



Mémoire de Master



Présenté au

Département : Génie Électrique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Réalisé par :

BOUSALMA Bouthaina

Et

LAMARI Fadia

Thème

**Conception et implémentation d'un outil
d'installation des antennes VHF pour la
communication aérienne à l'aide d'AppDesigner**

Soutenu le : 04/07/2024

Devant la commission composée de :

Mr:M.SAIDI	M.A.A	Univ. Bouira	Président
Mr: S.CHELBI	M.C.A	Univ. Bouira	Examineur
Mr: S.MEDJDOUB	M.A.A	Univ. Bouira	Promoteur
Mme : A.SALMA		ENNA	Co-promotrice

Remerciement

La réalisation de ce mémoire a été une expérience enrichissante, marquée par de précieuses rencontres et d'utiles échanges avec de nombreuses personnes. Chacune a contribué à sa manière, de la conception à la finalisation de ce travail. Nous exprimons notre profonde reconnaissance envers tous ceux qui ont participé à ce projet.

*Un remerciement spécial est adressé à **Mr. MEDJDOUB**, notre encadrant, pour ses précieux conseils et sa contribution essentielle.*

*Nous tenons également à remercier chaleureusement **Mr. CHABANE AZZEDINE** pour son soutien continu.*

*Nous remercions sincèrement notre Co-encadrante **Mme Amina Sarah SLAMA**, pour son accompagnement bienveillant et ses conseils.*

*Nous n'oublions pas de mentionner **Mr. Abderrahim KOUAR**, chef de service de Télécommunication, et **Mr. DENNOUNE Youcef** pour leurs soutiens constant, suggestions pertinentes et leurs disponibilités.*

*Nos remerciements vont également à **M. ZERMANI** pour nous avoir accueillis dans son service technique et pour son aide précieuse.*

Nous sommes reconnaissants envers tous les responsables et employés de l'Etablissement National de la Navigation Aérienne pour leur accueil chaleureux et leurs conseils précieux.

Nous adressons nos remerciements aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en évaluant notre travail.

Enfin, nous exprimons notre profonde reconnaissance envers tous nos enseignants pour leur contribution tout au long de notre parcours universitaire.

Dédicace

Chers Parents,

Ce mémoire est dédié à mes précieux parents, témoignant de l'amour indéfectible qu'ils m'ont toujours prodigué, de leurs encouragements constants, qu'ils m'ont accordé tout au long de mes études. Aucune dédicace ne saurait véritablement exprimer l'étendue de ma gratitude, de mon respect et de mon amour pour les nombreux sacrifices consentis pour mon éducation et mon bien-être. À travers ce modeste travail, je rends humblement hommage à leurs dévouements inlassables et à leurs sacrifices, tout en témoignant de ma profonde reconnaissance et de mon affection infinie. Que Dieu leur accorde une santé florissante, un bonheur durable, une prospérité sans bornes et une longue vie épanouie, afin que je puisse un jour contribuer à illuminer leurs jours de bonheur.

À mes Frères et Sœur,

ABDELDJALIL, MD ISLAM et YASSMINE Je souhaite également dédier ce travail à vous, mes chers frères et sœurs, en reconnaissance de tous les sacrifices que vous avez faits pour moi tout au long de mes années d'études. Que Dieu vous comble de bonheur, réalise tous vos vœux, et vous guide vers un avenir empreint de succès et d'épanouissement.

À Mes Amis,

À vous, mes amis , KHALIL, TAHAR, BELDA, IDIR, YOUSRA, NESRINE et SOULAF j'ai pas trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer toute mon affection et mes pensées. Vous êtes pour moi bien plus que des amis, vous êtes des compagnons de vie, des frères et sœurs sur qui je peux toujours compter. En témoignage de l'amitié indéfectible qui nous unit et en souvenir des innombrables moments partagés ensemble, je vous dédie ce travail avec tout mon cœur, tout en vous souhaitant une vie remplie de santé, de bonheur, de réussite et srtt de l'argent.

À tous ceux qui m'aiment ☐

Bouthaina

Dédicace

C'est avec grand plaisir que je dédie ce modeste travail

à l'être le plus cher de ma vie :

ma mère, À celle qui a fait de moi une femme forte

, mes frères et ma sœur.

À mes petits-enfants Manil, Abd Elrahim et Iyad.

À tous les membres de ma famille et à toute personne portant le nom

Lamari.

Je dédie ce travail à tous ceux qui ont contribué à ma réussite.

Fadia

Dédicaces	
Remerciement	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale	1
Chapitre 1 : organisation et infrastructure de l'aérodrome d'Alger/Houari Boumédiène	
1.1 introduction	2
1.2 Les intervenants institutionnels dans l'environnement aéroportuaire	2
1.2.1 Le Ministère des Transports	2
1.2.1.1 les EGSA	2
1.2.1.2 ENNA	3
1.2.2 Ministère des Travaux Publics	4
1.3 Présentation de l'Aérodrome d'Alger/Houari Boumédiène	5
1.3.1 Données générales	5
1.3.2 Système de guidage et de contrôle des mouvements à la surface et balisage	5
1.3.3 Obstacles d'aérodrome	6
1.3.4 Renseignements météorologiques	6
1.3.5 Caractéristiques physiques des pistes et Dispositif lumineux	6
1.3.6 Communication, Navigation, Surveillance	7
1.3.7 Espace aérien	8
1.3.7.1 Classification d'espaces aérien	11
1.3.7.2 Division d'espace aérien	12
1.4 Procédures d'Approche	14
1.4.1 Les différents segments d'une procédure	15
1.5 Conclusion	16
chapitre 2: Moyens de communication aéronautique	
2.1 introductions	17
2.2 Radiocommunication et équipements associés	17
2.2.1 Types de communications aéronautiques	17

2.3	Concept CNS/ATM et son application.....	18
2.4	équipements de la radiocommunication aéronautique	19
2.4.1	Équipements radio VHF	19
2.4.2	Les stations HF	23
2.4.3	L'enregistreur vocal	23
2.4.4	VCCS (Voice communication and Control System).....	23
2.4.5	ATIS (Automatique Terminal Information Service)	24
2.5	Les Antennes.....	24
2.5.1	Antenne VHF	25
2.5.1.1	Emplacement et couverture	26
2.5.2	Portée et propagation	28
2.5.3	Antenne Directionnel.....	29
2.5.3.1	Principe de fonctionnement et avantages d'antenne directionnel	29
2.6	Conclusion	30

Chapitre 3 : Simulation et résultats

3.1	Introduction.....	31
3.2	Présentation de MATLAB App Designer	31
3.3	Interface de simulation	32
3.4	Interface d'ouverture	32
3.5	Études approfondies sur les antennes : Analyse d'antenne et couverture.....	33
3.5.1	analyse d'Étude des Antennes dipôle et Yagi.....	33
3.5.1.1	Analyse des paramètres clés.....	34
3.5.1.2	Comparaison entre l'antenne Dipôle et l'antenne Yagi	42
3.5.2	étude de la couverture	42
Conclusion.....		47

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Organisation de l'ENNA [3].....	4
Figure 1.2 : les routes aériennes	9
Figure 1.4 : ligne de transport	10
Figure 1.5 : Carte sectorielle (document interne de ENNA) [6]	13
Figure 1.6 : Différentes phases d'une procédure.....	14
Figure 1.7 : Procédures NDB-DVORDME-ILS RWY 09.....	15
Figure 1.8 : Image Alger RWY 09 par Jetphotos.Net – 2016	16
Figure 2.1 : VHF mobiles.....	20
Figure 2.3 : Schéma synoptique d'une station VHF.....	21
Figure 2.4 : Vue avant et arrière d'un Emetteur PAE v2.	21
Figure 2.5 : Vue avant et arrière d'un récepteur PAE v2.	22
Figure 2.6 : Vue avant d'un E1-RIC.	22
Figure 2.7 : Vue avant et arrière d'un panneau de commutation.	22
Figure 2.8 : Les éléments de Filtre à cavité et la méthode de calibration.	23
Figure 2.9 : Photo réelle d'équipement de VCCS tour de contrôle (Aéroport d'Alger)	24
Figure 2.10 : L'antenne VHF de la tour.....	26
Figure 2.11 : La station VHF au niveau de la tour	27
Figure 2.12 : Implantation des antennes VHF sur un avion	27
Figure 2.13 : Couverture de VHF (site ENNA(PDGA)).....	28
Figure 2.14 : La portée radio VHF.....	29
Figure 2.15 : Antenne directionnelle(yagi)	29
Figure 3.1 : Interface de l'antenne VHF dans MATLAB App Designer	32
Figure 3.2 : Etude de l'antenne	33
Figure 3.2 : Fenêtre d'étude d'antenne Dipôle	33
Figure 3.3 : fenêtre d'étude d'antenne YAGI.....	34
Figure 3.4 : les coordonnées d'étude d'antenne DIPOLE.....	34

Figure 3.5 :élément d'antenne dipole	34
Figure 3.6 : le graphe de paramètre S.....	35
Figure 3.7 : Le graphe VSWR d'antenne dipôle	36
Figure 3.8 : le graphe d'efficacité d'antenne dipôle.....	36
Figure 3.9 : Graphe d'impédance d'antenne Dipole	37
Figure 3.10 : diagramme de rayonnement 3D d'antenne Dipole	37
Figure 3.11 Diagramme de rayonnement élévation d'antenne dipole.....	38
Figure 3.12 : fenêtre distribution de charge du dipôle.....	38
Figure 3.13 : fenêtre distribution du courant du dipôle	39
Figure 3.14 : les coordonnées d'étude d'antenne YAGI	39
Figure 3.15 : élément d'antenne YAGI	39
Figure 3.16 : graphe de paramètre S d'antenne YAGI.....	40
Figure 3.17 : le graphe VSWR d'antenne YAGI	40
Figure 3.18 : le graphe d'efficacité d'antenne YAGI.....	41
Figure 3.19 : Diagramme de rayonnement 3D d'antenne YAGI	41
Figure 3.20 : Diagramme de rayonnement élévation d'antenne YAGI.....	42
Figure 3.21 : fenêtre d'étude de la couverture.....	43
Figure 3.22 : fenêtre de couverture pour puissance 10 W Bbm et ADRAR	44
Figure 3.23 : fenêtre de couverture pour puissance 30 W Bbm et ADRAR	44
Figure 3.24 : fenêtre de couverture pour puissance 50 W Bbm et ADRAR	45
Figure 3.25 : fenêtre de couverture d'installation de troisième antenne DIPOLE	45
Figure 3.26 : fenêtre de couverture d'antenne (DIPOLE ,YAGI).....	46

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1: les services de contrôle de trafic aérien à Alger.....	7
Tableau 1.2: les différents types d'aides de la navigation disponibles	7
Tableau 1.3: les différents types de radar.....	8
Tableau 1.4: espace aérien des services de la circulation aérienne en Algérie	12
Tableau 2.1: cahier des charges de l'antenne VHF	25

Liste des abréviations

ACARS : Aircraft Communications Addressing and Reporting System

ACC : Area Control Center

APP : Contrôle d'approche

APT : Automatic Picture Transmission

ARR : Arrival

ATC : Air Traffic Control

ATIS : Automatic Terminal Information Service

ATM : Air Traffic Management

ATS : Air Traffic Services

BMS : Bulletin Météo Spécial

CCR : Central Control Room

CNS : Communications, Navigation, and Surveillance

CTA : Control Area

CTR : Control Zone

DACM : Directorate of Civil Aviation and Meteorology

DEP : **Departure**

DME : Distance Measuring Equipment

EGSA : Airport Services Management Establishment

ENEMA : National Establishment for Aeronautical Equipment and Maintenance

ENESA : National Establishment for Aeronautical Studies and Services

ENNA : National Air Navigation Establishment

EPIC : Public Industrial and Commercial Establishment

FAF : Final Approach Fix

FAP : Final Approach Point

FIR : Flight Information Region

GP : Glide Path

GPS : Global Positioning System

HF : High Frequency

IAF : Initial Approach Fix

IF : Intermediate Fix

IFR : Instrument Flight Rules

ILS : Instrument Landing System

MFO : Maintenance Follow-Up

National Office of Meteorological Aviation

OACI : International Civil Aviation Organization.

OGSA : Office of Airport Services Management

PDGEA : Master Plan for Airspace Management

PSR : Primary Surveillance Radar

RNAV : Area Navigation

RVR : Runway Visual Range

SGSIA : Airport Services and Infrastructure Management Company

SMR : Surface Movement Radar

SSR : Secondary Surveillance Radar

TMA : Terminal Control Area

TOS : Terms of Service

TWR : Tower

UHF : Ultra High Frequency

VCCS : Voice Communications Control
System

VDF :Direction Finder

VFR : Visual Flight Rules

VHF : Very High Frequency

VOR : VHF Omnidirectional Range

VSAT : Very Small Aperture Terminal

VSWR : Voltage Standing Wave Ratio

WXR : Meteorological Weather Radar

Introduction générale

Dans le domaine critique de l'aéronautique, la conception et l'optimisation des moyens de communication jouent un rôle crucial dans la sécurité et l'efficacité des opérations aériennes. Ce mémoire se concentre sur une étude approfondie de l'organisation et de l'infrastructure de l'aérodrome d'Alger/Houari Boumédiène, ainsi que sur l'évaluation critique des moyens de communication aéronautique, avec un accent particulier sur les antennes VHF. Il examine également les défis et les solutions proposées pour les stations d'Adrar et de Borj Badji Mokhtar, en raison de leur éloignement géographique et de l'importance stratégique de leur communication aéronautique.

Les déserts de l'Algérie, couvrant une vaste étendue géographique, représentent un défi significatif en matière de communication aérienne. La topographie plate et les conditions climatiques extrêmes rendent difficile l'établissement de réseaux de communication fiables et robustes. Dans ce contexte, les antennes dipôles et Yagi dans la bande VHF offrent des solutions efficaces pour améliorer la couverture et la qualité des communications aériennes. Cependant, la planification et l'installation optimales de ces antennes nécessitent une approche méthodique et technologique avancée.

Pour faciliter l'étude et l'installation de ces antennes VHF, ainsi que pour optimiser le choix des emplacements et assurer une meilleure couverture de la zone BBM/Adrar, une application conçue à l'aide de MATLAB/AppDesigner a été développée. L'objectif de cette application, est de fournir une solution intuitive et efficace pour l'étude et l'installation des antennes dipôles et Yagi. L'application fournit aussi une visualisation de la couverture radio de la zone BBM/Adrar en tenant compte des caractéristiques des antennes.

➤ Ce mémoire s'articule sur trois chapitre :

Le premier chapitre explore en détail l'organisation complexe de l'aérodrome d'Alger/Houari Boumédiène, mettant en lumière les différents acteurs institutionnels tels que le Ministère des Transports, les EGSA (Entreprises de Gestion des Services Aéroportuaires) et ENNA (Entreprise Nationale de Navigation Aérienne), ainsi que le Ministère des Travaux Publics, pistes et les dispositifs lumineux.

Le deuxième chapitre se penche sur les moyens de communication aéronautique, en examinant en profondeur les technologies VHF, les stations HF, les enregistreurs vocaux, les systèmes ATIS (Automated Terminal Information Service) ainsi que l'application du concept CNS/ATM (Communication, Navigation, Surveillance/Air Traffic Management). Ce chapitre

explore également les défis spécifiques liés au déploiement des antennes VHF dans des zones éloignées comme Adrar et Borj Badji Mokhtar, en mettant en lumière les stratégies et les technologies nécessaires pour garantir une connectivité robuste et fiable.

Le troisième chapitre présente l'application développée et les résultats obtenus. Il analyse les performances des solutions proposées, telles que l'installation d'une troisième antenne ou le remplacement par des antennes Yagi, en utilisant des outils comme MATLAB AppDesigner.

C

hapitre 1

O

rganisation et Infrastructure de
l'Aérodrome d'Alger/Houari
Boumédiène

1.1 introduction :

L'aérodrome d'Alger/Houari Boumediène joue un rôle essentiel dans le paysage aéroportuaire algérien, étant non seulement un point d'entrée crucial pour les voyageurs internationaux, mais aussi un centre névralgique pour l'aviation nationale. Ce rapport explore en détail les différents aspects de cet aéroport stratégique, de ses infrastructures et systèmes de gestion à ses procédures opérationnelles critiques. En examinant ces éléments, nous pourrions mieux comprendre comment l'Aérodrome d'Alger/Houari Boumediène contribue à l'efficacité et à la sécurité du transport aérien en Algérie.

1.2 Les intervenants institutionnels dans l'environnement aéroportuaire :

Le Ministère des Transports et le Ministère des Travaux Publics sont les principaux intervenants dans le domaine aéroportuaire.

1.2.1 Le Ministère des Transports

Le secteur aéroportuaire algérien est régi par la Loi N° 98-06 du 27 juin 1998, qui définit les termes "aéroport" et "aérodrome". Les activités aéroportuaires sont gérées par le Ministère des Transports, avec la participation d'organisations telles que la Direction Générale de la Sûreté Nationale, la Direction Générale des Douanes, NAFTAL et les compagnies aériennes. La responsabilité de l'aviation civile incombe au Ministre des Transports, exercée par la Direction de l'Aviation Civile et de la Météorologie (DACM). Les opérations aéroportuaires sont assurées par des entreprises placées sous tutelle du Ministère des Transports, notamment trois Etablissements de Gestion des Services Aéroportuaires (EGSA) et l'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA).

1.2.1.1 les EGSA :

Les Etablissements de Gestion des Services Aéroportuaires (EGSA) ont été créés en 1991 pour gérer, développer et entretenir les infrastructures aéroportuaires en Algérie. Chaque EGSA est responsable d'un secteur géographique spécifique et supervise plusieurs aéroports.

- **EGSA-Alger** : Gère des aéroports comme Alger, Bejaia, Ghardaïa, etc.
- **EGSA-Constantine** : Responsable des aéroports de Constantine, Annaba, Sétif, etc.
- **EGSA-Oran** : En charge des aéroports d'Oran, Tlemcen, Adrar, etc.

Certains aérodromes, utilisés à des fins spécifiques comme le travail aérien ou la formation, relèvent également de ces EGSA.

L'aéroport d'Alger-Houari Boumédiène, créé en 1924, est le plus important d'Algérie. Géré par la Société de Gestion des Services et Infrastructures Aéroportuaires (SGSIA), une filiale de l'EGSA-Alger, il comprend trois terminaux : international (T1), national (T2) et pour les vols charters et de pèlerinage (T3). Un nouveau terminal international est en construction pour accueillir 10 millions de passagers supplémentaires par an. [1]

1.2.1.2 ENNA :

L'histoire de la gestion de la navigation aérienne en Algérie remonte à l'indépendance du pays, avec cinq organismes successifs chargés de cette tâche : l'OGSA, l'ONAM, l'ENEMA, l'ENESA, et finalement l'ENNA.

- De 1962 à 1968, l'Organisation de Gestion et de Sécurité Aéronautique (OGSA), un organisme Algéro-Français, supervisait les services de l'aviation civile en Algérie.
- En 1968, l'OGSA a été remplacé par l'Office de la Navigation Aérienne et de la Météorologie (ONAM).
- En 1969, l'ONAM a cédé la place à l'Etablissement National pour l'Exploitation Météorologique et Aéronautique (ENEMA), qui a géré la navigation aérienne jusqu'en 1983.
- Les activités météorologiques ont été transférées à l'Office National de Météorologie en 1975, et en 1983, l'ENEMA a été réaménagé pour devenir l'ENESA.
- Par décret exécutif en 1991, l'ENESA a été renommé ENNA pour clarifier ses attributions.

Aujourd'hui, l'ENNA est un Etablissement Public à Caractère Industriel et Commercial (EPIC) placé sous la tutelle du Ministère des Transports. Dirigé par un directeur général et administré par un Conseil d'Administration, l'ENNA connaît une importante modernisation de ses équipements avec des projets tels que le Programme de Développement des Equipements Aéroportuaires (PDGEA) et le Système d'Atterrissage aux Instruments (ILS), ce qui contribue à renforcer la sécurité aéronautique. [2]

➤ Organisation de L'ENNA :

L'organisation de l'entreprise nationale de la navigation aérienne est structurée selon l'organisation suivante :

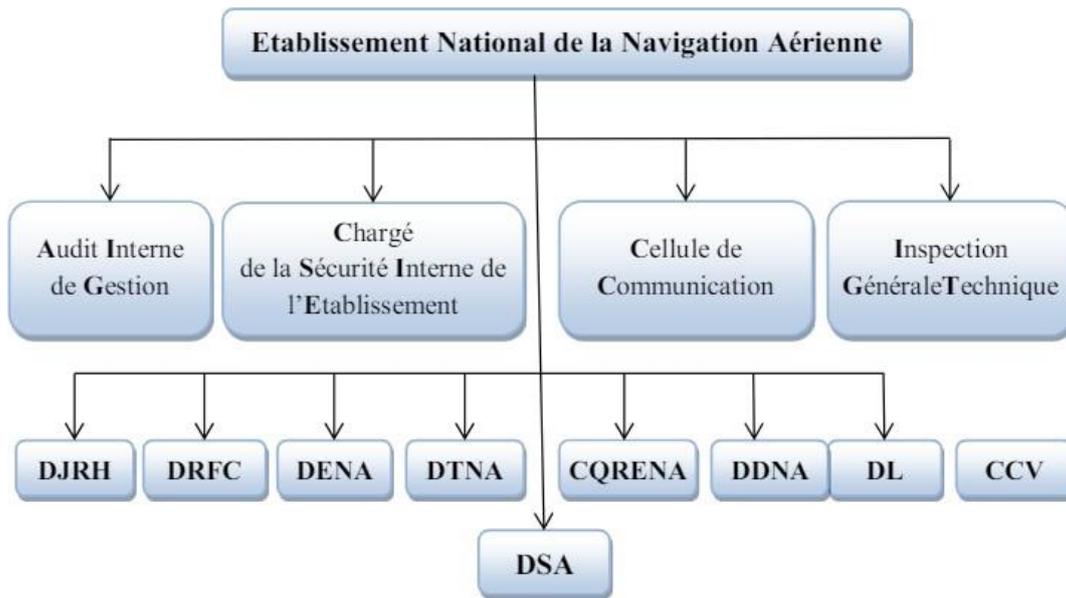


Figure 1.1 : Organisation de l'ENNA [3]

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 la Sécurité Aéronautique.

1.2.2 Ministère des Travaux Publics :

L'activité du Ministère des Travaux Publics porte essentiellement sur les chaussées aéronautiques (pistes, voies de circulation, parkings avions). Dans ce cadre, le Ministère des Travaux Publics, à travers sa Direction des Infrastructures Aéroportuaires :

- Prépare les schémas de développement et d'aménagement des infrastructures aéroportuaires ;
- Effectue les études de conception et assure la réalisation et la maintenance de ces infrastructures.

Outre l'adaptation des chaussées aéronautiques aux nouvelles technologies des aéronefs et l'entretien périodique de ces chaussées (colmatage des fissures, dégommage des pistes, etc.), des études sont effectuées en vue de réhabiliter certains aéroports.

1.3 Présentation de l'Aérodrome d'Alger/Houari Boumédiène

1.3.1 Données générales

- *Point de référence de l'aérodrome* : Latitude/Longitude N36°41.6' E003°12.9'
- *Altitude / Température de référence* : 25 M / 30.6°C
- *Ville* : Alger à 9,11 NM à l'Est Sud Est
- *Types de carburant* : Avgas 100 LL (Low Lead, pour moteurs à pistons), Jet A-1
- *Avitaillement en carburant* : Pompes et camions citernes ; Système hydrant au parking P10 : 5 pompes et 24 bouches réparties sur 12 postes (W1 à W12)
- *Types de réparations majeures pour aéronefs de passage*: moteur, structure
- *Services de sauvetage et lutte contre l'incendie* : Catégorie 9 ; engins, tracteurs, moyens de dégagement des compagnies.
- *Surfaces TWY et aires de trafic* : béton bitumineux ; largeur TWY : 25 M

1.3.2 Système de guidage et de contrôle des mouvements à la surface et balisage

Les feux sont des balises, encastrées ou élevées, avec éclairage lumineux et en couleurs selon l'utilisation, pour les pistes et leurs abords, les voies de circulation et les aires de trafic.

➤ **Balisage des RWY et TWY :**

- RWY 05/23, RWY 09/27 et TWY : Feux d'identification des seuils ; Feux d'extrémité des RWY ; Feux de bord des TWY
- RWY 05/23 et TWY : Feux des seuils ; Feux de bord RWY ; Feux d'axe RWY ; Feux TDZ ; Feux d'axe des TWY ; Feux d'intersection des TWY
- RWY 09/27 et TWY : Feux de SWY ; Feux de raquette

Les marquages (Peintures sur RWY, TWY, PKG) permettent aux pilotes et contrôleurs ATC de mieux s'orienter au sol et dans les airs, étant essentiels à la sécurité. Aux aéroports, ils sont de diverses couleurs selon des utilisations spécifiques, généralement avec des machines spéciales. Le marquage est indispensable pour tous les véhicules servant au transport des personnes et des marchandises sur les aires de mouvement.

➤ **Marquage des RWY et TWY :**

RWY 05/23, RWY 09/27 et TWY : Marque des seuils ; Marques axiales des RWY ; Marques Numéro d'identification des RWY ; Marques de bord des RWY ; Marques de TDZ ; Marques axiales des TWY

Barres d'arrêt :

Disponible sur TWY reliant la RWY 05/23

1.3.3 Obstacles d'aérodrome

- Aires d'approche et de décollage : Piste, Type d'obstacle, Hauteur, Coordonnées
 - RWY 09 : Château d'eau, Hauteur 31,84 M / Altitude 60,64 M, QDR 87.15° à 2746 M du THR 27
 - RWY 09 : Bâtiment, Hauteur 18 M / Altitude 28 M, 364135.8N 0030932.5E
 - RWY 23 : Antenne LLZ, Hauteur 1,10 M / Altitude 26,10 M, 364131.96N 0031303.06E
- Aires de manœuvres à vue et aérodrome : Type d'obstacle, Hauteur, Coordonnées
 - TWR : Hauteur 45 M, 364200N 0031255E
 - Antenne GP : Hauteur 13,65 M / Altitude 38,65 M, 364127.4N 0031027.4E
 - Antenne Radar SMR : Hauteur 25 M / Altitude 52 M, 364119.1N 0031304E
 - Antenne Radar PSR/SSR : Altitude 49 M, 364037N 0031050E

1.3.4 Renseignements météorologiques :

- **Centre météorologique situé à Dar El Beida (Alger)**
 - Prévisions : TAF, TAFOR et METAR (avec intervalles 3 et 6 heures), SPECI, SIGMET, **BMS (Bulletin Météo Spécial)**
 - Equipements météorologiques : Diffusomètre pour le calcul de la RVR (Runway Visual Range : Portée Visuelle de Piste), Vent : Anémomètre pour la vitesse et Girouette de la direction, WXR : Radar Météorologique de Précipitation (Meteorological Weather Radar) ; APT : Récepteur d'Imagerie par Satellite (Automatic Picture Transmission)

1.3.5 Caractéristiques physiques des pistes et Dispositif lumineux :

Pistes, Dimensions RWY (M), Revêtement RWY et SWY, Coordonnées du seuil, THR (M)

RWY 05 : 3500 x 60, Béton bitumineux, 364136.43N 0031310.22E, 22

RWY 23 : 3500 x 60, Béton bitumineux, 364247.75N 0031507.09E, 25

RWY 09: 3500 x 45, Asphalte, 364131.42N 0031014.88E, 17

RWY 27: 3500 x 45, Asphalte, 364127.99N 0031239.02E, 20

Pistes, CAT, PAPI, Longueur Zone de toucher des roues (TDZ)

RWY 05,..... , PAPI 3°

RWY 23, CAT III Intensité lumineuse élevée (LIH), PAPI 3,07°, 900 M

RWY 09, CAT I Intensité lumineuse élevée (LIH), PAPI 3,03°, 900 M

RWY 27,..... , PAPI 3°

1.3.6 Communication, Navigation, Surveillance :

Communication

Tableau 1 1: les services de contrôle de trafic aérien à Alger

Service	Indentification	Fréquences	Horaire
TWR	ALGER TOUR (TWR)	118.7 – 119.7 (s)	H24
APP	ALGER APP	121.4 – 120.8 (s)	H24
SOL	ALGER SOL (GND)	121.8	H24
VDF (VHF Direction Finder)	ALGER GONIO	121.4 – 119.7 (s)	H24
ATIS (Automatic Terminal Information Service)	ALGER	128.525	H24

(s) : fréquence supplétive

ATIS : Automatic Terminal Information Service. Renseignements à jour DEP et ARR

Navigation

Tableau 1.2: les différents types d'aides de la navigation disponibles

Nav aids	Identification	Fréquences
DVOR/DME	ALR	112.5 MHZ (CH 72 X)
DVOR/DME	ZEM	116.6 MHZ (CH 113 X)
DVOR/DME	SDM	113.9 MHZ (CH 86 X)
NDB	SMR	370 KHZ
NDB	MAR	416 KHZ
NDB	ZEM	359 KHZ
LLZ23/ILS CAT III	AG	110.3 MHZ
GP 23		335 MHZ
DME-P	AG	CH 40 X
LLZ09/ILS CAT II	HB	108.5 MHZ

GP09		329.9 MHZ
OM 23	2 traits/sec	75 MHZ
OM 09	2 traits/sec	75 MHZ
MM 23	1 point/1 trait	75 MHZ
L	OA	342 KHZ

Surveillance :

Tableau 1.3: les différents types de radar

RADAR	Types de Radar
PSR	Radar primaire de surveillance
SSR	Radar secondaire de surveillance
SMR	Radar de mouvement à la surface

Note : SMR (Surveillance Mouvement Radar) permet de détecter les aéronefs et les véhicules à la surface d'un aéroport. Il est utilisé par ATC pour suppléer aux observations visuelles. Il est également utilisé la nuit et lors de visibilité réduite afin de contrôler les mouvements des aéronefs et des véhicules.

1.3.7 Espace aérien :

L'espace aérien constitue une ressource limitée, fortement sollicitée dans certaines régions du monde. Afin de garantir le respect des normes de sécurité qui exigent une séparation entre les avions circulant dans cet espace, l'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA) joue un rôle crucial. Il est chargé de la gestion de l'espace aérien, assurant les services de contrôle aérien, d'information de vol et de service d'alerte. Les espaces aériens Algériens sont :

- **FIR Flight Information Region (Région d'Information de Vol) :**

Une FIR est une région définie dans l'espace aérien dans laquelle un service d'information de vol est fourni. Les FIR sont souvent alignées avec les frontières nationales et sont gérées par l'autorité de l'aviation civile de chaque pays. Les FIR permettent de surveiller et de contrôler le trafic aérien dans des zones spécifiques. Le Service de la Circulation Aérienne (ATS), assure l'information pertinente dans la conduite sûre et efficace des vols et alerte les autorités adéquates en cas de détresse.

Les limites verticales de la FIR ALGER sont du Sol/Niveau Moyen de la Mer à Illimitées, les limites latérales étant : -au Nord : Marseille, Barcelone, Séville ; -au Sud : Niamey, Dakar ; -à l'Ouest : Casablanca ; -à l'Est : Tunis, Tripoli.

Les espaces aériens ATS de l'OACI sont classés par ordre alphabétique de A jusqu'à G. A l'intérieur de la FIR Alger seulement trois classes sont utilisées et désignées A, D et E. Les aéronefs en IFR de classes D et E sont limités à moins de 250 Kt en dessous du FL 100 et en VFR, la visibilité doit être de 5 Km en-dessous du FL100 ou de 8 Km au-dessus du FL100.



Figure 1.2 : les routes aériennes

▪ **TMA ALGER (Région de Contrôle Terminale) :**

La TMA ALGER, intégrée à la FIR ALGER, est une zone de contrôle terminal essentielle pour la gestion du trafic aérien autour de la région d'Alger. Entourée par plusieurs autres espaces aériens stratégiques tels que les TMAs de Nord Est et d'Oran, ainsi que des secteurs adjacents de classe E et des segments limitrophes des FIR de Barcelone et Marseille, elle joue un rôle crucial dans le contrôle et la coordination des vols. La TMA ALGER est subdivisée en deux zones distinctes dépendant du Centre de Contrôle Régional (ACC) : un espace inférieur de classe D, s'étendant verticalement de 450 mètres au-dessus du sol jusqu'au FL245, et un espace supérieur de classe A, couvrant la tranche d'altitude du FL245 au FL450. Cette organisation permet de gérer efficacement les mouvements d'aéronefs avec des fréquences dédiées pour chaque secteur, assurant ainsi la sécurité et l'efficacité des opérations aériennes dans cette zone particulièrement dense et diversifiée.

▪ **CTA (Zone de Contrôle) :**

La CTA (Control Area) est une zone de contrôle dans l'espace aérien, conçue pour gérer le trafic aérien en croisière à des altitudes plus élevées que les TMA (Terminal Control Area). Typiquement, un CTA est gérée par un centre de contrôle régional (ACC - Area Control Center) et couvre des zones plus vastes, souvent à cheval sur plusieurs FIR (Flight Information Region). Elle assure le contrôle et la séparation des aéronefs en vol, en appliquant les procédures spécifiques et en fournissant des services de contrôle du trafic aérien aux vols IFR (Règles de vol aux instruments) et, dans certains cas, aux vols VFR (Règles de vol à vue).

▪ **CTR Control Zone (Zone de Contrôle) :**

La CTR (Control Zone) est une zone de contrôle plus restreinte et de basse altitude qui entoure un aéroport majeur. Elle est conçue pour gérer le trafic aérien à proximité immédiate de l'aéroport, y compris les mouvements d'approche et de départ. Les CTR sont généralement gérés par la tour de contrôle de l'aéroport (ATC - Air Traffic Control) et sont essentielles pour assurer la sécurité et l'efficacité des opérations aériennes dans les zones aéroportuaires congestionnées. Elles imposent des restrictions et des procédures spécifiques pour garantir la séparation des aéronefs et minimiser les risques de collisions.

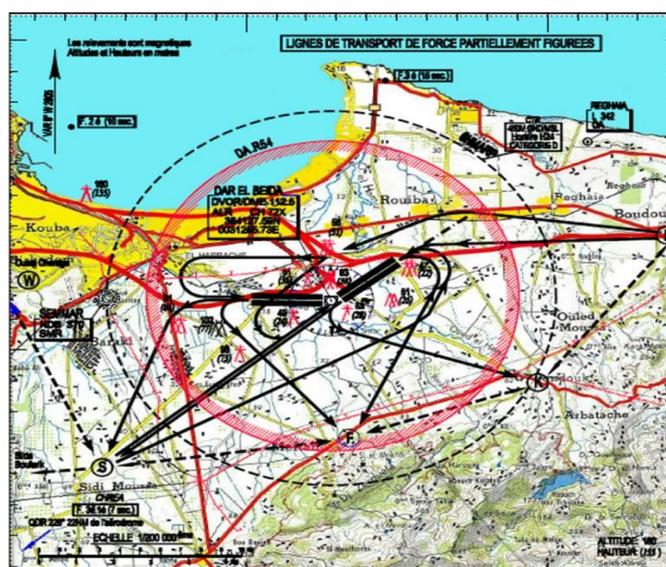


Figure 1.4 : ligne de transport

1.3.7.1 Classification d'espaces aérien :

Les espaces aériens ATS (Air Traffic Services) sont classés et désignés comme suit :[4]

- **Classe A** : Réservee aux vols IFR uniquement. Service de contrôle de la circulation aérienne et séparation garantie entre tous les vols.
- **Classe B** : Ouverte aux vols IFR et VFR. Service de contrôle de la circulation aérienne et séparation garantie entre tous les vols.
- **Classe C** : Accessible aux vols IFR et VFR. Service de contrôle de la circulation aérienne pour tous les vols, avec séparation entre les vols IFR et entre les vols IFR et VFR. Les vols VFR reçoivent des informations sur les autres vols VFR.
- **Classe D** : Autorisée pour les vols IFR et VFR. Tous les vols sont contrôlés, avec séparation entre les vols IFR. Les vols IFR reçoivent des informations sur les vols VFR, et les vols VFR reçoivent des informations sur tous les autres vols.
- **Classe E** : Permet les vols IFR et VFR. Tous les vols IFR sont contrôlés et une séparation est assurée entre eux. Tous les vols reçoivent des informations de trafic dans la mesure du possible.
- **Classe F** : Admise pour les vols IFR et VFR. Les vols IFR bénéficient d'un service consultatif de la circulation aérienne, et tous les vols peuvent recevoir un service d'information de vol sur demande.
- **Classe G** : Espace aérien non contrôlé (non contrôlé). Les services de la circulation aérienne ne sont pas fournis, sauf sur demande spécifique. Les vols IFR et VFR sont admis sans restriction, et les pilotes sont responsables de leur propre séparation par le principe "voir et éviter".

Ces classes déterminent le type de services de contrôle de la circulation aérienne disponibles ainsi que les règles spécifiques pour les vols IFR et VFR dans chaque espace aérien.

- **VFR (Visual Flight Rules)** : Règles de vol à vue. Les vols VFR sont effectués lorsque les conditions météorologiques permettent au pilote de voir clairement à l'extérieur de l'aéronef. Les pilotes VFR naviguent en utilisant des repères visuels au sol et doivent éviter les obstacles et autres aéronefs en utilisant le principe "voir et éviter".

• **IFR (Instrument Flight Rules)** : Règles de vol aux instruments. Les vols IFR sont effectués lorsque les conditions météorologiques nécessitent que le pilote utilise des instruments de bord pour naviguer et maintenir la trajectoire de vol. Les pilotes IFR reçoivent des instructions précises de contrôle de la circulation aérienne et peuvent voler même lorsque la visibilité est limitée.

1.3.7.2 Division d'espace aérien

À l'intérieur de la FIR ALGER (région d'information de vol d'Alger), trois classes d'espace aérien sont actuellement utilisées : A, D et E. Cette FIR, ou Flight Information Region, est subdivisée en 7 secteurs. Chaque secteur est responsable du contrôle et de la gestion d'une partie spécifique de l'espace aérien qui lui est assignée. Cette division permet de faciliter le contrôle efficace de tous les aéronefs circulant dans la région, en assurant une gestion optimale du trafic aérien et en maintenant les normes de sécurité requises. Ce tableau illustre comment les classes d'espace aérien A, D et E sont réparties dans les différents secteurs de la FIR ALGER. [5]

Tableau 1.4: espace aérien des services de la circulation aérienne en Algérie

Nom		Lim inférieur		Lim supérieur	Fréquences	Nombre de stations	classifications
Secteur centre	1.espace inférieur	450	M	FL245	127.3/124.9(s)		Classe D
	2.espace supérieur	FL245		FL 450	132.45/124.9(s)		Classe A
Secteur nord /ouest		450	M	FL 450	125.7		Classe D
Secteur nord /est		450	M	FL 450	125.4-124.6-133.8(s)		Classe D
Secteur sud /centre		900M GND		FL 450	131.3-124.6		Classe E

Secteur sud /ouest	900M GND	FL 450	128.1	Classe E
Secteur sud / est	900 M GND	FL 450	124.1-124.6	Classe E
Secteur sud/sud	900 M GND	FL 450	124.1-123.8-128.1	Classe E

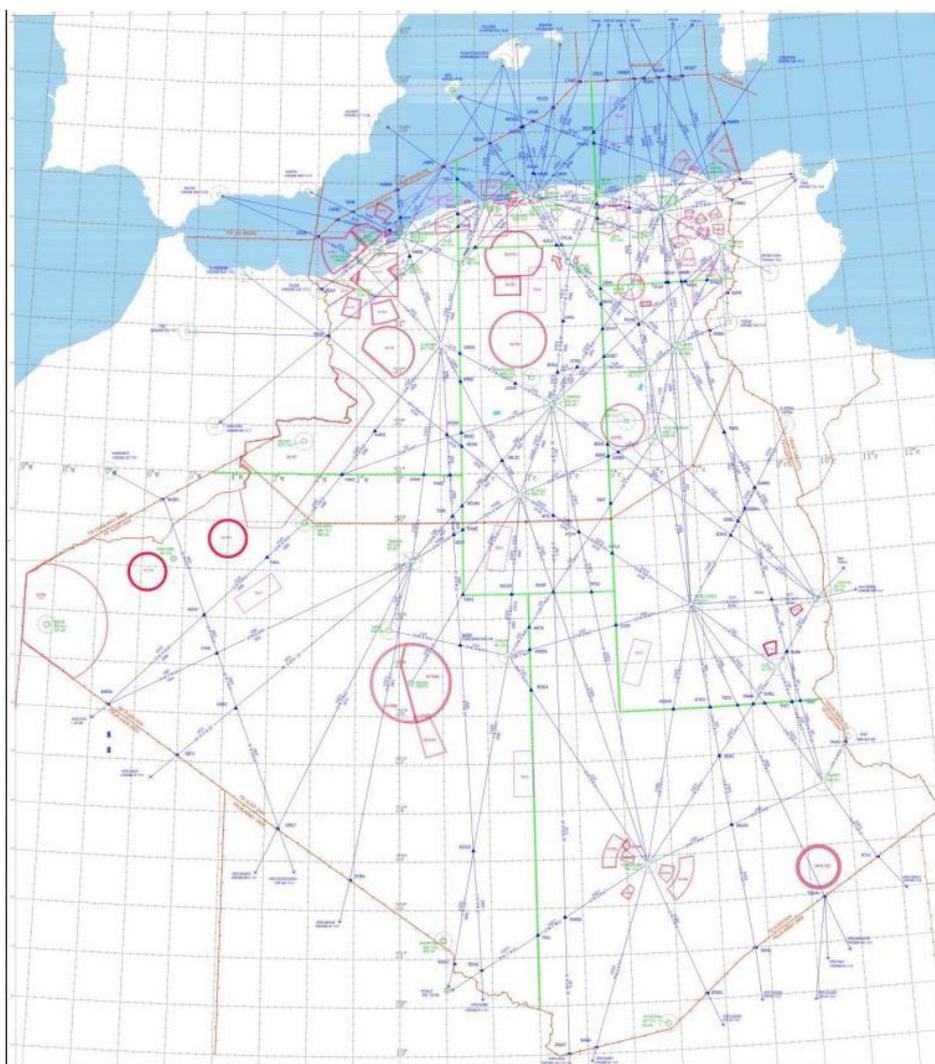


Figure 1.5 : Carte sectorielle (document interne de ENNA) [6]

1.4 Procédures d'Approche :

Une procédure est une série de manœuvres prédéterminées effectuées en utilisant uniquement les références instrumentales. Une procédure est basée sur un ou plusieurs moyens radioélectriques (procédures conventionnelles) ou repères (procédures RNAV). A chaque segment de procédure est associée une aire de protection qui sert à déterminer quels sont les obstacles pénalisants. Une marge de franchissement d'obstacles (MFO) permet de déterminer une altitude/hauteur qui garantit au pilote une utilisation sûre de la trajectoire en l'absence de références visuelles. [7]

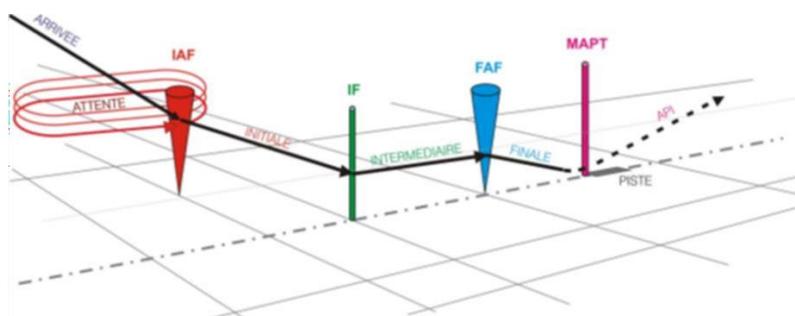


Figure 1.6 : Différentes phases d'une procédure

❖ Définitions :

IAF: Repère d'approche initiale (Initial Approach Fix). Repère qui marque le début du segment initial et la fin du segment d'arrivée, s'il y a lieu.

IF: Repère intermédiaire (Intermediate Fix). Repère qui marque la fin d'un segment initial et le début du segment intermédiaire.

FAF: Repère d'approche finale (Final Approach Fix). Repère qui marque le début du segment final pour une approche classique.

FAP : Repère d'approche finale (Final Approach Point) pour une approche de précision.

MAP : Point d'approche interrompue. Point d'une procédure d'approche aux instruments auquel ou avant lequel la procédure prescrite d'approche interrompue doit être amorcée afin de garantir que la marge minimale de franchissement d'obstacles sera respectée.

API : Trajectoire d'approche interrompue. Elle est utilisée lorsqu'il s'avère impossible de poursuivre l'approche jusqu'à l'atterrissage.

1.4.1 Les différents segments d'une procédure

La procédure d'approche comprend quatre segments :

- La phase d'arrivée
- La phase d'approche initiale
- La phase intermédiaire
- La phase d'approche finale.

Ces segments définissent les manœuvres et hauteurs à respecter avant l'atterrissage. Différents systèmes, tels que l'ILS, le MLS, le PAR et le GLS, facilitent les approches de précision.

L'ILS, adopté par l'OACI en 1949, est largement utilisé pour les atterrissages précis. En Algérie, l'ENNA a acquis 20 ILS en 2014, dont 16 pour les aéroports internationaux et 4 pour les aéroports nationaux. L'aéroport d'Alger/Houari Boumédiène dispose de 2 ILS, ainsi que de balisages lumineux et de RVR pour assurer la visibilité.

Le contrôle radar d'approche, opérant dans un espace aérien de 60 NM autour de l'aérodrome d'Alger, assure le séquençement, le mesurage et le guidage radar des aéronefs en approche. Ces méthodes guident les aéronefs jusqu'à environ 10 NM du seuil de la piste, alignés avec l'approche finale de l'ILS.

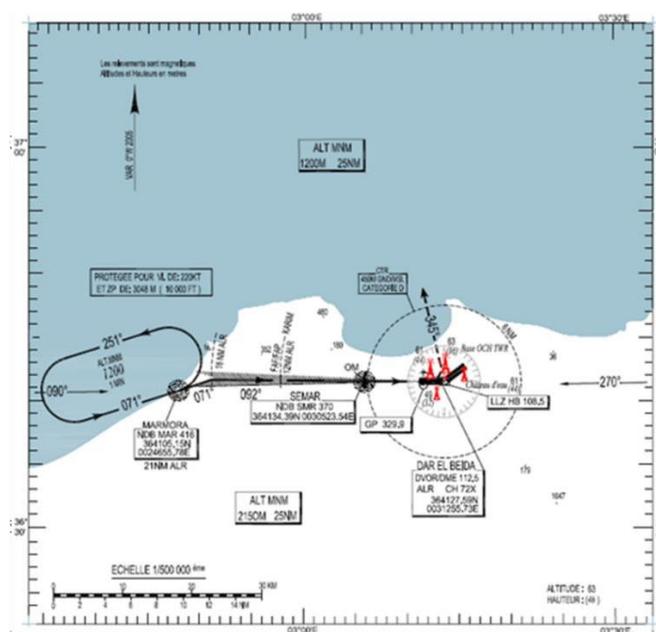


Figure 1.7 : Procédures NDB-DVORDME-ILS RWY 09



Figure 1.8 : Image Alger RWY 09 par Jetphotos.Net – 2016

1.5 Conclusion :

En conclusion, l'étude approfondie de l'Aérodrome d'Alger/Houari Boumédiène met en lumière sa complexité et son importance dans le réseau aéroportuaire national. Des données générales aux spécificités techniques telles que le système de guidage, les obstacles, et la gestion des espaces aériens, chaque aspect contribue à soutenir un environnement aéroportuaire sûr et efficace. En continuant à améliorer ces infrastructures et procédures, l'aéroport peut non seulement répondre aux besoins actuels mais aussi anticiper et s'adapter aux défis futurs du transport aérien en Algérie.

Chapitre 02

Moyens de communication aéronautique

2.1 introductions :

Dans le domaine de l'aéronautique, la communication est essentielle pour assurer la sécurité et l'efficacité des vols. Les pilotes, les contrôleurs aériens et les personnels au sol dépendent de systèmes de communication fiables pour échanger des informations cruciales en temps réel. Ce chapitre examine les divers moyens de communication utilisés dans l'aviation, depuis les systèmes traditionnels jusqu'aux technologies les plus récentes. Nous explorerons les types de communications aéronautiques, les systèmes embarqués de communication, et les équipements spécialisés comme les radios VHF et HF, ainsi que les services d'information automatique. En outre, nous discuterons des défis actuels en matière de communication aéronautique et des innovations futures qui continueront à améliorer la gestion du trafic aérien et la sécurité des vols.

2.2 Radiocommunication et équipements associés :

En général la radiocommunication est une variété d'applications désigne la transmission d'informations par des ondes radioélectriques. C'est un domaine technologique qui permet la communication sans fil à travers des signaux électromagnétiques, utilisés pour la téléphonie mobile, la radiodiffusion, les réseaux sans fil comme le WiFi et le Bluetooth, ainsi que pour les communications par satellite et d'autres. En aviation, la radiocommunication aéronautique concerne l'utilisation spécifique des ondes radio pour les communications entre les aéronefs et les contrôleurs de la circulation aérienne, ainsi que pour les échanges entre aéronefs. Les équipements associés incluent des radios VHF et HF pour les communications vocales, des transpondeurs pour l'identification et la surveillance radar, ainsi que des systèmes de navigation et de communication par satellite pour les vols à longue distance et au-dessus des océans.[9]

2.2.1 Types de communications aéronautiques :

- **Communication Air-sol** : La communication entre les pilotes et les contrôleurs aériens est essentielle pour assurer efficacement la gestion du trafic aérien. Elle est initiée soit par les pilotes lorsqu'ils entrent dans un nouveau secteur de contrôle au sol (TWR, APP et CCR), soit par les contrôleurs lorsqu'ils doivent fournir des autorisations de vol ou des informations aux pilotes. Cette communication est assurée par différents moyens, notamment les équipements VHF déportés, les VHF de tour, et les HF.

- **Communication sol-sol** : Il s'agit des échanges entre les contrôleurs (TWR, APP et CCR), ainsi qu'avec les services internationaux (espaces aériens ou FIR voisins) et les services locaux, pour répondre aux besoins de messagerie aéronautique tels que les informations météorologiques et les plans de vol. Cette communication est assurée via des lignes téléphoniques réservées, comprenant les lignes hots et les lignes R2, ainsi que par le biais du VSAT.

2.2.2 Système de communication aérienne :

Les systèmes de communication aérienne utilisent une gamme de fréquences pour assurer les échanges entre les pilotes et les contrôleurs aériens. Voici quelques-unes des fréquences les plus couramment utilisées : (site ENNA)

- **La HF (High Frequency)** : permet des communications à longue portée, ce qui en fait un choix idéal pour les vols transocéaniques et dans les régions éloignées. Cependant, elle est moins stable et moins fiable que la VHF et la UHF, étant sensible aux interférences et aux variations de conditions atmosphériques.
- **La VHF (Very High Frequency)** : offre une bonne qualité de communication à courte et moyenne portée, ce qui en fait le choix privilégié dans l'aviation civile. Cependant, sa portée est limitée à environ 200 miles nautiques.
- **La UHF (Ultra High Frequency)** : est utilisée pour les communications à courte portée, notamment dans les applications militaires et entre avions et véhicules au sol. Cependant, sa portée est plus courte que celle de la VHF et elle est moins courante dans l'aviation civile.

2.3 Concept CNS/ATM et son application :

Le concept CNS/ATM (Communication, Navigation, Surveillance / Air Traffic Management) a été introduit dans les années 1990 pour moderniser et améliorer la gestion du trafic aérien à l'échelle mondiale. Il repose sur l'intégration de technologies avancées dans les domaines des communications, de la navigation et de la surveillance aérienne.

En 1983, l'OACI a créé le comité FANS (Future Air Navigation System) pour étudier les futurs systèmes de navigation aérienne. Ce comité a jeté les bases du concept CNS/ATM, qui a été approuvé lors de la dixième conférence de la navigation aérienne en 1991. Son objectif principal est d'améliorer l'efficacité globale de la gestion du trafic aérien en augmentant la

capacité, en réduisant les coûts d'exploitation et en harmonisant les niveaux de service à l'échelle mondiale [10].

L'application du concept CNS/ATM repose sur plusieurs principes clés. Tout d'abord, il favorise l'utilisation de communications numériques, telles que les liaisons de données, pour faciliter les échanges d'informations entre les pilotes et les contrôleurs de la circulation aérienne. Ensuite, il promeut l'utilisation de techniques de navigation avancées, comme le GPS, pour une navigation précise et fiable des aéronefs. De plus, il utilise des technologies de surveillance avancées, comme le radar multilatéral et l'ADS-B, pour suivre en temps réel la position des avions. Enfin, il modernise les systèmes de gestion du trafic aérien avec des outils informatiques avancés pour la planification des vols et la gestion des flux de trafic.

En combinant ces éléments, le concept CNS/ATM vise à accroître l'efficacité opérationnelle, la sécurité et la capacité du système de transport aérien mondial, tout en facilitant une meilleure utilisation de l'espace aérien, une réduction des retards et une amélioration de la fluidité du trafic.

2.4 Équipements de la radiocommunication aéronautique :

Plusieurs types d'équipements sont utilisés, avec une variété de générations, de marques et de modèles. Le service télécommunication gère essentiellement les équipements suivants :

2.4.1 Équipements radio VHF :

Plusieurs types de radios VHF sont utilisés : la VHF tour, la VHF déportée ou VHF mobiles et talkies-walkies :

- **VHF de la tour** : La station radio VHF de la tour de contrôle comprend deux émetteurs et deux récepteurs par fréquence pour assurer une redondance et une sécurité optimale. Elle utilise des systèmes de basculage, relais, et diviseurs pour gérer les communications. Installée dans la salle radio sous la vigie, elle couvre l'aérodrome et ses environs sur plusieurs dizaines de miles nautiques pour le contrôle tour et approche. Les contrôleurs opèrent via des platines d'exploitation ou des postes opérateurs reliés au système de communications vocales (VCCS).
- **VHF de l'approche** : L'Algérie a installé 33 stations de communication VHF au niveau des services d'approche des aéroports. Leur rôle est de détecter tous les vols approchant du terminal dans un rayon de 30 à 50 milles nautiques et de coordonner le trafic

aéroportuaire, en gérant les montées, les descentes, et les trajectoires dans la zone terminale.

- **VHF de déportée** : La station VHF déportée, ou Antenne Avancée, est une baie radio installée en un point stratégique pour couvrir une zone géographique sur plusieurs dizaines de miles nautiques. Utilisées dans le contrôle de route, ces stations sont gérées à distance depuis le Centre de Contrôle Régional (CCR). Chaque Antenne Avancée dispose de deux systèmes de télécommande : un sur le site distant, intégré à la baie, et un au CCR, reliés via un support de transmission fourni par Algérie Télécom ou Algérie Télécom Satellite.
- **VHF mobiles et talkies-walkies** : Il s'agit généralement d'émetteurs-récepteurs VHF. Ces radios sont utilisées dans les véhicules ou encore comme ultime secours



Figure 2.1 : VHF mobiles.

➤ **Module de la VHF :**

- Emetteur.
- Récepteur.
- E1-RIC.
- Panneau de commutation.
- Filtre de cavité.
- Panneau de distribution d'alimentation.
- Relais d'émission, relais d'antenne, relais de réception et diviseurs RF.
- Antenne VHF.

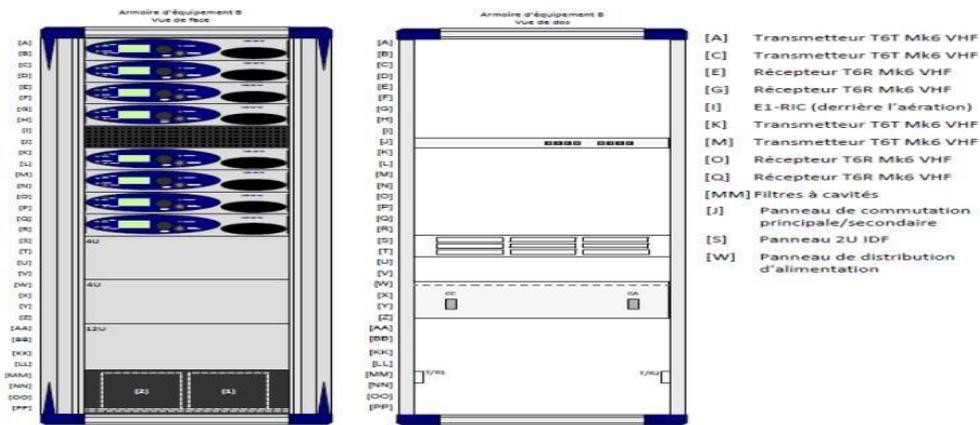


Figure 2.2 : Armoire d'équipement radio

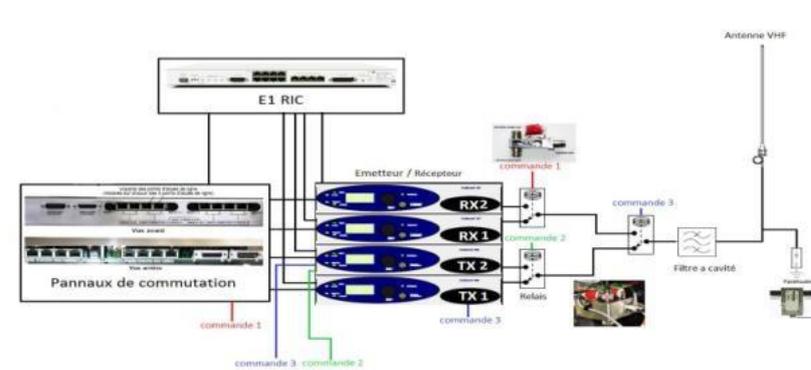


Figure 2.3 : Schéma synoptique d'une station VHF

Emetteur : génère la porteuse VHF, la modulé avec le signal BF du contrôleur, l'amplifie en puissance, et l'envoie à l'antenne.

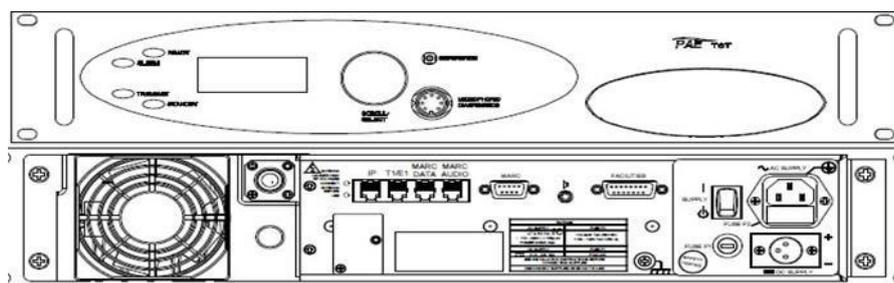


Figure 2.4 : Vue avant et arrière d'un Emetteur PAE v2.

Récepteur : démoduler le signal VHF reçu par l'antenne, en extrait le signal BF du pilote, et le transmet au contrôleur.

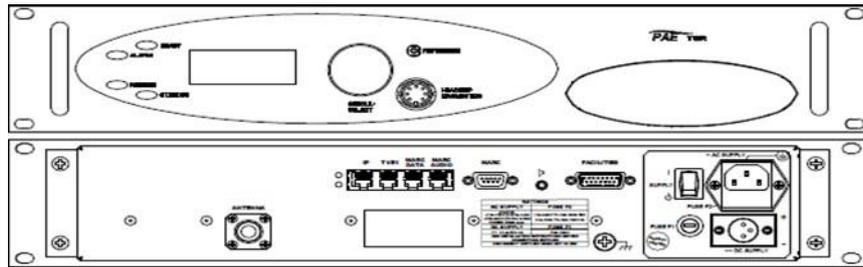


Figure 2.5 : Vue avant et arrière d'un récepteur PAE v2.

E1-RIC et panneau de commutation : ces deux modules constituent le système de basculement de PAS. Ils sont connectés aux émetteurs et aux récepteurs et permettent de sélectionner les radios.



Figure 2.6 : Vue avant d'un E1-RIC.



Figure 2.7 : Vue avant et arrière d'un panneau de commutation.

Filtre de cavité : c'est une sorte de cavité résonnante dont la fréquence peut être ajustée. Ce filtre peut être intercalé entre l'antenne et les radios VHF afin d'améliorer la sélectivité de la fréquence et ainsi l'élimination des fréquences indésirables dans les deux sens émission et réception.

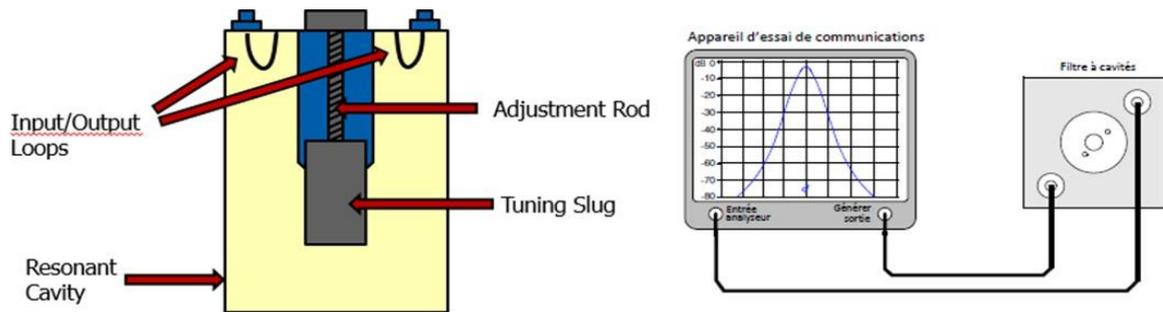


Figure 2.8 : Les éléments de Filtre à cavité et la méthode de calibration.

Les relais d'émission et de réception : C'est un relais radiofréquence mécanique qui connecte une sortie commune à l'une des deux entrées (position de repos et position active) en fonction de la commande. Cette commande est réalisée par une bobine simple.

Il existe 3 relais :

- Relais d'antenne entre l'étage émetteur et récepteur (point de report coté réception)
- Relais d'émission entre l'émetteur principale et secondaire
- Relais de réception entre le récepteur principale et secondaire

2.4.2 Les stations HF :

Il existe deux stations HF sont déployées comme dispositifs de secours et pour couvrir les régions désertiques où l'antenne principale ne peut atteindre. Elles offrent une couverture étendue grâce à une propagation multimode, incluant les ondes directes, de surface, et les réflexions entre le sol, la mer et les couches ionosphériques.

2.4.3 L'enregistreur vocal :

Un équipement essentiel, assure la sauvegarde de toutes les communications radios et téléphoniques provenant des aéronefs, des tours de contrôle et du centre de contrôle régional. En cas d'incident, ces enregistrements servent de preuves essentielles pour les investigations.

2.4.4 VCCS (Voice communication and Control System):

C'est un système automatisé de traitement, de contrôle et de communication des voies téléphoniques et radiophoniques provenant de divers équipements de télécommunication. Ce système supervise un processus industriel grâce à une interface homme-machine et un réseau de communication numérique. Il comprend un commutateur central qui relie les postes opérateurs, les lignes téléphoniques, les lignes radios, les réseaux de trafic aérien, l'horloge, les lignes d'enregistrement ainsi que la station de supervision et de configuration. Grâce à ce système, les opérateurs peuvent effectuer leurs communications de manière simplifiée, efficace et sécurisée.



Figure 2.9 : Photo réelle d'équipement de VCCS tour de contrôle (Aéroport d'Alger)

2.4.5 ATIS (Automatique Terminal Information Service) :

L'ATIS (Service d'Information Terminal Automatisé) est un système automatique de diffusion continue d'informations destinées aux pilotes des aéroports les plus fréquentés. Ces messages ATIS incluent des données cruciales comme les conditions météorologiques, les pistes en service, les approches disponibles et d'autres informations nécessaires aux vols. Les pilotes consultent généralement l'ATIS avant de contacter le contrôle aérien, ce qui réduit la charge de travail des contrôleurs et diminue la durée d'occupation de la fréquence radio.

2.5 Les Antennes :

Les antennes sont des dispositifs permettant de rayonner (émetteur) ou de capter (récepteur) les ondes électromagnétiques. Elles sont composées d'un ou plusieurs conducteurs électriques, souvent métalliques, qui permettent la conversion entre les ondes électromagnétiques et les courants électriques. Et permis les principales catégories d'antenne on trouve : les antennes filaires, les antennes à réflecteur, les antennes à fente ...etc

Pour caractériser une antenne, il existe deux paramètres principaux à prendre en considération :

- **Paramètres électriques :** influent directement sur le comportement de l'antenne

(Circuit). Ces paramètres électriques sont essentiels pour déterminer les caractéristiques d'adaptation de l'antenne.

- L'impédance,
- Le coefficient de réflexion
- Le rapport d'onde stationnaire ros
- Le coefficient de transmission
- La bande passante
- Le coefficient de qualité
- **Paramètres de rayonnement** : ils servent à déterminer les qualités de l'antenne

À recevoir ou à transmettre un signal.

- Le diagramme de rayonnement
- La directivité
- Le gain
- Les régions du champ électromagnétique
- La polarisation

Les antennes en aéronautique constituent une spécialité étendue et prédominante dans ce domaine. Ce secteur comprend une variété d'antennes, telles que les antennes HF, VHF, VOR, DME, RADIOALTIMETRE, et WEATHERRADAR, entre autres.

2.5.1 Antenne VHF :

Le dispositif VHF est équipé d'une antenne dédiée à la transmission à courte portée entre l'aéronef et la station au sol, constituant ainsi un élément essentiel du système de communication VHF. Cette antenne, généralement de type dipôle, offre une installation aisée et assure une couverture uniforme autour de l'aéronef. Pour les tours de contrôle, l'antenne VHF présentée dans la figure répond aux spécifications détaillées dans le tableau [11]:

Tableau 2.1: cahier des charges de l'antenne VHF

Type	Dipôle
Gamme de Fréquence	116-152 MHz
Bandwidth	36 MHz
Directivité	Omnidirectionnelle
Gain	2.15 dBi
Impédance	50 Ω

Connecteur d'antenne	Type N
Height	Variable (généralement de quelques dizaines de cm à quelques mètres)
VSWR	< 2.0



Figure 2.10 : L'antenne VHF de la tour

2.5.1.1 Emplacement et couverture :

- **Emplacement :**
- **Sur le Toit de la Tour de Contrôle :**

Hauteur Maximale : Les antennes VHF sont généralement installées sur le toit de la tour de contrôle pour atteindre la hauteur maximale possible. Cela permet d'assurer une ligne de vue dégagée et de minimiser les interférences avec les obstacles au sol.

Mâts et Supports : Souvent, l'antenne est montée sur un mât ou une structure de support pour encore augmenter son altitude relative. Ces supports doivent être robustes pour résister aux conditions météorologiques extrêmes.

Isolation des Autres Équipements : L'antenne est placée de manière à être suffisamment éloignée des autres équipements électroniques pour éviter les interférences et les perturbations électromagnétiques.

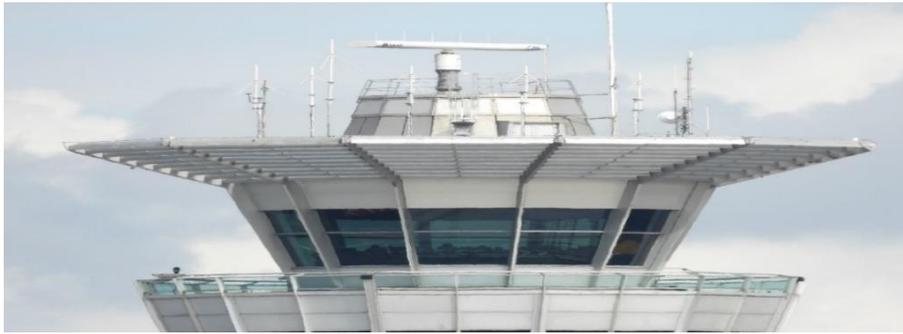


Figure 2.11 : La station VHF au niveau de la tour

➤ **Dans l'avion :**

Les antennes VHF dans un avion sont généralement montées sur le dessus ou le dessous du fuselage pour assurer une communication claire avec les stations au sol et d'autres aéronefs. Leur emplacement est choisi pour minimiser les interférences avec les autres systèmes électroniques de l'avion et pour maximiser la couverture de signal. Les antennes doivent être facilement accessibles pour l'entretien et conçues pour ne pas affecter l'aérodynamique de l'avion. [12]



Figure 2.12 : Implantation des antennes VHF sur un avion

Voici leur emplacement typique :

Dessus du Fuselage :

VHF 1 et VHF 2 : Généralement montées sur le dessus du fuselage, souvent près de la queue de l'avion. Cela assure une vue dégagée du ciel, minimisant les interférences avec d'autres systèmes de l'avion.

➤ **Dessous du Fuselage :**

VHF 3 : Souvent placée sous le fuselage pour assurer une bonne communication avec les stations au sol. Cette antenne peut être dédiée au système ACARS mais peut également être utilisée pour les communications vocales si nécessaire.

- **Couverture :**

La couverture d'une antenne VHF se réfère à la zone géographique dans laquelle elle peut émettre et recevoir des signaux radio. Cela dépend de facteurs tels que la puissance de l'antenne, sa position et les obstacles environnants. En général, une antenne VHF fournit une couverture omnidirectionnelle, envoyant des signaux dans toutes les directions horizontales autour de l'aéronef ou de la tour de contrôle.

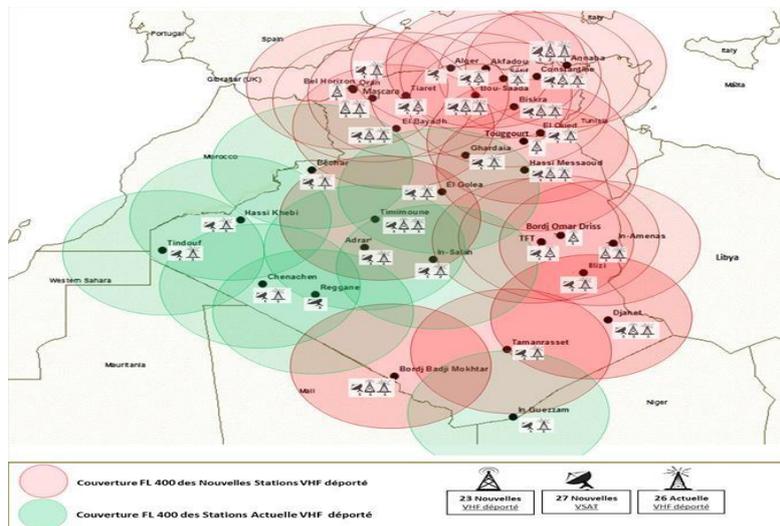


Figure 2.13 : Couverture de VHF (site ENNA(PDGA))

2.5.2 Portée et propagation :

La portée et la propagation d'une antenne VHF font référence à la distance sur laquelle elle peut émettre et recevoir des signaux radio, ainsi qu'à la manière dont ces signaux se déplacent à travers l'environnement. Voici une définition concise :

- **Portée :** La distance maximale sur laquelle une antenne VHF peut établir une communication efficace avec une autre antenne ou une station au sol. Elle dépend de facteurs tels que la puissance de l'émetteur, la sensibilité du récepteur et les obstacles environnants.
- **Propagation :** La manière dont les signaux radio émis par une antenne se propagent dans l'environnement. En général, les ondes VHF se déplacent en ligne droite et suivent la

courbure de la Terre, ce qui limite leur portée à la vue directe. Cependant, elles peuvent également être réfléchies ou diffractées par des obstacles, ce qui peut étendre la portée de la communication dans certaines situations.



Figure 2.14 : La portée radio VHF.

2.5.3 Antenne Directionnel :

Une antenne directionnelle est un type d'antenne conçu pour émettre et recevoir des ondes radio principalement dans une direction spécifique. Cela permet d'améliorer le gain et la portée dans cette direction tout en réduisant les interférences provenant d'autres directions. Les antennes directionnelles sont couramment utilisées dans les applications où il est nécessaire de concentrer le signal radio, telles que les communications longue distance, les réseaux de télécommunication et les radars. Elles incluent des types tels que les antennes Yagi-Uda, parabolique et panneau.



Figure 2.15 : Antenne directionnelle(yagi)

2.5.3.1 Principe de fonctionnement et avantages d'antenne directionnel :

- **Principe :**

Les antennes directionnelles fonctionnent en concentrant l'énergie des ondes radio dans une direction précise. Elles utilisent des conceptions spécifiques, telles que des éléments directeurs et des réflecteurs, pour amplifier le signal dans une direction donnée tout en limitant la réception des signaux provenant d'autres directions. Par exemple, une antenne Yagi-Uda utilise des éléments directeurs pour diriger le signal, tandis qu'une antenne parabolique utilise une forme courbée pour focaliser les ondes vers un point spécifique. En résumé, le fonctionnement des

antennes directionnelles consiste à orienter de manière précise la propagation des ondes radio pour maximiser leur efficacité dans une direction choisie.

- **Avantages :** Les antennes directionnelles offrent plusieurs avantages :
 - Gain élevé : Permet une transmission ou réception sur une plus grande distance.
 - Réduction des interférences : Diminue les interférences provenant de sources indésirables.
 - Meilleure performance dans les environnements encombrés : Optimise la réception du signal souhaité.
 - Sécurité accrue : Réduit le risque d'interception ou de brouillage des signaux.
 - Économie de bande passante : Utilisation plus efficace de la bande passante disponible.
 - Flexibilité d'utilisation : Adaptabilité à différentes applications, y compris les réseaux sans fil et les systèmes de communication à longue distance.

2.6 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons plongé dans l'univers complexe de la radiocommunication aéronautique. Nous avons exploré les divers types de communications utilisées dans l'aviation, ainsi que les systèmes et équipements qui les sous-tendent. Des systèmes VHF et HF aux enregistreurs vocaux et aux antennes, chaque composant joue un rôle crucial dans le maintien d'une communication fiable et sécurisée dans le ciel. En comprenant ces éléments et en restant à jour avec les dernières avancées technologiques, les professionnels de l'aviation peuvent garantir des opérations fluides et sûres, contribuant ainsi à la sécurité aérienne globale.

C

hapitre 03

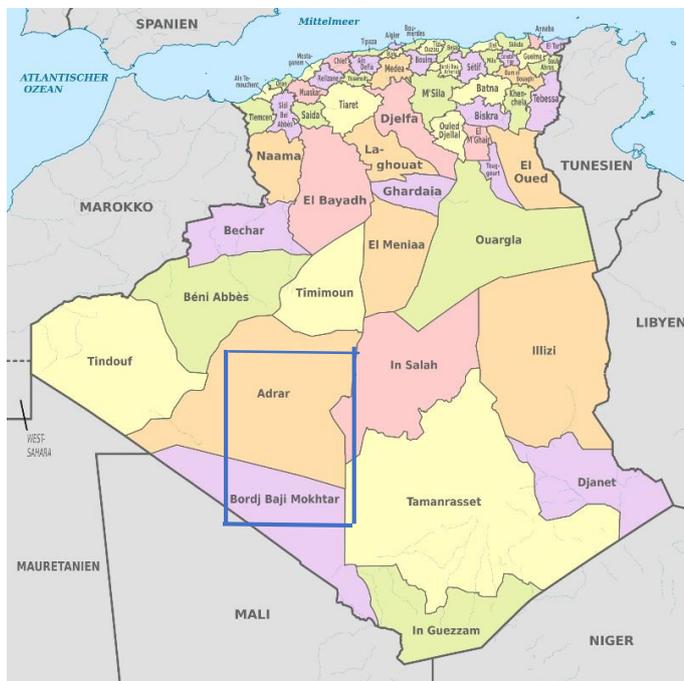
S

imulation et résultats

3.1 Introduction :

Ce chapitre présente une simulation avec MATLAB App Designer pour optimiser les performances des antennes VHF et Yagi, visant à améliorer la communication entre Adrar et Borj Badji Mokhtar (BBM). La première partie analyse les antennes VHF et Yagi, en utilisant une application interactive pour simuler leurs propriétés et configurations. La seconde partie aborde la couverture réelle entre les stations, proposant des solutions comme l'utilisation d'antennes Yagi ou l'installation d'une antenne intermédiaire pour combler les zones de couverture manquantes. Une comparaison des performances des antennes est réalisée pour déterminer la meilleure configuration pour une communication continue et fiable.

➤ Zone d'étude :



3.2 Présentation de MATLAB App Designer :

MATLAB App Designer est un outil puissant intégré à MATLAB pour la création d'interfaces utilisateur interactives. App Designer simplifie la conception d'applications en combinant des fonctionnalités de glisser-déposer pour la disposition des éléments avec un environnement de développement intégré pour la programmation des comportements. Nous découvrirons comment utiliser efficacement ces fonctionnalités pour concevoir des applications personnalisées et fonctionnelles dans l'environnement MATLAB.

3.3 Interface de simulation :

Cette interface graphique didactique a été conçue à l'aide de l'outil MATLAB App designer pour la simulation complète des antennes VHF, qu'elles soient omnidirectionnelles ou directionnelles, couvrant à la fois les aspects de puissance et de couverture. Elle est structurée en plusieurs fenêtres distinctes pour faciliter l'analyse et l'optimisation des performances des antennes :

- Partie Etude :
 - La première fenêtre (CouvUP) introduction du simulateur
 - Une fenêtre d'étude d'antenne (Dipôle ou Yagi)
- Partie couverture : dans cette partie on trouve une fenêtre qui nous donne la main pour fournir à notre application les paramètres nécessaires de simulation.

3.4 Interface d'ouverture :

Pour lancer l'application, connectez-vous à MATLAB puis double-cliquez sur (CouvUp) pour accéder à interface illustrée dans la figure 3.1 ci-dessus. Cette interface propose deux modules :étude d'antenne ou étude de couverture, au choix.



Figure 3.1 : Interface de l'antenne VHF dans MATLAB App Designer
Cette étude va se diviser par deux parties :

- Etude des antennes dipole et YAGI
- Etude de couverture

3.5 Études approfondies sur les antennes : Analyse d'antenne et couverture :

3.5.1 analyse d'Étude des Antennes dipôle et Yagi :

Étude d'antenne est basée sur deux simulations :

- Soit la simulation d'un dipôle
- Soit la simulation d'antenne Yagi



Figure 3.2 : Etude de l'antenne

L'application permet à l'utilisateur de sélectionner l'un des deux types d'antennes à travers des boutons dédiés. Chaque type d'antenne VHF ou Yagi possède des caractéristiques similaires telles que le Taux d'Onde Stationnaire (TOS), le diagramme de rayonnement, l'impédance et paramètre S... etc Cependant, la différence réside dans les coordonnées spécifiques nécessaires pour calculer ces paramètres. L'utilisateur fournit ces coordonnées via l'interface graphique de l'application, ce qui permet à celle-ci de générer et d'afficher avec précision les paramètres performances à chaque type d'antenne sélectionné. Comme illustrent les deux figures ci-dessus :



Figure 3.2 : Fenêtre d'étude d'antenne Dipôle



Figure 3.3 : fenêtre d'étude d'antenne YAGI

3.5.1.1 Analyse des paramètres clés :

3.5.1.1.1 Antenne Dipôle :

- Les coordonnées pour antenne dipôle :

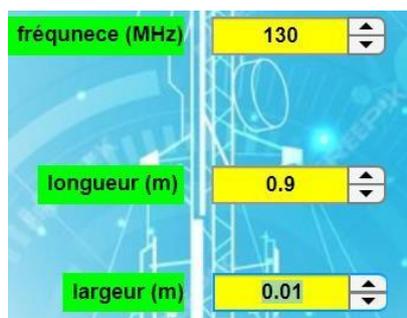


Figure 3.4 : les coordonnées d'étude d'antenne DIPOLE

On obtient :

- Antenne :

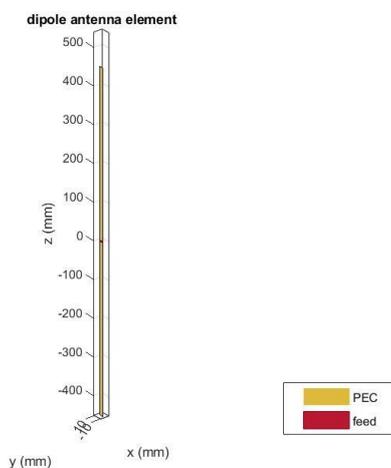


Figure 3.5 :élément d'antenne dipole

❖ Paramètre S :

La figure représente les paramètres de diffusion (S-parameters) d'un dipôle VHF. Deux courbes sont affichées :

La magnitude en décibels (dB) et la phase en degrés. La courbe de magnitude montre une augmentation rapide jusqu'à 0 dB, indiquant une fréquence de résonance optimale pour l'antenne. La courbe de phase commence à environ -180 degrés et augmente progressivement vers 0 degré. En somme, cette figure permet de comprendre le comportement de l'antenne à différentes fréquences dans sa bande passante opérationnelle.

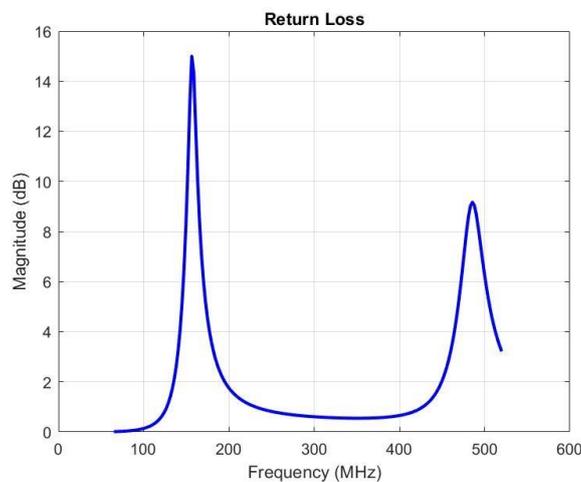


Figure 3.6 : le graphe de paramètre S

❖ T.O.S :

Le graphique montre comment le VSWR varie en fonction de la fréquence. Plus précisément, il indique comment l'efficacité de la transmission d'énergie radiofréquence change lorsque la fréquence évolue entre 100 MHz et 1200 MHz. Les courbes représentent différentes valeurs de VSWR, et une courbe plus basse signifie une meilleure adaptation d'impédance. En examinant ce graphique, on peut évaluer la qualité de l'antenne sur toute la plage de fréquences VHF.

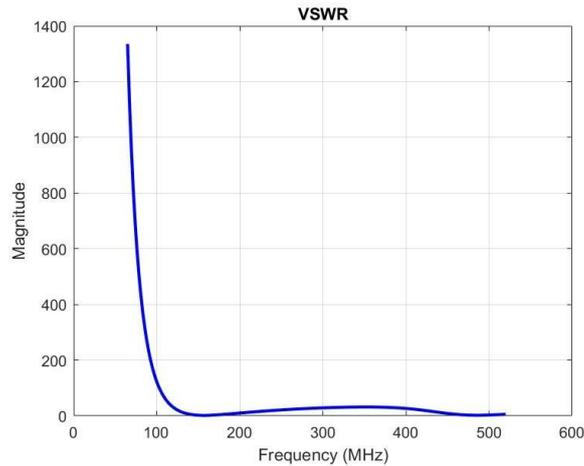


Figure 3.7 : Le graphe VSWR d'antenne dipôle

❖ **Efficacité :**

La courbe montre une efficacité optimale maintenue à un niveau constant pour toutes les fréquences examinées

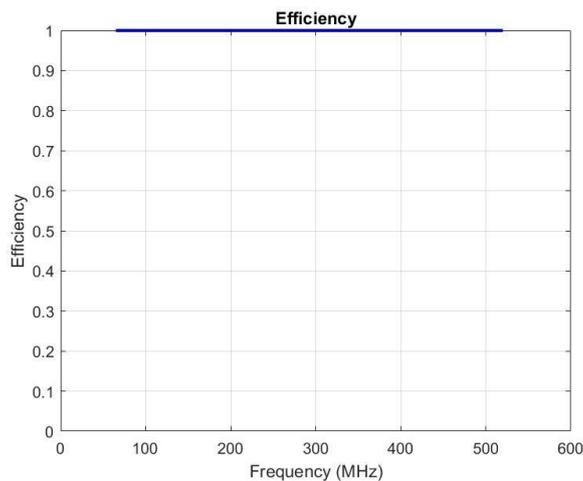


Figure 3.8 : le graphe d'efficacité d'antenne dipôle

❖ **Impédance :**

La figure représente l'impédance en fonction de la fréquence. Les courbes en rouge et en bleu indiquent comment l'impédance varie avec les changements de fréquence.

Sachant que la partie imaginaire doit être presque nulle, seule la partie réelle est prise en compte pour assurer l'adaptation.

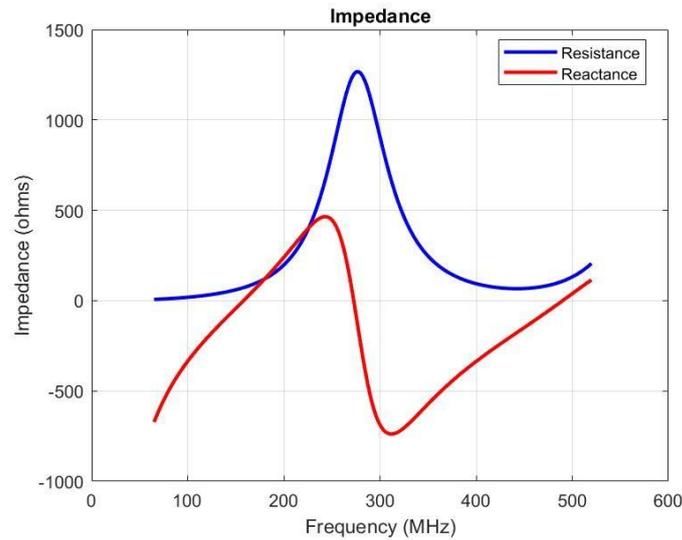


Figure 3.9 : Graphe d'impédance d'antenne Dipole

❖ Diagramme de rayonnement 3D :

Le diagramme de rayonnement montre la performance directionnelle d'un dipôle VHF. Le gain est de 2,15 dBi, ce qui en fait une antenne de référence pour évaluer d'autres systèmes

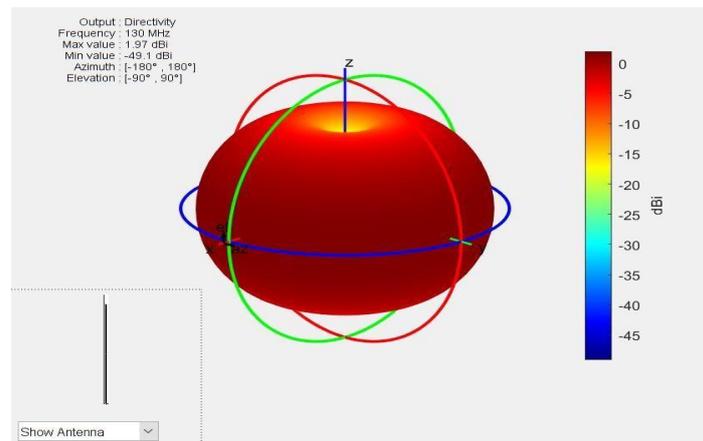


Figure 3.10 : diagramme de rayonnement 3D d'antenne Dipole

❖ Diagramme de rayonnement élévation :

Le diagramme d'élévation de l'antenne dipôle VHF illustre sa directivité et sa capacité à concentrer le signal dans une direction spécifique, presque idéal pour la communication à longue distance tout en minimisant les interférences latérales

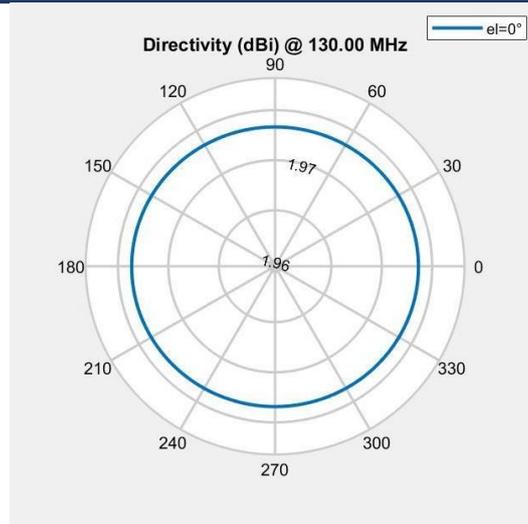


Figure 3.11 Diagramme de rayonnement élévation d’antenne dipole

❖ **Distribution de charge :**

La figure distribuée de charge du dipôle VHF démontre l’optimisation de l’impédance sur toute sa longueur, assurant une efficacité maximale de rayonnement dans la bande VHF, cruciale pour une communication fiable et robuste à ces fréquences

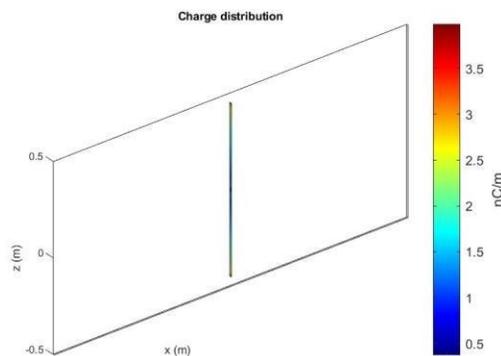


Figure 3.12 : fenêtre distribution de charge du dipôle

❖ **Distribution de courant :**

La distribution de courant captivante du dipôle VHF illustre efficacement la répartition harmonieuse des charges dans un espace restreint, révélant ainsi l’élégance de son design optimisé pour les hautes fréquences

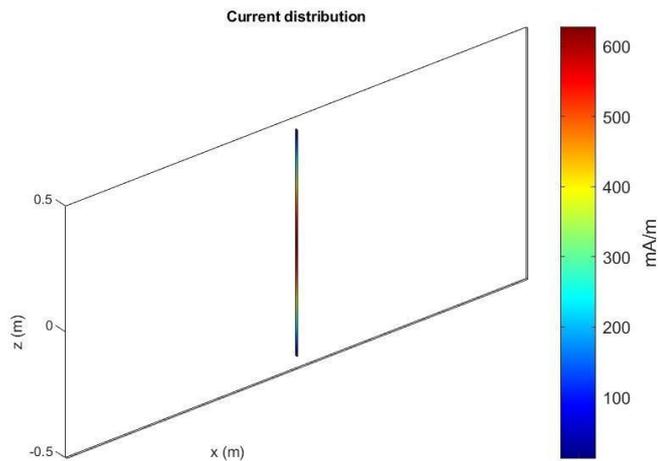


Figure 3.13 : fenêtre distribution du courant du dipôle

3.5.1.1.2 antenne YAGI :

- Les coordonnées pour antenne YAGI :



Figure 3.14 : les coordonnées d'étude d'antenne YAGI

- Antenne :

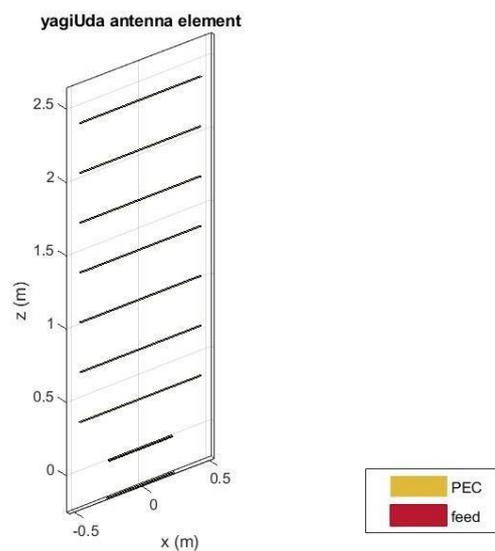


Figure 3.15 : élément d'antenne YAGI

❖ Paramètre S :

Les paramètres S pour cette antenne Yagi presque idéale démontrent une excellente capacité de transmission et de réception, avec des valeurs remarquables de gain et de directivité, illustrant ainsi son efficacité exceptionnelle dans la communication à haute fréquence

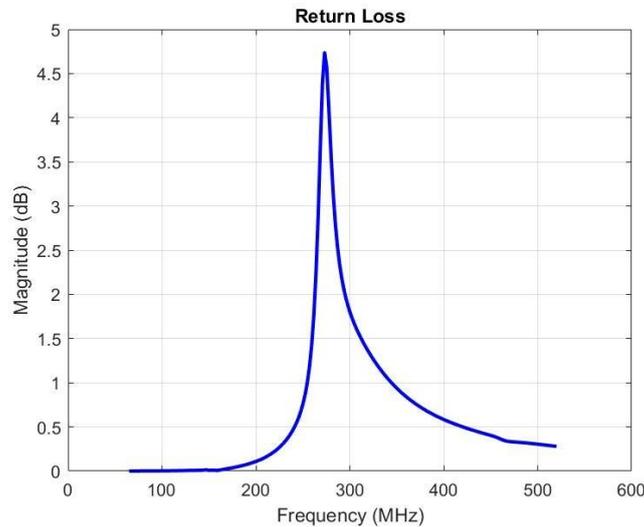


Figure 3.16 : graphe de paramètre S d'antenne YAGI

❖ TOS :

La courbe de TOS/VSWR de cette antenne Yagi témoigne de son excellente adaptation à l'impédance, garantissant une transmission optimale sans pertes significatives, ce qui est crucial pour des communications fiables et efficaces dans les fréquences spécifiques

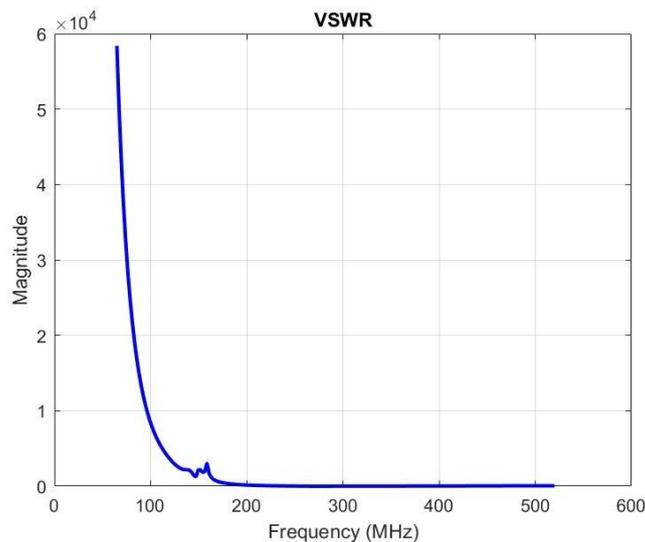


Figure 3.17 : le graphe VSWR d'antenne YAGI

❖ Efficacité :

La courbe indique une efficacité optimale qui reste constante pour toutes les fréquences examinées.

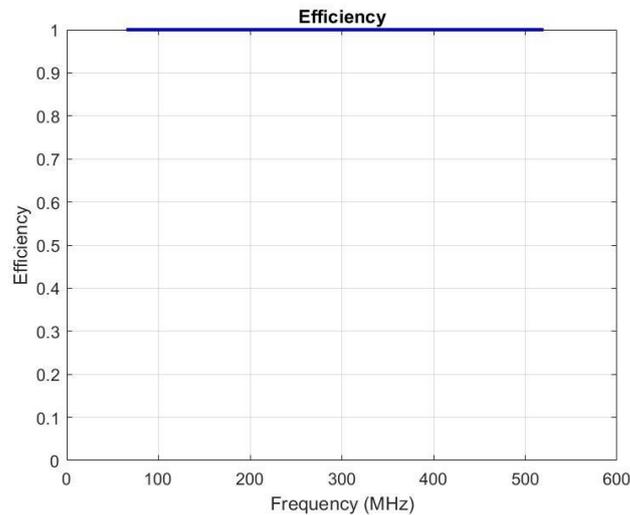


Figure 3.18 : le graphe d'efficacité d'antenne YAGI

❖ Diagramme de rayonnement 3D :

Ce diagramme révèle clairement sa directivité marquée et sa capacité à concentrer efficacement l'énergie dans la direction souhaitée, confirmant son efficacité pour des communications à longue distance et sa précision dans la couverture spatiale

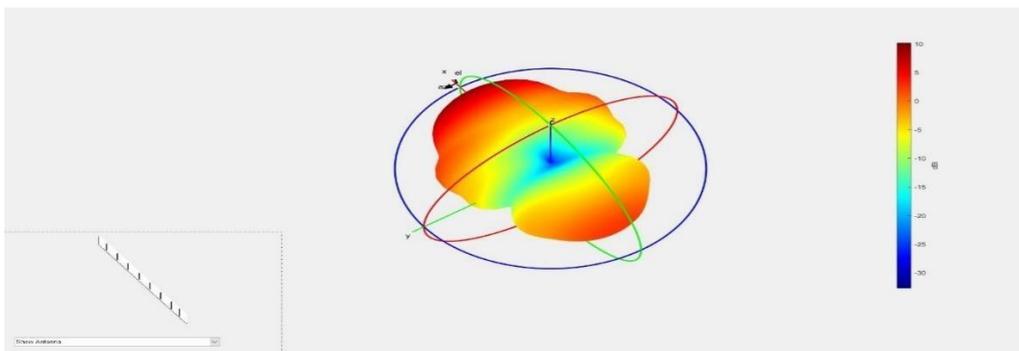


Figure 3.19 : Diagramme de rayonnement 3D d'antenne YAGI

❖ Diagramme de rayonnement élévation :

Ce diagramme illustre son excellente capacité à concentrer le faisceau radioélectrique dans une direction précise, offrant ainsi une couverture optimale et une efficacité accrue pour les communications à moyenne et longue distance

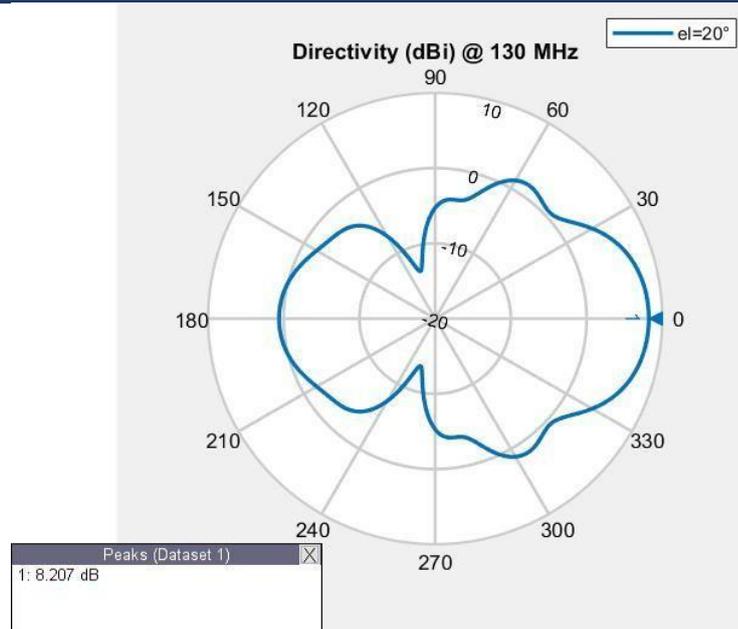


Figure 3.20 : Diagramme de rayonnement élévation d'antenne YAGI

3.5.1.2 Comparaison entre l'antenne Dipôle et l'antenne Yagi :

Le dipôle VHF offre une radiation omnidirectionnelle avec une distribution d'énergie relativement uniforme, tandis que l'antenne Yagi présente une directivité plus marquée, concentrant l'énergie dans une direction principale. En termes de paramètres S, de TOS, et d'impédance, les deux antennes sont bien adaptées avec des coefficients de réflexion bas et une bonne correspondance d'impédance. Cependant, la Yagi se distingue par une efficacité accrue grâce à son gain directionnel supérieur, idéal pour les applications nécessitant une portée et une performance directionnelle optimales.

3.5.2 étude de la couverture :

Les paramètres offerts dans la fenêtre de l'étude de couverture nous fournissent un accès initial essentiel pour configurer et ajuster les variables clés de notre étude.

Voici les paramètres de cette interface :

Etude de la couverture

nombre d'antenne <input checked="" type="radio"/> 1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4	Type d'antenne <input checked="" type="radio"/> Dipole <input type="radio"/> Yagi	fréquence Mhz 100	azimuth ° 90	elevation ° 90	Latitude 21.2	longitude 0.73	altitude (m) 10	puissance de l'antenne 10
---	---	----------------------	-----------------	-------------------	------------------	-------------------	--------------------	------------------------------

	antenne1	antenne2	antenne3	antenne4
Type d'antenne <input checked="" type="radio"/> Dipole <input type="radio"/> Yagi	<input checked="" type="radio"/> Dipole <input type="radio"/> Yagi			
fréquence Mhz 100	100	100	100	100
azimuth ° 90	90	90	90	90
elevation ° 90	0	0	0	0
Latitude 21.2	23.4	19.6	22.25	22.25
longitude 0.73	-0.2	0.85	0.73	0.73
altitude (m) 10	10	10	10	10
puissance de l'antenne 10	10	10	10	10

suivant

Figure 3.21 : fenêtre d'étude de la couverture

- On prend les coordonnées géographiques de chaque station (Adrar et BbM) dans le secteur sud-ouest.

Adrar :27.820333N -0.202758E

Bbm :21.3826N-0.950692E

- Antenne 1 (dipôle) : c'est l'antenne VHF placée dans l'aéroport de « Bordj Badji Mokhtar »
- Antenne 2 (dipôle) : c'est l'antenne VHF placée dans l'aéroport de « Adrar »

Ensuite nous avons entamé la puissance en 3 cas :

1^{er} cas :

- **Puissance = 50w**

Malgré une puissance de 50W, les antennes dipôles à Adrar et Borj Badji Mokhtar font face à une grande distance entre elles, ce qui peut limiter leur capacité individuelle à couvrir efficacement toute cette étendue.

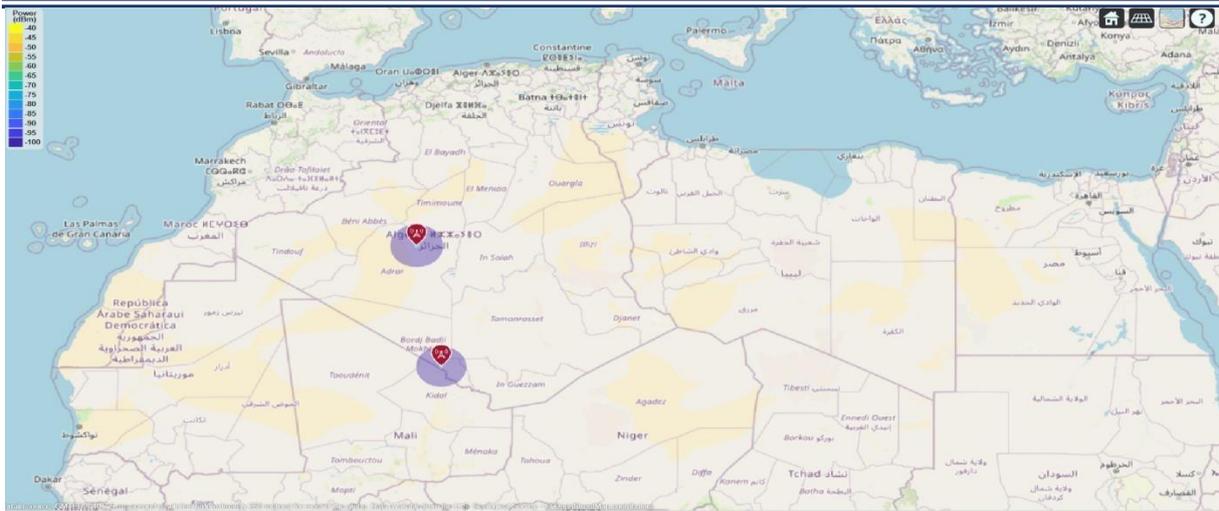


Figure 3.22 : fenêtre de couverture pour puissance 50w Bbm et ADRAR

2ème cas :

- Puissance= 500w

Même avec une puissance augmentée 500w pour chaque antenne dipôle à Adrar et Borj Badji Mokhtar, la grande distance entre les deux antennes peut encore poser un défi pour assurer une couverture complète

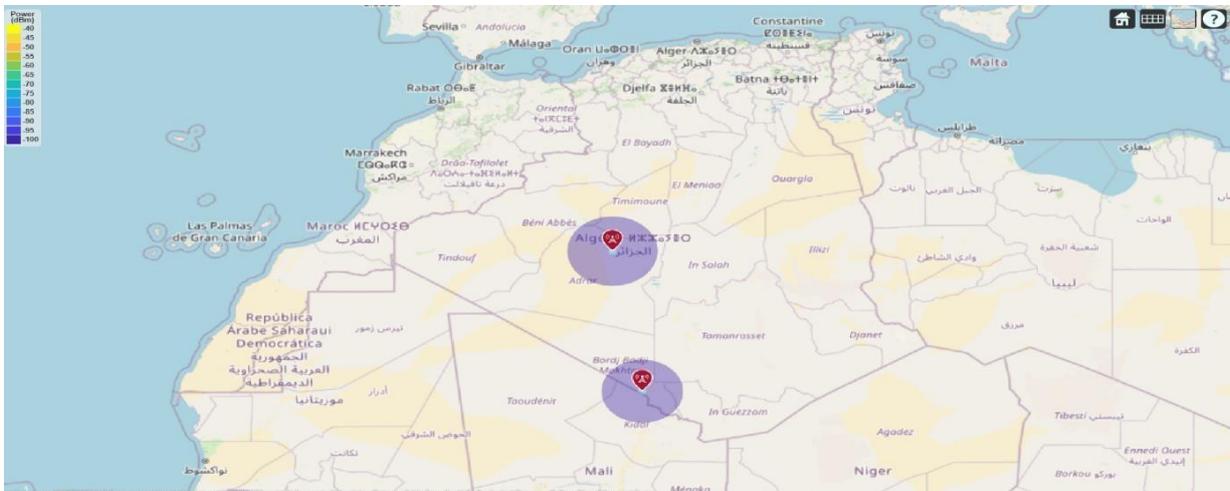


Figure 3.23 : fenêtre de couverture pour puissance 500W Bbm et ADRAR

3ème cas :

- Puissance = 1kw

Même avec une augmentation significative de la puissance à 1kW pour chaque antenne dipôle à Adrar et Bourj Badji Mokhtar, la distance considérable entre elles peut encore poser des défis

pour une couverture complète. Dans de telles conditions, il devient crucial d'envisager des solutions avancées comme l'installation de relais supplémentaires

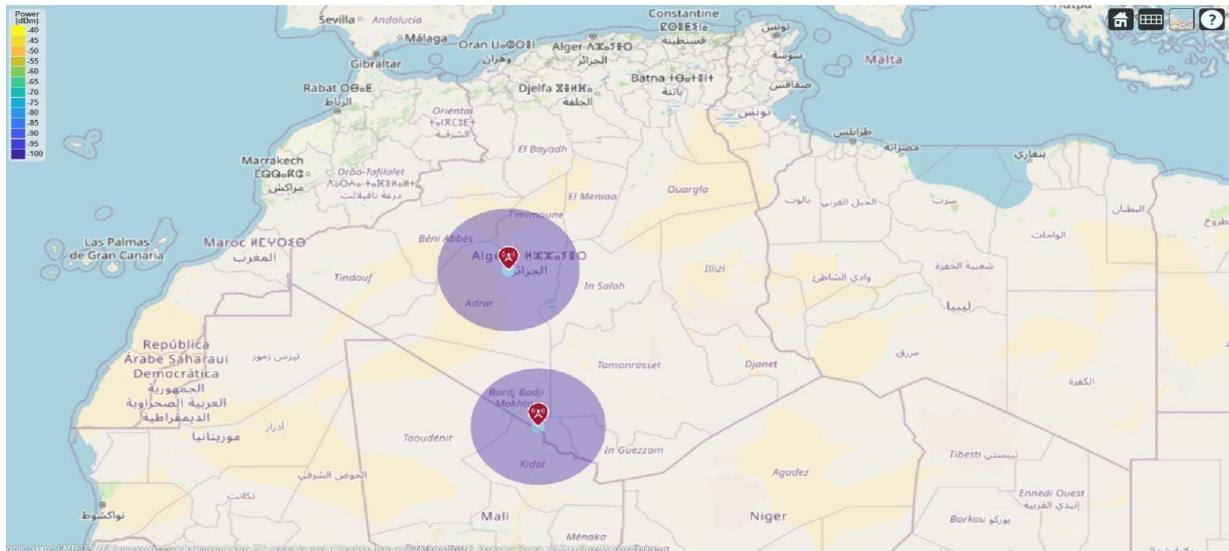


Figure 3.24 : fenêtre de couverture pour puissance 1kW Bbm et ADRAR

Pour résoudre le problème de couverture entre les deux stations, la solution envisagée consiste à ajouter une troisième antenne Dipôle . L'application propose un emplacement géographique pour la troisième antenne afin de maximiser la couverture dans la zone ciblée

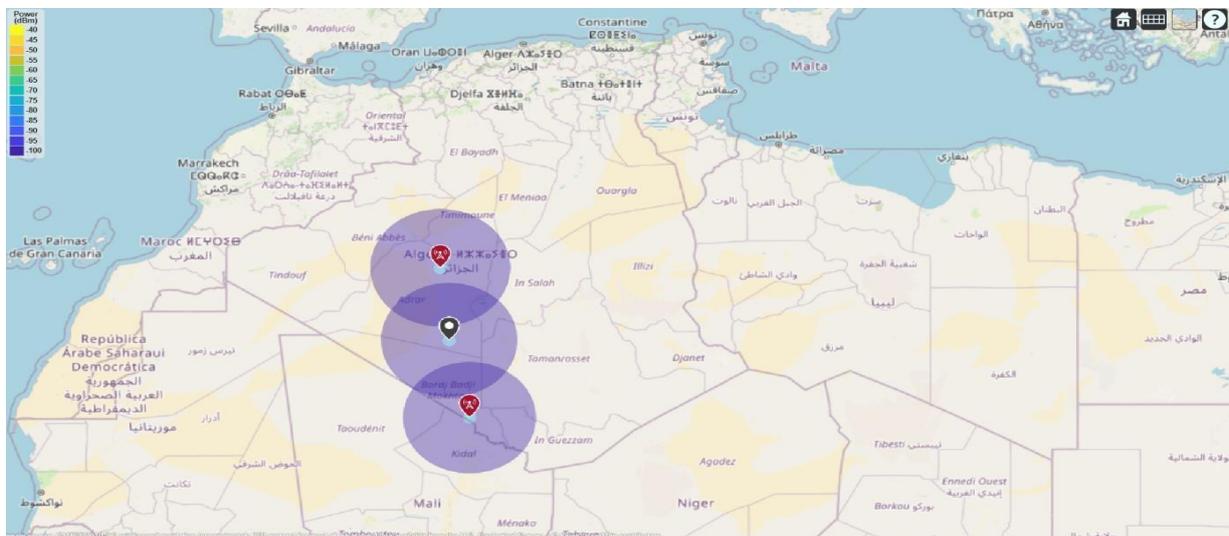


Figure 3.25 : fenêtre de couverture d'installation de troisième antenne DIPOLE

- Antenne 1 de BBM est située sur l'approche d'aérodrome.
- Antenne 2 de Adrar est située sur la tour d'aérodrome.
- La 3ème antenne est au sud ouest c'est une antenne déportée des aérodromes .
- Puissance 1kw pour les trois antennes .

Cette partie-là plus importante de cette étude d'où on a réglé le problème de couverture dans la nouvelle route aéronautique et le résultat exprimer dans notre application .

L'installation d'une troisième antenne présente des avantages en termes d'amélioration de la couverture, mais également des inconvénients à considérer tels que côté sécurité, terrain, l'énergie, maintenance, support de transmission...Etc.

Autre solution :

Une alternative envisagée consiste à remplacer l'antenne dipôle à Bordj Badji Mokhtar par une antenne Yagi, tout en maintenant l'antenne dipôle à Adrar. Les antennes Yagi offrent une directivité supérieure et un gain plus élevé, ce qui pourrait améliorer la couverture et la qualité du signal dans la région de Bordj Badji Mokhtar.

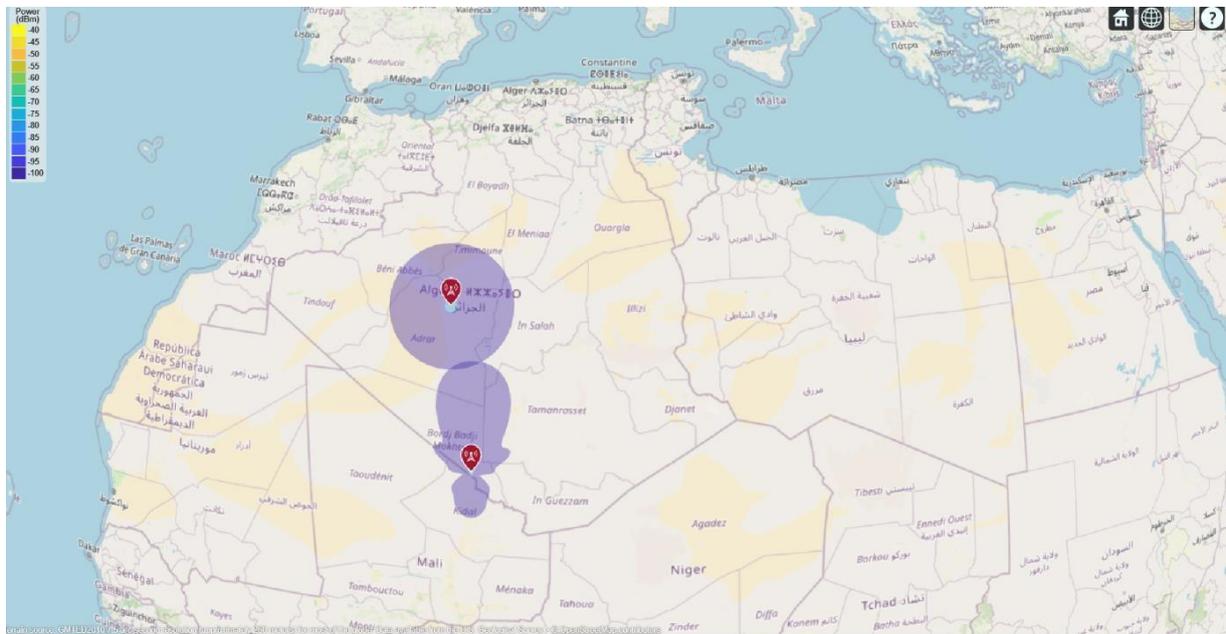


Figure 3.26 : fenêtre de couverture d'antenne (DIPOLE, YAGI)

- Antenne 1 Bm (YAGI)
- Antenne 2 Adrar (dipole)
- Puissance 1kw pour les deux antennes.
- une élévation de 0 degré et un azimut de 90 degrés.

Nous avons opté pour Borj Badji Mokhtar en raison de sa position aux extrémités de la zone cible .

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les performances des antennes dipôles à Adrar et Bordj Badji Mokhtar à différentes puissances (50w 500W, 1kW) et avons conclu que la grande distance entre les deux stations pose un défi significatif pour une couverture complète. La solution proposée d'ajouter une troisième antenne dipôle permet d'améliorer la couverture, mais présente des défis logistiques. Une alternative consistant à utiliser une antenne Yagi à Bordj Badji Mokhtar offre une meilleure directivité et un gain plus élevé, améliorant ainsi la couverture et la qualité du signal dans la région cible.

Conclusion générale

La conception et l'optimisation des moyens de communication dans le domaine de l'aéronautique revêtent une importance capitale pour garantir la sécurité et l'efficacité des opérations aériennes. Cette étude a fourni une analyse exhaustive de l'organisation et de l'infrastructure de l'aérodrome d'Alger/Houari Boumédiène ainsi que des moyens de communication aéronautique, en mettant un accent particulier sur les antennes VHF et leur application dans des zones géographiquement éloignées comme Adrar et Borj Badji Mokhtar. Les différents chapitres ont mis en lumière la complexité de la gestion aéroportuaire et les rôles cruciaux des intervenants institutionnels, tels que le Ministère des Transports, les EGSA, l'ENNA, et le Ministère des Travaux Publics. L'analyse détaillée des infrastructures, des systèmes de guidage, de contrôle des mouvements, et des dispositifs de communication et de navigation a permis de comprendre les technologies essentielles pour une connectivité aérienne efficace. Les solutions proposées, telles que l'installation d'une troisième antenne ou le remplacement par des antennes Yagi, ont été évaluées à l'aide de simulations réalisées avec MATLAB App Designer, offrant des recommandations concrètes pour améliorer la couverture et l'efficacité des communications aéronautiques. En intégrant les résultats de cette étude, il est possible d'optimiser la gestion des ressources et de renforcer la sécurité des opérations aériennes, tout en surmontant les défis spécifiques des régions éloignées comme Adrar et Borj Badji Mokhtar. Cette approche globale vise à fournir une connectivité aérienne robuste et fiable, minimisant les coûts et les complexités opérationnelles, et contribuant ainsi à l'amélioration continue des infrastructures aéronautiques.

Bibliographie

- [1] Site web des Établissements de Gestion des Services Aéroportuaires d'Alger. Disponible à l'adresse : <https://aeroports-egsa-alger.dz/fr/index.html> (Consulté en février 2024).
- [2] Site web de l'ENNA. Disponible à l'adresse : <https://www.enna.dz> (Consulté en février 2024).
- [3] Document OACI 9426, « Manuel de planification des services de la circulation aérienne », première édition-1984.
- [4] Annexe 1 del'OACI,«Service de la circulation aérienne», quinzième édition juillet 2018.
- [5] Publication des informations aéronautique Algérie(AIPALGERIE), ENR2- 1- 1,(25APR19).
- [6] Site SIA E.N.N.A, Algérie carte croisière, consulté 20 mars 2024.
- [7] Référence : SIA (Service de l'Information Aéronautique), Aviation Civile, France, Chapitre 4, 29 avril 2024
- [8] CHALLAL SYLIA, Mémoire sur la connectivité aux Bor de l'avion; Présentée par; à Université SAAD DAHLAB BLID; soutenue publiquement septembre 2019; consulter le 6/05/2024.
- [9] Hanzo, Lajos, et al. "Wireless Communications: Principles and Practice." Pearson Education, 2012
- [10] A. Pirovano, " Conception et Optimisation d'Architectures Réseaux pour les Systèmes de Communication Aéronautiques», Thèse de Doctorat ,Institut Supérieur d'Aéronautique et d'espace (ISAE), 10 avril 2015
- [11] Site Khatrien BROADCAST, Ground-to-Air Antennas and Antenna Line Product, Consulté le 29 mai 2024.
- [12] site ANFR "Vers une couverture Mondiale des communications aéronautiques en Bande VHF», consulté le 7 juin 2024
- [13] <https://www.enna.dz/projets-et-developpements/pdgea-developpement-de-la-gestion-de-lespace-aerien-algerien/>
- [14] <https://aviatecho.com/la-portee-radio-vhf/>

Résumé

Cette étude explore l'amélioration de la couverture des antennes VHF pour la communication aérienne entre les stations d'Adrar et de Borj Badji Mokhtar. Deux solutions ont été envisagées : l'installation d'une troisième antenne a été proposée mais abandonnée à cause d'inconvénients significatifs. Une alternative consiste à remplacer une antenne par une antenne Yagi à Borj Badji Mokhtar, afin d'optimiser la directivité et le gain du signal, tout en minimisant les coûts et les complexités opérationnelles. L'étude souligne l'importance d'une évaluation approfondie des aspects techniques, opérationnels et de sécurité pour garantir le succès et la fiabilité du système de communication.

Mots clés : VHF ; YAGI ; couverture ; antenne

Abstract

This study explores improving VHF antenna coverage for air communication between the stations of Adrar and Borj Badji Mokhtar. Two solutions were considered: proposing the installation of a third antenna was suggested but abandoned due to significant drawbacks. An alternative involves replacing an antenna with a Yagi antenna at Borj Badji Mokhtar to optimize signal directivity and gain while minimizing costs and operational complexities. The study emphasizes the importance of a thorough evaluation of technical, operational, and safety aspects to ensure the success and reliability of the communication system.

Keywords:

VHF; Yagi; coverage; antenna.

ملخص

تتناول هذه الدراسة تصميم وتنفيذ أداة مبتكرة لتركيب هوائيات خصيصا لتلبية احتياجات الاتصال الجوي في محطات أدرار وبرج باجي مختار تواجه الدراسة تحديات عديدة نتيجة للمسافة الكبيرة بين هاتين المحطتين. تم اقتراح تثبيت هوائي ثالث لتحسين التغطية، لكن تم تحديد عدد من صعوبات بدلاً من ذلك، تم اقتراح استبدال أحد الهوائيات بالهوائي ياغي في برج باجي مختار، لتحسين التوجيه وزيادة كفاءة الإشارة تهدف هذه الخطوة إلى معالجة التحديات المتعلقة بالتغطية بكفاءة، مع تقليل التعقيدات التشغيلية والتكاليف المرتبطة بتثبيت هوائي إضافي تؤكد الدراسة أهمية التقييم الشامل للجوانب التقنية والتشغيلية والأمنية لضمان نجاح وموثوقية النظام الجديد للاتصالات

الكلمات الرئيسية

تغطية ؛ هوائية ؛ YAGI ؛ VHF