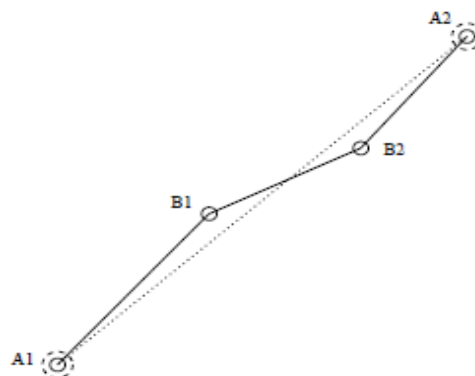


Figure (I.10) : La navigation segmentée [5]

I.4.2. Les secteurs aériens

L'espace aérien ou la densité de trafic aérien importante, fait l'objet d'un contrôle strict pour assurer la sécurité des vols. L'espace aérien sous contrôle est divisé en secteurs.

- ➔ un secteur est un volume de l'espace défini par un plancher et éventuellement un plafond, et traversé par des routes aériennes.
- ➔ Un secteur peut être groupé avec des secteurs voisins. Chaque groupe de secteurs est sous la responsabilité de contrôleurs aériens chargés de maintenir les niveaux de vols des avions entrant et quittant le secteur [5].

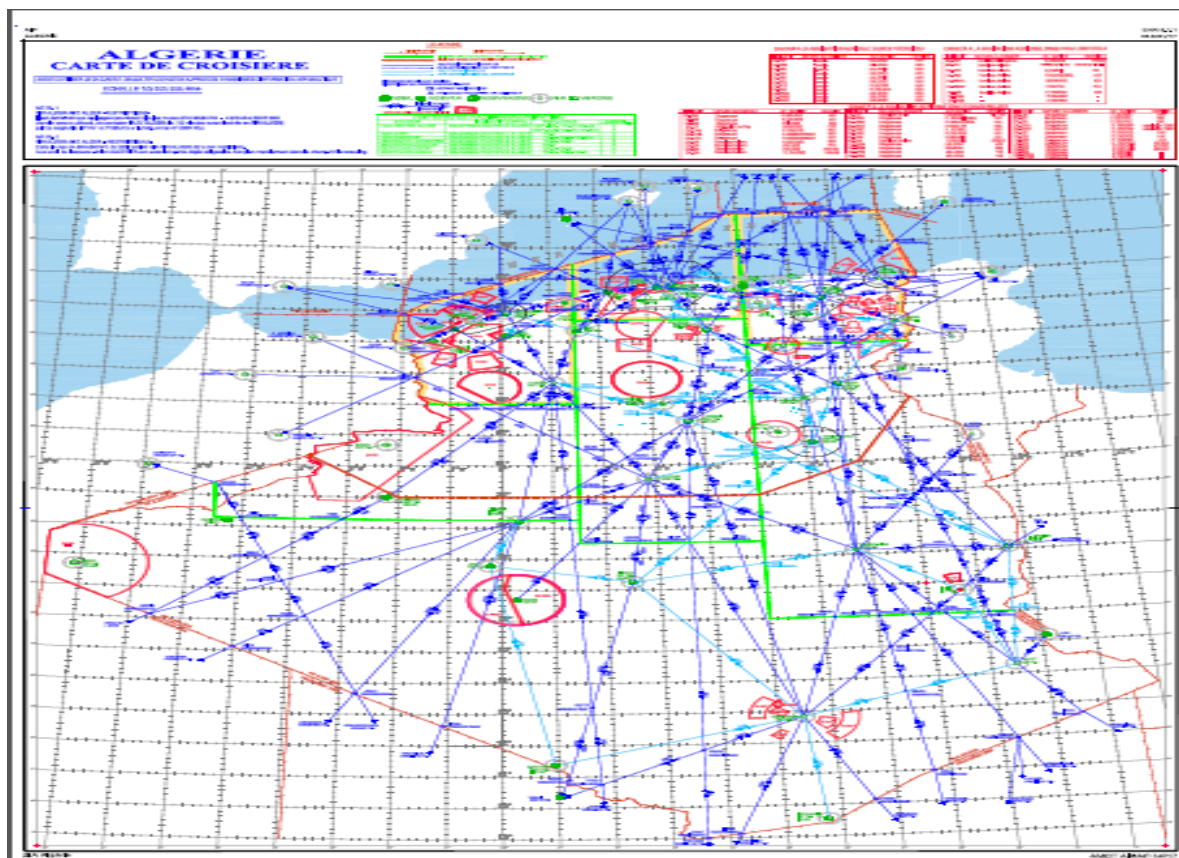


Figure (I.11) : Les routes et les secteurs aériens [6].

I.5. les classes de l'espace aérien

Afin que les commandants de bord sachent s'ils sont autorisés ou non à pénétrer des zones en régime de vole à vue(VFR), et dans quelles conditions, On attribue à celles-ci une

classe désignée par une lettre. Cette lettre informe également des services que le contrôleur leur permet de rentrer dans ces zones. Il ya :

- ➔ les avions en régime de vol aux instruments sont dits en vol IFR.
- ➔ Les avions en régime de vol à vue, associé à des conditions météorologique dites VMC [7].

Voici le tableau qui illustre les espaces de classes :

<u>Espace de classe A</u> ➔ = espace superieur . ➔ pas de VFR autorisés. ➔ Clairence obligatoire. ➔ Le contrôle assure les espacements entre les aéronefs.	<u>Espace de classe D</u> ➔ En espace inferieur contrôlé. ➔ VFR possible si VMC. ➔ Radio obligatoire. ➔ Clairance obligatoire. ➔ Le contrôle assure les espacements entre les IFR et informe tous les aéronefs en vol de la présence des autres. Les pilotes en VFR sont responsables de leurs espacements par rapport aux autres.
<u>Espace de classe E</u> ➔ En espace inférieur contrôlé. ➔ VFR possible si VMC. ➔ Radio obligatoire pour les IFR. ➔ Le contrôle assure l'espacement des avions en IFR en informe les avions en VFR du trafic en contact radio. Les pilotes en VFR doivent assurer leur espacement par rapport aux autres trafics.	<u>Espace de classe G</u> ➔ Espace inferieur non contrôlé. ➔ VFR possible si VMC. ➔ Radio obligatoire pour les IFR. ➔ Pas de clairance requise. ➔ Le contrôle n'assure aucun espacement.

Tableau (I.1) : Les classes de l'espace aérienne [7].

I.6. Contrôle du trafic aérien

Le premier but du service de contrôle est d'empêcher les collisions entre aéronefs. Le service de contrôle vise aussi à optimiser l'écoulement du trafic. Pour pouvoir empêcher les collisions entre aéronefs, le service de contrôle vise à maintenir une séparation géométrique entre avions. Cette norme de séparation impose que deux avions soient toujours espacés d'au moins 5NM horizontalement ou d'au moins 1000 ft verticalement [8].

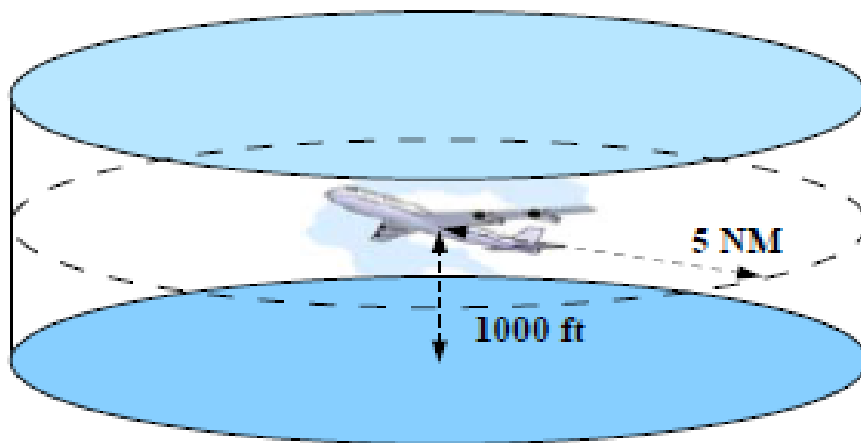


Figure (I.12) : Norme de séparation pour la phase en-route [8].

I.7. La surveillance

La surveillance est une technique de détection instantanée des cibles et la détermination de leur position (si possible l'acquisition des informations supplémentaires reliés à ces cibles) et la livraison des informations dans le but d'un contrôle de trafic aérien sécurisé [9].

➤ Les besoins :

- ➔ La position des avions à un instant donnée et leur intention.
- ➔ Le contrôle des trajectoires des avions via les instructions données aux pilotes.

➤ Les cibles :

- ➔ Les avions.
- ➔ Les véhicules au sol.

Conclusion

Ce chapitre est consacré aux généralités de la navigation aérienne. Ces informations sont utiles pour aborder les définitions des techniques employées pour cette navigation. Le second chapitre sera consacré à la présentation et au fonctionnement des types de radars utilisés en navigation aérienne.

L'historique du radar

Au fil des années, plusieurs scientifiques de différents pays du monde ont participé au développement des recherches basées sur les ondes électromagnétiques. Ces recherches ont permis le développement de la théorie du Radar.

En 1965 le physicien anglais « James Clark Maxwell » développe sa théorie de la lumière électromagnétique, notamment en Allemagne l'existence physique des ondes électromagnétique confirmé et démontré par le physicien allemand « Heinrich Rudolf Hertz » Permettrait en 1904 de rendre possible le calcul à la distance suit à l'appareil « Telemobiloskop » inventé par le spécialiste des ondes hertziennes.

En 1921 « Albert Wallace Hutt » développe un oscillateur à haut rendement le magnétron qui servira plus tard comme source de l'onde radar. Un an plus tard le laboratoire des recherches navales des États-Unis d'Amérique permettait pour la première fois de détecter un navire en bois, en 1930 « L.A Hyland » du même laboratoire réalise la première détection d'un aéronef. Plusieurs essais sur le système de détection par ondes courtes, suite à une étude systématique du magnétron sont menés en France.

Le matin du 26 février 1935 ce jour entre dans l'histoire car il se révélera déterminant pour l'avenir de l'Angleterre et de l'humanité. Le physicien « Robert Watson Watt » inventeur officiel du radar convaincre les autorités britanniques de l'intérêt de sa nouvelle technologie de détection, elle permettrait de surveiller l'espace aérien britannique avec des moyens inversibles commandés.

Des montées en puissance vers une guerre inévitable et par le développement général de l'armée aérienne, les Etats-Unis d'Amérique, la Russie, l'Allemagne, la France et le Japon ont déployés des recherches importantes dans le domaine de la technologie radar, en générant des avancées techniques significatives durant la deuxième guerre mondiale. Après le conflit le radar apparait à l'ampleur dans différents domaines notamment dans le domaine de l'aviation civile qui permet un rapide développement du contrôle aérien.

II.1. Principes du Radar

Comme son nom l'indique, un radar (Radio Detection And Ranging) est un système utilisant des ondes électromagnétiques (Radio) détecte la présence de cibles (Detection) et les localise en distance, vitesse, angles (Ranging). Les systèmes radar sont couramment utilisés

pour la surveillance de domaines, aérien, terrestre, ou maritime, car ils sont opérationnels tout temps, et insensibles à la luminosité.

Le principe de base des systèmes radars peut être résumé en quatre étapes : émission et propagation d'une onde électromagnétique, rétrodiffusion de cette onde par une cible sous forme d'écho de l'onde, réception et analyse du signal reçu par le radar [10].

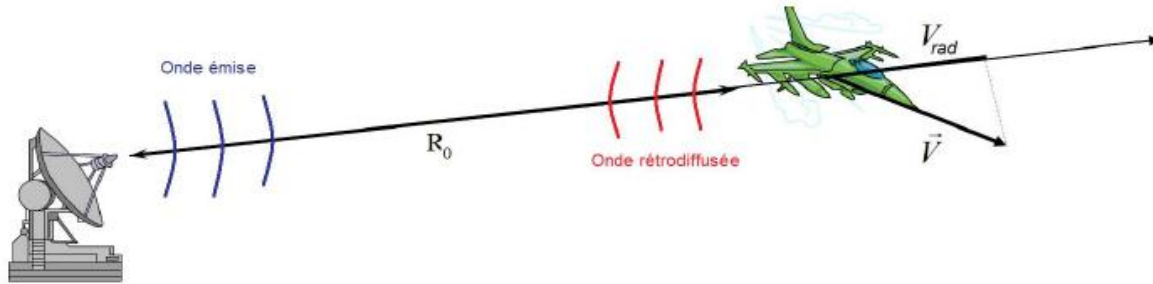


Figure (II.1) : principe d'un système radar [10].

II.1.1 Mesure de distance

L'onde émise par le radar parcourt la distance radar/cible R_0 à la célérité de la lumière c . elle est rétrodiffusée par la cible dans tout l'espace. L'onde rétrodiffusée parcourt une nouvelle fois la distance R_0 est une partie de l'onde est recueillie par le radar. la détection de l'écho reçu et la mesure du temps de propagation de l'onde nous informe sur la présence et la distance de la cible.

L'onde reçue par le radar est une version atténuée et retardée de l'onde émise d'un radar.

$$\tau = \frac{2R_0}{c} \quad (6)$$

La mesure de ce retard τ permet alors de déterminer la distance R_0 de la cible [6].

II.1.2 L'effet doppler

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

$$\tau = \frac{2R(t)}{c} = \frac{2}{c} (R_0 + v_{rad}t) \quad (7)$$

Où v_{radt} est la vitesse radiale de la cible, vitesse de rapprochement ou d'éloignement par rapport au radar.

L'onde reçu par le radar et issue d'un émetteur, arrive en avance ou en retard par rapport à celle d'une cible fixe. Lorsque v_{radt} est très petit devant c , ce décalage de temps d'arrivée se traduit sur l'onde reçue sur la fréquence porteuse f_0 de l'onde. Ce phénomène porte le nom d'effet doppler. Le décalage en fréquence sur la porteuse, appelée fréquence doppler s'écrit :

$$f_D = \frac{2v_{radt}}{\lambda} \quad (8)$$

Où $\lambda = c/f_0$ désigne la longueur d'onde du radar. La mesure de f_D permet de déterminer la vitesse radiale de la cible [10].

II.1.3. Mesure de la direction

La mesure de la direction est déterminer grâce à l'angle entre la direction de nord et celle de la cible (azimut), cet angle est déterminé par la direction de rayonnement de l'antenne. En mesurant cette direction dans laquelle l'antenne à l'instant où elle reçoit l'écho. On peut déterminer l'azimut et aussi la directivité de l'antenne. Pour une fréquence émise donnée (ou une longueur d'onde définie). La directivité d'une antenne est en fonction de ses dimensions propres [11].

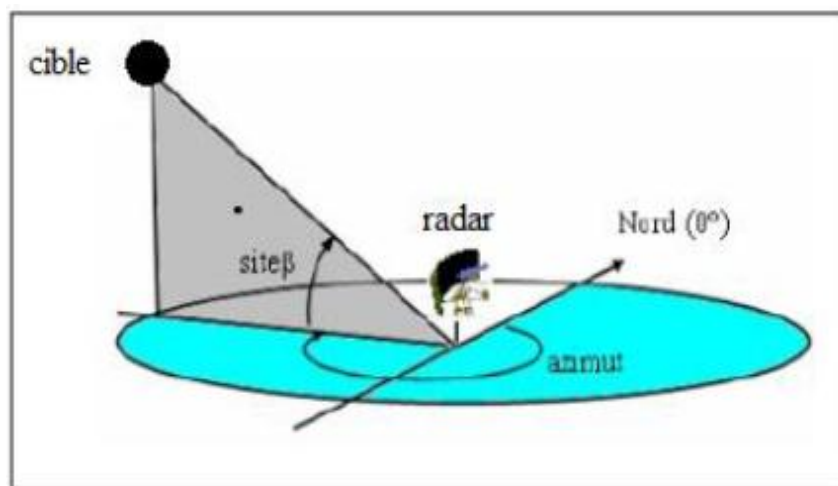


Figure (II.2) : Mesure de la direction [11].

II.2. La structure de base d'un système radar

Un système radar comporte un ensemble de sous-systèmes représentant leurs formes générales et l'interaction entre ses sous-systèmes exprime leur principe de fonctionnement. Un émetteur puissant génère un faisceau d'ondes électromagnétiques concentré transmis par une antenne. A l'aide du duplexeur une antenne unique peut travailler en deux modes.

En mode de transmission, l'antenne illumine l'espace d'exploration avec des microsondes dans une direction bien déterminée. Lorsque ces ondes rencontrent un objet, elles sont alors réfléchies, formant ce qu'on appelle communément un écho radar dont une partie est renvoyée vers le radar, puis interceptée par l'antenne en mode récepteur. A travers un récepteur installé près de l'antenne.

Les échos radar sont préparés pour le traitement du signal par amplification et conversion de fréquence. L'extraction des informations de cible, est effectuée par le bloc de traitement du signal et le résultat peut être affiché à un opérateur, par la transformation de l'information en signal lumineux visualisable sur un écran. Ou peut le traiter par des moyens électroniques pour la détection et la poursuite automatique.

Un radar détermine généralement l'emplacement d'une cible, mais sa sortie peut également fournir des informations sur la nature des cibles. Les éléments de base d'un système radar sont illustrés sur le schéma synoptique simplifié de la figure (II.3).

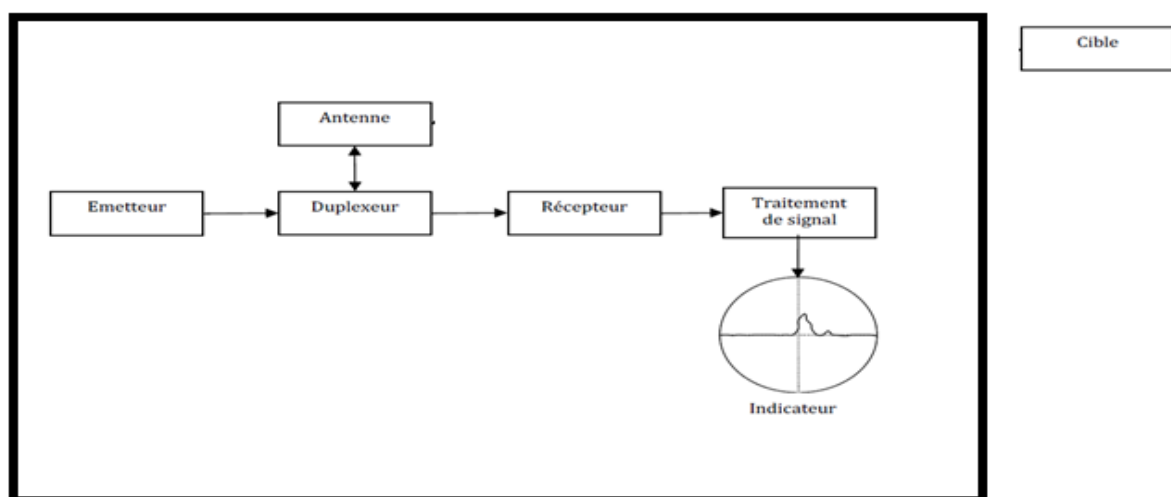


Figure (II.3) : Schéma synoptique simplifié d'un radar [12].

II.3. Classification des radars

La classification basée sur la fonction principale de système radar est illustrée sur le diagramme suivant :

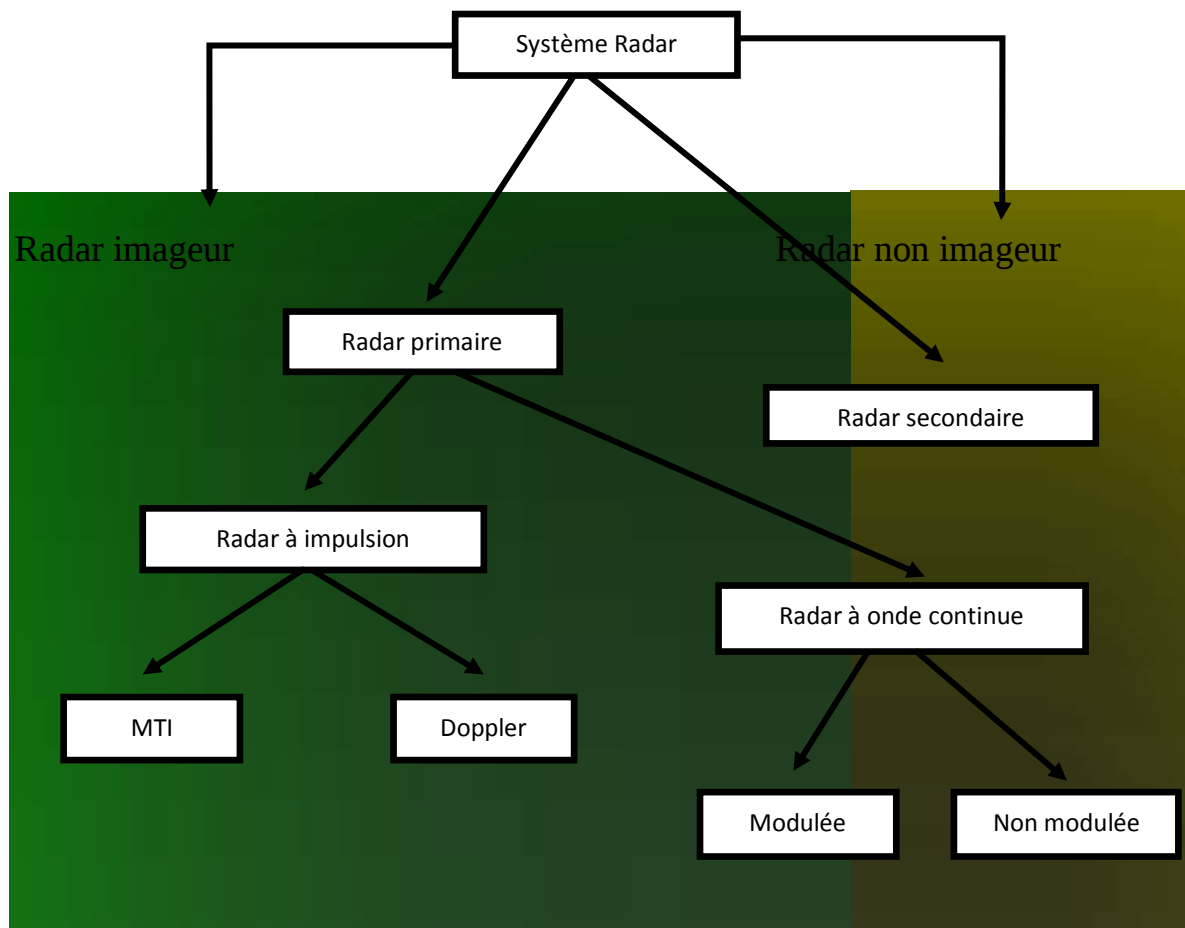


Figure (II.4) : Classification des systèmes radars.

II.3.1. Radars imageurs et Radars non imageurs

Un radar imageur permet de présenter une image de l'objet (ou de la zone) Observé. Les radars imageurs sont utilisés pour cartographier la terre, les autres planètes, les astéroïdes et les autres objets célestes. Ils offrent aux systèmes militaires une capacité de classification des cibles. Des exemples typiques de radar non imageur sont les cinémomètres radars (les petits, sur le bord de la route...) et les radios altimètres. Ce type de radar est également appelé diffusomètres puisqu'il mesure les propriétés de réflexion de la région ou de l'objet observé [13].

II.3.2. Radar primaire

Un radar primaire émet des impulsions hyperfréquences à l'aide d'une antenne, les impulsions sont partiellement réfléchies par l'objet volant et reviennent à l'antenne. Un récepteur mesure le temps entre l'émission et le retour des impulsions. Cette durée et la direction de l'impulsion permettant de calculer la position de l'objet volant.

Il existe aujourd'hui des radars primaires avec des déterminations de la position en deux dimensions (2D, distance et azimut) ou en trois dimensions (3D, azimut, altitude). Les radars primaires permettant de détecter et de suivre dans l'espace aérien surveillé tous les objets qui réfléchissent suffisamment les ondes radars (les vols d'oiseaux, les échos de sol, etc.) [14].



Figure (II.5) : Radar primaire[15].

II.3.2.1. Radar à impulsion

Ce type de radar transmet des impulsions à haute fréquence avec une puissance très élevée vers la cible. Ensuite, il attend l'écho du signal transmis pendant un certain temps avant qu'il ne transmette une nouvelle impulsion.

II.3.2.1.1. Radar à MTI (Moving Target Indicator/ indicateur de la cible mobile)

Ce radar utilise une faible fréquence de répétitions d'impulsion (PRF) pour éviter les ambiguïtés de distance, mais ces radars peuvent avoir des ambiguïtés Doppler. Il est aussi capable de détecter essentiellement les cibles en éliminant les échos des cibles fixes.

Un radar à impulsions capable de détecter la cible mobile dans un encombrement spatial.

II.3.2.1.2. Radar Doppler à impulsions

Contrairement au radar MTI, le radar doppler à impulsions utilise un PRF élevé pour éviter les ambiguïtés doppler, mais il peut avoir de nombreuses ambiguïtés de distance. Les radars Doppler permettent de distinguer les cibles mobiles en présence d'échos des objets stationnaires [11].

II.3.2.2. Radar à ondes continues

Les radars (CW) transmettent un signal à haute fréquence et l'énergie réfléchie est également reçue et traitée en continu. Ces radars doivent s'assurer que l'énergie transmise ne fuit pas dans le récepteur. Les radars CW sont de deux types :

II.3.2.2.1. Radar à onde continues non modulées

Le signal transmis de ce type de radar est constant en amplitude et en fréquence. Le radar CW qui transmet une puissance non modulée, ne peut mesurer la vitesse qu'en utilisant l'effet doppler. Il ne peut pas mesurer une distance, et il ne peut pas différencier entre deux cibles réfléchissantes.

II.3.2.2.2. Radar à onde continues modulées

Les CW non modulés ont l'inconvénient de ne pas mesurer la portée, car les mesures de temps d'exécution ne sont pas possibles dans les radars CW non modulés. Ceci est réalisé dans les radars CW modulés en utilisant la méthode de décalage de fréquence. Dans cette méthode, un signal qui change constamment de fréquence autour d'une référence fixe est utilisée pour détecter la présence des objets. La fréquence varie entre f_1 et f_2 . Le calcul de la distance peut être effectué par :

$$R = \frac{c \cdot \Delta t}{2} \quad (9)$$

Avec :

R : distance.

Δt : Différence de temps entre le signal émis et l'écho si la cible se déplace, il y a un changement de fréquence Doppler supplémentaire qui peut être utilisé pour déterminer si la cible approche ou s'éloigne [11].

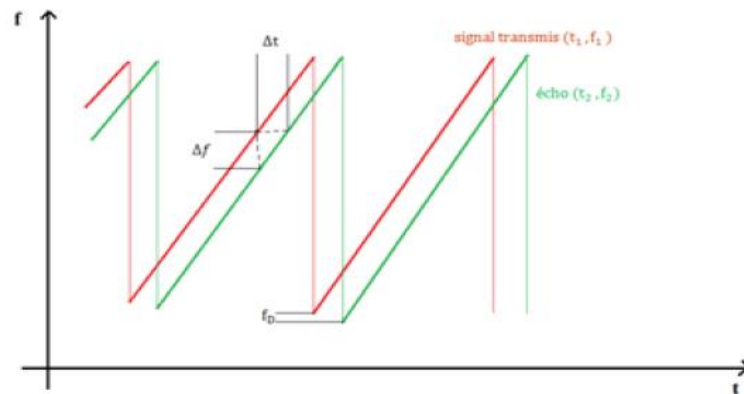


Figure (II.6) : Mesure de distance avec un radar FMCW [11].

II.3.3. Radar secondaire

Les radars secondaires fonctionnent avec des signaux de réponse actifs. En plus du radar primaire. Ce type de radar utilise un transpondeur sur la cible en générant un signal réponse codé. Cette réponse peut contenir beaucoup plus d'informations que celles qu'un radar primaire peut collecter (par exemple l'altitude, un code d'identification, ou encore un rapport de problème à bord comme une panne totale des radiocommunications) [11].



Figure (II.7) : Le radar secondaire d'El oued [15].

II.4. Fréquences utilisées en système radar

Les radars peuvent être émis dans une large gamme de fréquences. Pour améliorer la précision de l'équipement radar, la fréquence doit être élevée et les conditions météorologiques telles que la pluie et les nuages sont importantes. Les fréquences sont représentées sur ce tableau :

Nom de bande	Plage de fréquences	Longueurs d'onde	Types de radars
HF	3-30 MHz	10-100 m	Pour haute fréquence. Utilisée par les radars côtiers et les radars « au-delà de l'horizon ».
P	< 300 MHz	1 m+	Pour précédent : appliquée a posteriori aux radars Primitifs.
VHF	50-330 MHz	0.9-6 m	Pour très haute fréquence. Utilisée par les radars à très longue portée et par ceux à pénétration de sol.
UHF	300-1000 MHz	0.3-1 m	Pour ultra haute fréquence. Radars à très longue portée pénétration de sol et de feuillage.
L	1-2 GHz	15-30 cm	Utilisée pour le contrôle aérien de longue portée et la surveillance aérienne.
S	2-4 GHz	7.5-15 cm	Pour court. Utilisée par les radars de trafic aérien local, les radars météorologiques et navals.
C	4-8 GHz	3.75-7.5 cm	Compromis entre les bandes S et X pour les transpondeurs satellitaires et les radars météo.
X	8-12 GHz	2.5-3.75 cm	Pour les radars météo, les radars de navigation, les radars à résolution moyenne de cartographie et la surveillance au sol des aéroports.
Ku	12-18 GHz	1,67-2,5 cm	Fréquence juste sous K pour les radars de cartographie à haute résolution et l'altimétrie satellitaire.
K	18-27 GHz	1,11-1,67 cm	sont utilisées pour la détection des gouttelettes de nuages en météorologie et dans les radars routiers.
Ka	27-40 GHz	0.75-1.11 cm	pour la cartographie, la courte portée, la surveillance au sol des aéroports, les radars routiers (34.300 ±0.100 GHz).

Tableau (II.1) : Les fréquences utilisées en système radar [13].

II.5. Performances des radars

Pour fonctionner correctement, un radar doit envoyer une très grande quantité d'énergie concentrée dans une direction pendant un temps très court (1ms) et être assez sensible pour détecter la partie renvoyée sous forme d'écho.

Pour calculer les performances d'un radar, on remplace les cibles réelles par des sphères métalliques de rayon R qui génèrent le même écho radar.

II.5.1. Ambiguïté en distance et vitesse

II.5.1.1. Ambiguïté sur la mesure de la distance

L'écho (1) en réception correspond-il à l'émission du train d'onde (1), du train d'ondes (2) ou d'un précédent ? Il y a une ambiguïté !

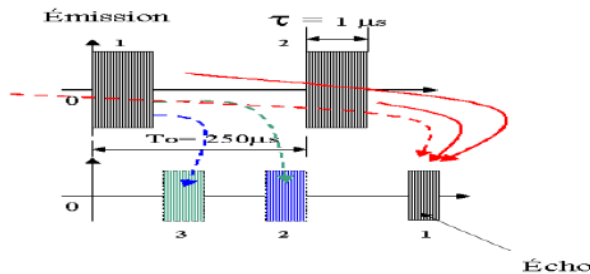


Figure (II.8) : Ambiguïté en distance [11].

Pour l'émission du train d'ondes (1), seuls les échos reçus pendant le temps $T_0 - \tau \approx T_0$ peuvent être pris en compte échos (2 et 3).

La distance maximum sans ambiguïté est donc :

$$d_{max} = c \cdot T_0 / 2 = \frac{c}{2 \cdot PRF} \quad (10)$$

Les radars doppler utilisent la même antenne pour l'émission et la réception, de ce fait, pendant la durée de l'émission, la réception est impossible.

Cette distance minimale définit la zone aveugle du radar $d_{min} = c \cdot \tau / 2$

Il est également impossible de distinguer deux échos successifs, s'ils ne sont pas espacés de la durée τ . Cela se traduit par une segmentation des distances. Le plus petit intervalle de distance mesurable est donc égal à :

$$\Delta d = c \cdot \frac{\tau}{2} \quad (11)$$

Cette résolution des distances Δd est appelée résolution radiale.

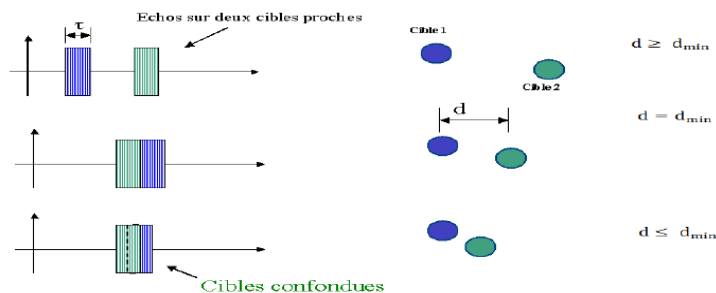


Figure (II.9) : Détection de deux cibles [11].

II.5.1.2. Ambiguïté sur la mesure de la vitesse

L'ambiguïté de la fréquence doppler, exprime la possibilité d'attribuer différentes valeurs de la vitesse radiale V_r à une fréquence donnée doppler f_d , c'est le résultat du caractère périodique du spectre doppler dans des radars à impulsions, le maximum de la fréquence non ambiguë doppler est :

$$f_d = \pm \frac{f_r}{2} \quad (12)$$

La vitesse radiale maximale non ambiguë sous la forme suivante avec f_r est une fréquence de récurrence donnée par [11] :

$$V_r = \pm \frac{\lambda f_r}{4} \quad (13)$$

II.5.2. Equation du radar

II.5.2.1. Propagation des ondes radar

La présence du sol et de l'atmosphère modifie les performances du radar. Ou les ondes réfléchies peuvent arriver en phase avec l'onde directe et dans ce cas, elles viennent renforcer celle-ci, mais elles peuvent aussi arriver avec une phase telle que, l'interférence soit destructive. La portée pratique en relation avec la courbure de la terre, ou elle est limitée à la zone optique la distance maximale est :

$$d_{max} = \sqrt{2 \cdot K \cdot R \cdot h} + \sqrt{2 \cdot K \cdot R \cdot H} \quad (14)$$

Avec :

H : hauteur de l'objet vu par le radar.

h : hauteur du radar.

K : décrit l'effet de réfraction atmosphérique ($K=4/3$).

R : rayon de la terre égale à 6366 Km.

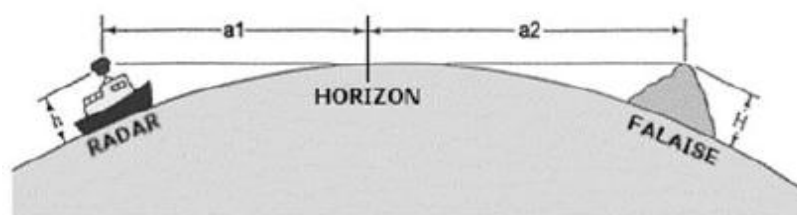


Figure (II.10) : Zone optique d'un radar [11].

Les principaux paramètres des ondes radar dans l'atmosphère sont l'oxygène et la vapeur d'eau. La présence de gouttelettes d'eau ou de cristaux de glace va fortement augmenter l'absorption atmosphérique particulièrement aux plus hautes fréquences.

La meilleure solution est de travailler à fréquence suffisamment basse pour que la longueur d'onde soit nettement supérieure au diamètre des particules. Dans ces conditions, l'onde est peu atténuée et les particules sont en quelques sortes invisibles [11].

II.5.2.2. Surface équivalente radar

La SER (Radar Cross Section), C'est le rapport entre l'énergie réfléchiée dans la direction du radar par un objet et celle d'une sphère lisse de (1m²) émettant de manière omnidirectionnelle.

Un objet de SER ' σ ', se comporte comme si il captait ' σ ' fois la densité d'énergie dans la quelle il est baignée, et la réémettait de manière omnidirectionnelle pour que le radar peut la détecter. Elle est défini par :

$$\sigma = \frac{4 \cdot \pi \cdot r^2 s_r}{s_t} [m^2] \quad (15)$$

Avec :

σ : Capacité d'objet de rétrodiffusion vers le radar.

s_r : Énergie reçue par l'objet en [w/m²].

s_t : Énergie rétrodiffusée par l'objet en [w/m²].

La figure suivante montre l'équation de ' σ ' pour les différentes formes pour représenter une cible [14].

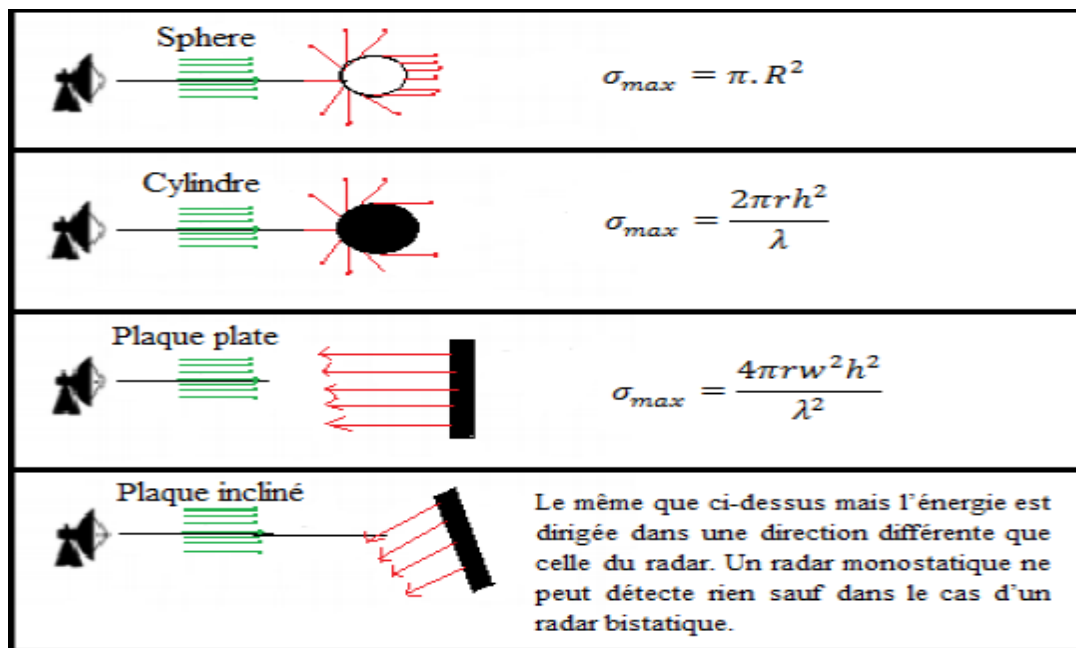


Figure (II.11) : Relation entre la forme de la cible et la surface équivalente radar [14].

II.5.2.3. Equation radar

L'équation du radar est un bilan des puissances sur le trajet aller-retour d'une onde émise, basé sur les caractéristiques d'émetteur, récepteur, des antennes d'émission et de réception, de la cible et de l'environnement.

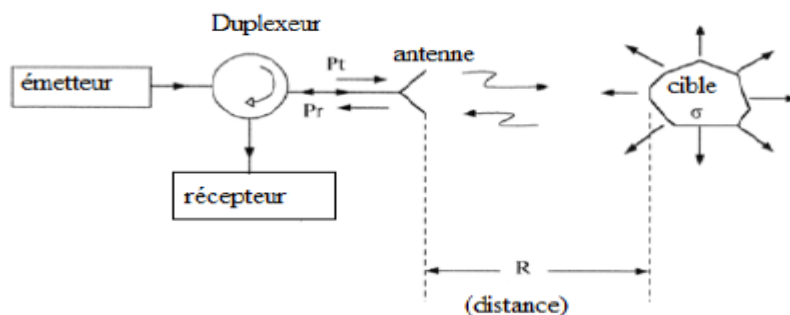


Figure (II.12) : Schéma synoptique d'un radar [11].

On supposera que les ondes électromagnétiques se propagent dans des conditions idéales. On considère un radar mono statique doté d'une antenne directive utilisée et en réception de gain max G et de surface équivalente A_e .

$$\begin{cases} G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \\ A_e = \eta \cdot A \end{cases}$$

Avec :

λ : Longueur d'onde.

η : efficacité de l'antenne.

A : surface de l'ouverture de l'antenne.

- La densité de puissance dirigée vers la cible par le radar avec antenne isotrope est :

$$\frac{P_t}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \quad (16)$$

- Pour une antenne directive :

$$\frac{P_t}{4 \cdot \pi \cdot R^2} G_t \quad (17)$$

- Puissance réémise par la cible :

$$\frac{P_t G_t}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \sigma \quad (18)$$

- Densité de puissance au niveau du radar :

$$\frac{P_t G_t}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \frac{\sigma}{4 \pi R^2} \quad (19)$$

- Puissance reçue par le radar :

$$\frac{P_t G_t}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \frac{\sigma}{4 \pi R^2} A_e \text{ d'où } \frac{P_t G_t}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \frac{\sigma}{4 \pi R^2} \frac{G_r \lambda^2}{4 \pi} \quad (20)$$

- puisque le radar est mono statique donc $G_t = G_r = G$ et la puissance reçue devient

$$\frac{P_t G^2 \sigma \lambda^2}{(4 \pi)^3 R^4} \quad (21)$$

Si on suppose la puissance reçue minimum détectable par le récepteur notée

$$S_{min} \cdot R_{max}$$

est la distance maximale de détection, et l'équation radar devient comme suite :

$$R_{max} = \left(\frac{P_t G^2 \sigma \lambda^2}{(4 \pi)^3 S_{min}} \right)^{1/4} \quad (22)$$

Avec P_t est la puissance transmise, si on utilise un radar à impulsion. Cette puissance définit par une puissance crête sinon une puissance moyenne d'où [11] :

$$P_{av} = \frac{P_t \tau}{T_0} = P_t \cdot \tau \cdot PRF \quad (23)$$

II.5.2.4. Influence des pertes sur la portée

L'équation radar est établie par rapport aux conditions de propagations idéales, mais en pratique, la propagation est affectée par de nombreuses pertes qui peuvent considérablement réduire l'efficacité du radar. ces pertes sont :

- ➔ Atténuation internes dans les circuits de l'émetteur et du récepteur, typiquement, elles sont de l'ordre de (1 à 2dB).
- ➔ Pertes dues aux fluctuations de la surface équivalente.
- ➔ Pertes dues au faisceau, dans l'équation du radar, on a supposé le gain de l'antenne constant, or ce gain varie pendant le balayage dont il faut tenir compte. Cette perte est de l'ordre de (1.5 dB).

Pour cela on introduit un facteur de pertes L_{sys} dans l'équation radar pour tenir compte de ces pertes [11] .

$$R_{max} = \left(\frac{P_t \cdot G^2 \cdot \sigma \cdot \lambda^2}{(4\pi)^3 \cdot L_{sys} \cdot S_{min}} \right)^{1/4} \quad (24)$$

II.5.2.5. Bruit à la réception

Puisque le bruit est le facteur principal qui limite la sensibilité du récepteur, il est nécessaire d'obtenir quelques moyens de le décrire quantitativement, le bruit est indésirable vu qu'il crée une interférence sur la capacité du récepteur à détecter l'écho.

Il peut provenir du récepteur lui-même, ou il peut entrer par l'antenne de réception avec le signal désiré. Si le radar devait fonctionner dans un environnement parfaitement exempt de bruit, il existerait encore une composante de bruit généré par l'agitation thermique des électrons de conduction dans les parties ohmiques des étages d'entrée du récepteur.

Ceci est appelé bruit thermique, il est directement proportionnel à la température des composants ohmiques du circuit et de la bande passante du récepteur. la puissance thermique disponible générée par un récepteur de largeur de bande b_n (en hertz) à une température T (en Kelvin) est égale à :

$$p_{th} = K \cdot T \cdot b_n \quad (25)$$

Avec :

K : constante de Boltzmann égal à $1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

$$b_n = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} |H(f)|^2 df}{|H(f_0)|^2} \quad (26)$$

Ou $H(f)$: la réponse fréquentielle du filtre IR.

f_0 : la fréquence maximale de la réponse généralement se trouve au milieu de la bande [11].

II.6. Domaines d'application des radars

Les radars sont utilisés dans plusieurs domaines comme suit :

➔ Militaire

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

➔ Aéronautique:

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

➔ Maritime:

- Radar de navigation.
- Balises radars.

➔ Météorologie:

- Détection de précipitations (pluie, neige, grésil, grêle, etc.) et déformations nuageuses.

➔ Circulation et sécurité routière:

- Contrôle de la vitesse des automobiles (cinémomètre).
- Radars de recul sur automobiles [15].

II.7. principaux avantages du radar :

Généralement les radars ont plusieurs avantages, parmi les quels on peut citer :

- ➔ Les OEM ne sont pas arrêtées par le brouillars ou la pluie.
- ➔ La puissance des émetteurs et la sensibilité des récepteurs actuels permettent de grandes portées (plus de 1000Km).
- ➔ Le radar peut être utilisé dans plusieurs zones [16].

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une étude sur le radar : le Principe du Radar, la structure de base d'un système radar, la classification des radars, les fréquences utilisées en système radar et les Performances des radars. Pour la suite de ce travail, on va baser sur le RSO « radar à synthèse d'ouverture ».

III. Introduction

Dans ce chapitre, pour une première partie, on a présenté l'entreprise ENNA ainsi que les techniques de la navigation aérienne qui sont disponibles au niveau de l'aéroport de Bejaia.

Cependant, les moyens nécessaires mis à notre disposition ne sont pas suffisants pour pouvoir simuler un tel modèle, car les techniciens sur place utilisent la radionavigation pour l'atterrissage et le décollage de l'avion.

Dans la deuxième partie, nous avons fait une description du système radar à synthèse d'ouverture RSO.

Partie 1

L'histoire de l'aviation prend sa source dans la volonté des hommes de s'élever dans l'air. Étymologiquement le mot aéronautique provient du Latin aer, aeris qui signifie « air » et nauta, nautae signifiant « mariner, batelier, nautonier ». Actuellement, l'aviation joue un rôle indispensable dans le monde. Nous nous sommes donc interrogés ce qui permettait à un avion de plusieurs tonnes de décoller. C'est dans cette optique, que nous posons notre problématique : "comment un avion vole- il tout en sécurité ?

Partant de ces idées, l'entreprise l'ENNA (Etablissement Nationale de la Navigation Aérienne) que nous allons présenter, dispose d'un ensemble d'équipements et de personnels permettant de bien maîtriser la navigation aérienne [6].

Cette partie est structurée comme suit :

- ➔ Une Présentation générale de l'ENNA.
- ➔ Une description de services technique et sa tâche principale.

III.1.1.Présentation de l'Etablissement National de La Navigation aérienne (ENNA)

C'est un établissement public à caractère industriel et commercial qui a pour mission d'assurer le service public de la sécurité de la navigation aérienne dans l'espace aérien de notre pays.

III.1.1.1. Mission de l'ENNA

- ➔ Assurer l'exploitation technique des aérodromes ouverts à la circulation aérienne.
- ➔ Gère le domaine aéronautique constitué pour l'espace aérien, les terrains, bâtiments et installation nécessaires à l'accomplissement de sa mission.
- ➔ Le service de sauvetage et de lutte contre l'incendie sur les plates-formes.

III.1.1.2. L'organisation de L'ENNA

Il est présenté comme suit :

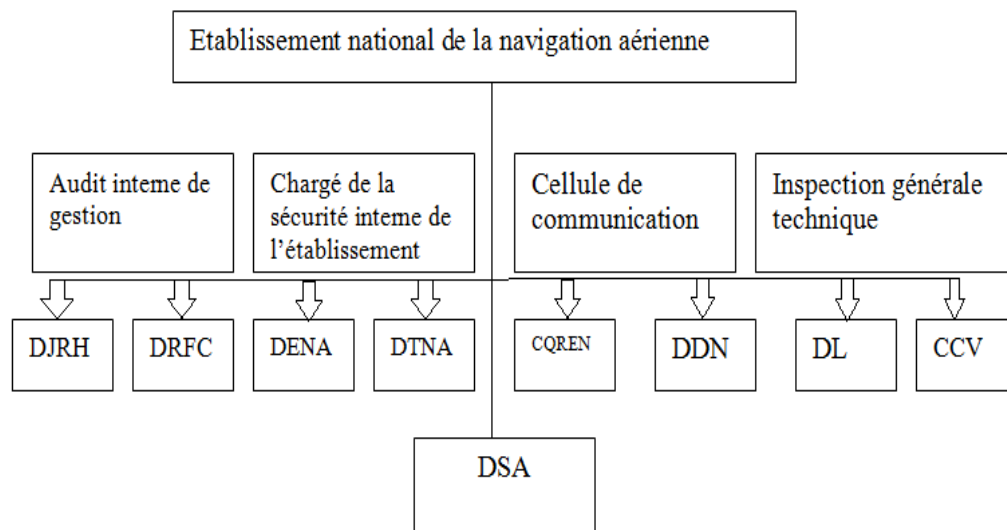


Figure (III.1) : organisation de L'ENNA [6].

Les directions principales de cette entreprise sont :

- **DDNA** : Direction du Développement de la Navigation Aérienne.
- **DENA** : Direction de l'Exploitation de la Navigation Aérienne.
- **DTNA** : Direction Technique de la Navigation Aérienne.
- **DRFC** : Direction des Ressources, des Finances et de la Comptabilité.
- **DJRH** : Direction Juridique et des Ressources Humaines.
- **CQRENA** : Centre de Qualification, de Recyclage et d'Expérimentation de la Navigation Aérienne.
- **DL** : Direction de la Logistique.
- **CCV** : Centre de Calibration en Vol.
- **DSA** : Directions de Sécurité Aéronautique [6].

III.1.2. Le service Technique de l'ENNA

Il comprend à son tour deux services qui sont :

- Service Radionavigation et Télécommunication.
- Service Energie et Balisage.

Dans ce stage pratique nous intéressons au service radionavigation et télécommunication que nous présenterons au-dessous :

III.1.2.1. Service radionavigation

Le service radionavigation est chargé de l'étude, installation et de la maintenance des équipements d'aide à la navigation aérienne.

Ces équipements sont répartis en trois catégories :

- Les émetteurs :

Exemple : VOR, ILS...etc.

- Les récepteurs :

Exemple : récepteur GPS...etc.

- Les émetteurs/récepteurs :

Exemple : DME, radar, satellite...etc.

III.1.2.1.1. Le DME (distance measuring equipment)

Le DME c'est une antenne polarisée verticalement elle est :

- Omnidirectionnelle pour une installation DME en route, utilisée pour une navigation aérienne.
- Directionnelle pour une installation DME atterrissage, utilisée conjointement avec un ILS en approchant à l'atterrissage.

➔ Principe de fonctionnement d'un DME

Le principe de fonctionnement est basé sur :

- L'aéronef (émetteur) envoie des paires d'impulsions codées d'interrogation sur le canal récepteur de la radio balise au sol (voir la figures III.3).
- Un transpondeur (récepteur) émet à son tour des paires d'impulsions de réponse codées sur le canal récepteur.
- L'appareil à bord de l'aéronef obtient en supprimant le temps de traitement de la donnée du transpondeur, le temps écoulé pour un aller-retour du signal ce qui lui permet de déduire la distance séparant l'appareil de la balise au sol en milles nautiques.

Son fonctionnement qui nécessite une communication entre deux appareillages distincts implique qu'un DME ne peut être utilisé simultanément que par un nombre limité d'aéronefs, à cause de saturations au niveau de la station au sol [6].

La distance est mesurée en chronométrant le temps (T_m) que met une paire d'impulsion radioélectrique UHF pour faire le trajet aller-retour entre l'avion et la station au sol, sachant

que la vitesse de propagation de cette onde est égale à la vitesse de la lumière (voir figure III.4).



Figure (III.2) : le DME.



Figure (III.3) : l'antenne du DME.

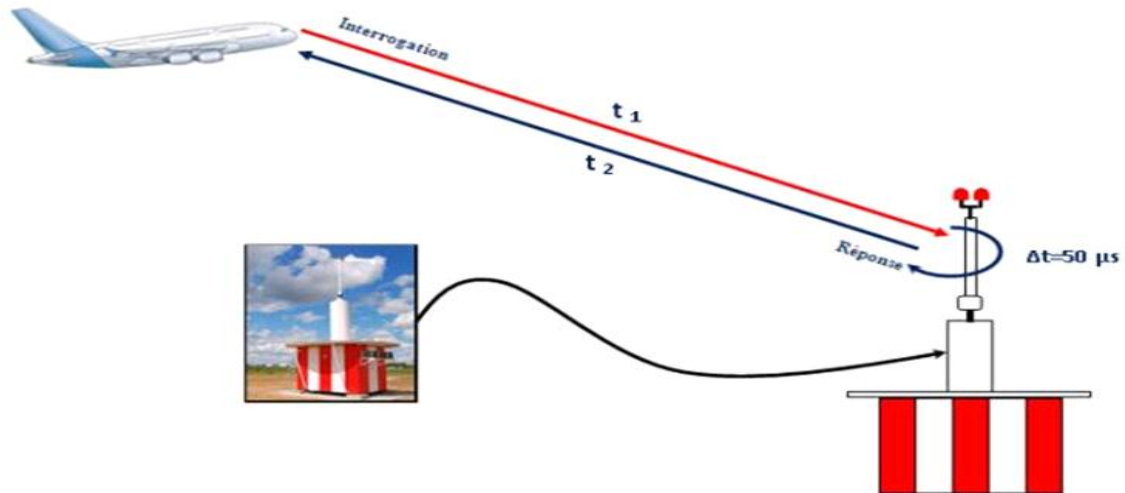


Figure (III.4) : fonctionnement du DME [6].

$$D = C * t$$

$$T_m = t_1 + t_2 + \Delta t$$

$$\text{avec } t_1 = t_2 = t$$

$$\text{Donc : } T_m = 2 * t + \Delta t$$

$$\Rightarrow t = \frac{T_m - \Delta t}{2} \quad (27)$$

$$\Rightarrow D = C * \frac{T_m - \Delta t}{2} \quad (28)$$

Avec :

- D : la distance.
- $C=3*10^8$ m/s.
- $\Delta t = 50\mu s = 50 * 10^{-6}$ (Retard systématique ou temps de traitement du signal).

➔ **Les avantages et inconvénient du DME :**

- **Les avantages :**

- Insensible aux perturbations atmosphériques.
- La précision.

- **Les inconvénients :**

- Saturation aux environs d'une centaine d'avions.
- La distance fournie est une distance oblique (n'est pas la distance réelle).

III.1.2.1.2. Le VOR (VHF Omnidirectionnel Range) :

Le VOR est un moyen d'aide à la navigation utilisé pour l'orientation des aéronefs à courte et moyenne distance. Il définit 360 directions d'azimut (l'angle que fait la direction avion avec celle du nord magnétique) comptés positivement dans le sens des aiguilles d'une montre à partir de la direction du nord magnétique passant par la station.

Il existe deux types de VOR : Le VOR conventionnel : qui est utilisé dans les zones où il n'y a pas d'obstacles importants, et Le VOR doppler pour présence des obstacles.



Figure (III.5) : baie VOR.

➔ Le principe de fonctionnement du VOR :

Le VOR rayonne une porteuse VHF modulée, de façon à transmettre deux signaux de même fréquence, mais de phase différente pour chaque degré de son rayonnement ses deux signaux sont :

- Un signal de référence dont la phase est identique quel que soit la direction d'émission.
- Un signal variable dont le déphasage par rapport au précédent est égal à l'azimut de la direction d'émission.

Après réception, démodulation, séparation et comparaison de phases des deux signaux, on obtient l'information d'azimut.

➔ Avantages et inconvénients du VOR :**• Avantages :**

- Equipement de bord simple.
- Informations stables et sûres.

• Inconvénients :

- Mauvaise réception a base attitude.
- Le coût qui est cher.
- Complexité d'installation.
- Les erreurs du récepteur.

III.1.2.1.3. ILS instrument landing system :

Constitue l'élément essentiel utilisé pour l'approche finale et à l'atterrissage. Il informe le pilote de la position de l'avion par rapport à une consigne de trajectoire de descente aboutissant à une piste d'atterrissage, L'ILS est constitué de deux éléments essentiels :

- **Un localizer :** c'est un radiophare d'alignement de piste fournit l'écart de l'avion par rapport à l'axe de la piste. Il est constitué d'antennes se trouvant à une distance de 200 à 600 m de l'extrémité de la piste d'atterrissage. Il fonctionne dans la gamme VHF de 108 à 112 MHz (voir figure III. 6)[6].



Figure (III. 6) : Antenne du localizer.

- **Un Glide path (GP)** : (un alignement de descente) fournit au pilote les informations de navigation haute bas qui déterminent l'écart de l'avion par rapport à la pente nominale d'approche faisant un angle de 3° avec le plan horizontal. Il fonctionne dans la gamme UHF de 329 MHz à 336 MHz. Mais, les fréquences qui lui sont associées sont appariées aux fréquences du localizer. L'antenne GP est installée de 120 à 180 mètre de la ligne centrale de la piste d'atterrissage.



Figure (III.7) : Antenne du glide.

Le principe de fonctionnement du LOC et du GLIDE repose sur les mesures de la variation du taux de modulation (différence des taux de modulation DDM) entre deux signaux disposant des fréquences 90 et 150 Hz. Il s'agit des fréquences de navigation employées afin de détecter le cap d'approche correcte ($DDM=0$) ainsi que l'angle d'alignement de descente spécifié ($DDM=0$) (voir figure III.8) [6].

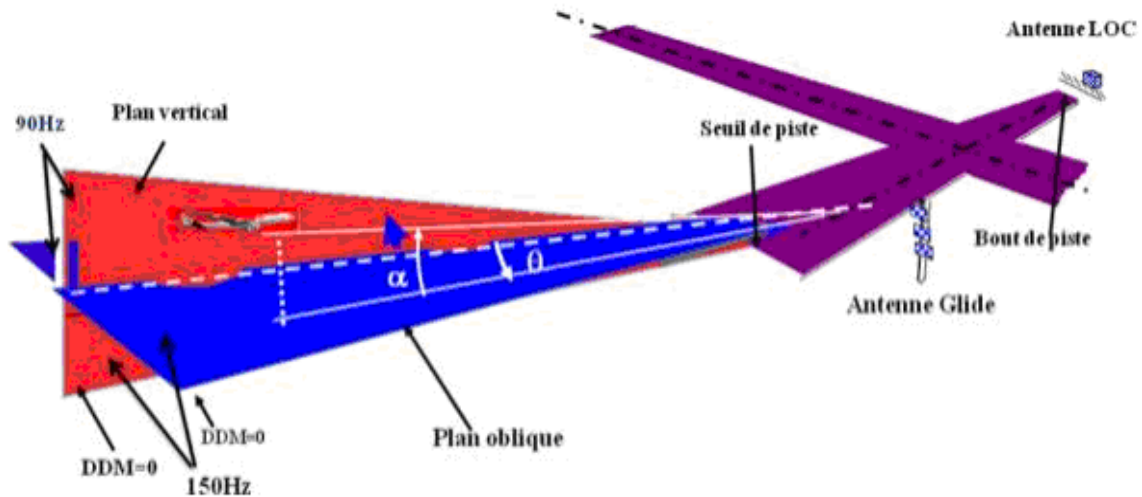


Figure (III.8) : L'atterrissage (ILS) [6].

➔ Les avantages et les inconvénients de L'ILS :

- **Les avantages :**

- Grande précision.
- Permet de réaliser des atterrissages.

- **Les inconvénients :**

- Existence occasionnelle de faux axes par réflexion du faisceau sur un relief.
- Sensible aux perturbations des faisceaux électriques (par véhicules ou par avion au sol).

III.1.2.2. Service télécommunication :

Ce service est chargé essentiellement de l'installation et la maintenance des équipements télécommunication et assure leurs bons fonctionnements. Les équipements tours sont repartis selon leurs installations comme suit :

➔ Les équipements de la tour :

On retrouve : le pupitre qui regroupe les accessoires télécommunications (HP, micro main...). Dans certains pupitres on trouve un poste opérateur VCCS qui permet au contrôleur d'accéder à plusieurs fonctions tel que le choix des fréquences (voir figures III.9 et III.10).

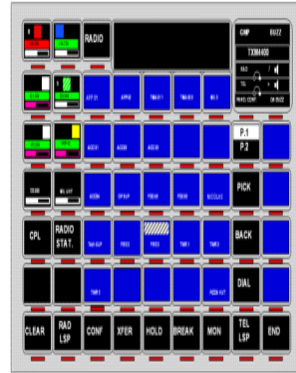


Figure (III.9) : pupitre d'exploitation. Figure (III.10) : le poste opérateur.

➔ Les équipements de la salle radio :

- **La baie VHF** : utilisée pour des besoins de contrôle tour et approche, composée de deux émetteurs et deux récepteurs séparés par des basculeurs. La bande de fréquence utilisée couvre : 118-137 Mhz, elle est caractérisée par sa stabilité et sa fiabilité (voir figure III.11).



Figure (III.11) : Banc d'essai de la VHF.

- **Le VCCS** : c'est un système de traitement, de contrôle et de commutation automatique des voix téléphoniques et radiophoniques issues des différents équipements de télécommunication.

Le VCCS est composé de :

- L'équipement central qui a pour rôle de convertir toutes les communications analogiques en signaux numériques et en suite les affectés à leur propre emplacement.
- La station de supervision contrôle et supervise le bon fonctionnement de chaque module tout en détectant les alarmes et les erreurs du système, ses dernières seront visualisées au niveau de la visu et corrigé automatiquement par le système.



Figure (III.12): Armoire du VCC.

- **L'alimentation** : elle alimente tout le matériel de télécommunication, secourue par des batteries pour assurer le fonctionnement permanent des équipements en cas de coupure du secteur.
- **Système d'enregistreur** : permet l'enregistrement et l'archivage de toutes les voies de communication (téléphonique ou radiophonique). (Voir figure III.13).



Figure (III.13) : Systèmes d'enregistrement des communications.

- **La HF** : Elle est utilisée comme moyen de secours et pour couvrir les zones désertiques non couverte par l'antenne avancée. La bande de fréquence utilisée est de 3-30 Mhz. Elle est caractérisée par son très grand porté, mais pour la même raison elle est influencée par les changements climatiques (voir figure III.14).



Figure (III.14) : Baie radio HF et son antenne.

- **L'antenne avancée** : C'est une station radioélectrique qui assure la liaison radiotéléphonique air-sol, sol-sol. Elle est composée de deux émetteurs, deux récepteurs et deux télécommandes l'une à la station et l'autre au CCR relié par une liaison quatre fils (deux émissions et deux réceptions) et une baie d'alimentation.

Partie 2

III.2.1. Radar à synthèse d'ouverture RSO

Un radar à synthèse d'ouverture (RSO) est utilisé pour sonder les trajectoires vers le sol ou la mer des avions et des satellites. Le traitement informatique des données successives provenant du même secteur permet de simuler la résolution d'une très grande antenne, de nombreuses fois plus fine que celle de l'antenne utilisée.

En effet, lorsque le radar se trouve au-dessus d'un secteur, il envoie de nombreuses impulsions par secondes, ce qui veut dire que dans la cellule de résolution au sol, la même cible est balayée de nombreuses fois mais avec un angle et une position relative légèrement différents. Chacune de ces données aura donc une intensité propre, à cause des variations de la surface d'un radar, et sa portée oblique qui change [17].



Figure (III.15) : radar RSO [1].

Le radar se déplace entre deux émissions d'impulsion. Il est en effet possible de synthétiser à partir d'une antenne physique relativement courte en recombinaison tous les échos en phase, une antenne réseau de très grande taille.

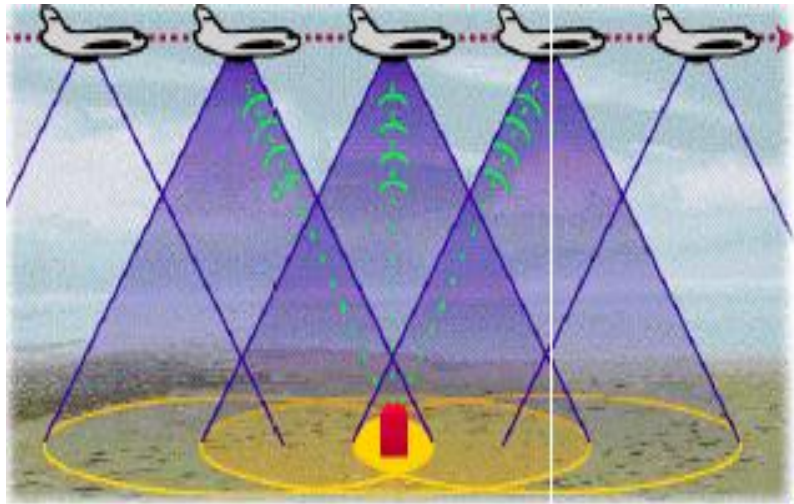


Figure (III.16) : Principe de la synthèse d'ouverture RSO [18].

Puisque la position du radar change la longueur de la trajectoire, les points à partir desquels les impulsions successives sont les éléments d'une antenne virtuelle sous forme d'un réseau linéaire.

La dimension temps correspond à l'instant où l'impulsion a été émise, tandis que la dimension distance représente le temps de propagation du signal pour effectuer l'aller-retour entre l'antenne et le sol.

En fonction de la fréquence de répétition des impulsions (FRI), de la vitesse de déplacement du porteur et de la dimension du lobe de l'antenne, un point au sol sera éclairé un nombre n de fois [18].

III.2.2. Composants d'un radar RSO

Les composants d'un radar RSO sont représentés comme suit :

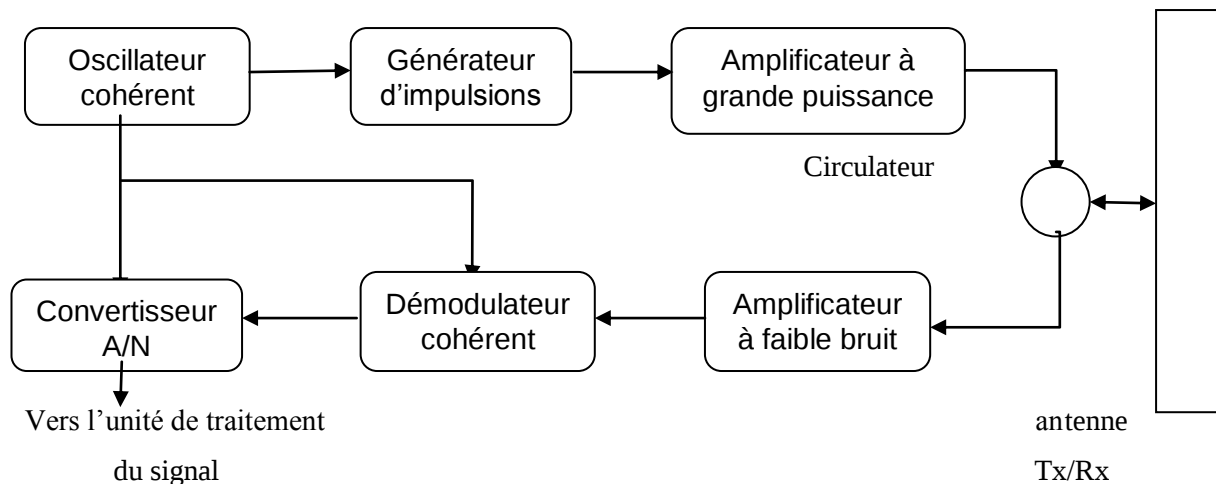


Figure (III.17) : Les composant d'un radar RSO [19].

- L'oscillateur cohérent : il est une horloge d'une grande précision qui permet de synchroniser l'émission des signaux, le temps de transmission, la fenêtre d'échantillonnage, la démodulation et le convertisseur A/N.
- Générateur d'impulsions : il génère des impulsions.
- Amplificateur à grande puissance : amplifie la petite puissance.
- Convertisseur A/N : il a pour fonction de traduire une grandeur analogique en une valeur numérique (codée sur plusieurs bits).
- Démodulateur cohérent : Son rôle est récupérer ou de reconstruire le signal de la porteuse.
- Amplificateur à faible Bruit : est un dispositif électronique chargé de mettre en forme des signaux très faibles en provenance d'une antenne. Il est souvent placé à proximité du capteur, de manière à minimiser les pertes en ligne.

- Un Circulateur : a pour fonction d'isoler la chaîne qui n'est pas sollicitée, il faut isoler la chaîne de réception pendant l'émission et réciproquement.
- Une antenne (Tx/Rx) : une antenne associe les ondes électromagnétiques qui se propagent dans l'espace libre.

III.2.3. La résolution d'un radar à synthèse d'ouverture

III.2.3.1. La résolution en distance

La résolution en distance elle fonction uniquement de la durée τ de l'impulsion émise, Deux cibles seront différenciables si leur échos ne se superposent pas. Pour cela, il faut que ces échos soient séparés d'une durée au minimum égale à τ (voir la figure III.18). La résolution radiale en distance r_d est ainsi donnée par la distance radiale minimale entre deux cibles pour que leurs échos ne soient pas mélangés, à savoir $\frac{c\tau}{2}$ (équation 29). La résolution projetée au sol est alors donnée par l'équation 30 pour une onde émise sous une incidence θ_i .

$$r_d = \frac{c\tau}{2} \quad (29)$$

$$r_{d_{proj}} = \frac{c\tau}{2\sin(\theta_i)} \quad (30)$$

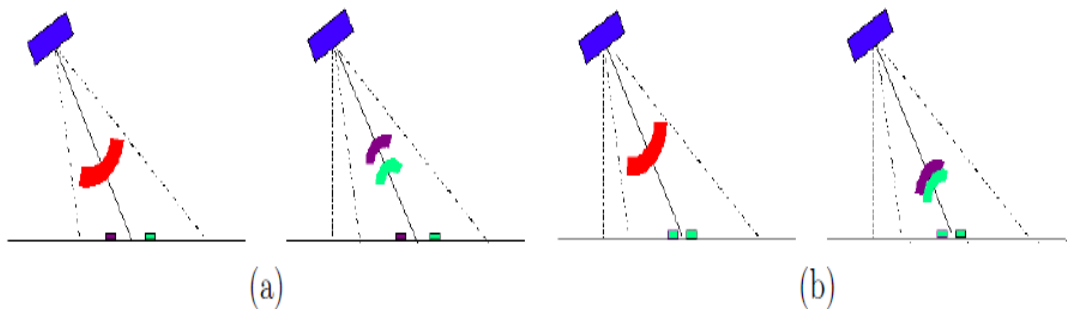


Figure (III.18) : résolution en distance [20].

La figure (a) représente le cas de la figure favorable où les deux cibles sont suffisamment éloignées l'une de l'autre, par rapport à la durée de l'impulsion, pour que leurs échos soient séparés.

La figure (b) représente le cas contraire, les deux échos se chevauchent, car la distance radiale entre les deux cibles est inférieure à la longueur de l'impulsion émise.

Pour obtenir une bonne résolution en distance, il faut donc une durée d'impulsion très brève. Le principe de la compression d'impulsion employé par le système RSO permet de pallier ce problème [2].

III.2.3.2. La résolution en azimuth

Le faisceau d'ouverture illumine une cible se trouvant à une distance R et à une position x dans la direction azimuthale. La longueur totale de l'ouverture synthétisée correspond à la distance à travers laquelle la cible est illuminée par le faisceau du radar (voire la figure III.19) :

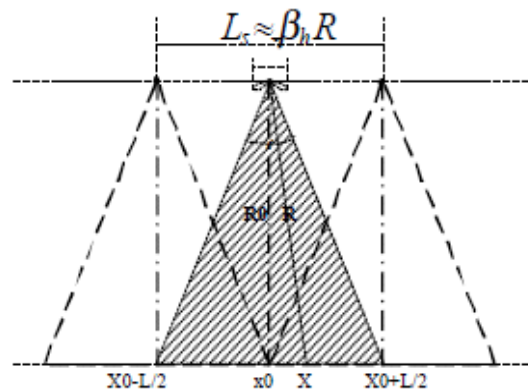


Figure (III.19) : configuration de la résolution azimuthale du RSO [18].

- ➔ Donc, c'est simplement L_s , la largeur de l'ouverture réelle du faisceau au sol qui correspond à la résolution azimuth d'un radar à ouverture réelle avec le même faisceau. Elle est donnée par : $L_s = \beta_h R$.
- ➔ Le porteur étant en mouvement, la cible est illuminée lorsque le radar est à la position $x_0 - L_s/2$, passant par x_0 (correspondant à la distance radiale minimale R_0), jusqu'à la position $x_0 + L_s/2$.
- ➔ L'antenne va occuper successivement plusieurs positions. Elle se comporte comme en un réseau linéaire qui permet d'accéder à l'amplitude associée à chaque élément.
- **L'amplitude**

L'amplitude dépend du coefficient de rétrodiffusion de la cible dans les conditions d'observation. Ce coefficient est en fonction de nombreuses caractéristiques (humidité du sol, ...). Le coefficient de rétrodiffusion σ_0 peut être exprimé en fonction de l'amplitude A et d'un coefficient de normalisation K : $\sigma_0 = 20 \log(KA)$ (31)

Ceci est illustré par le tableau suivant [18] :

σ_0 en décibel (dB)	Type de surface
+50	Cibles ponctuelles, navires, véhicule
+20	Zones urbaines
0	Surface plane
-10	Forêt, végétation
-15	Herbe rase
-22	Goudron, béton

Tableau (III.1) : Les types des surfaces par apport au coefficient de la rétrodiffusion [18]

III.2.4. La compression d'impulsion

Pour envoyer une énergie suffisante, les impulsions doivent être émises pendant une durée relativement longue. La compression d'impulsions permet d'améliorer sensiblement la résolution en distance en utilisant un « chirp » pour moduler linéairement en fréquence le signal de durée τ [21].

III.2.4.1. La synthèse d'ouverture :

La synthèse d'ouverture suit le même principe que la compression d'impulsions, à la différence près que la modulation en fréquence n'est plus imposée mais naturelle : on utilise l'effet Doppler qui fait varier la fréquence de réception de l'onde émise selon la vitesse relative entre la source des impulsions et une cible donnée.

Tous les échos rétrodiffusés par la cible sont enregistrés pour la durée du passage de la cible devant le faisceau. Le moment où la cible quitte le champ du faisceau, on détermine la longueur de l'antenne synthétique simulée.

Il s'agit d'exploiter la modulation de fréquence induite, découlant du mouvement relatif de la cible par rapport à la scène fixe (voir la figure III.20).

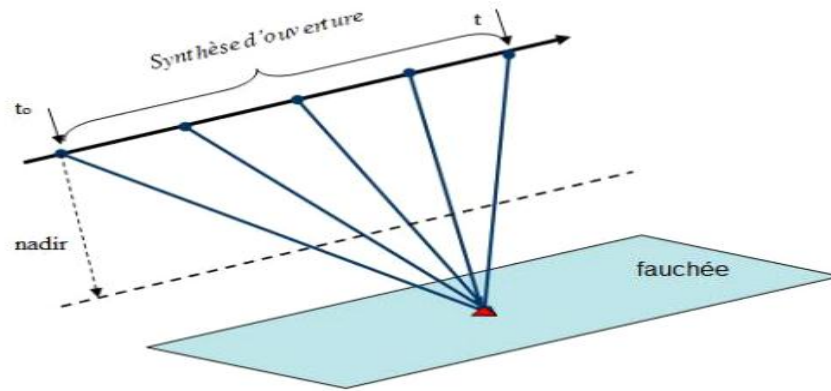


Figure (III.20): principe de la synthèse d'ouverture [19].

Cette reconstruction s'appuie sur la connaissance exacte de la trajectoire de la cible. Dans le cas aéroporté, il faudra en particulier tenir compte des mouvements éventuels de l'avion, sa trajectoire, affectée de lacet, roulis et tangage, n'étant généralement une trajectoire rectiligne uniforme [21].

III.2.5. L'image radar

Une image radar est en fait une matrice de pixels, Chaque pixel est associé à une petite zone de la surface de la terre, les images sont formées ligne par ligne. Une ligne correspond à une des impulsions émises par l'antenne à une fréquence de répétition d'impulsion.

Les systèmes radar imageurs travaillent toujours en visée latérale. L'image est acquise dans un système de coordonnées azimutale et transversale [19].

III.2.5.1. La formation d'image RSO

Après l'acquisition des données, pour obtenir une image RSO on doit suivre deux étapes :

- ➔ La compression d'impulsion.
- ➔ La synthèse d'ouverture.

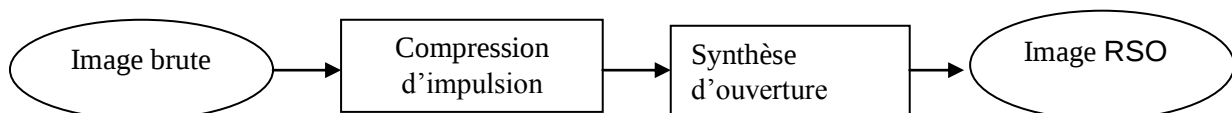


Figure (III.21) : l'image RSO.

Ces deux étapes sont des étapes d'acquisition de l'image, dans la chaîne. Comme on peut voir sur la figure (III.21), le point de départ en la formation des images RSO est constitué par les images brutes qui sont formées juste après la réception du signal au niveau de l'appareillage du radar. Les stations spatiales fournissent en général les images brutes.

III.2.5.2. Chatolement

L'interférence, provenant de la diffusion multiple qui se produit dans chaque cellule de résolution, donne aux images radar une texture bruitée. Cet effet est appelé « chatolement ».

Le chatolement est l'effet de bruit inhérent aux systèmes imageurs cohérents qui diminuent la qualité de l'image [21].

Les effets de chatolement peuvent être réduits en :

- Filtrant les données par visées multiples. Il s'agit de diviser l'ouverture synthétique totale en plusieurs ouvertures de taille moindre produisant des visées indépendantes de la région ciblée fondées sur la position angulaire de la cible. Ainsi, les visées correspondent à différentes bandes de fréquences doppler.
- Calculant une moyenne des pixels adjacents [19].

Nous présentons une image RSO qui décrit le chatolement.

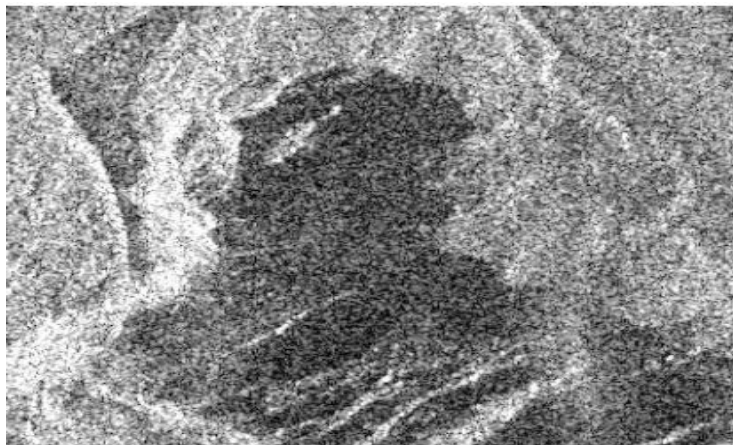


Figure (III.22) : image RSO avec un chatolement [21].

III.2.6. Avantages et inconvénients des RSO

➔ Les avantages :

- Couverture par seconde plus élevée (km^2/s).
- Coûts de fonctionnement moindres ($\$/Km^2$).
- Régions balayées plus larges

- Traitement des données un peu plus simple.

➔ **Inconvénients :**

- Construction et lancement plus coûteux.
- Plus difficile à doter de polarisation et de fréquences multiples.
- Résolution généralement plus faible.

III.2.7 Optimisation du système de navigation par radar RSO

L'information la plus intéressante pour le pilote n'est pas la distance oblique D_{Ob} mais la distance en projection sur l'horizontale D_h . Une correction peut être effectuée à partir de la connaissance de la différence d'altitude l'avion et le radar RSO.

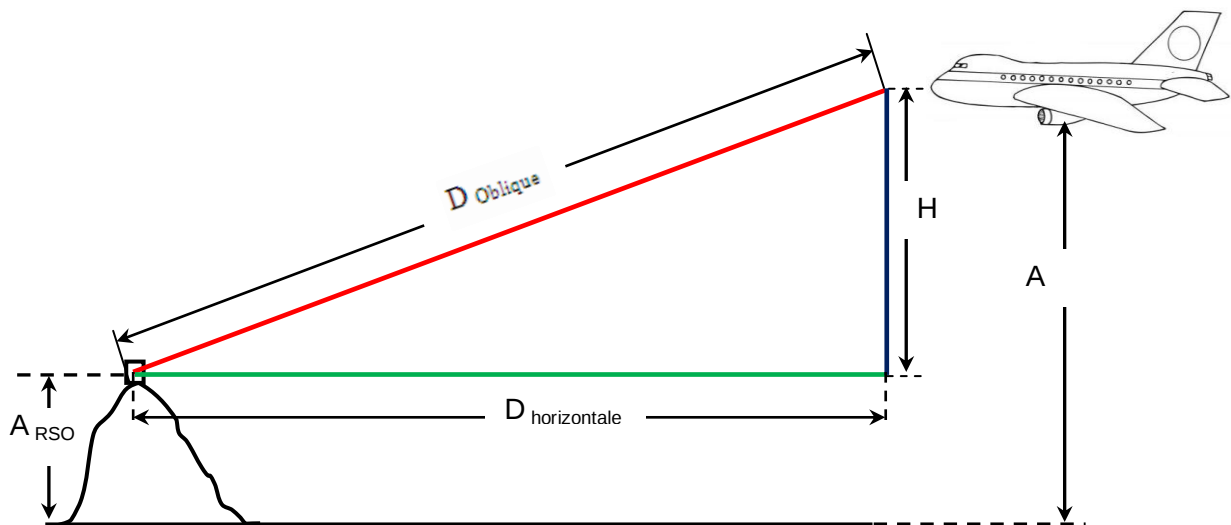


Figure (III.23) : la distance oblique et la distance horizontale para port au radar RSO [1].

- A_{Avion} : c'est l'altitude de l'avion.
- A_{RSO} : c'est l'altitude du radar au sol.
- H : c'est la différence entre l'altitude de l'avion et celle de RSO

$$H = A_{Avion} - A_{RSO} \quad (32)$$

$$D^2 = H^2 + D_h^2 \quad \Rightarrow \quad D_h = \sqrt{D_{Ob}^2 - H^2} \quad (33)$$

$$\Rightarrow D_h = \sqrt{D_{Ob}^2 - H^2} \Rightarrow D_h = D_{Ob} \left[1 - \frac{H^2}{D_{Ob}^2} \right]^{1/2}$$

On appliquant le Développement limité de premier ordre on aura :

$$D_h = D_{Ob} \left[1 - \frac{H^2}{2D_{Ob}^2} + \dots \right] \quad (34)$$

→ Erreur de la distance oblique :

On définit deux types d'erreur.

❖ Erreur absolue :

$$D_h - D = \frac{H^2}{2D_{Ob}} \quad (35)$$

❖ Erreur relative :

$$\frac{D_h - D}{D_{Ob}} = \frac{H^2}{2D_{Ob}^2} \quad (36)$$

Il faut réduire l'erreur relative et l'erreur absolue pour avoir une distance horizontale plus précise par le radar.

III.2.8.Animation d'un avion capté par un radar à son arrivée à l'aéroport de Bejaia

La figure suivante présente un aperçu de la présence d'un avion survolant la ville de Bejaia qui couvre un peu plus que 45 km², et un radar ainsi qu'une antenne de réception des signaux



Figure (III.23): La détection d'un avion qui survole la ville de Bejaia

Nous montrons le mode de fonctionnement d'un radar RSO ; lors de l'atterrissage d'un avion à l'aéroport de Béjaia.

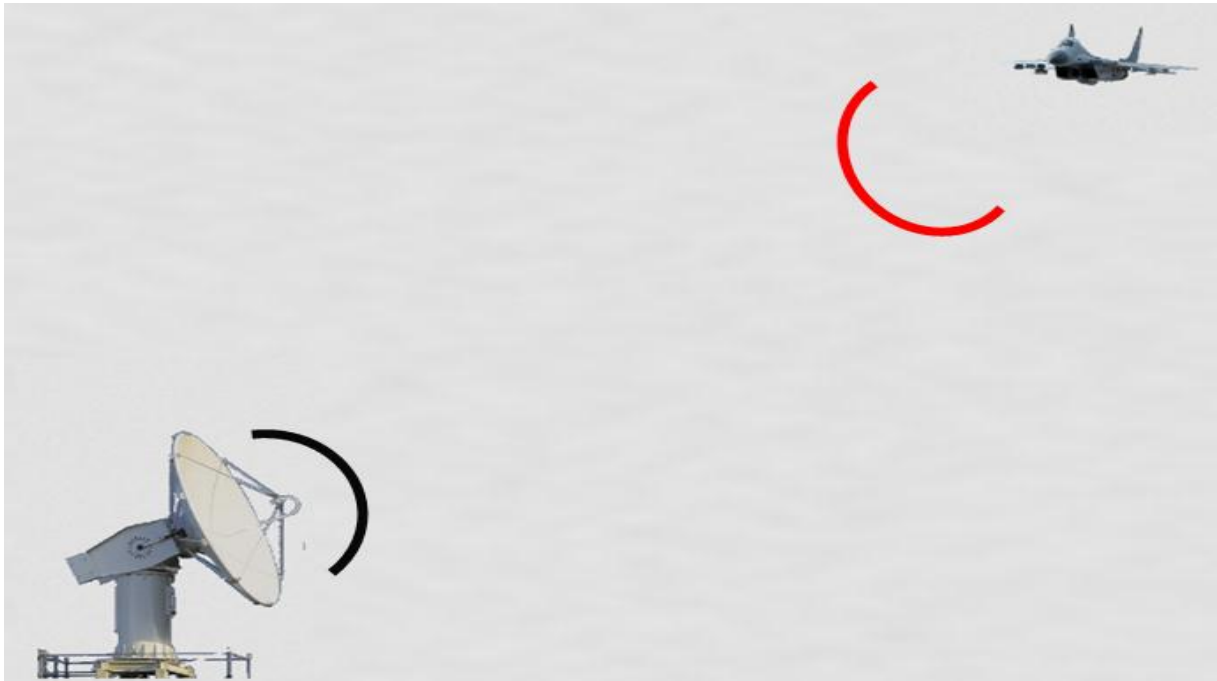


Figure (III.24): Détection d'un avion atterrissant par un système radar ou niveau de l'aéroport de Bejaia.

Conclusion

Durant notre stage à l'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA), nous avons découvert les différentes tâches de chaque structure qui sont chargés d'assurer la sécurité de la navigation aérienne. Cette visite nous a permis aussi de voir les équipements et les moyens disponibles au sein de l'établissement. Nous avons remarqué que la bonne coordination entre ces services permet une bonne gestion et sécurité pour le trafic aérien et que chaque équipement de radionavigation et de télécommunication joue un rôle important dans le système de navigation.

Conclusion générale

Durant ce travail, on a présenté les différentes générations de la radionavigation, qui ont été développées pour garantir de meilleures performances en apportant de nouvelles applications, de nouveaux services ainsi qu'une meilleure gestion.

On a ainsi présenté l'architecture des systèmes de la navigation aérienne dont les opérateurs de télécommunication et les experts de l'industrie se sont déjà engagés dans la recherche pour son développement.

L'infrastructure technologique des systèmes de la navigation aérienne peut améliorer le débit de transfert des données des réseaux existants pour mieux couvrir le nombre croissant des avions et les services accessibles depuis la station des aiguilleurs du ciel.

Les paramètres qui ont poussé les acteurs des opérateurs des systèmes de la navigation aérienne et de l'industriel du monde entier à se tourner vers l'utilisation des radars RSO, sont :

- ✓ Pouvoir atteindre une vitesse théorique maximale d'émission et de réception.
- ✓ Une très faible latence et une communication permanente à un grand nombre d'avions par kilomètre carré.

Il faut signaler à la fin de ce projet que l'utilisation des radars performants pour la navigation aérienne, est perçue comme étant la technologie qui permettra d'avoir des résultats meilleurs en matière de temps, d'applications, voire de mener vers de multiples secteurs avec de nouveaux modèles et pour le bénéfice de l'économie.

Nous avons présenté des résultats du stage à l'ENNA de Bejaia concernant la radionavigation aérienne. Il manque l'application d'un radar RSO pour la navigation aérienne, au niveau de l'aéroport de Bejaia, à cause de son indisponibilité.

En perspectives, nous souhaitons que ce modeste travail soit amélioré et développé pour des applications en zone internationale.

Référence webographiques

- [1] : www.memoireonline.com.
- [2]: www.scribd.com.
- [4] : www.lewebpedagogique.com
- [6] : www.enna.dz
- [7] : www.helico.org.
- [19] : www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/rd/programs/globsar/glsarmain_f.html
- [17] : www.radartutorial.eu.

Références bibliographiques

- [3] : Ivan Torreadrado. « Préparation de navigation ». Réf. Aéroclub Besançon la vèze. 29/08/2013.
- [5] : Karine Deschinrel. « Régulation du trafic aérien par optimisation dynamique des prix d'utilisation du réseau ». Thèse de doctorat de l'école nationale supérieure de l'aéronautique et de l'espace. Le 8/11/ 2001.
- [8] : M. Richard Alligier. « Apprentissage artificiel appliqué à la prévision de trajectoire d'avion ». Thèse de doctorat de l'institut national polytechnique de Toulouse. Le 13 /11/ 2014.
- [9] : Khamassi Seif Eddine, Chebbi Aymen. « Etude théorique des radars de contrôle aérien ». Projet de fin d'étude de l'université virtuelle de Tunis. 2010/2011.
- [10] : Philippe Goy. « Détection d'obstacles et de cibles de collision par un radar FMCW aéroporté ». Thèse de doctorat de l'université de Toulouse. Le 18 /11/2012.
- [11] : Djedoui Nacira, Boukern Dounya. « Étude et réalisation d'un radar de détection ». Mémoire de l'université d'Aboubakr Belkaid-Tlemcen. Le 19/06/2017.
- [12] : Seksaf Abdeldjabar. « Optimisation du seuil de détection dans les systèmes distribués CFAR par essaims de particules(OEP) ». Mémoire de l'université Mohamed Khider-Biskra. Le 22/10/2015.
- [13] : Bezzahi Abdelhakim, Beddazekri Abdelbasset. « Etude d'un radar secondaire mono pulse en utilisant la technique de suppression améliorée des lobes secondaires à interrogation ». Mémoire de l'université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued. Le 26/05/2016.
- [14] : Achachi Abdelali. « Modélisation d'un radar secondaire pour un trafic aérien ». Thèse de doctorat de l'université El Hadj Lakhdar-Batna. Le 02/03/2010.
- [15] : Krattou Mohamed Riad. « Etude de la détection radar dans un milieu homogène ». Mémoire de l'université Aboubekr Belkaid-Tlemcen. Le 2013/2013.
- [16] : Leila, Baadi Sahra. « Étude et simulation d'un système radar ». Mémoire de l'université de Kasdi Merbah-Ouagla. Le 25/05/2017.
- [18] : Hadj Sahraoui Omar. « Principe du radar à synthèse d'ouverture RSO & simulation d'une chaîne d'acquisition d'image radar ». Conférence. Science of electronic, technologie of information and télécommunication. Tunisie. Le 27/31/2005.
- [20] : Virginie Amberg. « Analyse de scènes péri-urbaines à partir de l'image radar haute résolution ». Thèse de doctorat de l'université de Toulouse. Le 10/11/2005.

[21] : Tarita Laura_Lonela. « Traitement des images RSO interférométriques à haute résolution Spatiale pour la surveillance des barrages et digues par télédétection radar ». Mémoire. Grenoble 2011.

Résumé

Le secteur aérien présente un besoin de surveillance et de sauvegarde qui concerne la sécurité des vies dans l'air et la lutte contre le trafic illégal, pour cela des conditions et méthodes de navigations aérienne ainsi que des instruments de radionavigation qui assure la sécurité du décollage et de l'atterrissage ont été mise en place en suivant des techniques précises, afin d'assurer cette fonction l'espace aérien est organiser sous forme de routes aériennes, classes et secteurs aériens.

Parmi les moyens développés pour assurer la surveillance aérienne, le radar est une solution incontournable de localisation de cible en temps réel, détectant tous les obstacles aux alentours même dans des mauvaises conditions de visibilité, d'entre les radar les plus utilisé dans les secteurs aériens, le radar synthèse d'ouverture (RSO) qui sonde les trajectoires vers le sol ou la mer des avions et des satellites. Le traitement informatique des données successives provenant du même secteur permet de simuler la résolution d'une très grande antenne, de nombreuses fois plus fine que celle de l'antenne utilisée ainsi que sa capacité d'atteindre une vitesse théorique maximale d'émission et réception.

L'objet de ce mémoire c'est d'optimiser d'un système de navigation aérienne par radar RSO, afin de pouvoir réaliser une meilleure détection mais malheureusement les moyens de travail non pas étai mis à notre disposition vue l'indisponibilité du radar synthèse d'ouverture à l'aéroport de Bejaia et pour cela on a réaliser une animation sur une image vu du ciel de Bejaia sur l'aéroport en expliquant le contact entre le radar et l'avion.

Mots clés

Navigation aérienne, Radar, radionavigation, RSO « radar à synthèse d'ouverture ».

Introduction générale

Chapitre I : Généralités sur la navigation aérienne.

Chapitre II : Etude des radars.

Chapitre III : Proposition d'un système de navigation avec radar RSO.

Conclusion générale
