

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira de Bejaia



Faculté de la Technologie



Département d'Automatique, Télécommunication et d'Electronique

Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : **Télécommunications**

Spécialités : **Systems de Télécommunication**

& Réseaux et Télécommunication

Thème

**Etude de système de contrôle du trafic aérien à l'aéroport
de Bejaia (Soummam Abane Remdan)**

Réalisé par :

- HAMMACHE Kenza
- GAMOURI Kamilia

Encadré par :

Mr HADJI SLIMANE

Examiné par :

- Mr Berrah
- Mr Kasmî

Année universitaire : 2022/2023

Remerciements

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

Nous remercions chaleureusement toutes la famille Aéronautique de l'ENNA de l'aérodrome de BEJAIA, en particulier *Mr LALOU D* le directeur de la sécurité Aérienne.

Nos remerciements les plus distingués à *Mme AISSSAT .S*, le responsable du service technique de la navigation et ses collègues *Mr MEDAHL*, *Mr BEKETACHE H*, et *Mr DJAOUD* ainsi que le contrôleur d'avion *Mr IDIR M*.

Nous tenons à remercier sincèrement *Mr HADJI SLIMANE*, notre encadreur, qu'était toujours à l'écoute et disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire,

Nos sincères et chaleureux remerciements à *Mme HAMZAOUI*, pour son aide, et aux membres du jury *Mr BERRAH* et *Mr KASMI*, qui ont aimablement accepté de nous honorer en lisant ce mémoire pour évaluer et apprécier notre travail.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenues et encouragées au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous.

Dédicace

Je dédie ce travail à :

*Mes parents, et le dévouement dont ils font preuve. A ma famille et chers amis(es),
et à tous ceux qui me sont chers.*

H. Kenza

Dédicace

Je tiens à dédier ce modeste travail :

A mes chers parents pour leurs amour, soutient et encouragement durant ces années d'études, qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mes frères, à ma sœur, à ma famille aimante,

A mes professeurs gardiens du savoir et à tous ceux qui me sont chers.

G. Kamilia

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale

Chapitre 1 : Présentation de l'aérodrome ENNA

| | |
|--|----------|
| 1.1 Introduction | 1 |
| 1.2 Présentation de l'établissement national de la navigation aérienne (ENNA) | 1 |
| 1.2.1 Historique | 1 |
| 1.2.2 Présentation de L'ENNA | 2 |
| 1.3 Les principales missions de l'ENNA | 3 |
| 1.4 L'organisation de l'ENNA | 4 |
| 1.5 Les différents services | 4 |
| 1.5.1 Service Circulation Aérienne | 5 |
| 1.5.2 Service Administratif | 6 |
| 1.5.3 Service de Sécurité et la Lutte contre les Incendie (SSLI) | 6 |
| 1.5.4 Service Technique | 7 |
| 1.6 Conclusion | 8 |

Chapitre 2 : Système de contrôle du trafic aérien ATC

| | |
|---|-----------|
| 2.1 Introduction | 10 |
| 2.2 Circulation aérienne | 10 |
| 2.3 Contrôle de trafic aérien ATC | 11 |
| 2.3.1 Définition | 11 |
| 2.3.2 Les services de circulation aérienne | 11 |
| 2.4 Les méthodes de contrôle | 12 |
| 2.4.1 Le contrôle Radar [20] | 12 |
| 2.4.2 Le contrôle aux procédures | 13 |
| 2.5 Les outils de travail de contrôle en route | 13 |
| 2.5.1 Le Strip [19] | 13 |
| 2.5.2 Le radar | 13 |
| 2.5.3 La radiotéléphonie [11] | 14 |
| 2.6 Les systèmes de radionavigation | 15 |
| 2.6.1 Présentation | 15 |
| 2.6.2 Description des équipements | 15 |
| 2.7 Système de télécommunication | 30 |
| 2.7.1 Présentation | 30 |
| 2.7.2 Les équipements de télécommunication | 30 |
| 2.8 Système de navigation par satellites | 35 |
| 2.8.1 Définition | 35 |
| 2.8.2 Description des différents systèmes | 35 |
| 2.9 Le système de communication anticollision TCAS | 37 |

| | |
|--|-----------|
| 2.9.1 Présentation de système..... | 37 |
| 2.9.2 Description technique du TCAS II | 37 |
| 2.10 Conclusion | 38 |

Chapitre 3 : Conception et simulation d'une antenne VHF Ground plane

| | |
|---|-----------|
| 3.1 Introduction | 40 |
| 3.2 Notions générales d'une antenne..... | 40 |
| 3.3 Les principaux paramètres d'une antenne..... | 42 |
| 3.3.1 Le coefficient de réflexion S11 | 42 |
| 3.3.2 Diagramme de rayonnement | 42 |
| 3.3.3 Bande de fréquences d'utilisation | 44 |
| 3.3.4 Bande passante [65] | 44 |
| 3.3.5 Formes et dimensions des antennes | 44 |
| 3.3.6 Polarisation..... | 44 |
| 3.3.7 Le Gain et la directivité | 45 |
| 3.4 Les types d'antenne..... | 46 |
| 3.5 Les différentes sortes d'antenne..... | 46 |
| 3.5.1 Les antennes filaires | 47 |
| 3.5.2 Les antennes patches..... | 48 |
| 3.5.3 Les antennes à ouverture (cornet) | 48 |
| 3.5.4 Les antennes à réflecteurs | 48 |
| 3.6 Les antennes omnidirectionnelles..... | 49 |
| 3.7 La présentation du logiciel CST STUDIO SUITE | 51 |
| 3.8 L'antenne ground plane VHF à radians inclinés | 52 |
| 3.8.1 Description de l'antenne..... | 52 |
| 3.8.2 La conception de l'antenne | 52 |
| 3.8.3 Modélisation de la structure | 53 |
| 3.9 Les résultats de simulation..... | 54 |
| 3.9.1 Le coefficient de réflexion..... | 54 |
| 3.9.2 Le ROS rapport d'onde stationnaire (VSWR)..... | 54 |
| 3.9.3 Le diagramme de rayonnement | 54 |
| 3.10 Effet des modifications de la structure sur la bande..... | 55 |
| 3.10.1 Les résultats pour L= 52 cm et r=1cm | 56 |
| 3.10.2 Les résultats pour L=51.5 cm et r=1cm | 58 |
| 3.11 Conclusion | 60 |

Conclusion générale

Bibliographie

Liste des figures

Chapitre 1 : Présentations de l'aérodrome ENNA

| | |
|---|---|
| Figure 1-1: La façade de l'aéroport de Bejaia..... | 2 |
| Figure 1-2 : Organigramme de l'Aéroport de Béjaia | 2 |
| Figure 1-3 : L'ENNA..... | 3 |
| Figure 1-4 : Organisation de l'ENNA..... | 4 |
| Figure 1-5 : Les équipements de la tour..... | 5 |
| Figure 1-6 : La tour..... | 6 |
| Figure 1-7 : Service de sauvetage de la lutte contre l'incendie | 6 |

Chapitre 2 : Système de contrôle du trafic aérien

| | |
|---|----|
| Figure 2-1 : Les routes aériennes en Algérie [11]..... | 10 |
| Figure 2-2 : Strip..... | 13 |
| Figure 2-3 : Le radar primaire [22] | 14 |
| Figure 2-4 : Le radar secondaire [22]..... | 14 |
| Figure 2-5 : Radiotéléphonie VHF [24]..... | 14 |
| Figure 2-6 : Station de l'aérodrome de BJA | 15 |
| Figure 2-7 : L'équipement de DME unidirectionnelle..... | 17 |
| Figure 2-8 : Antenne DME..... | 17 |
| Figure 2-9 : Fonctionnement du DME [3]..... | 18 |
| Figure 2-10 : Station ILS..... | 20 |
| Figure 2-11 : Antennes du Localizer..... | 20 |
| Figure 2-12 : Antenne du Glide | 21 |
| Figure 2-13 : Les Markers [32]..... | 21 |
| Figure 2-14 : La Baie ILS..... | 22 |
| Figure 2-15 : Le principe de LOC..... | 22 |
| Figure 2-16 : Le principe de Glide | 22 |
| Figure 2-17 : Architecteur de ILS..... | 23 |
| Figure 2-18 : Station VOR de l'aérodrome de Bejaia | 23 |
| Figure 2-19 : Transformateur abaisseur de la station VOR/DME..... | 24 |
| Figure 2-20 : boîte d'alimentation..... | 24 |
| Figure 2-21 : Système VOR et DME | 24 |
| Figure 2-22 : Système Radio Link..... | 25 |
| Figure 2-23 : Batteries de secours..... | 25 |

| | |
|--|----|
| <i>Figure 2-24 : Baie VOR.....</i> | 26 |
| <i>Figure 2-25 : Représentation schématique d'une installation VOR (avec DME adjoint) [35]</i> | 26 |
| <i>Figure 2-26 : Mesure de l'angle azimut [36].....</i> | 27 |
| <i>Figure 2-27 : Principe de la navigation en route du VOR [37].....</i> | 27 |
| <i>Figure 2-28 : Angle de phase dans différentes directions [38].....</i> | 27 |
| <i>Figure 2-29 : Modulation de la sous-porteuse et de la porteuse [37].....</i> | 28 |
| <i>Figure 2-30 : Spectre de fréquence du VOR [36].....</i> | 29 |
| <i>Figure 2-31 : Phase des 30 Hz en VORC [40].....</i> | 29 |
| <i>Figure 2-32 : Dipôle du champ.....</i> | 30 |
| <i>Figure 2-33 : Le pupitre d'exploitation.....</i> | 31 |
| <i>Figure 2-34 : Banc d'essai de la VHF</i> | 31 |
| <i>Figure 2-35 : L'Equipment le VCCS.....</i> | 32 |
| <i>Figure 2-36 : Le poste Operateur</i> | 32 |
| <i>Figure 2-37 : Alimentation</i> | 33 |
| <i>Figure 2-38 : Systèmes d'enregistrement des communications.....</i> | 33 |
| <i>Figure 2-39 : Baie radio HF.....</i> | 34 |
| <i>Figure 2-40 : Antenne VHF</i> | 34 |
| <i>Figure 2-41 : Architecture de système GPS [46].....</i> | 35 |
| <i>Figure 2-42 : Constellation du système GALILEO [50].....</i> | 36 |
| <i>Figure 2-43 : Utilisation des satellites dans la navigation aérienne [52].....</i> | 37 |
| Chapitre 3 : Conception et simulation d'une antenne VHF Ground plane | |
| <i>Figure 3-1 : Schéma illustratif de principe d'une antenne [59].....</i> | 41 |
| <i>Figure 3-2: Diagramme de rayonnement [62].....</i> | 42 |
| <i>Figure 3-3 : Diagramme en 03 dimensions [56].....</i> | 43 |
| <i>Figure 3-4 : Diagramme en coordonnées polaires [56].....</i> | 43 |
| <i>Figure 3-5 : Diagramme en coordonnées cartésiennes (échelle logarithmique) [56]</i> | 43 |
| <i>Figure 3-6 : Bande passante et coefficient de réflexion.....</i> | 44 |
| <i>Figure 3-7 : différent type de polarisation [70].....</i> | 45 |
| <i>Figure 3-8 : Différentes sortes d'antenne.....</i> | 46 |
| <i>Figure 3-9 : Antenne dipolaire [59].....</i> | 47 |
| <i>Figure 3-10 : L'antenne Yagi [74].....</i> | 47 |
| <i>Figure 3-11 : Antenne patch [73]</i> | 48 |
| <i>Figure 3-12 : Antenne cornet [72].....</i> | 48 |
| <i>Figure 3-13 : Schéma illustrant l'antenne parabolique [60].....</i> | 49 |

| | |
|---|-----------|
| <i>Figure 3-14 : Diagramme de rayonnement d'une antenne monopole $3\lambda/2$. [75].....</i> | <i>50</i> |
| <i>Figure 3-15 : Description de logiciel CST.....</i> | <i>51</i> |
| <i>Figure 3-16 : L'antenne Ground plane VHF avec 6 radians.....</i> | <i>52</i> |
| <i>Figure 3-17 : Antenne Ground plane.....</i> | <i>53</i> |
| <i>Figure 3-18 : Le coefficient de réflexion (S11).....</i> | <i>54</i> |
| <i>Figure 3-19 : Le rapport d'onde stationnaire (VSWR).....</i> | <i>54</i> |
| <i>Figure 3-20 : Le diagramme de rayonnement 2D du gain.....</i> | <i>55</i> |
| <i>Figure 3-21 : Le gain de l'antenne.....</i> | <i>55</i> |
| <i>Figure 3-22 : La directivité de l'antenne.....</i> | <i>55</i> |
| <i>Figure 3-23 : Le S11 pour différentes valeurs de L et R.....</i> | <i>56</i> |
| <i>Figure 3-24 : Le S11 à $f=117.9$.....</i> | <i>56</i> |
| <i>Figure 3-25 : Le VSWR à $f=117.9$.....</i> | <i>57</i> |
| <i>Figure 3-26 : Le diagramme de rayonnement 2D du gain.....</i> | <i>57</i> |
| <i>Figure 3-27 : Le gain à $f=117.8$.....</i> | <i>57</i> |
| <i>Figure 3-28 : La directivité à $f=117.8$.....</i> | <i>58</i> |
| <i>Figure 3-29 : Le diagramme de rayonnement 2D de la directivité.....</i> | <i>58</i> |
| <i>Figure 3-30 : Le S11 pour $f=118.7$.....</i> | <i>58</i> |
| <i>Figure 3-31 : Le VSWR à $f=118.7$.....</i> | <i>59</i> |
| <i>Figure 3-32 : Le gain.....</i> | <i>59</i> |
| <i>Figure 3-33 : La directivité.....</i> | <i>59</i> |
| <i>Figure 3-34 : Le schéma synoptique d'installation d'une antenne à Gouraya.....</i> | <i>60</i> |

Liste des tableaux

| | |
|---|-----------|
| <i>Tableau 3-1 : Paramètre des antennes avec leur notation et unité</i> | <i>45</i> |
| <i>Tableau 3-2 : Représentation la classification des antennes.....</i> | <i>46</i> |
| <i>Tableau 3-3 : Classification des antennes.....</i> | <i>46</i> |
| <i>Tableau 3-4 : Propriétés de l'antenne Ground plane à concevoir</i> | <i>53</i> |

Liste des abréviations

| <i>Abréviation</i> | <i>Signification</i> |
|---------------------------|--|
| <i>ACAS</i> | <i>Airborne alert and Collision Avoidance System</i> |
| <i>ACC</i> | <i>Area Control Center</i> |
| <i>ADF</i> | <i>Automatique Direction Finder</i> |
| <i>AIG</i> | <i>Audit Interne de Gestion</i> |
| <i>APP</i> | <i>Service Approach control office</i> |
| <i>ATM</i> | <i>Air Traffic Management</i> |
| <i>ATC</i> | <i>Air Traffic Control</i> |
| <i>AITA</i> | <i>Association International du Transport Aérien</i> |
| <i>CC</i> | <i>Cellule de Communication</i> |
| <i>CCR</i> | <i>centre de contrôle régional</i> |
| <i>CCV</i> | <i>Centre de Calibration en Vol</i> |
| <i>CQRENA</i> | <i>Centre de Qualification, de Recyclage et d'Expérimentation de la Navigation Aérienne.</i> |
| <i>CST</i> | <i>Computer Simulation Technology</i> |
| <i>DL</i> | <i>Direction de la Logistique.</i> |
| <i>DOD</i> | <i>Department Of Defense</i> |
| <i>DME</i> | <i>Distance Measuring Equipment</i> |
| <i>DSA</i> | <i>Directions de Sécurité Aéronautique</i> |
| <i>DDNA</i> | <i>Direction du Développement de la Navigation Aérienne</i> |
| <i>DENA</i> | <i>Direction de l'Exploitation de la Navigation Aérienne.</i> |
| <i>DTNA</i> | <i>Direction Technique de la Navigation Aérienne.</i> |
| <i>DRFC</i> | <i>Direction des Ressources, des Finances et de la Comptabilité.</i> |
| <i>DJRH</i> | <i>Direction Juridique et des Ressources Humaines</i> |
| <i>EGSA</i> | <i>Etablissement de Gestion des Services Aéroportuaires</i> |
| <i>ENNA</i> | <i>Etablissement National de la Navigation Aérienne</i> |
| <i>EPIC</i> | <i>Etablissement public Industriel commercial</i> |
| <i>IFR</i> | <i>Instrument Flight Rules</i> |
| <i>ILS</i> | <i>Instrument Landing System</i> |
| <i>IM</i> | <i>Inner Marker</i> |
| <i>IMC</i> | <i>Instrument Meteorological Conditions</i> |
| <i>IGT</i> | <i>Inspection Générale Technique</i> |
| <i>GLONASS</i> | <i>GLObalnaya Navigatsionnaya Spoutnikovaya Sistema</i> |
| <i>GNSS</i> | <i>Global Navigation Satellite System</i> |
| <i>GPS</i> | <i>Global Positioning System</i> |
| <i>IATA</i> | <i>International Air Transport Association</i> |
| <i>LCSU</i> | <i>Unité de contrôle d'état locale</i> |
| <i>MLS</i> | <i>Micro-ondes Landing System</i> |
| <i>MM</i> | <i>Medium Marker</i> |
| <i>NAVSTAR</i> | <i>Navigation System by Timing And Ranging</i> |

| | |
|--------------------|---|
| <i>NDB</i> | <i>Balise Non Directionnelle</i> |
| <i>OM</i> | <i>Outer Marker</i> |
| <i>ONM</i> | <i>Office National de la météorologie</i> |
| <i>OACI</i> | <i>Organisation de l'Aviation Civile Internationale</i> |
| <i>SIE</i> | <i>Sécurité Interne de l'Etablissement</i> |
| <i>TCAC</i> | <i>Traffic Collision Avoidance System</i> |
| <i>TWR</i> | <i>Aerodrome control ToWeR</i> |
| <i>VCCS</i> | <i>Voice Communication and Control System</i> |
| <i>VHF</i> | <i>Very High Frequency</i> |
| <i>VOR</i> | <i>VHF Ominidirectional Range</i> |
| <i>VSWR</i> | <i>voltage standing wave ratio</i> |

Introduction Générale

Introduction générale

La navigation est la science qui regroupe l'ensemble des techniques qui permettent de connaître la position d'un mobile ainsi que toutes autres informations concernant son déplacement dans l'espace [1]

La radionavigation est un type de navigation utilisant les propriétés des ondes radioélectriques. Elle nécessite des équipements extérieurs à l'avion, généralement des émetteurs placés au sol ou des satellites ainsi que des équipements embarqués à bord de l'aéronef, utilisant des ondes radio pour obtenir ou fournir des indications fiables sur la position de l'avion dans l'espace. [1]

La circulation aérienne est un domaine en évolution continue. Face à cette situation, les experts de l'aéronautique chargés d'élaborer les textes réglementaires régissant la circulation aérienne ont trouvé des mécanismes pour faire face à cette importante croissance.

Le contrôle du trafic aérien (ATC : Air Traffic Control) est un service rendu par des contrôleurs aériens aux aéronefs afin d'aider à l'exécution sûre, rapide et efficaces des vols. Le service est assuré dans les buts suivants :

- ✓ Prévenir les collisions entre aéronefs ou entre un aéronef et un obstacle
- ✓ Accélérer et ordonner la circulation aérienne

Dans le cadre de la réalisation de notre projet de fin d'étude, on a eu l'occasion d'effectuer un stage au sein de l'aéroport de Bejaia « SOUMMAM ABANE REMDAN », et plus précisément au service technique de navigation.

Cette formation nous a rapprochées des responsables du service technique et les contrôleurs. Une chose qui nous a permis de constater que ces derniers sont très inquiétés par les reliefs de Gouraya, qui empêche la communication avec l'avion, ce qui oblige les contrôleurs à recourir au radar d'Alger pour suivre l'avion à fin de dépasser cette montagne.

Ce problème, qui cause la coupure locale de la communication entre le pilote et les contrôleurs, nous a ramenées à chercher une solution.

Pour cela, nous avons proposé d'installer une antenne à Gouraya pour garantir la sécurité de l'avion et les passagers.

L'objectif de notre travail consistait à étudier les systèmes de contrôle de trafic aérien utilisé à l'aéroport de Bejaia, tel que les équipements de télécommunication et la radionavigation placée au sol.

Donc en plus, la proposition, la conception et la simulation d'une antenne omnidirectionnelle pour améliorer la communication entre l'avion et la tour de contrôle.

Par conséquent, notre mémoire est constitué de trois grandes parties :

- Présentation de l'aérodrome ENNA.
- Système de contrôle du trafic aérien ATC
- Conception et simulation d'une antenne VHF Ground plane

Dans le premier chapitre on a présenté l'aérodrome ENNA, l'établissement national de la navigation aérienne ainsi que ses missions et ses différents services.

Le deuxième chapitre est consacré aux généralités sur le contrôle de la circulation aérienne ATC. Il inclut aussi une explication des différents équipements de radionavigation et télécommunication : VOR, ILS, DME, NDB, VCC, VHFetc. Les différents systèmes de navigation par satellites : GPS GLONASS GALILIEO et GNSS. On termine ce chapitre par la description du système de communication anticollision TCAS.

Le troisième chapitre est partagé en deux parties :

- ✓ La première pour étudier les antennes (les caractéristiques et les types) et on parlera sur les antennes omnidirectionnelle.
- ✓ La deuxième est la conception et la simulation d'une antenne VHF Ground plane sous le logiciel CST Microwave Studio, pour garantir une communication locale sûre et continue.

Le mémoire a clôturé par une conclusion générale et perspective.

Chapitre 01

Présentation de l'aérodrome ENNA

Chapitre 1 : Présentation de l'aérodrome ENNA

1.1 Introduction

La navigation aérienne est l'ensemble des techniques permettant à un pilote d'aéronef de maîtriser ses déplacements. La navigation permet à l'aéronef de suivre une trajectoire appelée route aérienne

L'établissement national de la navigation aérienne (ENNA) se positionne en tant qu'acteur de Développement économique et social au niveau national et régional, contribuant à la croissance de l'économie et du transport aérienne en particulier. Une piste d'atterrissage est bordée de balises lumineuses. Ces dernier est un ensemble de marque fixe sur la piste d'atterrissage, qui permet au pilotes d'avion de suivre une route précise afin d'éviter tous danger au cours d'atterrissage.

La redondance des stations et équipements radioélectrique doit être à l'ordre du jour afin de répondre aux exigences réglementaires et de sécurité, ainsi que de préserver la vie humaine

1.2 Présentation de l'établissement national de la navigation aérienne (ENNA)

1.2.1 Historique

L'aéroport de Béjaia-Soummam-Abane-Ramdane [(code AITA "Association International du Transport Aérien " : BJA) ; (code OACI " Organisation de l'Aviation Civile Internationale : DAAE)] est un aéroport civil international ouvert à la circulation aérienne publique

Il desservant la ville de Béjaia et sa région (wilayas de Béjaia, Jijel et Tizi-Ouzou).L'aéroport est géré par l'EGSA d'Alger. [2]



Figure 1-1: La façade de l'aéroport de Bejaia

Il a été baptisé "Aéroport de Bejaia Soummam" entre 1982 et 1999, du nom du fleuve la Soummam qui se jette dans la Méditerranée à Béjaia. L'aéroport a été inauguré en 1982 pour les vols nationaux, et en 1993 pour les vols internationaux. Il été rebaptisé Aéroport Soummam-Abane-Ramdane en 1999, en hommage à l'homme politique algérien qui a joué un rôle essentiel dans l'histoire de la guerre d'indépendance algérienne. [2]

L'Aéroport de Béjaia est organisé comme suit :

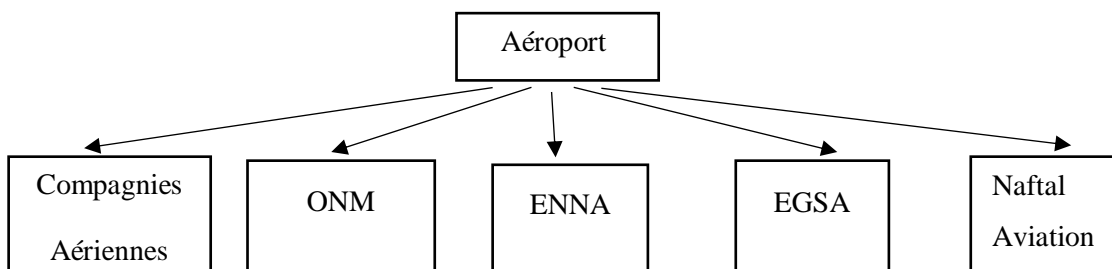


Figure 1-2 : Organigramme de l'Aéroport de Béjaia

EGSA : Etablissement de Gestion des Services Aéroportuaires

ONM : Office National de la météorologie

ENNA : Etablissement National de la Navigation Aérienne

1.2.2 Présentation de L'ENNA

L'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA) a été créé en 1991 après Réaménagement des statuts de l'entreprise nationale de l'exploitation de la sécurité aéronautique, transformé en sa nature juridique en établissement public à caractère industriel commercial (EPIC) doté de la personnalité moral et de l'autonomie financière. L'établissement est réputé commerçant dans ses relations avec le tiers soumis aux règles du droit commercial et il est placé sous la tutelle du ministère du transport.

L'Etablissement ENNA se situe à l'aérodrome de BEJAIA SOUMMAM ABANE REMDANE en bordure de mer et occupe la plaine alluvionnaire de l'embouchure sur la rive droite de l'ouest à 2.6 km et à 4.8 km au sud-ouest de Bejaia ville. [3]



Figure 1-3 : L'ENNA

1.3 Les principales missions de l'ENNA

L'établissement assure le service public de sécurité de la navigation aérienne, dont les activités principales sont : [4]

- La sécurité de la navigation aérienne dans l'espace aérien national ALGERIEN dans le Cadre d'accord International ainsi sur aux abords des aérodromes ouverts à la circulation Aérienne public.
- Assurer le service public de la sécurité de la navigation aérienne pour le compte et au nom de l'Etat
- Il est chargé de l'exploitation technique des aérodromes.
- Le contrôle de la circulation aérienne.
- L'information aéronautique et la diffusion des informations météorologiques nécessaires à la circulation aérienne publique.
- La gestion des moyens de communication aéronautique.
- Le sauvetage et la lutte contre les incendies aux aérodromes.
- Il gère le domaine aéronautique constitué par l'espace aérien, les terrains, les bâtiments et les installations nécessaire à l'accomplissement de sa mission.

1.4 L'organisation de l'ENNA

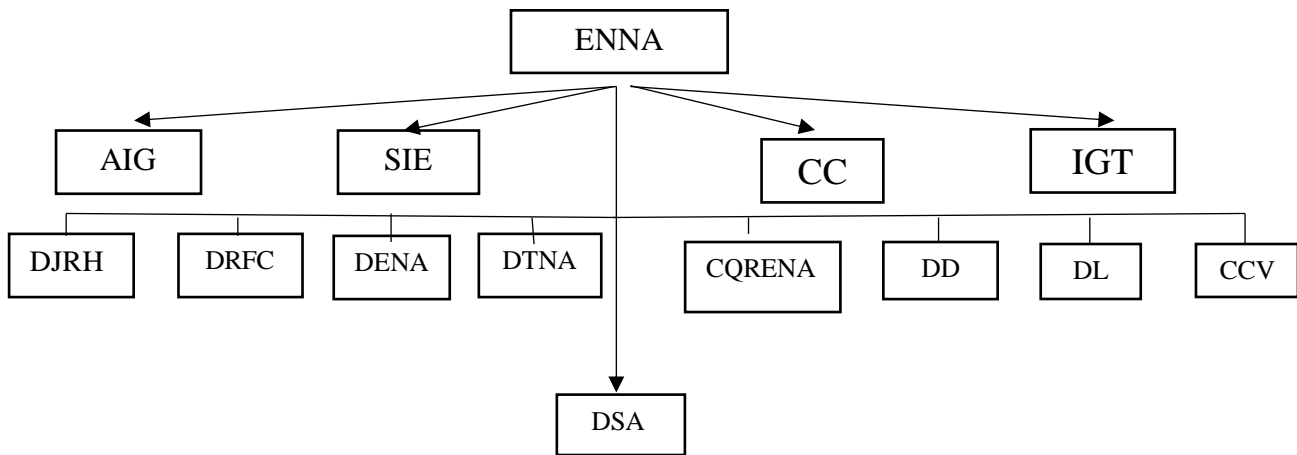


Figure 1-4 : Organisation de l'ENNA

AIG : Audit Interne de Gestion

SIE : Sécurité Interne de l'Établissement

CC : Cellule de Communication

IGT : Inspection Générale Technique

DJRH : Direction Juridique et des Ressources Humaines

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

DENA : Direction de l'Exploitation de la Navigation Aérienne

DTNA : Direction Technique de la Navigation Aérienne

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

DDNA : Direction du Développement de la Navigation Aérienne.

DL : Direction de la Logistique

CCV : Centre de Calibration en Vol

DSA : Directions de Sécurité Aéronautique

1.5 Les différents services

La direction ENNA de BEJAIA est implantée au niveau de l'aérodrome, représentée par le directeur de la Sécurité Aéronautique (DSA) avec quatre services répartis comme suit :

- Circulation aérienne
- Administration
- SSLI Service de Sécurité et la Lutte contre les Incendie.
- Service Technique

1.5.1 Service Circulation Aérienne

Il se compose de :

1.5.1.1 La tour de contrôle

La tour de contrôle est l'organe le plus visible de toute la chaîne dédiée au contrôle aérien. Elle dirige les avions au cours de leurs manœuvres d'atterrissage et de décollage ainsi que leurs cheminements sur les voies de circulation de l'aérodrome.

Elle gère le contrôle des avions en fonction des conditions météorologiques le choix des pistes à utiliser et l'activation des balisages lumineux au sol

La tour de contrôle est placée de manière à pouvoir suivre visuellement les évolutions des avions de circulation et sur les pistes. [5]

➤ **Les équipements de la tour de contrôle :**

A l'intérieur de la tour de contrôle, on trouve :

- Une VHF (Very High Frequency) très hautes fréquence,
- Deux microphones,
- Un pupitre de télécommande de la brillance de balisage,
- Un pupitre à courant continu, un gun light.



Figure 1-5 : Les équipements de la tour

A l'extérieur de la tour on trouve

- Antennes VHF,
- Un para foudre,
- Un phare tournant,
- Une sirène
- Et une photo cellule électrique pour feux d'obstacle tour.



Figure 1-6 : La tour

1.5.1.2 Bureau d'Information Aéronautique (BIA)

Le Bureau d'Information Aéronautique (BIA) traite les plans des vols, la gestion et la Publication de l'information aéronautique, la diffusion des messages d'urgence liés à la Sécurité aéronautique et le contrôle des documents pour le personnel navigants (pilots d'avions et hôtesses de l'air). [6]

1.5.2 Service Administratif

Le service est assuré par le directeur et l'assistance de la direction. Il se charge de la Gestion du personnel et des moyens, finance et comptabilité, œuvres sociales, projets, et de redevance aéronautique les différents atterrissages, il rend compte périodiquement de la situation à la direction générale dont le siège se trouve à ALGER. [6]

1.5.3 Service de Sécurité et la Lutte contre les Incendie (SSLI)

Ce service est capable de gérer une évacuation ou d'éteindre un début d'incendie. Pour mener à bien cette mission, les membres du service de lutte contre l'incendie doivent disposer des moyens nécessaires et avoir été formés.

Le service assure la lutte contre les incendies au niveau de l'aérodrome, le secours et le Sauvetage des passagers en cas d'incident dans un avion. Il est constitué de 03 camions citernes [7]



Figure 1-7 : Service de sauvetage de la lutte contre l'incendie

La mission du service de lutte contre l'incendie permet :

- Signaler les situations pouvant créer un risque d'incendie
- Appliquer les procédures d'avertissement et d'alarme ; mettre les personnes en sécurité (en attendant l'intervention des services de secours)
- Assurer un accès rapide aux services de secours et les diriger rapidement vers le lieu du sinistre.

1.5.4 Service Technique

Il comprend à son tour deux services qui sont :

- Service Radionavigation et télécommunication
- Service Energie et balisage.

1.5.4.1 Service Radionavigation et Télécommunication

Le service radionavigation est assuré par des électroniciens de la sécurité aérienne, Leur mission est l'installation des équipements de radionavigation, télécommunication et veiller à leur bon fonctionnement. [6]

La radionavigation est assurée par des équipements spécifiques dont on cite :

- La Balise Non Directionnelle (NDB)
- Very High Frequency Ominidirectional Range(VOR)
- Distance Measuring Equipment (DME)
- Instrument Landing System (ILS)
- et le Dipôle du champ.

Le service télécommunications est chargé essentiellement de l'installation et maintenance des équipements télécommunication et assure leurs bons fonctionnements. Les équipements sont répartis selon leurs installations comme suit : [8]

- **Les équipements de la tour :**
- **Les équipements de la salle radio :**
 - La baie VHF
 - Le VCCS (Voice Communication and Control System)
 - L'alimentation
 - Système d'enregistreur
 - La HF (High Frequency)
 - L'antenne avancée

1.5.4.2 Service énergie et balisage

Le service est assuré par des électrotechniciens de la sécurité aérienne, leur mission est l'installation et la maintenance de tous équipements d'énergie et balisage lumineux Aéroportuaire, et il veille au bon fonctionnement et à la continuité du service en cas de coupure d'énergie électrique. [9]

Le service est constitué des équipements suivants :

- Poste de transformation MT (Moyenne Tension), BT (Basse Tension) avec 02 Transformateur de puissance de 630 kVa, 30 kV / 400 V.
- Un central d'énergie avec 02 groupes électrogènes type KOMTSU de puissance De 300 kVa.
- Une armoire principale de comptage contient deux arrivées du poste de transformation MT / BT.
- Une armoire de distribution auxiliaire.
- 04 régulateurs (02 pour le balisage séries, 01 pour le Taxi Ways et 01 pour le PAPI).

1.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté l'établissement national de la navigation aérienne (ENNA) ainsi ses missions et ses différents services. Le chapitre suivant va se focaliser sur le contrôle de circulation ATC.

Chapitre 02

Systeme de contrôle du trafic aérien ATC

Chapitre 2 : Système de contrôle du trafic aérien ATC

2.1 Introduction

L'espace aérien est une ressource limitée qui est soumise à une forte demande dans certaines parties du monde. Afin d'assurer le respect des normes de sécurité imposant une séparation entre les avions évoluant, ce dernier est divisé en différents secteurs aériens, zones d'espace tridimensionnelles : à chaque secteur est affectée une équipe de contrôleurs aériens qui est responsable du respect de ces normes en temps réel : c'est le contrôle aérien (ATC, Air Traffic Control).

Ce chapitre a pour objectif de présenter le contrôle de circulation aérienne ATC, et la description des instruments de radionavigation et télécommunication, ainsi les systèmes de navigation par satellite

2.2 Circulation aérienne

La circulation aérienne représente l'ensemble des mouvements aériens de tous les aéronefs civils commerciaux et privés. Les besoins nés de la nature différente de ces vols ont nécessité la création de deux types de circulation aérienne afin de régler les problèmes de compatibilité de ces circulations. [10]

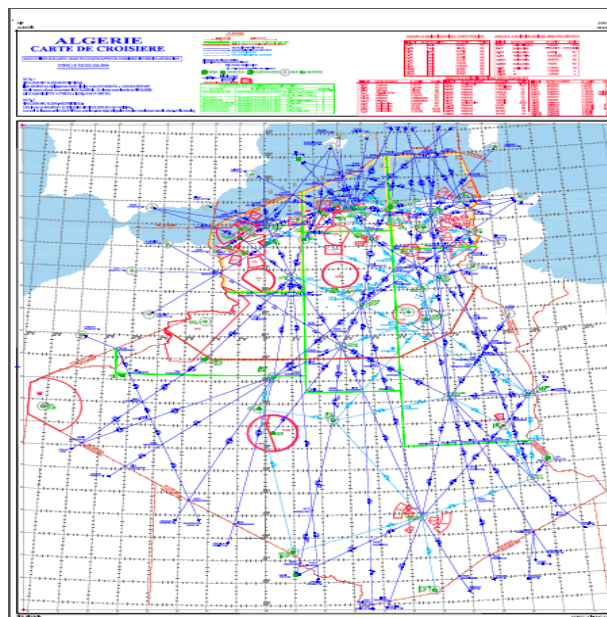


Figure 2-1 : Les routes aériennes en Algérie [11]

2.3 Contrôle de trafic aérien ATC

2.3.1 Définition

Le service de contrôle de la circulation aérienne ATC, est un service rendu par des contrôleurs aériens aux aéronefs afin d'aider à l'exécution sûre, rapide et efficace des vols. Il est l'un des trois services de la circulation aérienne prévus par la Convention de Chicago afin d'assurer la sécurité du transport aérien mondial, aux côtés de l'information de vol et de l'alerte. Le contrôle du trafic aérien obéit à des règles définies par l'Organisation de l'aviation civile internationale OACI, transposées dans le droit national par chaque pays membre. [12]

2.3.2 Les services de circulation aérienne

Les services de la circulation aérienne sont :

2.3.2.1 Le service de contrôle

Le service de contrôle est subdivisé en trois parties selon la phase du vol à laquelle il s'applique : [13]

- Aux aéroports, le contrôle de la circulation aérienne est normalement fourni par le contrôle d'aéroport, qui fonctionne à partir d'une tour de contrôle.
- Le contrôle d'approche (APP) est également fourni au voisinage des aéroports, mais il s'agit d'un service qui concerne principalement les vols exécutés selon un plan de vol conforme aux règles de vol aux instruments (IFR, Instrument Flight Rules) et dans des conditions météorologiques de vols aux instruments (IMC).
- Le contrôle régional (ACC) est fourni aux vols contrôlés lorsqu'ils sont dans leur phase de croisière et il est normalement assuré par un centre de contrôle régional (ACC).

2.3.2.1.1 Le contrôle d'aéroport

Il est assuré par la tour de contrôle TWR : cela consiste à garantir la sécurité et le respect des procédures dans les phases de décollage . d'atterrissage et de roulage pour empêcher les collisions sur l'aire de manoeuvres. Le contrôle d'aéroport peut se décomposer en deux parties (local et sol), voire une troisième (le pré vol) : [14]

- **Le contrôle local ou piste** qui contrôle l'utilisation de la piste, à l'atterrissage et au décollage, les évolutions des aéronefs en circuit d'aéroport et sur la piste à partir du point d'attente.
- **Le contrôle sol** qui contrôle les évolutions des avions au sol et des véhicules sur toute la plateforme.
- **Le pré vol** qui autorise la mise en route de l'appareil et donne les renseignements essentiels sur les paramètres, l'état de l'aéroport et de la circulation d'aéroport.

2.3.2.1.2 Le contrôle d'approche

Le service du contrôle d'approche assure le contrôle des trajectoires des aéronefs en vol IFR pendant les phases d'arrivées, d'approche et de départ. La fonction principale de ce service est de prévenir les abordages entre aéronefs et de gérer le flux du trafic aérien pendant les phases d'arrivée et de départ.

Le contrôle d'approche est un organisme de la circulation aérienne chargé d'assurer le trafic aérien au bénéfice des aéronefs dans les espaces aériens contrôlés au voisinage d'un aéroport. [15] [16]

2.3.2.1.3 Le contrôle régional

Il est assuré par le centre de contrôle régional CCR dont le rôle est de prévenir les abordages entre aéronefs, d'accélérer et de régulariser la circulation aérienne en phase de croisière [17]

2.3.2.2 Le service d'information au vol

Le service d'information de vol a pour fonction de délivrance de toute information utile à l'exécution sûre et efficace des vols tel que disposer durant le vol de renseignements concernant les conditions météorologiques sur le parcours, l'état des aéroports et des installations radioélectriques, l'information de l'évolution du trafic des autres aéronefs, la transmission de suggestions de manœuvres pour éviter les abordages ainsi que assurer le service d'alerte [18]

2.3.2.3 Le service d'alerte

Ce service a pour rôle de déclencher l'alerte des organismes de recherche et de sauvetage. L'alerte est fournie par tous les organismes de la circulation aérienne à tous les aéronefs qui se déclarent ou qui se trouvent en situation d'urgence [18]

2.4 Les méthodes de contrôle

On distingue deux types de contrôle : [19]

2.4.1 Le contrôle Radar [20]

Le contrôleur utilise le radar pour rendre trois services appelés « service radar »

- **Assistante radar** : fournit aux aéronefs des informations relatives à leurs positions et aux écarts par rapport à leur route.
- **Surveillance radar** : utilise le radar pour mieux connaître la position des aéronefs.
- **Guidage radar** : donne des caps aux aéronefs afin de leur faire suivre une trajectoire spécifiée.

2.4.2 Le contrôle aux procédures

Il consiste à la gestion des flux aériens, où le positionnement d'un appareil se fait à l'estime en se basant sur les informations des stations de radionavigation au sol. L'aéronef communique sa position relative au contrôleur par contact radio, ce dernier détermine ; grâce à l'aide de bande de progression de vol appelée « Strip » ; une image mentale du trafic.

2.5 Les outils de travail de contrôle en route

IL existe (03) trois outils principaux :

2.5.1 Le Strip [19]

Le Strip est une bande de papier (d'où son nom : Strip signifie "bande" en anglais) sur laquelle sont inscrites toutes les informations relatives au vol qui sont utiles pour le contrôleur et qui lui permettent de suivre l'évolution de ce vol, ce Strip est composé de trois parties :

- La case « informations générales » (identification du vol) à gauche ;
- La case « coordination et niveaux » (étapes de vol dans le secteur) au centre ;
- La case « route et archive » (itinéraire détaillé du vol) à droite.

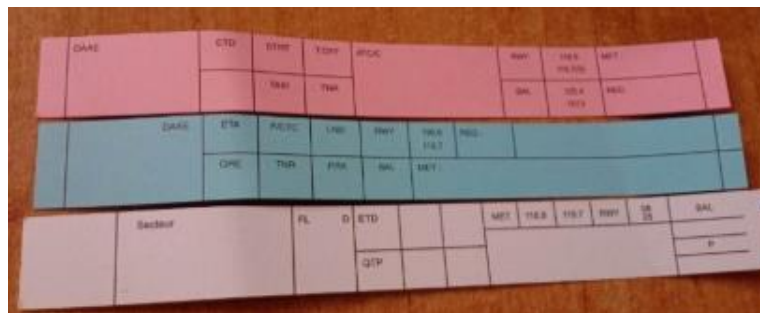


Figure 2-2 : Strip

2.5.2 Le radar

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, le radar n'existe pas dans tous les centres de contrôle. La plupart des petits aérodromes sont dépourvus d'écrans de visualisation radar.

Deux types de radar sont utilisés dans l'aviation civile :

➤ Les radars primaires émettent des signaux hyperfréquences qui sont réfléchis par les cibles. La cible illuminée par le radar primaire est toujours passive. Le modulateur élabore l'impulsion qui excitera l'émetteur pendant une durée prédéterminée de l'ordre de quelques microsecondes. L'émetteur du radar génère le signal hyperfréquence sous la forme d'une impulsion courte et de forte puissance, rayonnée dans l'air par le réflecteur. [21]



Figure 2-3 : Le radar primaire [22]

- le radar secondaire est le plus utilisé dans l'aviation civile, qui profite de l'identification des pistes et de la visualisation uniquement des vols pertinents.

Le radar secondaire fonctionne selon un principe différent : la cible qu'il éclaire génère les signaux de réponse. Il transmet des impulsions hyperfréquences. Celles-ci n'ont pas pour but d'être réfléchies, la cible étant équipée d'un transpondeur qui les reçoit et les traite. Ensuite, sur une fréquence différente, le transpondeur met en forme et émet un message de réponse qui peut être reçu et décodé par notre radar secondaire. [23]



Figure 2-4 : Le radar secondaire [22].

2.5.3 La radiotéléphonie [11]

La radiotéléphonie est le principal outil des contrôleurs. Le contrôle aérien utilise principalement des radiocommunications VHF, mais aussi parfois le contrôle océanique, des fréquences HF qui ont une plus longue portée. Les militaires utilisent aussi les fréquences UHF. La bande de fréquences VHF réservée à la communication vocale en aéronautique s'étend de 108 MHz à 137 MHz

Les communications sont enregistrées et conservées pendant en général un mois. Il est strictement interdit de communiquer sur une fréquence d'aviation sans être détenteur d'une licence de radiotéléphonie restreinte.



Figure 2-5 : Radiotéléphonie VHF [24]

2.6 Les systèmes de radionavigation

2.6.1 Présentation

La radionavigation est une technique de navigation utilisant des ondes radioélectriques pour déterminer sa position ou un lieu déterminé.

Un système de radionavigation est passif, le mobile déterminant sa position à partir des signaux reçus, sans émetteur à bord. Un système de radiolocalisation est un système actif avec transmission entre mobile et base, permettant le suivi d'un mobile depuis un poste central. [25]

Dans ce service on trouve les équipements suivant NDB, DME, VOR et ILS.

2.6.2 Description des équipements

Ce sont des équipements permettant de définir la position par des moyens radioélectriques

2.6.2.1 Balise Non Directionnelle NDB

Les balises NDB Non Directionnel Beacon sont parmi les plus vieux types d'aide à la navigation par onde radio. Une balise NDB est un radiophare non directionnel NDB, l'équivalent d'un phare dans la marine. Ce système utilise, à bord de l'avion, un récepteur radio ADF (automatic direction finder), qui permet de naviguer vers une station NDB et de suivre une route. [26]



Figure 2-6 : Station de l'aérodrome de BJA

Un ADF a beaucoup d'avantages : [26]

- Faible coût d'installation et d'entretien pour la station au sol.
- Avec l'installation peu coûteuse des NDB, beaucoup de petits aérodromes peuvent fournir des approches aux instruments IFR.
- Le NDB permet la navigation dans les régions non équipées de couverture VOR.

L'indicatif de NDB comporte généralement trois (03) lettres, à l'aérodrome de BEJAIA on aura (BJA) qui fait " Bravo Juliette Alpha". La portée de la balise est très grande (de l'ordre de 150 Nautical Miles / Mille Marin), il peut donc servir de moyen de navigation en route.

Le signal émis par le NDB suit la courbure de la terre, il peut donc être capté à de plus grande distances et à la plus basse altitude.

La plage de fréquence de NDB est 190 à 1750 kHz.

➤ **Le principe de fonctionnement de NDB**

Son principe de fonction est le suivant :

- **La station émettrice au sol [1]**

La station est composée de :

- Une antenne émettrice des signaux dit MORSE : l'émission est faite depuis la station balise de sol NDB pour être reçu par un récepteur de bord aéronefs traversant le paramètre du champ émis dans l'espace.
- Le mat qui est le support de l'antenne.
- Scheltes équipement de NDB de la station qui comprend une armoire d'alimentation de la balise, un chargeur de batterie, une armoire de réglage et de contrôle de courant et la tension de l'antenne de la station.

- **L'équipement à bord de l'avion [1]**

L'ADF reçoit les signaux de deux antennes de l'avion : l'antenne cadre et l'antenne de lever du doute. La tension induite par l'onde électromagnétique qui provient du NDB est captée par le cadre et acheminée vers le récepteur. Ce récepteur, à l'aide un système électronique, transmet la position du cadre à l'aiguille de l'ADF. L'antenne cadre indique la direction de la balise par rapport à l'axe de l'avion. Mais elle ne permet pas de déterminer si on se dirige ou si on s'éloigne d'une station NDB. L'antenne de lever de doute fournit cette information et aussi la réception audio lorsque la fonction ADF n'est pas requise.

- **Réception d'un signal du NDB [27]**

La porteuse de l'émetteur est émise en continu, seulement interrompue, à intervalles réguliers, par l'identification en code Morse de la balise Ceci permet de déterminer avec certitude l'origine du signal reçu.

2.6.2.2 Equipement de mesure de Distance DME

L'équipement de Mesure de Distance DME (Distance Measuring Equipment) a été défini dans le document OACI annexe 10, comme un système radio civil d'aide à la navigation aérienne avec couverture omnidirectionnelle à court et moyen distance, Un tel système est un type de radar secondaire qui permet la mesure à bord de la distance oblique entre un aéronef équipé et le point de référence d'une installation "sol" dûment sélectionné .

Le DME c'est un appareil de mesure de distance Oblique en NM entre l'avion et une station au sol, ainsi la vitesse sol de l'avion en nœuds et le temps pour rejoindre la station .DME fonction dans la gamme de fréquence UHF de 962 MHz à 1213 MHz et sa précision est de l'ordre de 0.2 NM, sa portée est optique et ne dépasse pas les 200 NM. [28] .Le DME, peut être associé au V.O.R ou I.L.S



Figure 2-7 : L'équipement de DME unidirectionnelle

➤ **L'avantage du DME**

- Il possède une précision ;
- Il est quasiment insensible aux perturbations atmosphériques

➤ **Les inconvénients du DME :**

- La distance fournie est une distance oblique (n'est pas la distance réelle).
- Il se sature aux environs d'une centaine d'avions (les avions en plus ne reçoivent pas d'information).



Figure 2-8 : Antenne DME

➤ **Description technique du DME**

La baie est constituée de :

- Deux transpondeurs
- Deux moniteurs
- Une alimentation électrique secteur, plus un système de batterie secours
- Unité de contrôle d'état locale (LCSU)

L'antenne du DME est une antenne polarisée verticalement, omnidirectionnel pour le DME de route et directionnel pour le DME d'approche.

➤ **Principe de calcul d'une distance**

La distance est déterminée en mesurant le retard de propagation d'une impulsion RF émise par le transmetteur de l'avion et reçue sur une fréquence de réception de la station au sol. L'intervalle de temps mesuré (T_m) qui s'écoule entre l'envoi de l'interrogation et la réception de la réponse fournit à l'aéroplane de l'information de distance réelle de la station de terre ; une telle information peut être lue directement sur l'indicateur de bord, du pilote ou du navigateur.

[28]

➤ $D = C \times t$ (II.1)

➤ $T_m = t_1 + t_2 + \Delta t$ (II.2)

Avec : $t_1 = t_2 = t$ \Rightarrow $T_m = 2 \times t + \Delta t$. (II.3)

\Rightarrow $t = \frac{T_m - \Delta t}{2}$ (II.4)

\Rightarrow $D = c \times \frac{T_m - \Delta t}{2}$ (II.5)

Avec :

- D : la distance
- $C = 3 \times 10^8$ m / s.
- $\Delta t = 50 \mu s = 50 \times 10^{-6}$ (retard systématique ou temps de traitement du signal).
- 1 NM = 1852 m.

\Rightarrow $D (m) = 150 (T_m (\mu s) - \Delta t)$ (II.6)

\Rightarrow $D (NM) = 0.0809 (T_m (\mu s) - \Delta t)$ (II.7)

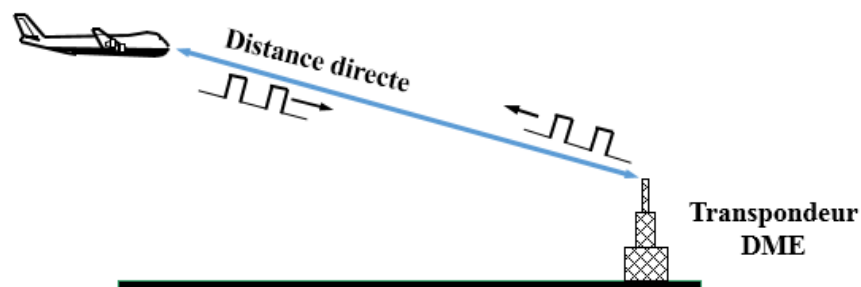
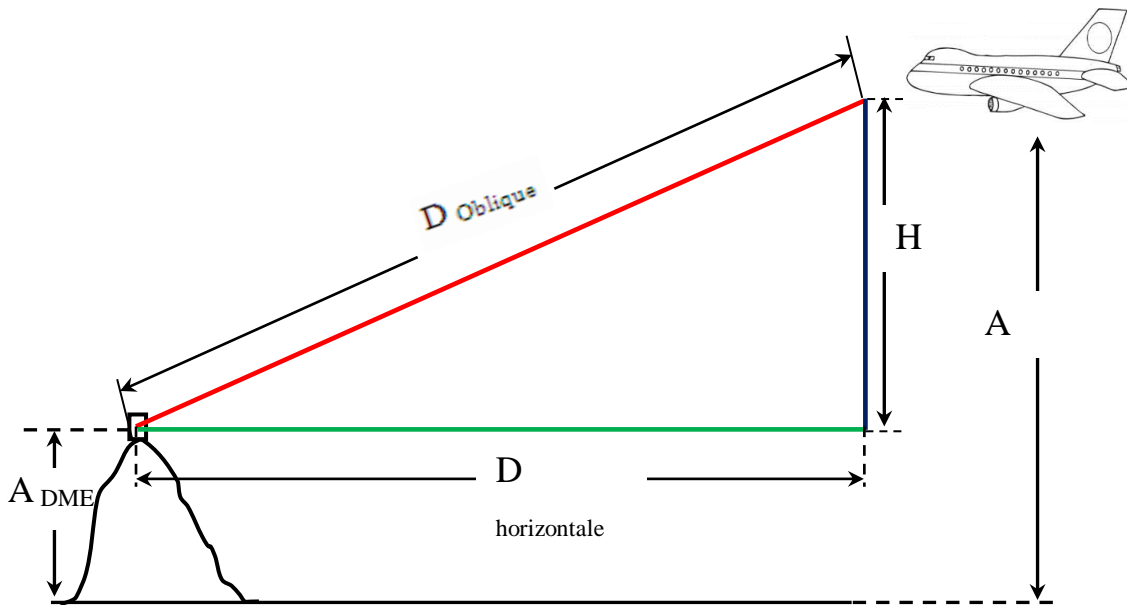


Figure 2-9 : Fonctionnement du DME [3]

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 transpondeur sol et d'un petit calcul.



- A_{Avion} : c'est l'altitude de l'avion.
- A_{DME} : c'est l'altitude de la station sol.
- H : c'est la différence entre l'altitude de l'avion et celle de la station sol

$$H = A_{\text{Avion}} - A_{\text{DME}} \quad (\text{II.8})$$

$$D_{\text{Ob}}^2 = H^2 + D_{\text{h}}^2 \quad (\text{II.9})$$

$$\Rightarrow D_{\text{h}} = \sqrt{D_{\text{Ob}}^2 - H^2} \quad (\text{II.10})$$

$$\Rightarrow D_{\text{h}} = (D_{\text{Ob}}^2 - H^2)^{1/2} \quad (\text{II.11})$$

$$\Rightarrow D_{\text{h}} = D_{\text{Ob}} \left[1 - \frac{H^2}{D_{\text{Ob}}^2} \right]^{1/2} \quad (\text{II.12})$$

$$\Rightarrow D_{\text{h}} = D_{\text{Ob}} \left[1 - \frac{H^2}{2D_{\text{Ob}}^2} \right]^{1/2} \quad (\text{II.13})$$

2.6.2.3 Système d'aide à l'atterrissage aux instruments ILS

Instrument Landing System (ILS) est un système automatique d'aide à l'atterrissage. Utilisé depuis 1947 pour des applications civiles, il fournit une aide à l'atterrissage lors d'approches en condition météorologiques dégradées. Il offre au pilote un guidage de précision dans les plans verticaux et horizontaux jusqu'au point d'impact sur la piste. [29]

ILS est utilisable uniquement en phase d'approche / atterrissage qui permet de donner l'axe de piste ainsi les lobes secondaires.



Figure 2-10 : Station ILS

L'ILS comprennent :

- **Un système de guidage horizontal appelé 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 [3].

Le Localizer fournit des informations de guidage dans le plan horizontal en émettant un faisceau radioélectrique grâce à un ensemble d'antennes dans le prolongement de l'axe de piste, permettant ainsi de fournir une indication d'écart horizontal par rapport à l'axe au pilote. La portée de ce faisceau doit être environ de 25 nm par rapport à l'antenne émettrice avec un angle d'ouverture de plus ou moins 10° en azimut et de 7° en site (par rapport à l'horizontale) [30]



Figure 2-11 : Antennes du Localizer

- **Un système de guidage vertical appelé GLIDE-PATH** : Un alignement de descente (Glide Path) : fournit les informations de navigation haut-bas au pilote en générant un plan de guidage qui fait un angle généralement de 3° avec le plan Horizontal. Il fonctionne dans une portion de la bande UHF comprise entre 328 - 336Mhz. [1]



Figure 2-12 : Antenne du Glide

- Des radiobalises d'alignement appelées MARKER BEACONS :
Une série de radiobalises incluant une balise extérieure OM, une balise intermédiaire MM et une balise intérieure IM. [1]
- **OM (Outer Marker)** : Indicatif sonore 2trait/seconde à 400Hz situé de 3.5 Nm du seuil de piste, il sert à contrôler le début du plan de descente et de l'altitude [31]
- **MM (Medium Marker)** : Indicatif sonore 1trait, 1 point/seconde à 1300Hz, situé de 1/2 à 2/3 Nm du seuil de piste. A ce point l'avion doit avoir une altitude de 200 ft environ au-dessus de l'altitude de la piste d'atterrissage, soit sensiblement la hauteur de décision d'un ILS de catégorie I. [31]
- **IM (Inner Marker)** : Indicatif sonore 6 points/seconde à 3000Hz et il est situé à 75 m du seuil de piste. Lorsqu'il existe il indique la hauteur de décision d'un ILS catégorie II [31]

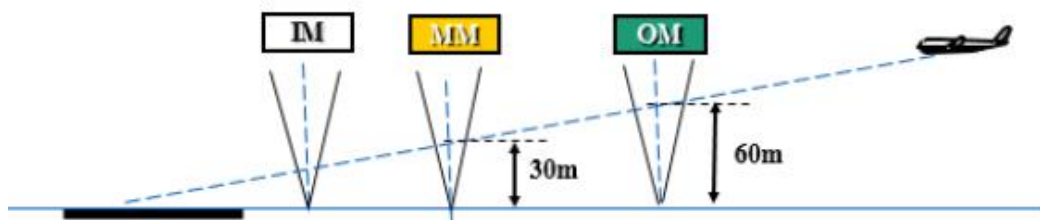


Figure 2-13 : Les Markers [32]

- Des lumières d'approche
- Un équipement de contrôle et de surveillance
- Des récepteurs de bord
- **Les équipements de l'ILS sont :**
 - Antenne dipôle de central ; qui donne l'axe de piste.

- Antenne dipôles, qui a un rôle important dans l'émission de faisceau Radioélectrique.
- Unité de distribution.
- Barre de réflecteurs.
- Feux d'obstacles.



Figure 2-14 : La Baie ILS

➤ Le principe général de LOC et GLIDE

LOC : Basé sur l'émission de deux signaux BF de 90Hz et 150Hz à l'aide de 2 diagrammes directifs A et B dépointés en azimut

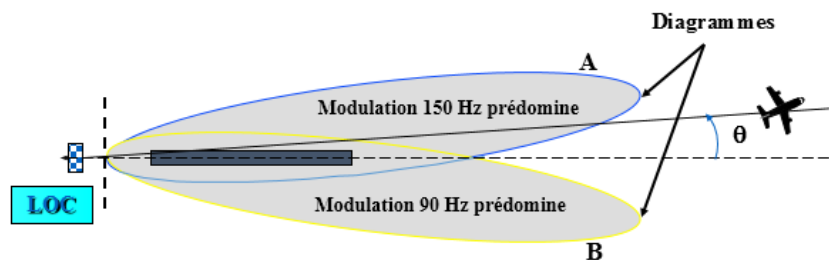


Figure 2-15 : Le principe de LOC

Le récepteur de bord détermine la Différence Des taux de Modulation (DDM) entre les taux de modulation des signaux 90Hz et 150Hz : cette DDM est une indication de l'écart par rapport au plan vertical pour le LOC et par rapport au plan oblique pour le Glide.

GLIDE : Basé sur l'émission de deux signaux BF de 90Hz et 150Hz à l'aide de 2 diagrammes directifs A et B dépointés en site

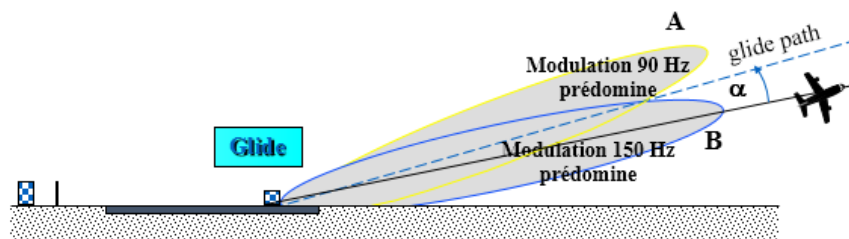


Figure 2-16 : Le principe de Glide

Le récepteur de bord détermine la Différence Des taux de Modulation (DDM) entre les taux de modulation des signaux 90Hz et 150Hz : cette DDM est une indication de l'écart par rapport au plan vertical pour le LOC et par rapport au plan oblique pour le Glide

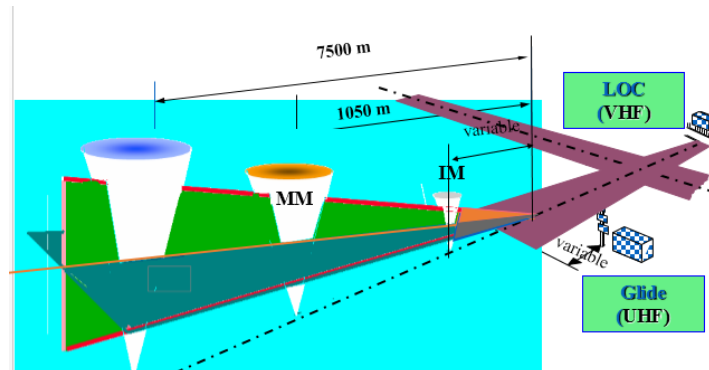


Figure 2-17 : Architecteur de ILS

2.6.2.4 Aligment Ominidirectional VHF VOR

VOR (VHF Omnidirectional Range) est un système de positionnement à courte et moyenne distance (<300 Nm) utilisé en navigation aérienne et fonctionnant dans la plage des fréquences VHF. Développé aux États-Unis à partir de 1937 et déployé en 1946, le VOR fut adopté par l'OACI dès 1960. [32]

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



Figure 2-18 : Station VOR de l'aérodrome de Bejaia

Le VOR définit 360 directions d'azimut compté positivement dans le sens des aiguilles d'une montre à partir de la direction du nord magnétique passant par la station. [33]

Un récepteur VOR permet de déterminer un relèvement magnétique par rapport à une station au sol, et donc le radial sur lequel le récepteur est situé. Par déduction, il permet de suivre n'importe quelle route passant par la station, ou même de déterminer la position exacte de l'avion en utilisant deux balises VOR (intersection de radiaux) ou un DME . [34]

Un récepteur VOR permet de déterminer un relèvement magnétique par rapport à une station au sol, et donc le radial sur lequel le récepteur est situé. Par déduction, il permet de suivre n'importe quelle route passant par la station, ou même de déterminer la position exacte de l'avion en utilisant deux balises VOR (intersection de radiaux) ou un DME . [34]

➤ **Description de la station VOR /DME**

La tension électrique fournie par la centrale électrique de l'aéroport est convertie à l'aide d'un transformateur abaisseur de tension 33 KV /220 V, qui assure l'alimentation de la station



Figure 2-19 : Transformateur abaisseur de la station VOR/DME

L'alimentation 220 V, entre phase et neutre, est gérée par l'armoire électrique qui distribue de l'électricité à tous les équipements de la station. Il y a aussi un groupe électrogène qui représente l'alimentation de secours et qui se démarre automatiquement après 15s de la coupure d'électricité.



Figure 2-20 : boîte d'alimentation

La station VOR/DME contient les équipements VOR, DME et un système de connexion radio (Radio Link) connecté avec le VOR et DME et assurant la transmission des informations à la salle technique de la tour de contrôle.



Figure 2-21 : Système VOR et DME



Figure 2-22 : Système Radio Link

On trouve aussi un ordinateur qui permet de gérer les équipements par des logiciels spécialisés (par exemple : le logiciel ADRACS qui permet de gérer l'équipement VOR). Chaque équipement est alimenté par son propre stabilisateur et par ses batteries de secours.



Figure 2-23 : Batteries de secours

Chaque équipement produit de la chaleur d'où la nécessité de la présence des climatiseurs. Concernant le système d'antenne est constitué de deux antennes omnidirectionnelles pour l'émission du signal référence, deux dipôles perpendiculaires pour l'émission du signal variable et un dipôle moniteur.

➤ Description technique du VOR

La plage de fréquence de VOR utilise la fréquence VHF, d'où son nom VHF Omnidirectionnel Range, sa fréquence est de 108 à 117.95 MHz, l'instrument de lecture fournit une information du relèvement Magnétique grâce aux signaux captés par le récepteur de bord. Le VOR est moins soumis aux perturbations extérieures, telles celle de l'ionosphère ou simplement les nuages. En effet, il est à portée radioélectrique que l'on évalue souvent en aviation grâce à la formule : [34]

$$\text{Portée(NM)} = 1.23 \times \sqrt{\text{hauteur(ft)}} \quad (\text{II.14})$$

Ou
$$\text{Portée (km)} = 4.1 \times \sqrt{\text{hauteur(m)}} \quad (\text{II.15})$$

Le VOR utilise une portion de bande VHF comprise entre 111,975 à 117,975Mhz, sa couverture peut atteindre un rayon de 200NM pour le VOR de route La constitution de la baie du VOR est la suivante :

- Deux ensembles émetteurs.
- Deux moniteurs.
- Une interface de communication locale /distance LRCL.
- Un système d'alimentation électrique 220V secourue par un réseau de batterie 48V.



Figure 2-24 : Baie VOR

➤ Description physique du système VOR/DME

Une station VOR au sol est principalement composée de :

- Un abri (Schelter) qui contient deux armoires une du VOR, et l'autre du DME pour le contrôle et le réglage des paramètres.
- D'une antenne DME qui donne la distance de l'aéronef par rapport à la station sol.
- D'une antenne VOR.
- Moniteur de champs, le dipôle du moniteur est monté sur un mat à une hauteur de 2 m

Au-dessus d'un contrepoids à une distance de 8 m par rapport au centre de l'antenne .Il s'agit d'un module passif constitué de l'antenne de dipôle et d'une distance de transmission.

- Les feux d'obstacles de couleur rouge.
- Un contrepoids

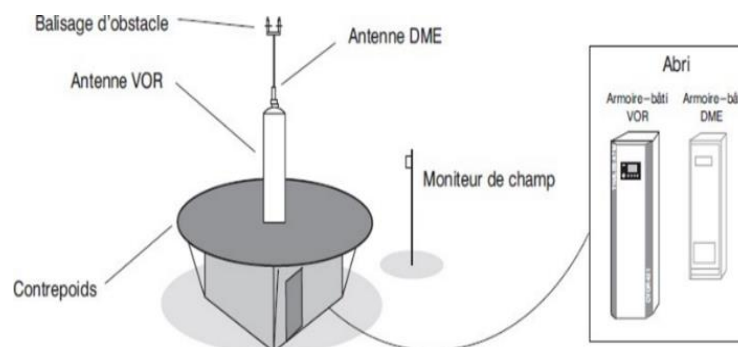


Figure 2-25 : Représentation schématique d'une installation VOR (avec DME adjoint) [35]

➤ Principe de fonctionnement du VOR

Le VOR est le système de mesure d'azimut normalisé par l'OACI pour la navigation Aérienne.

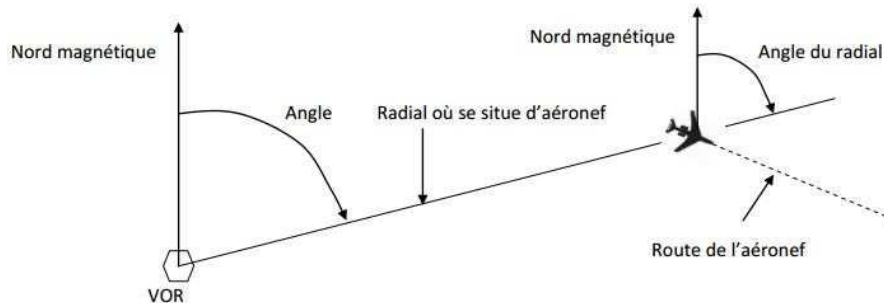


Figure 2-26 : Mesure de l'angle azimut [36]

Chaque avion n'a pas un chemin direct, mais il a besoin de caler sur des VOR pour arriver à la destination désirable.

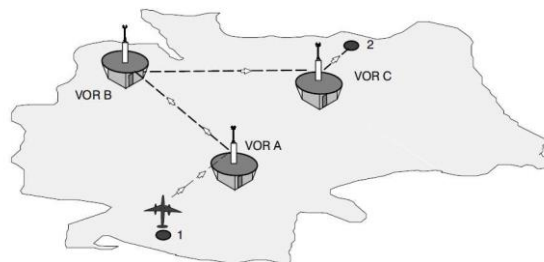


Figure 2-27 : Principe de la navigation en route du VOR [37]

Le principe selon lequel fonctionne le VOR repose sur la mesure de l'angle de phase de deux Signaux à 30 Hz émis par la station : [36]

- Un signal de 30 Hz (signal de référence) est émis avec la même phase dans toutes les Directions.
- Un signal à 30 Hz (signal variable), la phase en rapport avec le premier signal varie en fonction de l'azimut. L'angle de phase électrique mesuré par le récepteur embarqué correspond à l'angle d'azimut 35.

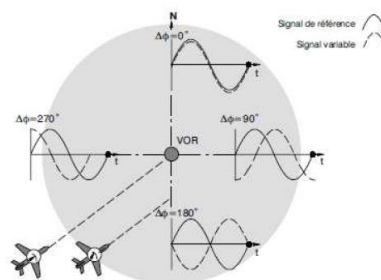


Figure 2-28 : Angle de phase dans différentes directions [38]

Le principe du VOR est de créer une émission dont la phase soit caractéristique de l'azimut par rapport à l'émetteur. Pour cela il émet une fréquence porteuse sur laquelle deux modulations distinctes de 30 Hz sont appliquées. Le fait d'avoir choisi la même fréquence de 30 Hz permet de faire une comparaison de phase entre les deux signaux informatifs. Pour distinguer à la réception la modulation Variable de la modulation Référence, l'une de ces fréquences sera transmise par l'intermédiaire d'une sous porteuse. [33]

- **Signal à phase fixe – REF** : Une sous-porteuse de 9960 Hz, est modulée en fréquence par un signal de 30 Hz. L'indice de modulation fixé par l'OACI étant de 16, la sous-porteuse module à son tour en amplitude une porteuse VHF rayonnée par un aérien dont le diagramme, dans un plan horizontal, est circulaire [37]

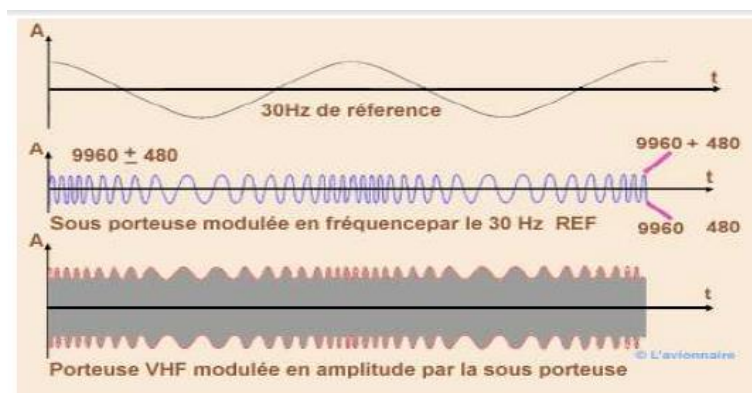


Figure 2-29 : Modulation de la sous-porteuse et de la porteuse [37]

- **Signal à phase variable – VAR** : Le 30 Hz variable également module la porteuse en amplitude et le taux de modulation est de 30 %. avec les raies spectrales -30 à +30 de part et d'autre de la porteuse [36]
- **Le spectre de lignes d'un VOR** : En résumé : la porteuse VHF est modulée en amplitude par une sous-porteuse, par l'indicatif de la station, par la phonie et par le signal variable.

Le spectre de lignes d'un VOR est illustré par la figure suivante. Il contient les fréquences Suivantes : [36]

- Modulation d'amplitude à 30 Hz
- Modulation d'amplitude à 9960 Hz avec modulation de fréquence à 30 Hz
- Modulation d'amplitude pour le signal vocal et le signal d'identification
- Porteuse

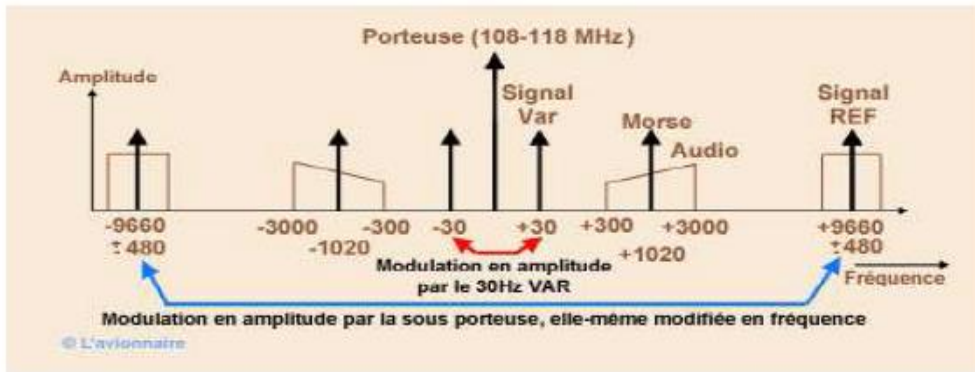


Figure 2-30 : Spectre de fréquence du VOR [36]

Au début des VOR le diagramme de ce signal était créé par un goniomètre rotatif, puis par un ensemble d'antennes tournantes. Actuellement quatre antennes fixes "tournent" électroniquement le diagramme. [39]

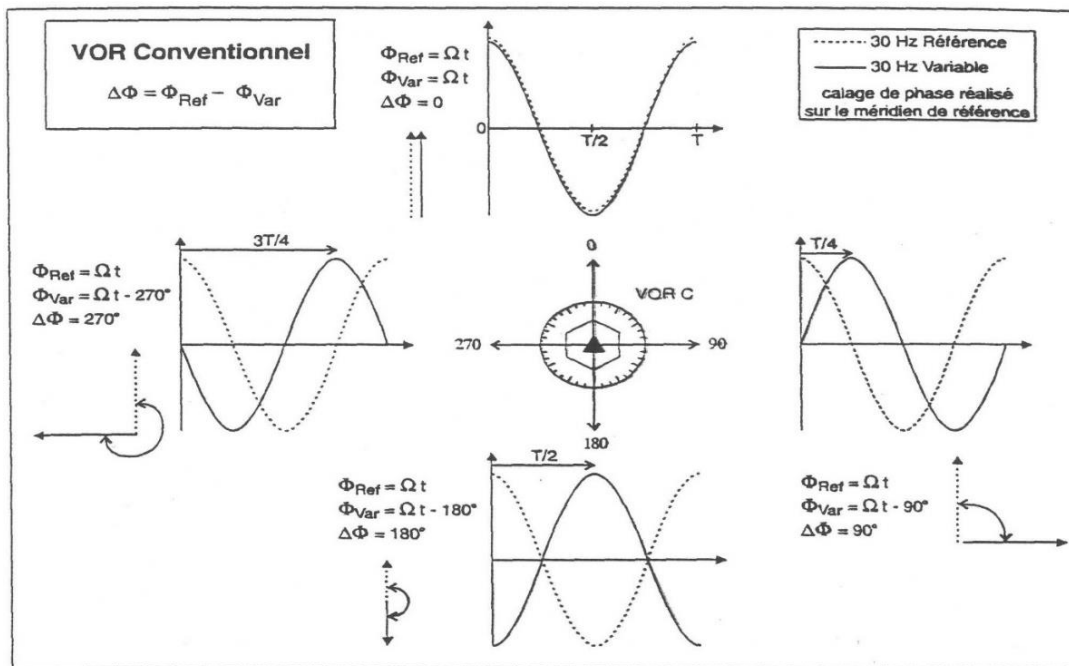


Figure 2-31 : Phase des 30 Hz en VORC [40]

Une de ces modulations a une phase indépendante de la position en azimut du récepteur, c'est la phase de référence. L'autre modulation a une phase dépendante de la position du récepteur par rapport à la balise, c'est la phase variable.

➤ **Les erreurs de VOR : [41]**

Les erreurs susceptibles d'exister dans un système VOR sont :

- les erreurs de la station sol (antenne, alimentation ...)
- les erreurs dues aux effets de polarisation
- les erreurs dues au site topographie du terrain, bâtiments aux environs etc
- les erreurs du récepteur

2.6.2.5 Dipôle des champs

C'est un dipôle de surveillance installé dans les champs proche de l'antenne ILS, et un sous-groupe passif .Il est installé sur l'axe de piste d'atterrissage à environs de 65 m devant l'antenne.

➤ Le rôle de dipôle du champ

Le dipôle des champs sert à surveiller l'axe directif. Le signal reçu par le dipôle est transmis à l'aide de câbles coaxiaux pour régler l'installation avec précision. Le poteau est équipé d'un feu d'obstacle.



Figure 2-32 : Dipôle du champ

2.7 Système de télécommunication

2.7.1 Présentation

Les télécommunications sont définies comme la transmission à distance d'informations avec des moyens à base d'électronique et d'informatique. Elle assure toute transmission, émission et réception à distance, de signes, de signaux, d'écrits, d'images, de sons ou de renseignements de toutes natures, par fil électrique, radioélectricité .Elle est devenu indispensable pour la transmission de l'information dans divers domaine tel que les aéroports et cela en utilisant des équipements électroniques associés à des réseaux analogiques ou numérique .[42]

2.7.2 Les équipements de télécommunication

Les équipements de télécommunication sont :

2.7.2.1 Les équipements de la tour :

2.7.2.1.1 Au niveau de la vigie

On retrouve le pupitre qui regroupe l'accessoire télécommunication (HP, micro main...) dans certains pupitres on trouve un poste operateur VCCS qui permet au contrôleur d'accéder à plusieurs fonction tel que le choix des fréquences



Figure 2-33 : Le pupitre d'exploitation

2.7.2.1.2 Au niveau de la salle radio

On retrouve

➤ **La baie VHF :**

Est utilisé dans la communication air-sol ou bien sol-air (pilot contrôleur) ainsi dans la radiotéléphonie entre le contrôleur-les agents d'intervention de la piste d'atterrissage. Et utilisée aussi pour des besoins de contrôle tour et approche composée de 02 émetteurs et 02 récepteurs séparés par des basculeurs. L'antenne VHF : est implanté au-dessus de la tour de contrôle, capte l'OEM (onde électromagnétique) qui porte l'information envoyer par le pilote vers les tours ou bien les agents du terrain vers la tour.

La bande de fréquence utilisée couvre : 118-137 MHz, elle est caractérisée par sa stabilité et sa fiabilité.



Figure 2-34 : Banc d'essai de la VHF

➤ **Le VCCS: (Voice Communication and Control System)**

C'est un système de contrôle et de commutation des voies. Le VCCS est un équipement à deux accès car il reçoit la téléphonie fixe et la radiophonie puis les convertit en signal numérique et cela par son convertisseur analogique-numérique .Il les transmis vers la boîte pour l'enregistrement sous signal numérique.



Figure 2-35 : L'Équipement le VCCS

Le commutateur automatique VCCS est structuré par les ensembles suivants ;

- L'équipement central qui a pour rôle de convertir toutes les communications analogiques en signaux numériques et en suite les affecté à leurs 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 visualisés au niveau de la visu et corrigé automatiquement par le système.
- Le poste opérateur



Figure 2-36 : Le poste Operateur

Le commutateur Automatique VCCS il gère toutes les communications analogique vocales sol/sol et sol/air, qui seront par la suite :

- L'équipement central :
 - filtrées et amplifiées
 - numérisées et contrôlés
 - commutées et dispatchées
- poste operateur : exploitées
- supervision : programmation, surveillance et contrôle du VCCS

➤ **L'alimentation :**

Elle alimente tout le matériel de télécommunication, secouru par des batteries pour assurer le fonctionnement permanent des équipements en cas de coupure du secteur.



Figure 2-37 : Alimentation

➤ **Système d'enregistreur**

Permet l'enregistrement et l'archivage de toutes les voies de communication (téléphonique ou radiophonique). Pour des raisons de sécurité. On trouve deux générations l'une est à base de bandes magnétiques, l'autre est informatisée offre plus de capacité et d'option d'enregistrement et d'archivage



Figure 2-38 : Systèmes d'enregistrement des communications

2.7.2.2 La HF

Elle est utilisée comme moyen de secours et pour couvrir les zones désertiques non couvertes par l'antenne avancée. La bande de fréquence utilisée est de 3-30 Mhz. Elle est caractérisée par sa très grande portée (ses ondes utilisent les couches ionosphériques pour se propager), mais pour la même raison elle est influencée par les changements climatiques.



Figure 2-39 : Baie radio HF

2.7.2.3 L'antenne avancée

C'est une station radioélectrique déportée qui assure la liaison radiotéléphonique air-sol, sol-sol. Exploiter ou télécommandé par le centre de contrôle régional via une platine d'exploitation Sa portée est de 200 NM.

L'antenne avancée est composée de deux émetteurs, deux récepteurs et deux télécommandes l'une à la station et l'autre au CCR relier par une liaison quatre files et une baie d'alimentation.

Les deux télécommandes assurent :

- **Sens CCR – antenne avancé**
 - Déport du signal BF émission (BF du contrôleur)
 - Déport du signal alterna
 - Déport du signal télécommande
- **Sens Antenne avancé – CCR**
 - Déport du signal BF réception (BF du pilote)
 - Déport du signal squelch
 - Déport du signal télésignalisation



Figure 2-40 : Antenne VHF

2.8 Système de navigation par satellites

2.8.1 Définition

Un satellite de télécommunication peut être considéré comme une sorte de relais hertzien. En effet, il ne s'occupe pas de la compréhension des données : ce n'est qu'un simple miroir. Son rôle est de régénérer le signal qu'il a reçu et de le retransmettre amplifié en fréquence à la station réceptrice. [43]

2.8.2 Description des différents systèmes

2.8.2.1 GPS

Le GPS (Global Positioning System) est un système de positionnement et de navigation mondial par satellites, de très grande précision, et développé à l'origine par les U.S.A pour de besoins militaires. [45]

Le principal précurseur du GPS fut le système TRANSIT, Ce système s'appuyait sur des satellites en orbite basse, à 1 100 km d'altitude, ce qui limitait fortement leur durée de visibilité par un récepteur utilisateur. [45]

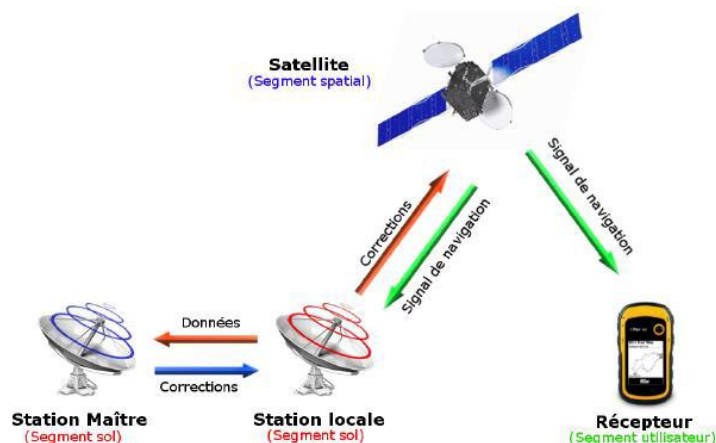


Figure 2-41 : Architecture de système GPS [46]

Le système GPS est actuellement le plus utilisé car il est gratuit, et permet une localisation avec une bonne précision. Il faut néanmoins rappeler que la qualité du signal peut volontairement être dégradée, voire coupée par les administrateurs du système. [47]

Le Système NAVSTAR (Navigation System by Timing And Ranging) plus communément connu sous le nom de GPS est un système de positionnement dans les trois dimensions (latitude, longitude, altitude), très précis et à couverture mondiale. Basé sur la réception de signaux émis par une constellation de satellites. [48]

2.8.2.2 GLONASS

GLONASS (GLObalnaya Navigatsionnaya Spoutnikovaya Sistema en russe) est un système de positionnement global par satellite développé par L'URSS dans le but de fournir la position ainsi la vitesse qui devait être utilisé pour les applications militaires et le guidage des missiles balistiques pendant la guerre froide et maintenu par la Russie depuis la chute de bloc soviétique. [49]

2.8.2.3 GALILEO

Est le système de positionnement par satellites initié par l'Union Européenne et l'Agence Spatiale Européenne dont le déploiement doit s'achever vers 2020. La nécessité d'un système de positionnement européen répond au besoin d'indépendance face au système GPS américain. Ce système novateur et performant, actuellement en phase de déploiement, supprime les restrictions du GPS tout en restant entièrement sous contrôle civil. Il est donc à la fois concurrent et complémentaire du GPS. En phase d'exploitation commerciale le système GALILEO sera composé à terme de 30 satellites dont 6 de rechange. [47]



Figure 2-42 : Constellation du système GALILEO [50]

2.8.2.4 GNSS

On appelle GNSS (Global Navigation Satellite System) l'ensemble des systèmes de positionnement par satellite en constellation basés sur l'émission des signaux satellitaires et fournissent une couverture mondiale. L'objectif d'un système GNSS est de fournir à un récepteur GNSS sa position, sa vitesse avec une très grande précision n'importe quand et n'importe où sur la surface de terre. Les applications des systèmes GNSS sont multiples. [51]

Le GNSS est utilisé dans les trois phases de vol : en route, en approche et en région terminale, ce système permet d'effectuer des vols sur toutes les trajectoires désirées en utilisant la position instantanée de l'aéronef indépendamment des aides radioélectriques installées au sol. Il est possible de réaliser des procédures d'approches de non précision GNSS en utilisant

la constellation GPS renforcée par un système d'intégrité interne au système de navigation de bord. Ce sont des procédures autonomes. [21]



Figure 2-43 : Utilisation des satellites dans la navigation aérienne [52]

2.9 Le système de communication anticollision TCAS

2.9.1 Présentation de système

Le TCAS (Traffic alert and Collision Avoidance System) également appelé ACAS (Airborne alert and Collision Avoidance System) selon l'OACI est un instrument de bord d'avion destiné à éviter les collisions en vol entre aéronefs. [53]. Il est utilisé comme un système supplémentaire qui informe l'équipage des collisions éventuelles et instruit des manœuvres d'évitement. Lorsque les deux avions sont équipés de TCAS, la coordination entre eux est faite de telle sorte qu'ils réagissent de la meilleure façon possible. [21]

2.9.2 Description technique du TCAS II

TCAS II se compose du transpondeur mode S avec un panneau de configuration, l'ordinateur TCAS qui assure la détection des menaces, la génération et la détermination de la manœuvre d'évitement.

Les antennes utilisées par le TCAS II est une antenne directionnelle qui est montée sur la partie supérieure et une autre antenne omnidirectionnelle montée sur la partie inférieure de l'avion. [54]

Une installation TCAC II est composée de : [55]

- D'une unité informatique chargée d'élaborer les informations de trafic et d'alerte.
- D'un panneau de commande couplé au transpondeur. Le niveau de capacité de fonctionnement du système TCAS est défini par le pilote à partir du panneau de commande.
- D'un ensemble d'au moins deux antennes directionnelles fonctionnant en UHF
- D'un générateur de message audio et visuel.

2.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons défini le ATC contrôle de la circulation aérienne compris ses services, méthodes de contrôle, et les outils de travail en route. Aussi on a évoqué quelques explications brèves des systèmes radionavigations et télécommunications.

Nous avons également mis l'accent sur le système de positionnement par satellites. Nous avons terminé notre chapitre par la description de système de communication anticollision.

Le chapitre suivant va aborder les antennes et leur caractéristique et type. Et on va modéliser l'antenne Ground plane VHF. Ainsi ce chapitre va contenir la présentation des résultats et des interprétations de simulation obtenus à l'aide de logiciel de simulation CST

Chapitre 03

Conception et simulation d'une antenne

Ground plane VHF

Chapitre 3 : Conception et simulation d'une antenne VHF Ground plane

3.1 Introduction

Pour remédier au problème de la zone d'ombre derrière la montagne de Gouraya, nous proposons dans ce chapitre la réalisation d'une antenne VHF Ground plane .Le chapitre est composé de deux parties. Dans la première, nous avons présenté les antennes avec leur caractéristique et ces types. Puis nous nous sommes focalisées sur les antennes omnidirectionnelles.

La deuxième partie, est consacrée à la conception d'une antenne omnidirectionnelle VHF de type ground plane. Ensuite nous avons apporté des modifications sur les paramètres de l'antenne, à l'aide d'un logiciel de simulation CST STUDIO SUITE. Dont le but d'améliorer les performances de ce dernier.

Partie 01

3.2 Notions générales d'une antenne

Une antenne est un dispositif qui convertit les ondes guidées en ondes rayonnement, et inversement. De nombreux paramètres peuvent caractériser l'antenne, tels que comme impédance d'entrée, coefficient de réflexion, directivité, gain, les diagrammes de rayonnement [56]. Et en radioélectricité, une antenne est un dispositif permettant de rayonner (émetteur) ou de capter (récepteur), les ondes électromagnétiques. Ses caractéristiques principales sont : Le rendement, coefficient de réflexion, gain, diagramme de rayonnement. Ces derniers influencent directement les performances de qualité et de portée du système [58].

Le rôle d'une antenne est de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportée par une onde électromagnétique (ou inversement). Une antenne d'émission est un dispositif qui permet de convertir un signal électrique localisé dans un circuit en une onde électromagnétique qui sera rayonnée dans l'espace environnant. [57]

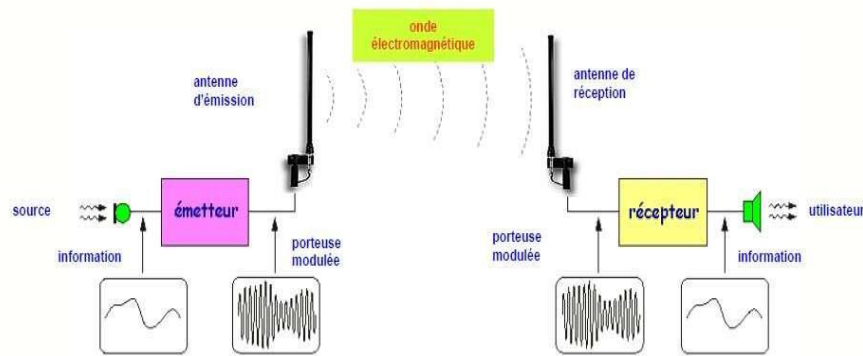


Figure 3-1 : Schéma illustratif de principe d'une antenne [59]

- Antenne d'émission :

Afin d'assurer la propagation dans l'air, il est nécessaire qu'un dispositif génère une onde rayonnée. Le rôle de l'antenne d'émission est de transformer la puissance électromagnétique guidée, issue d'un générateur en une puissance rayonnée. Dans ce sens, c'est un transducteur. [59]

- Antenne de réception :

De façon inverse, la puissance rayonnée peut être captée par une antenne de réception. Dans ce sens, l'antenne apparaît comme un capteur et un transformateur de puissance rayonnée en puissance électromagnétique guidée. Elle joue le même rôle qu'un télescope qui capte la lumière issue des étoiles et la transforme. [59]

- Réciprocité :

Dans la plupart des cas, une antenne peut être utilisée en réception ou en émission avec les mêmes propriétés rayonnantes. On dit que son fonctionnement est réciproque. Ceci est une conséquence du théorème de réciprocité.

Du fait de la réciprocité des antennes, il ne sera pratiquement jamais fait de différence entre le rayonnement en émission ou en réception. Les qualités qui seront annoncées pour une antenne le seront dans les deux modes de fonctionnement, sans que cela soit précisé dans la plupart des cas. [59]

3.3 Les principaux paramètres d'une antenne

Toute antenne peut être caractérisée par plusieurs paramètres fondamentaux, les principaux sont :

3.3.1 Le coefficient de réflexion S11

L'adaptation est un procédé qui permet à l'antenne, en émission par exemple, d'accepter le maximum de la puissance fournie par le générateur. Elle est caractérisée généralement par le paramètre S11 qui est le rapport entre l'onde incidente (P inc) appliquée à l'entrée de l'antenne et l'onde réfléchi (P ref) vers la source. Il s'exprime en fonction de l'impédance de sortie du générateur et l'impédance d'entrée de l'antenne. Ce paramètre permet de connaître la qualité d'adaptation d'une antenne. Il est jugé satisfaisant généralement à partir d'une valeur seuil de 0.1 en linéaire ou de -10 dB. Les expressions expriment la valeur de S11 en linéaire et en dB [61]

$$S11 = \frac{P_{ref}}{P_{inc}} \quad (\text{III.1})$$

$$S11 \text{ (dB)} = 10 \log \frac{P_{ref}}{P_{inc}} \quad (\text{III.2})$$

3.3.2 Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement est la représentation en polaire de la fonction caractéristique de l'antenne. Ce diagramme secondaire est constitué d'un lobe principal, des lobes et un lobe arrière. Il décrit le type de rayonnement de l'antenne, soit omnidirectionnel ou directif, tout en observant le lobe principal et le lobe arrière. Si ce dernier soit ouvert avec un angle qui s'approche à 180° on dit que l'antenne est pseudo-isotrope donc un rayonnement casé-omnidirectionnel, et si ce lobe soit ouvert avec un angle <90° on dit que l'antenne est plus ou moins directif. [61].

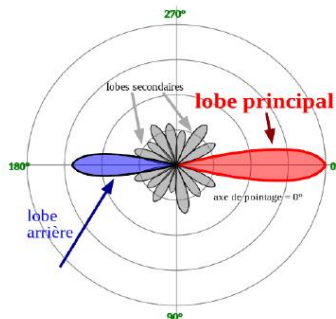


Figure 3-2: Diagramme de rayonnement [62]

Un lobe principal : C'est le lobe de rayonnement contenant le maximum d'énergie et la direction du maximum de rayonnement.

Un angle d'ouverture : C'est l'angle de direction pour lequel la puissance rayonnée est la moitié de la puissance rayonnée dans la direction la plus favorable. Plus cet angle est étroit plus l'antenne est directive.

Des lobes secondaires : Ils représentent le rayonnement de l'antenne dans les directions indésirables.

Un lobe arrière : C'est le lobe secondaire présent dans la direction opposé à 180° du lobe principal [63]

Différents types de représentation des diagrammes sont utilisées : [56]

- Représentation en trois dimensions qui donne une idée de la répartition de la puissance rayonnée dans l'espace.
- Représentation en coordonnées polaires dans des plans choisis,
- Représentation en coordonnées cartésiennes (échelle linéaire)
- Représentation en coordonnées cartésiennes (échelle logarithmique).

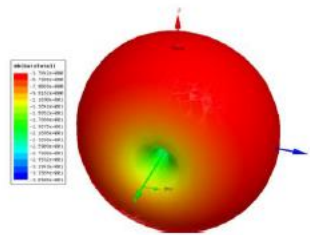


Figure 3-3 : Diagramme en 03 dimensions [56]

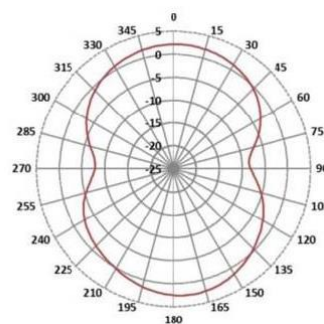


Figure 3-4 : Diagramme en coordonnées polaires [56]

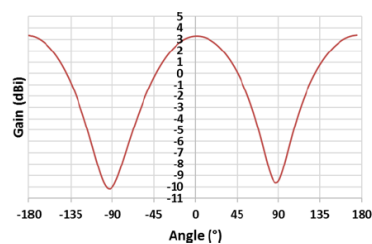


Figure 3-5 : Diagramme en coordonnées cartésiennes (échelle logarithmique) [56]

3.3.3 Bande de fréquences d'utilisation

L'antenne est un dipôle électrique qui se comporte comme un circuit résonnant. La fréquence de résonance de l'antenne dépend d'abord de ses dimensions mais aussi des éléments qui lui sont ajoutés. Par rapport à la fréquence de résonance centrale de l'antenne on peut tolérer un certain affaiblissement qui détermine la fréquence minimum et la fréquence maximum d'utilisation ; la différence entre ces deux fréquences est la bande passante. [64]

3.3.4 Bande passante [65]

La bande passante de l'antenne correspond à l'intervalle de fréquence d'utilisation de l'antenne en émission ou en réception avec une efficacité de 50% et plus. C'est un paramètre exprimé en pourcentage (%) et qui est donné par :

$$BP (\%) = [(f_2 - f_1) / f_c]. 100 \quad (\text{III.3})$$

La bande passante peut être définie en fonction du coefficient de réflexion, à condition que le diagramme de rayonnement ne change pas sur cette bande.

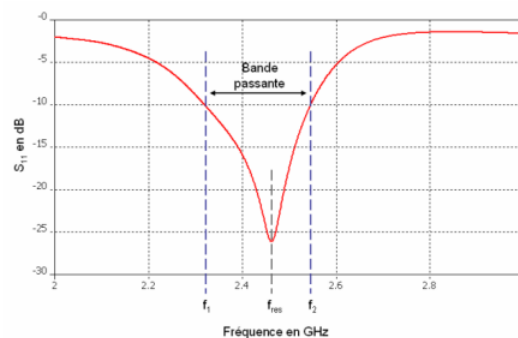


Figure 3-6 : Bande passante et coefficient de réflexion.

3.3.5 Formes et dimensions des antennes

La forme et les dimensions d'une antenne sont extrêmement variables : celle d'un téléphone portable se limite à une petite excroissance sur le boîtier de l'appareil tandis que la parabole du radiotélescope d'Arecibo dépasse 100 m de diamètre. Très grossièrement on peut dire que pour la même fréquence d'utilisation, les dimensions d'une antenne seront d'autant plus grandes que son gain sera élevé. L'antenne demi-onde, comme son nom l'indique, a une longueur presque égale à la moitié de la longueur d'onde pour laquelle elle a été fabriquée. [66]

3.3.6 Polarisation

La polarisation d'une antenne est celle du champ électrique E de l'onde qu'elle reçoit. Un dipôle demi-onde horizontal a donc une polarisation horizontale. Certaines antennes ont une

polarisation elliptique ou circulaire comme l'antenne hélice ou la double yagi dont les plans sont perpendiculaires. [67]

On définit la polarisation d'une onde électromagnétique comme la direction du champ électrique. Le rapport axial (RA) est principalement utilisé pour décrire la nature de polarisation des antennes [68] [69].

$RA \leq 3$ (dB) : Polarisation circulaire.

$3 < RA < 10$ (dB) : Polarisation elliptique.

$RA \gg 10$ (dB) : Polarisation linéaire.

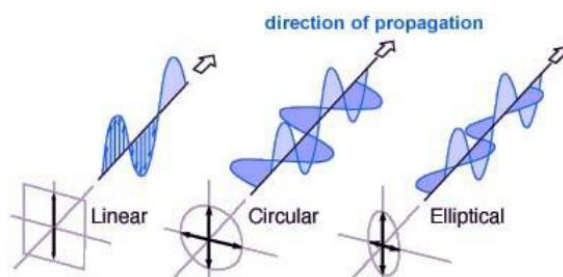


Figure 3-7 : différent type de polarisation [70]

3.3.7 Le Gain et la directivité

Le gain d'une antenne est le rapport entre la densité de puissance moyenne rayonnée par l'antenne dans la direction (θ_0, ϕ_0) et la densité de puissance à rayonnement isotrope, les deux antennes étant alimentées par la même puissance. C'est le rapport entre la directivité et le rendement énergétique de l'antenne [71]

Une directivité présente la concentration de l'énergie dans une direction privilégiée.

Tableau 3-1 : Paramètre des antennes avec leur notation et unité

| Paramètre | Notation | Unité |
|-------------------------------|----------------------|---------------------|
| Puissance fournie à l'antenne | PF | [W/m ²] |
| Puissance émise | PE | [W] |
| Puissance recue | PR | [W] |
| Directivité de l'antenne | D (θ, ϕ) | dB |
| Gain directif de l'antenne | G (θ, ϕ) | dB |
| Gain de l'antenne | G0 | dB |

3.4 Les types d'antenne

Les antennes sont réparties en plusieurs catégories selon la géométrie, le gain, la forme du faisceau, et la bande passante .on peut les classer comme selon :

Tableau 3-2 : Représentation la classification des antennes

| | |
|----------------------|--|
| la forme géométrique | -Antennes filaires : dipôle, boucle, spirale - Antennes à ouvertures : cornet, fente, antenne à réflecteur - Antennes imprimées : patch, dipôle, imprimée, spirale |
| Le gain | - Gain élevé : cornet - Gain moyen : planaire - Gain bas : dipôle, fente, patch |
| la forme du faisceau | Omnidirectionnelle : dipôle - Faisceau étroit : antenne réseau - Faisceau large : planaire |
| La largeur de bande | - Bande large : spirale - Bande étroite : patch, fente |

On peut les classé aussi selon la directivité

Tableau 3-3 : Classification des antennes

| | Caractéristique | Usage | Types d'antennes |
|------------------------------|---|-------------------------------------|----------------------|
| Antenne directives | Gain G0 élevé | Faisceaux hertziens | Antennes parabolique |
| Antennes omnidirectionnelles | -Gain plus ou moins constant dans le plan horizontal ou dans le secteur donné | -radio TV -communication mobiles | -Brin vertical |

3.5 Les différentes sortes d'antenne

On va voir les grandes familles d'antennes à l'origine de l'ensemble des structures rayonnantes : [72]

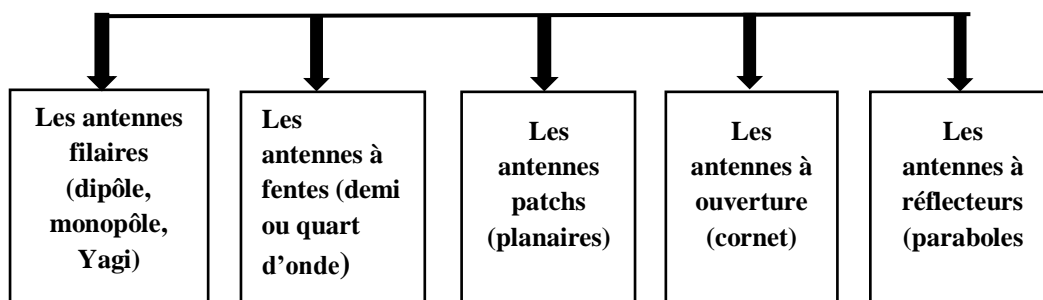


Figure 3-8 : Différentes sortes d'antenne.

3.5.1 Les antennes filaires

Les antennes filaires sont les antennes les plus courantes car elles sont les plus simples et les moins onéreuses on les voit partout sur les toits les avions les voitures. Etc., Parmi ces antennes : [72]

3.5.1.1 Antennes dipôles

Le dipôle est l'antenne de référence est constituée de deux 2 tiges cylindriques de diamètre fin, très courts et relie chacun à deux fils parallèles et très proches constituant une ligne bifilaire. Relier à un générateur alternatif en émission, à la réception cette ligne branchée sur le récepteur. [73][59]



Figure 3-9 : Antenne dipolaire [59]

3.5.1.2 L'antenne Yagi

Le dipôle est souvent utilisé en association avec des brins purement passifs qui permet de rendre le diagramme plus directif :

- Un brin réflecteur légèrement plus long que le brin actif ou une surface réflectrice
- Plusieurs brins directeurs un peu plus courts. [74]

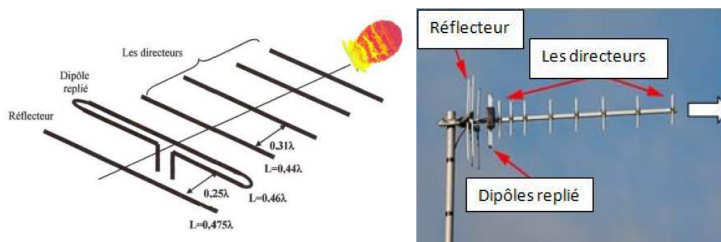


Figure 3-10 : L'antenne Yagi [74]

3.5.1.3 Les antennes à fentes

Le guide d'onde est le dispositif souvent utilisé dans la transmission de ce type d'antenne, ce dernier est très utilisé dans les avions ou les vaisseaux spatiaux car ils peuvent être facilement montés sur leurs surfaces. [59]

3.5.2 Les antennes patches

L'antenne imprimée, appelée aussi antenne patch est un type récent d'antenne constituée d'un diélectrique, possédant un plan de masse métallique sur une face. Sur l'autre face, une gravure métallique permet de supporter des courants de surface. L'avantage de l'antenne de patch est que les gravures des parties métalliques peuvent prendre des formes très variées en fonction de des objectifs fixés pour la répartition du rayonnement dans l'espace. Aussi le faible cout de fabrication. [59][73]

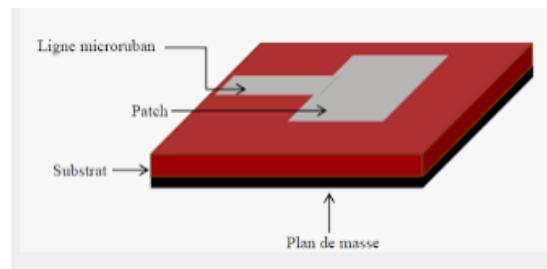


Figure 3-11 : Antenne patch [73]

3.5.3 Les antennes à ouverture (cornet)

Le guide d'onde rectangulaire est un dispositif très utilisé pour la propagation d'ondes guidées son utilisation est très répandue en hyperfréquence car il offre une qualité de transmission excellente en lui ajoutant un cornet la directivité du guide peut être considérablement augmentée. [72]

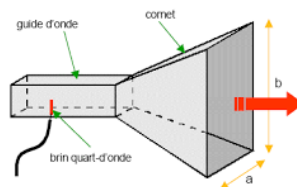


Figure 3-12 : Antenne cornet [72]

3.5.4 Les antennes à réflecteurs

Le besoin de la communication à très grandes distances augmente l'exigence d'élaborer des nouvelles formes d'antenne capables de transmettre et de recevoir des signaux à travers des millions de km.

Une forme nommée réflecteur parabolique constituée de la source d'émission à une partie métallique réfléchissante, reconnaissable par leur forme, parabolique à l'arrière et conique à l'avant du fait de la forme du radôme qui protège la source, placée au foyer. Cette forme répondue à ces besoins et considérée comme une des meilleures antennes directives est donc très utilisée au-delà de 1 GHz.

- L'onde se réfléchit sur la parabole et se concentre au foyer
- L'embouchure du guide d'onde est placée au voisinage du foyer
- Le diamètre du réflecteur parabolique est D. [59]

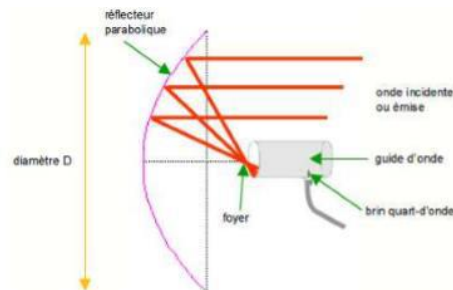


Figure 3-13 : Schéma illustrant l'antenne parabolique [60]

3.6 Les antennes omnidirectionnelles

En radiodiffusion, une antenne omnidirectionnelle est une classe d'antenne émettant une puissance radio égale dans toutes les directions perpendiculaires à un axe, d'une puissance variant selon l'angle par rapport à l'axe, diminuant à zéro sur l'axe. Lorsqu'on représente son diagramme de rayonnement en trois dimensions, on le décrit souvent comme un beignet. À noter la différence avec une antenne isotrope, qui émet une puissance égale dans toutes les directions et dont le diagramme de rayonnement est sphérique.

Les antennes omnidirectionnelles orientées verticalement sont largement utilisées dans les antennes non directionnelles à la surface terrestre, car elles rayonnent de manière égale dans toutes les directions horizontales, alors que la puissance rayonnée diminue avec l'angle d'élévation, de sorte que peu d'énergie radio est gaspillée en étant dirigée vers le ciel ou la terre. Les antennes omnidirectionnelles sont largement utilisées dans les antennes de radiodiffusion et dans les appareils mobiles utilisant la radio tels que les téléphones portables, les radios FM, les talkies-walkies, les réseaux informatiques sans fil, les téléphones sans fil, le GPS, ainsi que dans les stations de base communiquant avec les radios mobiles, tels que la police, les répartiteurs de taxi et les communications aériennes.[75]

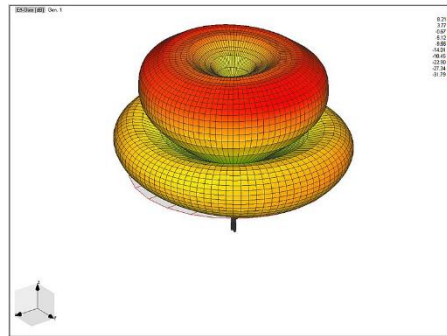


Figure 3-14 : Diagramme de rayonnement d'une antenne monopole $3\lambda/2$. [75]

On peut construire des antennes omnidirectionnelles à gain plus élevé. Un gain plus élevé signifie dans ce cas que l'antenne rayonne moins d'énergie dans les directions près de l'axe et plus d'énergie dans les directions horizontales. On réalise généralement les antennes omnidirectionnelles à gain élevé à l'aide de réseaux d'antennes colinéaires. Ceux-ci sont constitués de plusieurs antennes dipolaires montées culinairement alimentées en phase. [76]

➤ Les avantages et les inconvénients de l'Antenne omnidirectionnelle

Il est très facile d'installer des Antennes omnidirectionnelles. En raison des 360 degrés du plan horizontal, elle peut même être montée à l'envers à partir d'un plafond dans l'environnement intérieur. En outre, en raison de sa forme, il est très commode d'attacher ces Antennes au produit. Par exemple, vous pourriez voir des antennes Rubber Duck attachées aux points d'accès sans fil. Afin d'obtenir un gain omnidirectionnel sur une antenne isotrope, des lobes d'énergie sont enfoncés vers l'intérieur sur la partie supérieure et sur la partie inférieure et ils sont contraints en adoptant un modèle à anneau. Si vous continuez à exercer une pression sur les extrémités du ballon, on aboutit à un effet de crêpe avec une largeur de faisceau verticale très étroite, mais avec une grande couverture horizontale. Ce type de conception d'antenne peut fournir des distances très longues de transmissions, mais a un inconvénient qui est la pauvre couverture en-dessous de l'antenne [77]

Partie 02

Après avoir détaillé tout ce qui est théorique sur les antennes, nous allons appliquer ces informations pour concevoir une antenne Ground plane VHF à 118.9MHz sous le logiciel de conception CST Microwave Studio. Cette partie est organisée comme suit : Description de l'antenne, puis la présentation des résultants de simulation (le coefficient de réflexion S11, VSWR, et le diagramme de rayonnement), en fini par la présentation de l'effet de la modification de la structure de l'antenne pour avoir une meilleure adaptation.

3.7 La présentation du logiciel CST STUDIO SUITE

CST MICROWAVE STUDIO est un outil spécialisé pour la simulation 3D EM de composante haute fréquence, il permet une analyse rapide et précise des appareils haute fréquence tels que les antennes, les filtres, les coupleurs, les structures planes et multicouches.

Les utilisateurs de ce logiciel bénéficient d'une grande flexibilité pour aborder une large gamme d'applications grâce à la variété des technologies de solveurs disponibles celle son fonctionnement est basé sur la résolution des équations de Maxwell suivant la technique des équations intégrales. Cette méthode numérique offre une digitalisation de l'espace permettant la description directement en 3D de tous les composants des systèmes simulé, ce qui lui permet d'être une très bonne solution de nombreux problèmes électromagnétiques allant de la statique aux hyperfréquences [79].

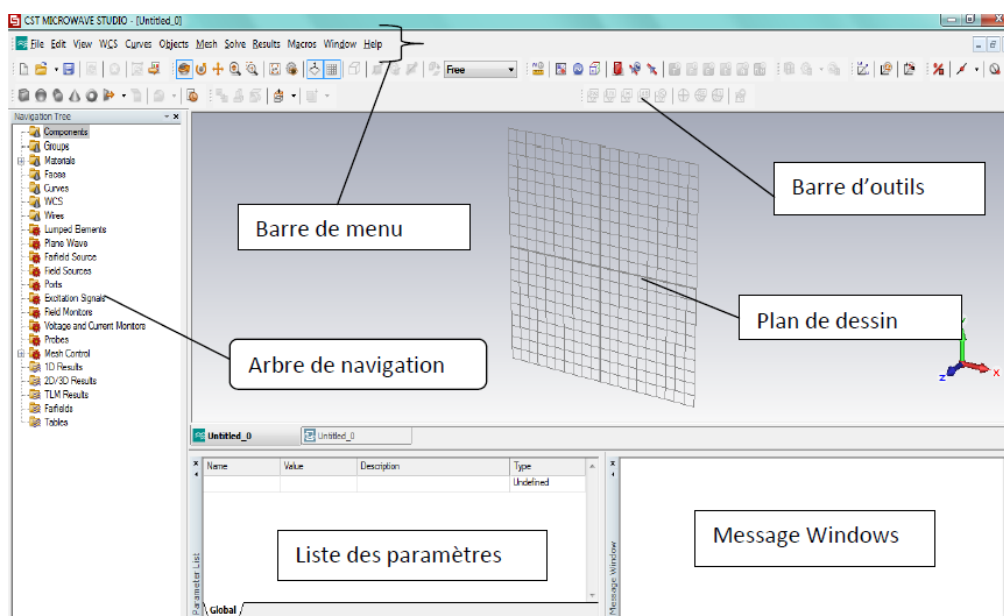


Figure 3-15 : Description de logiciel CST

Liste des paramètres : la liste de toutes les variables utilisées pendant la simulation. Où sont indiqué leurs valeurs, leurs descriptions et leurs types.

Le plan de dessin : le plan de travail sur lequel on dessine la structure en trois dimensions

La barre d'outils : un ensemble de raccourcis de la barre de menu.

L'arbre de navigation : une partie essentielle de l'interface d'utilisateur. On peut accéder aux éléments structuraux et aux résultats de simulation.

Message : donne le bilan de la simulation en nous informant sur chaque étape si elle est simulée avec succès ou dans le cas contraire elle nous signale des erreurs.

Les avantages se présentent pour ce logiciel, et qui résident dans les points suivants :

- Quelle que soit la technologie demandée, il y a une possibilité de traiter toutes sortes de structures homogènes et inhomogènes.
- Le logiciel exige des moyens informatiques importants.
- Les calculs nécessitent la résolution de systèmes matriciels de grandes dimensions.
- Il faut d'abord bien maîtriser le logiciel avant d'entamer le projet, surtout si ce projet contient des opérations compliquées, il s'agit de concevoir des structures n'ayant pas une forme géométrique bien déterminée. Aussi aux conditions aux limites pour éviter le conflit entre une surface de radiation et une surface conductrice

3.8 L'antenne ground plane VHF à radians inclinés

3.8.1 Description de l'antenne

L'antenne se compose d'un élément rayonnant qui est un quart d'onde vertical surmontant un plan de sol artificiel (ground plane) formé de six radians. C'est une variante de la ground plane à plan de sol horizontal. En inclinant les radians on peut ajuster l'impédance : plus les radians sont verticaux, plus l'impédance augmente ; avec un angle de 45° , l'impédance au point d'alimentation proche est de 50 ohms. L'antenne est omnidirectionnelle, la plupart du temps sur des fréquences supérieures à 20 MHz



Figure 3-16 : L'antenne Ground plane VHF avec 6 radians

3.8.2 La conception de l'antenne

L'antenne ground plane est composée d'un élément tubulaire vertical de longueur $L = 0.95 (\lambda/4)$ et de six radians inclinée de longueur $L = (\lambda \cdot 0.28) \cdot 0.95$ en fil de cuivre émaillé de diamètre 3 mm environ. Sur VHF/UHF : souder les quatre radians sur une platine en tôle de cuivre ou laiton d'épaisseur 3 ou 4 mm. Percer au centre de la platine un trou permettant la fixation d'une prise coaxiale robuste, souder sur l'âme de la prise un élément $\lambda/4$ taillé dans une tige de laiton diamètre 3mm

Tableau 3-4 : Propriétés de l'antenne Ground plane à concevoir

| | | |
|------------|---|---------|
| Dimensions | L (cm) la longueur de monopole | 59.9 cm |
| | R (cm) le rayon de monopole | 2.5cm |
| | l (cm) la longueur des relecteurs | 67.1cm |
| | r (cm) le rayon des réflecteurs | 0.3cm |
| | d (cm) la distance entre le monopole et le plane de sol | 3cm |

Calcule les paramètres de l'antenne :

$$F = 118.9 \text{ Mhz} \quad , \quad c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\text{La longueur d'onde :} \quad \lambda = c/F \quad (\text{III.4})$$

$$\Rightarrow \lambda = (3 \times 10^8) / (118.9 \times 10^6) = 2.52 \text{ m}$$

$$\text{La longueur de monopole :} \quad L = (\lambda/4) \times 0.95 \quad (\text{III.5})$$

$$\Rightarrow L = 0.599 \text{ mètre} = 59.9 \text{ cm}$$

$$\text{La longueur des relecteurs :} \quad l = (\lambda/0.28) \times 0.95 \quad (\text{III.6})$$

$$\Rightarrow l = 0.671 \text{ mètre} = 67.1 \text{ cm}$$

3.8.3 Modélisation de la structure

Voici l'illustration de l'antenne Ground plane VHF sous logiciel CST

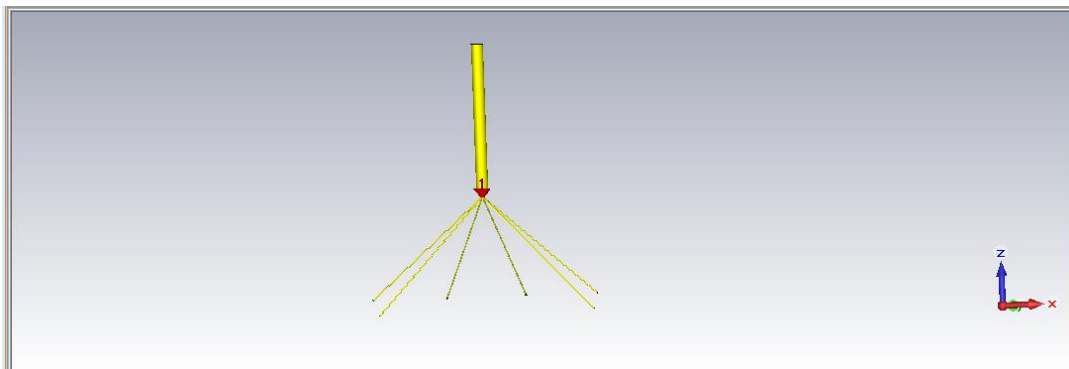


Figure 3-17 : Antenne Ground plane

3.9 Les résultats de simulation

Les résultats de simulation obtenus sont présentés ci-dessus :

3.9.1 Le coefficient de réflexion

Visualisation de S11

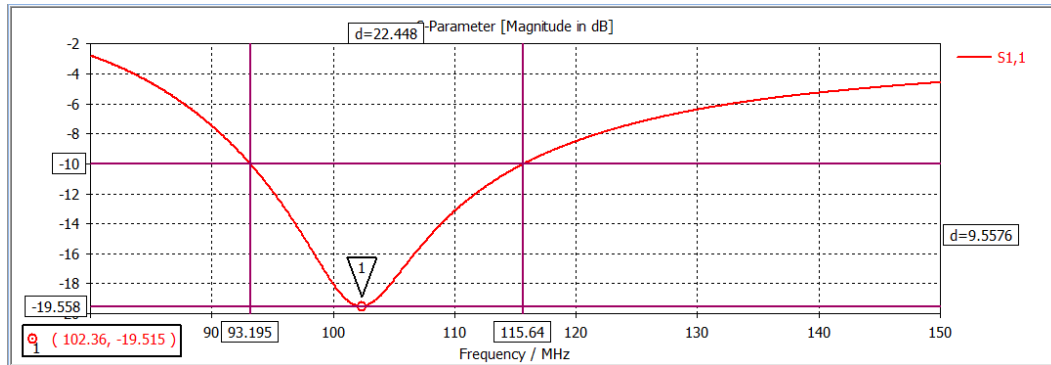


Figure 3-18 : Le coefficient de réflexion (S11)

La figure (3-18) présente la variation de coefficient de réflexion S11 à l'entrée de l'antenne en fonction de la fréquence dans la bande [93.2-115.6] MHz .On remarque qu'une adaptation de S11= -19.56 dB avec une bande passante de 219 KHz autour de la fréquence de résonance de (102.7 MHz) .

3.9.2 Le ROS rapport d'onde stationnaire (VSWR)

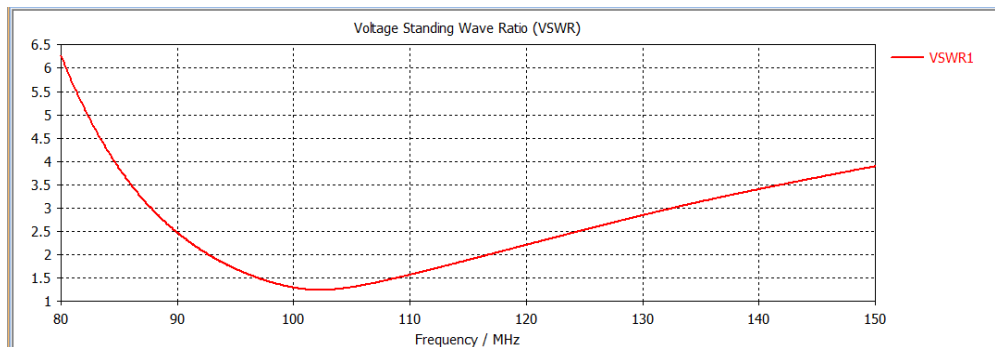


Figure 3-19 : Le rapport d'onde stationnaire (VSWR)

La figure (3-19) représente le rapport d'onde stationnaire (VSWR).On remarque que ce rapport est supérieur à 2 dB .Donc l'antenne n'est pas adapté.

3.9.3 Le diagramme de rayonnement

CST permet de visualiser les diagrammes de rayonnement de l'antenne simulée. C'est une représentation qui nous informe sur la directivité de l'antenne.

Les figures suivantes montrent les diagrammes de rayonnements 2D de notre simulation pour la fréquence de 103 MHz.

On remarque que la représentation polaire de notre antenne montre que cette antenne peut rayonner dans plusieurs directions où le diagramme de rayonnement est parfois omnidirectionnel.

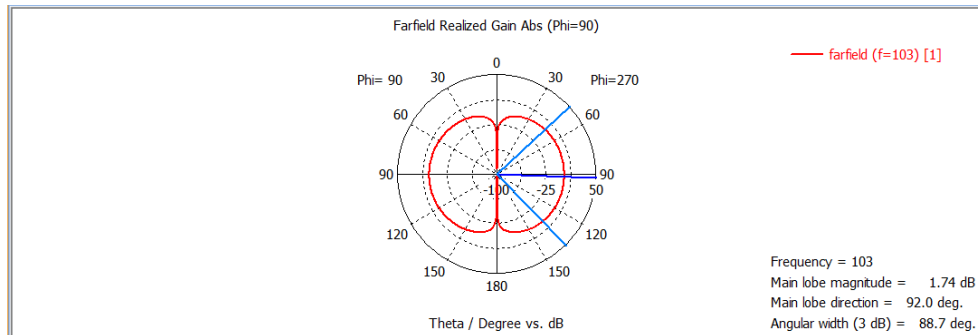


Figure 3-20 : Le diagramme de rayonnement 2D du gain

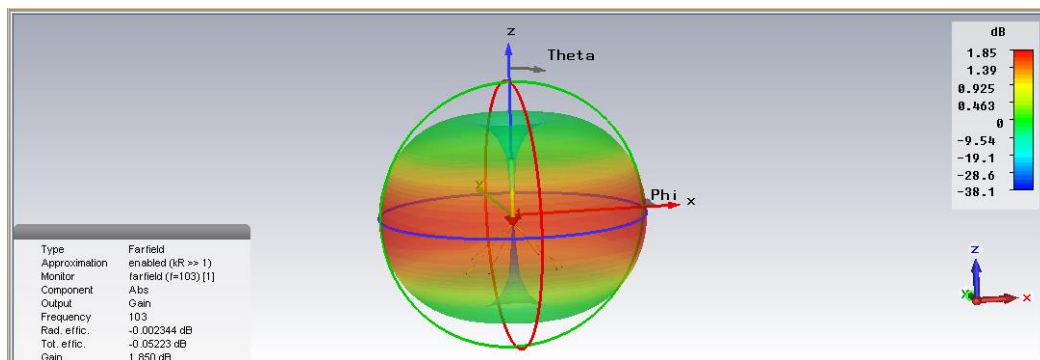


Figure 3-21 : Le gain de l'antenne

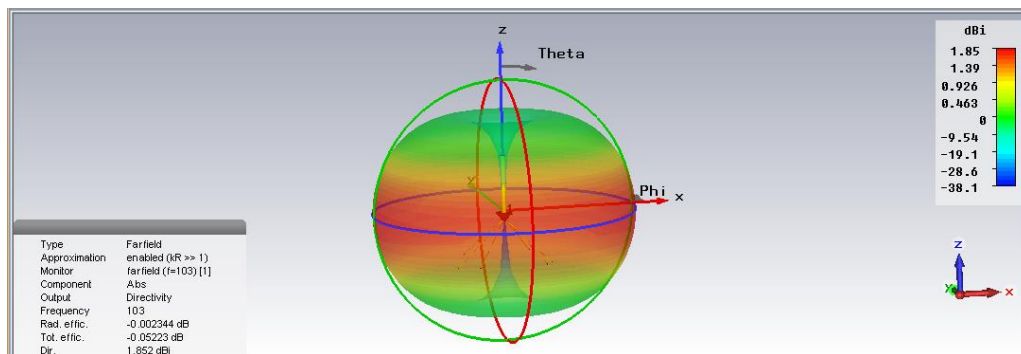


Figure 3-22 : La directivité de l'antenne

3.10 Effet des modifications de la structure sur la bande

On peut optimiser l'antenne à la fréquence $f=118.9$ MHz en changeant quelques paramètres de l'antenne : L (la longueur de monopole) et R (le rayon de monopole).

Après la simulation, avec des différentes variations, les résultats obtenus sont montrés sur la figure suivante :

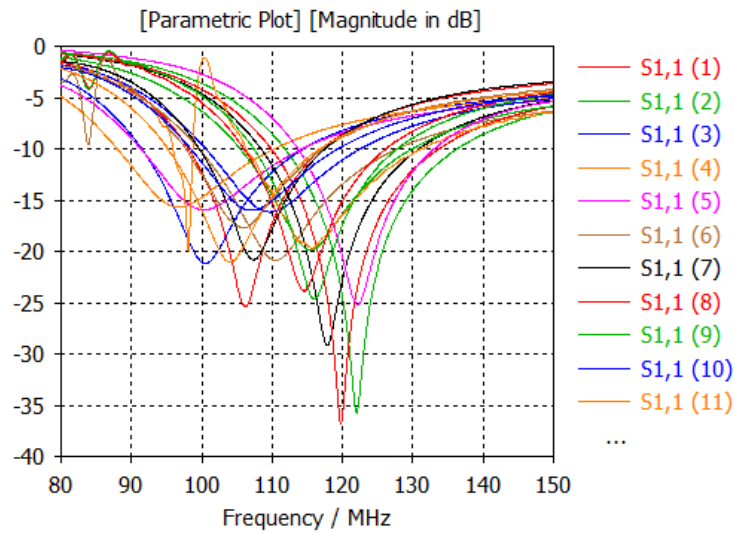


Figure 3-23 : Le S11 pour différentes valeurs de L et R

Après manipulation des paramètres, on a constaté que :

- l'augmentation de la longueur de monopole provoque la diminution de fréquence, et vice versa.
- L'augmentation de rayon de monopole sert à élargir la bande passante.

Nous avons relevé les paramètres qui se rapproche le plus de la fréquence $f=118.9$ Mhz.

3.10.1 Les résultats pour L= 52 cm et r=1cm

- **Le coefficient de réflexion**

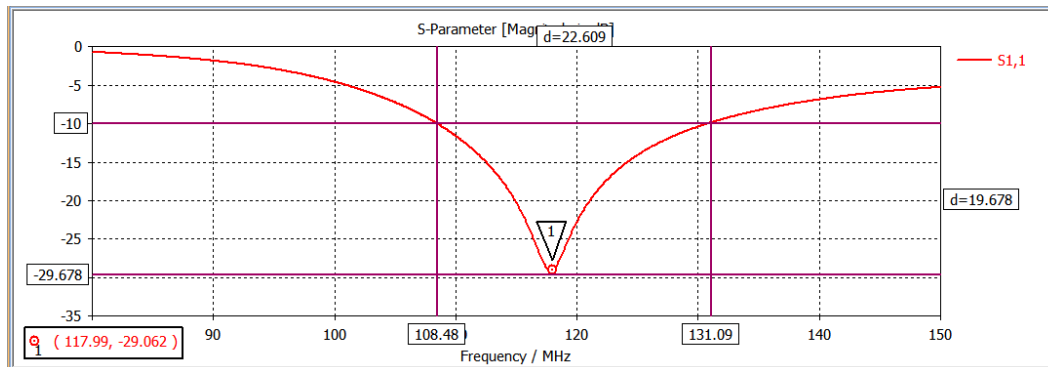
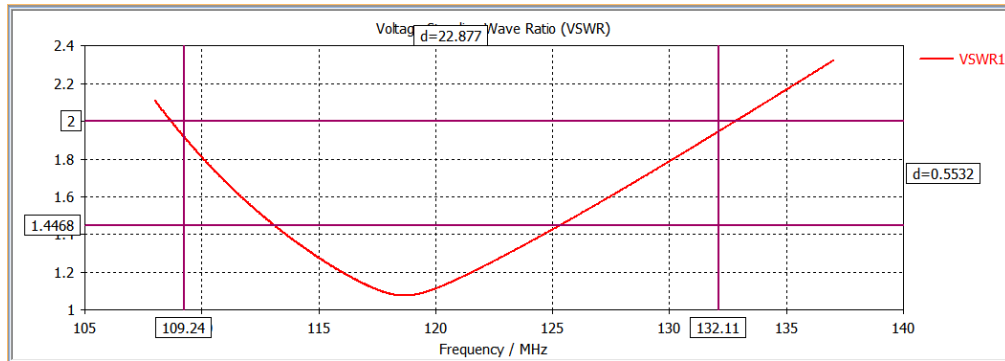


Figure 3-24 : Le S11 à $f=117.9$

On remarque que l'adaptation de $S_{11}=-29.06$ dB avec la bande passante de 192 kHz autour de fréquence de résonance de (117.9MHz).

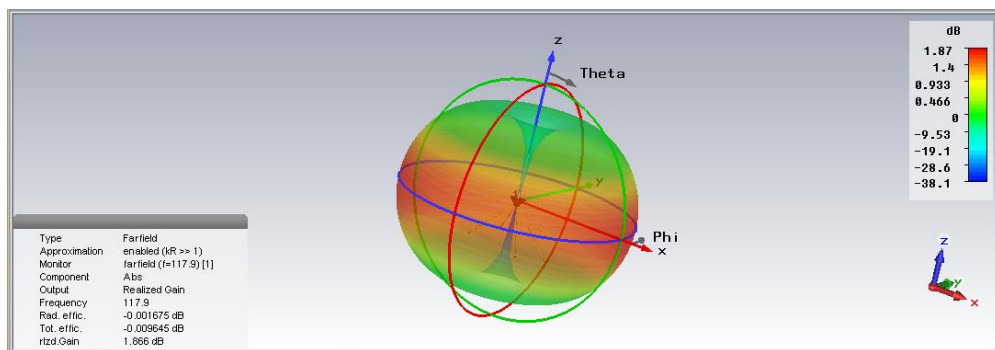
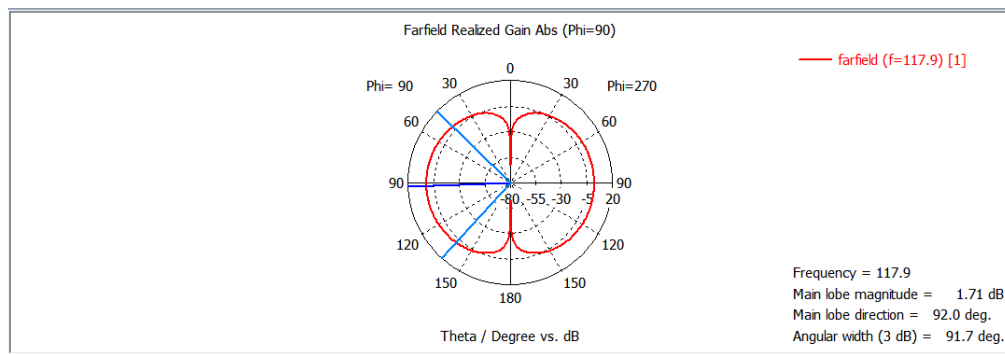
- **Le VSWR**



Dans cette figure on remarque que le rapport d'onde stationnaire est à moins de 2dB, donc il est adapté

- **Le Diagramme de rayonnement**

Le Gain :



La directivité :

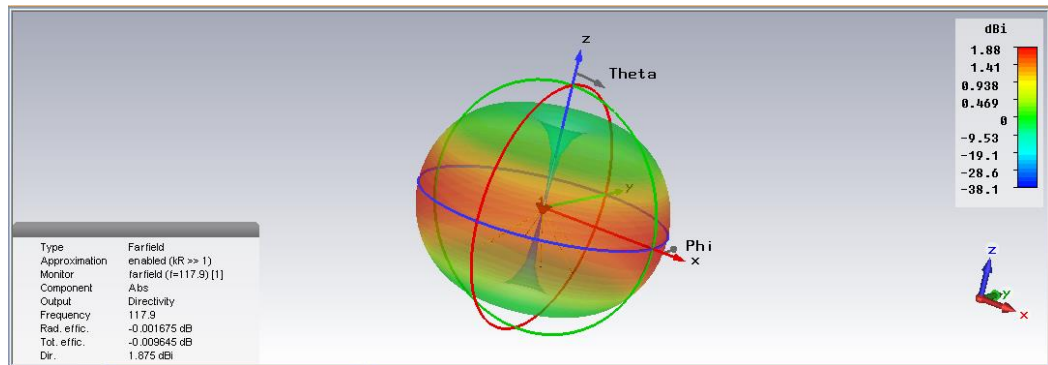


Figure 3-28 : La directivité à f=117.8

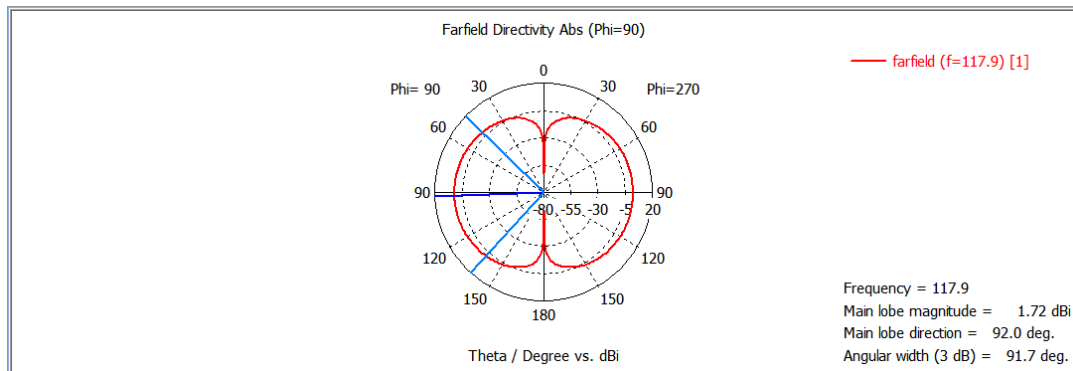


Figure 3-29 : Le diagramme de rayonnement 2D de la directivité

3.10.2 Les résultats pour L=51.5 cm et r=1cm

- **Le coefficient de réflexion**

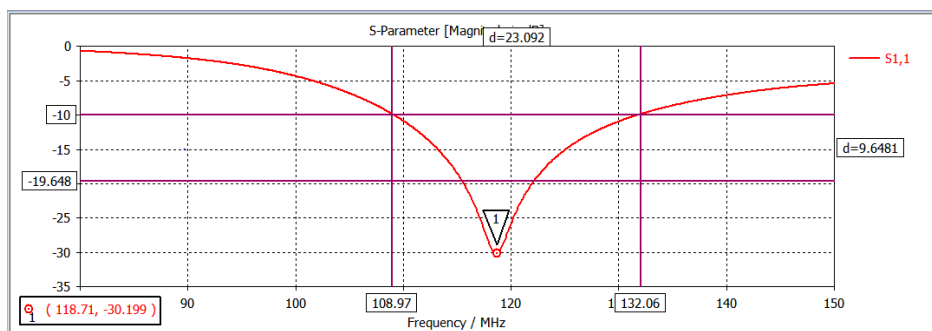


Figure 3-30 : Le S11 pour f=118.7

Cette figure, montre une adaptation de $S_{11} = -30.19$ dB avec une bande passante de 239.22 MHz autour de fréquence de résonance de (195 kHz).

On remarque qu'on est très proche de 118.9MHz.

- **Le rapport d'onde stationnaire (VSWR) à $f=118.7$**

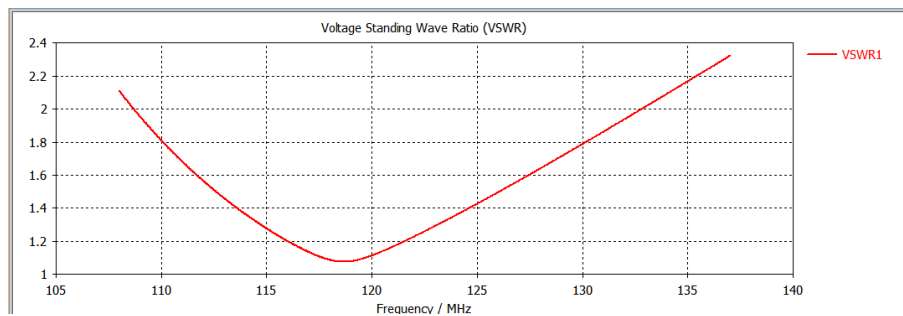


Figure 3-31 : Le VSWR à $f=118.7$

On remarque dans le rapport d'onde stationnaire (VSWR) est moins de 2 dB, donc ce dernier est adaptée

- **Le diagramme de rayonnement :**

Le gain :

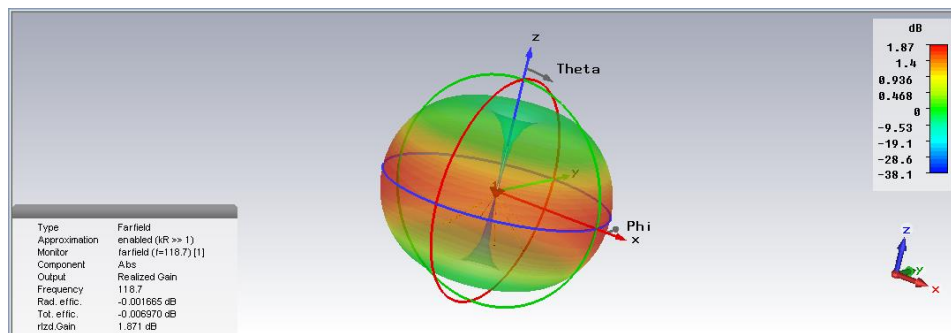


Figure 3-32 : Le gain

La directivité :

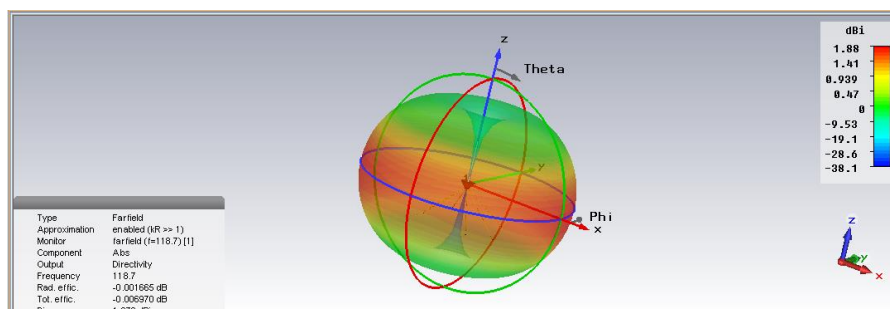


Figure 3-33 : La directivité

On constate que le diagramme rayonnement de cette antenne est dirigé dans toutes les directions horizontales, et diminue en se dirigeant vers le ciel ou la terre. Le gain plus élevé dans toutes les directions horizontales où il atteint sa valeur maximale (1.87dB), et que cette dernière est plus grande en comparaisant avec les résultats précédents.

On remarque aussi une bonne efficacité globale de l'antenne ce qui confirme que l'antenne proposée fonctionne correctement dans la bande souhaitée. Les principales différences sont la directivité qui est légèrement plus grande en liaison descendante et l'augmentation du lobe arrière.

L'installation d'une antenne sur la montagne de Gouraya exige :

- ✓ Etre complétée par une armoire électrique qui contient un émetteur et un récepteur qui servent à la transmission des informations fournies par l'antenne pour la tour de contrôle et l'avion. C'est Algérie Télécom qui assure cette transmission, soit par la fibre optique ou le Faisceau hertzien ou par les opérateurs de la téléphonie mobile.
- ✓ la nécessité d'être installée soit au sommet ou près des antennes déjà installée dans cette montagne. Pour bien préciser la place d'installation de l'antenne il faut une étude préalable pour l'état du sol et étudier sa capacité de réflexion.

Schéma synoptique

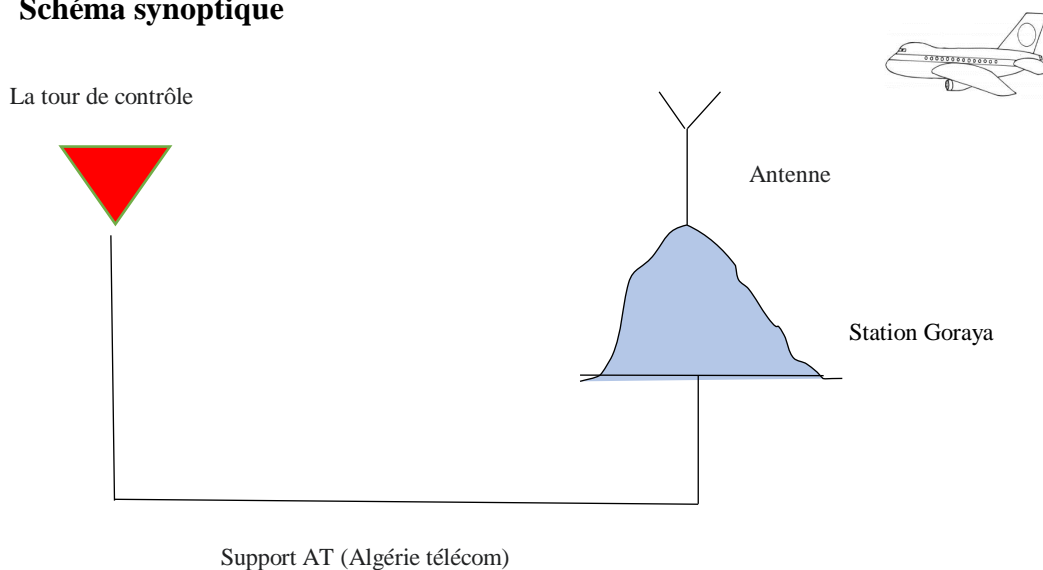


Figure 3-34 : Le schéma synoptique d'installation d'une antenne à Gouraya

3.11 Conclusion

La première partie de ce chapitre a été consacrée aux généralités des antennes (les caractéristiques et types) en particulier les antennes omnidirectionnelles.

Dans la deuxième partie, Nous avons présenté la conception de l'antenne VHF Ground plane pour garantir une communication locale sûre et continue, en suite nous avons présenté les résultats de simulation obtenus, en utilisant de logiciel CST. On final nous avons effectué des modifications sur la structure pour optimiser la fréquence souhaitée.

Conclusion générale

Conclusion générale

Au cours de stage que nous avons fait à l'aéroport de Bejaia, qui a duré six semaines, on a pu enrichir notre formation et mettre en pratique nos connaissances acquises lors de notre formation académique, et connaître l'importance des équipements de radionavigation placés au sol. Ces équipements sont généralement des émetteurs qui, combinés avec des récepteurs intelligents embarqués à bord des avions, permettent de définir ou confirmer une position et donnent aux pilotes la possibilité de réaliser une navigation sans avoir besoin de référence visuelle.

En plus de l'étude des systèmes de contrôle aérien, on s'est fixé l'objectif de la conception d'une antenne dans le but essentiel de surmonter l'obstacle des reliefs de GORAYA pour une meilleure communication pilotes-contrôleurs

Dans le premier chapitre, nous avons présentés l'aérodrome ENNA, un établissement national de navigation aérien avec leurs missions et services.

Puis nous avons présenté, dans le deuxième chapitre, des généralités de contrôle de trafic aérien ATC, décrit les instruments de radionavigation et telecommunications, et expliqué brièvement le système de positionnement GNSS, autrement dit, le système GPS, GALILEO et GLONASS ainsi que le système de communication anticollision TCAS.

Ce chapitre nous a permis de comprendre les principes des systèmes radionavigation et télécommunication et leur importance sur la sécurité de vol, et nous avons pris connaissance de l'existence d'une zone d'ombre pour les antennes déjà existantes. Pour y remédier, nous sommes intéressées à la conception d'une antenne Ground plane omnidirectionnelle pour balayer cette zone. Des résultats de simulation, avec le logiciel CST, ont été présentés. Ces résultats ont montré que les modifications apportées sur la géométrie influent sur les caractéristiques de l'antenne, particulièrement sur la largeur de la bande passante

Notre recherche était entravée par quelques obstacles dans le terrain, dont l'incapacité de l'aéroport à réaliser, dans l'immédiat, notre propositions qui est l'installation réelle de l'antenne ground plane VHF sur la montagne de GORAYA. Cela nous laisse espérer que notre projet sera réalisé concrètement dans un future proche.

Bibliographie

Les sites web

- [2] « <https://metar- taf.com/fr/airport/DAAE-soummam-abane-ramdane-airport> » [en ligne]. [Accès 02 2023].
- [3] « <http://www.enna.dz> » [en ligne]. [Accès 02 2023].
- [4] « <https://www.enna.dz/missions.htm> » [en ligne]. [Accès 02 2023].
- [5] « <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Aeroport.html> » [en ligne]. [Accès 02 2023].
- [7] « <https://www.enna.dz/DACM/Navigation/Instruction-094.pdf> » [en ligne]. [Accès le 03 2023].
- [9] « <http://www.univbejaia.dz/jspui/bitstream/impactdustyledecommandementsurlagestiondeentrepriseauseindeENNA.pdf> » [en ligne]. [Accès le 04 2023].
- [12] « https://Contrôle_de_la_circulation_aérienne » [en ligne] [Accès le 03 2023].
- [18] « https://Services_de_la_circulation_aérienne » [en ligne]. [Accès le 20 04 2023].
- [24] « <https://www.appap-benodet.com/actualites-du-club/appap---benodet-et-radiotelephonie-vhf.jpg> » [en ligne]. [Accès le 30 02 2023].
- [25] « <https://www.rene-reyt.fr/documents/electronique/la-radionavigation-avant-le-g-p-s/> » [en ligne]. [Accès le 03 2023]
- [26] « http://www.ivao.fr/dep/instruction/Manuels/Ipac-FR_V2/pdf/INST_NDB.pdf » [en ligne]. [Accès le 05 2023].
- [28] « www.lavionnaire.fr/RadioNavDME.php » [en ligne]. [Accès le 05 2023].
- [29] « <https://www.clicours.com/etude-detaillee-du-principe-de-modulation-de-linstrument-landing-system> » [en ligne]. [Accès le 05 2023].

- [30] « <https://www.clicours.com/etude-detaillee-du-principe-de-modulation-de-linstrument-landing-system> » [en ligne]. [Accès 05 2023].
- [31] « <https://www.flightsim-corner.com/wp-content/uploads/ILS-v3.3.pdf> » [en ligne]. [Accès 05 2023].
- [33] «<https://www.lavionnaire.fr/RadioNavVOR.php>»[en ligne]. [Accès 05 2023].
- [43] « <https://www.techno-science.net/definition/3982.html> » [en ligne]. [Accès le 05 2023].
- [47] « www.lavionnaire.fr/InstNavigGPS.php » [en ligne]. [Accès le 05 2023].
- [48] « <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-traitement-du-signal-et-ses-applications-tiatb/archive-1/systeme-gps-de-positionnement-par-satellite-te6715/> » [en ligne]. [Accès le 05 2023].
- [52] « <https://www.Utilisation-des-satellites-dans/la/navigation/gnss> » [en ligne]. [Accès le 05 2023].
- [53] « <https://www.lavionnaire.fr/TCASIntro.php>grâceàdesantenneslerelevementdutraficenvironnant » [en ligne]. [Accès le 05 2023].
- [57] « <https://www.lavionnaire.fr/TCASDescription.php> » [en ligne]. [Accès le 05 2023].
- [64] « <https://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM08/RM08a/RM08a01.html> » [en ligne]. [Accès 06 2023].
- [66] « https://www.researchgate.net/profile/Lotfi_Nabli/publication/322738830_Antenna_Course_Professional_Master/links/5a6c5125a6fdcc317b161738/Antenna-Course-Professional-Master.pdf» [en lige]. [Accès le 05 2023].
- [75] « https://fr.www.Antenne_omnidirectionnelle» [en ligne]. [Accès le 05 2023].
- [76]«https://www.cisco.com/c/fr_ca/support/docs/wireless-mobility/wireless-lan-wlan/82068-omni-vs-direct.html »[en ligne]. [Accès 05 2023].

[78] « <https://www.3ds.com/fr/produits-et-services/simulia/produits/cst-studio-suite> » [en ligne]. [Accès 06 2023].

Les ouvrages

[1] S.BAHOUCHE et T.BOUHINI. « Simulation d'un récepteur de signal VOR et élaboration d'une méthode pour le calcul et simulation des erreurs intrinsèques à l'équipement au sol » Mémoire Master en Aéronautique. Université SAAD DAHLEB Blida 01 ,2019

[6] A.MAHOUI et T.LARBI « L'impact du Style de Commandement sur la Gestion de l'Entreprise au sein de l'ENNA (Direction de la Sécurité aéronautique – Bejaïa) » Mémoire Master Sociologie du Travail et Gestion des Ressources Humaines .Université Abderrahmane MIRA-BEJAIA, 2014

[8] S.MIMOUNI et M.LOUNAS « Optimisation d'un système de navigation aérienne par radar » Mémoire Master systèmes des Télécommunications. Université Abderrahmane MIRA-BEJAIA, 2018

[10] M.BOUSNINA et M.OUALI « Mise en place de la procédure de descente continue CDA Pour TASSILI AIRLINES avec le Boeing 737-800 NG (Aéroport d'Alger) » Mémoire Master Aéronautique Opérations Aériennes. Université Blida 1, 2014

[11] Georges Maignan, Le contrôle de la circulation aérienne, Presses Université de France, coll. «Que sais-je ? », 1994

[13] Document OACI 9426, « Manuel de planification des services de la circulation aérienne », première édition-1984.

[14] Véronique Paul, Le contrôle d'aérodrome une fonction essentielle, Contrôleur à sa position de contrôle (droits réservés par la DGAC)

[15] Alexandre Paringaux, Le contrôle d'approche en vigie, droits réservés par la DGAC

[16] W.BELLOULOU et Y.GHEFFAR « Régulation des flux de trafic aérien » Mémoire Master en recherche opérationnelle. Université Houari Boumediene, 2006

- [17] S.NACER-BEY « Instruments VOR/DME/ILS pour l'aérodrome de TINDOUF RWY 26R » Mémoire D'ingéneure d'état en Aéronatique .Université SAAD Dahlab de blida,2011
- [19] N.MANSOUR et R.KACI « Estimation de la capacité d'un secteur de control aérien » Master en Aéronautique. Université BLIDA 1, 2020
- [20] S.TATACHAK et A.TOUBACHE « conception et réalisation d'une application pour la gestion du trafic aérien » Mémoire Master en informatique. Université Abderrahmane MIRA-BEJAIA, 2013
- [21] A. ACHACHI, Modélisation d'un système de contrôle aérien par satellites, Thèse Doctorat en sciences en électronique. Batna : Université Hadj Lakhdar2012, 79p
- [22] Krattou Mohamed Riad. « Etude de la détection radar dans un milieu homogène ». Mémoire de l'université Aboubekr Belkaid-Tlemcen, 2013.
- [23] M. C. Stevens, "Secondary Surveillance Radar", Aviation System division, Cossor Electronics Ltd, Artech House Boston and London 1988, pp.10-50
- [28] J-P CORBIER, Les Balises De Radionavigation, 2012.
- [29] Copyright AeroGATES « Navigation Système d'atterrissage aux instruments (I.L.S.) » juin 2003
- [33] S.MIMOUNI et M.LOUNAS « Optimisation d'un système de navigation aérienne par radar » Mémoire Master en système de télécommunication. Université A.MIRA-BEJAIA, 2018
- [35] Thales ATM GmbH. CVOR 431, radiophare omnidirectionnel VHF, description de l'équipement ,1nd édition : Allemagne, 2004, 35p
- [36] A.ELGHARBAOUI et B.ESLIMANI « Elaboration d'une procédure de maintenance du système VOR » Mémoire Master Electronique. Université Sidi Mohammed Ben Abdellah FST FES, 2014
- [37] Thales ATM GmbH. CVOR 431, radiophare omnidirectionnel VHF, description de

l'équipement ,1nd édition : Allemagne, 2004, 33p

[38] Thales ATM GmbH. CVOR 431, radiophare omnidirectionnel VHF, description de l'équipement ,1nd édition : Allemagne, 2004, 36p

[41] V.O.R. : le système – E. SOLER / O. JARRIGE – 2013-2014 – Université Bordeaux 1

[44] R. P. Stephen, A. R. Richard, E. F. JR. Carl and A.T. Micheal, "An operational and performance overview of the IRIDIUM low earth orbit satellite system", IEEE Communications Surveys, Second Quarter 1999, pp.2-10

[45] Jean-Marc Piéplu, GPS et Galileo, Système de navigation par satellite, 88p.

[46] B. Parkinson and J. Spilker, "Global Positioning System: Theory and Applications," Progress in Astronautics and Aeronautics, vol. 1, 1996.

[49] P. Bosser, *GNSS : Systèmes Globaux De Positionnement Par Satellite*, 2013.

[50] S. Roche, " Méthodes de poursuite de phase pour signaux GNSS multifréquence en environnement dégradé." Toulouse, 2013

[51] A.AHFIR et B.BENSAFIA « Etude comparative de modulations des signaux de radionavigation par satellite » Mémoire Master en Télécommunication. Université A.MIRA-BEJAIA ,2019

[54] Eurocontrol, "ACAS II Guide Airborne Collision Avoidance System II", Incorporating version 7.1, 2012, pp. 3 – 65.

[56] A. Boyer, Cours d'antennes « Réseau et Télécom » Toulouse, édition Octobre 2011

[60] Pr.Jean-marc Ribro et Pr.Aguili Touifik, Réseaux d'antenne miniature super-directive reconfigurable basses fréquence pour l'IoT, Thèse Doctorat en Electronique et Télécommunication. Tunis : Université COTE D'AZUR2021, 16p

[58] Aline Saidane Latiri, « Généralité sur les antennes », support de cours, Institut Supérieur D'Informatique et des Techniques de Communication Hammam Sousse, Décembre 2011

[59] Odile Picon et coll ; « Les antennes Théorie, conception et applications » ; Dudo,

Paris, 2009, ISBN 978-2-10-054245-1.

[60] L. Yi-Fang, L. Chia-Ho, C. Hua-Ming, J. Jen-Yea, C. Wen-Shan, "Design of ceramic chip antenna for 2.4/5 GHz WLAN applications", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 2006, Page(s): 985 - 988

[61] Mme. BENOSMAN, BENACHOUR.W, ALLALI. H, «Conception d'une Antenne Patch en Fonctionnement Multi-bandes Inspirée des Méta-matériaux», Master ,2020

[62] A.MAHFOUDI et N.ROUABAH « Conception d'antenne à base structure PSS pour les applications GNSS » Master en système des télécommunications Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj ,2022

[63] J. D. Kraus, "Helical beam antennas," Electronics, 20, 109-111, April 1947.

[69] K.Abdul-Sattar, Antenne agile pour la miniaturisation d'antenne large bande, Thèse Doctorat en Optique et radiofréquences. France: Université Grenoble Alpes2016, 39p

[68] Ketavath Kumar Naik, and Pasumarthi Amala Vijaya Sri, « Design of Hexadecagon Circular Patch Antenna with DGS at Ku Band for Satellite Communications », Progress In Electromagnetics Research M, Vol. 63, 163–173, 2018

[69] Amine Habani, « Étude, Conception Et Réalisation Des Antennes À Polarisation Linéaire/Circulaire Pour Les Communications Corporelles Dans Les Mines Souterraines», Université Du Québec En Abitibi-Témiscamingue, juin 2018

[70] « les antennes » 13^e édition Dunood : RAY MOOD Branlt, ROERTPiat.

[75] N. Khelkhal, «Réseaux d'antenne patch pour les applications RFID» Mémoire de Master réseau et télécom, Université de Belhadj Bouchaib Ain temouchent 2020.

[73] A. Boyer, "Institut national des sciences appliquées de Toulouse 5," p. 79, 2011

[74] livre «Les antennes : Fondamentaux/roger-charles houzé » Paris, 2006

Résumé

Notre mémoire, traite le thème suivant « les systèmes de contrôle de trafic aérien ». Notre étude s'est déroulée au sein de l'aéroport de Bejaïa SOUMMAM ABANE REMDANE. Une étude, des systèmes de contrôle de trafic est faite, complétée avec une description des différents équipements de radionavigation et télécommunication existants.

Un travail de conception et de simulation d'une antenne, VHF omnidirectionnelle de type Ground plane (GP), a été fait sous logiciel CST Microwave Studio, dans le but assurer une couverture complète de communication entre l'aéroport et les avions.

Mots clés : CST, VHF, VOR, ILS, NDB, DME

Abstract

Our dissertation deals with the following theme "air traffic control systems". Our study took place within the airport of Béjaïa SOUMMAM ABANE REMDANE. A study of traffic control systems is made, completed with a description of the various existing radio navigation and telecommunication equipment.

Design and simulation of an antenna, VHF omnidirectional type Ground plane (GP), was done using CST Microwave Studio software, in order to ensure complete communication coverage between the airport and aircraft.

Keywords: CST, VHF, VOR, ILS, NDB, DME

ملخص

تتناول أطروحتنا الموضوع التالي "أنظمة مراقبة الحركة الجوية". تمت دراستنا في مطار بجاية. يتم إجراء دراسة لأنظمة التحكم في حركة المرور، مع استكمال وصف لمختلف معدات الملاحة الراديوية والاتصالات القائمة تم تصميم ومحاكاة هوائي، VHF متعدد الاتجاهات من النوع الأرضي (GP)، باستخدام برنامج CST Microwave Studio، من أجل ضمان تغطية اتصال كاملة بين المطار والطائرة.

الكلمات الرئيسية : CST، VHF، VOR، ILS، NDB، DME