

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA 1

INSTITUT D'AERONAUTIQUE ET DES ETUDES SPATIALES

Département : Navigation Aérienne

# Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention d'un diplôme de MASTER en aéronautique

Option : Exploitation Aéronautique

## Thème

ETUDE D'IMPLANTATION D'UN SYSTEME DE  
SURVEILLANCE DEPENDANTE AUTOMATIQUE-  
DIFFUSION [ADS-B] DANS L'ESPACE AERIEN  
ALGERIEN

Réalisé par :

**Mr. KEDAIMIA Abdelghani**

Encadré par :

**Mr. BOUDANI Abdelkader**

2020/2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## *Dédicaces*

*A la mémoire de mon père... mon plus beau  
repère*

*A ma mère, elle est la lumière ayant balisé la  
voie de ma réussite...*

*A ma femme, flamme de ma vie ; et qui m'a  
toujours soutenu dans le bon et le mauvais.*

*A mes filles et Hiba...*

*A mes frères et Sidou...*

*Abd Et-Ghani*

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mon promoteur Monsieur BOUDANI Abdelkader, enseignant à l'Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales à l'Université de Blida1, qui a accepté de m'encadrer dans ce travail, son empreinte était déterminante.

Je remercie Messieurs : Dolama et Bendjaballah, et Youcef ; des experts à l'ENNA, pour leur contribution dans ce travail.

J'exprime ma profonde reconnaissance à monsieur AZAZEN, le président de jury et aux autres membres, qui m'ont honoré en acceptant l'évaluation de ce modeste travail.

Ma grasse attitude s'adresse également à la directrice de l'institut Madame BENKHADA, au chef de département de la navigation aérienne Madame BENCHIKH, et aux enseignants.

## Résumé

Ce travail porte sur l'étude de la couverture de l'espace aérien algérien par la Surveillance Dépendante Automatique en mode Diffusion.

Cette étude est basée sur l'analyse de l'évolution du trafic aérien dans les dix dernières années et l'analyse approfondie dans chaque secteur de l'espace aérien afin d'optimiser la couverture par l'ADS-B.

Une simulation de couverture est élaborée à l'aide de logiciel Global Mapper v13.

## Abstract

This work concerns the study of the coverage of Algerian airspace by Automatic Dependent Surveillance - Broadcast.

This study is based on an analysis of the evolution of air traffic over the past ten years. Thorough analysis in each sector of the airspace allowed to optimize ADS-B coverage.

A coverage simulation is built using Global Mapper v13 software.

## نبذة مختصرة

يتعلق هذا العمل بدراسة تغطية المجال الجوي الجزائري بواسطة المراقبة التلقائية التابعة في وضع البث. تستند هذه الدراسة إلى تحليل تطور الحركة الجوية في السنوات العشر الماضية والتحليل المتعمق في كل قطاع من المجال الجوي من أجل تحسين التغطية بواسطة ADS-B.

تم تصميم محاكاة التغطية باستخدام برنامج Global Mapper v13

## Mots clés :

ADS-B , ADS-C, implantation, couverture, surveillance, trafic aérien, radar...

## **ABREVIATIONS ET ACRONYMES :**

ADS-B : Automatic Dependent Surveillance -Broadcast

ADS-C : Automatic Dependent Surveillance-Contract

ADS-R : Automatic Dependent Surveillance-Retransmission

APP : Approach

ATC : Air Traffic Control

AWY : Air Way

CCR : Centre De Contrôle Régional

CDTI : Affichage Du Trafic Dans Le Cockpit

CONUS : Cône Géographe

CPDLC : Controller–Pilot Data Link Communications

CTA : Région De Contrôle

CTR : Control Zone

ENNA : Etablissement National De La Navigation Aérienne

FAA : Federal Aviation Administration

FIR : Flight Information Region

FIS-B :Flight Information Service-Broadcast

FL : Flight Level

Geocalc :Geographic Calculator

GND :Ground

GPS :Global Positioning System

IFF : 'Identification, Friend Or Foe

IFR : Instrument Flight Rules

LiDAr : Light Detection And Ranging

METAR : Meteorological Aerodrome Report

MLAT : Multilatération

MSL : Niveau Moyen De La Mer

NEXRAD : Next-Generation Radar

NM :Nautical Mile

## **LISTE DES FIGURES :**

<b>Figure 1.1:</b> Principe du radar	p4
<b>Figure 1.2:</b> Les radars mono statiques.	p5
<b>Figure 1.3:</b> Les radars bi-statiques	p5
<b>Figure 1.4:</b> Les radars multistatiques	p6
<b>Figure 1.5:</b> Le SRE-M7, un radar «en route» fabriqué par la compagnie allemande DASA.	P7
<b>Figure 1.6:</b> Radar ASR 12	p8
<b>Figure 1.7:</b> Radar militaire d'approche de précision PAR-80	p9
<b>Figure 1.8 :</b> Radar de surface	p9
<b>Figure 1. 9:</b> le fonctionnement du radar météorologique	p10
<b>Figure 1.10:</b> Principe de fonctionnement du <b>PSR</b>	p11
<b>Figure 1.11 :</b> Principe fondamental du radar secondaire	p12
<b>Figure 1 .12:</b> Radar secondaire	p14
<b>Figure 1.13 :</b> Compatibilité entre SSR Mode A / C et Mode S	p16
<b>Figure 1 .14 :</b> Radars primaire et secondaire	p18
<b>Figure 1 .15 :</b> Architecture multilateration de base	p20
<b>Figure 2.1:</b> ADS-B Receiver & transponder	p25
<b>Figure 2.2 :</b> ADS-B transpondeur	p26
<b>Figure.2.3 :</b> Principe de l'ADS-B	p27
<b>Figure 2.4:</b> fonctionnement et architecture de l'ADS-B "Out".	P28
<b>Figure 2.5 :</b> fonctionnement et architecture de l'ADS-B "IN"	p30
<b>Figure 2.5 :</b> Extended Squitter mode S	p31
<b>Figure 2.6 :</b> Aviation transpondeur VDL mode 4	p31
<b>Figure 2.7 :</b> Emetteurs - récepteurs à accès universel (UAT)	p32
<b>Figure 2.8 :</b> Données de liaison montante d'aéronefs non équipés ADS-B pour la connaissance de la situation des aéronefs.	P34
<b>Figure 2.9. :</b> Liaison montante d'informations météorologiques et autres informations de vol pour les aéronefs équipés d'un système UAT	p35
<b>Figure 2.10 :</b> Affichage de la météo avec ADS-B	p36



**Figure 2. 12 :** L'écran TAS-A d'Avidyne combine les systèmes ADS-B et de surveillance active dans une seule unité.

P38

<b>Figure 2.13.</b> Antenne d'ADS-B	p41
<b>Figure 2. 14 :</b> couverture ADS-B dans le monde jusqu'à Octobre 2021.	P45
<b>Figure 2. 15 :</b> couverture ADS-B et radar en Australie	p46
<b>Figure 3.1 :</b> Représentation du contrôle de trafic	p48
<b>Figure 3.2 :</b> L'axe des voies aériennes est défini par des balises de radionavigation	p51
<b>Figure 3.3 :</b> La structure qui englobe CTA et CTR	p51
<b>Figure 3.4 :</b> Organisation de l'espace aérien	p52
<b>Figure 3.5 :</b> Représentation des limites de l'espace aérien algérien	p53
<b>Figure 3.6</b> Organigramme structural de l'ENNA	p55
<b>Figure 3.7</b> sectorisation de la FIR Algérie	p57
<b>Figure 3.8</b> nouvelle sectorisation	p58
<b>Figure 3.9</b> nouvelle FIR Alger	p58
<b>Figure 3.10</b> Graphes de nombre de vols par catégorie	p61
<b>Figure 3.11</b> Graphes de Variations annuelles du trafic aérien par catégorie de vol	p62
<b>Figure 3.11</b> Histogramme de Taux de croissance moyen par catégorie de vol en (%)	p63
<b>Figure 3.12</b> histogramme de nombre de vols par secteur enregistrés en 2015	p65
<b>Figure 3.13</b> histogramme de nombre de vols par secteur enregistrés en 2016	p65
<b>Figure 3.14</b> histogramme de nombre de vols par secteur enregistrés en 2017	p66
<b>Figure 3.15</b> histogramme de nombre de vols par secteur enregistrés en 2018	p66
<b>Figure 3.16</b> histogramme de nombre de vols par secteur enregistrés en 2019	p67
<b>Figure 3.17</b> histogramme comparatif de nombre de vols par secteur	p67
<b>Figure 4.1</b> interface de Global Mapper v13.00	p69
<b>Figure 4.2</b> carte du nord de l'Afrique avec le système WGS-84	p70
<b>Figure 4-3</b> la couverture des radars actuelle	p72
<b>Figure 4.4</b> insertion de la FIR Alger dans la carte WGS84	p73
<b>Figure 4.5</b> insertion des paramètres d'antenne	p73

<b>Figure 4.6</b> exemple de simulation d'une station	p74
<b>Figure 4.7</b> Représentation des stations ADS-B dans la FIR ALGER	p76
<b>Figure 4.8</b> Les stations ADS-B dans la FIR Nord	P77
<b>Figure 4.9</b> couverture ADS-B de la FIR nord pour FL100	p78
<b>Figure 4.10</b> couverture ADS-B de la FIR nord pour FL200	p78
<b>Figure 4.11</b> couverture ADS-B de la FIR nord pour FL300	p79
<b>Figure 4.12</b> Couverture ADS-B de la FIR nord pour FL100,FL200 et FL300	p80
<b>Figure 4.13</b> Les stations ADS-B dans la FIR Sud	p80
<b>Figure 4.14</b> Couverture ADS-B de la FIR Sud pour FL100	p81
<b>Figure 4.15</b> Couverture ADS-B de la FIR Sud pour FL200	p82
<b>Figure 4.16</b> Couverture ADS-B de la FIR Sud pour FL300	p83

## **LISTE DES TABLEAUX :**

<b>Tableau I.1 :</b> Catégories de technologies de surveillance existantes	p3
<b>Tableau 1.2:</b> Caractéristiques de performance du capteur de surveillance.	P23
<b>Tableau II.1 :</b> Comparaison entre VDL, MOD 4 et 1090ES.	P33
<b>Tableau II.2:</b> Résumé des exigences de performance de la surveillance ADS-B	p40
<b>Tableau II.3:</b> comparaison entre le système ADS-B et le système de surveillance	p42
<b>Tableau 3.1:</b> Classification des secteurs en Algérie	p56
<b>Tableau 3.2:</b> l'évolution de trafic en route Durant la période 2010/2019	p60
<b>Tableau 3.3:</b> l'évolution de trafic en route par secteur durant la période 2015/2019	p64
<b>Tableau 4.1</b> les stations radars et leurs coordonnées	p70
<b>Tableau 4.2</b> les coordonnées des stations ADS-B dans la FIR Alger	p74

# Sommaire

Dédicaces

Remerciement

Résumé

Abréviations et acronymes

Liste des figures

Liste des tableaux

<b>INTRODUCTION :</b> .....	1
<b>I. GÉNÉRALITÉS SUR LA SURVEILLANCE AÉRIENNE</b> .....	2
<b>I.1. LA SURVEILLANCE :</b> .....	2
<b>I.1.1. CATÉGORIES DE CAPTEURS DE SURVEILLANCE :</b> .....	2
<b>I.2. LE SYSTÈME RADAR :</b> .....	4
<b>I.2.1. PRINCIPE DU FONCTIONNEMENT :</b> .....	4
<b>I.2.2. DIFFÉRENTES CLASSIFICATION DE RADAR :</b> .....	5
a) <b>LES RADARS MONO STATIQUES :</b> .....	5
<b>I.2.3.1. RADARS DE CONTRÔLE AÉRIEN :</b> .....	7
<b>I.2.3.2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :</b> .....	10
<b>I.2.3.3. AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS :</b> .....	11
<b>I.2.4. RADARS SECONDAIRES :</b> .....	12
<b>I.2.4.1. DESCRIPTION DU SYSTÈME :</b> .....	12
<b>I.2.4.2. TRANSPONDEUR :</b> .....	13
<b>I.2.4.3. MODES DE SSR :</b> .....	14
<b>I.2.4.4. L'UTILISATION DE LA SSR :</b> .....	17
<b>I.2.4.5. LES AVANTAGES ET LES INCONVÉNIENTS :</b> .....	17
<b>I.2.4.6. RADARS PRIMAIRE ET SECONDAIRE COMBINÉS :</b> .....	17
<b>I.3. MULTILATÉRATION (MLAT) :</b> .....	18
<b>I.4. SURVEILLANCE dépendante automatique (ADS) :</b> .....	19
<b>I.4.1. ADS-C :</b> .....	19
<b>I.4.1.1. DÉFINITION :</b> .....	19
<b>I.4.1.2. LES INFORMATIONS TRANSMISES VIA L'ADS-C :</b> .....	20
<b>I.4.1.3. LES AVANTAGES ET LES INCONVÉNIENTS DE L'ADS-C :</b> .....	20
<b>I.4.2. ADS-B :</b> .....	20

<b>I.4.2.1.</b>	<b>DÉFINITION</b> .....	20
<b>I.4.2.2.</b>	<b>LES informations transmises via l'ADS-B</b> : .....	21
<b>I.4.2.3.</b>	<b>LES avantages et Les inconvénients</b> : .....	21
<b>II)</b>	<b>LA SURVEILLANCE DÉPENDANTE AUTOMATIQUE EN MODE DIFFUSION</b> : .....	24
<b>II.1.</b>	<b>DESCRIPTION GÉNÉRALE</b> .....	24
<b>II.1.1.</b>	<b>DÉFINITION</b> : .....	24
<b>II.1.2.</b>	<b>OBJECTIF</b> : .....	24
<b>II.1.3.</b>	<b>L'ABRÉVIATION</b> : .....	26
<b>II.2.</b>	<b>PRINCIPE</b> : .....	26
<b>II.3.</b>	<b>CATÉGORIES D'APPLICATION D'ADS-B</b> .....	27
<b>II.4.</b>	<b>L'ÉQUIPEMENT AVIONIQUE DE L'ADS-B</b> : .....	27
❖	ADS-B "Out" : .....	27
❖	L'ADS-B "In" : .....	28
<b>II.5.</b>	<b>LES TECHNOLOGIES DE L'ADS-B</b> .....	30
<b>II.5.1.</b>	<b>LE 1090 ES (1090 MHZ EXTENDED SQUITTER)</b> : .....	30
<b>II.5.2.</b>	<b>VDL MODE 4</b> : .....	30
<b>II.5.3.</b>	<b>L'UAT (EMETTEURS - RÉCEPTEURS À ACCÈS UNIVERSEL)</b> : .....	31
<b>II.6.</b>	<b>SERVICES ADS-B</b> : .....	32
<b>II.6.1.</b>	<b>SERVICE D'INFORMATION SUR LA CIRCULATION – DIFFUSION GÉNÉRALE (TIS-B)</b> : .....	32
<b>II.6.2.</b>	<b>SERVICE D'INFORMATION DE VOL – DIFFUSION GÉNÉRALE (FIS-B)</b> : .....	33
<b>II.6.3.</b>	<b>SURVEILLANCE DÉPENDANTE AUTOMATIQUE - RETRANSMISSION (ADS-R)</b> : .....	35
<b>II.7.</b>	<b>PARAMÈTRES DE PERFORMANCE ADS-B</b> : .....	37
<b>II.7.1.</b>	<b>LA PRÉCISION ADS-B</b> : .....	37
<b>II.7.2.</b>	<b>L'INTÉGRITÉ ADS-B</b> : .....	38
<b>II.7.3.</b>	<b>LA CONTINUITÉ ADS-B</b> : .....	38
<b>II.7.4.</b>	<b>LA DISPONIBILITÉ DE L'ADS-B</b> : .....	39
<b>II.7.5.</b>	<b>LA LATENCE ADS-B</b> : .....	39
<b>II.8.</b>	<b>DIFFÉRENCE ENTRE RADAR ET SYSTÈMES ADS</b> : .....	40
<b>II.9.</b>	<b>AMÉLIORATION D'ADS-B DE LA LIMITE DE SYSTÈME SURVEILLANCE ACTUEL</b> : .....	41
<b>II.10.</b>	<b>MISE EN APPLICATION</b> : .....	43
<b>II.10.1.</b>	<b>ADS-B DANS LE MONDE</b> : .....	43
<b>II.10.2.</b>	<b>ADS-B EN ALGÉRIE</b> : .....	45

II.1.1.	SÉCURISATION DE L'ADS-B:.....	46
III)	ETUDE DE L'ESPACE ET DU TRAFIC AÉRIEN ALGÉRIEN :.....	47
III.1.	GÉNÉRALITÉS SUR LES ESPACES AÉRIENS :.....	47
III.1.1.	LES SERVICES DE LA CIRCULATION AÉRIENNE :.....	47
III.1.1.1.	LE SERVICE DE CONTRÔLE :.....	47
III.1.1.2.	LE SERVICE D'INFORMATION DE VOL (FIS FLIGHT INFORMATION SERVICE) : 48	
III.1.1.3.	LE SERVICE D'ALERTE :.....	48
III.1.2.	DIVISION DE L'ESPACE AÉRIEN :.....	48
III.1.2.1.	ESPACE AÉRIEN CONTRÔLÉ :.....	49
III.1.2.1.1.	PARTITION DE L'ESPACE AÉRIEN INFÉRIEUR :.....	49
III.1.2.1.2.	RÉGION D'INFORMATION DE VOL (FIR Flight Information Region) : ...	49
III.1.3.	ESPACE AÉRIEN NON CONTRÔLÉ.....	51
III.1.3.1.	RÉGION D'INFORMATION DE VOL (F.I.R) :.....	51
III.1.3.2.	RÉGION SUPÉRIEURE D'INFORMATION DE VOL (U.I.R) :.....	51
III.2.	ORGANISATION DE L'ESPACE AÉRIEN ALGÉRIEN :.....	52
III.2.1.	ESPACE AÉRIEN ALGÉRIEN :.....	52
III.2.1.1.	L'ÉTABLISSEMENT NATIONAL DE LA NAVIGATION AÉRIENNE (E.N.N.A) 52	
III.2.1.1.1.	PRÉSENTATION DE L'ENNA :.....	52
III.2.1.1.2.	MISSION :.....	53
III.2.1.1.3.	ORGANISATION :.....	53
III.2.1.1.4.	LES PRINCIPAUX PROJETS DE L'ENNA :.....	55
III.2.2.	DIVISION DE L'ESPACE AÉRIEN ALGÉRIEN :.....	55
	• LA NOUVELLE SECTORISATION :.....	56
III.3.	TRAFIC DANS L'ESPACE AÉRIEN ALGÉRIEN :.....	58
III.3.1.	L'ÉVOLUTION DU TRAFIC AÉRIEN ALGÉRIEN (2010-2019) :.....	58
III.3.1.1.	TRAFIC PAR CATÉGORIE DE VOL (2010-2019) :.....	58
III.3.1.2.	ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES STATISTIQUES DU TRAFIC AÉRIEN GLOBAL (2010~2019).....	60
III.3.1.2.1.	NOMBRE DE VOLS EN ROUTE :.....	60
III.3.1.2.2.	VARIATION ANNUELLE DU TRAFIC :.....	61
III.3.1.2.3.	TAUX DE CROISSANCE DU TRAFIC :.....	62
III.3.1.2.4.	CONCLUSION :.....	62

III.3.1.3. ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES STATISTIQUES DU TRAFIC AÉRIEN PAR SECTEUR :	63
III.3.1.3.1. TRAFIC AÉRIEN PAR SECTEURS.....	63
III.3.1.3.2. CONCLUSION :	67
IV) SIMULATION DE LA COUVERTURE PAR L'ADS-B .....	69
IV.1. PRÉSENTATION DU LOGICIEL GLOBAL MAPPER.....	69
IV.2. DESCRIPTION DU WGS-84 :	70
IV.3. LA COUVERTURE DU RADAR ACTUELLE :	70
IV.4. SIMULATION :	72
IV.4.1. LES ÉTAPES DE SIMULATION :	72
IV.4.2. LES COORDONNÉES DES STATIONS ADS-B :	74
IV.4.3. ÉTUDE DE COUVERTURE DANS LA FIR NORD :	77
IV.4.3.2. SIMULATION DE COUVERTURES POUR LE NIVEAU FL200 :	78
IV.4.3.3. SIMULATION DE COUVERTURE POUR LE NIVEAU FL300 :	79
IV.4.3.4. SIMULATION DE COUVERTURE NORD TROIS NIVEAU :	79
IV.4.4. SIMULATION DE COUVERTURE DANS LA FIR SUD :	80
IV.4.4.1. SIMULATION DE COUVERTURE POUR FL100 :	80
IV.4.4.2. SIMULATION DE COUVERTURE POUR FL200.....	81
IV.4.4.3. SIMULATION DE COUVERTURE POUR FL300 :	82
IV.4.4.4. SIMULATION DE COUVERTURE NORD TROIS NIVEAU :	82
CONCLUSION GÉNÉRALE :	82

# **CHAPITRE I**

## **GÉNÉRALITÉS SUR LA SURVEILLANCE AÉRIENNE**



## **INTRODUCTION :**

L'Algérie couvre une superficie de 2.382 M km<sup>2</sup>. Elle occupe une position stratégique entre l'Europe et l'Afrique subsaharienne. En moyenne, 260.000 avions fréquentent annuellement son espace aérien.

L'espace aérien algérien est contigu principalement avec l'espace espagnol et français au nord, ce qui en fait une passerelle logique entre l'Europe et l'Afrique, justifiant l'importance du trafic aérien et le taux de croissance annuelle de 4% en moyenne ces dix(10) dernières années, alors que la surveillance actuelle n'est pas au niveau

Dans un effort visant à étendre la surveillance et augmenter la couverture, l'Etablissement National de la Navigation Aérienne "E.N.N.A" prévoit un renforcement de sa couverture radar en utilisant une nouvelle technologie s'appuyant sur la surveillance dépendante et automatique en mode diffusion (ADS-B).

En basant sur la densité du trafic par secteur, l'ENNA étudie l'implantation de 23 stations ADS-B à travers le territoire national.

Dans notre travail, nous avons suivi la même vision pour étudier la couverture de l'espace aérien avec l'ADS-B, en simulant cette couverture à l'aide du logiciel Global Mapper v13.

Cette étude repose sur quatre(04) chapitres :

Le premier chapitre porte sur : « Généralités sur les surveillances aériennes ».

Le deuxième chapitre prend en détail la surveillance dépendante et automatique en mode diffusion (ADS-B).

Le troisième chapitre étudie l'espace et le trafic aérien Algérien.

Et dans le quatrième chapitre on fait la simulation de la couverture par l'ADS-B.



## **I. GÉNÉRALITÉS SUR LA SURVEILLANCE AÉRIENNE**

### **I.1. LA SURVEILLANCE :**

La surveillance, qui fait référence aux méthodes utilisées pour garder la trace des aéronefs. La fonction de surveillance, dont la mise en œuvre comprend des capteurs, un système d'affichage et des procédures opérationnelles, fournit aux contrôleurs aériens la position des aéronefs afin de gérer l'espacement et de gérer efficacement un espace aérien donné. Selon le type de capteur de surveillance, des informations supplémentaires sont également présentées, telles que l'identification et la vitesse de l'aéronef. En outre, la fonction de surveillance prend en charge un certain nombre d'autres applications telles que la prévision de trajectoire, la détection de conflit et la connaissance de la situation.

#### **I.1.1. CATÉGORIES DE CAPTEURS DE SURVEILLANCE :**

Les technologies de capteurs de surveillance peuvent être classées en trois catégories; Non coopératif indépendant, coopératif indépendant et coopératif dépendant. Le terme «non coopératif» désigne la capacité de détecter la position d'une cible sans compter sur la réponse de la cible au signal transmis par le capteur. Par ailleurs, le terme «coopérative» fait référence à la confiance du capteur dans la réponse de la cible au signal transmis (interrogation) afin d'en déduire la position de la cible. Un équipement (c'est-à-dire un transpondeur) relié à la cible répond à l'interrogation du capteur. Le transpondeur est un récepteur et émetteur de signal radio qui reçoit à une fréquence de 1030 MHz et émet sur une fréquence de 1090 MHz.

Le terme «indépendant» fait référence à la capacité du système de surveillance à déterminer la position d'une cible par lui-même, tandis que le terme «personne à charge» fait référence à la dépendance du système de surveillance à un système externe pour obtenir la position de la cible, par exemple. Dépendance à un système de navigation tel que le système de positionnement global (GPS).

Le tableau I-1 présente les catégories de technologies de surveillance existantes. La signalisation manuelle de la position par le pilote à l'ATC par radio est classée dans la catégorie Coopérative dépendante, car l'ATC au sol est tenu de répondre à l'appel pour signaler la position de l'aéronef. Le pilote dépend du système de navigation embarqué tel que le GPS ou le système de navigation inertielle (INS) pour obtenir la position de l'aéronef. Dans ce cas, le pilote / l'aéronef joue le rôle de système de surveillance pour transmettre la position de l'aéronef à l'ATC .

**Tableau I.1** : Catégories de technologies de surveillance existantes

Catégorie de surveillance	Technologie de surveillance			
<b>Indépendant non coopératif</b>	Radar (PSR)	de	surveillance	primaire
<b>Coopérative Indépendante</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radar de surveillance secondaire (SSR) Mode A/C</li> <li>• Radar de surveillance secondaire (SSR) Mode S</li> <li>• Multilatération (MLAT)</li> </ul>			
<b>Coopérative dépendante</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rapport de position manuel (voix)</li> <li>• Surveillance dépendante automatique - Contrat (ADS-C)</li> <li>• Surveillance dépendante automatique - Diffusion (ADS-B) IN/OUT</li> </ul>			

## I.2. LE SYSTÈME RADAR :

Radar est l'acronyme anglais de *RA*dio *D*etection *A*nd *R*anging traduit par « détection et télémétrie radio ». Le système des radars a été créé à la fin des années 1930, et son rôle a été déterminant dans la bataille d'Angleterre pendant la seconde guerre mondiale. C'est un instrument émettant et recevant des ondes électromagnétiques, il est utilisé pour localiser des objets dans l'espace et déterminer leur distance . Les radars n'indiquent pas seulement la présence et la distance d'un objet éloigné, mais aussi déterminent sa position dans l'espace, sa taille, sa forme ainsi que sa vitesse et sa direction.

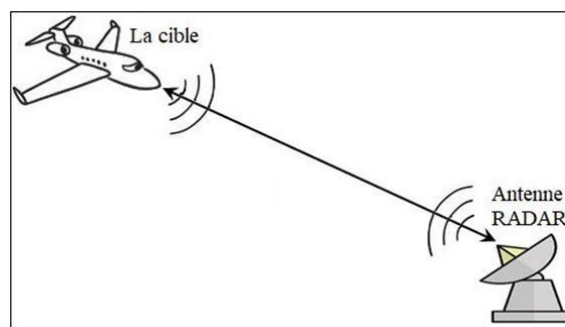
Le contrôleur utilise le radar pour rendre trois services qui sont :

- Assistance radar : pour fournir aux aéronefs intéressés des renseignements (météo, information trafic, etc.).
- Surveillance radar : pour mieux connaître la position des aéronefs.
- Guidage radar : pour donner des caps aux aéronefs afin de leur faire suivre une trajectoire spécifiée.

### I.2.1. PRINCIPE DU FONCTIONNEMENT :

Un radar est un émetteur et un récepteur d'ondes électromagnétiques. Une onde électromagnétique correspond à une variation temporelle de champs magnétiques et de champs électriques :

- ✓ Émission et propagation d'une onde électromagnétique par le radar.
- ✓ Réception et analyse du signal émis par la cible et reçu par le radar.



**Figure1 1.1:** Principe du radar

### I.2.2. DIFFÉRENTES CLASSIFICATION DE RADAR :

Il existe plusieurs types de radars :

#### a) LES RADARS MONO STATIQUES :

Le radar est dit mono-statique lorsqu'une seule antenne est utilisée pour l'émission et la réception des signaux. C'est la configuration classique pour un radar.

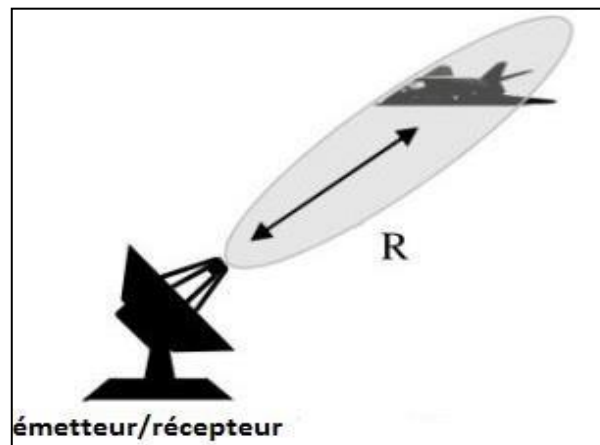


Figure 1.2: Les radars mono statiques.

#### b) LES RADARS BI-STATIQUES :

Un radar bi-statique est un radar dont l'émetteur et le récepteur sont séparés. Ce système est avantageux car le type d'onde, la fréquence utilisée et la position du récepteur sont inconnus. Cependant il est plus difficile à mettre en œuvre avec son système plus complexe.

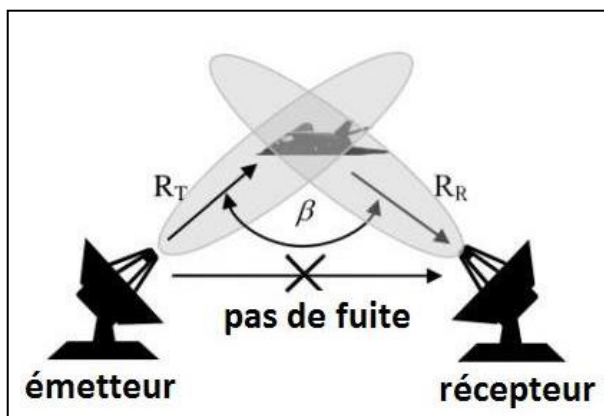
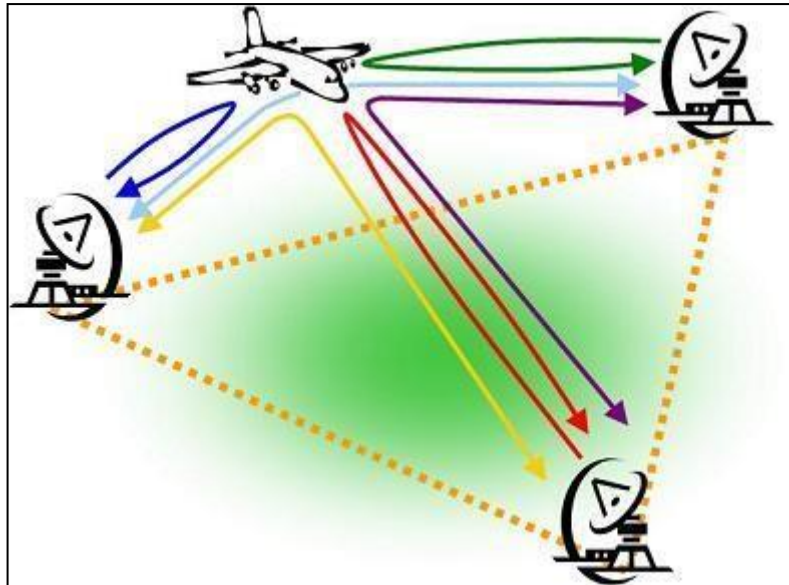


Figure 1.3: Les radars bi-statiques

### c) LES RADARS MULTISTATIQUES

Le principe est le même qu'un radar bi-statique sauf qu'il ne contient pas seulement deux radars mais plusieurs. La diversité spatiale offerte par ce système permet de visualiser différents aspects d'une cible simultanément. Le potentiel de gain d'information peut donner lieu à un certain nombre d'avantages par rapport au système mono-statique.



**Figure 1.4:** Les radars multistatiques

### d) LE RADAR À EFFET DOPPLER :

L'effet Doppler est le décalage de fréquence d'une onde acoustique ou électromagnétique entre la mesure à l'émission et la mesure à la réception lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps.

### 1.2.3. LE RADAR PRIMAIRE :

Un radar primaire (**PSR**) est un capteur classique qui illumine une large portion d'espace avec une onde électromagnétique et qui reçoit en retour les ondes réfléchies par les cibles se trouvant dans cet espace.

Le **PSR** est un radar non coopératif, il est utilisé pour détecter et localiser des cibles. Il utilise une antenne à faible résolution verticale mais à bonne résolution horizontale. Il balaye rapidement sur 360° autour du site sur un seul angle d'élévation. Il peut donc donner la distance et la vitesse radiale de la cible avec une bonne précision.

### I.2.3.1. RADARS DE CONTRÔLE AÉRIEN :

Le contrôle aérien se divise en surveillance du trafic, approche des aéroports et direction à l'atterrissage. Ces différentes phases de la navigation aérienne sont prises en charge par divers types de radars :

- Radars en route;
- Radars de surveillance aérienne;
- Radar d'approche de précision;
- Radars de surface;
- Radars météorologiques spécialisés

#### ➤ **Radars « en route » :**

Utilisant la bande L, ces radars suivent la position, la vitesse et la trajectoire des avions sur une large zone. Habituellement, leur portée va jusqu'à 250 milles nautiques pour leur permettre de coordonner les vols. Ils effectuent une rotation sur 360 degrés.



**Figure I.5:** Le SRE-M7, un radar «en route» fabriqué par la compagnie allemande DASA.

➤ **Radars de surveillance aérienne (RSA):**

Les radars de surveillance aérienne ont une courte portée et servent à coordonner les décollages, atterrissages et déplacement autour d'un aéroport. Utilisant généralement bande E, ils doivent surveiller une zone de 40 à 60 milles nautiques de rayon allant du sol à 7 620 mètres (25 000 pieds).



**Figure 1.6:** Radar ASR 12

➤ **Radar d'approche de précision (RAP) :**

Ces radars sont une aide à l'atterrissage en cas de mauvais temps. Le pilote suit les instructions du contrôleur aérien qui obtient la position, l'angle de descente et la vitesse de l'appareil à partir de ces radars dont la direction de sondage est celle des pistes.

L'information est envoyée par onde radio en mode audio si elle va au pilote ou en information numérique au pilote automatique.





**Figure 1.7:** Radar militaire d'approche de précision PAR-80

➤ **Radar de surface (SMR) :**

Le radar de surface permet de localiser les véhicules et aéronefs sur le tarmac et les pistes. Ces radars primaires utilisent les bandes J à X et des impulsions extrêmement courtes pour obtenir une résolution en distance acceptable.

Ils permettent de coordonner les mouvements au sol pour éviter les accidents. Le terme et l'abréviation ont été uniformisés par l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI).



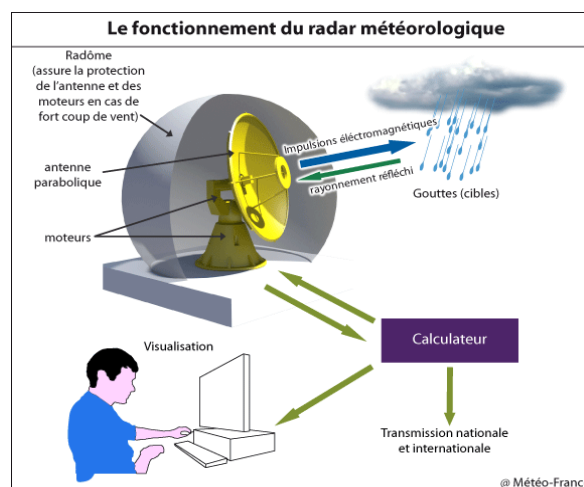
**Figure 1.8 :** Radar de surface

### ➤ Radars météorologiques spécialisés :

Le radar météorologique est un instrument très important dans la panoplie des outils du contrôle aérien. Ces radars permettent non seulement de repérer les précipitations mais également les zones de turbulences, la grêle et bien d'autres conditions météorologiques dangereuses.

Certains de ces radars ont été spécialement conçus pour la navigation aérienne: meilleure résolution spatiale, sondages plus fréquents, algorithmes informatiques spécialement adaptés.

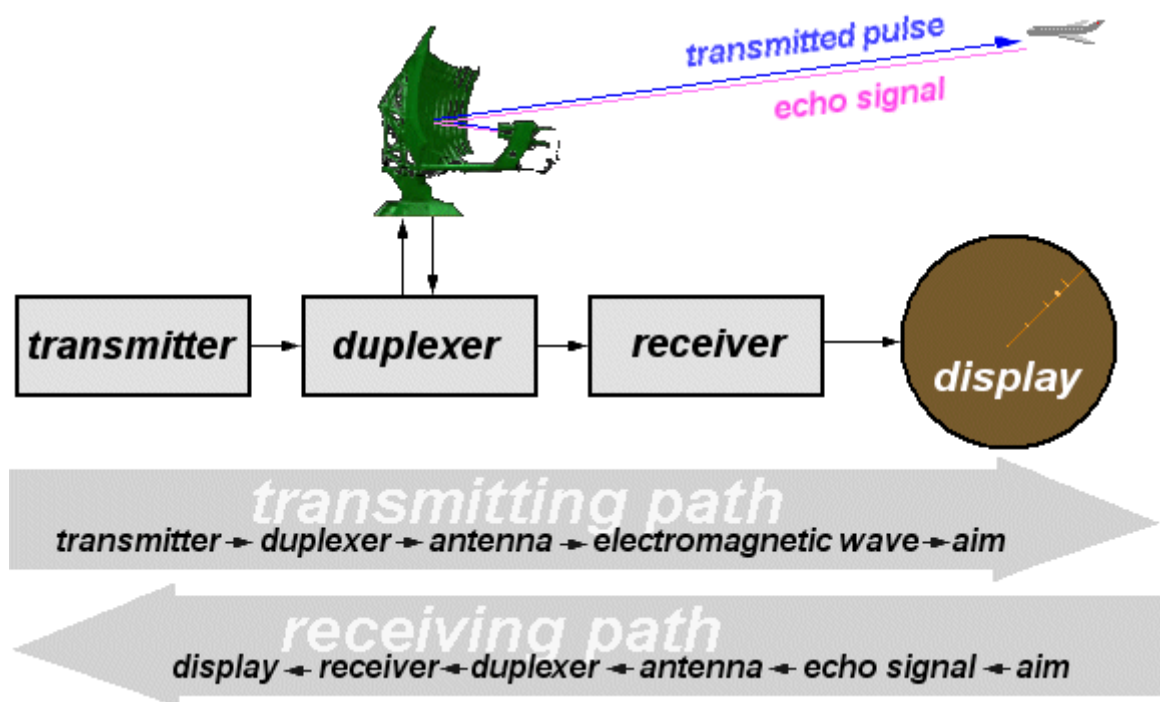
C'est le cas des radars météorologiques d'aéroports TDWR.



**Figure 1. 9:** le fonctionnement du radar météorologique

### 1.2.3.2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

Le signal transmis par le radar est généré par un émetteur puissant puis passe par un duplexeur qui le dirige vers l'antenne émettrice. Chaque cible réfléchit le signal en le dispersant dans un grand nombre de directions, ce qui se nomme la diffusion. La rétrodiffusion est le terme désignant la partie du signal réfléchi diffusée dans la direction opposée à celle des ondes incidentes (émises). L'écho ainsi réfléchi par la cible vers l'antenne sera aiguillé par le duplexeur vers un récepteur très sensible. Les échos détectés par le radar peuvent être finalement visualisés sur l'écran radar. (**Figure I.10**).



**Figure 1.10:** Principe de fonctionnement du **PSR**

### 1.2.3.3. AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS :

#### ❖ **Avantage :**

- Hormis les avions furtifs, rien n'échappe au radar primaire. Il présente donc un intérêt stratégique pour le contrôle aérien militaire.
- Il ne nécessite aucun équipement à bord des avions.

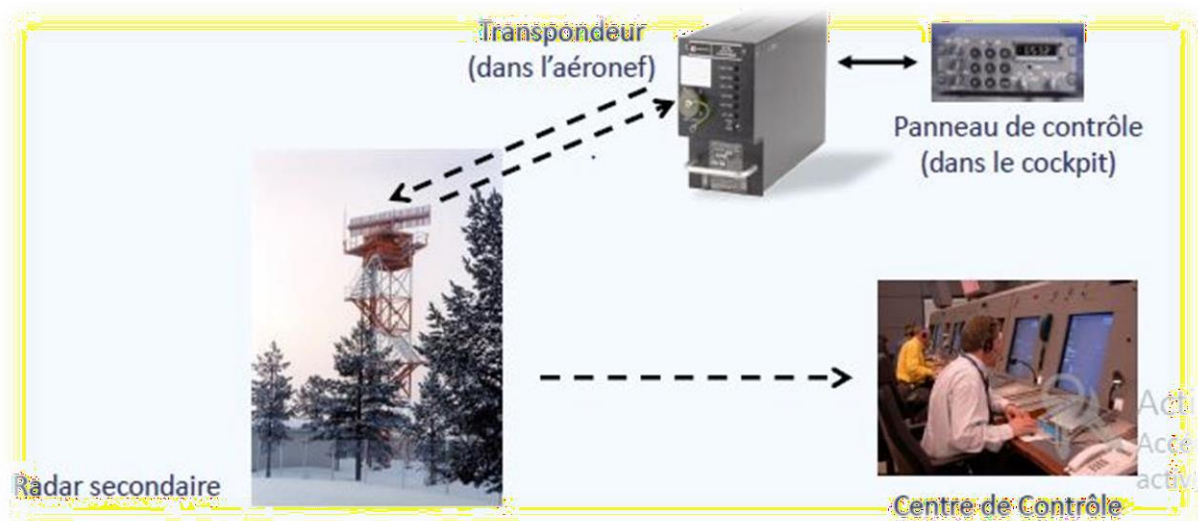
#### ❖ **Inconvénients :**

- Hormis dans le cas particulier des radars militaires tridimensionnels, le radar primaire ne permet pas de connaître l'altitude d'un avion.
- Il ne permet pas d'identifier un avion, uniquement de repérer sa présence.
- Il affiche des échos parasites (relief, précipitations, etc.).

## I.2.4. RADARS SECONDAIRES :

### I.2.4.1. DESCRIPTION DU SYSTÈME :

Il comprend deux éléments principaux: un interrogateur / récepteur au sol et un transpondeur d'avion. Le transpondeur de l'avion répond aux interrogations de la station au sol, ce qui permet de déterminer le champ de tir et le relèvement de l'avion depuis la station au sol. Le développement du SSR a évolué à partir de systèmes d'identification militaire ami ou ennemi (IFF) et permet l'utilisation du service Mode A / C pour l'aviation civile. Depuis lors, le service Mode S a été considérablement développé. Les fréquences SSR de 1030 et 1090 MHz restent partagées avec l'armée.



**Figure 1.11** : Principe fondamental du radar secondaire

Le système dispose de quatre modes d'interrogation / réponse: mode A, mode C, mode S et inter mode. Il existe deux classes de transpondeurs: les transpondeurs mode A / C pouvant uniquement répondre aux interrogations mode A, les interrogations mode C et inter mode, et les transpondeurs mode S pouvant répondre à tous les modes. Les réponses à tous les modes d'interrogation peuvent être utilisées pour déterminer la position de l'aéronef en mesurant la distance et le relèvement de la réponse.

Il existe actuellement deux classes de SSR:

- SSR classique :

Ce système SSR repose sur la présence ou non des réponses du transpondeur SSR dans la largeur du faisceau. Les performances peuvent être très médiocres, en particulier pour la précision et la résolution de l'azimut. Ce type de système est également sujet à d'importantes anomalies de trajets multiples dues au mauvais diagramme d'antenne. La précision de la portée dépend de la variabilité du délai fixé dans le transpondeur de l'avion.

- SSR monopulse :

Le système mesure la position en azimut d'un aéronef dans le diagramme d'antenne horizontal à l'aide de techniques de diffraction. Ces techniques améliorent la précision et la résolution de l'azimut. De plus, ces radars ont généralement de grandes antennes à ouverture verticale et sont donc moins sujets aux effets de trajets multiples.

Dans de nombreux cas, le SSR est co-localisé avec un PSR, généralement avec le SSR monté sur le dessus de l'antenne du PSR.

#### **1.2.4.2. TRANSPONDEUR :**

EUROCONTROL définit un transpondeur comme étant le récepteur/émetteur radar aéroporté du système de radiobalises radar de contrôle de la circulation aérienne (ATCRBS) qui reçoit automatiquement les signaux radio des interrogateurs au sol. Il répond ensuite de façon sélective avec une impulsion de réponse spécifique ou un groupe d'impulsions uniquement aux interrogations reçues sur le mode auquel il est prévu de répondre. Le transpondeur est un équipement obligatoire pour le fonctionnement du SSR.



**Figure 1 .12:** Radar secondaire

### **1.2.4.3. MODES DE SSR :**

#### ➤ **Mode A :**

Une interrogation mode A génère une réponse mode A qui prend en charge les fonctionnalités suivantes:

- L'un des codes 4096 permettant l'identification d'un aéronef ou d'un groupe d'aéronefs en fonction des besoins opérationnels.
- Identification sur l'affichage, sur demande, d'un signal de chaque aéronef à l'aide du dispositif d'identification de position spéciale (SPI) du transpondeur.
- Identification immédiate des aéronefs confrontés à une défaillance de la communication radio ou à une autre intervention urgente ou illicite (prise haute).

#### ➤ **Mode C :**

Une interrogation en mode C provoque une réponse en mode C. Tous les transpondeurs doivent répondre aux interrogations en mode C. La réponse contiendra des informations codées sur l'altitude-pression.

La source altitude-pression sera analogique ou numérique et les informations d'altitude sont fournies directement, sans correction, au transpondeur depuis la source. Les informations d'altitude numérisées sont automatiquement dérivées par un convertisseur analogique-



numérique connecté à la source de pression d'altitude de l'aéronef référencée au réglage de pression standard de 1013,25 hectopascals. Si, pour une raison quelconque, le transpondeur ne peut pas charger de données pour la transmission d'un rapport d'altitude, la réponse consistera uniquement en impulsions de trame. Si des installations de décodage et d'affichage appropriées sont disponibles, l'altitude de l'aéronef transmettant des informations d'altitude peut être affichée.

**Remarque:** l'altitude barométrique est la référence pour la séparation verticale dans l'espace aérien de l'OACI. Il n'existe aucun moyen de convertir les données de hauteur géométrique en altitude-pression.

### ➤ **Mode S**

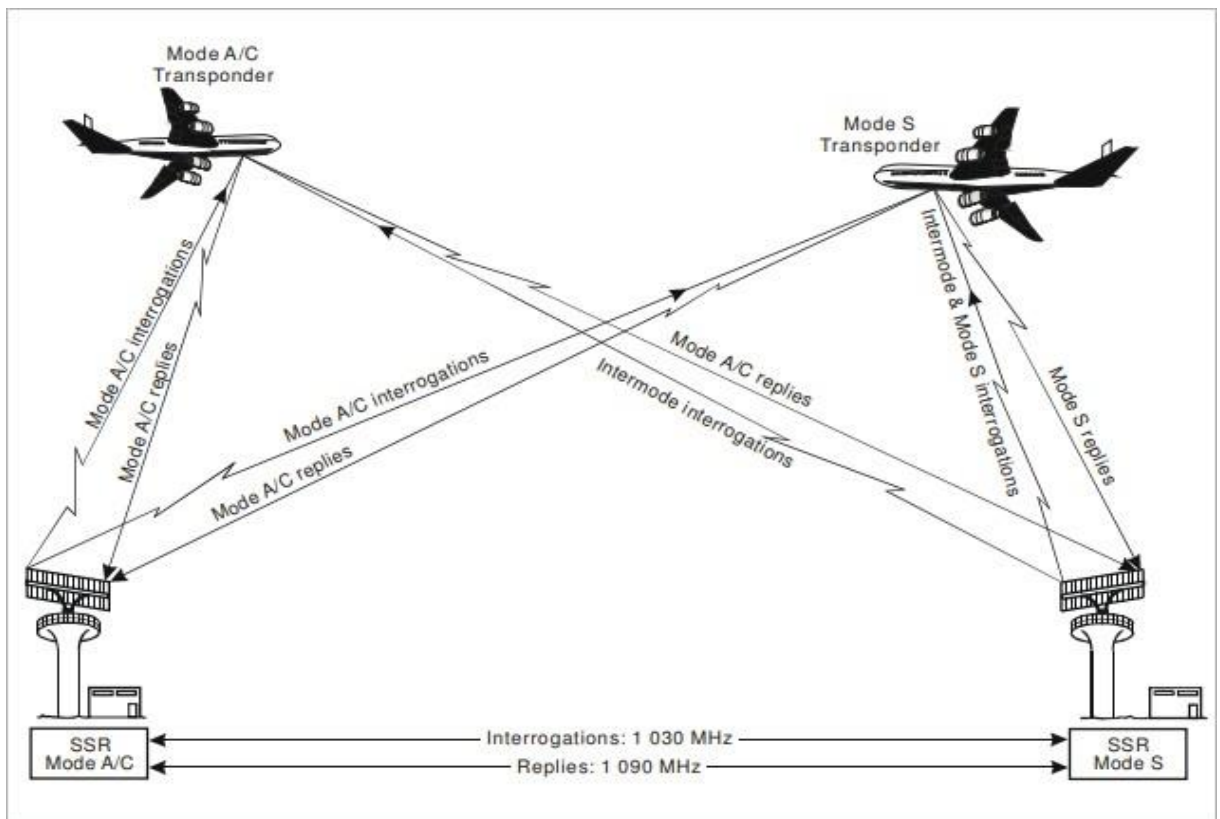
Les interrogations en mode S (liaison montante) peuvent être adressées à chaque aéronef. Cela permet la transmission d'informations codées au transpondeur équipé d'une capacité de liaison de données. La réponse mode S (liaison descendante) peut contenir l'identité de l'aéronef, son altitude ou d'autres données, en fonction de la demande de la station sol et de l'aéronef. Les interrogations et les réponses en mode S sont protégées par un mécanisme de détection / correction d'erreur robuste qui confère une grande fiabilité aux informations transférées. Les transpondeurs mode S sont capables de rapporter l'altitude-pression par incréments de 100 ou 25 pieds. Les encodeurs de pression-altitude signaleront l'altitude au moins par incréments de 100 pieds. Cependant, les capacités des systèmes de surveillance au sol et en vol sont considérablement améliorées si le rapport pression-altitude est transmis par incréments de 25 pieds. La plupart des sources d'altitude-pression sont capables de signaler des incréments égaux ou supérieurs à 25.

Par conséquent, ces sources d'altitude devraient être utilisées, au moins dans les nouvelles installations. Cependant, l'utilisation d'une source d'altitude-pression avec une quantification plus grossière que 25 pieds connectée au transpondeur lorsque le transpondeur utilise les formats pour des incréments de 25 pieds aggravera la situation. Les rapports d'altitude ne doivent pas être transmis par incréments de 25 pieds si la source d'altitude-pression n'est pas en mesure de fournir une quantification de 25 pieds ou supérieure. Si les informations pression-altitude sont directement fournies par la source d'altitude au transpondeur, celui-ci choisira la quantification appropriée pour la transmission du rapport d'altitude.

Si des informations d'altitude numérisées sont fournies via un bus de données embarqué, le jeu de données doit également fournir des informations sur la quantification appropriée de la transmission du rapport d'altitude.

➤ **Inter mode**

L'interrogation intermodale tout appel Mode A ou Mode C permet à une station terrienne mode S d'interroger des transpondeurs mode A / C en mode A ou C, sans réponse des transpondeurs Mode S. L'interrogation tout appel en mode A / C / S fait que les transpondeurs en mode S répondent avec une réponse en mode S, indiquant leur adresse discrète en mode S. Les transpondeurs mode A / C répondent avec une réponse mode A ou mode C en fonction de l'interrogation. [9]



**Figure 1.13 :** Compatibilité entre SSR Mode A / C et Mode S



#### **I.2.4.4. L'UTILISATION DE LA SSR :**

Le SSR seul est utilisé pour le contrôle radar en route dans de nombreux États où la détection d'intrus n'est pas requise. Une installation à SSR uniquement est moins chère qu'un radar combiné principal-secondaire, mais implique des dépenses considérables pour les bâtiments, les routes d'accès, l'alimentation électrique principale, les génératrices de secours, les tours et les tourniquets pour faire pivoter une grande antenne surélevée, etc. Document OACI 4444, Procédures pour Services de la circulation aérienne - Gestion de la circulation aérienne, définit les exigences relatives aux services radar.

#### **I.2.4.5. LES AVANTAGES ET LES INCONVÉNIENTS :**

##### **❖ Les Avantages :**

- La mise en œuvre de ce principe élimine tout Garbling.
- Il est possible d'envisager un allongement des transactions entre le radar et le transpondeur, ceci permettra d'introduire de véritables fonctions de "**liaison de données**".
- L'identification sera directe et sans ambiguïté avec la possibilité d'affichage direct d'informations sur l'écran de contrôleur : indicatif d'avion ou numéro de vol.
- Les informations classiques (altitude et distance) pourront être faites sur un seul échange ce qui entraîne une forte réduction de l'encombrement électromagnétique.

##### **❖ Les Inconvénients :**

- Il faut d'abord prévoir une phase d'acquisition entre le radar et le transpondeur.
- il faut assurer la compatibilité radar secondaire mode S de façon à faciliter l'évolution en ménageant les problèmes techniques et économiques des États (installation progressive des stations radar mode S), des compagnies (installations à bord des transpondeurs mode S).

#### **I.2.4.6. RADARS PRIMAIRE ET SECONDAIRE COMBINÉS :**

Il exploite les avantages des deux types de radar dans une même installation. En règle générale, l'antenne PSR et l'antenne SSR sont montées sur le même vireur et le traitement associé effectue le filtrage, combine le SSR et les données primaires et suit les rapports radar. Un message de piste est émis par avion pour chaque rotation d'antenne. Le radar principal assure la détection des aéronefs intrus et le SSR détecte les aéronefs coopératifs, ainsi que des

informations d'altitude et d'identité. Les systèmes de poursuite numérique tirent des avantages considérables de l'installation du SSR et du PSR sur la même antenne tournante. Le SSR peut résoudre les ambiguïtés de suivi qui existeraient dans une solution PSR uniquement et inversement. Certains États choisissent de monter des systèmes PSR et SSR à des emplacements distincts, fournissant ainsi des plates-formes d'antenne distinctes. Cela présente l'avantage d'un niveau de redondance puisqu'une antenne s'arrête, un niveau de service peut donc être fourni par l'autre. Toutefois, dans ce cas, les avantages des performances de poursuite améliorées sont perdus - à moins que les antennes ne soient à proximité et que la rotation des antennes ne soit synchronisée.

Des systèmes combinés PSR / SSR sont généralement fournis pour prendre en charge l'ATC au départ d'approche dans l'espace aérien de la zone de manœuvre du terminal. C'est dans l'espace aérien occupé de la zone de terminal que la probabilité que des avions de l'aviation générale s'égarer dans l'espace aérien contrôlé soit plus grande et par conséquent, certains États préfèrent avoir le PSR dans ces environnements. Souvent, ces systèmes sont sauvegardés par des systèmes SSR uniquement hors site.



**Figure 1 .14 :** Radars primaire et secondaire

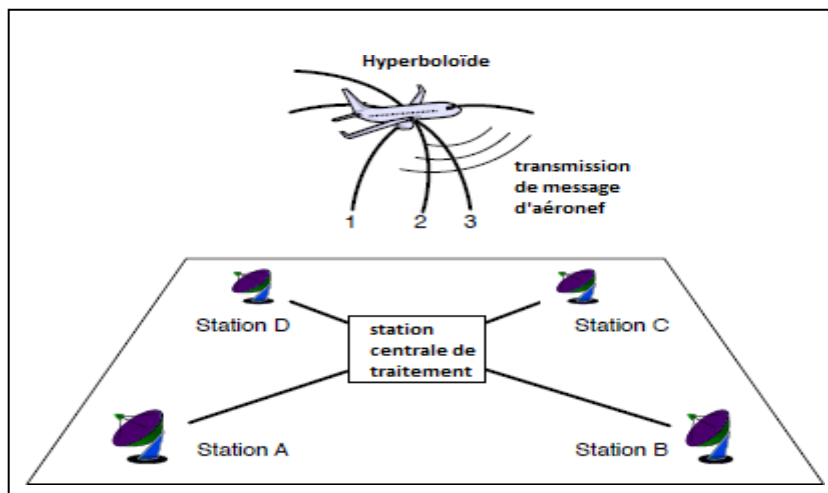
### **I.3. MULTILATÉRATION (MLAT) :**

La technologie de multilatération (MLAT) repose sur les signaux d'un avion détectés par au moins quatre stations au sol MLAT afin de localiser l'avion. Il utilise la technique TDOA (Time Difference of Arrival) pour établir des surfaces représentant des différences constantes entre la cible et les paires de stations de réception, et détermine la position de l'aéronef à

l'intersection de ces surfaces (Owusu, 2003). Le système MLAT est utilisé comme outil de surveillance pour les surfaces aéroportuaires et les zones terminales.

Le système MLAT exige que l'aéronef soit équipé d'un transpondeur mode-S. Heureusement, cela est facilité par les exigences obligatoires de l'OACI pour que les aéronefs soient équipés d'un transpondeur prenant en charge la technologie SSR. Le capteur MLAT a une couverture de 200 NM avec une précision de 10 à 500 mètres. La précision du système dépend de la géométrie de la cible par rapport aux stations de réception, ainsi que du temps relatif de réception du signal. Le système fournit un taux de mise à jour de (1-5) secondes. Le seul inconvénient identifié avec cette technologie est la nécessité d'un minimum de quatre stations au sol pour détecter les signaux d'un aéronef afin de déterminer son emplacement.

**Figure 1 .15** : Architecture multilateration de base.



#### **1.4. SURVEILLANCE dépendante automatique (ADS) :**

L'ADS "Automatic Dependent Surveillance" est un concept qui permet de donner les informations relatives au vol, que ce soit automatique ou sur demande. Il existe deux types de surveillance dépendant :

##### **1.4.1. ADS-C :**

##### **1.4.1.1. DÉFINITION :**

L'ADS-C fonctionne en mode connecté, il faut donc établir une connexion entre l'avion et la station intéressée par les informations qu'il va envoyer (en général une station de contrôle aérien au sol). Ensuite, selon le "contrat" ainsi négocié, l'avion va automatiquement envoyer

une seule fois, périodiquement, ou sur événement sa position.

L'ADS-C est généralement utilisé dans les zones désertiques et océaniques, en utilisant des liaisons par satellite.

#### **I.4.1.2. LES INFORMATIONS TRANSMISES VIA L'ADS-C :**

- la position de l'avion.
- sa route prévue.
- sa vitesse (sol ou air).
- des données météorologiques (direction et vitesse du vent, température...).

#### **I.4.1.3. LES AVANTAGES ET LES INCONVÉNIENTS DE L'ADS-C :**

##### **❖ Les avantages :**

- l'utilisation pour la surveillance des zones sans couverture radar ;
- la transmission de l'information route « prévue » ;
- la liaison de données air/sol (comme pour le Mode S et l'ADS-B).

##### **❖ Les inconvénients :**

- il dépend entièrement de l'avion et de la véracité des données qu'il transmet.
- L'ADS-C utilise des liaisons par satellite. Comme ces liaisons sont coûteuses, la cadence d'émission des informations est généralement faible, par exemple toutes les minutes ou toutes les dix minutes.

#### **I.4.2. ADS-B :**

##### **I.4.2.1. DÉFINITION**

L'ADS-B, en revanche, fonctionne en mode diffusion : il n'y a pas d'établissement de connexion. L'avion envoie régulièrement sa position et d'autres informations par une diffusion radio dite "ADS-B out" à ; tous les utilisateurs intéressés, typiquement le contrôle au sol, mais aussi les autres avions s'ils sont équipés d'un récepteur (dit ADS-B "in"). La fréquence d'émission de la position dépend de la phase du vol, par exemple toutes les dix secondes en route et toutes les secondes en approche.

### I.4.2.2. LES informations transmises via l'ADS-B :

Les données ADS-B sont diffusées toutes les demi-secondes sur une liaison de données numérique à 1090 MHz.

Les émissions peuvent inclure:

- Identification du vol (indicatif ou numéro d'appel du numéro de vol)
- Adresse de l'avion OACI 24 bits (code de cellule unique au monde)
- Position (latitude / longitude)
- Intégrité / précision de la position (limite de protection horizontale du GPS)
- Altitudes Barométriques et Géométriques
- Taux vertical (taux de montée / descente)
- Angle de piste et vitesse au sol (vélocité)
- Indication d'urgence (lorsque le code d'urgence est sélectionné)
- Identification de position spéciale (quand IDENT est sélectionné)

### I.4.2.3. LES avantages et Les inconvénients :

#### ❖ Les avantages :

- Accroître le niveau de sécurité.
- Situation du trafic disponible simultanément à bord de l'aéronef et devant le contrôleur
  
- Amélioration du filet de sauvegarde.
- Efficacité et capacité élevées.
- Utilisation, dans un environnement non radar, des mêmes services fournis par un radar.
- Réduction des normes de séparation (à long terme avec de nouvelles procédures).
- Performance accrue des outils de décision mis à la disposition du contrôleur.

#### ❖ Les inconvénients :

- Les applications envisagées seront des informations, comme les informations de navigation, transmissent via **ADS-B**. Chaque défaut non détecté aurait des conséquences graves.
- Les avions non équipés ne sont pas visualisés.

- Problèmes de facteurs humains : partage des responsabilités entre le pilote et le contrôleur.

**Tableau 1.2:** Caractéristiques de performance du capteur de surveillance.

<b>Technologie de surveillance</b>	<b>Couverture</b>	<b>Précision</b>	<b>Intégrité</b>	<b>Période de mise à jour</b>
<b>Radar de surveillance primaire (PSR)</b>	S-band 60-80 NM L-band 160-220 NM	Dans la gamme : 0,1 NM RMS ou 0,2 NM $2\sigma$ En azimut : 0,15 degré RMS ou 0,3 degré $2\sigma$	Aucun rapport d'intégrité fourni.	4 - 15 seconds
<b>Radar de surveillance secondaire (SSR) Mode A/C</b>	200 NM-250 NM	Dans la plage : 0,03 NM RMS En azimut : 0,07 degré RMS ou 0,14 degré $2\sigma$ pour les erreurs aléatoires.	Aucun rapport d'intégrité fourni.	4 - 15 seconds
<b>Radar de surveillance secondaire (SSR) Mode S</b>	200 NM-250 NM	Identique au SSR (Mode A / C)	Aucun rapport d'intégrité fourni.	4 - 12 seconds
<b>Multilatération (MLAT)</b>	200 NM	10-500 mètres	Aucun rapport d'intégrité fourni	1 - 5 seconds

<b>ADS-B</b>	200 NM-250 NM	Déterminé par l'avionique de l'aéronef et indépendant de la portée du capteur. Pour le GPS, 95 % moins de 0,1 NM	Intégrité de position garantie à 1 * 10 <sup>-7</sup> grâce à l'algorithme RAIM en avionique. La valeur d'intégrité est liée dans le message ADS-B.	0.5 - 2 seconds
--------------	---------------	--	---	-----------------





## **CHAPITRE II**

### **LA SURVEILLANCE DÉPENDANTE AUTOMATIQUE EN MODE DIFFUSION**

## II) LA SURVEILLANCE DÉPENDANTE AUTOMATIQUE EN MODE DIFFUSION :

### II.1. DESCRIPTION GÉNÉRALE

#### II.1.1. DÉFINITION :

**ADS-B** est une nouvelle technologie de surveillance avec laquelle l'avion transmet des données d'une manière automatique à partir des systèmes embarqués en mode de diffusion, ce qui permet de partager ces informations avec des stations au sol et d'autres avions.

#### II.1.2. OBJECTIF :

L'objectif principal de l'ADS-B est de déterminer la position d'un aéronef, puis de diffuser automatiquement ces informations, ainsi que son altitude, son indicatif d'appel, son cap et son type d'aéronef (c'est-à-dire sans signal d'interrogation SSR) vers un autre aéronef et en vol contrôle des installations au sol. L'ADS-B est automatique en ce sens qu'il ne nécessite aucune action ou entrée de la part du pilote et qu'aucune interrogation depuis le sol n'est requise. Il est également dépendant du fait qu'il repose sur un équipement embarqué pour collecter les données ADS-B et les diffuser à d'autres utilisateurs de l'ADS-B. Il s'agit également d'un moyen de surveillance et de coordination du trafic.

Les équipements de station au sol ADS-B comprennent un récepteur, une antenne et un moniteur de site. Il s'agit d'un système de liaison de données qui utilise normalement le même transpondeur, mais fonctionne indépendamment des systèmes de radar et d'alerte et d'évitement des collisions de trafic (TCAS). La plupart des transpondeurs de radar de surveillance secondaire mode moderne (SSR) sont capables de transmettre des données SSR et ADS-B (également appelées "squitters étendus"). Les transpondeurs de mode A / C plus anciens ne prennent pas en charge ADS-B.

**L'ADS-B** a été créé dans un souci de compatibilité et de facilité de transition. Il a été construit en utilisant des aspects similaires du mode de transmission de surveillance de l'avion actuel appelé Mode S ou mode select. Le mode S consiste à interroger l'avion à l'aide d'un numéro d'identification spécifique. Seul l'aéronef possédant le numéro d'identification correct répondra à une interrogation avec ses informations de vol. Les types de transmission antérieurs au mode S comprennent les modes A et C. L'identification de l'aéronef fournie par le mode A et l'altitude fournie par le mode C. Le mode S offre de

meilleures capacités, principalement sous la forme d'informations sur l'aéronef, qui incluent l'identité, l'intention, les capacités et la localisation.

L'ADS-B est similaire au mode S en ce qu'il utilise la même fréquence de transmission de 1090 MHz. Il diffère par le fait que le message a 112 bits, une longueur de 120  $\mu$ s et qu'il s'agit de messages "séquestres". Un message de squitter est simplement un message transmis qui n'est invoqué par aucune interrogation. Dans la figure ci-dessous qui montre le transpondeur ADS-B.



**Figure 2.1:** ADS-B Receiver & transponder



Figure 2.2 : ADS-B transpondeur.

### II.1.3. L'ABRÉVIATION :

- **Automatic** : Il est toujours activé et ne nécessite aucune intervention de l'opérateur
- **Dependent** : Cela dépend d'un signal GNSS précis pour les données de position
- **Surveillance** : Il fournit des services de surveillance "semblables à un radar", un peu comme RADAR
- **Broadcast** : Il diffuse en continu la position de l'aéronef et d'autres données sur tous les aéronefs ou stations au sol équipés pour recevoir l'ADS-B

### II.2. PRINCIPE :

Un avion avec ADS-B détermine sa position à l'aide du GPS. L'avion diffuse ensuite cette position à intervalles rapides, ainsi que son identité, son altitude, sa vitesse et d'autres données. Les stations au sol ADS-B dédiées peuvent recevoir les émissions et relayer les informations au contrôle de la circulation aérienne pour un suivi précis de l'aéronef.

Le système ADS-B diffuse des données toutes les demi-secondes sur une liaison numérique à 1090 MHz et, à l'instar du radar, il est limité à la "ligne de vue". La capacité d'une station au sol à recevoir un signal dépend de l'altitude, de la distance du site et du terrain obstruant. La portée maximale de chaque station au sol ne peut pas dépasser 250 miles nautiques. Dans l'espace aérien entourant immédiatement chaque station au sol, la couverture de surveillance s'étendra jusqu'à la surface. La figure 3.3 ci-dessous montre comment cela fonctionne.

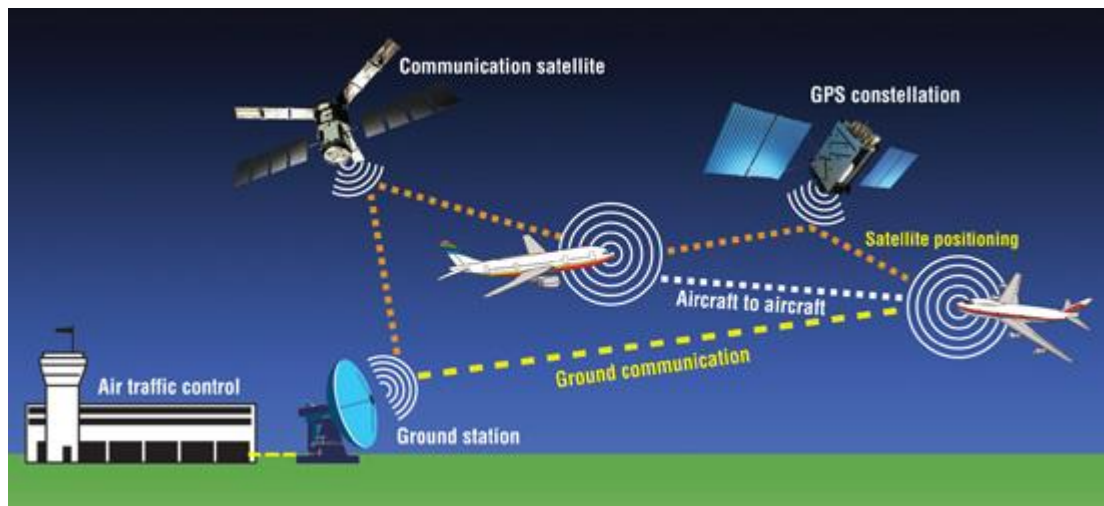


Figure.2.3 : Principe de l'ADS-B.

### II.3. CATÉGORIES D'APPLICATION D'ADS-B

- Applications air-air : réception des messages ADS-B par un aéronef, donc possibilité pour le pilote de voir les avions à proximité.
- Applications air-sol : fourniture des messages ADS-B aux contrôleurs du trafic aérien et/ou aux appareils de navigation aérienne ou sol
- Applications sol-sol : indication de la position précise et identification de l'avion et des autres véhicules équipés pour la surveillance de la surface d'aéroport

### II.4. L'ÉQUIPEMENT AVIONIQUE DE L'ADS-B :

L'ADS-B comprend deux segments principaux :

#### ❖ ADS-B "Out" :

Est la principale fonction que la FAA a traitée. Un aéronef doté d'ADS-B "Out" a la capacité de diffuser sa position, sa vitesse et son altitude aux contrôleurs de la circulation aérienne et aux autres avions équipés de l'ADS-B. Selon une exigence de la FAA, tous les avions qui volent dans l'espace aérien américain, qui nécessite actuellement un transpondeur doivent être équipés de capacités ADS-B "Out" avant le 1er janvier 2020.

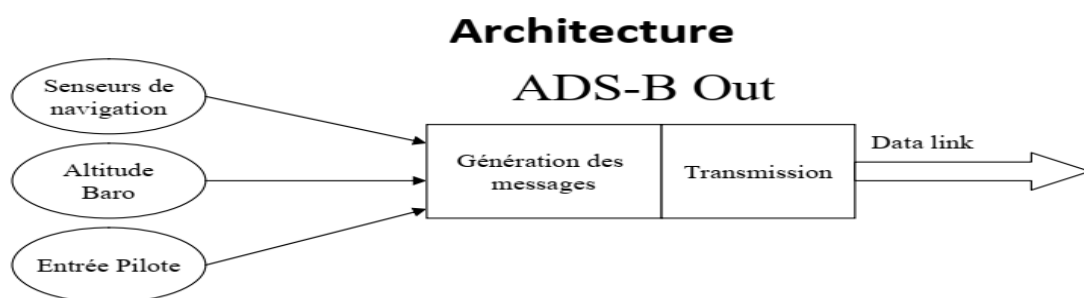
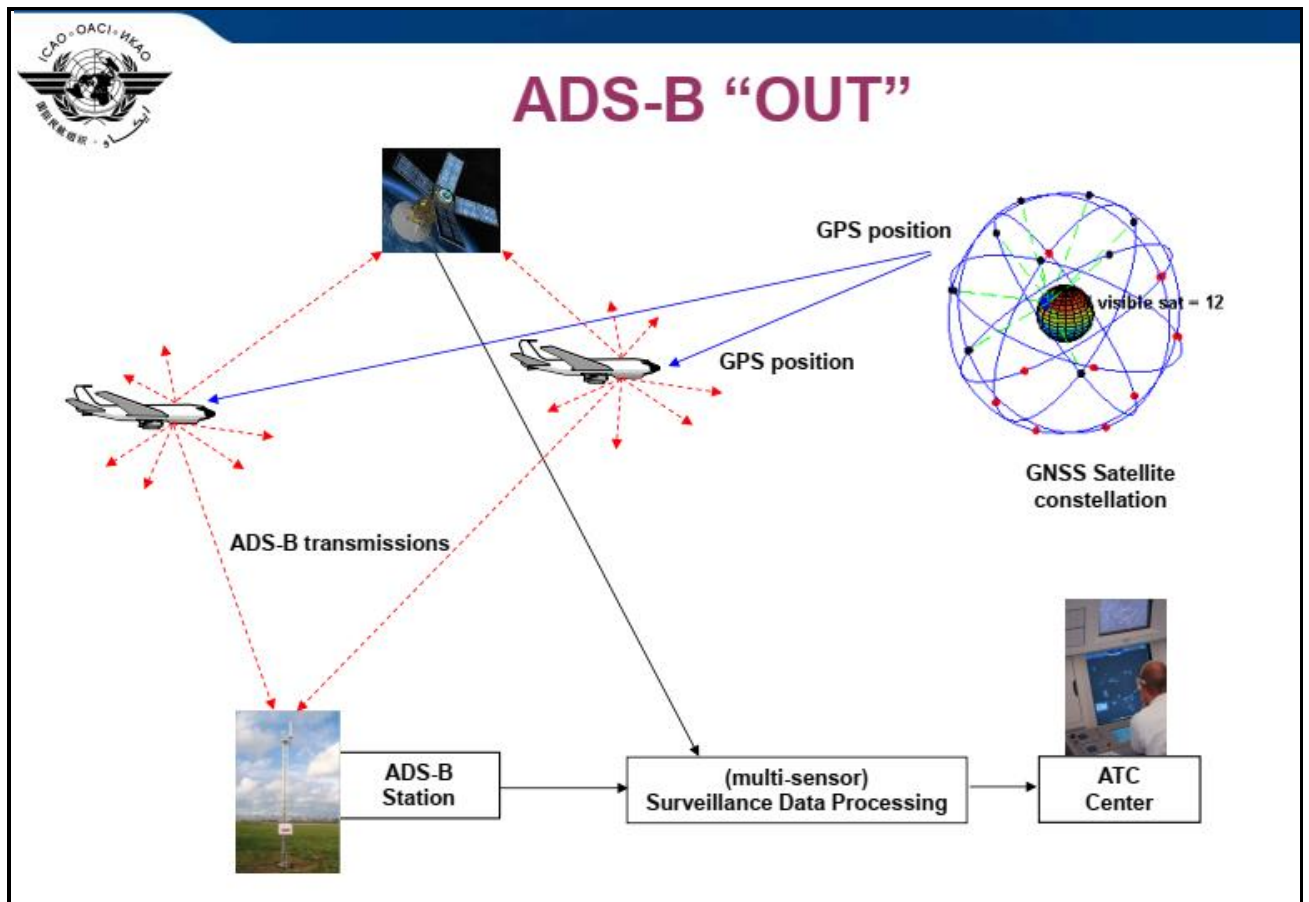
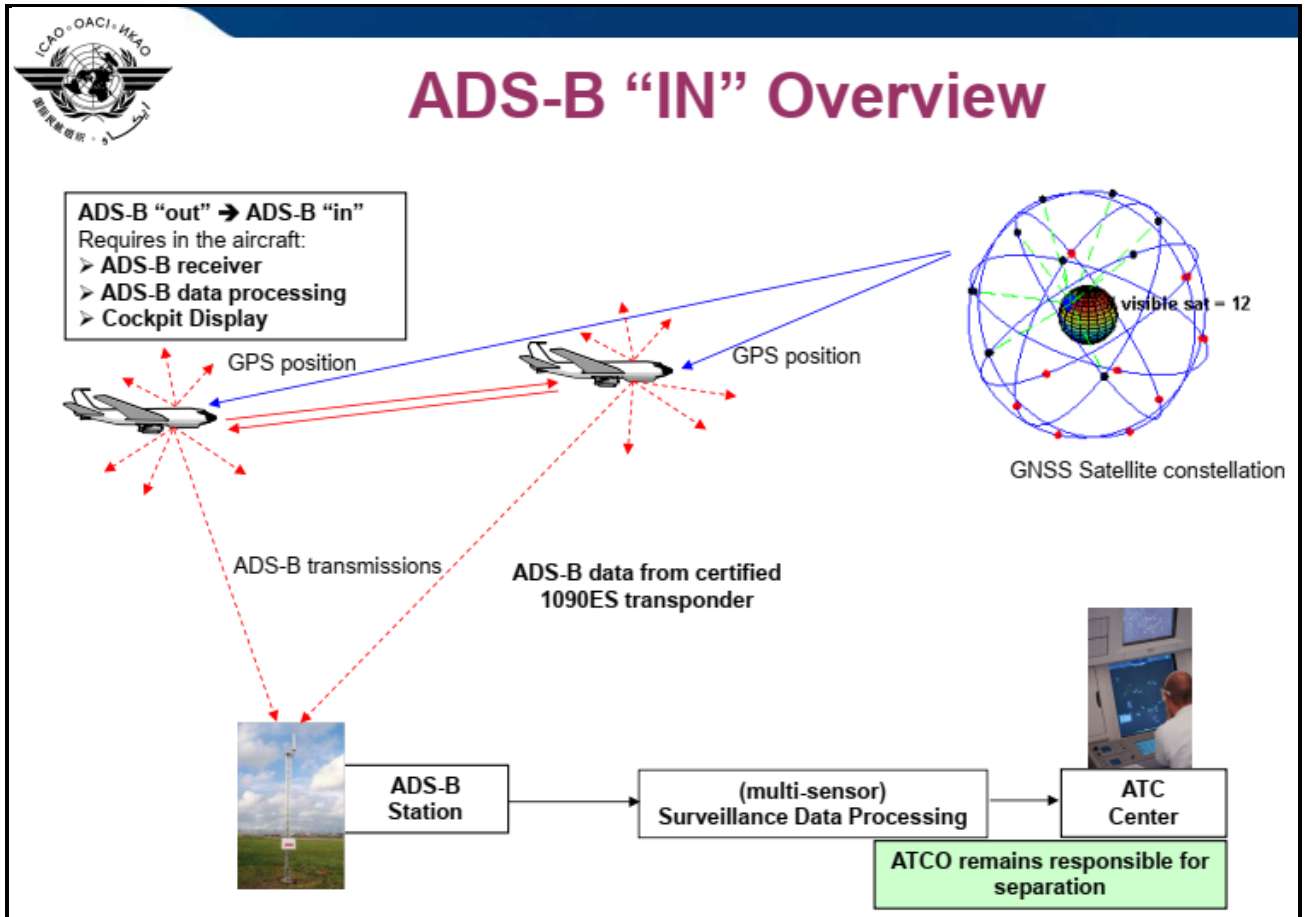


Figure 2.4: fonctionnement et architecture de l'ADS-B "Out".

❖ L'ADS-B "In" :

Reste une fonctionnalité facultative, au moins pour l'instant. La capacité ADS-B "In" permettra aux aéronefs de recevoir des informations sur la circulation et les conditions météorologiques en temps réel sur l'écran de l'habitacle de l'avion. La

fonction ADS-B "In" va au-delà des systèmes de trafic actuels (tels que TCAS), car elle offre des données plus précises et plus de paramètres que les systèmes TCAS actuels. Par exemple, TCAS peut afficher la distance verticale de l'avion mais pas latérale. ADS-B "In" affiche la vitesse, les emplacements, l'altitude et les vecteurs des autres avions participants, ainsi que de nombreuses autres données.



### Architecture

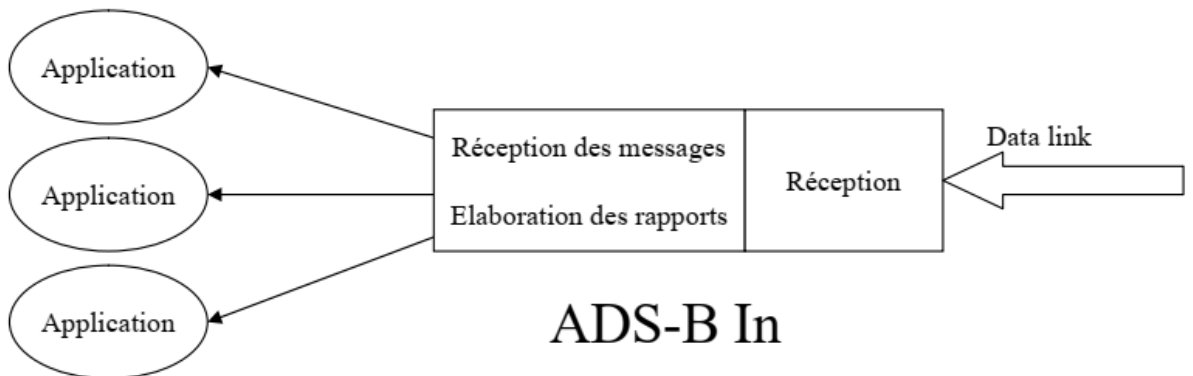


Figure 2.5 : fonctionnement et architecture de l'ADS-B IN

## II.5. LES TECHNOLOGIES DE L'ADS-B

Il existe trois types de liaisons de données pour la transmission des signaux ADS-B qui sont :

### II.5.1. LE 1090 ES (1090 MHZ EXTENDED SQUITTER) :

Dans la désignation 1090 ES, 1090 signifie que la fréquence porteuse des signaux ADS-B (pour ce mode de transmission) est 1090 MHz, ES signifié Extended Squitter. Le 1090ES est une évolution des transpondeurs radar mode S qui émettent sur la fréquence 1090 Mhz sur les avions équipés mode S et TCAS, ces transpondeurs permettent déjà d'envoyer et recevoir des messages de 56 bits, utilisés par le TCAS. La modification leur permettra d'envoyer des messages de 112 bits suffisants pour l'ADS-B "Out" et éventuellement de les recevoir par l'ADS-B "In".

Au sol, les informations ADS-B sont reçues soit par un radar mode S, soit par une simple antenne omnidirectionnelle bien moins coûteuse. Comme les avions commerciaux sont presque tous déjà équipés du TCAS, le 1090ES est une solution relativement peu coûteuse pour ces avions. Il n'en est pas de même pour les autres avions, en particulier les petits avions privés, pour lesquels l'installation ADS-B en 1090ES est très coûteuse.



Figure 2.5 : Extended Squitter mode S

### II.5.2. VDL MODE 4 :

VDL mode 4 est un moyen de communication, fonctionnant dans la bande VHF



aéronautique pour les équipements de navigation (118-137 Mhz). Pour la surveillance, VDL mode 4 rend les services de l'ADS-B et du TIS-B (qui permet à l'ADS-B de fournir des informations météorologiques graphiques générées par le trafic et le gouvernement). Pour la communication, VDL mode 4 permet de rendre le service CPDLC de communication contrôleur-pilote par liaison de données et non plus par la voix, le VDL mode 4 est d'un coût plus abordable que le 1090ES pour l'aviation générale.



Figure 2.6 : Aviation transpondeur VDL mode 4.

### II.5.3. L'UAT (EMETTEURS - RÉCEPTEURS À ACCÈS UNIVERSEL) :

L'UAT est un transpondeur spécifiquement conçu pour l'ADS-B, aussi bien "in" que "out" et fonctionnant à 978Mhz. L'UAT est un système spécifiquement américain. Les créateurs de l'UAT espèrent que le coût de cet équipement sera bientôt suffisamment abordable pour qu'il soit installé sur tous les avions privés. En outre, c'est un besoin qui semble spécifiquement américain, l'UAT permettant l'implémentation du service TIS-B.



Figure 2.7 : Emetteurs - récepteurs à accès universel (UAT).

**Tableau II.1 : Comparaison entre VDL, MOD 4 et 1090ES.**

<b>1090ES</b>	<b>VDL4</b>	<b>UAT</b>
canal unique	multicanal	canal unique
Fréquence 1090MHz	Fréquence 108 – 137MHz	Fréquence 978MHz
accès aléatoire	Time slot Access	Time slot Access
Bande passante de données de canaux fixe et limitée	bande passante 19.2kbps	bande passante 2-3 MHz
Taux de notification	Taux de notification	Taux de notification
ADS-B : fixe	ADS-B : variable	ADS-B : fixe
Extension au mode S	Nouveau système	Nouveau système
Soutenir la diffusion air- air, liaison montante, liaison descendante	Soutenir la diffusion air- air, liaison montante, liaison descendante	Soutenir la diffusion air- air, liaison montante, liaison descendante
Norme d'OACI existe	Norme d'OACI existe	Norme d'OACI existe
équipement obligatoire	équipement d'essai	équipement d'essai

## **II.6. SERVICES ADS-B :**

### **II.6.1. SERVICE D'INFORMATION SUR LA CIRCULATION – DIFFUSION GÉNÉRALE (TIS-B) :**

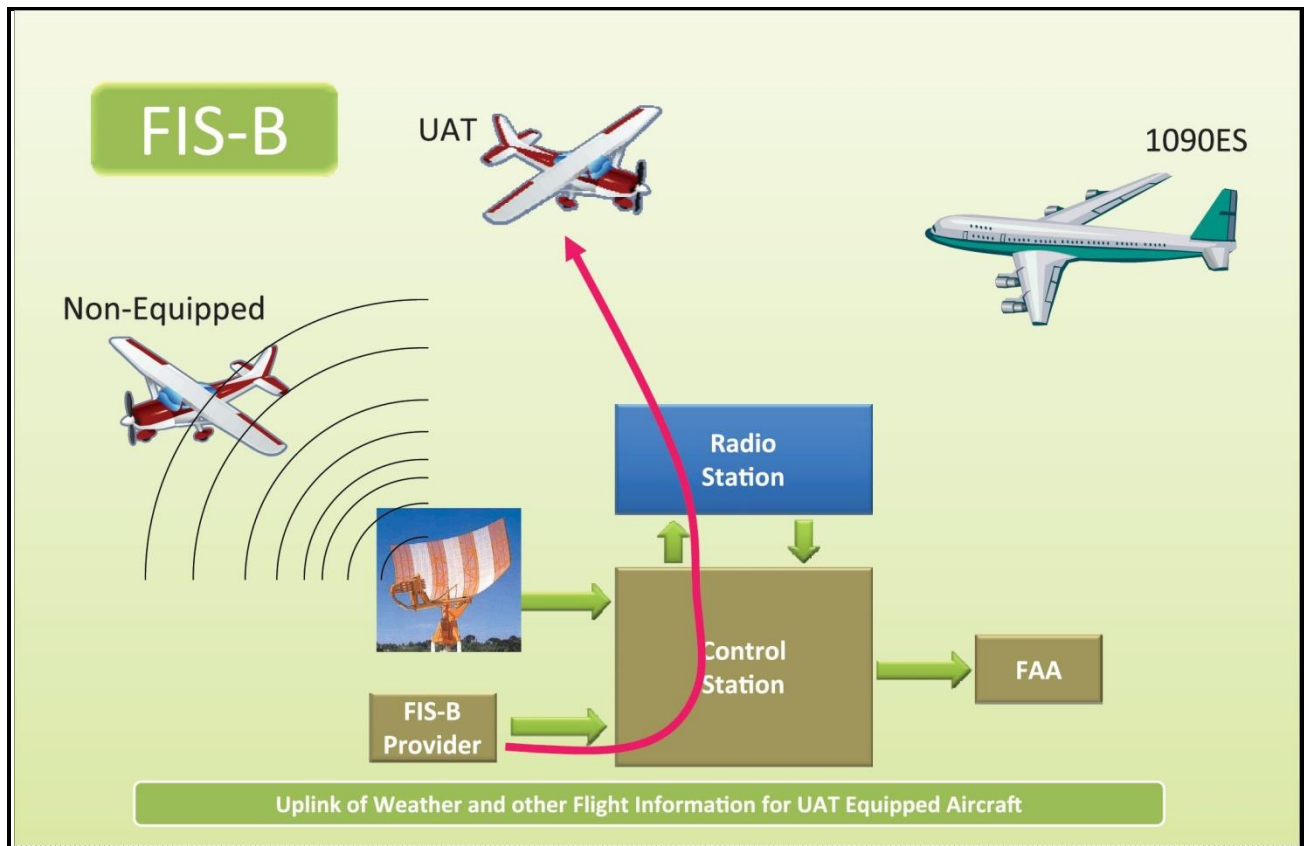
TIS-B est un service client qui fournit aux aéronefs équipés ADS-B Out / In des informations de surveillance sur les aéronefs qui ne sont pas équipés de l'ADS-B. Pour être qualifié de cible TIS-B, un aéronef doit être équipé d'un transpondeur et se trouver dans la zone de couverture radar.



**Figure 2.8 :** Données de liaison montante d'aéronefs non équipés ADS-B pour la connaissance de la situation des aéronefs.

### II.6.2. SERVICE D'INFORMATION DE VOL – DIFFUSION GÉNÉRALE (FIS-B) :

FIS-B fournit les données météorologiques et aéronautiques au poste de pilotage. Ce service n'est pas un service client, mais est toujours diffusé dans l'espace aérien sur la fréquence UAT. Cette information n'est pas diffusée sur la fréquence 1090 MHz.



**Figure 2.9.** : Liaison montante d'informations météorologiques et autres informations de vol pour les aéronefs équipés d'un système UAT.

➤ **Les informations fournissent par FIS-B :**

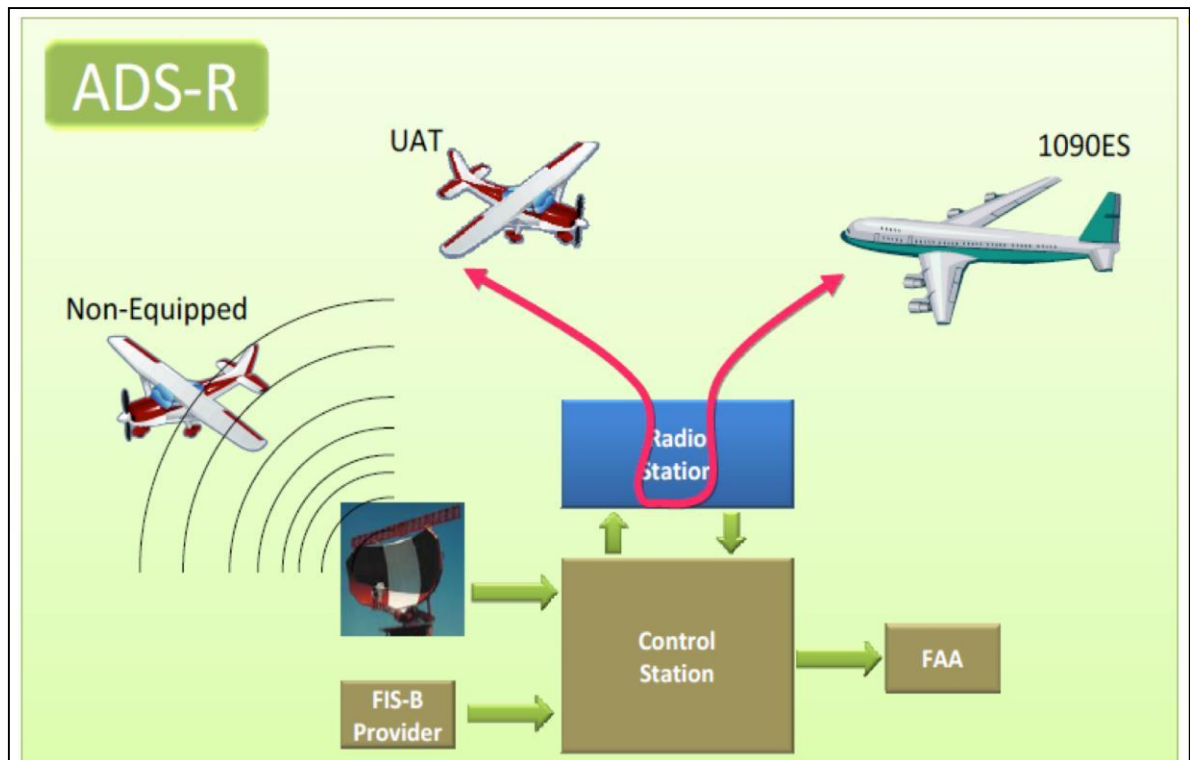
- Rapports météorologiques de l'aviation (METAR)
- Rapports météorologiques à l'aviation non routiniers (SPECI)
- Prévisions de zone terminale (TAF) et amendements
- Cartes de précipitations NEXRAD (régionales et CONUS)
- Avis aux aviateurs (NOTAM) Données de vol et de centre de vol
- Conditions météorologiques des aviateurs (SIGMET) et
- SIGMET de convection
- Statut de l'espace aérien à usage spécial (SUA)
- Restrictions de vol temporaires (TFR)
- Vents et températures en altitude
- Rapports de pilote (PIREPS)



Figure 2.10 : Affichage de la météo avec ADS-B.

### II.6.3. SURVEILLANCE DÉPENDANTE AUTOMATIQUE - RETRANSMISSION (ADS-R) :

L'ADS-R prend les informations de position reçues au sol des aéronefs équipés d'UAT et les rediffuse sur la fréquence 1090 MHz. De même, l'ADS-R rediffuse des données à 1090 MHz à destination des utilisateurs d'UAT. De concert avec TIS-B, l'ADS-R fournit à tous les aéronefs équipés de l'ADS-B In un espace aérien et un trafic de surface en surface complets. L'ADS-R fournit des données de trafic dans un rayon de 15 nm à 5000 pieds au-dessus ou en-dessous de la position de l'avion récepteur.



**Figure 2.11:**réticulation des données ADS-B pour la connaissance de la situation des aéronefs.

Pour se conformer au mandat 2020, les aéronefs évoluant dans un espace aérien de classe A situé entre 18 000 et le niveau de mer moyen jusqu'au niveau de vol 600 inclusivement doivent diffuser les données de position ADS-B Out à l'aide de la liaison Mode S 1090ES ADS-B. Les aéronefs évoluant dans un espace aérien désigné exclusivement inférieur à 18 000 pieds peuvent utiliser le 1090ES ou un UAT.



**Figure 2. 12 :** L'écran TAS-A d'Avidyne combine les systèmes ADS-B et de surveillance active dans une seule unité.

## II.7. PARAMÈTRES DE PERFORMANCE ADS-B :

### II.7.1. LA PRÉCISION ADS-B :

La précision de l'ADS-B est définie comme une mesure de la différence entre la position de l'aéronef signalée dans le champ ADS-B et la position vraie. Il est également défini comme le bruit lorsque le bruit est supposé suivre une distribution gaussienne et que la valeur RMS est indiquée (OACI, 2006b). L'exactitude de l'ADS-B est également analysée en fonction de l'indicateur de qualité représentant l'exactitude de l'estimation de position incluse dans le message ADS-B.

La précision de la position horizontale est évaluée comme la distribution de l'erreur de mesure de la position horizontale. Pour l'ADS-B, la précision de la position horizontale est définie comme le rayon d'un cercle centré sur la position signalée de la cible, de sorte que la probabilité que la position réelle de la cible soit à l'intérieur du cercle est de 95 % (OACI, 2006b).



La précision verticale est définie comme la distribution de l'erreur de mesure de la position verticale. Pour l'ADS-B, l'altimètre barométrique de l'avion fournit l'altitude à l'émetteur de l'ADS-B et est transmis à la station au sol de l'ADS B (OACI, 2006b). De plus, l'ADS- B fournit également l'altitude géométrique dérivée par le système de navigation embarqué. Toutefois, les données d'altitude de l'altimètre barométrique constituent l'exigence normalisée actuelle pour les opérations ATC, même si l'altitude géométrique fournit une plus grande précision. Par conséquent, la précision de la position verticale peut être mesurée par rapport à l'altitude géométrique. Les éléments qui contribuent à l'exactitude de l'ADS-B comprennent la précision de la fonction de navigation à bord qui fournit les données de positionnement au système ADS-B.

### **II.7.2. L'INTÉGRITÉ ADS-B :**

L'intégrité ADS-B est le niveau de confiance selon lequel les erreurs seront correctement détectées. Le risque d'intégrité est la probabilité qu'une erreur supérieure à un seuil donné dans les informations ne soit pas détectée plus longtemps qu'un délai d'alerte prédéterminé (OACI, 2006b). L'intégrité de la position horizontale de l'ADS-B est le niveau de confiance qui peut être placé dans la source de navigation pour fournir l'entrée à la position rapportée de l'ADS-B. Ceci est représenté par l'indicateur de qualité d'intégrité dérivé de l'indicateur d'intégrité de la position de la source de navigation.

### **II.7.3. LA CONTINUITÉ ADS-B :**

La continuité ADS-B est la probabilité que le système remplisse sa fonction requise sans interruption imprévue, en supposant que le système soit disponible lors du lancement de la procédure (OACI, 2006b). La continuité de l'ADS-B comprend :

- la continuité des fonctions affectant tous les aéronefs (par exemple, fonction de satellite, fonction d'acquisition de données au sol): exprimée en nombre de perturbations par an;
- la continuité de système affectant un seul aéronef (par exemple, fonction de transpondeur): exprimée par heure de vol; et
- la continuité des sources de navigation (y compris les constellations de satellites) de qualité suffisante dans la région, qui affecte de nombreux aéronefs.



#### II.7.4. LA DISPONIBILITÉ DE L'ADS-B :

La disponibilité de l'ADS-B est la capacité du système d'exécuter sa fonction requise au début de l'opération prévue. La disponibilité est mesurée en quantifiant la proportion de temps pendant laquelle le système est disponible par rapport au temps que le système devrait être disponible. Les périodes de maintenance planifiée ne sont pas incluses dans la mesure de disponibilité (OACI, 2006b). La disponibilité de l'ADS-B comprend:

- la disponibilité des fonctions affectant tous les aéronefs (par exemple, fonction de positionnement externe, fonction d'acquisition de données au sol);
- la disponibilité du système n'affectant qu'un seul aéronef (fonction de transpondeur, par exemple): exprimée par heure de vol; et
- La disponibilité de sources de navigation (y compris les constellations de satellites) de qualité suffisante dans la région affectera de nombreux aéronefs.

#### II.7.5. LA LATENCE ADS-B :

La latence ADS-B est le délai entre la détermination de la position de l'aéronef par le système de navigation embarqué et la réception de la position par la station sol. La mesure de latence affecte directement la précision de la position.

**Tableau II.2:** Résumé des exigences de performance de la surveillance ADS-B.

ARTICLE	INTÉGRITÉ	PRÉCISION	CONTINUITÉ	LATENCE
système global ADS-B	$\leq 10^{-5}$ par heure de vol (par rapport à la carte réseau) avec un délai d'alerte $\leq 10$ secondes	$< 150$ mètres pour une séparation de 3 NM	Taux de mise à jour de $\leq 2$ secondes	Latence totale $\leq 1,5$ seconde dans 95% des transmissions. Latence non compensée $\leq 0,6$ seconde dans 95% des transmissions. Latence non

				compensée $\leq$ 1,0 seconde dans 99% des transmissions.
--	--	--	--	---

## II.8. DIFFÉRENCE ENTRE RADAR ET SYSTÈMES ADS :

- L'infrastructure ADS présente un faible coût par rapport au RADAR classique. En effet, la station réceptrice a besoin seulement d'une antenne permettant de recevoir les signaux ADS, le reste des traitements étant faits à bord des appareils.
- Dans le système ADS la position est déterminée par les instruments de bord, il est donc beaucoup plus précis que le radar.
- Le radar primaire est un système indépendant et non coopératif. Il ne fournit pas l'altitude, l'identification... Le radar secondaire est indépendant (à l'exception de l'altitude) et coopératif, mais ne détecte pas les avions non équipés de transpondeur. Alors que l'ADS est dépendante et coopératif.
- Avec l'ADS on peut surveiller et suivre les avions dans les régions où on ne peut pas installer de radar.

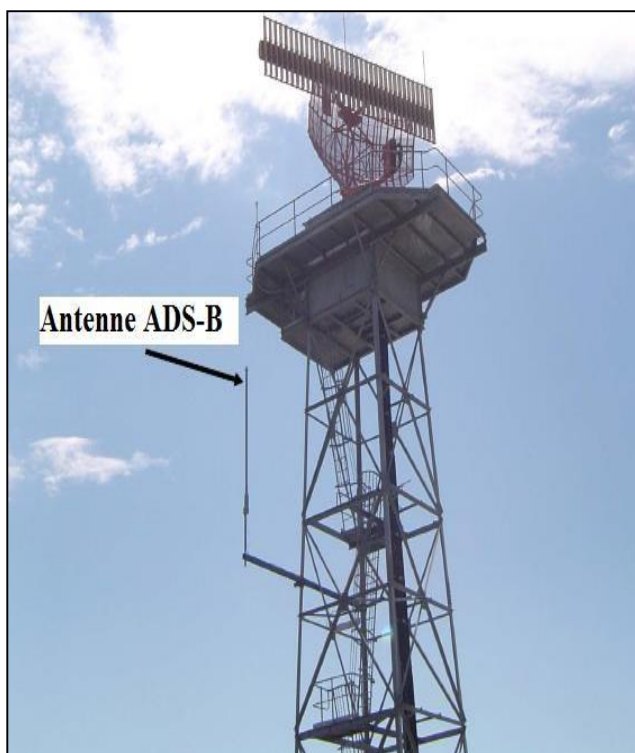


Figure 2.13. Antenne d'ADS-B

## II.9. AMÉLIORATION D'ADS-B DE LA LIMITE DE SYSTÈME SURVEILLANCE ACTUEL :

Il est clair que les performances de l'ADS-B sont telles qu'elles peuvent potentiellement supporter l'augmentation de la demande de transport aérien, ce que les systèmes de surveillance actuels, en raison de leurs limitations opérationnelles, ne peuvent pas atteindre. Le tableau II-3 montre une comparaison entre le système ADS-B et le système de surveillance actuel basé sur les applications de surveillance requises par l'OACI pour répondre à la demande croissante de transports aériens.

**Tableau II.3:** comparaison entre le système ADS-B et le système de surveillance

Application de surveillance	Système de surveillance actuel	Système ADS-B
Meilleure connaissance de la situation du trafic aérien	Conscience de la situation limitée dans les zones isolées et océaniques, limitée à la ligne de mire et sujette à de graves évanouissements et interférences.	La connaissance de la situation dans une zone donnée dépend du mouvement des aéronefs équipés de l'ADS-B dans cette zone au moment (t). Les aéronefs sont indépendants de l'ATC pour obtenir une connaissance de la situation.
Équivalent radar	Capable de détecter les cibles coopératives (SSR) et non coopératives (PSR) dans une plage limitée.	Fournit une précision améliorée et un taux de mise à jour de position plus élevé, ce qui améliorera le service de surveillance. Ne détecte que les cibles équipées ADS-B.
Acquisition visuelle améliorée	Acquisition visuelle limitée. Les méthodes classiques «voir et éviter» ont atteint leur limite en raison de la vitesse croissante des aéronefs, de la mauvaise visibilité dans le poste de pilotage moderne et de la	Offre une capacité d'acquisition visuelle améliorée en ce qui concerne la procédure «voir et éviter» qui

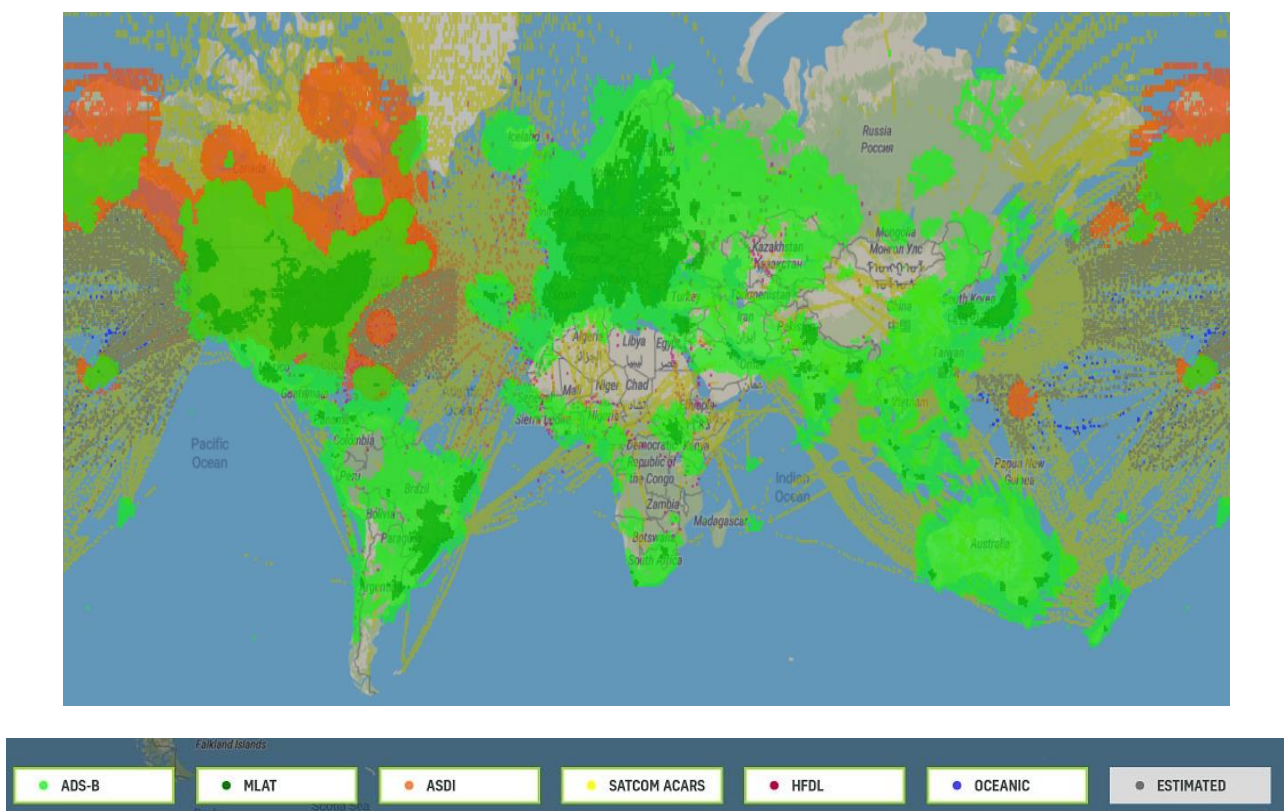
	charge de travail de l'équipage de conduite durant certaines phases de vol.	s'applique aux opérations VFR / VFR et IFR / VFR. Ceci est fourni par l'utilisation de l'application CDTI (affichage du trafic dans le cockpit).
Opérations de surface de l'aéroport	La sortie du radar de mouvement de surface (SMR) se dégrade lors de fortes pluies et disparaît à cause de la visibilité directe.	L'ADS-B offre une nouvelle source d'informations sur la surveillance aéroportuaire pour une gestion plus sûre et plus efficace des mouvements au sol dans les aéroports. Les véhicules au sol des aéroports devraient également être équipés de l'ADS-B afin de générer un affichage complet de la connaissance de la situation
Séparation améliorée	Fournir un faible taux de mise à jour de 4s-12s.	La précision améliorée et un taux de mise à jour de 1 à 2 secondes permettent une séparation réduite. Cela permettra ultérieurement de redistribuer les tâches liées au séquençage et à la fusion du trafic entre l'ATC et les aéronefs. Il permettra également la mise en place

		de procédures en route dans l'espace aérien non radar, permettant ainsi aux aéronefs équipés de l'ADS-B de descendre et de gravir les niveaux de vol de chacun. Cela se traduira par une utilisation optimisée de la capacité de l'espace aérien.
--	--	---

## II.10. MISE EN APPLICATION :

### II.10.1. ADS-B DANS LE MONDE :

- Nous avons actuellement un réseau mondial ADS-B de plus de 24 492 récepteurs dans plus de 173 pays à travers le monde. En 7 jours, 727 nouveaux récepteurs ADS-B ont été ajoutés dans le monde. Les serveurs de l'ADS-B reçoivent chaque jour plus de 4 milliards de messages, y compris une utilisation de bande passante de 3,48 milliards de TOctets par mois.
- Les USA ont fait de l'ADS-B le socle de leur "next generation air transportation system" ("nextGen"). La politique de la FAA est d'utiliser le 1090ES pour les vols commerciaux et l'UAT pour les autres avions. La FAA est en train (2009) de déployer un réseau de stations ADS-B (mixtes 1090ES et UAT) sur tout son territoire.
- la Chine est en cours de déploiement d'un système ADS-B couvrant le centre du pays et utilisant l'UAT.



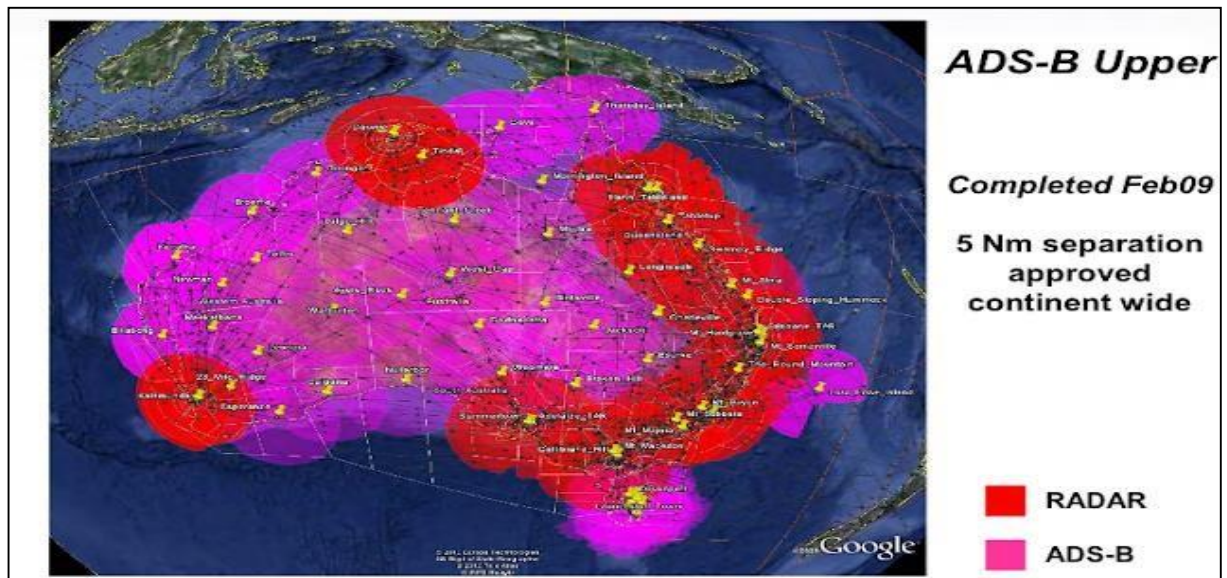
**Figure 2. 14 :** couverture ADS-B dans le monde jusqu'à Octobre 2021.

- L'Europe n'a pas encore choisi de support physique, mais les expérimentations en cours (eurocontrol, France, Allemagne, Belgique,...) utilisent principalement le 1090ES, en effet une simple modification logicielle des radars mode S existants leur permet de servir de station réceptrice pour l'ADS-B. La VDL mode 4 est privilégiée par la Suède, et par certaines compagnies aériennes. De toute manière, l'Europe étant bien couverte par les radars, l'implémentation de l'ADS-B est vue comme moins urgente qu'aux USA. Une expérimentation intéressante, "cristal med", vise à installer une couverture ADS-B du centre de la méditerranée.
- L'Australie est en train de déployer l'ADS-B en 1090ES, en commençant par les zones côtières (18 stations opérationnelles en décembre 2008).



- L'OACI a normalisé le 1090ES et la VDL mode 4

**Figure 2. 15** : couverture ADS-B et radar en Australie



### II.10.2. ADS-B EN ALGÉRIE :

La présente circulaire d'information aéronautique a pour objet d'informer les exploitants des aéronefs équipés de FANS1/A de la mise en œuvre de la surveillance dépendante automatique ADS/C (Automatic Dependent Surveillance) dans l'espace aérien Algérien, à compter du 06 Février 2008 à 00h01 UTC.

Plan de Développement de la Gestion de l'Espace Aérien (PDGEA)

Les objectifs :

- Mise à jour de l'actuel système de traitement automatique des fonctions de la circulation aérienne (TRAFCA) pour la partie Nord de l'espace aérien National
- Création d'un deuxième Centre de Contrôle Régional au sud de l'Algérie avec des moyens similaires à ceux du nord (avec l'introduction de l'ADS-B et de radar mode S).

Des infrastructures CNS (RADAR mode S, VHF, ADS/B) déjà défini dans ce plan vont être implémentées lors du déploiement de ce projet qui s'inscrit dans les projets de l'ENNA à

court terme .

### **II.1 1. SÉCURISATION DE L'ADS-B:**

L'ADS-B étant non crypté, n'importe qui pourra suivre le trafic aérien avec un simple récepteur ADS-B, ce qui peut poser des problèmes de sécurité. Il en va de même à bord, ainsi un avion piraté qui connaît le trafic environnant pourrait être dirigé vers un autre avion en plein vol. Ce risque nouveau est l'objet de débats aux USA.



## **CHAPITRE III**

### **ETUDE DE L'ESPACE ET DU TRAFIC AÉRIEN ALGÉRIEN**



### III) ETUDE DE L'ESPACE ET DU TRAFIC AÉRIEN ALGÉRIEN :

#### III.1. GÉNÉRALITÉS SUR LES ESPACES AÉRIENS :

Pour assurer la gestion du trafic aérien, l'organisation internationale de l'aviation civile (OACI) a mis en place des services de circulation aérienne qui contrôlent les différentes phases de vol.

##### III.1.1. LES SERVICES DE LA CIRCULATION AÉRIENNE :

Le contrôle aérien est un ensemble de services rendus aux aéronefs afin d'aider à l'exécution sûre, rapide et efficace des vols. Les services rendus sont au nombre de trois :

##### III.1.1.1. LE SERVICE DE CONTRÔLE :

Est un service assuré dont le but est :

- De prévenir les abordages entre les aéronefs ;
- De régler et accélérer la circulation aérienne ;
- Veille aussi à éviter les collisions entre aéronefs qui évoluent au sol et les obstacles.

Ce service étant lui-même subdivisé en trois parties selon la phase du vol à laquelle il s'applique (Figure 3.1).

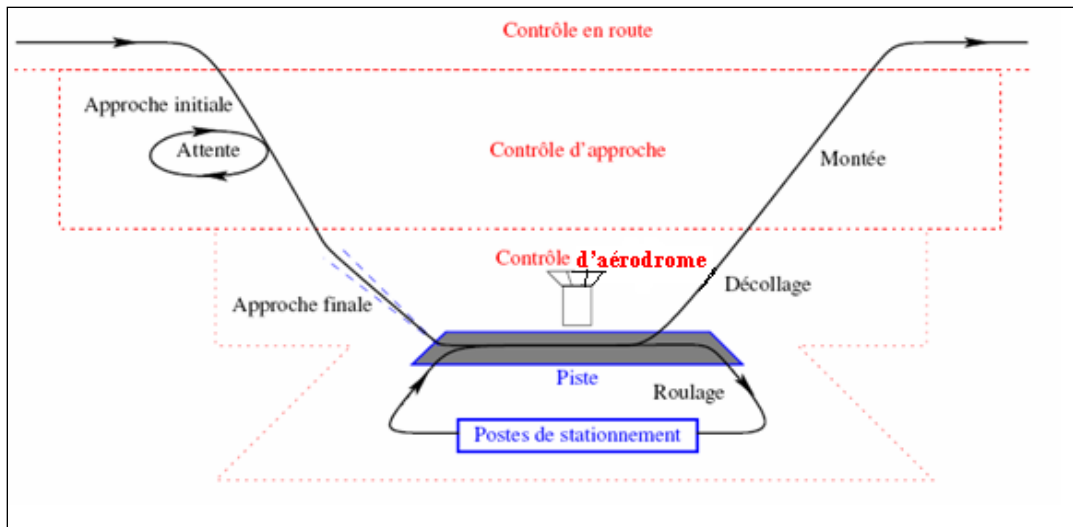
**a) Le contrôle d'aérodrome (TWR : TOWER) :** s'effectue à partir des tours de contrôle. Il assure la sécurité et le respect des procédures dans les phases de décollage, d'atterrissage et de roulage, afin :

- ✓ D'empêcher les collisions sur l'aire de manœuvre ;
- ✓ D'assurer l'acheminement sûr, ordonné et rapide de la circulation aérienne.

**b) Le contrôle d'approche (APP : APPROACH) :**

C'est un service du contrôle de la circulation aérienne pour les aéronefs en vol lors de la phase d'arrivée et de départ. Il s'effectue par un bureau d'approche ou un centre de contrôle régional (CCR). Il s'agit de guider les aéronefs depuis la croisière vers l'axe de la piste où ils seront pris en charge par la tour de contrôle d'aérodrome.

**c) Le contrôle en route :** Ce contrôle concerne les avions qui sont dans la phase « *en route* » dont le but est de prévenir les abordages entre aéronefs, d'accélérer et de régulariser la circulation aérienne.



**Figure 3.1** : Représentation du contrôle de trafic.

### III.1.1.2. LE SERVICE D'INFORMATION DE VOL (FIS FLIGHT INFORMATION SERVICE) :

Le rôle de ce service est de délivrer toute information utile à l'exécution sûre et efficace des vols. Il permet de disposer durant le vol de renseignements concernant les conditions météorologiques sur le parcours, l'état des aérodromes et des installations radioélectriques, sans oublier l'information sur le trafic aérien qui peut être considérée en tant que situation conflictuelle. L'information de vol peut aller jusqu'à des suggestions de manœuvre pour éviter les abordages. Les organismes chargés du service d'information de vol assurent également le service d'alerte.

### III.1.1.3. LE SERVICE D'ALERTE :

Ce service a pour rôle de déclencher l'alerte auprès des organismes de recherche et de sauvetage, et fournir pour tous les organismes de la circulation aérienne (organismes de contrôle ou d'information) tous les aéronefs qui se déclarent ou qui se trouvent en situation d'urgence.

### III.1.2. DIVISION DE L'ESPACE AÉRIEN :

L'espace aérien n'est pas entièrement contrôlé, seules des portions d'espace le sont. En 1992, l'OACI (Organisation de l'Aviation civile internationale) a uniformisé l'appellation des différents espaces aériens (contrôlés ou non) sur la base des services rendus.



Au voisinage des aéroports importants, la densité et la diversité du trafic imposent aux aéronefs des procédures strictes. A l'inverse, certaines portions d'espace sont peu fréquentées et la circulation aérienne y est très peu dense. Dans ces espaces, les exigences réglementaires sont moins strictes. Pour séparer les différents types de trafic qui appartiennent à la CAG (circulation aérienne générale), l'espace aérien est subdivisé en plusieurs parties, chacune étant adaptée à la densité et au type de trafic auxquels elle est soumise .

L'espace aérien se subdivise, fondamentalement, en deux espaces :

- Espace aérien contrôlé ;
- Espace aérien non contrôlé.

### III.1.2.1. ESPACE AÉRIEN CONTRÔLÉ :

Les espaces aériens contrôlés sont utilisés pour protéger les trajectoires IFR. Les services rendus sont les services de contrôle, d'information et d'alerte. Parmi ce type d'espace, se trouve :

- ✚ Les **CTA** : (Control Area ou les régions de contrôle) qui peuvent être composées de :
  - ✓ **TMA** : (Terminal Control Area ou les régions de contrôle terminal) ;
  - ✓ **AWY** : (Air Way ou les voies aériennes) ;
- ✚ Les **CTR** : (Control Zone ou les zones de contrôle).

#### III.1.2.1.1. PARTITION DE L'ESPACE AÉRIEN INFÉRIEUR :

L'espace aérien inférieur est déterminé suivant la nature des services de circulation aérienne qui doivent être établis. Sa partition sera effectuée de la manière suivante :

#### III.1.2.1.2. RÉGION D'INFORMATION DE VOL (FIR Flight Information Region) :

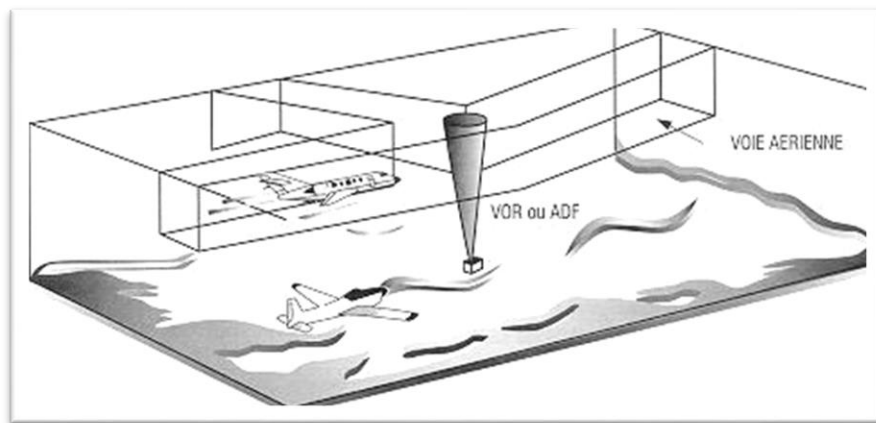
C'est un espace aérien de dimensions définies à l'intérieur duquel le service d'information de vol et le service d'alerte sont assurés. La FIR se subdivise en :

- **Région de contrôle (CTA)** : Espace aérien contrôlé situé au-dessus d'une limite déterminée par rapport à la surface, voir figure (3.1).

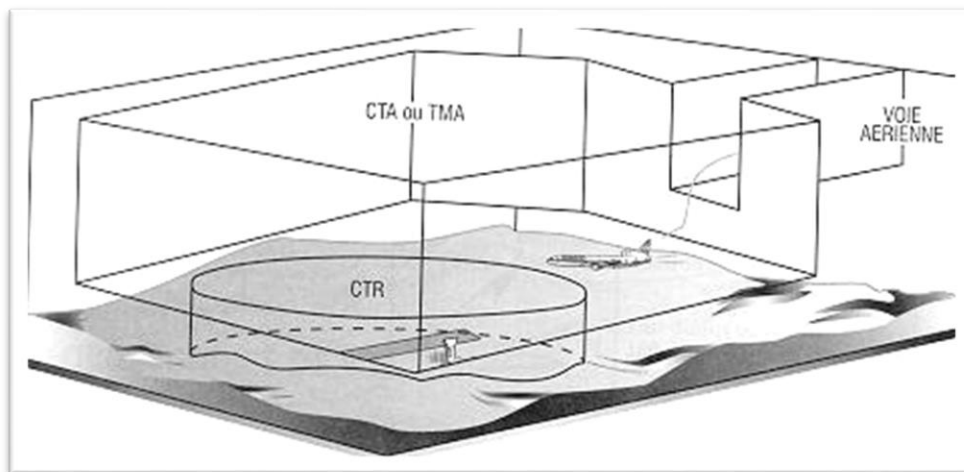


Elles peuvent être composées :

- ✓ **Des régions de contrôle terminales** (TAM : Terminal control Area) : c'est une région de contrôle établie en principe, au carrefour des routes ATS aux environs d'un ou de plusieurs aéroports importants.
  - ✓ **Des voies aériennes** (Air Way) : Ce sont des couloirs empruntés par les vols IFR. Elles ont généralement une largeur de 10 NM (18.5 km). L'axe des AWY est défini par des balises de radionavigation, voir figure (3.2).
- **Zone de contrôle (CTR)** : C'est un espace aérien contrôlé, s'étendant verticalement à partir de la surface jusqu'à une limite supérieure spécifiée. Les limites latérales d'une zone de contrôle sont d'au moins 9.3 km (5NM) à partir du centre de l'aéroport ou des aéroports concernés. Les CTR sont destinées à englober les trajectoires de décollage, d'atterrissage et de la circulation aérienne d'aéroport (Figure 3.2).



**Figure 3.2** : L'axe des voies aériennes est défini par des balises de radionavigation



**Figure 3.3** : La structure qui englobe CTA et CTR.



### III.1.3. ESPACE AÉRIEN NON CONTRÔLÉ

Les espaces aériens non contrôlés sont des espaces de trafic moindre, où l'intervention des services de la circulation aérienne est limitée à l'information et l'alerte, il est divisé en :

- ✓ Région d'information de vol F.I.R (Flight Information Région) ;
- ✓ Région supérieure d'information de vol U.I.R (Upper Information Région).

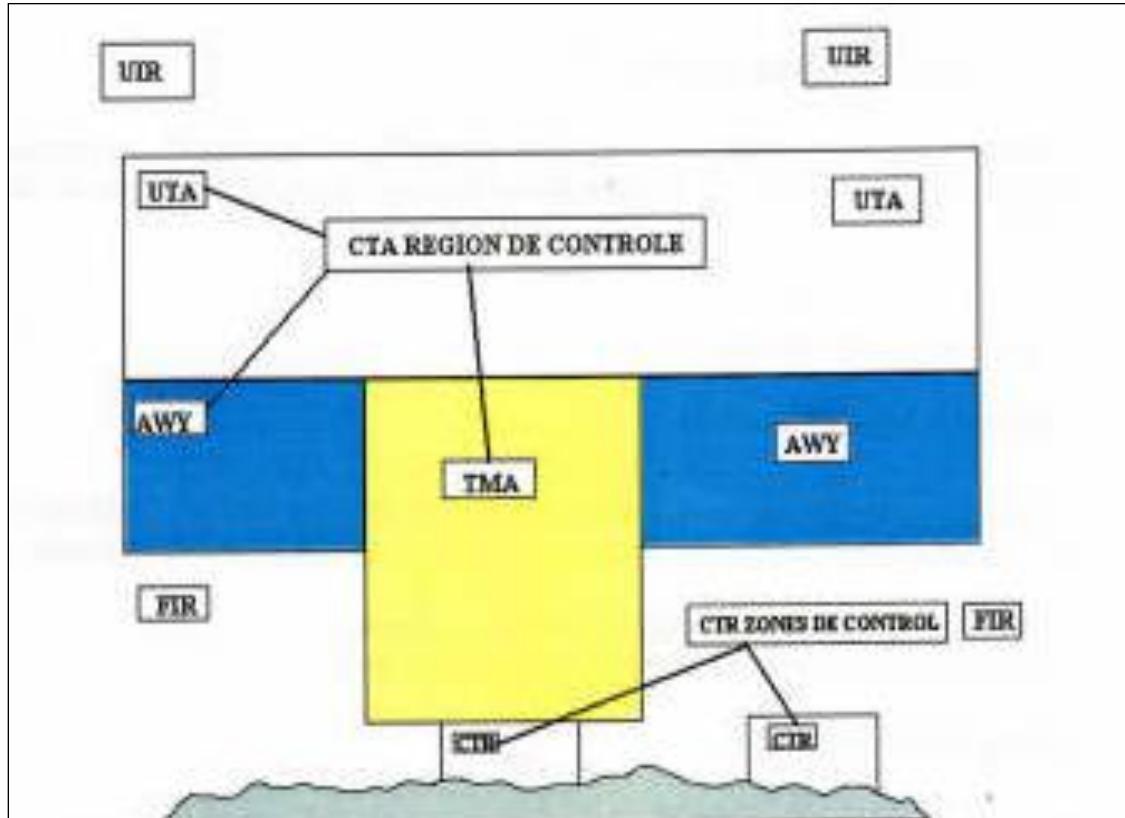
#### III.1.3.1. RÉGION D'INFORMATION DE VOL (F.I.R) :

Espace aérien de dimensions latérales définies à l'intérieur duquel le service d'information de vol et le service d'alerte sont assurés. Leurs limites s'étendent jusqu'au niveau de vol FL195.

#### III.1.3.2. RÉGION SUPÉRIEURE D'INFORMATION DE VOL (U.I.R) :

Ils ont en été créé afin de limiter le nombre de régions d'information de vol (F.I.R) que les aéronefs volant à très grande altitude auraient à traverser. Une région supérieure d'information de vol (U.I.R) englobe l'espace aérien situé à l'intérieur des limites latérales d'un certain nombre de (F.I.R).

La figure ci-dessous (3.4) résume les différents types d'espaces cités:



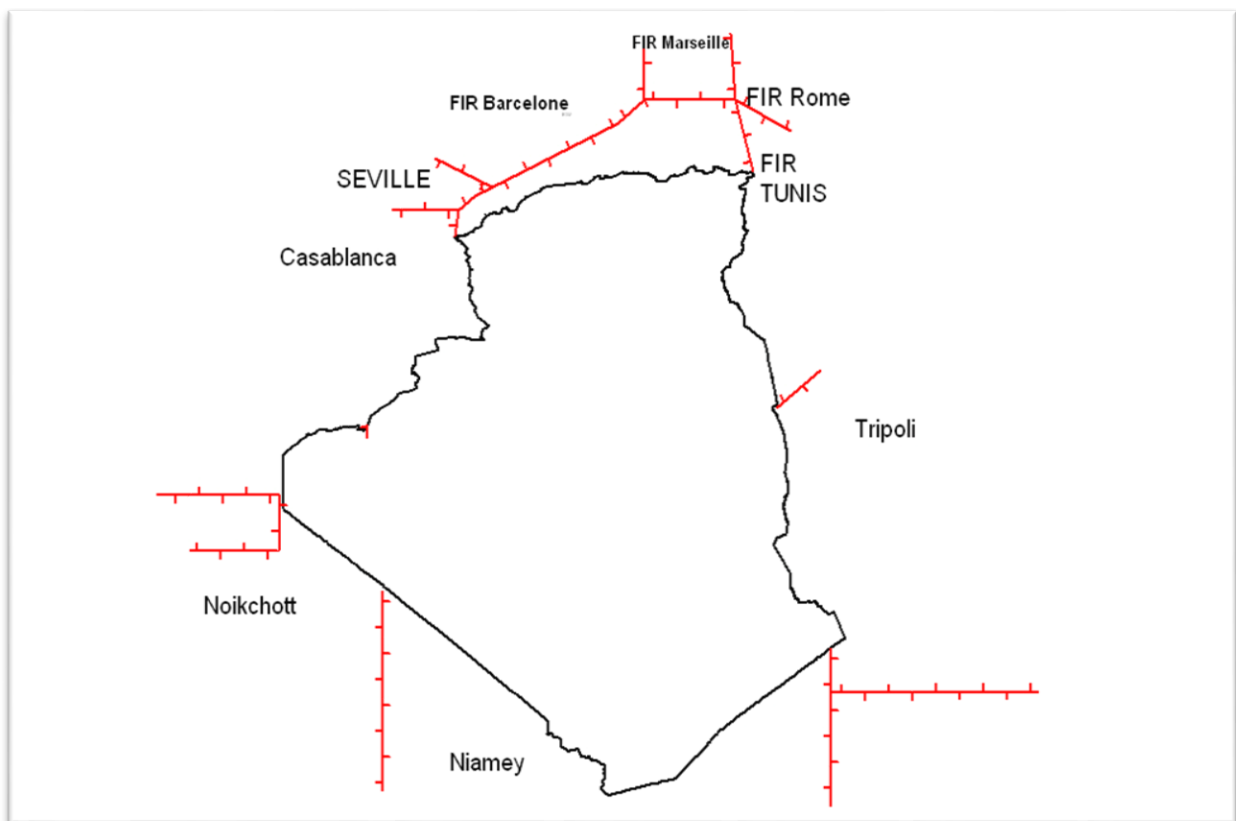
**Figure 3.4 :** Organisation de l'espace aérien



## III.2. ORGANISATION DE L'ESPACE AÉRIEN ALGÉRIEN :

### III.2.1. ESPACE AÉRIEN ALGÉRIEN :

La position géographique de l'espace aérien algérien est entre le 19° N jusqu'à 39°N de latitude et de 9°W jusqu'au 12° E de longitude. L'Établissement National de la Navigation aérienne (E.N.N.A) agissant pour et au nom de l'état algérien est le seul établissement autorisé pour le contrôle de circulation aérienne. Il assure les services du contrôle aérien et d'information en vol aux aéronefs traversant l'espace aérien national, qui s'étend de la partie sud de la méditerranée contiguë aux F.I.R(s) Marseille, Barcelone et Séville au nord, adjacentes à l'ouest à la F.I.R Casablanca, à l'Est à la F.I.R Tunis et Tripoli, au Sud à la .F.I.R Dakar et Niamey, voir figure (3.5).



**Figure 3.5 :** Représentation des limites de l'espace aérien algérien.

#### III.2.1.1. L'ÉTABLISSEMENT NATIONAL DE LA NAVIGATION AÉRIENNE (E.N.N.A)

##### III.2.1.1.1. PRÉSENTATION DE L'ENNA :



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

L'ENNA, Etablissement Public à Caractère Industriel et Commercial (EPIC), sous tutelle du Ministère des Travaux Publics et des Transports, est dirigé par un directeur général et administré par un Conseil d'Administration.

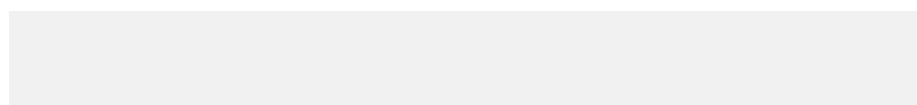
#### **III.2.1.1.2. MISSION :**

Ses principales missions sont :

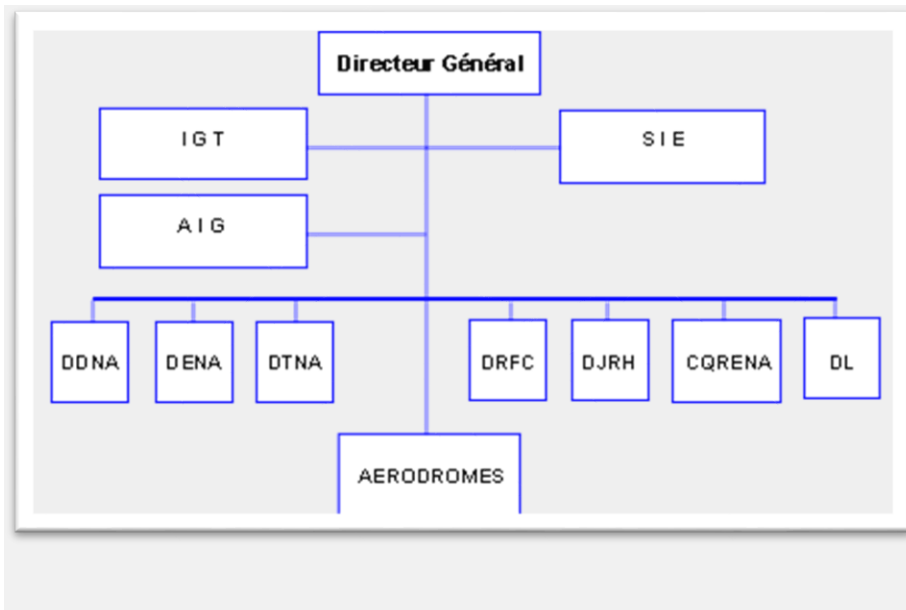
- Assurer le service public de la sécurité de la navigation aérienne pour le compte et au nom de l'État;
- Mettre en œuvre la politique nationale dans ce domaine, en coordination avec les autorités concernées et les institutions intéressées;
- Assurer la sécurité de la navigation aérienne dans l'espace aérien national ou relevant de la compétence de l'Algérie ainsi que sur et aux abords des aéroports ouverts à la circulation aérienne publique;
- Veiller au respect de la réglementation des procédures et des normes techniques relatives à la circulation aérienne, et l'implantation des aéroports, aux installations et équipements relevant de sa mission;
- Assurer l'exploitation technique des aéroports ouverts à la circulation aérienne publique;
- Assurer la concentration, diffusion ou retransmission au plan national et international des messages d'intérêt aéronautique ou météorologique.

#### **III.2.1.1.3. ORGANISATION :**

L'Etablissement National de la Navigation Aérienne est structuré comme suit :







**Figure 3.6** Organigramme structural de l'ENNA

DDNA	Direction du Développement de la Navigation Aérienne.
DENA	Direction de l'Exploitation de la Navigation Aérienne.
DTNA	Direction Technique de la Navigation Aérienne.
DRFC	Direction des Ressources, des Finances et de la Comptabilité.
DJRH	Direction Juridique et des Ressources Humaines.
CQRENA	Centre de Qualification, de Recyclage et d'Expérimentation de la Navigation Aérienne.
DL	Direction de la Logistique.
IGT	Inspection Générale Technique
AIG	Audit Interne de Gestion
SIE	Sûreté Interne de l'Etablissement
AERODROMES	Directions de la Sécurité Aéronautique.

25 Aérodrômes nationaux.

11 Aérodrômes internationaux



### III.2.1.1.4. LES PRINCIPAUX PROJETS DE L'ENNA :

- Projet de Développement De La Gestion De L'espace Aérien Algérien (PDGEA);
- Réalisation de tours de contrôle : Alger, Oran, Constantine, Ghardaïa, Tamanrasset. -  
Projet d'électrification de la nouvelle aérogare et du salon d'honneur et parking avion de l'aéroport d'Alger;
- Etudes, fourniture, installation (12) systèmes d'atterrissage aux instruments ILS.

### III.2.2. DIVISION DE L'ESPACE AÉRIEN ALGÉRIEN :

La F.I.R d'Alger est divisée en sept secteurs ayant le statut d'espace O.A.C.I (Figure 1.7). Les (07) secteurs de la F.I.R sont classés comme suit :

- Les (03) secteurs du NORD (NORD/EST, CENTRE et NORD/OUEST) et les (03) secteurs du SUD (SUD/EST, SUD/CENTRE et SUD/OUEST) sont des espaces contrôlés.
- Le secteur SUD/SUD est un espace non contrôlé.

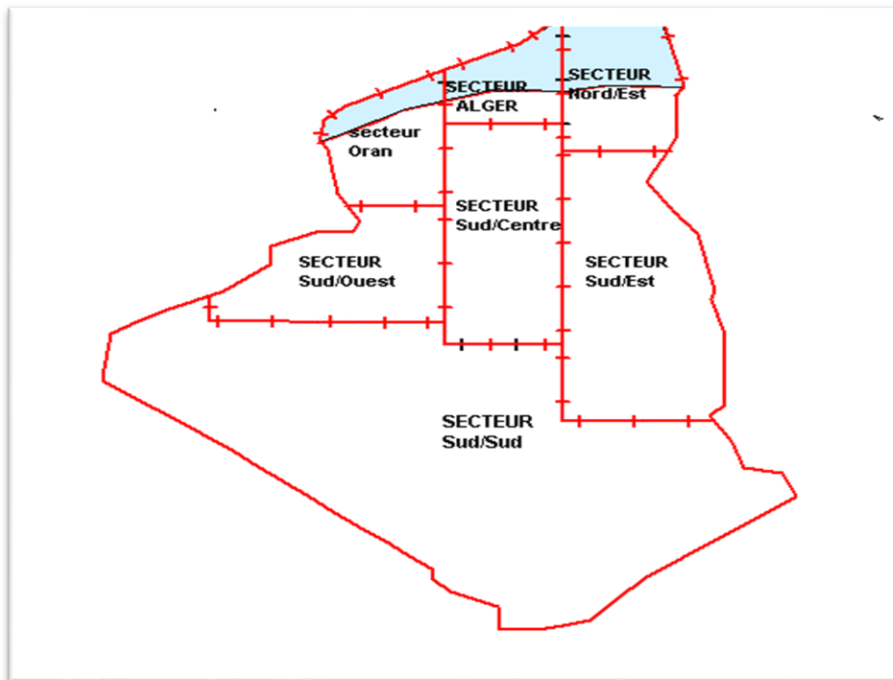
Le tableau 1.2 et la figure 3.7 ci-dessous reprennent la délimitation des (07) secteurs existants actuellement en Algérie :

**Tableau 3.1:** Classification des secteurs en Algérie

N° secteur	Secteur	Classe	Limite inférieure	Limite supérieure	Service de contrôle	Fréquence Hz
01	Centre supérieur Alger	A	FL245	FL450	MAGHREB contrôle Alger	132.45/124.9
01	Centre Inférieur Alger	D	GND/MSL	FL245	MAGHREB contrôle Alger	127.3/124.9
02	Nord/Est	D	GND/MSL	FL450	MAGHREB contrôle Alger	125.4/124.6
03	NORD/OUEST	D	GND/MSL	FL450	MAGHREB	125.7



					contrôle Alger	
04	SUD/CENTRE	E	GND/MSL	UNL	MAGHREB info Alger	131.3/124.6
05	SUD/EST	E	GND/MSL	UNL	MAGHREB info Alger	124.1/124.6
06	SUD/OUEST	E	GND/MSL	UNL	MAGHREB info Alger	128.1
07	SUD/SUD	F	GND/MSL	UNL	MAGHREB info Alger	124.1/123.8/128.1



**Figure 3.7** sectorisation de la FIR Algérie

#### ✚ LA NOUVELLE SECTORISATION :

Une nouvelle sectorisation a été créée en 2016 divisant le secteur sud/sud en sud/sud et sud /ouest, donc le secteur sud/ouest a connu un élargissement important voir **Figure 3.8**

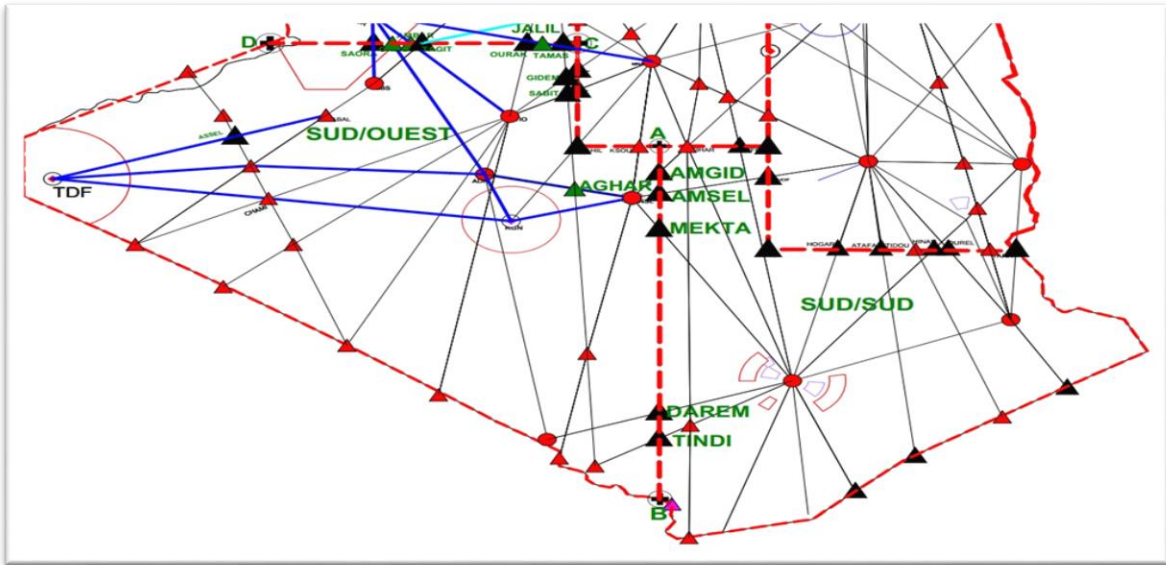


Figure 3.8 nouvelle sectorisation

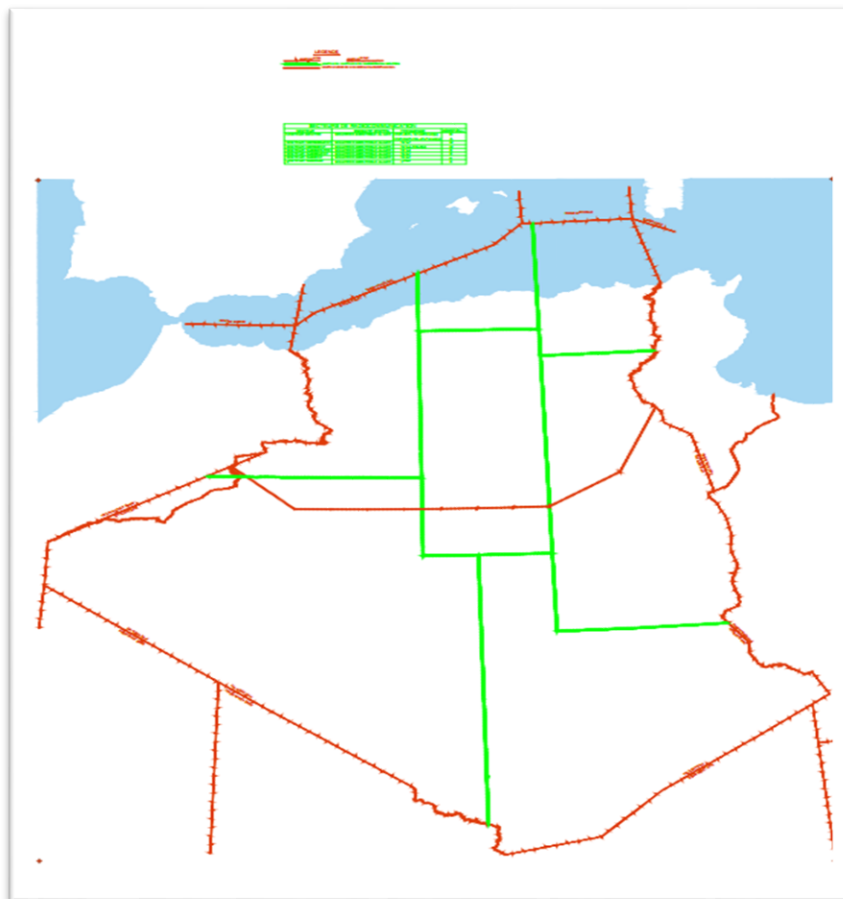


Figure 3.9 nouvelle FIR Alger



### **III.3. TRAFIC DANS L'ESPACE AÉRIEN ALGÉRIEN :**

#### **III.3.1. L'ÉVOLUTION DU TRAFIC AÉRIEN ALGÉRIEN (2010-2019) :**

Dans ce qui suit, nous analyserons la densité du trafic aérien en route dans l'espace algérien à la lumière des statistiques délivrées par l'ENNA de la période 2010-2019; suite au stage que nous avons fait au sein de cet établissement à Cherarba.

Les années 2020 et 2021 sont exclues de cette analyse car elles ne servent pas de référence à cause de la diminution du trafic enregistrée dans cette période due à la pandémie Covid-19.

Nous nous intéressons dans cette étude au trafic aérien en route ,qui est comptabilisé par le nombre de vol dans l'espace aérien algérien pris en charge par le CCR d'Alger .

##### **III.3.1.1. TRAFIC PAR CATÉGORIE DE VOL (2010-2019) :**

Notre étude sera basée sur deux types de trafic :

- **Survols avec Escale :** vol comportant au moins une escale sur le territoire national. Il est divisé en deux trafics, nationaux et internationaux ;
- **Survols sans Escale (transit) :** ensemble des vols ayant un aéroports de provenance et de destination autre que situés à l'intérieur de l'espace aérien concerné ( vols sans atterrissage).

Ce trafic est exprimé en nombre de vols de chaque année de la période précisée, ainsi que le pourcentage de variation d'une année par rapport à celle précédente à compter de l'année 2010. Un taux de croissance annuel est calculé pour chaque type de vol (avec ou sans escale, domestique ou international) voir Tableau 3.2 .

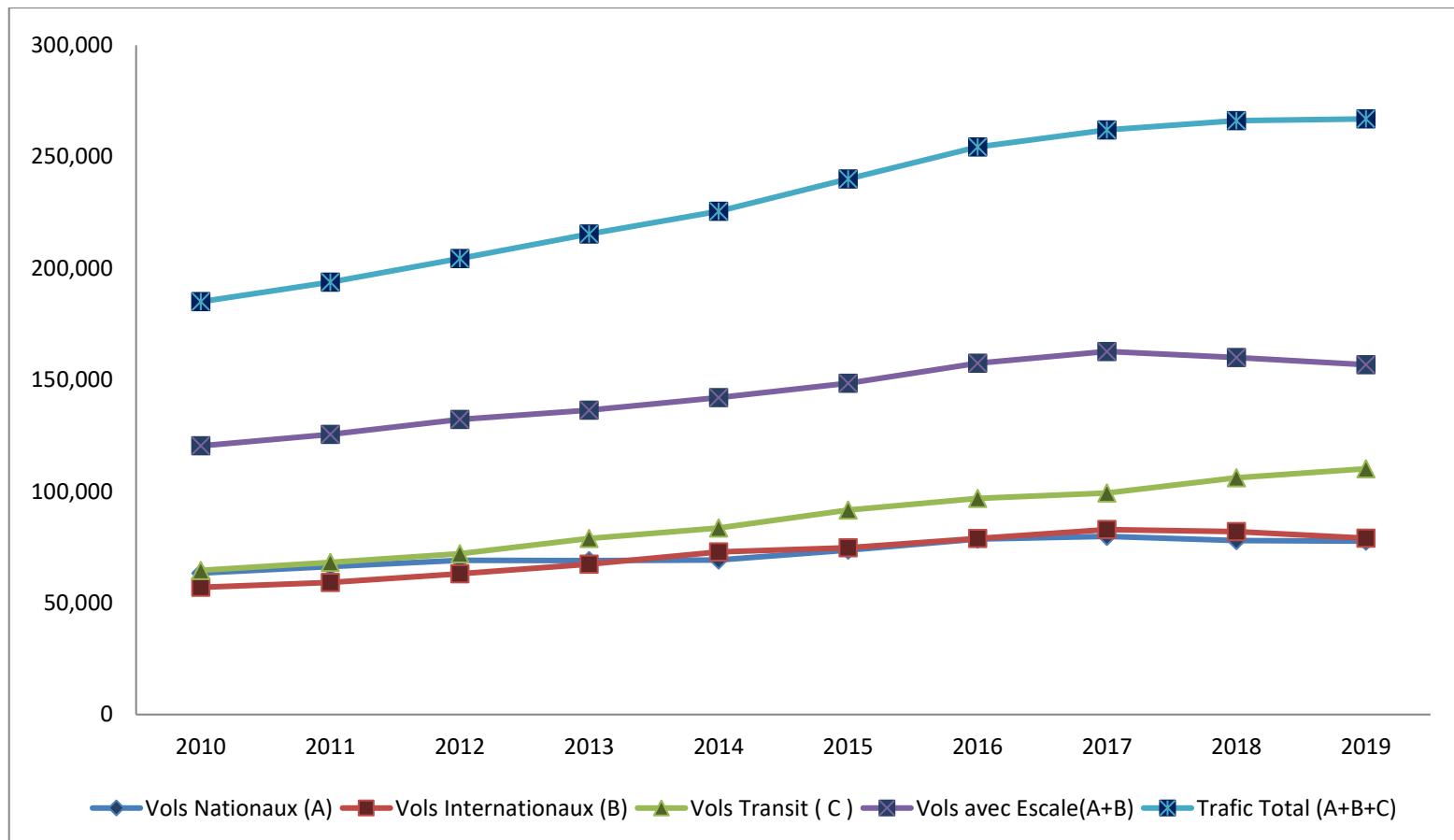
**Tableau 3.2:** l'évolution de trafic en route Durant la période 2010/2019

Années	Vols nationaux (A)	VAR EN %	Vols internationaux (B)	VAR EN %	Total	VAR EN %	Vols Transit	VAR EN %	Totaux	VAR EN %
<b>2010</b>	63 406	<b>-4,7</b>	57 010	<b>9,2</b>	<b>120 416</b>	<b>1,4</b>	64 620	<b>11,2</b>	<b>185 036</b>	<b>4,6</b>
<b>2011</b>	66 256	<b>4,5</b>	59 258	<b>3,9</b>	<b>125 514</b>	<b>4,2</b>	68 247	<b>5,6</b>	<b>193 761</b>	<b>4,7</b>
<b>2012</b>	69 170	<b>4,4</b>	63 057	<b>6,4</b>	<b>132 227</b>	<b>5,3</b>	72 116	<b>5,7</b>	<b>204 343</b>	<b>5,5</b>
<b>2013</b>	69 010	<b>-0,2</b>	67 447	<b>7,0</b>	<b>136 457</b>	<b>3,2</b>	78 909	<b>9,4</b>	<b>215 366</b>	<b>5,4</b>
<b>2014</b>	69 247	<b>0,3</b>	72 825	<b>8,0</b>	<b>142 072</b>	<b>4,1</b>	83 546	<b>5,9</b>	<b>225 618</b>	<b>4,8</b>
<b>2015</b>	73 715	<b>6,5</b>	74 767	<b>2,7</b>	<b>148 482</b>	<b>4,5</b>	91 588	<b>9,6</b>	<b>240 070</b>	<b>6,4</b>
<b>2016</b>	78 612	<b>6,6</b>	78 902	<b>5,5</b>	<b>157 514</b>	<b>6,1</b>	96 925	<b>5,8</b>	<b>254 439</b>	<b>6,0</b>
<b>2017</b>	79 845	<b>1,6</b>	82 893	<b>5,1</b>	<b>162 738</b>	<b>3,3</b>	99 333	<b>2,5</b>	<b>262 071</b>	<b>3,0</b>
<b>2018</b>	78 018	<b>-2,3</b>	82 030	<b>-1,0</b>	<b>160 048</b>	<b>-1,7</b>	106 095	<b>6,8</b>	<b>266 143</b>	<b>1,6</b>
<b>2019</b>	77 723	<b>-0,4</b>	79 082	<b>-3,6</b>	<b>156 805</b>	<b>-2,0</b>	110 160	<b>3,8</b>	<b>266 965</b>	<b>0,3</b>
<b>Taux de croissance Annuel</b>	<b>2,3%</b>		<b>3,6%</b>		<b>2,9%</b>		<b>5,9%</b>		<b>4,1%</b>	



**III.3.1.2. ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES STATISTIQUES DU TRAFIC AÉRIEN GLOBAL (2010~2019)**

**III.3.1.2.1. NOMBRE DE VOLS EN ROUTE :**



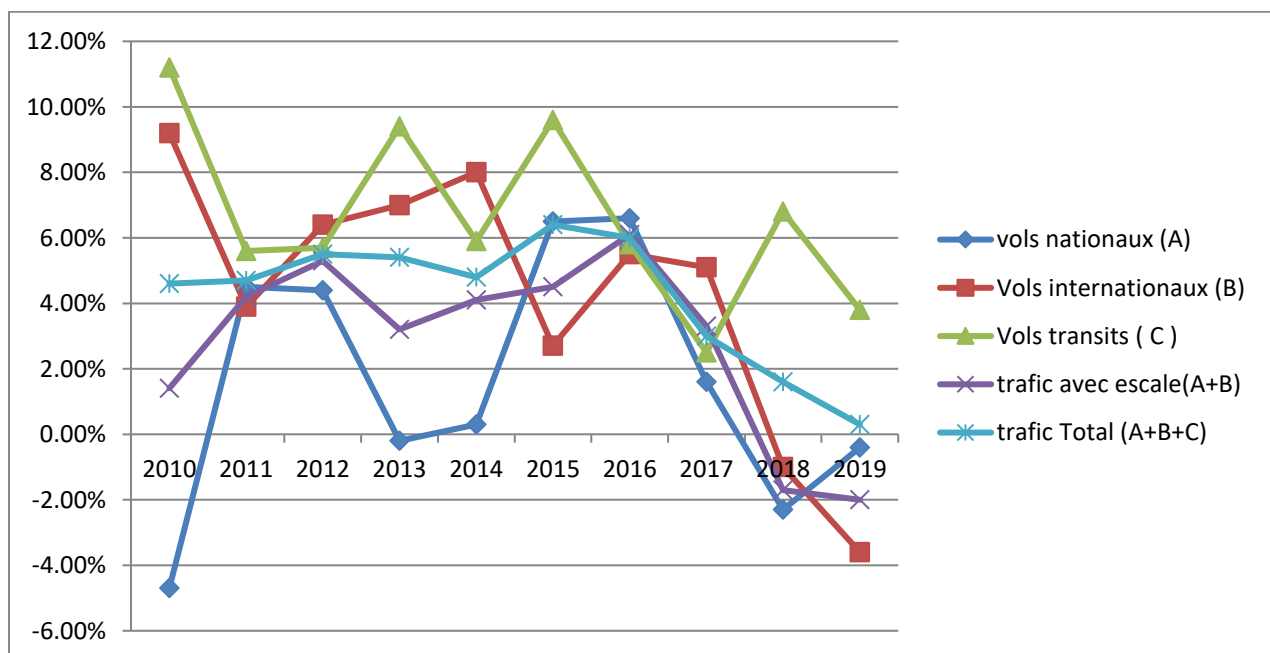
**Figure 3.10** Graphes de nombre de vols par catégorie



La courbe du trafic en route total (A+B+C) est courbe ascendante due à l'augmentation constante de nombre de vols chaque année, ce qui impose à l'ENNA à développer ces moyens de surveillance et couvrir la totalité de l'espace national pour y garantir la sécurité de la navigation aérienne en introduisant des nouveaux système comme l'ADS-B.

Les courbes du trafic international se trouve au dessus de la courbe du trafic national ce qui signifie que le trafic international est plus dense par rapport au trafic national, ce qui exige à l'ENNA à moderniser ses moyens de surveillances et suivre l'actualité technologique dans le domaine aéronautique. Il est aussi demander à l'Etat de penser à développer le transport aérien domestique.

### III.3.1.2.2. VARIATION ANNUELLE DU TRAFIC :



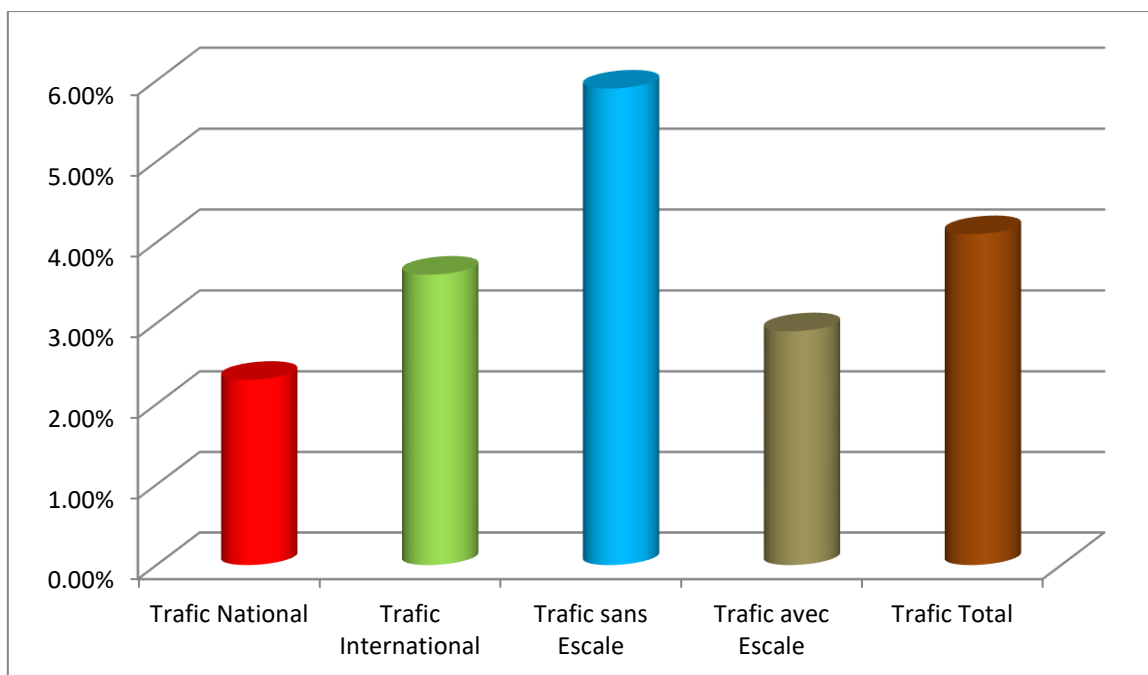
**Figure 3.11** Graphes de Variations annuelles du trafic aérien par catégorie de vol





Toutes les courbes de ce graphe se manifestent au-dessus de zéro, ce qui indique bien que la grande majorité des variations annuelles est positive, elles ont atteint un pourcentage de 11,2% ; donc une bonne indication de progression de trafic aérien total en route.

### III.3.1.2.3. TAUX DE CROISSANCE DU TRAFIC :



**Figure 3.11** Histogramme de Taux de croissance moyen par catégorie de vol en (%)

Le trafic aérien en route dans l'espace algérien a un taux de croissance moyen de 4,1% durant la période 2010-2019. C'est le trafic sans escale qui enregistré le taux de croissance le plus élevé de 5,9 % suivi par le trafic international de 3,6%. La trafic national a enregistré un taux de croissance de 2,3 %.

### III.3.1.2.4. CONCLUSION :

Le trafic aérien en route dans l'espace algérien est un trafic en progression significative et sûre ce qui exige à l'ENNA :

- Assurance de la sécurité au sein de l'espace aérien algérien.
- la couverture totale de l'espace aérien.



- le développement, la modernisation et la diversification des systèmes de surveillance.
- L'introduction des nouvelles technologies de surveillance comme l'ADS-B.

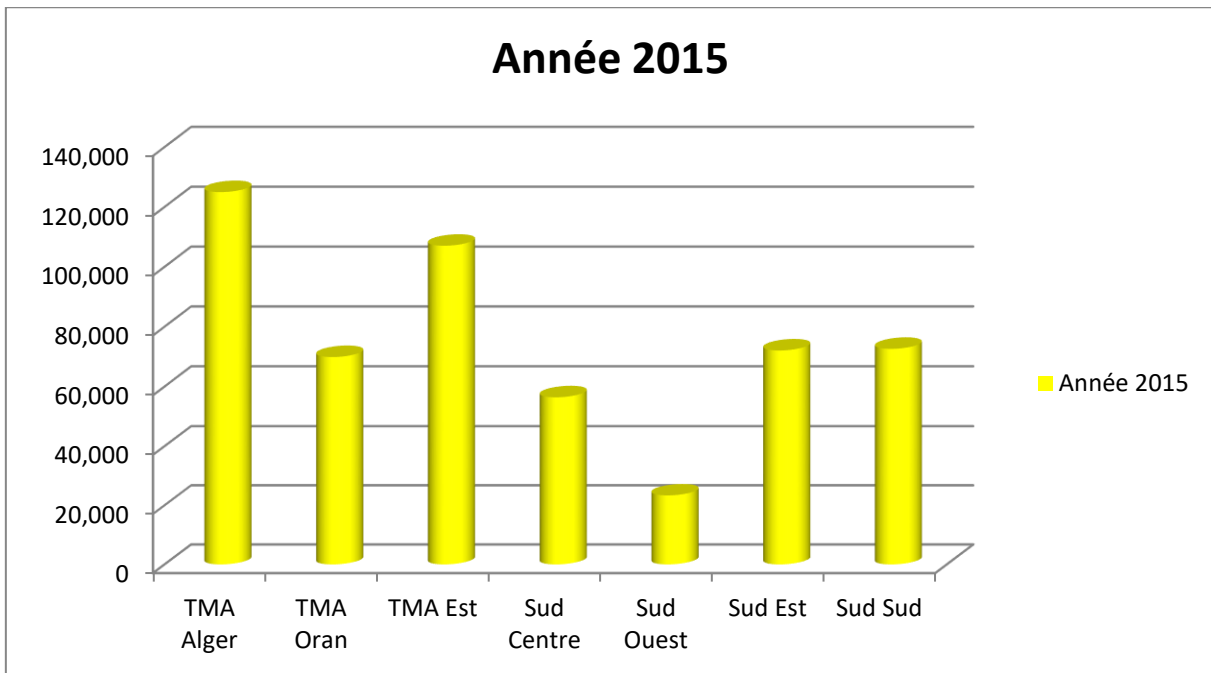
### III.3.1.3. ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES STATISTIQUES DU TRAFIC AÉRIEN PAR SECTEUR :

#### III.3.1.3.1. TRAFIC AÉRIEN PAR SECTEURS

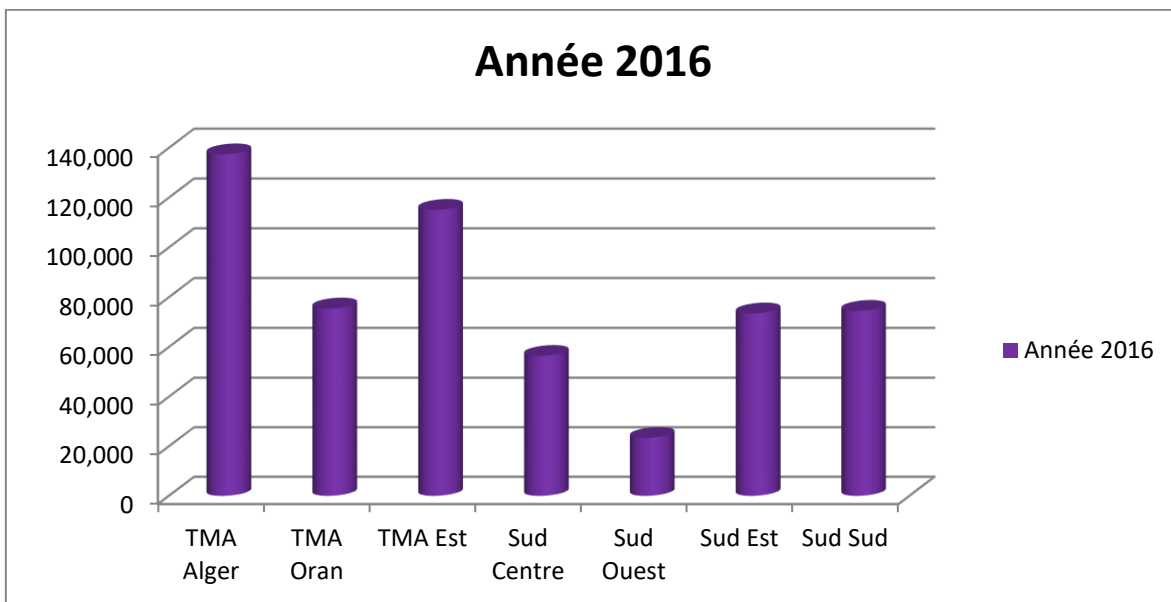
Dans ce volet d'étude, et par similitude des statistiques des autres années, nous avons pris comme échantillon les cinq dernières années c'est-à-dire : de 2015 à 2019. Le tableau 3.3 donne nombre de vols en route par secteur ; ces données sont mieux détaillées en histogrammes (figures : 3-12, 3-13, 3-14, 3-15, 3-16 et 3-17)

**Tableau 3.3:** l'évolution de trafic en route par secteur durant la période 2015/2019

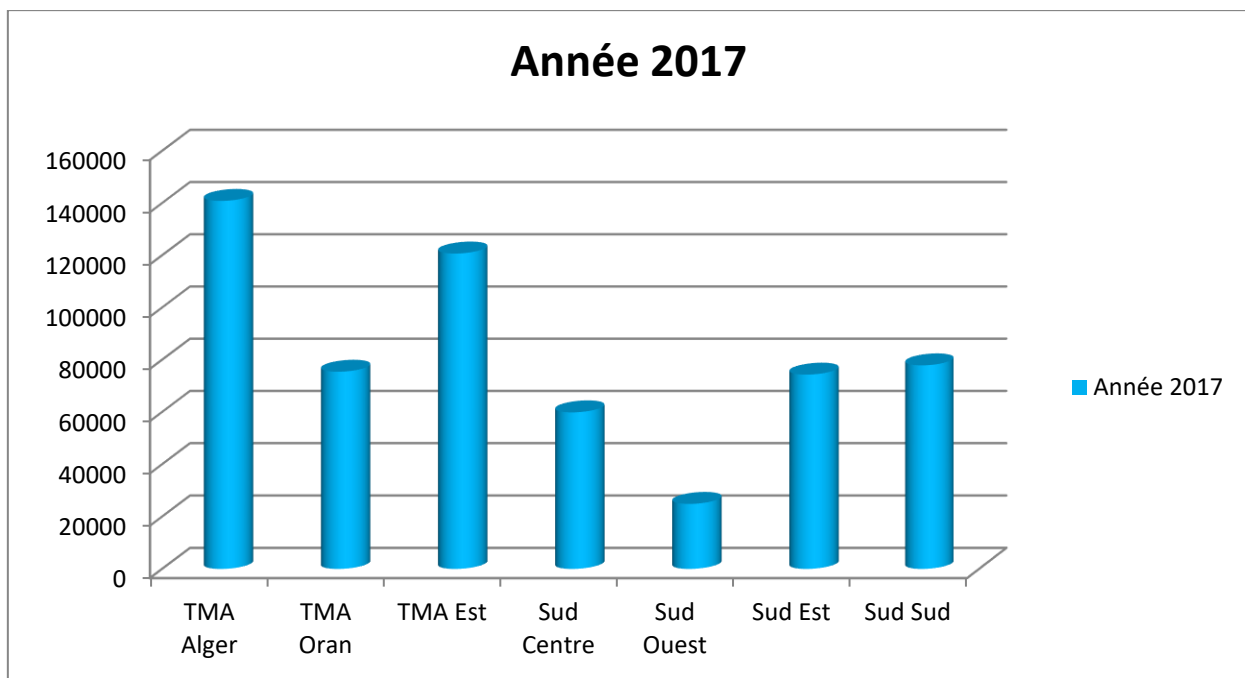
SECTEURS	ANNEES				
	2015	2016	2017	2018	2019
MA Alger	124 977	137 388	140821	141775	144300
MA Oran	69 868	75 470	75402	76116	75478
MA Est	107 053	115 086	120670	125091	127067
id Centre	56 416	56 416	59849	60224	60867
id Ouest	23 364	23 364	24847	24511	27421
id Est	72 062	73 474	74295	75030	76959
id Sud	72 609	74 511	77850	79727	81415



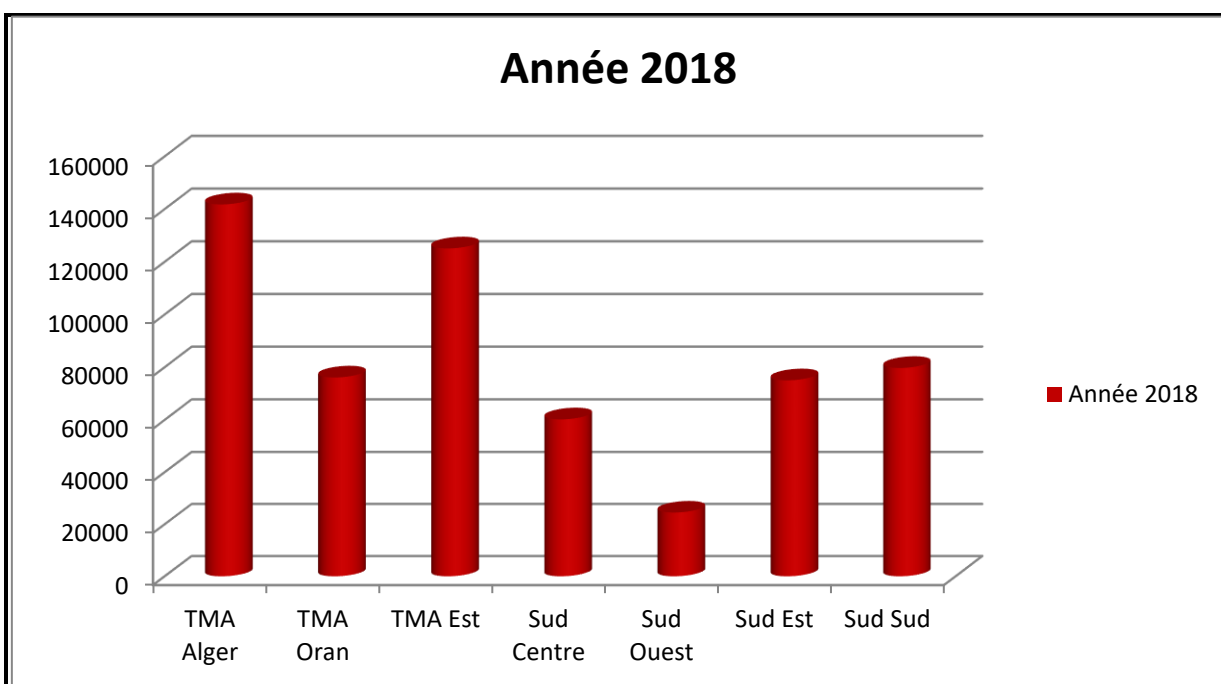
**Figure 3.12** histogramme de nombre de vols par secteur enregistrés en 2015



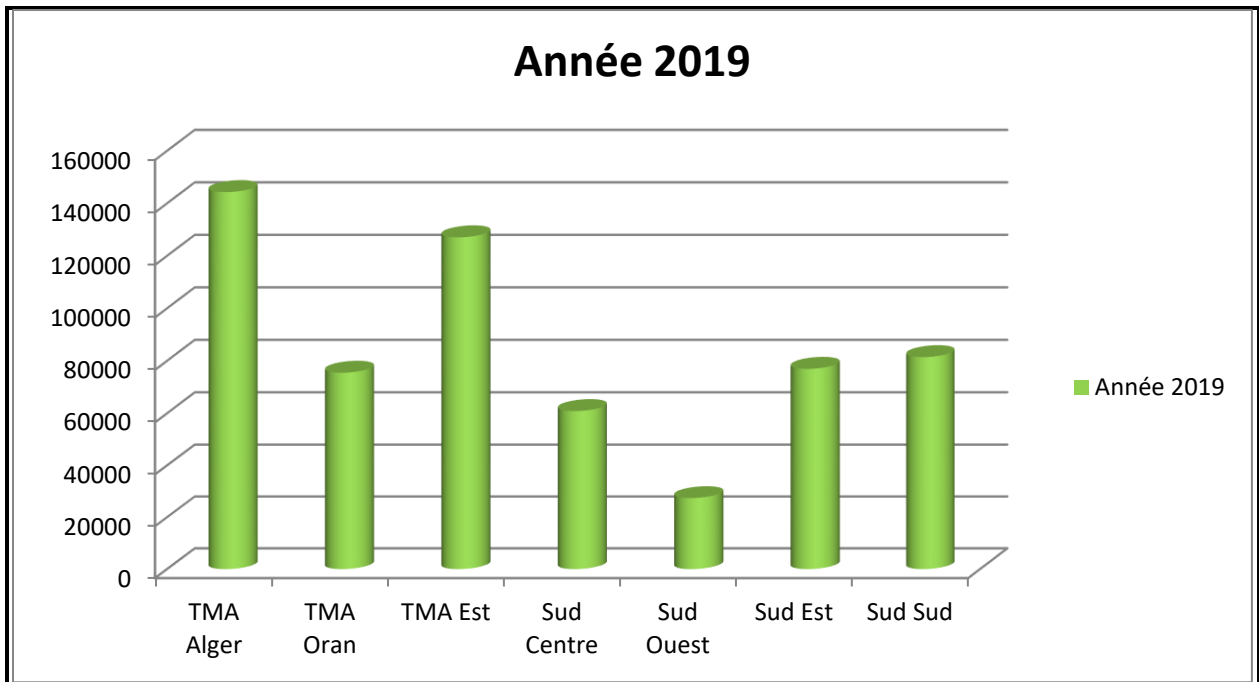
**Figure 3.13** histogramme de nombre de vols par secteur enregistrés en 2016



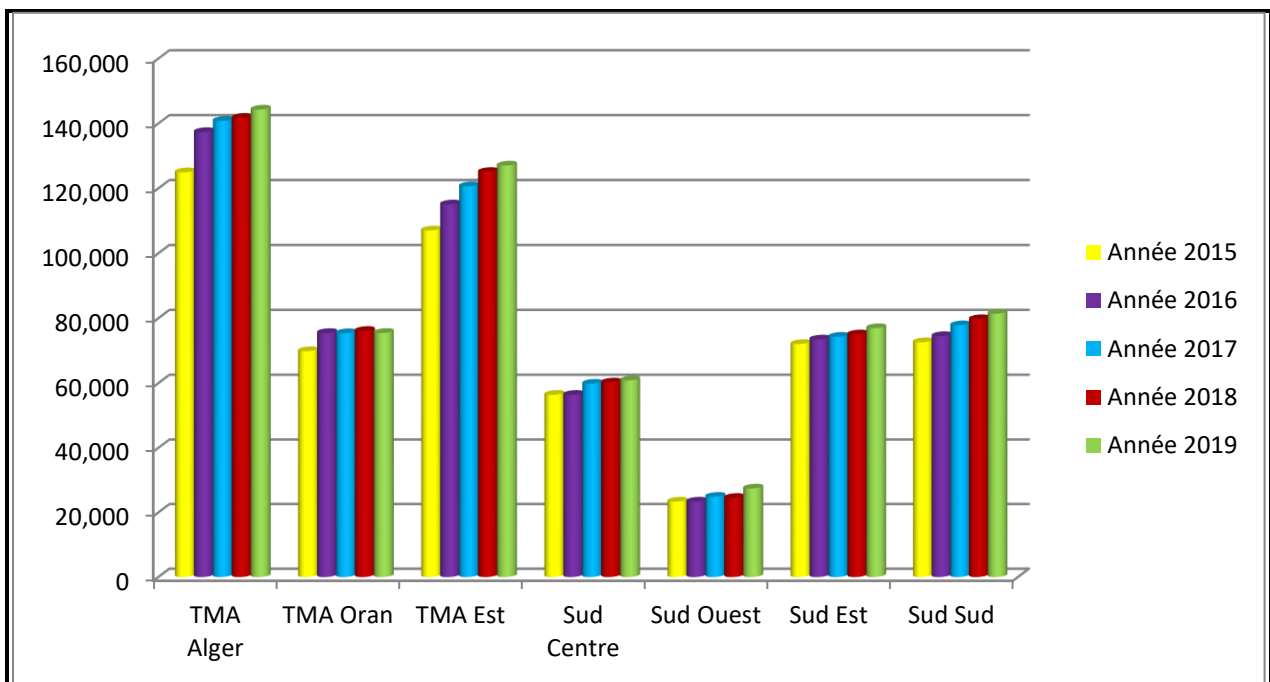
**Figure 3.14** histogramme de nombre de vols par secteur enregistrés en 2017



**Figure 3.15** histogramme de nombre de vols par secteur enregistrés en 2018



**Figure 3.16** histogramme de nombre de vols par secteur enregistrés en 2019



**Figure 3.17** histogramme comparatif de nombre de vols par secteur



On analysant ces histogrammes dans les figures (figures : 3-12, 3-13, 3-14, 3-15, 3-16 et 3-17), nous constatons que c'est dans la partie nord de la FIR Alger où il ya plus de trafic aérien, et le secteur Nord-Centre est le dominant avec une moyenne de 140000 vols, suivi par le secteur Nord-Est dont la moyenne avoisine les 125000 vols. Nous pouvons remarquer clairement que le trafic est faible dans l'Ouest du pays, en comparant avec les secteurs voisins.

La densité du trafic est moyenne dans les secteurs Sud-Est et Sud-Sud

La plus faibles valeurs sont enregistrées dans le secteur Sud-Ouest.

#### **III.3.1.3.2. CONCLUSION :**

La densité du trafic dans un secteur est un critère déterminant dans le choix des lieux de l'implantation des moyens de surveillance. Mais, il est toute fois judicieux de couvrir les secteurs où le trafic aérien est faible, par des moyens de surveillance moins couteux ; afin d'atteindre la couverture totale de l'espace aérien, l'ADS-B nous offre cette possibilité.

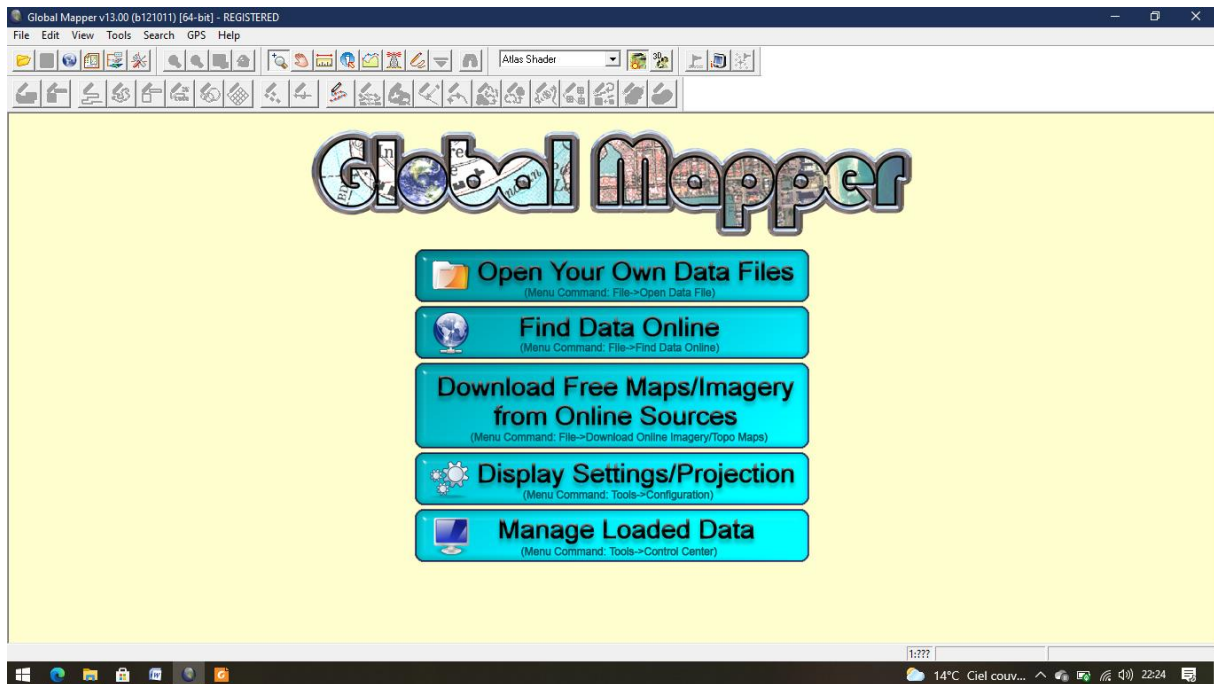
## **CHAPITRE IV**

### **SIMULATION DE LA COUVERTURE PAR L'ADS-B**

## IV) SIMULATION DE LA COUVERTURE PAR L'ADS-B

### IV.1. PRÉSENTATION DU LOGICIEL GLOBAL MAPPER

**Global Mapper®** est un logiciel **SIG** (Systèmes d'Information Géographique) de pointe qui fournit aux professionnels en Géospatiale novices et expérimentés une gamme complète d'outils de traitement de données spatiales, avec accès à une variété inégalée de formats de données.



**Figure 4.1** interface de Global Mapper v13.00

L'interface utilisateur intuitive et la disposition logique de Global Mapper aident à lisser la courbe d'apprentissage et garantissent que les utilisateurs seront opérationnels en un rien de temps. Les organisations de toute taille voient rapidement un retour sur investissement significatif grâce au traitement efficace des données, à la création de cartes précises et à la gestion optimisée des données spatiales.

- SIG économique et facile à utiliser.
- Supporte plus de 250 formats de données spatiales.
- Module LiDAR optionnel pour un traitement puissant des nuages de points.
- Gestion avancée de la projection à l'aide de la librairie GeoCalc.
- Support technique inégalé et gratuit





## IV.2. DESCRIPTION DU WGS-84 :

Les coordonnées géographiques utilisées dans plusieurs États du monde pour déterminer la position des pistes, des obstacles, des aérodromes, des aides de navigation et des routes ATS sont fondées sur une vaste gamme de systèmes de référence géodésique locaux. Avec l'introduction de la RNAV, le problème des coordonnées géographiques fondées sur un référentiel géodésique local s'est accentué et a clairement démontré la nécessité de disposer d'un système de référence géodésique universel. Pour régler ce problème, l'OACI a adopté, en 1994, le système géodésique mondial - 1984 (WGS-84) comme système de référence géodésique horizontal commun pour la navigation aérienne, en fixant la date d'application du système au 1er janvier 1998.

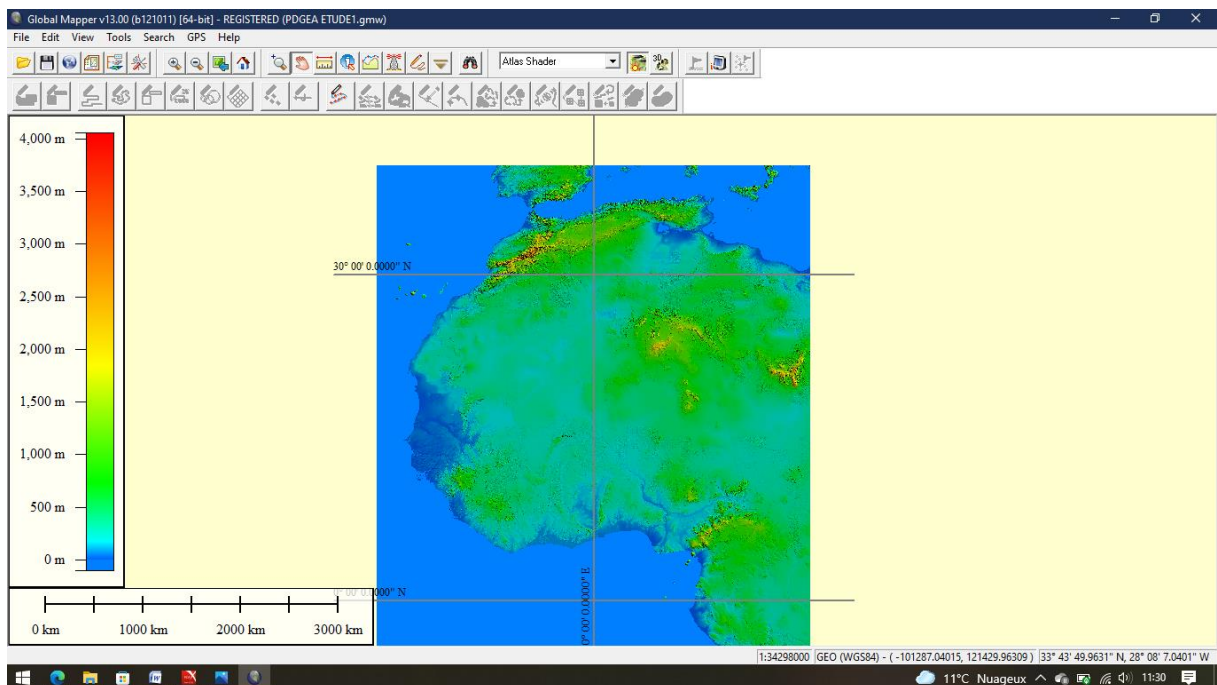


Figure 4.2 carte du nord de l'Afrique avec le système WGS-84

## IV.3. LA COUVERTURE DU RADAR ACTUELLE :

Les stations radars actuelles et leurs sites d'implantations.

**Tableau 4.1** les stations radars et leurs coordonnées

<b>Station radar</b>	<b>Site</b>	<b>Les coordonnées géographiques (latitude et longitude)</b>
Oued Semar	alger	36°40'34.10"N 003°10'40.04"E
Seraidi	Annaba	36°54'43.40"N 007°41'07.10"E
Murdjadjo	Oran	35°41'46.88"N 000°46'16.20"W
Guemmar	El Oued	33°31'03.99"N 006°45'52.16"E
Bouderga	El Bayadh	33°37'37.36"N 001° 03' 51.20"E

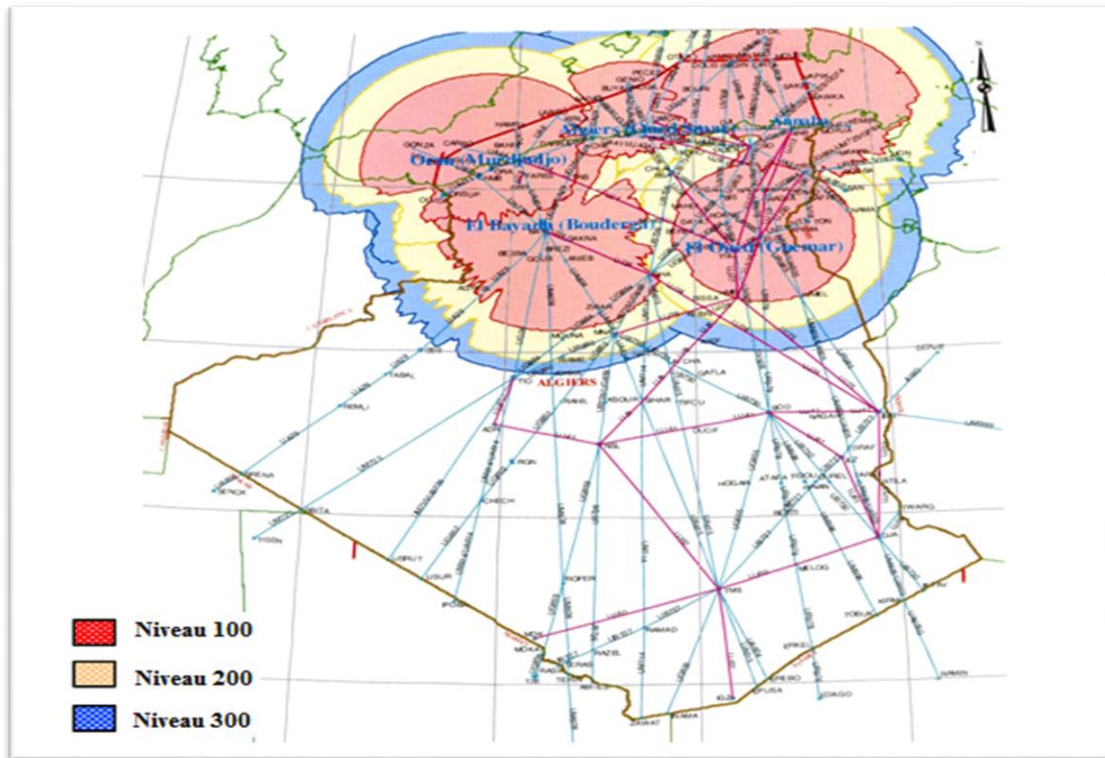
Les niveau de vol pris dans cette comparaison sont le FL100, FL200 et FL300

Pour le niveau de vol FL100 =10000 pieds, le rayon de couverture du radar est 120 NM soit 222.24 km.

Pour le niveau FL200=20000 pieds le rayon de couverture est 180 NM soit 333.36 km

Pour le niveau FL300=30000 pieds, le rayon de couverture est 200 NM soit 370.4 km

Ces rayons sont représentés dans la carte dans la figure 4-3



**Figure 4-3** la couverture des radars actuelle

On remarque dans la figure4-1 que les radars existants assurent une couverture totale de la partie nord de l'espace aérien au-dessus de niveau FL200, elle est même doublée dans certaines zones.

Tandis qu'au niveau FL100, un trou notable dans la couverture est remarqué à l'ouest de Constantine et au-dessus de la région de Bousàada, à cause des reliefs qui obstruent la couverture des radars de Oued Semar, à Alger, et Seraidi, à Annaba.

Aucune couverture n'est disponible dans l'espace aérien sud.

#### IV.4. SIMULATION :

##### IV.4.1. LES ÉTAPES DE SIMULATION :

Les étapes nécessaires pour l'élaboration des couvertures ADS-B à l'aide du logiciel Global Mapper :

- Choisir la région Afrique Ouest, lieu où, on doit ouvrir la carte Algérie. la grille d'altitude est intégrée, pour chaque point de la région d'étude, ses coordonnées (en WGS84) ainsi son élévation (en Mètres) sont indiquées en bas de la fenêtre.

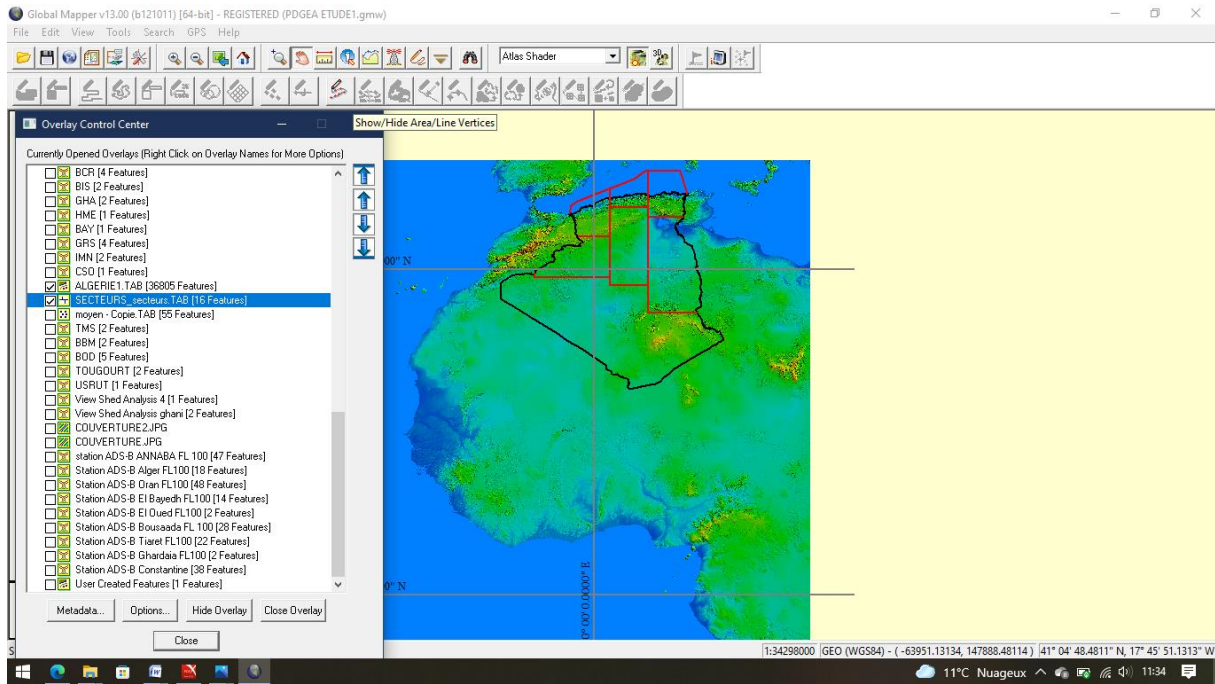


Figure 4.4 insertion de la FIR Alger dans la carte WGS84

➤ on introduit les propriétés des stations ADS-B à installer comme suit :

On commence par donner le nom de la station en question ; on introduit la position en coordonnées géographiques (voir tableau 4.2) et les caractéristiques techniques de l'antenne (élévation et rayon de couverture); puis on choisi ses propriétés par exemple :couleur, le fond et le symbole.

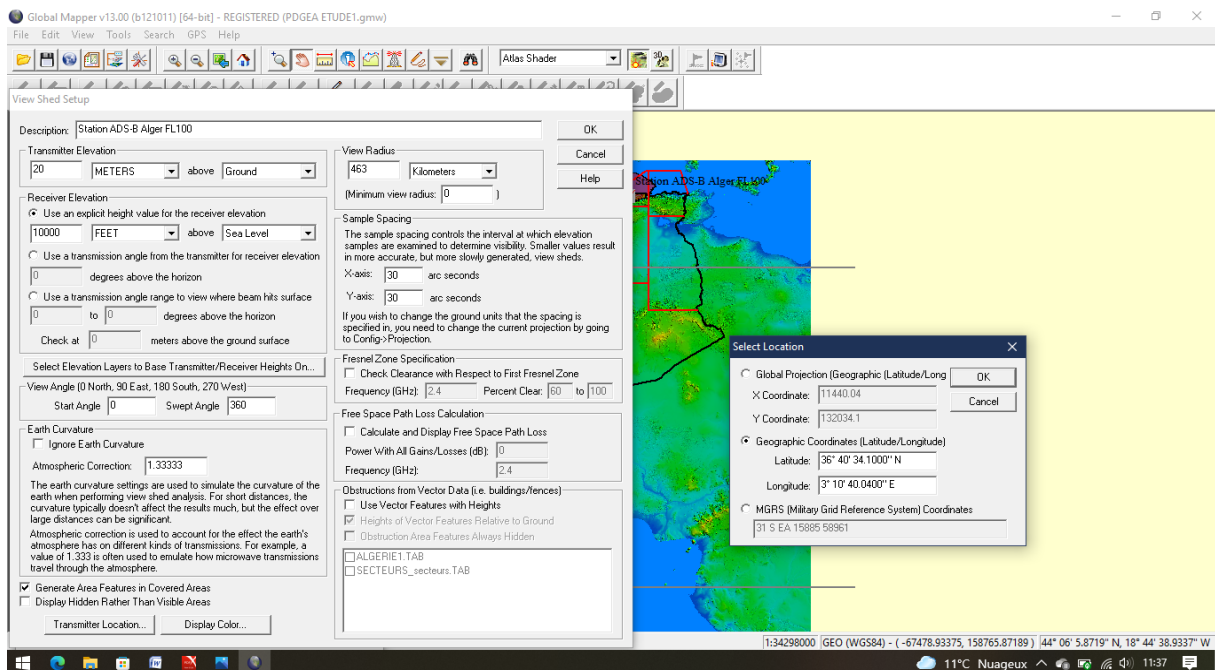


Figure 4.5 insertion des paramètres d'antenne



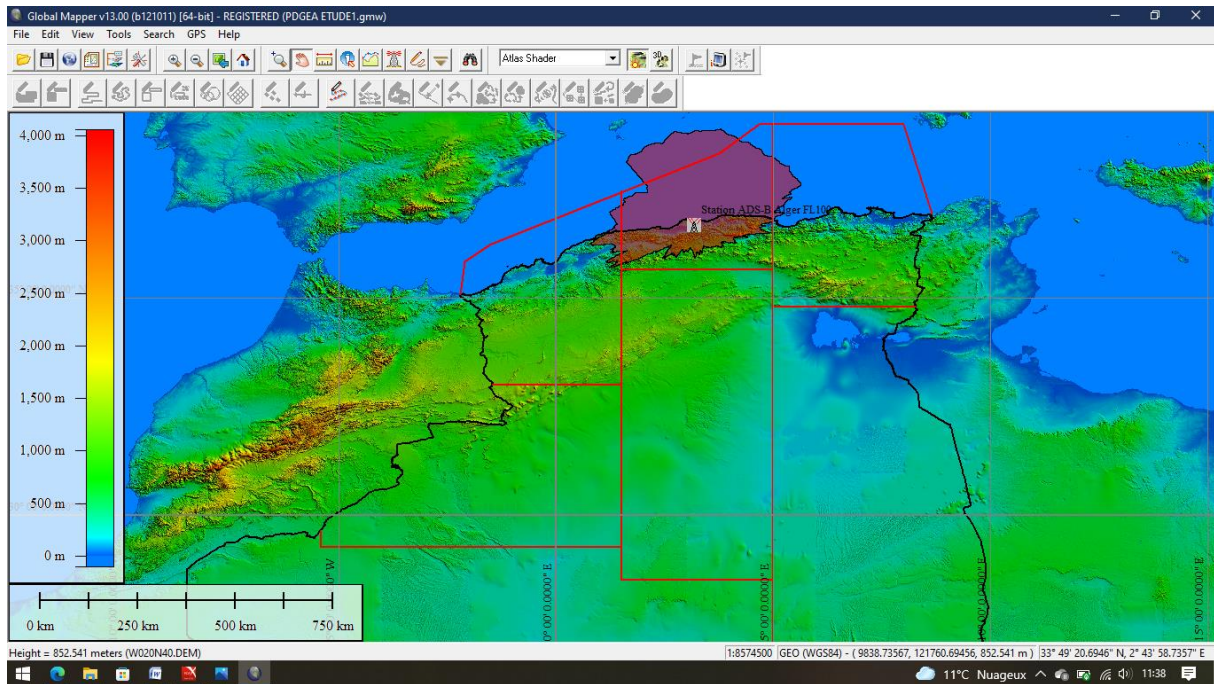


Figure 4.6 exemple de simulation d'une station

On répète l'opération pour toutes les stations ADS-B à simuler

#### IV.4.2. LES COORDONNÉES DES STATIONS ADS-B :

Dans le cadre du projet PDGEA, l'ENNA a choisi les sites suivants pour l'implantation des stations ADS-B. On suivant la vision de l'établissement, nous divisons la FIR Alger en deux FIRs : FIR Nord et FIR sud.

Tableau 4.2 les coordonnées des stations ADS-B dans la FIR Alger

N°	FIR	STATION ADS-B	INDICATEUR D'EMPLACEMENT / NOM DE L'AERODROME	COORDONEES DU POINT DE REFERENCE AERODROME
1.	FIR NORD	Alger	DAAG– ALGER / Houari Boumediene	36°41'40"N ; 003°13'01"E
2.		Akfadou	AKFADOU	36°37'31"N ; 004°34'17.97"E
3.		Oran	DAOO – Oran	35°37'38"N ; 000°36'41"W



			Ahmed Benbella	
4.		Annaba	DABB – Annaba / Rabah Bitat	36°49'20"N ; 007°48'34"E
5.		Constantine	DABC – Constantine /Mohamed Boudiaf	36°17'07"N ; 006°37'09"E
6.		El Bayadh	DAOY – El Bayadh	33°43'15"N ; 001°05'29"E
7.		Tiaret	DAOB – Tiaret Abdelhafid Bousouf Bou Chekif	35°20'29"N ; 001°28'01"E
8.		Boussaada	DAAD – Bou Saada(Airport)	35°19'53"N ; 004°12'16"E
9.		Ghardaia	DAUG – Ghardaia Noumerat-Moufdi Zakaria	32°22'54"N ; 003°47'58"E
10.		El Oued	DAUO – El Oued Guemar	33°30'47"N ; 006°46'57"E
11.	FIR SUD	Hassi Messaoud	DAUH – Hassi Messaoud - Krim Belkacem	31°40'26"N ; 006°08'26"E
12.		El Golea	DAUE – El Golea	30°34'08"N ; 002°51'53"E
13.		Timinoune	DAUT – Timimoun	29°14'28"N ; 000°17'01"E
14.		Tine Fouyé Tabankourt	Tin Fouye Tabankort	28°26'18"N ; 007°33'04"E
15.		Tamanrasset	DAAT – Tamanrasset Aguenar-Hadj Bey Akhamok	22°48'40"N ; 005°27'03"E

16.	Borj Baji Mokhtar	DATM – Bordj Badji Mokhtar	21°22'30" N ; 000°55'26"E
17.	Chenachène	Chenachene	26°02'34"N ; 004°12'34"W
18.	Djanet	DAAJ–Djanet / Tiska	24°17'35"N ; 009°27'07"E
19.	Hassi khebi	Hassi Khebi	28°11'16"N ; 005°04'54"W
20.	Illizi	DAAP– Illizi Takhamalt	26°43'25"N ; 008°37'04"E
21.	In Salah	DAUI – IN Salah	27°15'13"N ; 002°30'39"E
22.	Reganne	REGANNE	26°41'02"N ; 000°16'57"E
23.	Tindouf	DAOF– TINDOUF	27°42'00"N ; 008°10'00"W

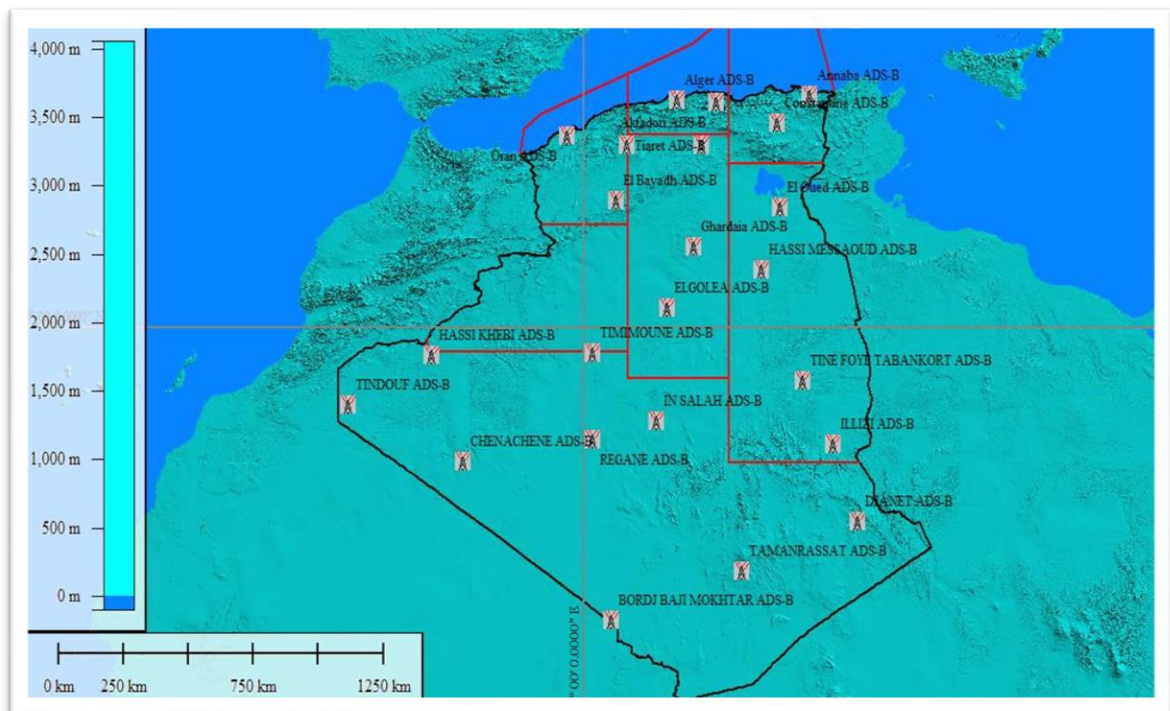


Figure 4.7 Représentation des stations ADS-B dans la FIR AIGER



### IV.4.3. ETUDE DE COUVERTURE DANS LA FIR NORD :

Dans cette partie d'espace aérien, l'ENNA a choisi d'implanter dix(10) stations ; il s'agit des sites suivants : Alger, Akfadou, Annaba, Constantine, Oran, Tiaret, El Bayadh, Boussaada, Ghardaia et El Oued

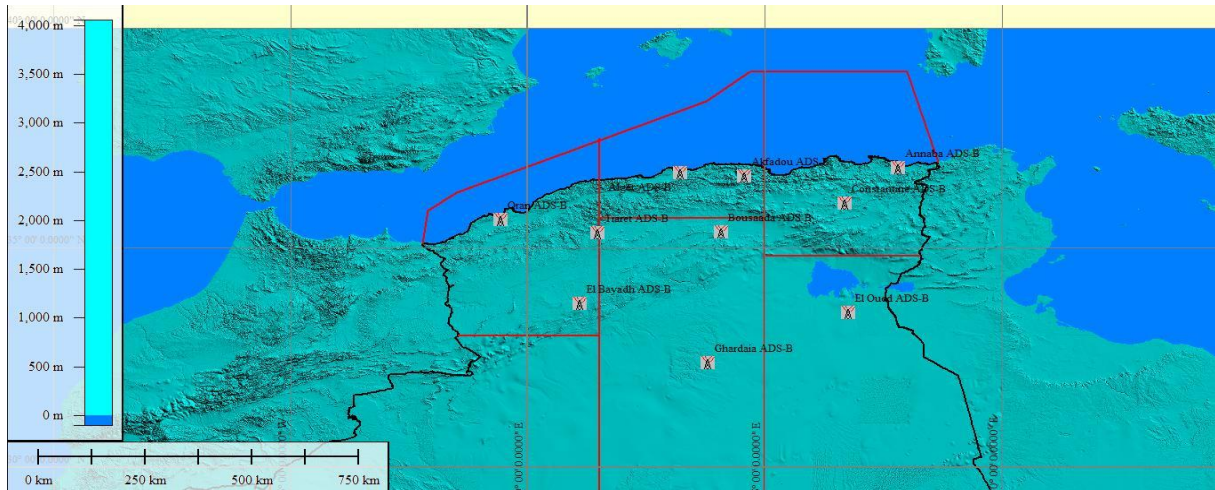
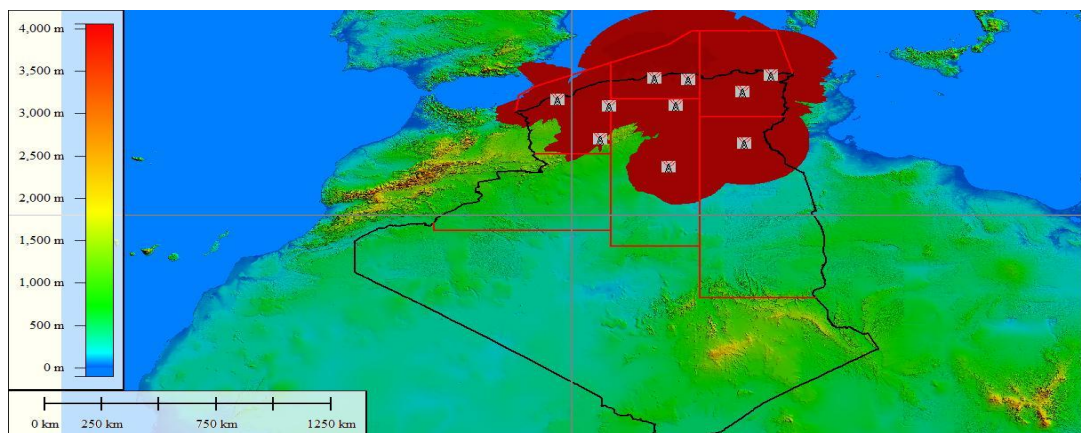


Figure 4.8 Les stations ADS-B dans la FIR Nord

#### IV.4.3.1. SIMULATION DE COUVERTURE POUR FL 100 :





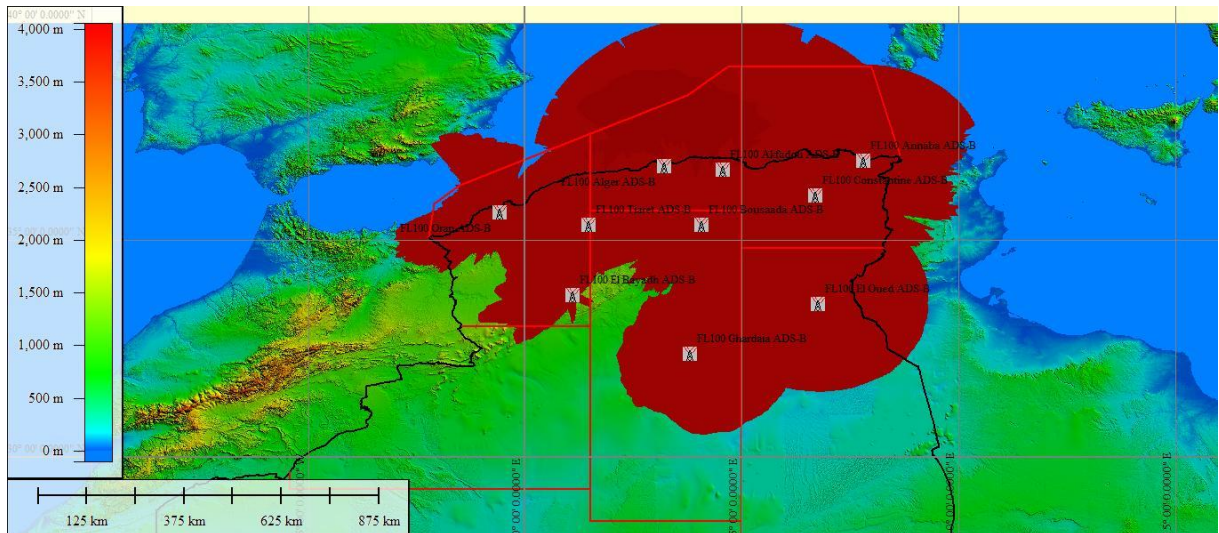


Figure 4.9 couverture ADS-B de la FIR nord pour FL100

On constate que :

- ✓ Les secteurs nord-centre et nord-est sont totalement couverts à ce niveau de vol, ce qui correspond aux trafics aériens élevés dans ces secteurs.
- ✓ les secteurs nord-ouest, sud-centre et sud est sont partiellement couverts.
- ✓ L’obscurité enregistrée dans la station d’El Bayadh est due par les reliefs de la région ( djbal Ksel, Stiten...).

#### IV.4.3.2. SIMULATION DE COUVERTURES POUR LE NIVEAU FL200 :

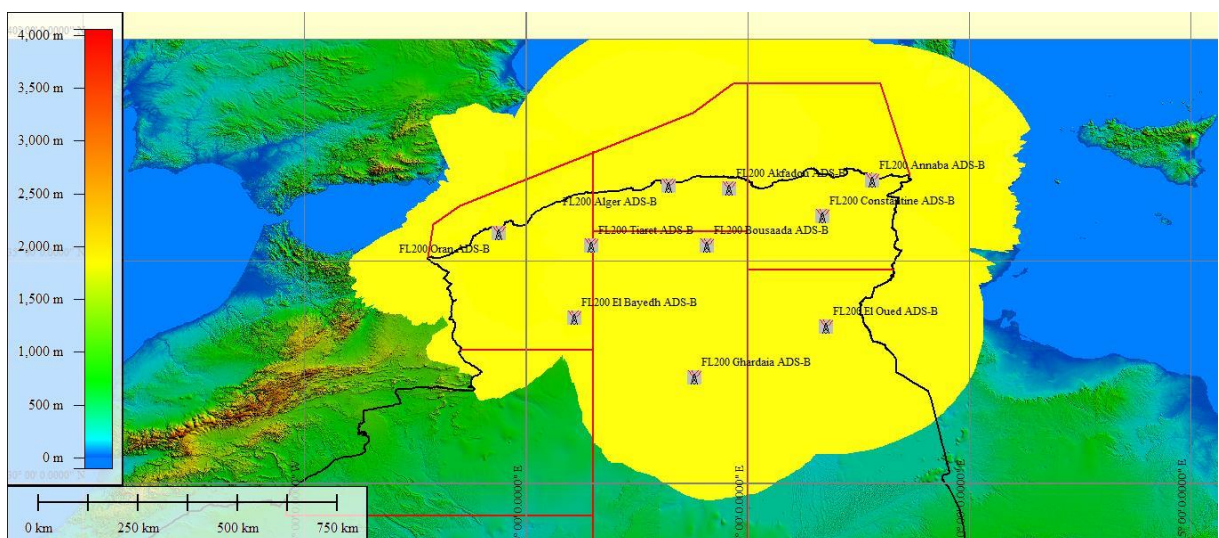


Figure 4.10 couverture ADS-B de la FIR nord pour FL200



Elargissement de couverture à ce niveau par effet conique de rayonnement de l'antenne ADS-B ; donc une couverture totale pour les trois secteurs nord, et sud-centre et sud-est

#### IV.4.3.3. SIMULATION DE COUVERTURE POUR LE NIVEAU FL300 :

Pour ce niveau la simulation a montré une couverture totale de la FIR Nord, et étendue qui a atteint les FIRs adjacents.

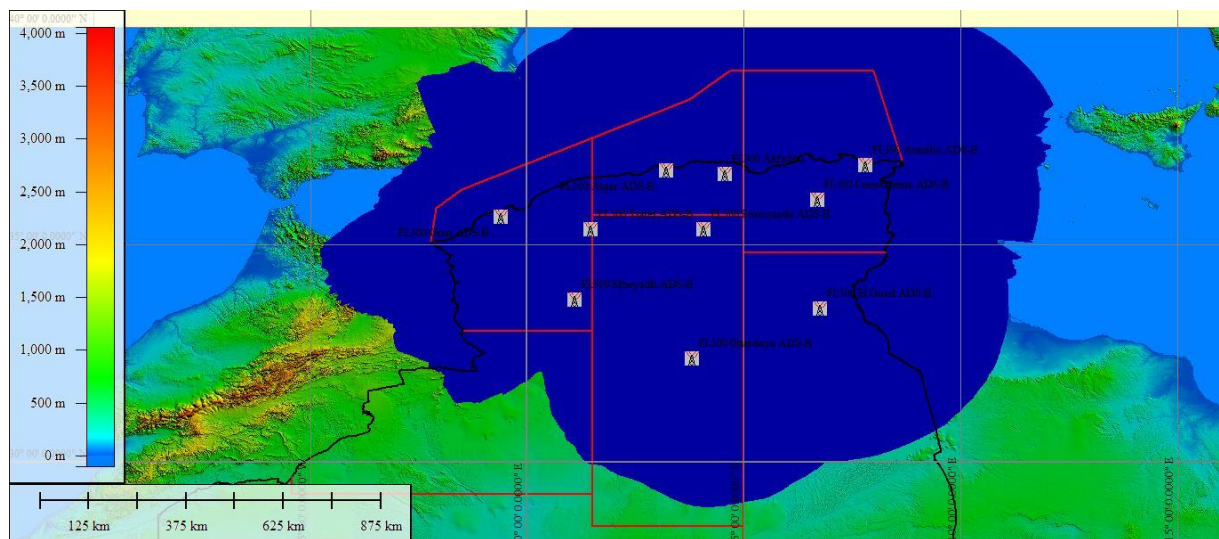


Figure 4.11 couverture ADS-B de la FIR nord pour FL300

#### IV.4.3.4. SIMULATION DE COUVERTURE NORD TROIS NIVEAU :

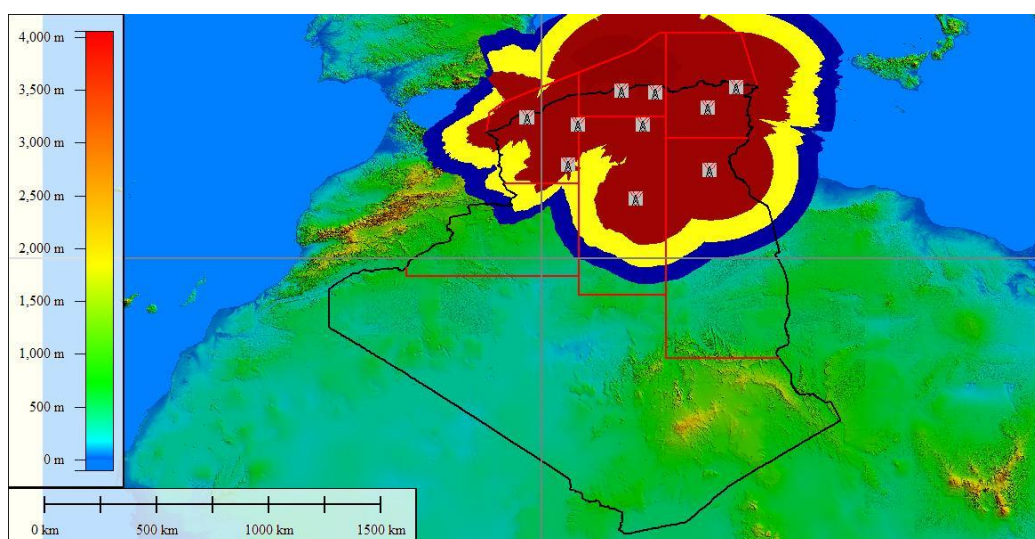


Figure 4.12 Couverture ADS-B de la FIR nord pour FL100,FL200 et FL300



On revenant à la figure 4.3 de la couverture radars pour comparaison avec la figure actuelle (figure 4.10), on remarque que les stations ADS-B ont assuré le manque de couverture par les radars, donc l'ads-b est un moyen fiable pour renforcer la surveillance aérienne et la sécurité des vols en route.

#### IV.4.4. SIMULATION DE COUVERTURE DANS LA FIR SUD :

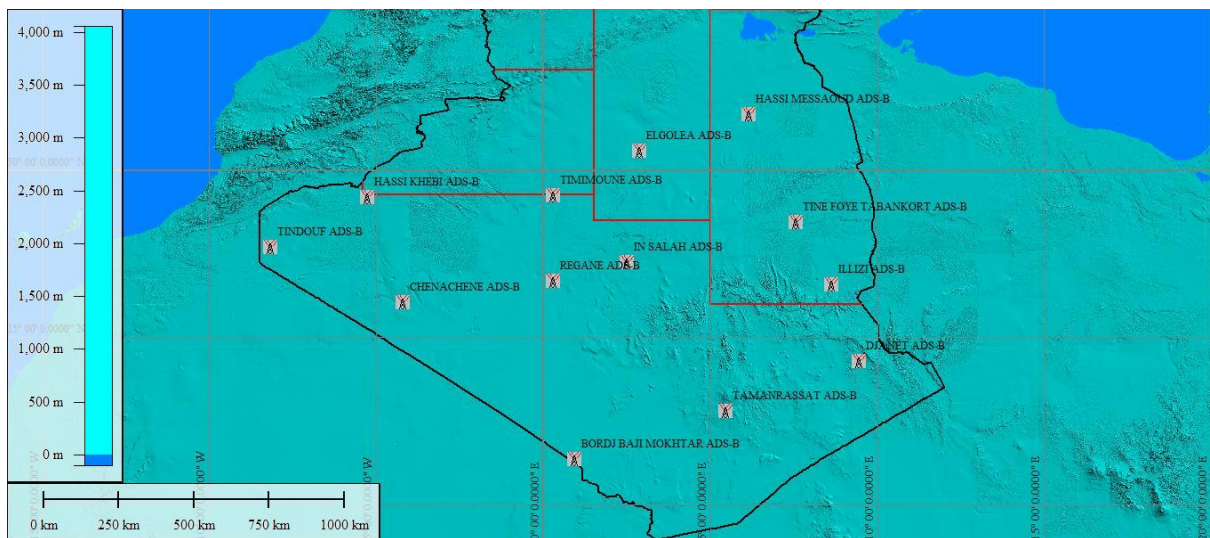


Figure 4.13 Les stations ADS-B dans la FIR Sud

Dans le sud, les sites délivrés par l'ENNA pour implantation des stations ADS-B sont les suivants : Hassi Messaoud, Illizi et Tine Fouyé Tabankort dans le secteur Sud-Est ; El Golea dans le secteurs Sud-Centre ; Timimoune, Hassi Khabi, In Salah, Regane , Chenachène et Tindouf dans le secteur Sud-Ouest ; Djanet, tamanrassat et Bordj Badji Mokhtar dans le secteur Sud-Sud.

Il faut rappeler que cette partie n'est pas couverte par les radars actuels.

##### IV.4.4.1. SIMULATION DE COUVERTURE POUR FL 100 :

Dans le sud de l'espace aérien algérien, la couverture est basée dans le secteur Sud-Est, et Sud-Sud pour répondre aux besoins du trafic dans ces secteurs.

A ce niveau déjà, nous avons une bonne couverture, les cercles de rayonnement sont bien dessinés à cause des terrains dégagés, à l'exception de la station de Tamnarassat où quelques



obscurités est constaté à cause des reliefs de la région (chaines montagneuses de tassili Nadjer et Ahagar). Voir figure 4.12

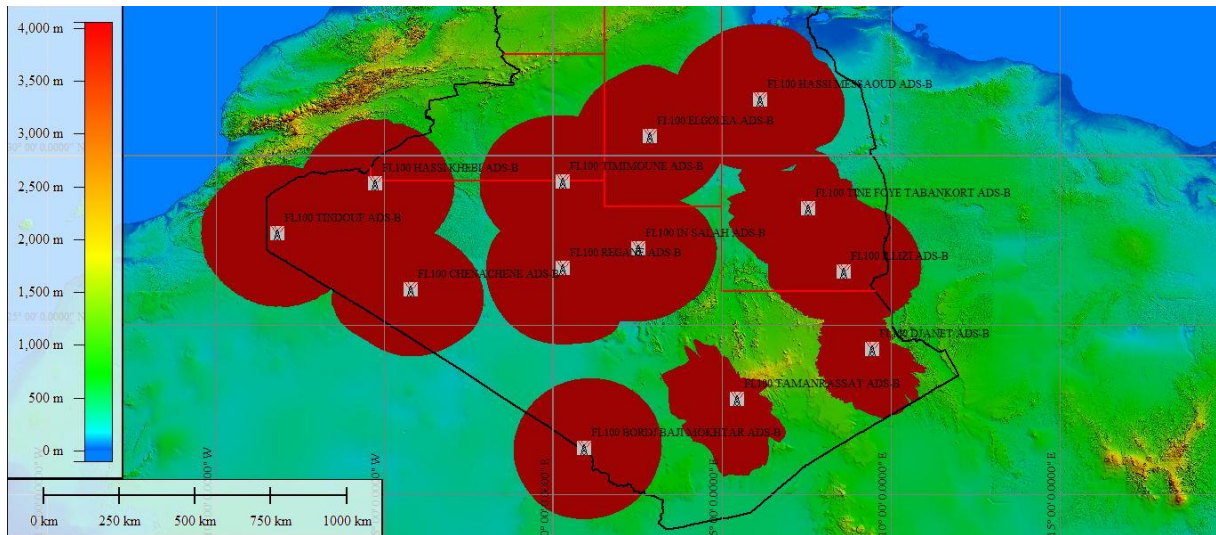


Figure 4.14 Couverture ADS-B de la FIR Sud pour FL100

#### IV.4.4.2. SIMULATION DE COUVERTURE POUR FL200

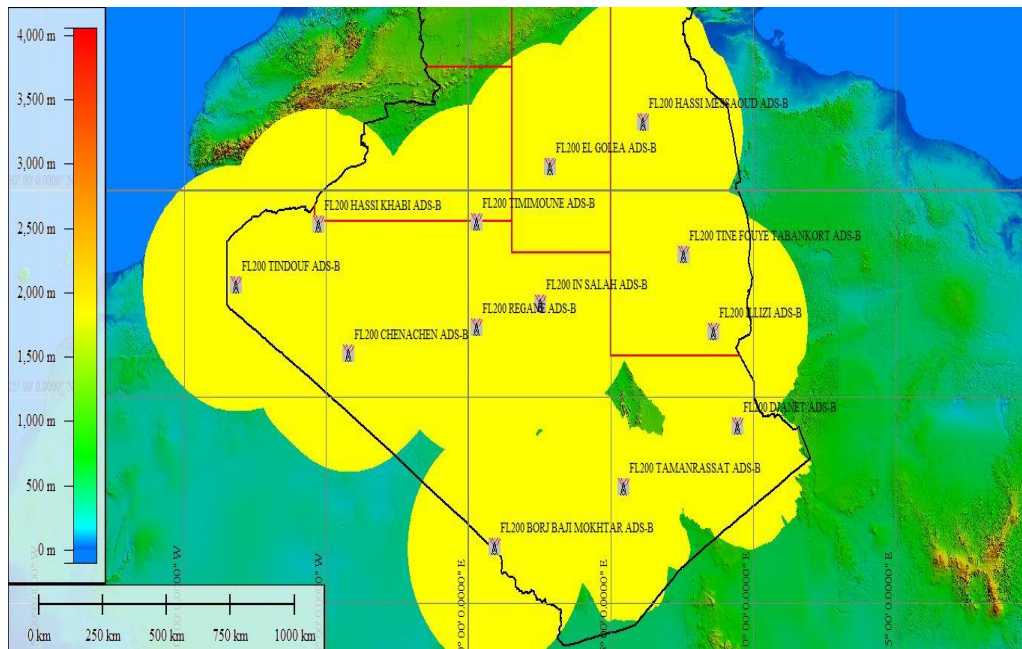


Figure 4.15 Couverture ADS-B de la FIR Sud pour FL200

A ce niveau, couverture est presque totale vue l'absence des obstacles.(voir figure 4.13)



#### IV.4.4.3. SIMULATION DE COUVERTURE POUR FL300 :

Une couverture totale est constaté au niveau de vol 30000 pieds, et qui parfois dépasse les limites FIR

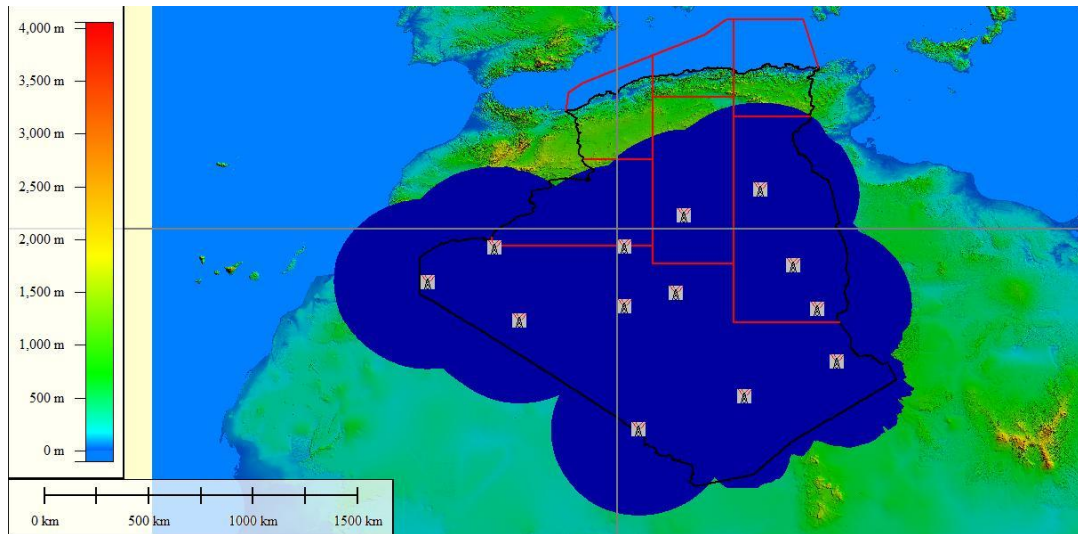


Figure 4.16 Couverture ADS-B de la FIR Sud pour FL300

#### IV.4.4.4. SIMULATION DE COUVERTURE NORD TROIS NIVEAU :

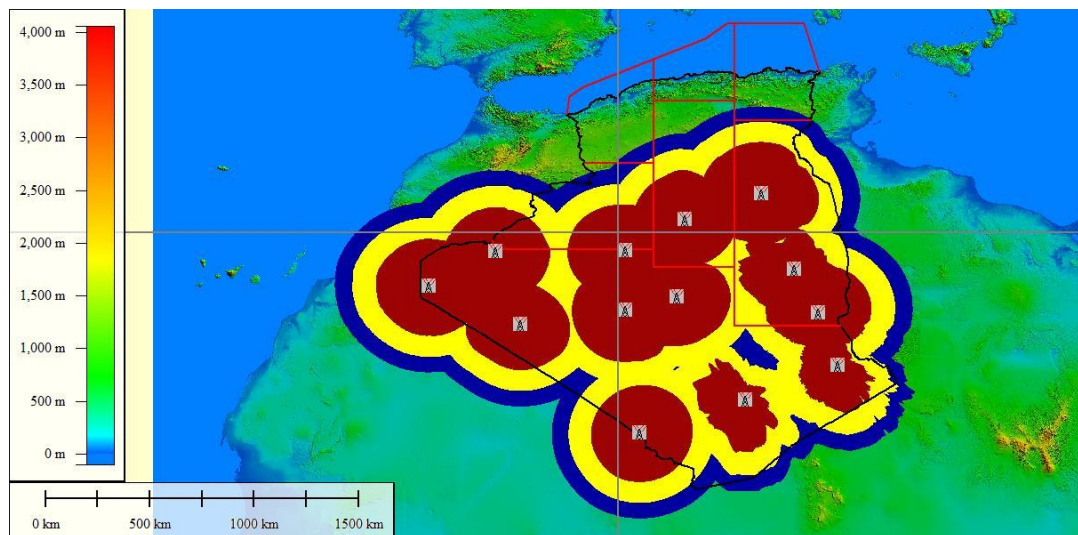


Figure 4.17 Couverture ADS-B de la FIR Sud pour FL100, FL200 et FL300

D'après la simulation, avec 13 stations ADS-B on peut assurer une couverture totale de la FIR Sud. Ce qui résous le problème de non-couverture dans cet espace vaste de la FIR Alger.

## **CONCLUSION GÉNÉRALE :**

A la lumière des analyses des statistiques sur le trafic dans l'espace aérien algérien, nous constatons qu'il y a une croissance encourageante de ce trafic due au développement économique du pays et vue l'emplacement stratégique de l'Algérie qui fait de la FIR Alger un transit inévitable pour les survols internationaux.

Mais cette croissance du trafic est confrontée par la limitation des moyens de surveillance, des obscurités dans la couverture radar dans le nord, et la non-couverture de l'espace aérien dans le sud.

Ces contraintes peuvent être des facteurs engendrant l'insécurité dans l'espace aérien algérien.

A travers le Projet PDGEA (Plan de Développement de la Gestion de l'Espace Aérien), l'ENNA (Etablissement National de la Navigation Aérienne) a lancé l'étude d'implantation de la nouvelle technologie prometteuse dans le domaine de la surveillance aérienne, à savoir l'ADS-B .

Une station ADS-B coûte beaucoup moins d'une station radar (dix fois moins chère), ce qui fait de l'ADS-B une solution convenable pour l'extension de la couverture dans les secteurs désertiques.

Dans ce travail, nous avons suivi la même vision concernant le choix des sites pour l'implantation des stations ADS-B en basant sur les critères suivants:

- la densité du trafic dans le secteur,
- l'accessibilité au site,
- la disponibilité ou facilité de raccordement à l'énergie dans le site,
- la sécurité ,
- l'élévation sol,
- ...

La simulation de couverture de l'espace aérien algérien par le système ADS-B, à l'aide du logiciel Global Mapper, a donné des résultats très satisfaisants.

Nous avons conclu que la couverture de FIR Sud est possible par l'implantation de treize (13) stations ADS-B, quand à la FIR Nord, il faut dix(10) stations seulement.

Les buts de cette étude est :

- renforcer la surveillance aérienne de l'espace algérien par l'ADS-B.
- la transaction vers le futur système mondial de gestion du trafic aérien par la surveillance dépendante automatique en mode diffusion qui en est un élément clé.



## **BIBLIOGRAPHIE :**

1. Operation Manual Of CPDLC Algiers Fir / Version 3.0 June 2011.
2. AIP Of Algeria : AIP AIRAC 03/21
3. OACI : Overview of Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) Out
4. Next Generation Air Transportation System (NextGen) (faa.gov)
5. Automatic Dependent Surveillance Broadcast Simulation
6. Équiper les aéronefs de nouveaux moyens de communication ; Sophie ARTZNER ;  
XL AIRWAYS France 11/2021
7. M.Lagha : "cours Radar", Institut d'aéronautique et d'étude spatiale, page 1,2016.
8. <http://tpe-la-furtivite.e-monsite.com/http-tpe-la-furtivite-e-monsite-com-/sources/sources.html>
9. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Radar\\_primaires](https://fr.wikipedia.org/wiki/Radar_primaires)
10. <http://www.radartutorial.eu/02.basics/Radars%20de%20contr%C3%B4le%20a%C3%A9rien.fr.html>
11. International Civil Aviation Organization. Third Edition (2004). Manual On The Secondary Surveillance Radar (SSR) Systems.Doc 9684AN/951.
12. <https://www.thebalance.com/how-ads-b-works-a-look-at-the-foundation-of-nextgen-82559> "10-02-2019"
13. <http://sboisse.free.fr/technique/ADS-B.php> "17-03-2019".
14. [https://www.faa.gov/nextgen/equipadsb/capabilities/ins\\_outs/](https://www.faa.gov/nextgen/equipadsb/capabilities/ins_outs/) "12-06-2019".
15. . ICAO's Global Tracking Initiative - AirNav RadarBox - Global Flight Tracking Intelligence | Live Flight Tracker and Airport Status
16. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Automatic\\_dependent\\_surveillance\\_broadcast#Mise\\_en\\_application](https://fr.wikipedia.org/wiki/Automatic_dependent_surveillance_broadcast#Mise_en_application)."12-06-2019".
17. ALGERIE/AIC/SERIE A/2008/AIC\_02-2008
18. Training System : Pan Weijun, Chen Tong, and Chen Wentao
19. [www.enna.dz](http://www.enna.dz)
20. ADS B Education : « NextGen » Transpondeurs Mode S & ADS-B
21. Busyairah Syd Ali: 'A Safety Assessment Framework for Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) and its Potential Impact on Aviation Safety', pages 22-36, November, 2013.