

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE POPULAIRE

**UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT AERONAUTIQUE**

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en Aéronautique

Option : Exploitation

Thème :

**AMELIORATION DE CONTRÔLE AERIEN ALGERIEN
PAR L'IMPLEMENTATION DES NOUVAEUX MOYENS DE SURVEILLANCE
AVEC SIMULATION**

Réalisé par :

- ▶ ***BOUACIDA Aicha***
- ▶ ***LAHRECHE Bahia***

Encadré par :

- Mr.DJOUAMA Abd Elhamid***
- Mr.ZABOT Amar***

Promotion 2008 /2009

Résumé

Pour la réalisation de cette étude, une première phase de collecte de données sur l'environnement CNS/ATM en Algérie a été effectuée, celle là nous a permis d'avoir une image globale du contexte actuel. Ces données ont été traitées dans le but de déterminer les besoins opérationnels de surveillance. Ensuite, nous avons tenté de répondre à ces besoins par l'implémentation des nouveaux moyens et l'adoption des récentes technologies après avoir appréhender leurs techniques ainsi leurs faisabilités en Algérie.

La troisième partie aborde l'aspect exploitation des moyens de surveillance dans l'évolution du contrôle. Elle contient des précisions sur les améliorations qu'il faut apporter sur le système de contrôle Algérien pour assurer une transition uniforme au système ATM envisagé dans le concept opérationnel CNS proposé.

Enfin, dans la dernière partie nous avons réalisé une simulation comme moyen de concrétiser ce qui été évoqué précédemment.

Summary

For the realization of this study, a first phase of collection of data on the CNS/ATM environment in Algeria has been done, the one there allowed us to have a global view of the present context. These data have been called in the aim to determine the operational needs of surveillance. Then, we tempted to answer these needs by the implementation of the new means and the adoption of the recent technologies after have fear their techniques so their feasibilities in Algeria.

The third part approaches the aspect exploitation of the surveillance means in the evolution of the control. It contains some precisions on the improvements that it is necessary to bring on the system of Algerian control to assure a uniform transition to the ATM system considered in the concept operational CNS proposed.

In the last part we achieved a simulation finally, as means to concretize what been evoked previously.

ملخص

لإنجاز هذه الدراسة، قمنا، في مرحلة أولى، بعملية جمع المعطيات بشأن محيط "CNS/ATM" في الجزائر. تمكنا من خلال ذلك من الحصول على صورة شاملة للمحيط الحالي ثم تمت معالجة هذه المعطيات بهدف تعيين الحاجيات العملية للمراقبة. حاولنا، بعد ذلك، الإجابة على هذه المتطلبات بتركيب الأجهزة الجديدة و اعتماد التكنولوجيات الحديثة بعد التحكم في تقنياتها و التحقق من قابليتها للإنجاز في الجزائر.

تناول الجزء الثالث للدراسة جانب استغلال وسائل المراقبة بالنسبة لتطور المراقبة. كما أنه تضمن توضيحات بخصوص التحسينات التي ينبغي إدخالها على نظام المراقبة الجزائري بغية التمكن من ضمان طور انتقالي موحد لنظام "ATM" المنتظر ضمن المفهوم العمليتي "CNS" المقترح.

أما الفقرة الأخيرة، فقد كانت مخصصة لإنجاز محاكاة (مماثلة) لاختبار و تجسيد ما تم ذكره مسبقاً.

The background of the page is a dense, repeating pattern of light pink roses. The roses are in various stages of bloom, with some showing more detail than others. The overall color palette is soft and romantic, with shades of pink and white.

DEDICACE

*A ma famille
A mes amis
Aux gents qui m'aiment et m'estiment....*

Je dédie ce mémoire.

AICHA

DEDICACE

Je souhaite dédier ce modeste travail :
À ma mère qui a toujours été là pour moi et me donne force et
courage ;
À mon père, j'espère qu'il est fier de moi ;
« Merci mes très chères parents, grâce à vous ce jour est arrivé et à
travers ce travail j'ai essayé de vous prouver tout mon amour et
tous mes remerciements ».

À mes sœurs Wissam et Hind.
À mes frères Mouhamed El Amine et Younnes.
À toute ma famille.

À la personne qui me soutient et m'encourage, merci mon espoir
Amel.

À mon binôme Aicha, à mes meilleures amies Amel, Khadjija et
Kalthoum.

À tous mes camarades de promotion, surtout Soumia, Nor Eldine
et Amine.

BAHIA

Remerciements

Les travaux présentés dans ce mémoire ont été menés à l'Etablissement National de la Navigation Aérienne et dans le cadre du Département Aéronautique de Blida.

Nous tenons tout d'abord à remercier Mr LAARADJ Samir, directeur du Développement de la Navigation Aérienne pour son accord concernant notre stage.

Nous remercions Monsieur DJOUAMA Abd ElHamid, chef de Département Planification du Développement et Monsieur ZAABOT Amar d'avoir accepté d'encadrer ce mémoire, pour leurs conseils, leurs remarques constructives et pour leurs indications.

Nous adressons nos remerciements à Mr ALLILI Smail, chef du Centre de Contrôle Régional pour ses idées, pour les encouragements et le soutien moral pendant notre stage.

Notre profonde reconnaissance à tous les cadres du CCR Alger, l'attention et le temps qu'ils nous ont consacré ont contribué à l'enrichissement de notre travail.

Un grand merci à Monsieur HESSAINIA Abd ElKrim, pour son aide précieuse, pour l'accueil qu'il nous a réservé et la générosité dont il a fait preuve à notre égard.

Nous voudrions exprimer notre gratitude envers tous nos professeurs, qui ont contribué à notre formation d'ingénieurs et nous espérons que l'aboutissement de cette thèse récompense une partie de leur travail.

Nous tenons particulièrement à remercier les membres de jury d'avoir accepté de juger cette thèse.

Table des matières

Liste des figures, tableaux et graphes

Abréviations

Résumé

Introduction générale

CHAPITRE I : Contexte général CNS/ATM en Algérie

I.1 Introduction	1
I.2 Organisation de l'espace aérien Algérien	1
I.2.1 La classification des espaces aériens	1
I.2.2 La sectorisation de l'espace aérien	1
I.2.3 Les routes ATS	3
I.2.4 Les zones à statut particulier	3
I.2.5 Les services de la circulation aérienne	4
I.3 Le trafic aérien en Algérie	5
I.3.1 Définitions	5
I.3.2 Les Aéroports	5
I.3.3 L'évolution du trafic aérien (<i>Statistiques du trafic aérien 2007 - 2008</i>)	6
I.3.3.1 Le trafic aérien en route	6
I.3.3.2 Le trafic aérien d'aéroport	12
I.4 Situation actuelle Communication, Navigation, Surveillance	15
I.4.1 Communication	15
I.4.2 Navigation	16
I.4.3 Surveillance	16
I.5 Les moyens de surveillance mis à disposition de l'ATC Algérien	18
I.5.1 Le radar primaire	18
I.5.2 Le radar secondaire	19
I.5.3 La Surveillance Dépendante Automatique - Contract (ADS-C)	20
I.6 Conclusion	21

CHAPITRE II : Techniques proposées pour l'amélioration de la surveillance

II.1 Introduction	22
--------------------------------	-----------

II.2 Le radar de surveillance secondaire (SSR) mode S.....	22
II.2.1 Le concept de base	22
II.2.2 La Technique Monopulse	24
II.2.3 Emission selon le type du radar	24
II.2.4 Acquisition d'un avion Mode S	25
II.2.5 La liaison de données	26
II.2.6 Les bénéfices	28
II.2.7 Les travaux internationaux	28
II.3 La surveillance dépendante automatique - Broadcast ADS-B	28
II.3.1 Le concept ADS-B	28
II.3.2 Fonctionnalité ADS-B	29
II.3.3 L'environnement de l'ADS-B	30
II.3.4 Les applications ADS-B	31
II.3.5 Medium ADS-B (Les liaisons de données)	33
II.3.5.1 Critères de choix	33
II.3.5.2 Principe de fonctionnement des trois média	34
II.3.6 Contenu du message ADS-B	35
II.3.7 Limitations ADS-B	35
II.3.8 Comparaison entre l'ADS-C et l'ADS-B	35
II.3.9 Les travaux internationaux	36
II.4 Multilatération.....	36
II.4.1 Généralités	36
II.4.2 Techniques de multilatération	37
II.4.3 Multilatération : un système coopératif, indépendant 3D	39
II.4.4 Architectures système	40
II.4.5 Comparaison des principes radar secondaire et multilatération	41
II.4.6 Applications multilatération SSR	42
II.4.6.1 Application A-SMGCS	43
II.4.6.2 Application Multilatération à couverture étendue (WAM)	46
II.4.6.3 Quelques systèmes WAM actuellement déployés et en projet	48
II.5 Conclusion.....	48
 CHAPITRE III : Faisabilité des propositions et implémentation en Algérie	
III.1 Introduction	49
III.2 Besoins opérationnels de surveillance.....	49
III.3 Faisabilité de l'implémentation radar Mode S en Algérie.....	51
III.3.1 L'amélioration de la surveillance par l'implémentation radar Mode S	52
III.3.2 Les sites proposés	53
III.3.3 La couverture attendue	54
III.3.4 Architecture radar Mode S proposée :	58

III.4 Faisabilité de l'implémentation ADS-B en Algérie	59
III.4.1 L'amélioration de la surveillance par l'implémentation ADS-B	59
III.4.2 Architecture ADS-B proposée	59
III.4.3 Le média de communication proposé	60
III.4.4 Les sites proposés	61
III.5 Faisabilité de la multilatération en Algérie	62
III.5.1 L'adaptation de la multilatération à l'aéroport Hassi Messaoud	63
III.5.2 Etude préliminaire	65
III.5.3 Architecture multilatération proposée	68
III.6 Les attentes souhaitées de la mise en place du projet proposé	69
III.7 Conclusion	70

CHAPITRE IV : Impact sur l'automatisation du contrôle aérien en Algérie

IV.1 Introduction	71
IV.2 Le contrôle aux procédures classiques	71
IV.3 Les besoins d'automatisation	72
IV.4 Système automatisé du contrôle aérien en Algérie	72
IV.4.1 Centre de contrôle, position actuelle	72
IV.4.1.1 Présentation du système Eurocat X	74
IV.4.2 Le Centre de contrôle, position future	78
IV.4.3 La mise en oeuvre opérationnelle du projet	80
IV.4.4 L'impact sur la fourniture du service Radar	82
IV.4.5 L'automatisation de la surveillance sol à l'aéroport de Hassi Messaoud	83
IV.4.5.1 Interfaces Homme Machine dans le A-SMGCS	85
IV.4.5.2 Les bénéfices de l'expérimentation de la multilatération	86
IV.5 Conclusion	86

CHAPITRE V : Simulation

V.1 Introduction	87
V.2 Objectifs de la simulation des couvertures	87
V.3 Familiarisation avec les simulateurs	87
V.3.1 Radio mobile	87
V.3.2 MapInfo	88
V.3.3 Global Mapper	88
V.4 Hypothèse du travail	89

V.5 Simulation du projet	89
V.5.1 Etapes du travail	89
V.5.2 Simulation 1	91
V.5.3 Simulation 2	96
V.6 Analyse des résultats obtenus	101
V.7 Conclusion	101

Conclusion générale

Annexes

Bibliographie

Liste des figures, tableaux et graphes

Fig. I.1 : Limites de l'espace aérien Algérien.....	2
Fig. I.2 : Sectorisation actuelle de l'espace aérien algérien.....	3
Fig. I.3 : Aérodomes d'Algérie.....	6
Fig. I.4 : Les principaux flux de survol sans escale Nord-Sud. (MapInfo).....	10
Fig. I.5 : Les principaux flux de survol sans escale Est-Ouest et Est-Sud. (MapInfo).....	10
Fig. I.6 : RSFTA national et international.....	15
Fig. I.7 : Couverture Radar Actuelle.....	17
Fig. I.8 : Limitations du radar secondaire.....	19
Fig. II.1 : Visualisation du trafic aérien de la station expérimentale Mode S de Toulouse.....	23
Fig. II.2 : Formats d'interrogation de SSR.....	24
Fig. II.3 : Les périodes d'une interrogation Mode S.....	26
Fig. II.4 : Le principe de verrouillage de radar mode S.....	26
Fig. II.5 : Format 56 bits de surveillance.....	27
Fig. II.6 : Format 112 bites de communication « courte ».....	27
Fig. II.7 : Format 112 bites de communication « longue ».....	27
Fig. II.8 : Transfert de données ADS-B.....	29
Fig. II.9 : Architecture ADS-B.....	29
Fig. II.10 : ADS-B avec PSR et SSR.....	30
Fig. II.11: Visualisation à bord de la situation du trafic (CDTI).....	31
Fig. II.12: Surveillance de la surface aéroport par l'ADS-B.....	32
Fig. II.13 : Schéma de principe de la localisation multilatération.....	37
Fig. II.14 : Architecture de la surveillance A-SMGCS.....	44
Fig. II.15 : Exemple d'antenne de multilatération mode S.....	45
Fig. II.16 : Précision en fonction de l'altitude.....	47
Fig. III.1 : Sectorisation de l'espace aérien et champs pétroliers.....	50
Fig. III.2 : Les flux du trafic international en 2007.....	52
Fig. III.3 : Implantation des nouveaux radars.....	54
Fig. III.4 : Visibilité SSR global pour le niveau de vol 100.....	55
Fig. III.5 : Visibilité SSR global pour le niveau de vol 200.....	55
Fig. III.6 : Visibilité SSR globale pour le niveau de vol 300.....	56
Fig. III.7 : Couverture radar PDGEA FL100, 200, 300.....	57
Fig. III.8 : Architecture radar Mode S proposée.....	58
Fig. III.9 : Station sol et antenne ADS-B basée sur le Squitter étendu 1090 MHz.....	61

Fig. III.10 : Vigie de contrôle de Hassi-Messaoud.....	63
Fig. III.11 : Hangar de maintenance STAR AVIATION à l'aéroport de Hassi Messaoud.....	64
Fig. III.12 : Carte aérodrome de Hassi messaoud/Oued Irara-Krim Belkacem.....	66
Fig. III.13 : Multilatération Mode S.....	68
Fig. IV.1 : Exemple de bande de progression.....	71
Fig. IV.2 : Salle CCR.....	73
Fig. IV.2: Les symboles pistes radar	74
Fig. IV.4 : Plan de vol conflit sonde FPCP.....	75
Fig. IV.5 : Contrôle de l'adhérence à la route (RAM).....	76
Fig. IV.6 : Exemple de RAM.....	76
Fig. IV.7 : ARCW.....	77
Fig. IV.8 : Affichage ADS-C et CPDLC	77
Fig. IV.9 : Ecran de visualisation de la situation de trafic.....	78
Fig. IV.10 : Architecture centre ATC.....	79
Fig. IV.11 : Situation aérienne autour de Toulouse cercles de 100 Nm.....	80
Fig. IV.12 : Avion Air Algérie vol AH1004 Alger - Orly le 03 mars 2005 en A330.....	80
Fig. IV.13 : Exemple d'image A-SMGCS à CDG.....	84
Fig. IV.14 : Ecran de visualisation de la situation de trafic sol	85
Fig.V.1 : Exemple de carte Global Mapper.....	88
Fig. V.2 : Exemple de traçage du secteur TMA centre.....	90
Fig. V.3 : Simulation MapInfo FIR, secteurs et routes aériennes.....	90
Fig. V.4 : Initiation à la simulation.....	91
Fig. V.5 : Exemple d'emplacement du site d'El Bayadh.....	92
Fig. V.6 : Exemple de traçage de la couverture station d'Alger.....	92
Fig. V.7 : Simulation MapInfo de la couverture radars actuels.....	94
Fig. V.8 : Simulation de la couverture ADS-B proposée.....	95
Fig. V.9 : Acquisition de la carte d'Algérie sous Global Mapper.....	96
Fig. V.10 : Exemple d'insertion de la station radar de Annaba.....	97
Fig. V.11 : Exemple de traçage de la couverture radar de Annaba FL100.....	97
Fig. V.12 : Simulation de la couverture radars actuels.....	98
Fig. V.13 : Simulation de la couverture radars proposés.....	98
Fig. V.14 : Simulation de la couverture radars actuels et proposés FL100.....	99
Fig. V.15 : trou de la couverture FL100 au niveau de Boussaâda.....	99
Fig. V.16 : Simulation Global Mapper de la Couverture ADS-B.....	100

Fig. V.17 : La couverture de Boussaâda FL100 avec la station ADS-B.....	100
Fig. V.18 : Simulation de la couverture de la FIR Algérie.....	101
Tableau I.1 : Les variations du trafic aérien "en route" 2007-2008.....	7
Tableau I.2 : Trafic par secteur 2007-2008.....	8
Tableau I.3 : Evolution du trafic route durant la période 1995-2008.....	10
Tableau I.4 : Variation du trafic aérien d'aérodrome.....	13
Tableau I.5 : Moyens de communication.....	16
Tableau I.6 : Moyens de Radionavigation.....	16
Tableau I.7 : Avantages et inconvénients du PSR.....	19
Tableau II.1 : Les signaux disponibles.....	39
Tableau II.2 : Classes de surveillance.....	40
Tableau II.3 : Comparaison enter SSR et multilatération.....	42
Tableau II.4 : Les performances de la multilatération mode S recommandées dans le document ED 117 de l'EUROCAE.....	46
Tableau III.1 : Nouvelles stations radars en Algérie.....	53
Tableau III.2 : Emplacement de l'ADS/B.....	62
Tableau V.1 : Les stations radars actuelles et leurs sites d'implantations.....	91
Tableau V.2 : les coordonnées géographiques des nouvelles stations radar.....	93
Tableau V.3 : les coordonnées géographiques des stations ADS-B.....	94
Graphe I.1: Trafic en route 2007-2008.....	7
Graphe I.2 : Répartition des parts de trafic par secteur année 2008.....	8
Graphe I.3 : Variation du trafic par secteur 2007-2008.....	9
Graphe I.4 : La parité de trafic par nature de vol.....	9
Graphe I.5 : Évolution du trafic en route (1995-2008).....	11
Graphe I.6 : Tendence d'évolution jusqu'à 2025.....	12
Graphe I.7 : Prévision de trafic en route jusqu'à 2025.....	12
Graphe I.8 : Le trafic aérien d'aérodrome 2007-2008.....	13
Graphe I.9 : Mouvements commerciaux des aérodromes internationaux en 2008.....	14
Graphe I.10 : Mouvements totaux « commerciaux/non commerciaux » de certains aérodromes.....	14

Liste des Abréviations

ACARS Aircraft Communication Addressing and Reporting System
ACAS Airborne Collision Avoidance System
ACC Area Control Center
ADS Automatic Dependant Surveillance
ADS-B ADS-Broadcast
ADS-C ADS-Contract
ADSU Automatic Dependent Surveillance Unit
AEEC The Airlines Electronic Engineering Committee
AFI Afrique océan Indien
AFTS Aerodrome Flight Information Service
AGDP Air Ground Data Processing
AIP Aeronautic Information Publication
ATP Aeronautical Information Publication
AOC Airline Operational Communication
APP centre de contrôle d'APProche
ARINC Aeronautical Radio INC
ASAS Airborne Separation Assurance System
A-SMGCS Advanced SMGCS
ASEP Airborne Separation
ATC Air Traffic Control
ATM Air Traffic Manangement
ATN Aeronautical Telecommunication Network
ATS Air Trafic Service
ATSA Airborne Trafic Situation Awareness
CDTI Cockpit Display of Traffic Information
CFL Cleared Flight Level
CIV Centre d'Information de Vol
CLAM Cleared Level Adherence Monitoring
CNS/ATM Communication Navigation Surveillance / Air Traffic Management
CPDLC Controller-Pilot Data Link Communication
CTR Centre de contrôle Régional
DCA Direction de la Circulation Aérienne
DCDU Data Communication Display Unit
DDNA Direction de Développement De La Navigation Aérienne
EADS European Aeronautic Defence and Space Company;
ENNA Etablissement National de la Navigation Adrienne
ETD Estimated Time of Departure
EUROCAE European Organisation for Civil Aviation Electronic
FAA Federal Aviation Agency
FANS Future Airborne Navigation System
FIR Flight Information Region
FIS Flight Information Service
FL Flight Level
FMC Flight Management Computer
FMP Flight Management Position
FMS Flight Management System
FOM Figure Of Merit
FRUIT False Replies Unsynchronised Interrogator Time
GND/MSL Ground/Medal Sea Level
GNSS Global Navigation Satellite System
GPS Global Positioning System

HF High Frequency
HFDR High Frequency Data link Radio
HMI Human Machine Interface
HMU High Monitoring Unit
ICAO International Civil Aviation Organisation
IFF Identification Friend or Foe
INC Institut National de Cartographie
INS/IRS Inertial Navigation System/Inertial Reference System
MASPS Minimum Aviation System Performance Standard
MCDU Multi purpose Cockpit Display Unit
MITRE Massachusetts Institute for Technology Research and Engineering
MLAT Multilatération
MOPS Minimum Operational Performance Standard
MSAW Minimum Safe Altitude Warning
NEAN North European ADS-B Network
NUP NEAN Update Programme
OACI Organisation de 'Aviation Civile Internationale
PDGEA Plan de Développement de la Gestion de l'Espace Aérien
PSR Primary Surveillance Radar
RAM Route Adherence Monitoring
RNAV Area Navigation
RSP Required Surveillance Performance
RSFTA Réseau du Service Fixe des Télécommunications Aéronautique
RVSM Reduced Vertical Separation Minimum
RWY RunWay
SAR Search And Rescue
SARPs Standards And Recommended Practices
SICASP SSR Improvements and Collision Avoidance System Panel
SID Standards Instruments Departure
SIG Système d'Information Géographique
SITA Société Internationale de Télécommunication Aéronautique
SMGCS Surface Movement Guidance and Control System
SNMAP Safety Net Monitoring and Alert Processing
SSR Secondary Surveillance Radar
SSR-S Secondary Surveillance Radar-Selectif
STAR Standard Arrivals
TCAS Traffic Collision Avoidance System
TIS-B Traffic Information Service-Broadcast
TMA Terminal Area
TWY TaxiWay
UAT Universal Access Transceiver
UPS Uninterrupted Power System
VDL VHF Data Link
VHF Very High Frequency
VIP Very Important Personnel
VOR VHF Omni Range
VSAT Very Small Aperture System
WAM Wide Area Multilateration
WGS World Geodesic System

Introduction générale

La gestion de l'espace aérien est une activité complexe qui requiert une organisation ainsi qu'une cohérence entre plusieurs facteurs pour assurer la sécurité des vols conformément aux dispositions réglementaires de l'OACI. L'un des facteurs déterminants de la réussite d'une telle démarche est, certainement, une bonne organisation de l'espace aérien considéré, mais aussi et surtout le choix des moyens à mettre en oeuvre pour permettre une surveillance du trafic aérien qui garantit un maximum de sécurité aéronautique dans toutes les phases du vol, ce qui est la préoccupation essentielle des responsables des services de la navigation aérienne.

L'espace aérien Algérien est contigu principalement à l'espace aérien 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 d'accroissement annuel de plus de 6,2 % en moyenne ces treize (13) dernières années. Ce fort trafic a amené l'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA), fournisseur des services de trafic aérien, à conduire depuis plusieurs années une politique volontariste d'investissement et de modernisation des infrastructures de la navigation aérienne, axée principalement sur les moyens CNS (Communications, Navigation et Surveillance) et sur le développement de l'assistance automatisée au travail du contrôleur.

Nous nous intéresserons en particulier, dans le cadre de cette étude, à la Surveillance qui n'est pas au niveau de l'importance du trafic aérien cité ci-dessus et qui représente un élément fondamental de l'ATM dont l'évolution et l'automatisation sont indissociables.

Le but de l'étude, à travers l'analyse de cette problématique, est de promouvoir des améliorations en matière de surveillance dans la FIR d'Alger qui puissent renforcer la sécurité aéronautique et accroître les capacités de gestion du trafic aérien afin de répondre aux demandes futures et attendues du trafic.

Nous proposerons, pour cela, l'installation des nouveaux moyens (le radar secondaire mode S, l'ADS-B et la multilatération) qui peuvent répondre à terme aux besoins de surveillances en Algérie, à savoir passer d'une couverture partielle du territoire à une couverture totale.

Le présent mémoire est le résultat du travail effectué durant ces cinq mois. Nous avons organisé ce dernier en cinq chapitres.

Le premier présente le contexte CNS/ATM en Algérie. Il contient également une analyse du trafic aérien qui a servi de base pour l'identification des besoins opérationnels de surveillance. Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des techniques proposées pour l'amélioration de la surveillance, leurs expérimentations mondiales ainsi que les bénéfices escomptés. Le troisième chapitre traite de la faisabilité et l'implémentation de ces moyens en Algérie avec une

approche sur les attentes de cette solution par rapport aux moyens conventionnels de surveillance existants. Le quatrième chapitre prévoit l'impact de ce projet sur l'automatisation du contrôle aérien en Algérie. Enfin, le dernier chapitre est consacré à la simulation afin de savoir si l'objectif de couverture totale du territoire a été atteint.

I.1 Introduction

Ce chapitre englobera une description générale de l'espace aérien Algérien - dans toute sa diversité - au sein duquel évolue le trafic des avions. L'objectif ciblé dans cette section est de présenter une analyse de trafic et de l'infrastructure CNS actuelle en Algérie. L'étude des données recueillies servira à mettre en clair les écarts de performances. Les initiatives de l'étude seront ensuite évaluées par rapport à ces écarts afin de déterminer celles qui permettront le mieux d'apporter les améliorations opérationnelles nécessaires pour répondre aux besoins particuliers de surveillance dans notre pays.

I.2 Organisation de l'espace aérien Algérien

I.2.1 La classification des espaces aériens :

Les classes A, B, C, D, E, F et G sont adoptées par l'Algérie, mais seules les classes A, D et E sont mises en œuvre. [1] (Voir Annexe 01).

Voici la désignation et la classification des espaces aériens ATS en Algérie:

Classe A. Seuls les vols "IFR" sont admis; tous les vols sont assujettis au service de contrôle de la circulation aérienne et les séparations des aéronefs sont assurées.

Classe D. Les vols IFR et VFR sont admis ; tous les vols sont assujettis au service de contrôle de la circulation aérienne, les aéronefs en vol IFR sont séparés des autres aéronefs en vol IFR et ils reçoivent des informations de circulation aérienne essentielles concernant les autres en vol VFR ; les aéronefs en vol VFR reçoivent des informations de circulation aérienne concernant tous les autres vols.

Classe E. Les vols IFR et VFR sont admis; il est fourni un service de contrôle de la circulation aérienne aux vols IFR et la séparation est assurée entre vols IFR. Tous les vols reçoivent dans la mesure du possible des informations de circulation. La classe E ne sera pas utilisée pour les zones de contrôle. [2]

I.2.2 La sectorisation de l'espace aérien :

L'espace aérien Algérien est défini par ces limites territoriales, qui s'étendent sur la partie sud de la Méditerranée contiguë aux FIR (s) Marseille, Barcelone, et Séville au Nord. Adjacent par l'Ouest à la FIR Casa et par l'Est à la FIR Tunis et Tripoli. Contiguë par ailleurs du Sud aux FIR (s) Dakar et Niamey. [3] (Voir figure I.1).

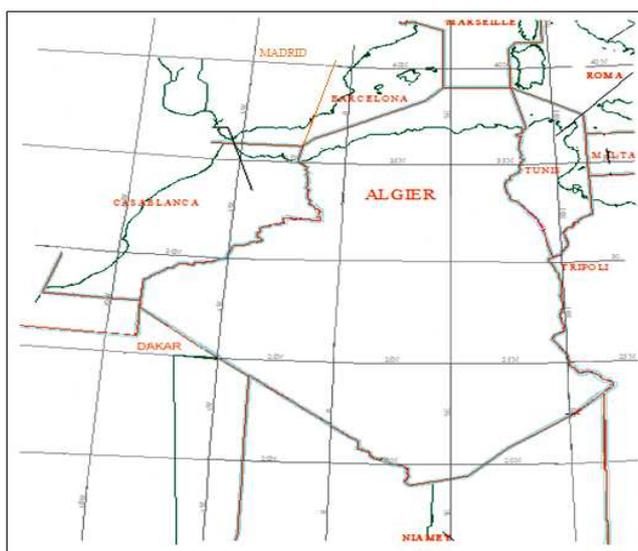


Fig. I.1 : Limites de l'espace aérien Algérien. [4]

La FIR Alger fait partie de la région OACI AFI qui est composée de 57 pays regroupés eux même dans plusieurs organisations comme la Commission Arabe de l'Aviation Civile (ACAC) dont l'Algérie fait membre et l'Agence pour la sécurité de la navigation aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA) qui gère les espaces aériens, notamment ceux de la Mauritanie, du Mali, et du Niger. [5]

L'espace aérien Algérien est organisé en une région d'information de vol "FIR" subdivisée en sept secteurs :

1- Le secteur centre est constitué de :

- TMA centre Alger espace inférieur, ayant pour limites verticales, le GND/MSL jusqu'au niveau de vol FL 245. Espace aérien de classe D ;
- TMA centre Alger espace supérieur, ayant pour limites verticales le niveau de vol 245 jusqu'au niveau de vol FL 450. Espace aérien de classe A.

2- Le secteur Nord/Est, ayant pour limites verticales, le plus grand de (GND/MSL, 450m) jusqu'au niveau de vol FL 450. Espace aérien de classe D.

3- Le secteur Nord/Ouest, ayant pour limites verticales, le plus grand de (GND/MSL, 450m) jusqu'au niveau de vol FL 450. Espace aérien de classe D.

4- Le secteur Sud/Centre, espace aérien de classe E.

5- Le secteur Sud/Est, espace aérien de classe E.

6- Le secteur Sud/Ouest, espace aérien de classe E.

7- Le reste de l'espace aérien Algérien (secteur Sud/Sud) est de classe E. [1]

Remarque: Les secteurs centre, Nord/Est et Nord/Ouest sont communément appelés TMA centre, Est et Ouest.

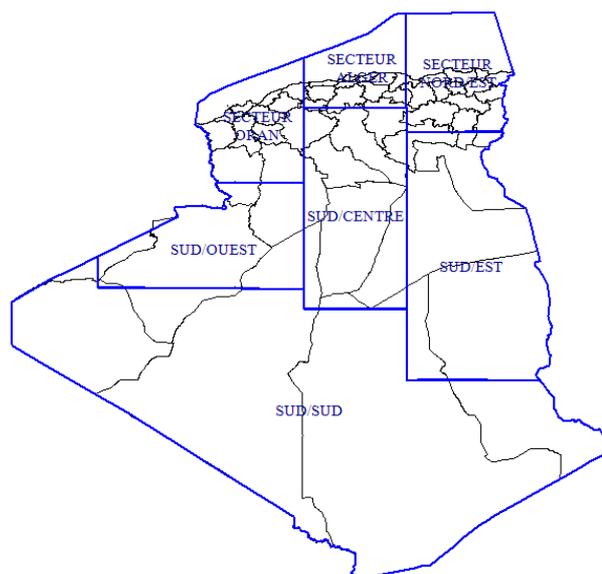


Fig. I.2 : Sectorisation actuelle de l'espace aérien algérien. [4]

I.2.3 Les routes ATS :

Trois réseaux de routes ATS se partagent l'espace aérien Algérien : (Voir Annexe 02)

- **Réseau de routes régionales :** Ce sont des cheminements utilisés par les aéronefs pour les dessertes en Algérie ou le transit dans l'espace aérien Algérien. Les routes publiées dans l'AIP sont au nombre de 33 routes inférieures et 35 routes supérieures. A partir du niveau de vol FL290, l'espace est utilisé par les aéronefs en "sur vol" ;
- **Réseau de routes domestiques :** Une route domestique est une voie aérienne utilisée par les aéronefs entre deux ou plusieurs aéroports algériens, avec un total de 24. Les principales routes de ce réseau sont celles reliant la capitale Alger aux principales villes du Nord, tel que : Oran, Constantine, Annaba, Bejaia...et certaines du Sud, comme Hassi Messaoud, Ghardaïa, Hassi Rmel, In Amenas... (Fréquentées particulièrement par l'aviation générale) ;
- **Réseau de routes de navigation de surface RNAV* :** 13 routes RNAV sont publiées dans l'AIP, ayant pour limite inférieure le niveau de vol 310. Ce réseau de routes est utilisé par les aéronefs en transit disposants d'une combinaison d'équipements et de capteurs assurant un guidage RNAV. [1]

I.2.4 Les zones à statut particulier :

L'Annexe 02 montre les espaces à usage restreint concentrés principalement au Nord et à l'Ouest du pays.

* Méthode de navigation permettant le vol sur n'importe quelle trajectoire « OACI-DOC.9613-AN/937 ».

I.2.5 Les services de la circulation aérienne :

Les services de la circulation aérienne sont assurés pour l'ensemble du territoire Algérien sur un certain nombre d'aérodromes et dans l'espace aérien formant la FIR Algérie, par l'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA).

En général, la réglementation et les procédures de la circulation aérienne en vigueur sont conformes aux normes, pratiques recommandées, et procédures de l'OACI.

Dans l'espace aérien correspondant à sa zone de responsabilité, l'ENNA fournit les services suivants:

- Le service de contrôle de la circulation aérienne est assuré dans la totalité de la FIR.
 - Le service de contrôle régional dans les espaces aériens désignés.
 - Le contrôle d'approche est rendu dans les limites des TMA correspondantes, par les bureaux de contrôle d'approche suivants :
 - ✓ Alger/Houari Boumediene;
 - ✓ Annaba/El Mellah;
 - ✓ Constantine/Mohamed Boudiaf;
 - ✓ Oran/Es Sénia ;
 - ✓ Hassi Messaoud.
 - Le contrôle d'aérodrome est assuré aux aéronefs par 33 tours de contrôle.
- Le service d'information de vol en dehors de l'espace aérien contrôlé;
- Le service d'alerte au bénéfice des aéronefs ayant déposé un plan de vol.

L'ENNA assure en outre :

- Le service de contrôle radar* dans le secteur TMA Centre Alger et la région de contrôle (CTA) d'Alger ;
- Le service de contrôle des mouvements à la surface au niveau de l'aérodrome d'Alger/Houari Boumediene. [1]

* **Contrôle Radar** : Terme utilisé pour indiquer que les informations radar sont employées directement dans la fourniture du service de contrôle de la circulation aérienne.

Surveillance Radar : Utilisation du radar dans le but de fournir aux aéronefs des informations et conseils relatifs à des déviations significatives de sa route nominale, incluant les déviations en terme d'autorisation du contrôle de la circulation aérienne. [6]

I.3 Le trafic aérien en Algérie

Analysons maintenant, l'état du trafic aérien en Algérie ainsi que son évolution durant la période 2007-2008, nous ferons ressortir ainsi certaines particularités, tels que les flux principaux et la densité des secteurs de contrôle. Nous tenterons aussi une approche prévisionnelle du trafic aérien à l'horizon 2025, en se basant sur l'évolution de ce dernier depuis 1995. Cette analyse nous permettra d'identifier et de cibler les zones de trafic denses et donc sensibles qui définiront des axes d'améliorations possibles en terme de sécurité et de capacité.

I.3.1 Définitions :

- Mouvements commerciaux : Mouvements d'aéronefs appartenant à des compagnies aériennes effectuant le transport des passagers et du fret (régulier, non régulier).
- Mouvements non commerciaux : Comprenant les mouvements d'aéronefs effectuant des vols d'aéro-clubs, vols privés, de travail et taxi aérien, de compagnies aériennes sans chargement (entraînement du personnel navigant, mise en place, essai, etc.), Evasan (évacuation sanitaire) nationaux étrangers.
- Aéroports ouverts à la CAP : Aéroports ouverts à la circulation aérienne publique.
- Survol avec Escale : Il s'agit de vol comportant au moins une escale sur le territoire national.
- Survol sans Escale : Vols sans atterrissage (transit).
- Aéroport international : Aéroport d'entrée et de sortie destinée aux trafic aérien international où s'accomplissent les formalités de douanes, de contrôle des personnes, de santé publique et de contrôle vétérinaire et sanitaire. [7]

I.3.2 Les Aéroports :

L'Algérie dispose d'un patrimoine aéroportuaire de 36 aéroports ouverts à la circulation aérienne publique. Ils sont répartis comme suit :

➤ Aéroports internationaux :

- 05 aéroports reçoivent le trafic international régulier :
Alger/Constantine/Annaba/Tlemcen/Oran.
- 03 aéroports reçoivent le trafic international restreint (escale technique, etc.) :
In-Amenas/Tamanrasset/Adrar.
- 01 reçoit le trafic international en cargo et charter : Hassi Messaoud.
- 02 aéroports reçoivent le trafic international non régulier : Ghardaïa/In Salah.

➤ Aéroports domestiques :

- 22 aéroports reçoivent le trafic national régulier ;

- 02 aéroports traitent le trafic international régulier (saisonnier): Biskra/Bejaia.

Globalement, les capacités intrinsèques des aéroports et leur répartition spatiale (voir figure I.3)* répondent aux besoins actuels et peuvent, moyennant quelques aménagements, absorber la demande future du trafic aérien. [1]

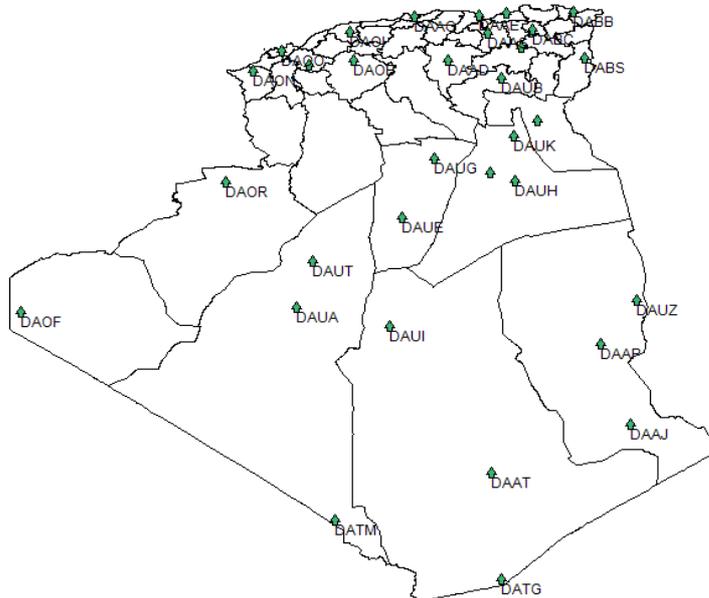


Fig. I.3: Aéroports d'Algérie. [4]

I.3.3 L'évolution du trafic aérien (*Statistiques du trafic aérien 2007 - 2008*)

Nous aborderons dans ce qui suit deux types de trafic aérien en Algérie à savoir :

- Le trafic aérien en route, qui nous permettra de mesurer la densité de ce dernier, par secteur ainsi que la direction des flux principaux ;
- Le trafic aérien par aéroports, qui nous permettra d'identifier les aéroports principaux (en nombre de mouvements).

Durant la période de notre stage effectué au niveau de la Direction du Développement de la Navigation Aérienne (DDNA/ENNA), nous avons eu l'occasion de visiter le département statistique et d'accéder aux données officielles du trafic aérien pris en charge par l'entreprise.

I.3.3.1 Le trafic aérien en route :

En 2008, Le trafic aérien en route a globalement enregistré une hausse de 6,2% par rapport à l'année 2007, le "survol avec escale" étant le plus affecté par cette augmentation.

Durant la période 2007-2008, tous les survols ont connu une hausse expliquée principalement par :

* Les désignations des aéroports sont récapitulées dans l'annexe (03).

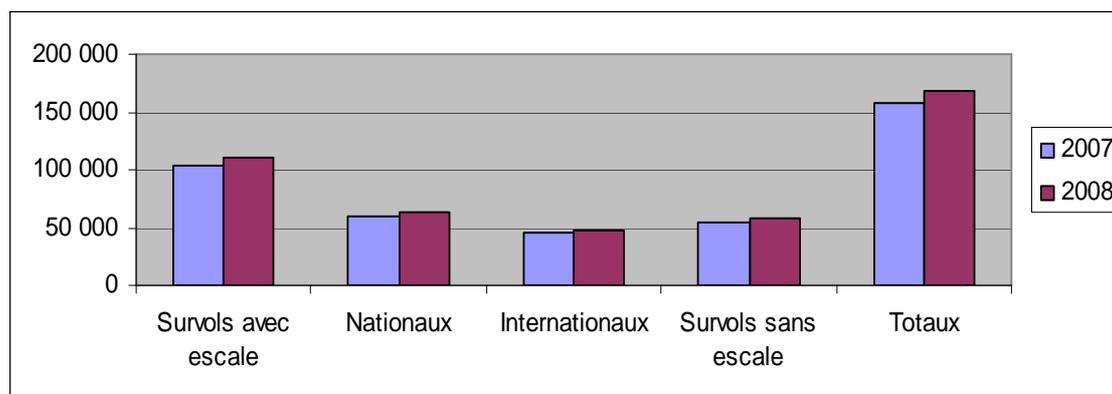
- Les efforts des compagnies aériennes (Air Algérie, Aigle Azur, Air Littoral, Air France...) pour répondre à la forte demande des passagers en provenance et à destination de l'étranger ayant été conséquent, le trafic international a augmenté ;
- Le renforcement des liaisons et augmentation du nombre de rotations avec les pays du Moyen Orient ;
- L'ouverture des nouvelles lignes (Alger-Montréal, Alger-Pekin) ;
- L'extension et rénovation de la flotte d'Air Algérie ;
- L'extension de la flotte Tassili Airlines par l'achat des nouveaux appareils et le recrutement des pilotes.

Le nombre de vols ainsi que les variations du trafic aérien en route par nature de vol et durant la période 2007 – 2008 sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau I.1 : Les variations du trafic aérien "en route" 2007-2008. [8]

	2007	2008	Var en % (08/07)
SURVOLS AVEC ESCALE	104 240	111 193	6,7
Nationaux	58 836	63 513	7,9
Internationaux	45 404	47 680	5,0
SURVOLS SANS ESCALE	54 268	57 121	5,3
TOTAUX	158 508	168 314	6,2

Le tableau précédent nous permet d'illustrer ces variations dans le graphique qui suit :



Graphe I.1: Trafic en route 2007-2008.

a) Le trafic par secteur de contrôle en (2007-2008) :

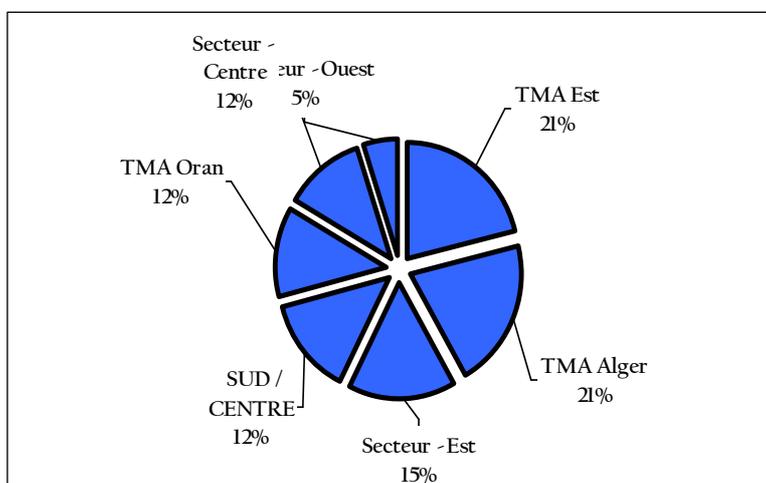
Le trafic par secteur pour l'année 2008 a globalement augmenté. C'est le secteur "TMA Centre" qui a connu la plus importante croissance ou il a été enregistré le plus grand nombre de vol, soit **75 263**, suivi du secteur "Sud-Sud". Cependant les secteurs "TMA Oran" et "Sud-Centre" ont enregistré une variation négative.

Le trafic par secteur durant la période 2008-2009 ainsi que la variance et la parité pour chacun des secteurs, sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau I.2 : Trafic par secteur 2007-2008. [8]

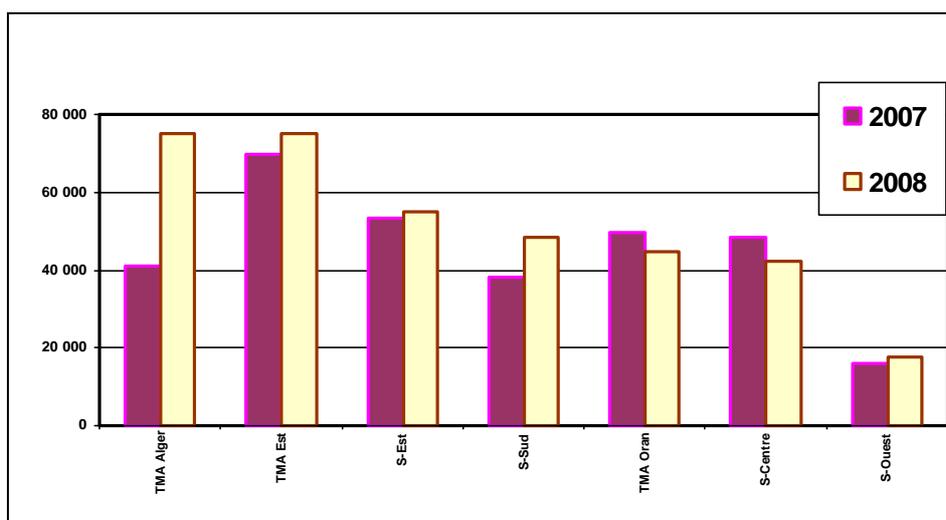
SECTEURS	2007	PART En%	2008	PART En%	VAR En %
TMA Alger	40 822	12,9	75 263	21,0	84,4
TMA Est	69 565	22,0	74 888	20,9	7,7
Secteur Sud-Est	53 389	16,9	54 884	15,3	2,8
Secteur Sud-Sud	38 151	12,1	48 539	13,6	27,2
TMA Oran	49 711	15,7	44 562	12,4	-10,4
Secteur Sud-Centre	48 355	15,3	42 397	11,8	-12,3
Secteur Sud-Ouest	15 813	5,0	17 616	4,9	11,4
Total	315 806	100,0	358149	100,0	13,4

Il faut noter que les secteurs "centre" et "Est", sortent les plus denses. Ceci est du particulièrement, à la localisation d'aéroports internationaux dans les principales villes du Nord Algérien dont "Alger" la capitale, et à la position géographique de ces secteurs qui constituent l'entrée et sortie des flux de transit Nord-Sud et Est-Ouest. Le secteur "Sud-Est" est le troisième plus important compte tenu de la présence d'une zone pétrolière dans ce dernier (Voir Figure III.1).



Graphique I.2 : Répartition des parts de trafic par secteur année 2008.

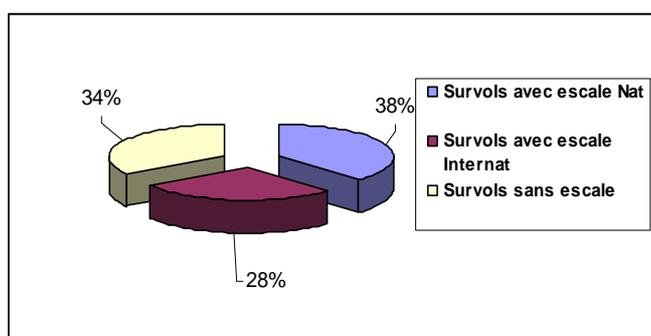
Le graphique suivant, nous montre la densité de chaque secteur ainsi que les variations enregistrées durant la période 2007-2008.



Graphes I.3 : Variation du trafic par secteur 2007-2008.

b) Les flux de trafic principaux :

Le pourcentage des différents types de survols par rapport au nombre total de vol est déterminé par rapport aux données statistiques de l'année 2008 (Voir le graphique I.4). Comme nous l'avons déjà constaté, le trafic en survol avec escale national a connu une hausse sensible. Ce dernier représente 38 % du trafic global.



Graphes I.4 : La parité de trafic par nature de vol.

Outre les liaisons entre l'Algérie et le continent européen ainsi que les liaisons domestiques entre les principales villes du pays, il nous intéresse de connaître les directions des flux de transit sans escale et leurs concentrations. Ces informations sont indispensables pour cibler les zones critiques et les éventuels lieux d'implémentation des moyens de surveillance pour la prise en charge de ces flux de trafic.

D'après les sources de données déjà citées au-dessus (statistiques de l'année 2008) et d'après les avis des contrôleurs de l'ACC Alger, les directions principales du "survol sans escale" sont Nord-Sud et Est-Ouest.

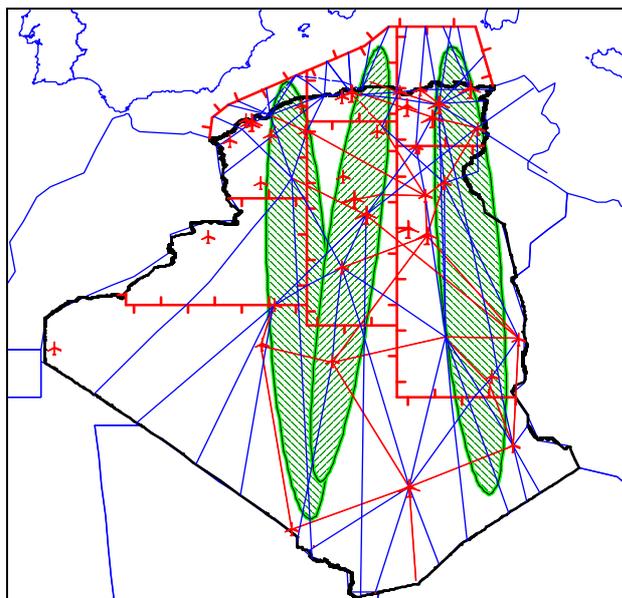


Fig. I.4: Les principaux flux de survol sans escale Nord-Sud. (MapInfo)

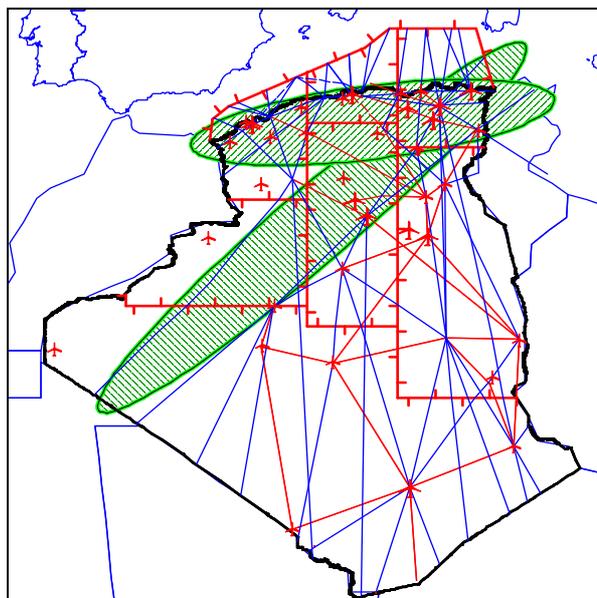


Fig. I.5: Les principaux flux de survol sans escale Est-Ouest et Est-Sud. (MapInfo)

c) Prévision de trafic "en route" à l'horizon 2025 :

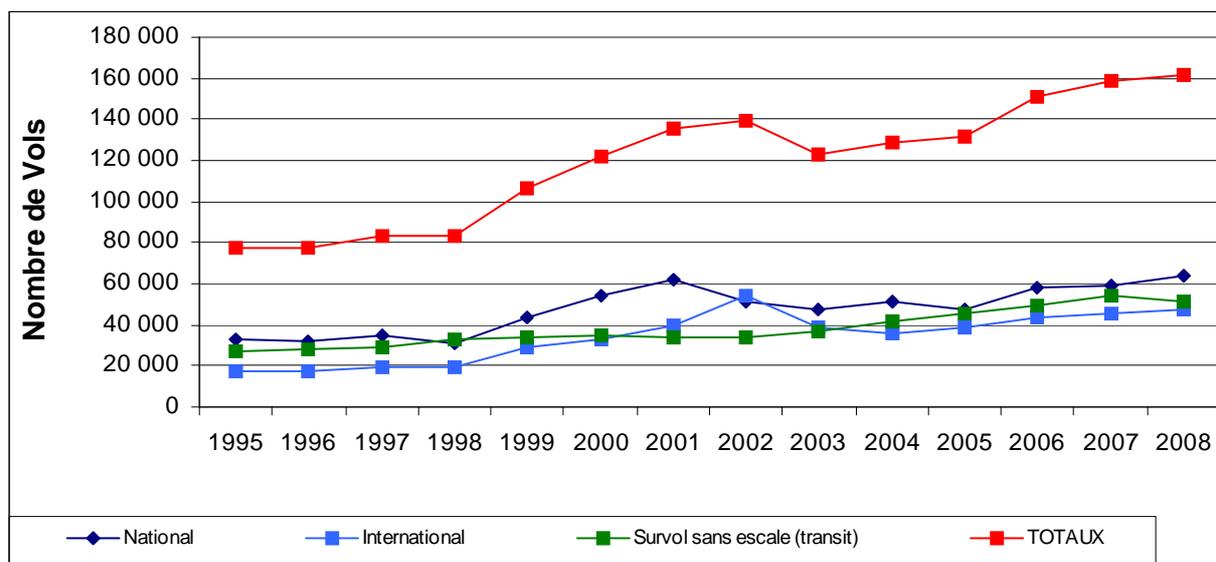
Les prévisions de trafic remplissent une fonction importante, puisqu'elles servent à déterminer à l'avance les installations et services qui seront nécessaires pour répondre à la demande de déplacements par avion ainsi que les endroits et les moments où ils risquent d'y avoir des encombrements de l'espace aérien et des aéroports. Elles jouent aussi un rôle spécial dans la planification d'une mise en oeuvre rationnelle des systèmes de communications, navigation, surveillance et de gestion du trafic aérien (CNS/ATM). [4]

Tout d'abord voyant l'évolution du trafic durant la période 1995-2008. D'après le tableau suivant, le résultat moyen de la croissance de trafic total est de 6.2%.

Tableau I.3 : Evolution du trafic route durant la période 1995-2008. [8]

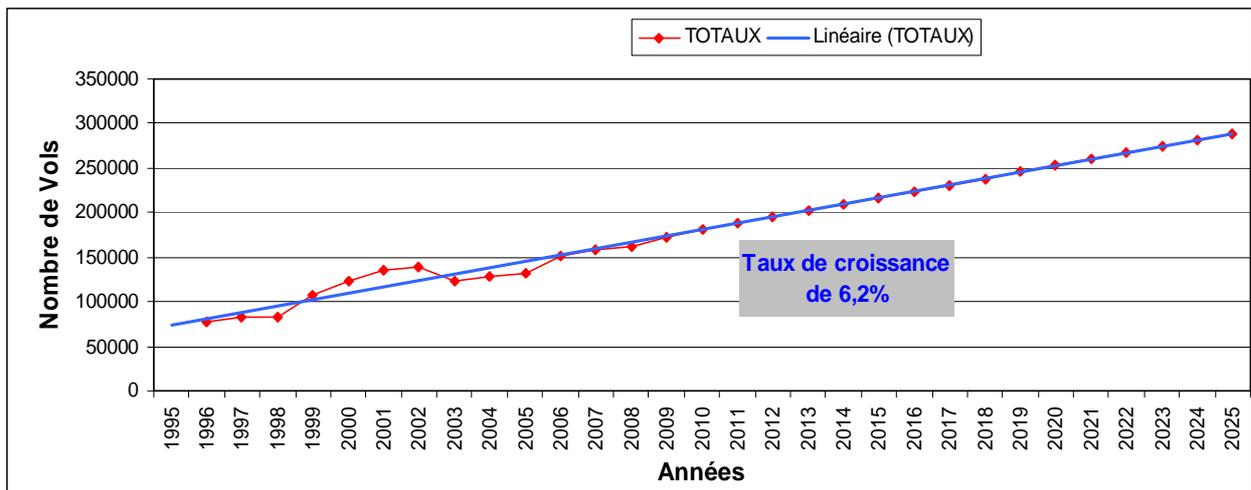
	Survol avec escales		Survol sans escale	TOTAUX
	National	International		
1995	32 510	17 430	27 386	77 326
1996	31 661	17 045	28 449	77 155
1997	35 222	18 914	28 606	82 742
1998	30 887	19 393	32 722	83 002
1999	43 691	28 629	34 173	106 493
2000	54 027	33 242	35 010	122 279
2001	61 657	39 925	33 444	135 026
2002	51 343	54 562	33 774	139 679
2003	47 506	38 440	36 581	122 527
2004	51 162	36 144	41 310	128 616
2005	47 470	38 827	45 101	131 398
2006	58 096	43 718	49 469	151 283
2007	58 836	45 404	54 268	158 508
2008	63 513	47 680	57 121	168 314
Croissance annuelle Moyenne %	5,3	8,0	5,8	6,2

Le graphe ci après montre que le trafic aérien en Algérie a connu une forte augmentation depuis 1998 jusqu'à la fin de l'année 2002 où certains évènements comme le 11 Septembre et en particulier la disparition de la compagnie Khalifa Airways ont fait chuter le trafic de manière significative. Au-delà de l'année 2003, le trafic n'a pas cessé d'évoluer, toujours avec des variations fluctuantes, mais avec un nombre de vols plus élevé. En effet le secteur aérien algérien maintient ses performances en raison de la qualité de ses aéroports et de leurs services, ainsi que l'évolution très rapide des technologies (ADS-C / CPDLC). En outre, l'ouverture de l'économie de marché en Algérie a permis l'accroissement du flux de passager et de marchandise hautement bénéfique pour notre pays.

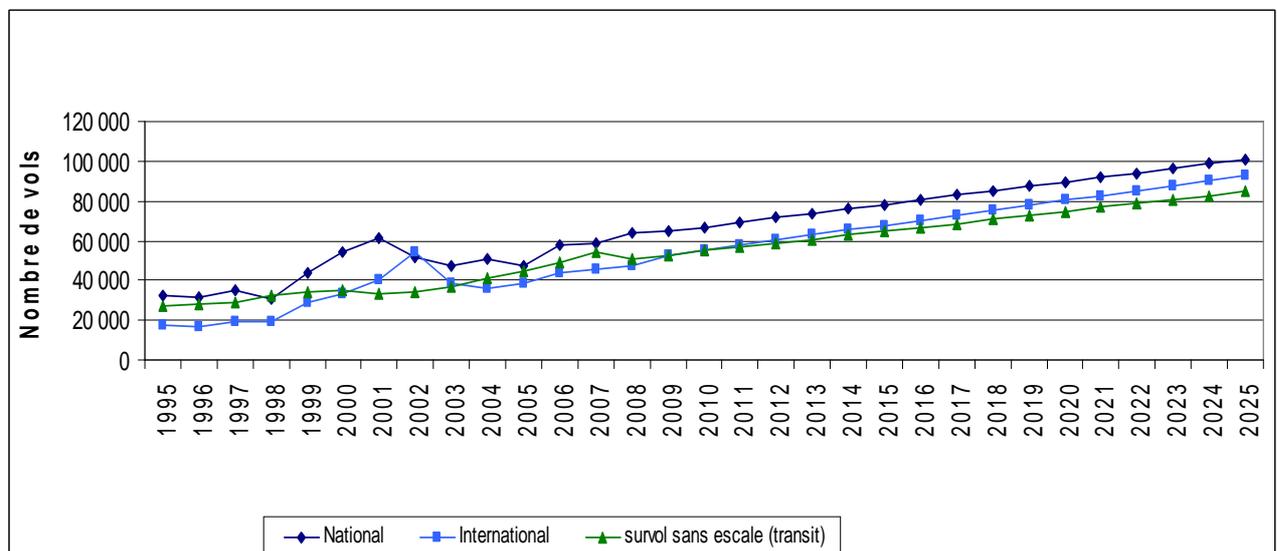


Graphe I.5 : Évolution du trafic en route (1995-2008).

Compte tenu des différents facteurs déjà cités au début du paragraphe I.3.3.1, et sachant qu'en sécurisant l'espace aérien Algérien par l'exploitation des technologies ADS-C/CPDLC, ainsi l'application de contrôle radar dans la totalité du partie Nord de la FIR (à partir de 2009) et l'utilisation des nouveaux systèmes CNS/ATM en Algérie dans l'avenir, le trafic prévisionnel aura probablement tendance à reprendre révolution des années précédentes et peut être plus. Cependant, nous nous tiendrons à l'hypothèse d'une augmentation de 6.2% par an du nombre de vols. Ce qui permet d'extrapoler l'évolution présentée dans le graphique qui suit, où l'on remarque que le trafic à l'horizon 2025, aura une augmentation probable passant de 168 314 à plus de 288000 vols par an.



Graph I.6 : Tendence d'évolution jusqu'à 2025.



Graph I.7 : Prévision de trafic en route jusqu'à 2025.

I.3.3.2 Le trafic aérien d'aérodrome :

Intéressons-nous particulièrement au "trafic aérodrome", ce qui nous permettra d'identifier les principaux aérodromes en nombre de mouvements.

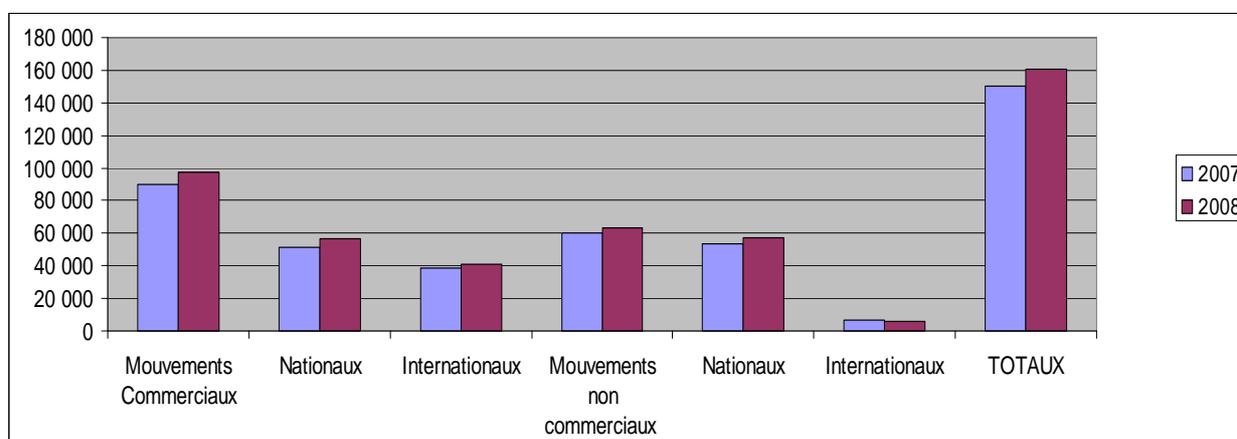
Le nombre de mouvements (arrivées + départs) enregistrés durant l'exercice 2008, par l'ensemble des 36 aérodromes ouverts à la CAP s'élève à 160 976, soit une augmentation de 7,1% par rapport à l'année 2007. Pour les mêmes raisons déjà cités dans le paragraphe I.3.3.1.

On remarque par ailleurs, que le nombre de mouvements non commerciaux a connu une chute de 9,3% comme l'indique le tableau suivant :

Tableau I.4 : Variation du trafic aérien d'aérodrome. [8]

	2007	2008	Var en % (08/07)
Mouvements Commerciaux	89 920	97 679	8,6
Nationaux	51 293	56 772	10,7
Internationaux	38 627	40 907	5,9
Mouvements non commerciaux	60 365	63 297	4,9
Nationaux	53 412	56 990	6,7
Internationaux	6 953	6 307	-9,3
TOTAUX	150 285	160 976	7,1

Le tableau précédent nous permet d'illustrer ces variations dans le graphique qui suit :



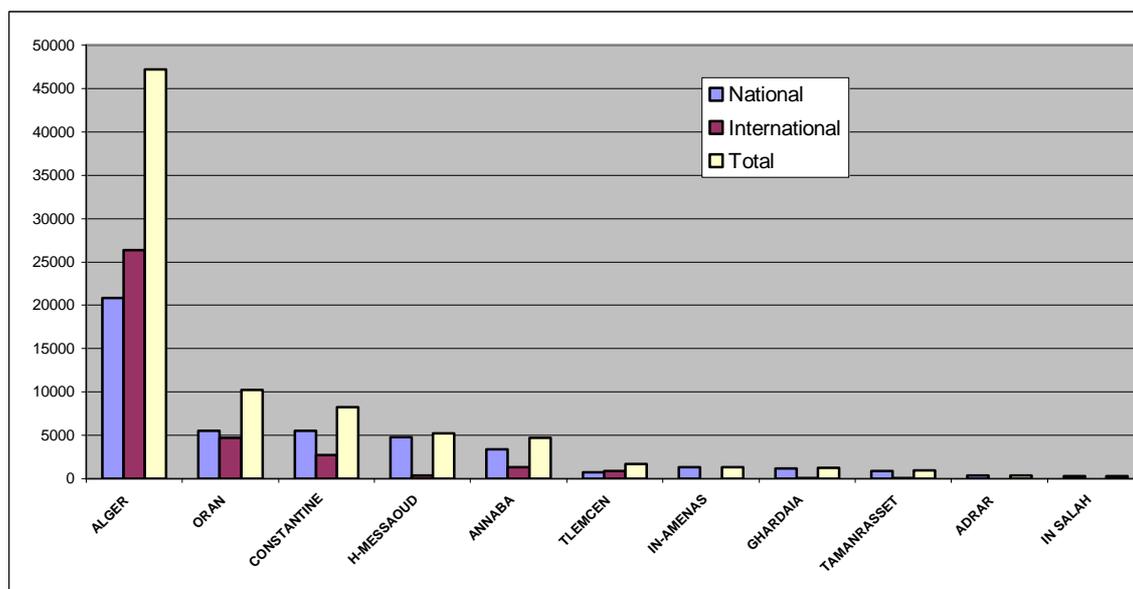
Graphe I.8 : Le trafic aérien d'aérodrome 2007-2008.

a) Le trafic aérien commercial :

Le trafic commercial total en 2008 s'élève 97679 mouvements, repartis comme suit :

- 56772 mouvements internationaux, représentant 41,9% du total commercial ;
- 40907 mouvements nationaux, représentant les 58,1 % regain.

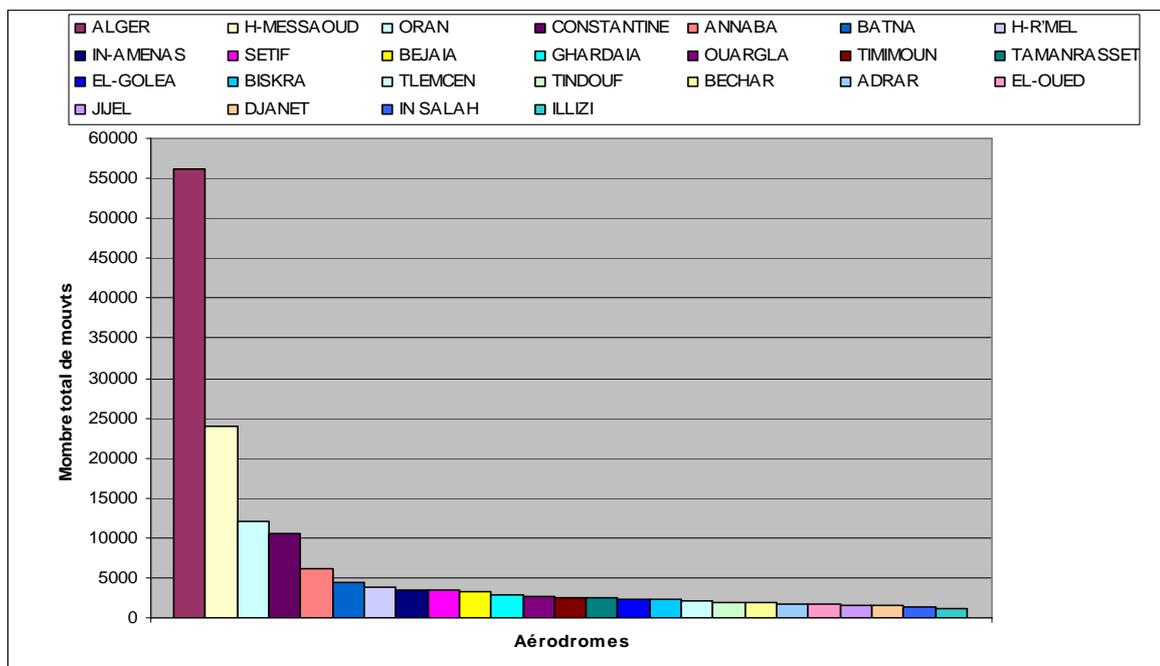
Par ailleurs, on notera que les aérodromes internationaux ont traité 83,5% du trafic commercial total (Voir Annexe 04). Les onze aérodromes ayant traités le plus grand nombre de mouvements sont présentés sur le graphique qui suit :



Graph I.9 : Mouvements commerciaux des aéroports internationaux en 2008.

Pratiquement la grande majorité du trafic part d'Alger vers plusieurs destinations du territoire national ce qui rend l'aéroport Houari Boumediene très sollicité en mouvements aussi bien départs qu'arrivés.

En prenant en compte tous les types de vols confondus, on remarque dans le graphique qui suit que l'aéroport de Hassi Messaoud passe de la quatrième à la deuxième position après Alger. Ceci est dû à la localisation d'une grande zone pétrolière dans cette région.



Graph I.10 : Mouvements totaux « commerciaux/non commerciaux » de certains aéroports.

I.4 Situation actuelle Communication, Navigation, Surveillance

I.4.1 Communication :

- Les communications vocales air-sol se font par VHF, dans :
 - Les secteurs centre, Est et Ouest ou une double couverture est disponible à partir de FL 200 ;
 - Les secteurs Sud/Est, Sud/Centre et Sud/Ouest, disposant d'une simple couverture ;
 - Le secteur Sud/Sud n'est pas totalement couvert par la VHF. La HF est utilisée pour les zones non couvertes par les moyens de communication.
- Les communications du service fixe :

La figure I.6 présente les liaisons télégraphique (RSFTA) nationales et internationales. Il existe quatre liaisons télégraphiques internationales avec l'Algérie : Tunis, Niamey, Casablanca, et Bordeaux. Cette dernière comprend aussi une liaison de transmission de données.

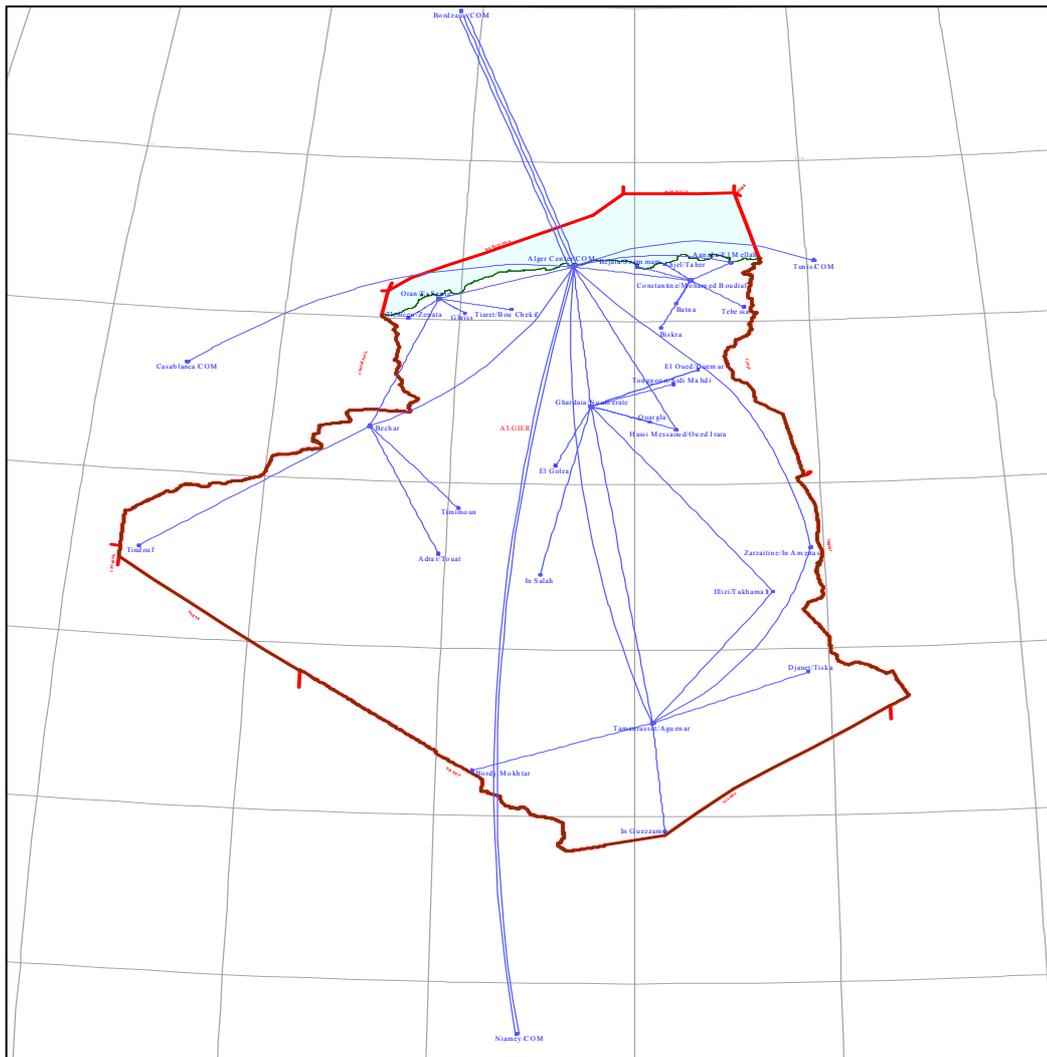


Fig. I.6 : RSFTA national et international. [9]

Tableau I.5 : Moyens de communication. [10]

Type d'Equipement	Nombre
- Antenne Avancée	17
- Station VSAT*	15
- Station Emetteur-Récepteur Haute Fréquence	08
- Emetteur-Récepteur VHF Tour	34
- Emetteur-Récepteur VHF CCR	03
- Enregistreur	27
-Station Inmarsat	06
- Thuraya	18

I.4.2 Navigation :

Le tableau suivant, répertorie les équipements de navigation en cours d'exploitation :

Tableau I.6 : Moyens de Radionavigation. [10]

Type d'Equipement	Nombre
- ILS (Instrument Landing System)	13
- VOR (VHF Omni Range)	39
- DME (Distance Measuring Equipement)	45
- NDB (Non Directional Beacon)	33
- VOR Mobile	06
- Radiogoniomètre	09

Pour renforcer et améliorer la sécurité, la capacité, et l'efficacité du système de la navigation aérienne de l'espace algérien, l'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA) a sélectionné Thales Air Traffic Management (ATM) pour la fourniture de systèmes d'aide à la navigation et à l'atterrissage.

I.4.3 Surveillance :

Jusqu'à l'année 2004, la seule méthode utilisée dans le contrôle de la circulation aérienne été la méthode de contrôle aux procédures qui se base sur les comptes rendus de positions des aéronefs effectués par les pilotes. Toutefois un système de visualisation du radar de Palma (Espagne) a été mis en place depuis quelques années au niveau du centre de contrôle régional pour la surveillance des avions en entrée et sortie de la FIR Algérienne.

* Technologie VSAT permet d'établir des communications point à point par satellite avec des antennes de taille réduite.

Par ailleurs l'Etablissement National de la Navigation Aérienne a réalisé un vaste programme de modernisation de ses moyens et systèmes de traitement automatique à l'usage des services du trafic aérien. Ce programme nommé TRAFCA pour Traitement Automatique de Fonctions de la Circulation Aérienne a entre autres pour objectif de mettre en oeuvre un système de visualisation en temps réels des mouvements aériens dans l'espace national. A cet effet, il a été réalisé pour la partie surveillance, l'installation de cinq radars ALENIA MARCONI ; un primaire (PSR) et cinq secondaires mono pulse (SSR) de portée théorique 256 NM / FL 600; localisés comme suit :

- PSR Alger CCR / Oued Smar;
- SSR Alger CCR / Oued Smar;
- SSR El Bayadh, (Djebel Bouderga);
- SSR Aéroport d'El Oued;
- SSR Oran (Mardjadjou) ;
- SSR Annaba (Station Séraïdi).

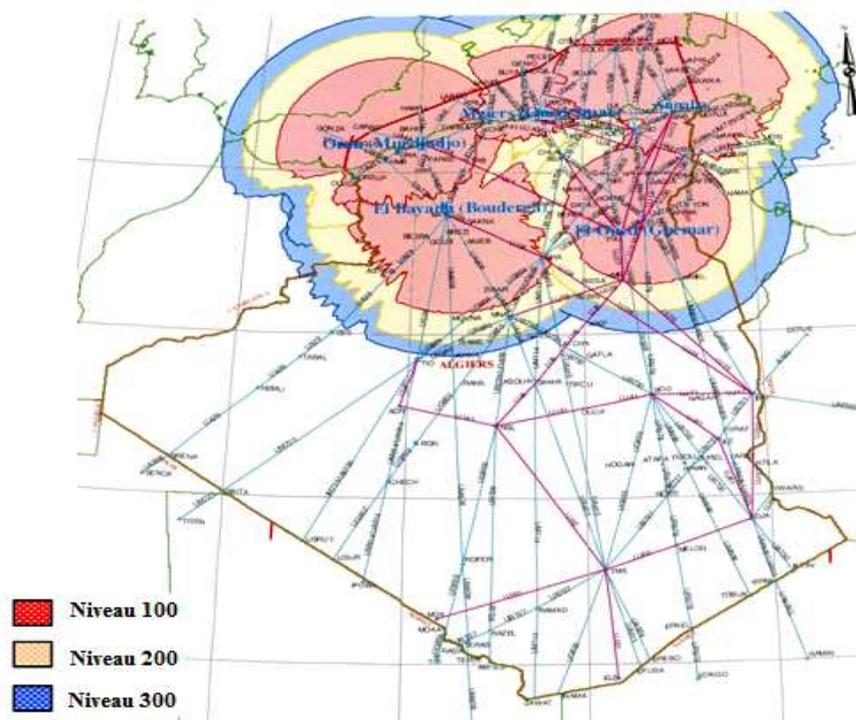


Fig. I.7 : Couverture Radar Actuelle. [10]

Il faut noter que les couvertures présentées sur la figure I.8 sont indicatives et valables au moins à partir niveau FL150. En effet, la couverture se dégrade en fonction de la présence de relief, en particulier sur la région de Boussaâda.

En complément pour la partie surveillance, la Surveillance Dépendante Automatique Contract (ADS-C) est utilisée au CCR d'Alger pour les espaces aériens non couverts par les radars et pour la moitié sud de l'Algérie.

Un radar de surface est également installé à l'aérodrome Houari Boumediene pour la gestion des mouvements au sol qui cause certains problèmes après la finalisation du projet d'extension des parkings avions ainsi l'existence de plusieurs zones aveugles pour le contrôleur, notamment lors de l'évolution des avions dans la zone de fret.

I.5 Les moyens de surveillance mis à disposition de l'ATC

Dans cette partie nous présentons les technologies qui ont récemment été mises à disposition du contrôle aérien à savoir, les radars PSR et SSR, et l'ADS-C/CPDLC en faisant ressortir les avantages et inconvénients de chacune d'elles. Par ailleurs, cette démarche nous a permis de montrer qu'à long terme et dans un certain contexte opérationnel, ces technologies montreront probablement leurs limites, des améliorations pourront alors être apportées au contrôle aérien Algérien en terme de sécurité et de capacité, notamment par l'implémentation de l'ADS-B.

I.5.1 Le radar primaire :

Le radar primaire est un équipement de détection ayant une portée d'environ 100 Nm (pour les radars civils), muni d'un faisceau fin balayant en azimut sur 360° autour de la station pour fournir la position d'une cible en coordonnées polaires (distance et azimut).

En contrôle de la circulation aérienne, cette visualisation des aéronefs dans un volume d'espace donné fournit aux contrôleurs une vue en plan du trafic considéré.

Toute fois la détection des mouvements au sol par radar primaire est plus délicate que celle des mouvements en vol, à cause de la présence plus marquée des échos de sol. Elle ne s'avère nécessaire que dans les cas de mauvaise visibilité de la plate forme aéroportuaire depuis la tour de contrôle ou dans les cas d'une forte complexité de circulation sur l'aire de manœuvre.

Un radar de surface apparaît apporter un complément de sécurité en permettant au contrôleur tour de vérifier que la piste est inoccupée, d'identifier les véhicules et les avions et de présenter une situation du trafic au sol équivalente à celle du trafic en vol.

Le radar PSR, installé à proximité (environ 5 Km) de l'aérodrome d'Alger, est destiné principalement au contrôle d'approche compte tenu du volume de trafic relativement important traité par cet aérodrome. Il possède une portée théorique de 80 NM et détecte les aéronefs jusqu'à FL270.

Tableau I.7 : Avantages et inconvénients du PSR.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Détection de tous les aéronefs ; • Aucun équipement bord nécessaire (surveillance indépendante) ; • Excellente résolution, intéressante pour le guidage. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilité au fouillis (clutter) ; • Coût d'infrastructure très élevé ; • Pas d'identification des avions, ni d'altitude.

I.5.2 Le radar secondaire :

Le radar secondaire, de technique mono impulsion, localise les avions sur le même principe que le radar primaire sauf qu'ici, l'onde émise sollicite un équipement bord "le transpondeur" qui répond aux interrogations du radar. La collaboration de l'avion est donc impérative pour ce système qui offre en outre la possibilité d'accès aux modes A et C essentielles au contrôle de la circulation aérienne.

Les radars SSR installés en Algérie sont destinés au contrôle en route et d'approche.

Avantages et inconvénients

Les avantages sont :

- La possibilité d'avoir des informations d'identifications de l'aéronef (mode A) et d'altitude (mode C) ;
- La portée qui peut atteindre 250 NM à 280 NM.

Les inconvénients majeurs sont :

- Le chevauchement synchrone ou *garbling* consistant en la superposition des réponses de deux avions se trouvant à la même distance du radar ;
- Les réponses asynchrones ou *fruit* correspondant à la réception d'une réponse qu'un avion fait à l'interrogation d'un autre radar, et pouvant créer un plot fictif ;
- Coût d'infrastructure élevé ;
- Nombre limite de "code A", ce qui pose problème dans les zones denses ; dans la logique SSR, chaque avion se voit allouer un code constitué de 4 chiffres (chiffre strictement inférieur à 8). Il se trouve que le nombre de combinaisons possibles (4096) peut devenir insuffisant dans les zones de trafic très denses.

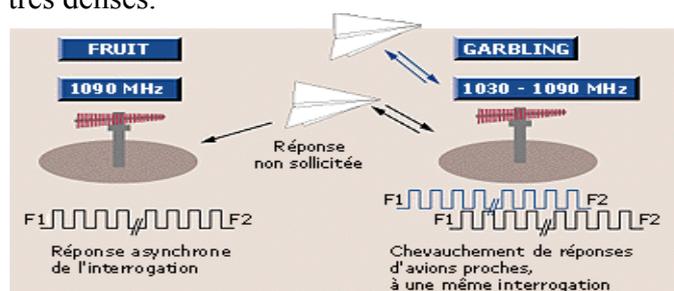


Fig. I.8 : Limitations du radar secondaire. [11]

I.5.3 La Surveillance Dépendante Automatique - Contract (ADS-C) :

L'ADS-C est une technique de surveillance air/sol pour laquelle l'avion transmet au sol automatiquement, dans le cadre d'un ou plusieurs contrats établis entre bord et sol, un report périodique de sa position et tout autre paramètre demandé par le contrôle via une liaison de données point à point. Il existe trois medium de communication sol/bord qui peuvent être utilisés : le SatCom, la VHF data link mode 2 (VDL mode 2), et la HF data link.

On notera, qu'aujourd'hui seul la VDL mode 2 et le Satellite sont recommandés par l'OACI.

L'ADS-C nécessite un réseau de télécommunication mobile capable de maintenir une connexion "point à point" entre un aéronef en vol et une station fixe au sol. Il y a deux réseaux susceptibles de remplir cette exigence. Il s'agit de l'ACARS (aircraft communication addressing and reporting system) et de l'ATN (aeronautical telecommunication network).

Les données transmises incluent au minimum, l'identification de l'aéronef, sa position 4D (position 3D et le temps de génération du message ADS time stamp) et la précision des reports ADS-C calculés, appelée FOM. Des données additionnelles peuvent être aussi transmises telles que le cap, la vitesse, etc. Le contrat ADS-C est le mécanisme par lequel, un centre ATC équipé spécifie les conditions dans lesquelles les reports entre le système bord et la fonction sol doivent s'exécuter.

Les contrats peuvent être soit de type périodique soit de type événementiel :

- Dans le cadre d'un contrat périodique, l'avion transmet des messages ADS-C dont la teneur et la fréquence d'émission sont prédéfinies par les utilisateurs sol. Le contrat périodique demeure actif jusqu'à l'émission de message d'annulation;
- Dans le cas d'un contrat événementiel, l'avion émet un message ADS-C lorsque l'avion détecte une condition de déclenchement, il peut s'agir : du passage à la verticale d'un point de compte rendu de position ou d'un de cheminement "waypoint", du début d'exécution d'une manœuvre de changement d'altitude ou de cap, de la déviation latérale par rapport à la route...etc. Ces événements sont prédéfinis par le contrôleur.

On parle également du contrat à la demande pour lequel l'avion émet des messages ADS-C à la demande des utilisateurs sol.

Un aéronef peut avoir plusieurs contrats simultanément avec plusieurs fonctions sol distinctes (par exemple avec le centre ATC et les opérations aériennes de la compagnie). Un maximum de cinq correspondants est possible à ce jour. Néanmoins, chaque contrat ADS-C est spécifique entre une fonction sol et un aéronef.

Avantage et limites de l'ADS-C

- Les avantages :

L'ADS-C permet d'assurer la fonction de surveillance là où le SSR n'est pas économiquement envisageable ni possible. C'est le cas des vastes espaces aériens océaniques et par similitude les vastes étendues désertiques comme ceux du sud Algérien.

L'ADS-C permet au système ATC d'acquérir automatiquement certaines données bords comme la route vraie, la vitesse etc.... Cette acquisition a pour effet d'améliorer la connaissance de la situation aérienne par le contrôleur et de réduire les minima de séparation. A cet effet, EUROCONTROL estime que l'ADS-C a le potentiel de réduire les normes de séparations appliquées dans les espaces aériens procéduraux.

Lorsque l'ADS-C repose sur la liaison des données par satellite, il permet au contrôle sol d'acquérir des données de surveillance en basse altitude et dans les autres zones où le radar et la VHF, du fait de leur limitation de portée optique est aveugle.

La gestion de vol : les données ADS peuvent être utilisées dans les techniques d'économie de carburant. Par exemple : en améliorant l'utilisation des routes flexibles en zone océanique par l'optimisation des taux de changement de niveau de vol qui permet aux avions d'évoluer à leurs niveau de vol optimal.

- Les limites :

- Le délai de transmission, sol air (up-link) et air sol (down-link) reste élevé. Ce délai, en moyenne, supérieur à 30 secondes, interdit l'utilisation de l'ADS-C en approche et dans les zones à forte et moyenne densité de trafic;
- Le système est tributaire des prestataires de services ACARS (ARINC ou SITA) ;
- Selon le type d'équipement, le FOM peut fournir un cercle d'incertitude plus ou moins précis ;
- Les coûts de connexion au réseau ACARS et des communications restent relativement importants.

I.6 Conclusion :

L'Algérie jouit d'une position géographique privilégiée quant au passage de certains flux de trafic Europe-Afrique. L'analyse du système CNS/ATM et notamment de sa partie surveillance montre que des compléments ainsi que des améliorations peuvent être envisagés afin de rehausser le niveau de sécurité des vols et augmenter la capacité de l'espace aérien. Ces mesures nécessitent l'installation d'autres moyens de surveillances modernes reposant sur une technologie performante, fiable et accessible comme le SSR-S, l'ADS-B et la multilatération.

II.1 Introduction

La surveillance est un moyen d'acquérir la position des aéronefs de telle sorte qu'un contrôleur de la circulation aérienne peut établir des séparations minimales entre ces aéronefs.

La surveillance est multiforme, elle peut être :

- **Indépendante** : dans ce cas la position de l'avion est repérée à son insu. Aucun équipement particulier n'est nécessaire à bord. Les moyens de surveillance indépendante sont :

- ✓ Radar de surveillance primaire (PSR) ;
- ✓ Radar de mouvement à la surface.

- **Coopérative** : cette forme de surveillance est ainsi appelée car elle nécessite la collaboration de l'avion, le calcul de la position restant fait par un équipement au sol. C'est le principe de :

- ✓ Radar secondaire ;
- ✓ Mode S ;
- ✓ Multilatération.

- **Dépendante** : puisque l'avion connaît sa position grâce à ses systèmes de navigation, il peut la transmettre au sol comme tout autre paramètre de bord. Ce type de surveillance dépend donc totalement des moyens embarqués, il suffit d'exploiter un lien de communication avec le sol. On parle alors de :

- ✓ Report de position ;
- ✓ Surveillance automatique dépendante qui peut prendre deux formes : Contrat (ADS-C) ou Broadcast (ADS-B).

II.2 Le radar de surveillance secondaire (SSR) mode S

Le mode S est encore une évolution du radar secondaire il utilise la technique de mesure de l'azimut par monoimpulsion. Le nombre de codes disponibles en mode A et C est limité (4096 codes seulement) et devient insuffisant pour les besoins actuels. Le mode S permettra donc une véritable liaison de données. Au lieu d'un code, l'immatriculation ou indicatif de l'avion pourra être transmis. Au lieu de l'altitude, n'importe quelle donnée pourra être transmise, aussi bien de l'avion vers le sol que du sol vers l'avion. Les applications sont nombreuses.

II.2.1 Le concept de base :

Il tient en un mot : sélectivité, de manière à éliminer complètement les problèmes du radar secondaire classique (SSR). Dans le cas de ce dernier, les avions ont à bord un transpondeur qui répond à toutes les interrogations qu'il reçoit, ce qui peut provoquer les ennuis cités dans le paragraphe I.5.2. [11]

Avec le mode S chaque avion, équipé d'un transpondeur Mode S, peut être interrogé séparément des autres avions qui sont également dans le faisceau de l'antenne. Ceci est réalisé en affectant à

chaque avion une adresse unique. Cette adresse est composée de 24 bits ; ainsi 16 millions d'adresses sont disponibles dans le monde. Chaque interrogation mode S contient l'adresse de l'aéronef au quel elle est destinée. Recevant une telle interrogation, un transpondeur mode S compare l'adresse reçue à sa propre adresse et répond à l'interrogation si les deux adresses correspondent ; sinon, il ignore l'interrogation. [12]

La mission de SSR mode S peut se résumer à la détermination chaque tour des informations suivantes :

- Une information de position 3D : distance, azimuth et altitude fournie par le Mode C ainsi qu'un vecteur vitesse. La probabilité de détection doit être de plus de 97% pour les avions équipés de transpondeurs Mode A/C uniquement et de plus de 99% pour les avions équipés de transpondeurs Mode S.
- Des informations permettant l'identification de l'avion : Mode A pour les avions non équipés de transpondeur Mode S, et pour ceux qui le sont, l'adresse technique et le numéro de vol en supplément. Ces identifiants supplémentaires pourront être utilisés en lieu du Mode A par les applications ATC.
- Pour les avions Mode S, la transmission du Mode C avec un pas de quantification de 25 pieds permet d'améliorer la poursuite en niveau, et l'état du vol, utilisé par les systèmes anticollision ACAS.

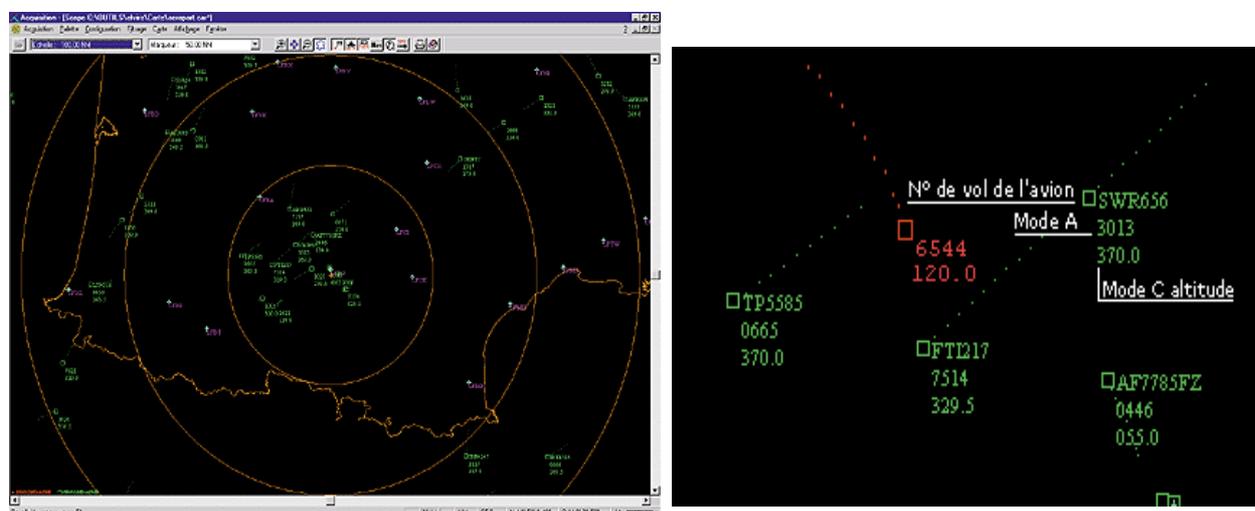


Fig. II.1 : Visualisation du trafic aérien de la station expérimentale Mode S de Toulouse. [13]

Cette mission permet d'assurer le service de surveillance élémentaire qui peut être amélioré en exploitant les paramètres bord extraits par une station Mode S. Cette exploitation peut prendre la forme :

- d'une amélioration des algorithmes d'une application ATC permettant de mieux déterminer les trajectoires ou les intentions de l'avion (poursuite multiradar, filets de sauvegarde),

- ou encore d'un simple affichage de ces paramètres afin que le contrôleur dispose d'informations supplémentaires sans avoir à les demander directement au pilote.

II.2.2 La Technique Monopulse :

L'adressage sélectif nécessitait des formats longs et une augmentation importante du temps d'interrogation par avion. Comme le temps d'éclairement d'un avion, lui, était incompressible (à moins de réduire la vitesse de rotation d'antenne, mais alors c'était le taux de renouvellement qui chutait), on devait s'attendre à ce que le nombre de réponses dans un lobe d'antenne diminue considérablement.

Ceci avait une implication importante sur le procédé de détermination de l'azimut que devrait utiliser un tel radar. Un radar à mode sélectif devait pouvoir déterminer l'azimut d'un avion sur une seule réponse.

Jusqu'alors, sur une seule récurrence (interrogation-réponse), un radar classique ne pouvait attribuer à l'avion que l'azimut de pointage de l'antenne alors que l'avion peut se trouver n'importe où dans le lobe dont la largeur avoisine 3°. L'azimut est finalement calculé sur la moyenne de toutes les réponses (un avion est "vu" 30 ms, ce qui correspond à une dizaine de réponses).

La technique dite "Monopulse" consiste à comparer le signal reçu d'un avion sur deux voies différentes (gauche et droite en théorie, somme (SIGMA) et différence (DELTA) dans la réalité). La valeur fournie par la fonction de comparaison permet alors (en l'inversant) de connaître l'angle que fait l'avion avec l'axe de symétrie du lobe principal d'antenne. [11]

II.2.3 Emission selon le type du radar :

En premier lieu, le Mode S fonctionne en émission sur 1030 MHz et en réception sur 1090 MHz. C'est une condition nécessaire : dans le cas contraire, il ne pourrait pas être compatible avec les modes classiques.

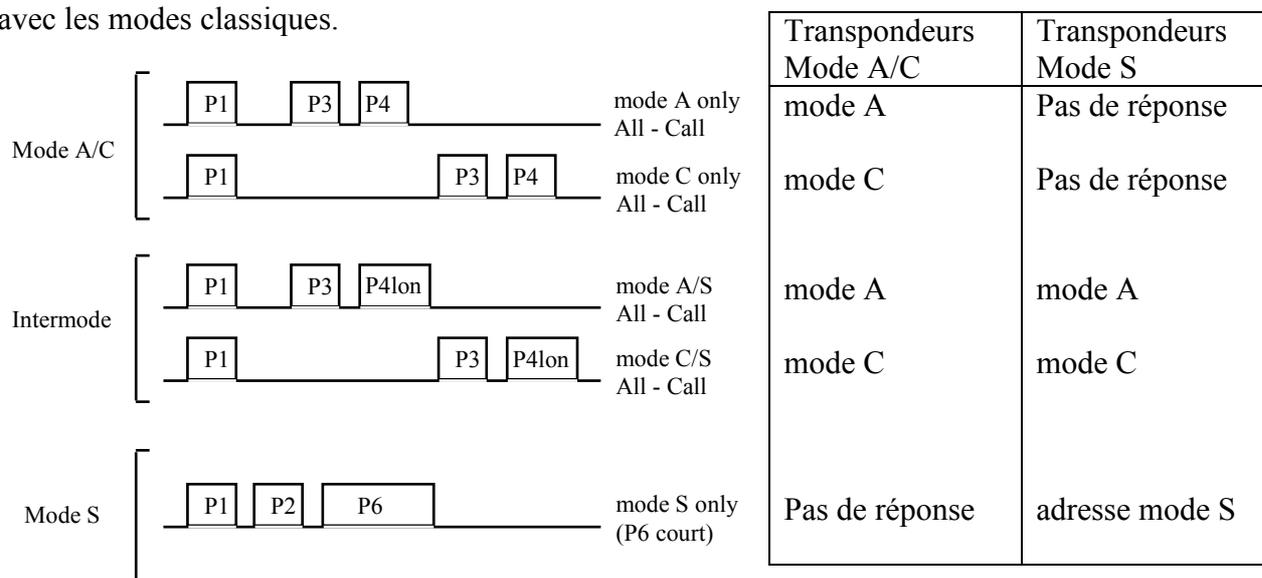


Fig. II.2 : Formats d'interrogation de SSR. [12]

1) Radar secondaire classique ou monoimpulsion :

Emission de P1-P3 ainsi de P2 ; tous les transpondeurs répondent en envoyant F1-F2 et les informations correspondantes au code ou à l'altitude.

2) Intermode « Appel général » :

- P4 = 0,8 μ s : Pas de réponse des transpondeurs mode S. seuls les transpondeurs classiques répondent.
- P4 = 1,6 μ s : Un transpondeur classique répond à P1-P3 suivant le mode concerné et en fonction de P2 ; P4 n'a aucune influence. C'est la compatibilité radar classique-radar mode S. Un transpondeur mode S se voit interrogé et il répond son adresse : c'est la fonction acquisition. Les interrogations sélectives suivantes doivent contenir une consigne de verrouillage pour éviter les réponses aux appels généraux ultérieurs. Une sécurité prévoit le déverrouillage automatique après 18 secondes environ si aucune interrogation sélective n'est parvenue au transpondeur.

3) Interrogation mode S :

Les impulsions P1 et P2 ayant le même niveau, les transpondeurs classiques se croient interrogés sur le lobe secondaire et entrent donc en phase de suppression.

Pour les transpondeurs mode S, l'impulsion P5 joue le rôle de suppresseur d'interrogation sur lobe secondaire.

L'impulsion P6 a une durée de 16,25 μ s ou 30,25 μ s soit 56 ou 112 bits transmis. [12]

Réponses mode S : elle comprend

- 4 impulsions de préambule.
- Un bloc de données.

II.2.4 Acquisition d'un avion Mode S :

Pour surveiller l'ensemble des avions, une station Mode S divise le temps en une succession de périodes All Call (pour l'acquisition des avions Mode S et la surveillance des avions équipés de transpondeurs A/C) et Roll Call (pour la surveillance des avions Mode S).

Il existe donc une compatibilité ascendante avec les radars actuels.

Pour acquérir l'adresse Mode S qui permet d'interroger l'avion sélectivement, une station effectue périodiquement des appels généraux Mode S. Il s'agit d'une interrogation particulière contenant une impulsion reconnue uniquement par un transpondeur Mode S (P6). Lorsque le transpondeur détecte cette impulsion, il introduit dans la réponse son adresse Mode S. La station peut alors interroger l'avion de manière sélective. Il utilise à ces fins des périodes « Roll Call » dans lesquelles il place les interrogations sélectives à effectuer.

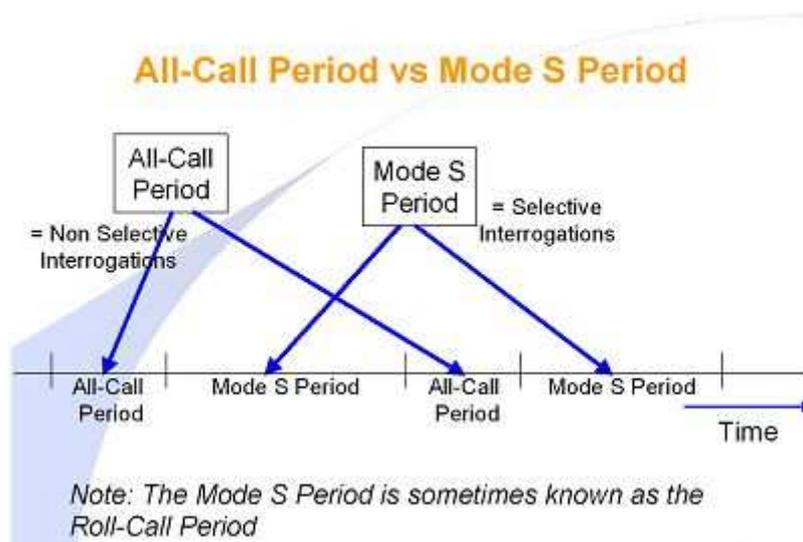


Fig. II.3 : Les périodes d'une interrogation Mode S. [14]

Par ailleurs, la station Mode S verrouille l'avion sur son code identificateur afin que l'avion désormais acquis ne réponde plus aux appels généraux Mode S. Ceux-ci contiennent en effet le code identificateur de la station (code II). Un tel identifiant est codé sur 4 bits, ce qui ne permet que 16 combinaisons. Un transpondeur recevant un appel général Mode S ne répondra plus à cet appel si la station l'a auparavant verrouillé. Il ne répondra qu'aux interrogations sélectives. [11]

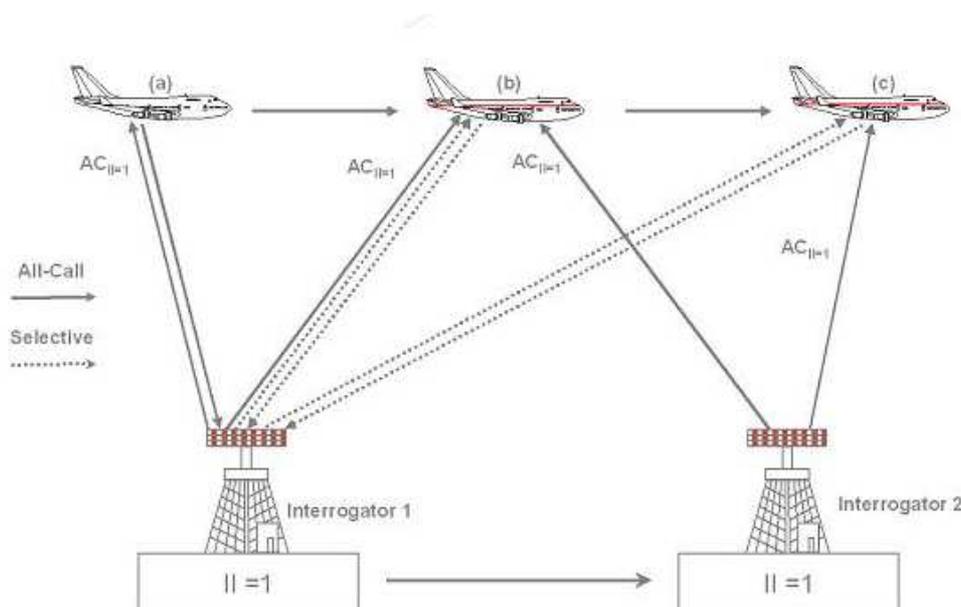


Fig. II.4 : Le principe de verrouillage de radar mode S. [14]

II.2.5 La liaison de données :

Grâce à ces formats plus longs et à sa capacité d'appel sélectif, le Mode S permet d'envoyer des données numériques à un avion particulier, et d'en recevoir aussi bien. Pour ce faire, les transmissions Mode S entre la station et le transpondeur utilisent des formats très

sophistiqués de 56 ou 112 bits que l'on appelle des trames et que l'on peut classer en 3 grandes catégories :

- Les formats de surveillance de 56 bits (parmi lesquels celui incorporant le code Mode A et celui incorporant le code Mode C). Bien sûr, 24 bits sur ces 56 forment le champ adresse/parité :



Fig. II.5 : Format 56 bits de surveillance.

Le cas échéant, le Mode A ou le Mode C est inclus dans les 32 bits de commande. De tels formats peuvent être utilisés dans le sens montant ou le sens descendant.

- Les formats de communication de 112 bits qui possèdent un champ de données de 56 bits, c'est à dire qui sont en fait des formats de surveillance "allongés" (et donc incorporent aussi le cas échéant le code Mode A ou le code Mode C dans les 32 bits du champ de commande):



Fig. II.6 : Format 112 bites de communication « courte ».

- Enfin, pour augmenter la capacité de la liaison de données, un autre type de format a été défini. Toujours de 112 bits, son champ de commande a été réduit de 24 bits, et son champ de données augmenté d'autant :



Fig. II.7 : Format 112 bites de communication « longue ».

En résumé, voici donc quels sont les groupes de formats Mode S :

Nom	sens	champ de données	longueur du champ
Surveillance	les deux sens	Aucun	-----
COMM-A	montant	MA	56 bits
COMM-B	descendant	MB	56 bits
COMM-C	montant	MC	80 bits
COMM-D	descendant	MD	80 bits

II.2.6 Les bénéfiques :

Les radars secondaires Mode S, qui sont une évolution des radars secondaires classiques, permettent:

- L'interrogation sélective (donc sans ambiguïté) des avions équipés d'un transpondeur compatible Mode S, ainsi qu'un véritable échange de données entre le radar et l'avion. Il est possible de demander à l'avion toutes sortes d'informations
- Un des principaux buts de l'interrogation sélective est de limiter la quantité d'ondes électromagnétiques émises dans l'atmosphère ;
- Élimine le garbling et le FRUIT ;
- Introduction de la fonction liaison de donnée, transmission des données de bords au sol (Vitesse, Position, intention,...) ;
- Identification sera directe, avec possibilité d'affichage direct d'informations sur l'écran du contrôleur : identification avion ou numéro de vol ;
- Compatible avec le SSR conventionnel ;
- Le transpondeur Mode S est utilisé conjointement avec le système ACAS II ;
- Facilite une augmentation de la sûreté et de l'efficacité des opérations (ADS-B) ;
- Une meilleure intégrité des données par vérification de parité ;
- Information d'altitude plus précise.

II.2.7 Les travaux internationaux :

Au niveau international, le groupe SICASP de l'OACI est chargé depuis le début des années 1980, de spécifier les recommandations normatives pour le radar Mode S et les applications potentielles. Les SARPS pour le Mode S (station radar et transpondeur Mode S) rassemblées dans l'Annexe 10 de l'OACI ont été révisées en 1993 et 1997. Le Manuel des services spécifiques Mode S a été adopté et publié en 1997.

Au niveau européen, plusieurs Etats (Allemagne, France, Royaume Uni) ont établi des programmes de recherche coordonnés avec Eurocontrol pour la validation des concepts techniques du radar Mode S et de la liaison de données Mode S et se sont dotés de moyens expérimentaux importants. [15]

II.3 La surveillance dépendante automatique - Broadcast ADS-B :

II.3.1 Le concept ADS-B :

L'ADS-B est une application de surveillance qui, au moyen d'une liaison de données en mode diffusion, permet la transmission périodique de paramètres tels que l'identification, la position et l'intégrité de la position d'un aéronef ou d'un véhicule. Tout usager, au sol ou en vol, à portée de diffusion, peut décider de recevoir, traiter et afficher ces paramètres. Les informations

ADS-B sont diffusées sans que l'émetteur sache quels usagers les reçoivent et sans qu'il en attende un accusé de réception ou une réponse.

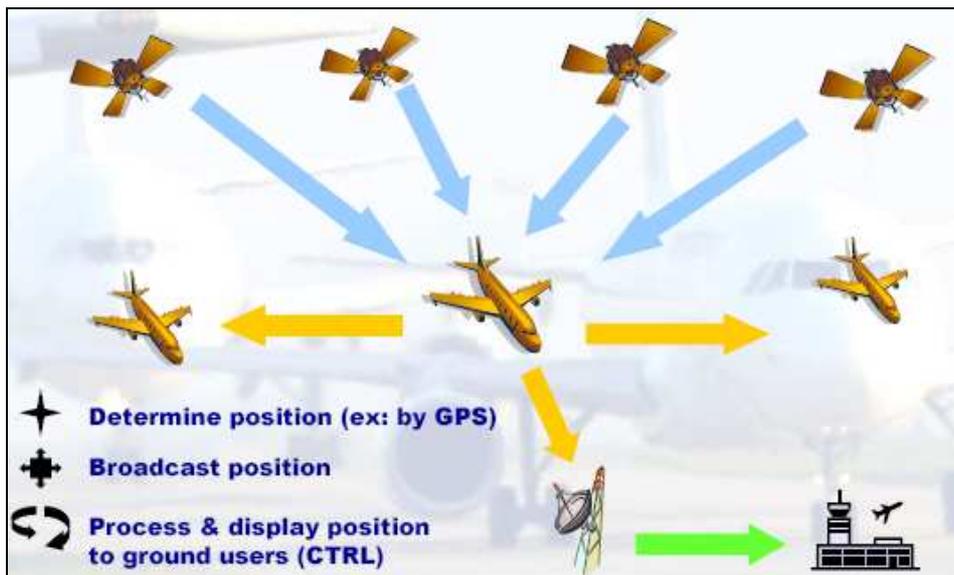


Fig. II.8 : Transfert de données ADS-B. [16]

II.3.2 Fonctionnalité ADS-B :

L'ADS-B est automatique du fait qu'aucune action de l'équipage de conduite ou du contrôleur n'est requise pour qu'une information soit transmise. La surveillance est dépendante du fait que les informations touchant la surveillance dépendent des références de navigation et des capacités de diffusion associées à l'émetteur qui les transmet.

Un système ADS-B se compose des éléments suivants :

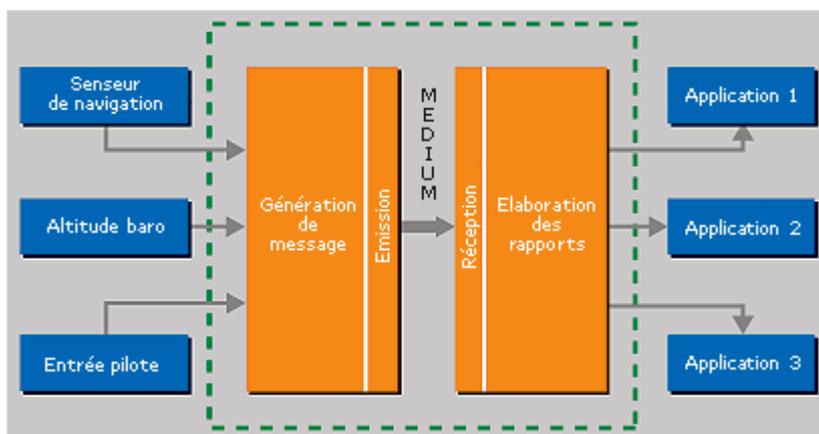


Fig. II.9: Architecture ADS-B. [17]

- Un sous-système de transmission comprenant la fonction de génération (qui fusionne les données provenant des senseurs avion ou d'entrées pilote pour rédiger le message ADS-B) et la fonction de transmission de messages ;
- Un médium de diffusion par liaison de données ;

- Un sous-système de réception comprenant les fonctions de réception des messages et d'assemblage ou élaboration des rapports dans l'aéronef, le véhicule ou le système terrestre qui synthétise les messages réceptionnés pour utilisation dans le cadre de diverses applications.

Il convient d'observer que certains usagers de l'ADS-B peuvent être capables de transmettre sans recevoir, tandis que certains usagers au sol sont capables de recevoir sans transmettre.

Ni les sources des informations transmises ni les applications des usagers ne sont considérées comme faisant partie du système ADS-B, mais leurs caractéristiques de performance doivent faire partie de la définition de performance globale du système ADS-B. [18]

II.3.3 L'environnement de l'ADS-B :

Les environnements opérationnels dans lesquels l'ADS-B sera utilisé peuvent avoir une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

a) infrastructure hétérogène, de l'absence totale de moyen de surveillance à la coexistence de l'ADS-B avec différents types de sources de données conventionnelles telles que :

- Le radar primaire de surveillance qui est un système indépendant, car les systèmes de traitement associés lui permettent de déterminer les données avion telles que la position, la vitesse et non coopératif, car il ne nécessite l'emport d'aucun équipement embarqué spécifique. Par contre, il ne connaît ni l'altitude, ni l'identité des aéronefs qu'il détecte ;
- Le radar secondaire de surveillance est un système quasi indépendant car mise à part l'information d'altitude, il calcule ses propres données de surveillance, mais coopératif car il nécessite la disponibilité du transpondeur. Par contre, il ne voit pas les aéronefs non équipés de transpondeurs ;



Fig. II.10 : ADS-B avec PSR et SSR. [19]

- b) variété des niveaux d'équipements embarqués;
- c) variété des types d'espace aérien (c'est-à-dire, niveaux différents de densité de trafic);
- d) variété des phases de vol, c'est-à-dire activités à la surface des aéroports, dans les TMA, en route, en espace continental, en espace océanique, etc.;
- e) variété des types d'applications et de services dans des environnements différents.

Ce dernier problème ne pourra être définitivement résolu qu'à partir du moment où tous les aéronefs seront équipés ADS-B. Cependant, comme il n'est prévu, à ce jour, par aucun d'Etat, d'imposer l'emport d'un équipement ADS-B à bord des aéronefs. [17]

II.3.4 Les applications ADS-B :

Deux catégories d'application sont définies :

- **ASA**: Airborne Surveillance Applications / Applications Air-Air

Pour une meilleure connaissance du trafic environnant grâce à la présence d'un CDTI (Cockpit Display of Traffic Information).

Le but est de donner à terme la possibilité aux pilotes d'effectuer leurs propres séparations; ceci entraînera graduellement le transfert de la responsabilité de séparation du contrôleur vers le pilote → 'Free Flight';

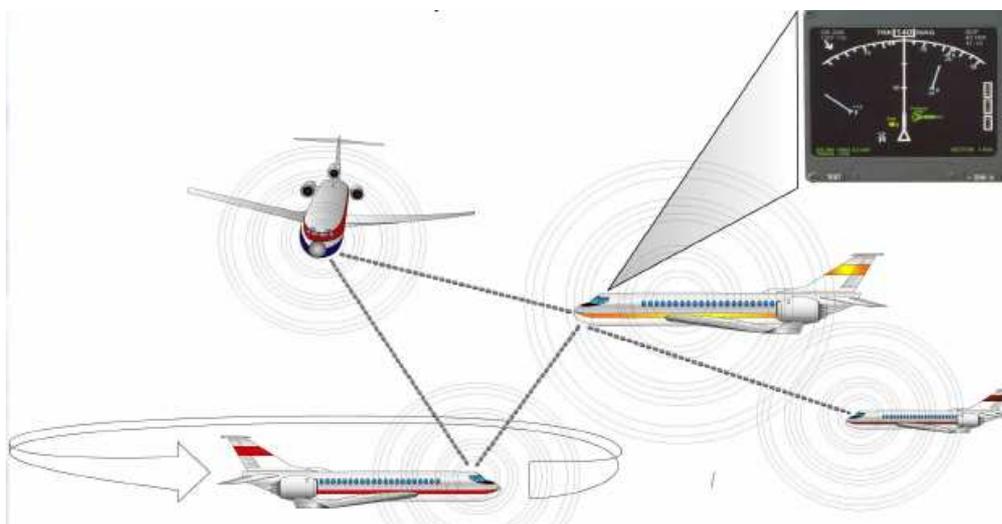


Fig. II.11: visualisation à bord de la situation du trafic (CDTI). [16]

- **GSA** : Ground Surveillance Applications/ Applications Air-Sol:

Le but est d'améliorer les procédures actuelles. Elles sont classées en :

- Surveillance ATC en route (ADS-B-ACC);
- Surveillance ATC en TMA (ADS-B-TMA);
- Surveillance ATC en zone non radar (ADS-B-NRA);
- Surveillance de la surface aéroport (ADS-B-APT).

1. ADS-B-RAD: surveillance en zone radar (en route et en TMA)

- Améliore la surveillance en route dans les zones déjà couvertes par le radar;
- Constitue un secours en cas de panne Radar;
- Moyen unique de surveillance dans les zones à faible et moyenne densité de trafic (validation en cours, nécessite une étude de sécurité).

2. ADS-B-NRA: surveillance en zone non radar

- Permet la surveillance dans les zones non radar; Ex : zones océaniques; désertiques...où le niveau de trafic et le coût de l'équipement radar et son exploitation ne justifient pas son installation ;
- La surveillance pour les besoins du service d'informations de vols et service d'alerte ;
- Service de type Radar : Application des normes de séparation radar; sujet à une étude de sécurité et validation en cours.

3. ADS-B-APT: surveillance de la surface aéroport

- Fournit une nouvelle source d'informations de surveillance pour une gestion plus sûre et plus efficace des mouvements au sol dans les aéroports dotés ou pas de SMGCS ;
- Aéronefs et véhicules au sol peuvent être dotés d'équipements de visualisation des mouvements au sol. [19]

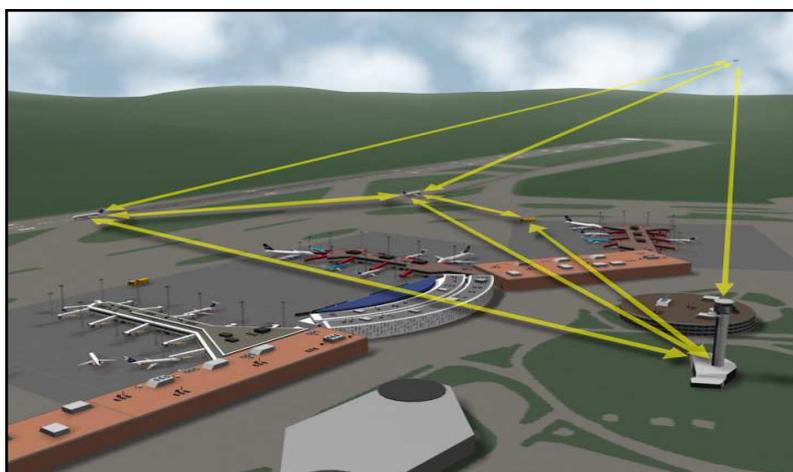


Fig. II.12: Surveillance de la surface aéroport par l'ADS-B.

Définitions OACI**SMGCS :**

Dans leur conception la plus simple, les SMGCS se composent de lignes de guidage peintes au sol et de panneaux de signalisation, alors que les plus perfectionnés et les plus complexes utilisent aussi des feux axiaux de voie de circulation et des barres d'arrêt commutables

A-SMGCS :

Système fournissant des indications d'acheminement (de routage), de guidage et de contrôle des aéronefs et des véhicules pour préserver le flux des mouvements sol déclaré dans

toutes les conditions météorologiques comprises dans le niveau opérationnel de visibilité d'aérodrome en maintenant le degré de sécurité requis. [20]

II.3.5 Medium ADS-B (Les liaisons de données) :

A ce jour, trois media différents sont disponibles avec des degrés de standardisation et de validation différents:

- Le mode S squitter long ou 1090 ;
- La VDL mode 4, soutenue par l'Aviation Civile Suédoise ;
- L'UAT, développé par le centre d'étude Américain la MITRE.

Ces trois media concurrents sont actuellement testés par Eurocontrol dans le cadre de son programme ADS, par la FAA au travers du programme Safe Flight 21 ainsi que dans divers projets soutenus par la Commission Européenne. Toutes ces études, dont le déroulement s'échelonne sur plusieurs années, ont pour objet de tester ces trois media pour diverses applications de surveillance, de valider leur utilisation et de proposer un planning d'implémentation.

A ce jour, seuls des résultats préliminaires ont été publiés qui permettent d'avoir une idée partielle des performances respectives de ces équipements. Cependant, il est impossible de dire lequel ou lesquels de ces média seront retenus en tant que liaison de données pour l'ADS-B. Néanmoins, il apparaît qu'un équipement mixte pourrait être nécessaire, pour des besoins d'interopérabilité, mais aussi pour assurer un niveau de sécurité compatible avec la criticité de l'application.

II.3.5.1 Critères de choix :

Aucun Etat ne s'est actuellement prononcé en faveur d'une des trois liaisons de données ou n'a proposé de mettre en place des applications de surveillance exigeant un tel choix. Parmi les critères à considérer pour prendre une décision, on trouve en particulier:

- Les performances de la liaison de donnée, qui détermineront sa capacité à participer aux diverses applications envisagées ;
- Son intégration dans les architectures sol et embarquées actuelles, qui impactera le coût global.

a) Performance :

Les trois liaisons de données sont actuellement comparées pour les paramètres suivants:

- La période de rafraîchissement des données qui doit être conforme, en fonction des phases de vol, aux données présentées précédemment ;
- La portée en terme de liaison air-air et air-sol ;

- La capacité est le nombre d'avions maximal pris en compte simultanément par la liaison de données ;
- L'intégrité des données transmises, implique la capacité du système à transmettre le message ADS-B sans qu'une altération ne soit détectée ;

La disponibilité de la liaison, sans qu'elle ne soit affectée par une panne.

b) Intégration dans l'architecture actuelle :

Afin de garantir une mise en place à court terme de certaines applications utilisant l'ADS-B, il est nécessaire que l'intégration des équipements et en particulier de la liaison de données soit la plus aisée possible, et nécessite le moins de modifications possibles des architectures sol et bord. [21]

A ce niveau, il est indéniable que le mode S « Extended Squitter » a l'avantage. En effet, le mode S est d'ores et déjà en place et ne nécessite qu'une modification logicielle alors que pour les autres liaisons de données, des architectures spécifiques doivent être développées et de nouvelles antennes installées ce qui pourrait s'avérer une contrainte majeure pour des aéronefs de faibles dimensions.

L'attribution d'une nouvelle fréquence pour l'UAT, ou de plusieurs pour la VDL mode 4, dans des gammes déjà surchargées, constitue une contrainte supplémentaire. Une récente étude réalisée par Eurocontrol a démontré que pour la zone terminale de Francfort, sept fréquences seraient nécessaires pour la VDL mode 4 et cinq pour la région terminale de Bruxelles. Mais le mode S présente aussi des contraintes. En particulier, cette liaison constitue un point commun entre les systèmes de surveillance sol, l'ADS-B ainsi que pour le filet de sauvegarde qu'est l'ACAS. Toute panne de l'équipement pourrait avoir des conséquences graves sur les opérations des aéronefs.

II.3.5.2 Principe de fonctionnement des trois média :

A/ Mode S 1090 ES : la portée dans l'application AIR-SOL est entre [100NM-120NM] émission toutes les secondes d'un Squitter par le transpondeur contenant des informations de contrôle mode S. Ce mode induit une légère modification des transpondeurs actuels. Dans des zones à faible densité de trafic la portée peut atteindre plus de 200 NM.

Ce type de média est normalisé par l'OACI.

B/ La VDL mode 4 : C'est un système de communication en VHF, le principe consiste à diviser le temps de communication d'une fréquence en multitude de slots.

Pour cela deux fréquences sont nécessaires. La portée varie entre [140NM-200NM]

Ce type de média est normalisé par l'OACI.

C/ L'universal Access Transceiver (UAT) : le principe est d'émettre chaque seconde une structure de données dont 20% est réservée à la gestion interne des stations sol. Le reste étant réservé à la transmission des messages ADS-B.

Ce type de média n'est pas normalisé par l'OACI. [21]

II.3.6 Contenu du message ADS-B :

Il dépendra de différents paramètres tels que l'application pour laquelle il est utilisé, le média et donc la taille du message disponible.

- Adresse OACI 24 bits identifiant de façon unique l'émetteur ;
- Indicateur d'appel qui correspond à l'identifiant avion pour les besoins de communications vocales (il s'agit souvent du numéro de vol) ;
- Vecteur d'état incluant la position avion, sa vitesse et la qualité de ces données ;
- Statut (urgence/priorité) ;
- Intention (cela pourrait inclure le ou les prochain(s) point(s) où la trajectoire avion sera modifiée).

Certains de ces paramètres seront transmis systématiquement tandis que d'autres dépendront de l'application, de la situation de l'avion (urgence...), avec des périodes de rafraîchissement fonction de la phase de vol. Les périodes actuellement proposées sont:

- 10s pour les zones en route ;
- 5s pour les zones terminales ;
- 1s pour les opérations sur surface aéroportuaire (exigence OACI pour le SMGCS).

II.3.7 Limitations ADS-B :

Plusieurs applications peuvent exploiter l'ADS-B; cependant, la capacité de l'ADS-B à informer tous les avions environnants équipés de sa position présente aussi plusieurs inconvénients :

- Toute information erronée (en particulier la position) émise par un aéronef, sans que cela soit détecté, peut avoir des conséquences dangereuses en fonction du type d'application mise en place ;
- Une confiance excessive de la part du pilote, qui pourrait avoir l'impression d'avoir une connaissance parfaite des trafics environnants alors que seuls les avions équipés transmettent leur position.

II.3.8 Comparaison entre l'ADS-C et l'ADS-B :

ADS-B:

- Le message est envoyé systématiquement ;
- Le contenu n'est pas fixe ;

- Aucun destinataire n'est désigné ;
- Pas aussi loin du concept moyen de la surveillance en temps réel.

ADS-C :

- Les messages sont envoyés dans le contexte d'un contrat ;
- Les messages sont envoyés à un destinataire connu ;
- Loin du concept de la surveillance à temps réel.

II.3.9 Les travaux internationaux

OACI : La 11^{ème} Conférence sur la Navigation Aérienne, qui s'est tenue à Montréal, en Septembre 2003 a reconnu l'ADS-B comme une application de liaison de données air-sol.

EUROCAE : c'est l'organisation qui publie les standards techniques pour l'avionique incluant les fonctionnalités et les tests. Concernant l'ADS/B EUROCAE a publié les documents suivants :

- ED73A Mode S MOPS (spécification de performances minimales) qui inclue les messages ADS/B 1090 ES ;
- ED102 ADS/B pour le 1090 Mhz;
- ED-108 MOPS provisoire, pour la partie transmission ADS/B bord de la VDL 4 ;

Japon : un groupe de travail a été mis en place en 2000, pour mener une étude sur l'implémentation de l'ADS/B au Japon ("ADS/B Work Group in Japan"). En 2001, l'ADS/B WG a mis en place une stratégie de développement et d'évaluation de l'ADS/B 1090 ES.

Australie : Airservices Australia s'est lancée dans la mise en service opérationnelle de l'ADS-B basé sur Mode-S Extended Squitter. Cela a débouché sur une couverture ADS-B de tout l'espace aérien d'Australie en 2005 à partir 28 sites à travers le pays. [22]

II.4 Multilatération**II.4.1 Généralités :**

La multilatération est une nouvelle technologie au cours d'être développé, testé et est aussi utilisé opérationnellement dans plusieurs régions du monde. Cependant, les standards internationaux d'incorporer la MLAT dans le futur système CNS/ATM global n'ont pas été complètement développés. Le document OACI « Multilateration (MLAT) Concept of Use-Edition 1.0 - Septembre 2007 » présente un pas dans ce processus.

Dans son rôle de surveillance, la multilatération permet de se passer des coûteuses antennes radar rotatives, en remplaçant le SSR par de petites stations peu coûteuses situées en position stratégique pour couvrir un volume d'espace aérien identique ou plus grand. Chacune de ces stations agit comme « poste d'écoute » passif, recevant instantanément les transmissions du transpondeur de chacun des aéronefs dans sa ligne de vue. Une ou plusieurs d'entre elles peuvent être des stations active/ passive combinées, émettant des signaux d'interrogation des

transpondeurs identiques à ceux d'un SSR puis écoutant les réponses. Les stations de multilatération peuvent recevoir des réponses de tous les transpondeurs (mode A/C de base, mode S, IFF militaire et ADS-B). Des protocoles normalisés sont utilisés pour communiquer les données au centre ATC. Le processus de multilatération est toutefois bien plus rapide, permettant aux contrôleurs de suivre le trafic seconde par seconde, au lieu de visionner les cibles à chaque balayage de l'antenne rotative d'un SSR. Cette fréquence de poursuite produit une trace très régulière sur l'écran d'affichage du contrôleur, au lieu des « bonds » progressifs qui caractérisent les cibles du SSR. De nombreuses évaluations montrent que la multilatération est généralement plus précise, que le SSR classique. [23]

II.4.2 Techniques de multilatération

a) Localisation :

Un ensemble de plusieurs stations de réception, dispersées, traitent les signaux cible. Chaque paire de stations mesure la différence de dates de réception d'un même signal. Un résultat seul permet de situer l'émission sur un hyperboloïde : lieu des points à différence de distance constante de deux points de référence désignés comme foyers. La répétition de ces mesures, et l'accumulation des résultats sur le même signal reçu et sur plusieurs paires de stations mènent à la position cible par intersection de plusieurs hyperboloïdes.

Un total d'au moins trois mesures sur trois paires indépendantes de récepteurs est nécessaire à la localisation complète. La garantie que les traitements correspondent au même signal se fait par reconnaissance d'une cohérence spatiale des résultats : l'intersection de trois hyperboloïdes correspondants à des signaux différents n'étant certainement pas ponctuelle.

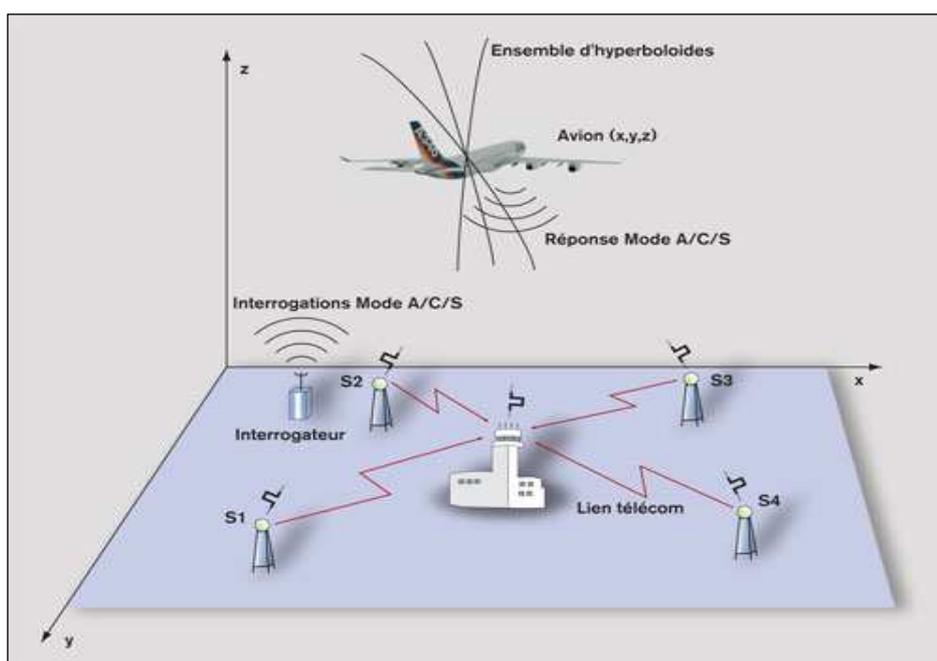


Fig. II.13 : Schéma de principe de la localisation multilatération. [24]

La date d'émission cible n'est pas une référence nécessaire. Les signaux cibles peuvent donc être quelconques, asynchrones de toute chronométrie du système. Il n'existe ainsi pas de signal particulièrement dédié à la mesure ni sollicité pour elle. Les éventuels signaux préexistants sont même à privilégier pour alléger la charge radioélectrique globale.

Dans cette logique, les signaux SSR émis par les transpondeurs sont suffisamment universels à tous types d'exploitation pour avoir été choisis dans le domaine de multilatération ATC. En outre, leur capacité, largement développée à l'identification de cibles et au report de l'altitude barométrique, est bien sûr décisive pour compléter les fonctions de localisation seules.

Ces principes assurent une localisation 3D. La position verticale géométrique est essentielle dans certaines applications (HMU). Cependant, la position verticale par mesure barométrique (niveau de vol) reste nécessaire à l'exploitation.

b) Signaux cible :

Tous les signaux SSR, propres à la simple exploitation transpondeur ou générés par des liaisons existantes SSR ou ACAS indépendantes mais proches, sont exploitables pour la multilatération. Il s'agit :

- des émissions spontanées (squitters), structurellement asynchrones.
- des émissions de messages en réponse à des interrogations de radar ou d'ACAS voisins et parvenant dans la couverture. Asynchrones également car indépendants du système de multilatération.

En l'absence de tout message de types précédents, le système de multilatération sollicitera lui même les signaux cible nécessaires : c'est le cas de la détection de transpondeurs Modes A-C hors couverture SSR. Ces signaux existent. Il n'y a pas de fonction transpondeur nouvelle à prévoir et à déployer.

c) Identification :

La coopération de la cible permet la fonction d'identification dont la richesse dépendra des équipements bord : transpondeur Mode A-C ou Mode S.

Mode S : les informations d'identification (Code A, flight ID) peuvent être directement sollicitées par échanges sélectifs. Les squitters transmettent l'adresse technique Mode S et certaines balises multilatération ont des fonctions d'émission d'interrogations Mode S adressées qui peuvent être mises en œuvre une fois cette adresse technique acquise.

Mode A-C : Le simple décodage des signaux cibles (Codes A-C) devrait permettre la fonction d'identification et le report de la position verticale barométrique. Une difficulté reste pourtant de décider ce qui est identification ou niveau de vol. La particularité des réponses Codes A ou C (impulsion D1 non présente en code C), certains traitements de poursuite et une référence à

l'altitude géométrique lèvent fréquemment l'incertitude. Cependant, la levée de toute ambiguïté d'identification passe par l'émission d'interrogations Modes A-C par le système de multilatération lui-même, qu'il faudra prévoir peu fréquentes et prudentes.

Tableau II.1 : Les signaux disponibles. [24]

Format	Informations	Disponibilités	Qualité
Mode A	Identification (A)	Sur toute interrogation SSR A-C (plus de 100/s par XPDR en espace central Europe)	12 bits
Mode C	FL (C)		Pas : 100 ft
Mode S squitter	@ Mode S	Spontané (taux #1 S)	24 bits
Mode S extended squiter	@ Mode S ; Position lat-long; FL ; FI (Flight Ident)	Spontané	24 bits WGS 84 Pas 25 ft
ACAS court	@ Mode S ; FL	Sur interrogation ACAS	24 bits 25 ft
ACAS long	@ Mode S ; FL ; coordination air/air		
Surveillance élémentaire Mode S	@ Mode S ; (A ou C) ; FL	Sur interrogation Mode S	25 ft
Surveillance enrichie Mode S	@ Mode S ; (A ou C) ; FL ; Data link		

d) Interrogations :

Le choix d'un système actif ou passif peut être dicté soit pour la sollicitation de signaux (qui seraient sinon inexistantes) soit pour permettre ou compléter les fonctions d'identification. Les aspects fonctionnels liés à l'identification sont développés au paragraphe précédent.

II.4.3 Multilatération : un système coopératif, indépendant 3D

Les systèmes de multilatération apparaissent comme les seuls systèmes civils indépendants 3D. Cette propriété a permis le développement et l'exploitation des équipements de contrôle des trajectoires verticales dits HMU, étape nécessaire à la mise en place des procédures RVSM de réduction des séparations verticales au dessus du FL 290.

Tableau II.2 : Classes de surveillance.

Classification	Non-Coopératif	Coopératif	
Fonctions	-	Indépendant	Dépendant
2D Distance/azimut	Radar primaire 2D (dont civils)	SSR	-
FL Mesure barométrique	-	-	SSR, ADS, MLAT
3D Avec position verticale géométrique	Radar primaire 3D (directifs en site)	MLAT	ADS

En exploitation Mode S le système sera prévu actif pour tirer tout le parti des informations que permettent les transactions adressées. Ceci, sans risque pour les cibles environnantes.

En Mode A-C, la situation est plus délicate car les interrogations sont nécessairement en appel général. L'avantage d'un système actif est alors à nuancer par l'utilisation d'antennes d'émission fixes, non directives, qu'elles soient omnidirectionnelles ou sectorisées. Sans sélectivité en azimut, les situations de garbling déjà évoquées se multiplient. Une façon habile de restituer une certaine sélectivité à l'interrogation en jouant sur la dispersion de la sensibilité des récepteurs transpondeur.

Un autre problème peut être la charge imposée par un système d'interrogation Mode A-C non directif : tous les transpondeurs environnants répondent... A noter cependant que les taux d'interrogation A-C peuvent être prévus très faibles par rapport à ceux mis en œuvre en SSR.

II.4.4 Architectures système :

a) Nombre de balises :

Théoriquement, pour une localisation 3D, il est nécessaire de disposer de quatre balises à portée radioélectrique de la cible.

En effet, trois balises (0,1,2) fournissent deux mesures indépendantes seulement : t_0-t_1 ; t_0-t_2 . La différence t_2-t_1 se déduit des deux précédentes et n'apporte aucune information supplémentaire. Pour la couverture d'espaces vastes (approches ou En Route), en particulier aux altitudes basses, cette condition théorique appliquée aux contraintes de l'horizon radioélectrique mène à multiplier le nombre de balises.

Pour la couverture d'un aéroport une localisation 2D peut suffire avec la condition théorique de disposer de trois balises en visibilité. Cependant, une contrainte forte s'exprime en termes d'environnement : masques, réflexions, trajets multiples. Il y a là encore souvent nécessité de multiplier les balises pour adapter la surface couverte à la présence d'obstacles proches.

Enfin la redondance, qui permet des choix et des moyennes, et la proximité de balises sont des facteurs de qualité de la détection et de la mesure en particulier de sa précision.

b) Synchronisation :

Les systèmes de multilatération diffèrent par la méthode de mesure de la différence de temps d'arrivée du signal sur les paires de balises. Pour les signaux SSR, elle se fait par mesure de dates puis calcul de la différence dite TDOA (Time Difference Of Arrival).

Les systèmes diffèrent aussi par la manière de synchroniser les traitements des différents récepteurs. Si l'instant d'émission est indifférent, il y a nécessité de synchroniser les balises.

c) Couverture :

La couverture d'un système de multilatération est l'ensemble des points à visibilité radioélectrique du nombre minimal de balises nécessaires à la localisation avec les performances exigées. En environnement encombré (surveillance sol), le nombre de balises et leur position sont adaptés au « contournement » des obstacles. En surveillance air, c'est un critère de visibilité radioélectrique qui prévaut, contraignant en particulier pour les altitudes faibles. L'avantage est dans tous les cas la souplesse de définition de la couverture sur des choix de position des récepteurs ou de déploiement de récepteurs supplémentaires.

II.4.5 Comparaison des principes radar secondaire et multilatération :

Les systèmes de multilatération ont une couverture « structurellement » isotrope obtenue par la simple dispersion des capteurs. Mais, si la couverture est isotrope, les traitements à la réception devront faire face à une charge importante de signaux (en tout cas beaucoup plus importante qu'en SSR azimuth-distance avec utilisation d'antenne directive).

- L'efficacité de ces systèmes de multilatération s'explique par les deux caractéristiques : Localisation par mesures de différences de distances donc par mesures de différences de temps. Il n'est donc pas nécessaire de disposer d'antennes directives, tournantes comme en radar. On passe d'un principe matériel, mécanique (antenne directive, entraînement) à un principe de traitement de signal. De plus, s'agissant d'une différence, il n'est pas nécessaire d'imposer une référence d'émission cible.
- Mesures sur tout signal.
- Il n'existe ainsi pas de fonction transpondeur nouvelle à prévoir : pas d'équipement bord spécifique avec obligation d'emport, pas de coordination de déploiements sol-bord. Pas non plus d'intervention lourde sur le canal, du type appel général. Système opportuniste, peu intrusif, adapté aux situations actuelles de congestion 1030-1090 MHz.

Tableau II.3 : Comparaison entre SSR et multilatération.

	Avantages	Inconvénients
Radar secondaire	système autonome	<ul style="list-style-type: none"> - équipements lourds en particulier l'antenne et son entraînement - charge du canal 1030-1090 par taux d'interrogation élevé - renouvellement des mesures lié à l'exploration de l'espace donc à la rotation de l'antenne
Multilatération	<ul style="list-style-type: none"> - indépendant 3D - léger ; peu intrusif (voire passif) - pas de nouveau matériel à bord - peut être prévu facilement redondant pour une meilleure disponibilité. 	<ul style="list-style-type: none"> - dispersé (liaisons entre balises à prévoir, visibilité radioélectrique de l'ensemble) - exploitation A/C dans une couverture d'interrogation SSR existante ou à créer.

II.4.6 Applications multilatération SSR :

Les applications multilatération SSR se déduisent des avantages et inconvénients attachés à cette technique et à l'utilisation de signaux SSR.

Avantages :

- Localisation 3D indépendante : caractéristique adaptée au contrôle (monitoring) de moyens dépendants (ADS-B, HMU) ;
- Identification avec acquisition sur signal asynchrone puis engagement de transactions Mode S adaptée à la surveillance coopérative dans des situations à fortes densités ;
- Déploiements bord : Pas de nouvelle fonction à implémenter ;
- Déploiements sol : Installation de matériels dispersés et légers. Couverture très modulaire fonction du nombre de balises mises en œuvre. Toutes caractéristiques adaptées aux couvertures d'espaces difficiles ou coûteuses à couvrir par des moyens classiques lourds et centralisés (radar): régions montagneuses, créations de couvertures redondantes totales ou partielles ;
- Maintenance de matériels légers et compacts : pas de moyens logistiques lourds à déployer.

Inconvénients :

- Qualité de la mesure verticale (altitude géométrique) médiocre à faible niveaux qui limite les volumes de monitoring d'un moyen dépendant.
- Sensible à la densité en signaux SSR :
 - En espace à forte densité : impact sur l'intégrité et la caractérisation des signaux à traiter. Des mesures de protection consistent à utiliser des antennes sectorisées, à choisir une sensibilité des récepteurs adaptée à la zone à couvrir. Reste bien sûr la nécessité d'un traitement du signal de qualité.
 - A l'inverse, en absence de signaux SSR A-C : nécessité d'une couverture propre à l'émission, délicate à mettre en œuvre avec des antennes omnidirectionnelles ou sectorisées. Cependant, les taux d'interrogations sont sans commune mesure avec les applications SSR qui elles sont contraintes par la rotation d'un faisceau étroit en azimut.

La multilatération Mode S (A-SMGCS) dépasse même cette logique avantages-inconvénients. Elle n'a simplement pas actuellement d'alternative en surveillance indépendante pour les fonctions d'identification au sol.

L'évidence des applications WAM n'est pas aussi définitive mais certaines situations se prêtent au déploiement de ces systèmes et des études opérationnelles, techniques et économiques démontrent leur intérêt.

II.4.6.1 Application A-SMGCS :

Après la normalisation SMGCS de 1986, le A-SMGCS a vu le jour au début des années 1990 pour répondre au besoin de sécurité et de capacité des aéroports.

a) Les contraintes de la fonction surveillance :

La première fonction à assurer par ce nouveau système est l'acquisition de la connaissance de la situation ; c'est la surveillance qui doit comprendre la situation et connaître la position et l'identification de tous les mobiles.

Sur un aéroport, on doit prendre en compte des mobiles coopératifs et des mobiles non coopératifs ce qui impose de disposer de plusieurs capteurs complémentaires, certains coopératifs et d'autres non coopératifs, intégrés dans un module de fusion des données.

Parmi ces informations la fonction d'identification est essentielle pour assurer les objectifs du A-SMGCS en terme de sécurité et de capacité.

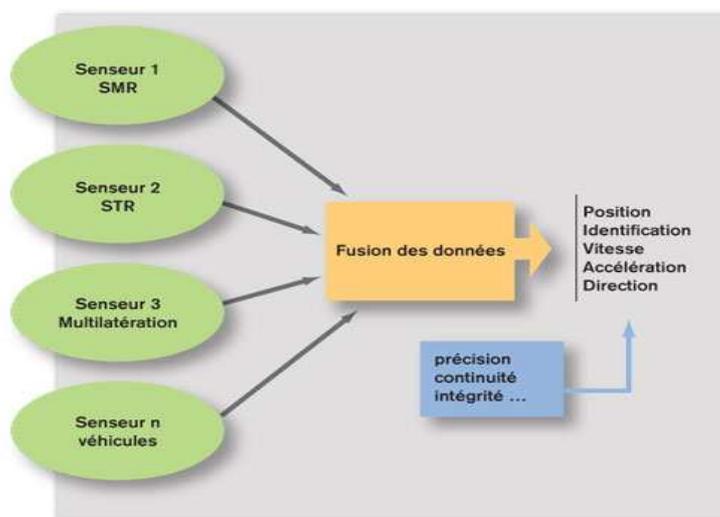


Fig. II.14 : Architecture de la surveillance A-SMGCS. [24]

C'est dans cette recherche de solution pour obtenir un capteur coopératif capable de fournir une position et une identification fiable que la multilatération mode S s'est imposée comme étant le seul moyen actuel viable.

C'est d'ailleurs cette technique qui se généralise actuellement sur tous les grands aéroports du monde en complément d'un système de surveillance disposant de radars de surface.

b) Les travaux internationaux A-SMGCS :

Lors de la mise au point du concept A-SMGCS par les groupes OACI, les fonctions du A-SMGCS étaient bien définies ainsi que les objectifs à atteindre.

Le document OACI 9830 publié en 2004 indique clairement que ce nouvel équipement doit s'adapter au besoin de chaque plate-forme avec une évolution très progressive.

L'Eurocae dans son document A-SMGCS ED 87A (janvier 2001), a fait un pas de plus dans la définition des performances à obtenir pour prétendre relever du A-SMGCS en précisant que l'identification devait être renouvelée au moins toutes les 30 secondes pour la seule fonction surveillance et 20 secondes pour les fonctions avancées.

A partir de là, le respect de cette norme impose de disposer d'un senseur coopératif quasi-permanent et il n'y a déjà guère d'autre choix que de proposer la multilatération mode S pour identifier les avions.

Ce sont ces publications d'Eurocontrol en 2002 qui ont fait prendre conscience aux états et aux aéroports mondiaux de l'intérêt de l'A-SMGCS et de l'obligation de disposer d'un système de multilatération mode S pour l'identification permanente des avions.

c) L'exploitation des transpondeurs mode S au sol :

C'est à l'occasion de la mise en application des premiers systèmes de multilatération sur les aéroports que s'est posée la problématique de l'utilisation des transpondeurs mode S. En effet, les avions étaient bien équipés, mais un pourcentage important du trafic ne maintenait pas leur

transpondeur en marche au sol. En effet, rien ne l'imposait dans la réglementation, certaines compagnies avaient même des consignes internes demandant aux équipages de mettre l'équipement sur standby (sans émission) pendant toutes les phases au sol.

Pour cela, les aéroports ont proposé des consignes locales telles que :

- la demande de maintenir le transpondeur Mode S en marche au sol jusqu'à l'immobilisation totale de l'avion au poste de stationnement,
- la demande de saisir le code mode A et de mettre le transpondeur en marche avant le roulage,
- et de saisir l'identification du vol pour les transpondeurs qui le permettent.

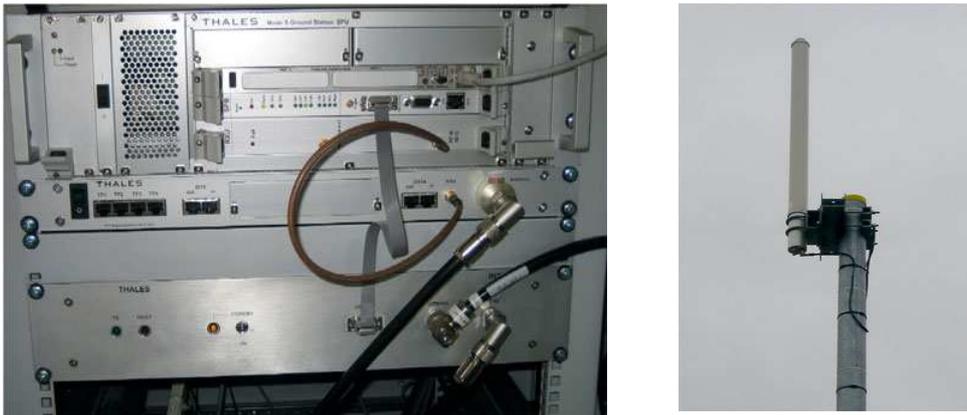


Fig. II.15 : Exemple d'antenne de multilatération mode S. [24]

d) Le rôle de la fusion des données :

Le module de fusion du A-SMGCS est un élément indépendant de la multilatération mode S mais c'est en général par son intermédiaire que l'information va être communiquée aux utilisateurs. Le rôle de la fusion est de faire la synthèse des différentes informations disponibles provenant de plusieurs capteurs disparates et asynchrones pour en extraire l'information la plus pertinente. La position d'un mobile indiquée par la fusion se trouve être le résultat d'un choix ou d'un calcul, en général extrapolé pour tenir compte des temps de traitement. Dans ce calcul, les données fournies par la multilatération mode S ont souvent un poids très important en raison du niveau des performances obtenues. De plus, c'est souvent le moyen majoritaire capable de fournir l'identification du mobile.

e) Les performances de la multilatération mode S sur un aéroport :

Comme on a pu le voir, les performances sont directement liées à la géométrie, au nombre des balises de réception et à la précision de la synchronisation. On peut ainsi atteindre des précisions horizontales de quelques mètres mais on constate aussi une diminution de la précision lorsque la géométrie se dégrade ou bien en raison de la proximité des bâtiments.

L'Eurocae dans son MOPS pour la multilatération mode S utilisée dans un A-SMGCS, a tenté d'en définir les limites. Ces valeurs demandent encore à être validées par l'expérience mais elles

correspondent à la fois aux possibilités des systèmes de multilatération mode S et aux besoins des A-SMGCS.

Tableau II.4 : Les performances de la multilatération mode S recommandées dans le document ED 117 de l'EUROCAE.

Renouvellement des données	1 seconde
Précision de position horizontale sur l'aire de manoeuvre	7.5m à 95% 12m à 99%
Précision de la position au poste stationnement	20m renouvelée toutes les 5 secondes
Précision horizontale dans l'axe d'approche jusqu'à 2,5 NM	20m à 95%
Précision horizontale dans l'axe d'approche de 2,5NM à 5NM	40m à 95%
Probabilité de détection sur l'aire de mouvement d'un transpondeur actif	99,9%
Probabilité de détection sur le poste de stationnement d'un transpondeur actif	99,9% sur une période de 5 secondes
Probabilité d'identification	99,9%
Capacité du système	250 mobiles par seconde
Délai entre la réception mode S et la sortie multilatération	0,5 seconde
Temps d'initialisation du système à la mise en route	3 minutes
Temps d'initialisation d'une piste	5 secondes
Probabilité de fausse détection	10^{-4}
Probabilité de fausse identification	10^{-6}

II.4.6.2 Application Multilatération à couverture étendue (WAM) :

La première application de multilatération « En route » a exploité la caractéristique – unique en technique ATC – de surveillance indépendante 3D. Il s'agit du système HMU de contrôle des trajectoires verticales : opération préalable à la certification des procédures RVSM. Les autres applications WAM portent naturellement sur la surveillance coopérative reprenant les fonctions SSR.

a) Applications de surveillance coopérative, fonctions SSR :

Le recouvrement des fonctions radar secondaire et des fonctions multilatération introduit naturellement la question d'une exploitation multilatération en couverture propre ou complémentaire au radar pour l'En route ou l'approche.

Les avantages et les inconvénients de principe ont été exposés. Ils justifient les situations particulières où les systèmes de multilatération présentent une alternative évidente :

- Couverture d'espaces enclavés en régions montagneuses ;
- Redondance de couverture ou de partie de couverture ;
- Couverture d'approche par extension de système de surveillance sol ;

➤ Contrôle d'un moyen dépendant (ADS-B).

Cependant, l'accélération actuellement observée des déploiements WAM améliore les évolutions, accentue ses avantages de coût et sensibilise les opérateurs. Aujourd'hui, pour des situations normales de surveillance en route, des solutions WAM sont fréquemment évoquées et étudiées. Cette tendance s'appuie objectivement sur une comparaison des performances.

b) Comparaison WAM – SSR :

Une comparaison des performances SSR et WAM est en effet un souci constant des différents groupes de travail (Eurocae, Eurocontrol) en charge des développements techniques et réglementaires de la multilatération. Le document « Comparative assessment of SSR vs WAM » est une première approche qui démontre la pertinence d'une proposition des systèmes WAM comme outils de surveillance.

Sans reprendre la totalité des points de comparaison, les caractéristiques de précision et de coûts, souvent présentés comme « stratégiques », sont développés plus particulièrement ci dessous.

1. Précision :

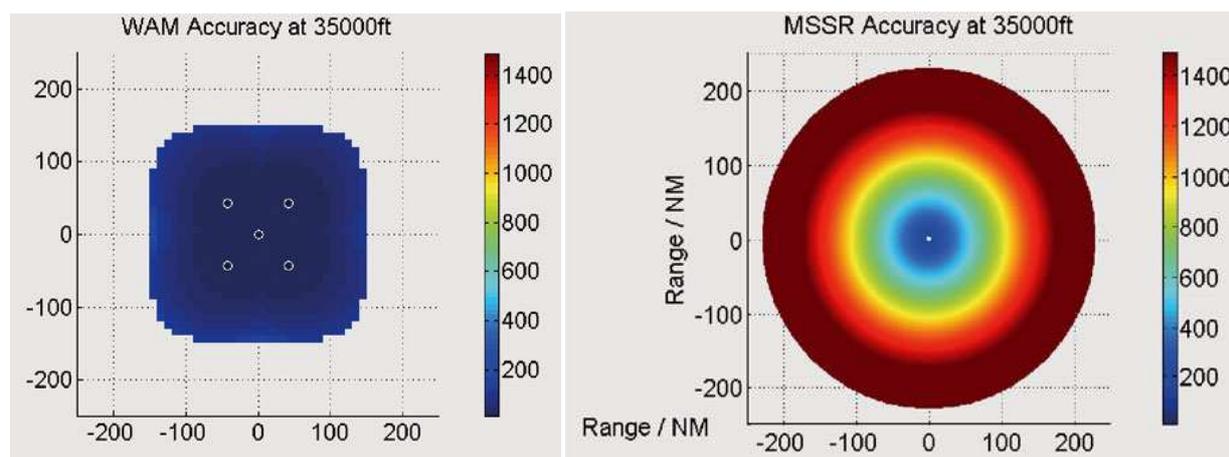


Fig. II.16 : Précision en fonction de l'altitude. [24]

A partir des données initiales :

- SSR : précision en distance 70m, en azimuth $0,08^\circ$ (standard Eurocontrol) ;
- WAM : réseau de 5 balises, de « base » 60NM (écart entre balises), précision de la mesure de temps $\sigma(\text{TDOA}) = 1\text{ns}$.

Les tracés présentent les résultats en fonction de la position pour une altitude de 35 000ft. Le tracé WAM est limité à la zone de visibilité de toutes les balises à 35 000 ft. Cette zone est moins étendue qu'en radar où la visibilité d'une seule antenne est requise. Une meilleure couverture serait obtenue en réduisant la base, mais la précision serait alors dégradée. Un compromis est nécessaire et le choix d'une base de 60 NM est classique avec recours souvent à des schémas géométriques de répartition des balises plus élaborés, et bien sûr des balises plus

nombreuses. On peut conclure que dans la couverture WAM, la précision est comparable au SSR en zone proche (< 10 NM), meilleure au delà.

2. Coûts :

Une analyse rapide prenant en compte l'acquisition, les opérations d'installation et de maintenance mène pour les systèmes WAM à des chiffres en moyenne 50% inférieurs à ceux des systèmes MSSR. Bien sûr des configurations exceptionnelles de dispersion des balises ou des choix particuliers des liens de télécommunication pourraient contredire ces chiffres sans toutefois en inverser la logique.

Prenant l'exemple d'Australie Air services qui a estimé pour une pleine surveillance des mouvements commerciaux et d'aviation générale 10 à 12 SSR-S, à environ 3 millions \$, y compris l'équipement, l'acquisition de terre, l'installation et l'entretien.

L'analyse a montré que la même assurance pourrait être obtenue à partir de 19 unités stratégiquement placées de MLat - certains actionnés par les panneaux solaires - pour un prix total de moins qu'un SSR simple.

Les chiffres de FAA obtenus par Avionics suggèrent le coût de maintenance annuel d'un SSR, en particulier sa grande antenne rotative, pourraient être plus de 20.000 \$ par comparaison, on rapporte que l'entretien de petites unités de capteur de MLat est minimal. [25]

II.4.6.3 Quelques systèmes WAM actuellement déployés et en projet :

En Europe, un déploiement emblématique des applications WAM est la couverture de l'approche d'Innsbruck (Autriche). Le doublement de la couverture de surveillance actuelle par un radar est vite apparu plus coûteux et moins performant qu'un système WAM. Pour une répartition de 9 balises, les performances de précision observées sont de 70m en surveillance air et 7 m au sol. Ces caractéristiques ont permis un doublement de la capacité maximale en approche.

En Afrique, un équipement multilatération couvrant l'aéroport et la TMA de Cap-Town (Afrique du sud) est en phase de validation. Sept balises assurent une couverture sol (SMGCS) et trois balises supplémentaires déportées permettent une couverture de l'approche jusqu'à environ 110 NM. [24]

II.5 Conclusion

La Stratégie de la surveillance a trois piliers principaux: Radar mode S, ADS-B, Multilatération, qui sont différents, mais complémentaires les uns des autres. Tout choix des techniques de surveillance ou d'une combinaison de techniques doit être pris sur la base des besoins opérationnels de surveillance, à la fois aérien et au sol et les aspects seront influencés par l'environnement et les considérations de coût-avantage.

III.1 Introduction

Après avoir présenté le contexte CNS/ATM local et les techniques de surveillance radar mode S, ADS-B et multilatération, l'objectif, à présent, est de disposer d'éléments qui justifieront ou pas l'implémentation d'une de ces techniques en Algérie. Pour cela, nous tenterons dans cette section de déterminer les besoins opérationnels de surveillance du point de vue du contrôle aérien. En tenant compte des études réalisées pour répondre à chacun de ces besoins, nous proposerons une solution opérationnelle et technique ainsi qu'une approche adaptative de son implémentation.

III.2 Besoins opérationnels de surveillance

Il est clair que les besoins opérationnels doivent être exprimés par les exploitants aériens, à savoir les autorités de l'aviation civile, les compagnies aériennes et les contrôleurs aériens. La sécurité est le facteur commun en terme de besoin pour ces exploitants.

Pour les autorités de l'aviation civile, les besoins peuvent être :

- Faire face à l'augmentation globale du trafic aérien ;
- L'amélioration des performances des opérations SAR ;
- Diminution des coûts d'investissement et d'exploitation ;
- Respecter les standards internationaux.

Pour les compagnies aériennes, les besoins peuvent être :

- Augmenter la sécurité de leurs vols ;
- Optimiser le temps de vol et donc son coût par la réduction de la consommation fuel et des retards ;
- Augmentation de la capacité de l'espace aérien et de celle des aérodrômes.

Pour les contrôleurs aériens, les besoins peuvent être :

- Mettre en place des moyens de surveillance là où il n'y en a pas ;
- Augmenter la sécurité des moyens de surveillance radar déjà existants (back up) ;
- Diminuer la charge de travail dans les zones à forte densité de trafic ;
- Mettre en place des outils de protection et d'alerte de sécurité.

Pour cela un audit doit être fait auprès de ces derniers pour identifier d'une manière précise les problèmes d'exploitation rencontrés lors de l'exécution de leur tâche quotidienne. [3]

Ci-après sont présentés les besoins de surveillance air/sol que nous avons pu identifier à l'issue de l'analyse de la situation CNS/ATM en Algérie :

- La zone pétrolière située dans le secteur "Sud/Est", non couverte par les radars, se caractérise par sa densité de trafic importante constitué principalement de mouvement d'aviation générale (taxi et travailleurs aériens) entre les bases pétrolières, nombreuses dans cette région.

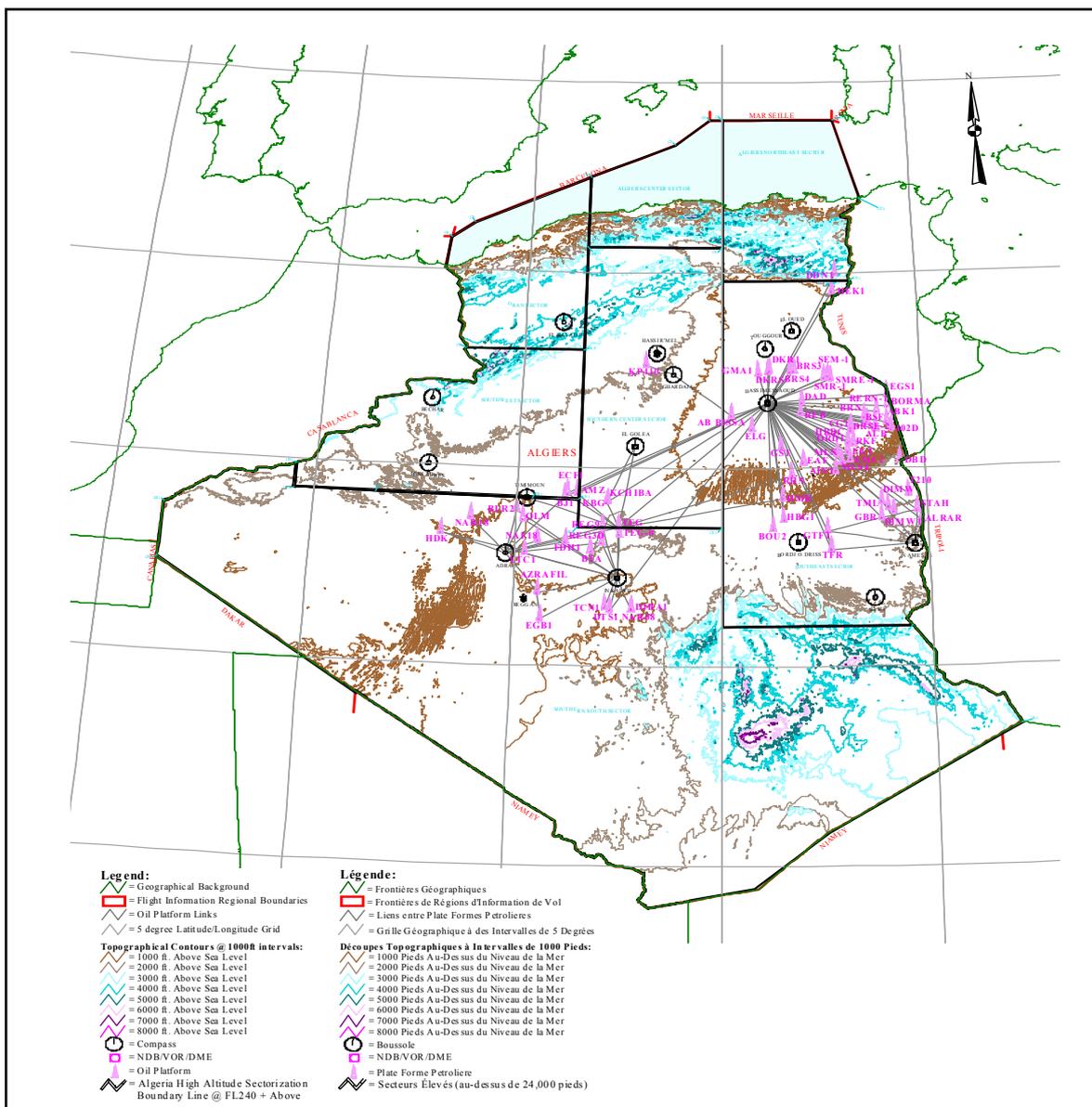


Fig. III.1 : Sectorisation de l'espace aérien et champs pétroliers. [9]

Ce trafic évolue en majorité de et vers l'aérodrome de Hassi Messaoud qui, comme nous l'avons vu, est classé deuxième aérodrome Algérien en nombre de mouvements (voir graphique I.10) et caractérisé par :

- 1- L'hétérogénéité des avions de la flotte des compagnies de travail aérien basé sur l'aérodrome (TASSILY.A.L, AIR EXPRESS, STAR AVIATION...) donc différence de performances ce qui rend le contrôle des aéronefs en approche très difficile.
- 2- La complexité de cette zone est d'autant plus grande du fait que deux types de vol s'y côtoient, les VFR et IFR évoluant principalement en dessous du niveau 190. Nous noterons aussi l'existence de liaisons internationales directes "charters" entre l'aéroport de Hassi Messaoud, l'Europe et les Etats-Unis ;

- 3- Chevauchement de la zone d'approche de l'aérodrome avec la zone interdite de Ouargla (DAT-60) rend la coordination entre le trafic civil et militaire un peu difficile.
 - 4- Position géographique de certaines plates formes qui se situent au-dessous du circuit d'attente ce qui pénalise les avions en attente sachant que ces avions décollant de ces plates formes prennent du niveau bas.
- La couverture simple fournie par les cinq radars installés dans la partie Nord de l'Algérie (secteurs : Centre, Est et Ouest), devra être doublée vu l'importance et la complexité relative de cette zone qui constitue l'entrée et la sortie des flux européens, où se concentre la majorité des zones militaires interdites au survol la plus part du temps. Le niveau de sécurité que fournissent les centres de contrôle d'approche des aéroports d'Alger, Oran, Constantine, Annaba et de Hassi Messaoud n'en sera que rehaussé ;
 - Absence totale de couverture radar dans la moitié sud du secteur "Sud/Centre", sachant y a présence de deux nœuds liés par les villes d'EI Goléa et Ghardaïa formant un axe important pour le transit Nord-Sud ;
 - La limitation de la couverture radar, en dessous du niveau de vol 150, dû à la présence de reliefs dans certaines parties du secteur Centre peut poser des problèmes de détection de vols domestiques qui évoluent à ces niveaux. Sachant qu'un des principaux axes de la FIR Algérie est l'axe Est-Ouest ;
 - Couverture des principaux axes Nord-Sud est nécessaire sachant que le survol sans escale qui représente le principal trafic évoluant dans cette partie enregistre de forte augmentation ces dernières années, près de 5,3 % entre 2007-2008 (voir tableau I.1).

III.3 Faisabilité de l'implémentation radar Mode S en Algérie

Les Etats européens ont lourdement investi dans le programme Radar mode S et sont tenus de ce fait de rentabiliser cet investissement. Par ailleurs, seul le radar mode S est à même de répondre à la forte croissance de trafic, enregistré de manière régulière dans le ciel européen, contrairement à L'ADS-B qui présente des limitations dans les espaces à forte densité de trafic. C'est la raison pour laquelle les états européens envisagent de l'utiliser dans les zones océaniques ou dans l'espace méditerranéen.

Dans le cadre du programme européen de généraliser l'utilisation des radars mode S, l'emport du transpondeur mode S a devenu obligatoire à compter de 2007 pour la majorité des aéronefs évoluant dans l'espace aérien européen. [25]

Cette décision aura des retombées très bénéfiques sur le trafic transitant par ou à destination de la FIR Alger, au cas où l'ENNA décide de passer rapidement vers le SSR-S. Le trafic des aéronefs équipés transpondeur mode S dépasse largement les 90% dans la FIR Alger en 2007.

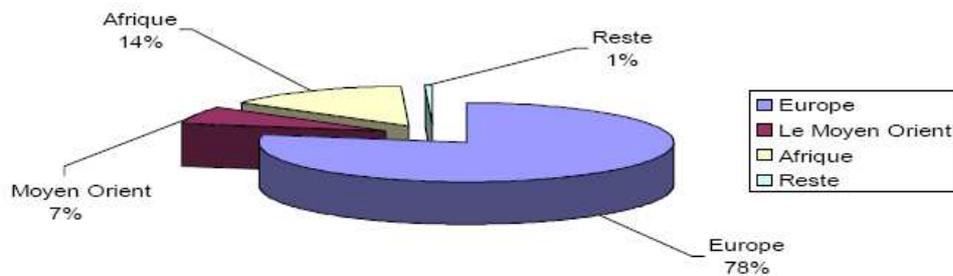


Fig. III.2 : Les flux du trafic international en 2007. [26]

III.3.1 L'amélioration de la surveillance par l'implémentation radar Mode S :

En Algérie l'espace aérien Nord est bien couvert par le radar, à l'exception d'une zone à l'Ouest de Constantine dans laquelle les techniques de contrôle procédural sont utilisées. L'ENNA s'est engagé à fournir à court terme des services de contrôle dans l'espace aérien Sud. Un nombre significatif d'opérations aériennes soutiennent les activités pétrolières dans la zone au Sud de Ghardaïa, en particulier à Hassi Messaoud et alentours. Il est attendu aussi que les voyages touristiques vers les parcs naturels autour de Tamanrasset continueront à se développer.

Pour cela il est proposé que des nouvelles stations radar soient installées afin que :

1. La fourniture de service radar avec des capacités appropriées de traitement et de visualisation aux aéroports de Constantine, de Ghardaïa, de Hassi Messaoud, d'Oran et de Tamanrasset avec des interconnexions aux ACC de manière à ce qu'ils puissent également être utilisés dans les opérations en route. Le radar primaire est nécessaire à Oran et à Hassi Messaoud en raison de la complexité de ces espaces aériens communs à la navigation civile et militaire*.
2. Dans ce secteur, il y a également un trafic militaire significatif à Ouargla et alentours. Il est proposé que les opérations de contrôle d'approche de Hassi Messaoud soient élargies à l'approche radar avec à la fois le radar primaire et secondaire. Un contrôle d'approche est également proposé pour Ghardaïa qui sera initialement procédural et ensuite élargi aux opérations radar.
3. Dans ce secteur, bien que beaucoup de ce trafic opère actuellement selon les règles de vol à vue (VFR) où les usagers préféreraient avoir davantage de services de contrôle du trafic aérien.
4. Immunisation du temps d'occupation de la fréquence pour gérer les vols locaux (hélicoptère TASSILY) effectuant des inspections des champs pétroliers.

* **Recommandation OACI** : « Le radar secondaire de surveillance (SSR) devrait être utilisé pour effectuer la surveillance dans les TMA les plus fréquentées répondant aux critères définis par APIRG. La transmission de données par le SSR mode S commencera à être introduite graduellement dans les TMA fréquentées et sélectionnées à confirmer par APIRG ».

« Les radars primaires peuvent continuer à être utilisés dans les TMA où évoluent à la fois des avions équipés et des avions non équipés de transpondeurs et où le nombre d'avions non équipés est suffisamment grand pour justifier ce besoin ». [27]

5. Une bonne maîtrise d'une situation d'urgence en particulier la connaissance de la position d'un avion égaré (perdu) ou un avion en panne radio.
6. La présence de transpondeur à bord de chaque avion de la flotte de compagnie de travail aérien facilite la tâche de l'installation radar à Hassi Messaoud.
7. Meilleure coordination avec le CCR lors d'une interruption de communication causée par la panne d'une antenne avancée VHF donc un meilleur transfert de contrôle et de communication.
8. Extension de la Couverture radar en route dans l'Espace Aérien Sud/Est avec la mise en place des installations SSR.

III.3.2 Les sites proposés :

La couverture radar en Algérie va se doter de 13 nouveaux radars (voir tableau III.1) pour renforcer la couverture de surveillance aérienne, notamment dans le sud du pays, suite aux insuffisances constatées et traitées dans le projet colossal PDGEA que l'Algérie à travers l'ENNA a mis en place afin d'assurer une sécurité absolue du trafic aérien.

Ces radars viendront renforcer les cinq autres radars déjà existants, implantés dans cinq wilayas du pays à savoir Alger, Annaba, Oran, El Oued et El-Bayadh.

Tableau III.1 : Nouvelles stations radars en Algérie.

	Type de radar	Site
FIR Nord	SSR-S	Alger
	SSR-S	Akfadou
	PSR	Oran
	SSR-S	Ghardaïa
	PSR/SSR-S	Constantine
	PSR/SSR-S	Hassi Messaoud
FIR Sud	SSR-S	Illizi
	SSR-S	Djanet
	SSR-S	In Salah
	PSR/SSR-S	Tamanrasset

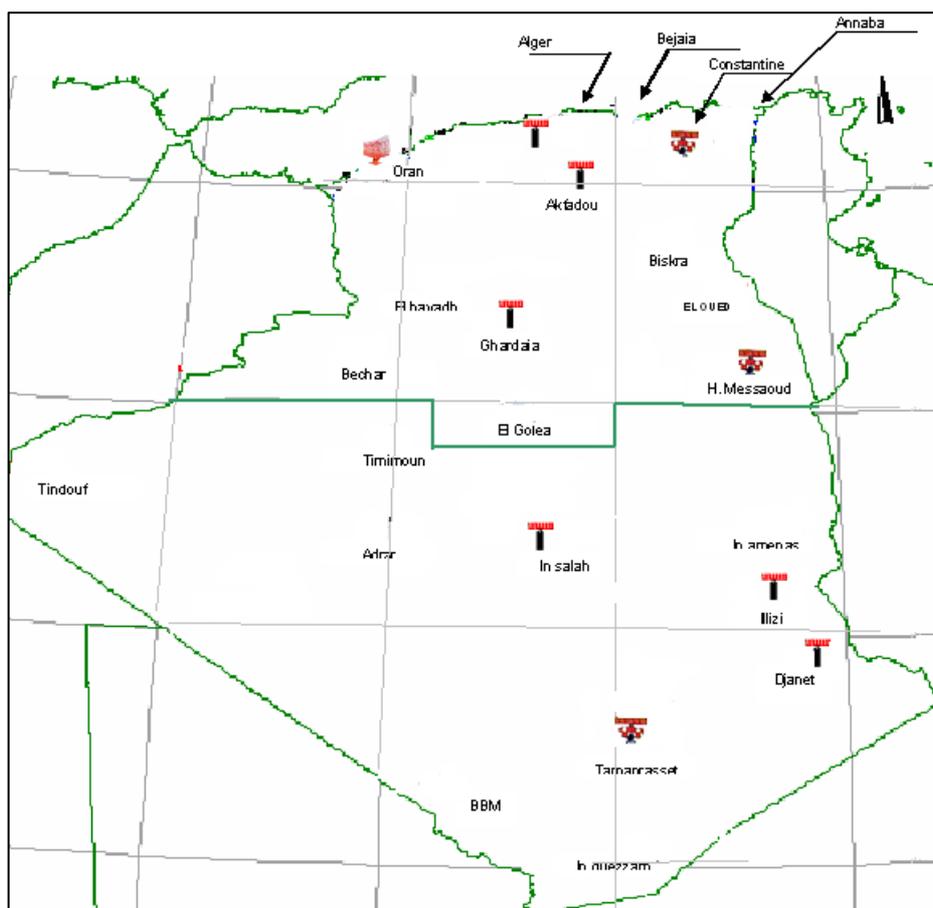


Fig. III.3 : Implantation des nouveaux radars.

III.3.3 La couverture attendue :

En plus des radars du Nord de l'Algérie que nous avons parlé ci-dessus, la figure III.4 nous montre également l'installation des six (06) autres : Akfadou, Ghardaïa, Illizi, Djanet, Tamanrasset et In Salah.

Les stations Akfadou et Ghardaïa ont comme profil de combler le manque de couverture Nord, plus particulièrement la réception du trafic à basse altitude (FL100). Les autres antennes au Sud du pays, déterminent une couverture appréciable à basse altitude, surtout dans les régions à forte densité de trafic.

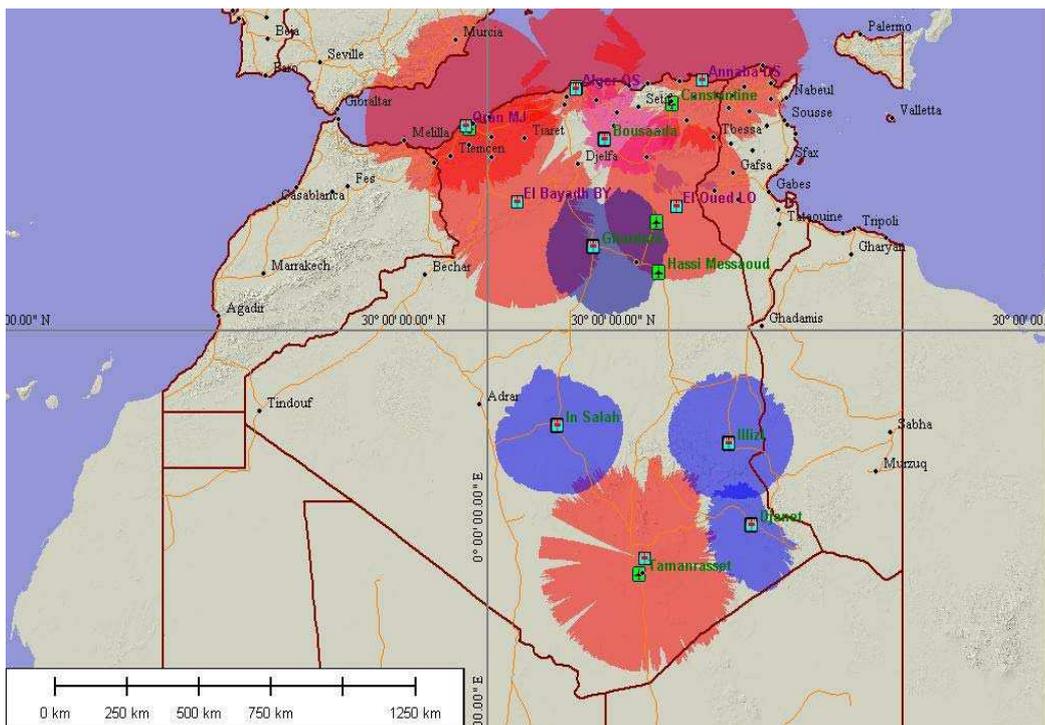


Fig. III.4 : Visibilité SSR global pour le niveau de vol 100. [28]

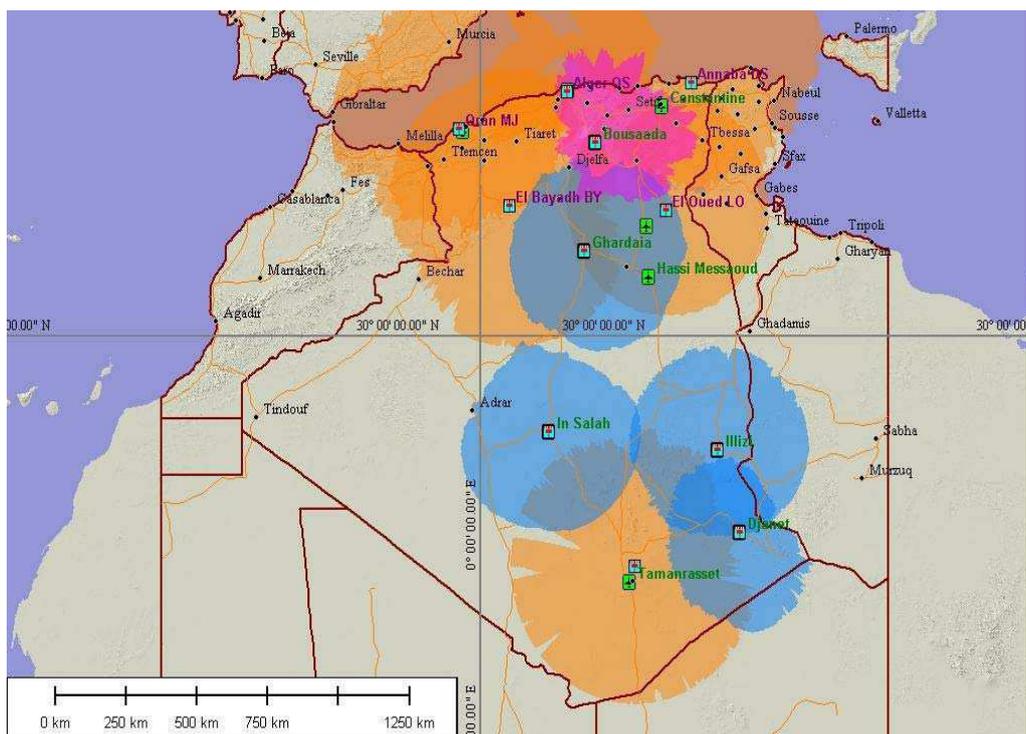


Fig. III.5 : Visibilité SSR global pour le niveau de vol 200. [28]

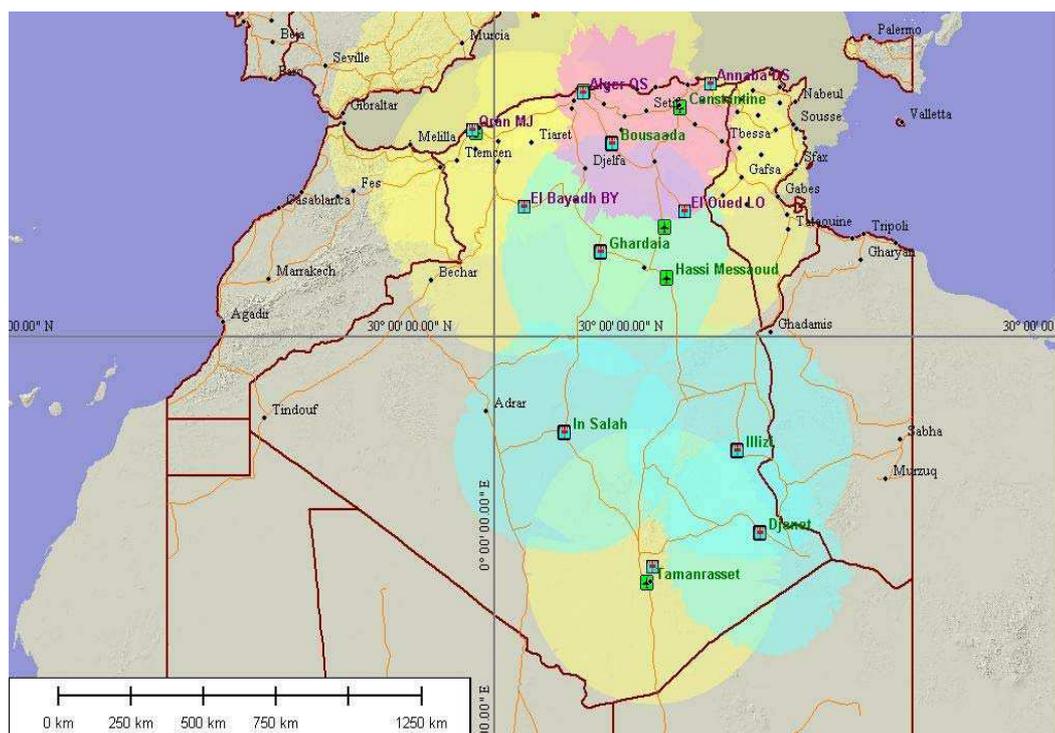


Fig. III.6 : Visibilité SSR globale pour le niveau de vol 300. [28]

Les figures III.5 et III.6, montrent les mêmes dispositions des stations, à la différence du trafic à une plus haute altitude voire niveau de vol (FL200 et FL300). Nous constaterons une meilleure couverture et une bonne prise en charge du trafic.

Remarque :

Les cartes présentées ci-dessus ne simulent toute fois pas la couverture totale, suite au manque des sites radars de Hassi Messaoud et Constantine.

La figure suivante pallie ce problème par la simulation de la couverture de tous les sites proposés sauf celui d'In Salah. Cependant elle illustre également le manque dans la couverture totale de la FIR.

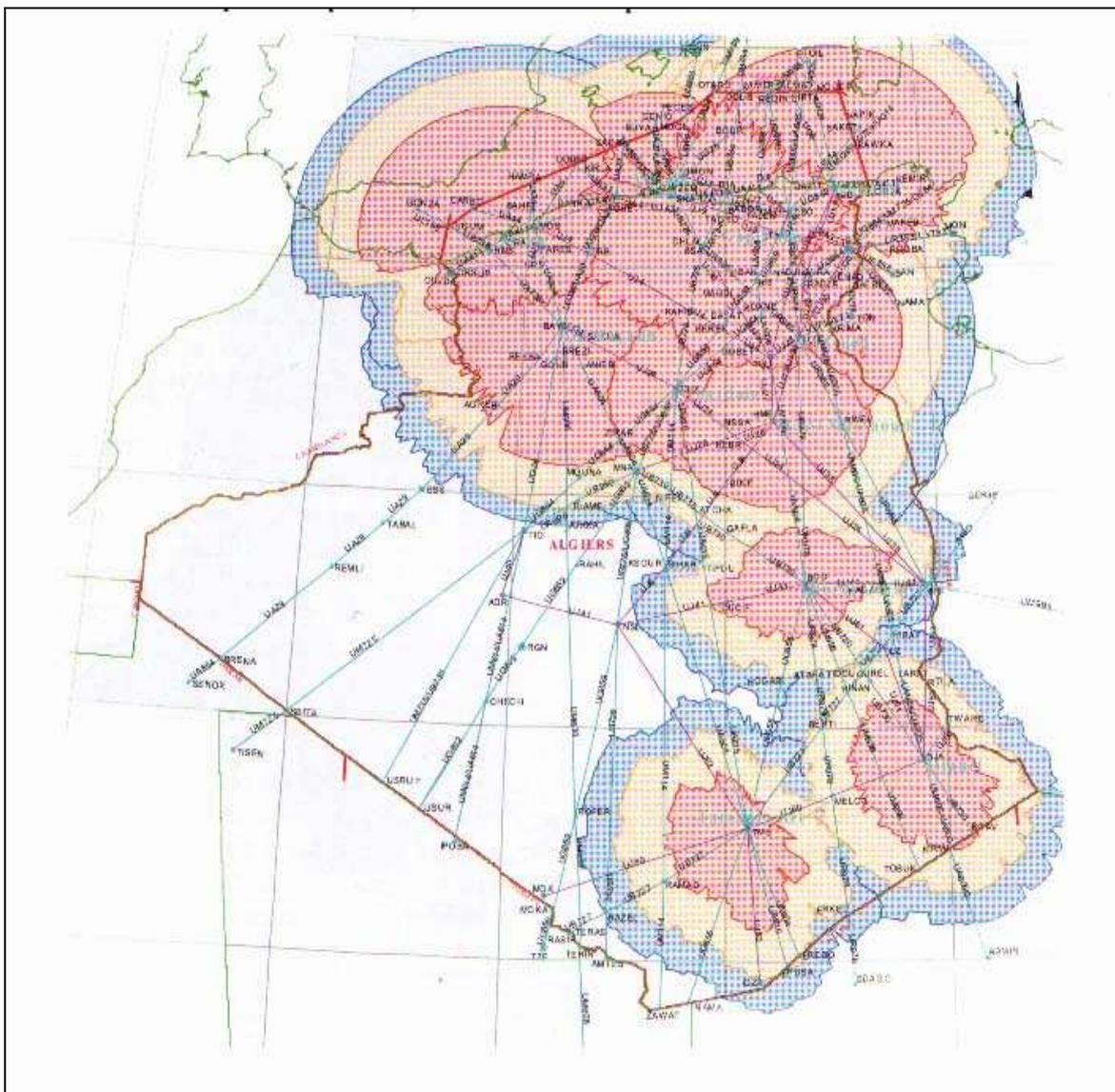


Fig. III.7 : Couverture radar PDGEA FL100, 200 et 300. [21]

Il est clair que même après la mise en œuvre de ces installations les problèmes de surveillance suivants persisteraient :

- La région sud de la TMA Alger (Boussaâda) sera non couverte par le radar au dessous de FL100 ;
- Une partie du secteur Sud/Centre restera dépourvue de surveillance radar et surtout à bas niveau (au dessous du FL100) ;
- Secteur Sud/Ouest dépourvu presque en totalité de surveillance radar.

Le recours à la nouvelle technologie de surveillance ADS-B, peut présenter une solution satisfaisante et cela vu les avantages qu'elle présente et son coût relativement moins élevé comparé à celui du radar.

III.3.4 Architecture radar Mode S proposée :

L'architecture globale regroupe les fonctions de liaison de données, les fonctions liées à la coordination entre stations radar et les centres de contrôle d'approche et en route.

Dans la figure suivante, nous proposons une architecture liée à l'implémentation des nouveaux radars (PSR et SSR-S).

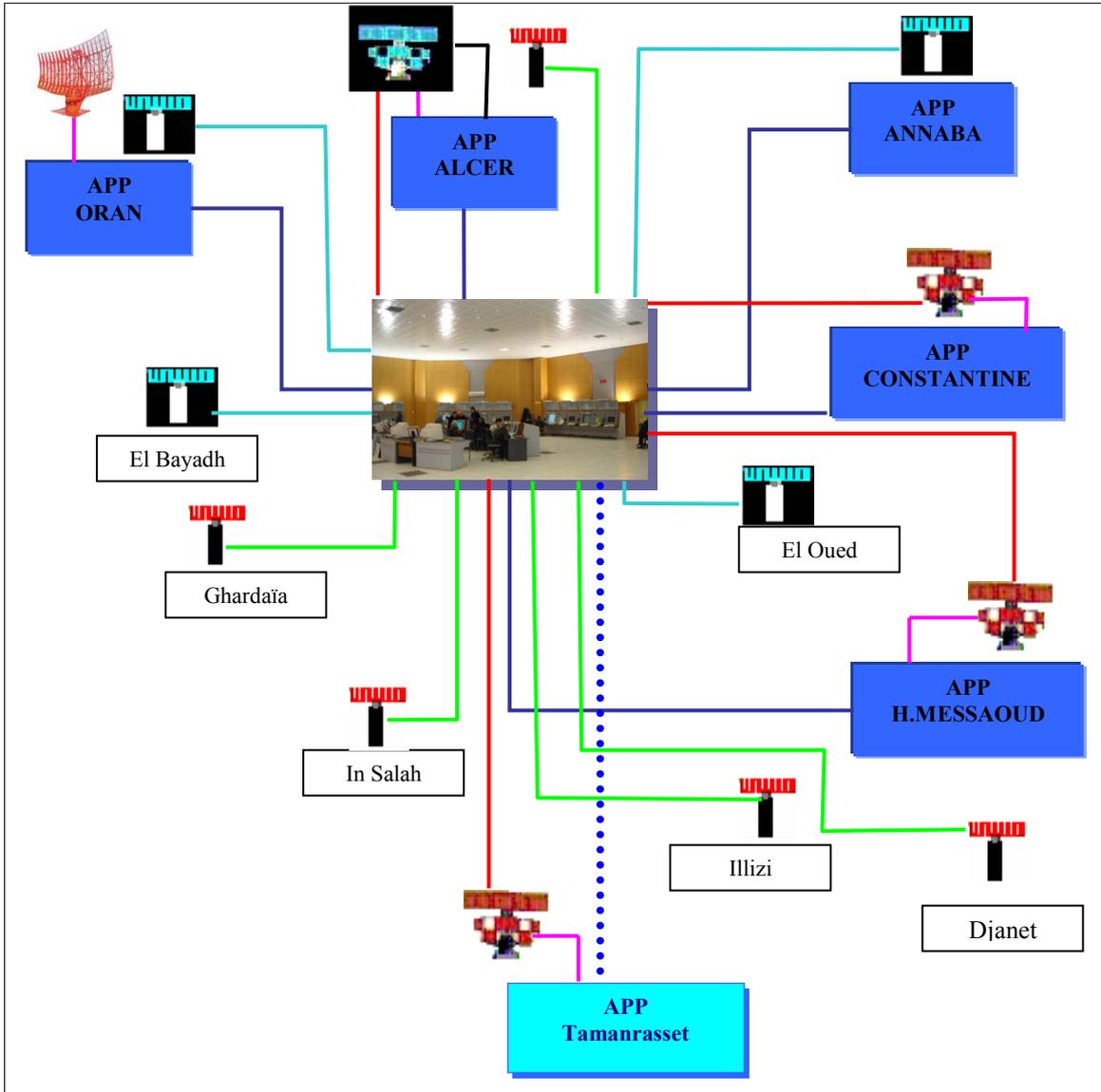


Fig. III.8 : Architecture radar Mode S proposée.

III.4 Faisabilité de l'implémentation ADS-B en Algérie

Une première utilisation de l'ADS-B peut être envisagée au sud de la FIR, caractérisée par une faible densité de trafic (Sud/Ouest), constitue une bonne alternative aux radars secondaires et peut générer des économies appréciables au pays et à l'établissement à long terme*.

Un déploiement de ce type de station dans la partie nord de la FIR afin de doubler la couverture radar et renforcer au futur la couverture aux voisinages des principaux aérodromes pour les besoins de l'approche et de la route.

Une économie estimée à plus de 60 millions de Dollars peut être dégagée avec la solution ADS-B 1090 ES sur une période de 20 ans ; la durée de vie d'une station radar. On a considéré en outre une couverture ADS-B totale de la FIR contrairement aux radars secondaires qui sont prévus uniquement dans la partie Est de la FIR. [26]

III.4.1 L'amélioration de la surveillance par l'implémentation ADS-B :

Dans ce qui suit, nous associerons à chacun des besoins qui persistent toujours même avec l'installation des radars, l'application ADS-B susceptible d'y répondre :

1. La couverture des principaux axes Nord-Sud par l'ADS/B-NRA.
2. Doubler les couvertures radars, par l'ADS/B-ACC.
3. Pour la gestion de la TMA Centre "Alger" et éventuellement les TMA Est et Ouest si la densité du trafic le justifie à long terme, l'ADS/B-TMA.

III.4.2 Architecture ADS-B proposée :

Les applications ADS/B-NRA, ADS/B-ACC et ADS/B-TMA, font partie de l'ensemble des applications « Ground Surveillance » du package one. Leurs mises en œuvre vont nécessiter le déploiement au sol d'un ensemble de stations de réception des messages ADS-B transmis par les avions équipés. La couverture est déterminée par la localisation des sites récepteurs ADS-B au sol. Leur co-implantation avec voix et données au niveau des installations de CNS proposées fournirait la double couverture au-dessus de l'espace aérien de toute la FIR algérienne et permettrait leur mise en œuvre d'une manière efficace.

La section suivante analyse en détail l'architecture système liée à la mise en œuvre de l'ADS-B conformément aux besoins opérationnels précédemment cités.

Dans le chapitre précédent nous avons présenté les avantages et inconvénients de chaque médium de communication air/sol actuellement disponible pour l'ADS-B. Nous en retiendrons un seul comme hypothèse de travail afin de permettre la suite de l'étude.

* **Recommandation OACI** : « Là où un besoin de surveillance active en route a été identifié, il reposera essentiellement sur la couverture SSR et, sur l'ADS surtout dans les espaces aériens non couverts par le SSR, de faible densité de trafic, qui sont éloignés ou au dessus des océans ». [27]

III.4.3 Le média de communication proposé :

La mise en œuvre de l'ADS-B nécessite le choix du type de liaison de données air-sol (VDL4, 1090 ES et UAT), Il convient pour l'Algérie de choisir un moyen qui permette l'interopérabilité que ce soit entre Etats Africains, mais également aux niveaux internationaux.

Pour le choix du média de communication, nous devons prendre en compte certains critères :

- Les standards internationaux requis (ICAO, RTCA, AEEC etc) ;
- L'allocation des fréquences ;
- Disponibilité de l'équipement ;
- Capacité de l'équipement (nombre d'avions) ;
- Couverture ; Précision et intégrité ;
- La situation internationale et en particulier les pays voisins ;
- Les stratégies des principaux acteurs liés au domaine de l'aérien.

En effet, la communauté internationale de l'aviation civile s'est accordée depuis 2003 (11^{ème} conférence de la navigation aérienne) à prendre en compte, à court terme, le Squitter long Mode S 1090 pour l'introduction de l'ADS-B au niveau national et régional.

Le choix peut pencher plus en faveur du "1090 ES" pour les raisons suivantes :

- Airbus a formulé ces intentions de débiter équipement de tous ces nouveaux avions de transport avec des transpondeurs qui répondent au standard "1090 ES" ;
- La NASA, FAA et le département de transport américain conduisent des essais du Mode S 1090 ES dans le Golf du Mexique ;
- UPS, transporteur de fret américain, a installé des équipements ADS-B "1090 ES" pour ses 107 Boeing 757 et 767 ;
- Plusieurs vendeurs d'avionique dispose de produits conformes au standard "1090 ES" pour les avions de transport, business jet, et l'aviation générale ;
- Sensis Corporation, le fournisseur des infrastructures sol pour les essais Australiens a fourni plus de 150 stations sol pouvant traiter les messages ADS-B "1090 ES" ;

Le 1090 ES opère sur la fréquence 1090 MHz qui est déjà utilisé pour la surveillance radar secondaire. En ce qui concerne l'actuel média de communication déjà installé dans les avions pour l'ACAS/TCAS, il semble que le Mode S squitter long est le plus adapté pour les besoins de surveillance air/sol.

Les coûts d'upgrade bord resterons a court /moyen terme acceptables car les changements concernent essentiellement le transpondeur et sa connexion au système de navigation bord. Cependant, les avions d'anciennes générations devront probablement remplacer leurs transpondeurs et leurs systèmes de navigation.

Tous les facteurs cités ci-dessus favorisent le médium «1090 MHz Extended Squitter». Nous garderons donc ce dernier comme hypothèse de travail pour la suite de l'étude.



Fig. III.9 : Station sol et antenne ADS-B basée sur le Squitter étendu 1090 MHz. [29]

Note : Cette étude n'a pas l'objectif de donner des arguments solides pour effectuer un choix définitif quant au médium de communication à utiliser pour la mise en œuvre de l'ADS-B. Le Mode S Extended Squitter est aujourd'hui un choix « politiquement correct » à court ou moyen terme. Les technologies VDL Mode 4 et UAT sont considérées aujourd'hui comme des solutions à envisager sérieusement dans un plus long terme.

III.4.4 Les sites proposés :

Neuf (09) stations seront nécessaires afin de répondre aux besoins de surveillances énumérés dans le paragraphe III.2.

Le choix des sites a été motivé en majorité par le fait qu'il s'agit d'aérodromes ou des sites déjà occupés par des moyens radio navigation. Les avantages de ces sites sont :

- Sites déjà exploités et sécurisés, donc accessibles pour les besoins de maintenance ;
- Présence d'énergie ;
- Existence de réseau de communication pouvant être utilisé pour les besoins des stations ADS-B.

Compte tenu que nous avons pris comme hypothèse d'étude l'utilisation du médium 1090 ES, nous nous baserons pour déterminer le nombre de stations à implémentées, sur un rayon théorique de couverture égal à 200 NM. (Voir la Figure V.8)

Il sera nécessaire de déployer les stations suivantes :

1. Installer deux stations au niveau des aérodromes de Boussaâda et d'El Goléa pour combler le manque de couverture du secteur Sud/Centre. La transmission de données peut se faire par des liaisons en fibre optique entre les stations ADS-B et le CCR Alger.
2. Pour couvrir les principaux axes Nord-Sud et Particulièrement une région d'ombre à l'extrême Sud/Ouest du pays ; deux stations supplémentaires seront nécessaires à Chenachen et Adrar ; ces

stations devront être autonomes car implémentées dans des zones désertes difficilement accessibles. Les transmissions de données se feront probablement via VSAT vu l'éloignement de ces dernières.

3. Installer une station à Alger qui servira de back up pour le radar d'Alger, sachant que la TMA Centre constitue le secteur le plus dense en terme de trafic en Algérie (Voir paragraphe I.3.3.1.a).

4. Doubler les radars par l'ADS-B, quatre autres stations devront être déployées.

Tableau III.2 : Emplacement de l'ADS-B.

Type d'ADS	Site
ADS-B	Boussaâda
ADS-B	El Goléa
ADS-B	Chenachene
ADS-B	Adrar
ADS-B	Alger
ADS-B	Oran
ADS-B	Annaba
ADS-B	El Bayadh
ADS-B	ElOued

III.5 Faisabilité de la multilatération en Algérie

Lors de la quinzième réunion en 2005 du groupe régional AFI de planification et de mise en oeuvre (APIRG) ; d'après les échanges de vues portant sur les besoins relatifs à la surveillance, la réunion convient qu'au cours de l'élaboration du Plan de surveillance aéronautique AFI, le sous-groupe CNS envisage l'introduction éventuelle de systèmes de surveillance utilisant la technique de multilatération, dans l'attente de leur normalisation par l'OACI.

La surveillance sol est une toute autre problématique que celle « en route » ou « en approche ». En effet savoir où se trouve l'appareil, le guider, déterminer où il va, éviter les collisions au sol du moins être informé de la position de tous les autres véhicules susceptibles d'évoluer sur les différentes voies de circulation sont, pour le contrôleur sol, des exigences essentielles de sécurité. Par beau temps, le contrôleur fournit les informations de guidage au pilote grâce à une surveillance visuelle et le pilote est chargé d'assurer l'anti-collision. Ce principe trouve vite ses limites dès que la visibilité se dégrade. Les aéroports les plus importants ont donc développé des outils d'aide au contrôle (radars sol) pour permettre au contrôleur d'assurer sa mission par mauvaise visibilité.

Bien sûr pour un aéroport qui n'a aucun système de surveillance comme le cas de Hassi Messaoud, l'introduction d'un premier moyen comme un radar sol va permettre de lever les restrictions de la réglementation mais ensuite la capacité de l'aéroport va atteindre une autre limite*. Une fois cette limite atteinte, l'augmentation de la capacité ne peut être obtenue que par l'évolution de la surveillance aéroportuaire ; ainsi pour percevoir un impact en matière d'efficacité comme la réduction du temps de roulage, la limitation du temps d'attente, l'amélioration de la fluidité du trafic, il faut mettre en place un système très évolué avec toutes les fonctions du A-SMGCS (surveillance, contrôle, routage et guidage) basé sur la multilatération mode S.



Fig. III.10 : Vigie de contrôle de Hassi-Messaoud. [9]

III.5.1 L'adaptation de la multilatération à l'aéroport Hassi Messaoud :

Vous allez vous demandé pourquoi l'adaptation de la multilatération et non pas l'application ADS-B aéroport ?

Une des raisons principales que l'ADS-B ne sera pas entièrement mis en application pendant beaucoup d'années est le coût élevé d'équiper des avions de toutes les avioniques essentielles à transmettre et recevoir l'information de l'ADS-B. Donc, il y aura une période de transition extrêmement lente compliquée par le fait que l'ADS-B et le radar utilisent la technologie très différente. Heureusement, la technologie multilatération fournit une transition élégante à ADS-B en utilisant la même infrastructure au sol.

La multilatération est considérée comme un outil de surveillance aux aéroports dont les niveaux d'activité sont accrus, où la surveillance augmentera la capacité de l'espace aérien et réduira les retards. Les zones d'exploitation pétrolière revêtent un intérêt particulier, comme Hassi Messaoud où les contrôleurs nous ont exprimés leurs besoins en matière de surveillance sol présentés ci-après :

* Malgré l'utilisation de 3 radars de surface à l'aéroport de Roissy CDG, les performances obtenues n'étaient pas suffisantes pour couvrir le besoin opérationnel donc la seule voie était pratiquement d'ajouter au système un senseur coopératif. L'ADS/B n'étant pas encore utilisable, c'est la multilatération mode S qui a été retenue.

- La position de cet aéroport au sud de notre pays (Sahara) implique des phénomènes météorologiques dominants (chasse sable, brume seiche...), réduisant la visibilité et par conséquent augmentant la charge de travail du contrôleur tour qui doit gérer la piste, la circulation des avions et les véhicules au sol ;
- La non homologation du parking aviation légère ainsi que la présence des hangars de maintenance de la compagnie de STAR AVIATION au niveau du parking rend le contrôle de ses avions au sol un peu difficile suite aux déplacements des véhicules de tractage, d'avitaillement ainsi que des véhicules transportant les personnels navigants et les passagers ;



Fig. III.11 : Hangar de maintenance STAR AVIATION à l'aéroport de Hassi messaoud. [30]

- La position de l'hangar de maintenance de STAR AVIATION empêche le contrôleur tour de surveiller des avions circulant sur la partie nord du parking surtout dans les conditions de visibilité dégradées précitées.

Dans ce qui suit, nous associerons à ces besoins la solution susceptible d'y répondre :

1. Dans le cadre de cette application, la multilatération peut permettre à l'aéroport de Hassi Messaoud de surveiller à partir du sol à l'altitude où la couverture radar proposée précédemment est présente (plafond CTR) ;
2. Elle est également envisagée à cet endroit où la couverture radar est déficiente en raison de la topographie ;
3. L'ATC continuera d'exiger une surveillance indépendante dans le cas de certaines combinaisons d'espace aérien et de circulation aérienne (comme zone interdite de Ourgla ou opère la CAM). Pour ce type de surveillance, il faut donc se servir des fonctions du radar primaire pour le contrôle d'approche et de la multilatération pour le contrôle sol ;
4. Pour la gestion des mouvements au sol à l'aérodrome, il sera nécessaire de mettre en place un système de gestion type A-SMGCS. Le besoin clairement identifié est l'amélioration de la sécurité et principalement la protection absolue de la zone de piste :

- Ce système repose sur une bonne connaissance de la position et de l'identification de tous les mobiles avec présentation d'étiquettes renseignées sur l'écran du contrôleur ;
- Dès la mise en place des premiers éléments de surveillance, on envisagera une amélioration de la sécurité. Le contrôleur aura une meilleure maîtrise de la situation et peut aider le pilote dans les circonstances difficiles;
- La fonction contrôle, avec la mise en place d'alertes anti-intrusions représente aussi un progrès important en matière de sécurité. Déjà, à l'heure actuelle il est reconnu que des accidents ont été évités grâce à cette fonction.

III.5.2 Etude préliminaire :

a) Présentation de l'aérodrome de Hassi Messaoud :

L'aérodrome de Hassi Messaoud se situe à 5 Nm au Sud Est de la ville, c'est un aérodrome ouvert à la circulation aérienne publique, aux alentours on trouve la zone industrielle de AIN EL HAMRA.

L'aérodrome est aménagé et équipé de manière à satisfaire aux activités correspondant à sa catégorie. Lié à son site géographique et à sa nature d'exploitation, il connaît un trafic dense (voir paragraphe **I.3.3.2.a**) et comprend les infrastructures suivantes :

- ✓ Une piste d'atterrissage (RWY 18/36) ;
- ✓ Six voies de circulation (TWY : AE A, B, C, D, E) ;
- ✓ Une aire de trafic qui comprend les postes de stationnement ;
- ✓ Aire d'atterrissage d'hélicoptères.

L'aéroport est doté d'un système simple de guidage et de contrôle des mouvements à la surface (SMGCS) constitué des lignes de guidage des voies de circulation, de balisage et de marquage des RWY et TWY.

La tour assure les services de circulation aérienne dans les limites de la zone de contrôle d'aérodrome CTR Hassi Messaoud dans un cercle de 10 NM jusqu'à une limite verticale de 450m.

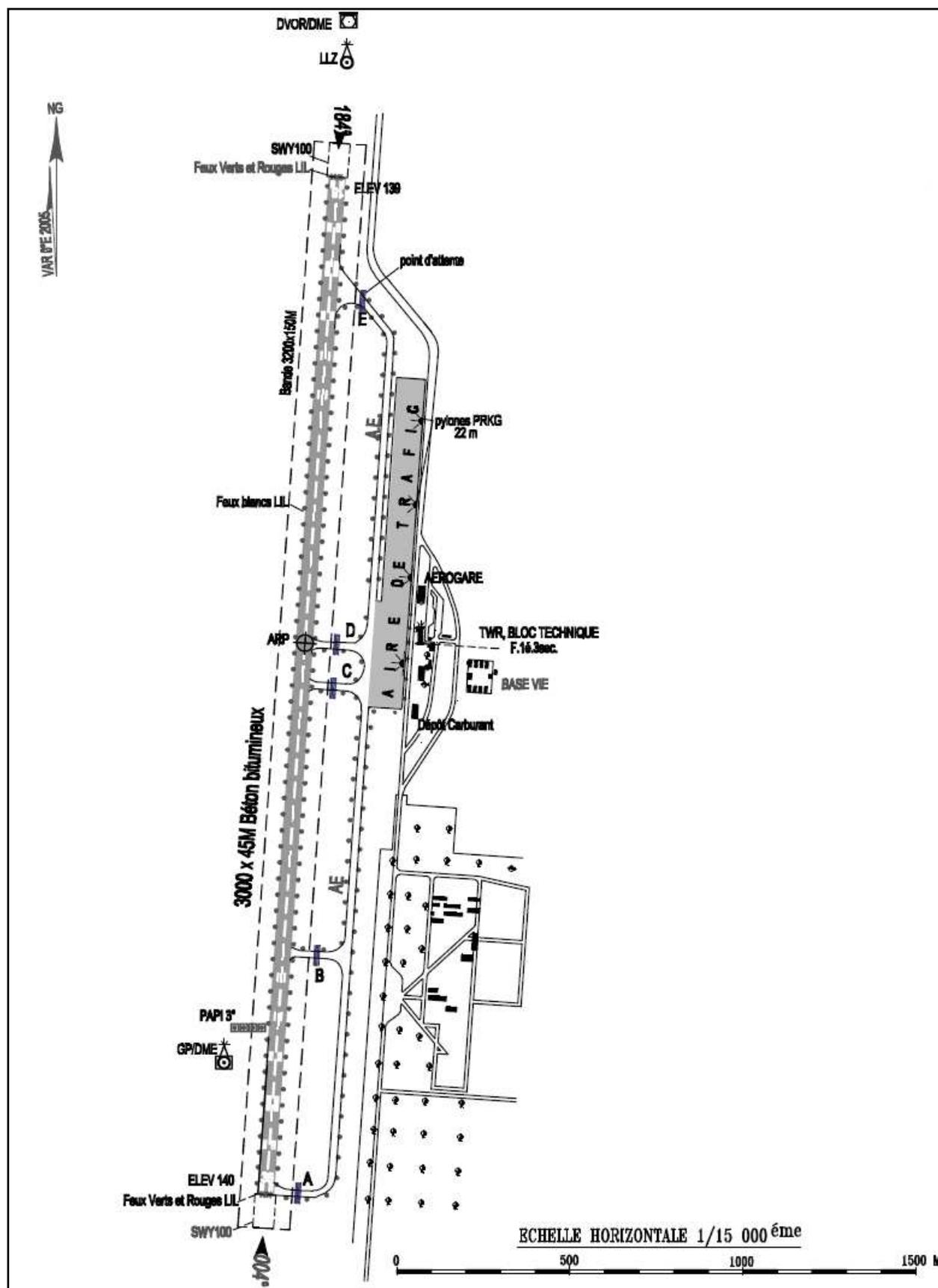


Fig. III.12 : Carte aérodrome de Hassi messaoud/Oued Irara-Krim Belkacem. [1]

b) La disposition des balises en fonction des performances demandées :

La problématique de l'adaptation de la multilatération mode S au sol est tout d'abord liée au niveau de performance désiré.

Quelle précision veut-on obtenir sur l'aire de manœuvre ; Quel niveau de redondance et d'intégrité ?

- En règle générale, la performance est liée à la géométrie et au nombre de balises, les zones les plus difficiles à gérer sont celles qui sont proches des bâtiments comme les postes de stationnement. Dans les zones tourmentées présentant de nombreuses possibilités de multi-trajet, il n'est pas rare d'être obligé de rajouter plusieurs balises pour obtenir la couverture désirée.
- Au niveau de la redondance, il faut prendre en compte l'évolution des performances en cas de perte d'une balise ou de plusieurs balises.
- Le contrôle d'intégrité, même s'il existe des solutions logicielles pour évaluer la qualité des résultats, impose aussi souvent de rajouter des balises supplémentaires permettant de vérifier en permanence les performances de l'ensemble.

Comme on peut le voir, l'adaptation de la multilatération à un aéroport est toujours la recherche du meilleur compromis entre le nombre et la position des balises sachant bien sûr, que le coût de ce système est directement lié à ce nombre et que la multiplicité des balises augmente aussi les difficultés et les coûts d'installation et d'exploitation.

c) La mise en place des moyens de transmissions :

L'implantation de ce système impose de bénéficier de moyens de communications reliant toutes les balises installées à la station centrale. Toutes les solutions sont possibles à ce niveau soit d'utiliser un réseau existant, soit de poser des câbles ou des fibres optiques.

d) Les moyens d'identification :

Le système de multilatération mode S peut déclencher des interrogations sélectives comme il peut aussi utiliser des messages existants comme ceux du type ADS-B ainsi que les réponses aux radars de surveillance mode S. Cela permet d'obtenir l'identifiant de l'avion sans interrogation spécifique mais le résultat obtenu requiert les mêmes précautions que celles associées à une interrogation sélective.

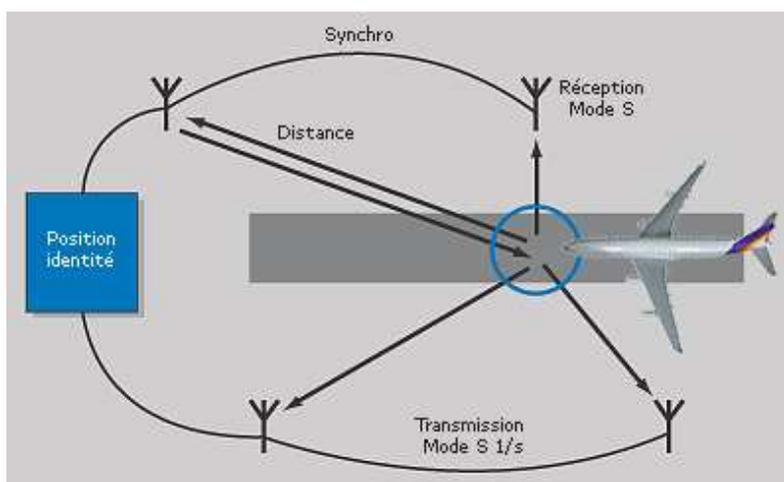


Fig. III.13 : Multilatération Mode S.

III.5.3 Architecture multilatération proposée :

La Multilatération utilise un certain nombre de stations au sol, qui sont placées dans des endroits stratégiques autour de l'aéroport, pour cela on propose de placer :

- Une station centrale située à proximité du bloc technique de la tour de contrôle ;
- Trois stations secondaires réparties autour de l'aire de mouvement, selon la densité de trafic et les performances demandées citées au paravent.

Ces unités détectent les réponses typiquement aux signaux d'interrogation transmis par le SSR-S local proposé. Chaque station secondaire est constituée d'un récepteur mode S, d'un faisceau hertzien et de son alimentation.

L'équipement central se compose, quant à lui, de:

- Trois antennes permettant de recevoir les faisceaux hertziens des autres sites ;
- Un récepteur mode S ;
- Une unité de traitement ;
- Un écran de visualisation au niveau de la vigie de contrôle.

Un processus complet de choix des sites sera nécessaire pour situer le lieu d'implantation de ces stations ainsi l'étude sur place du site sera primordiale pour évaluer sa convenance.

Puisque les différents aéronefs seront aux distances différentes de chacune des stations au sol, leurs réponses seront reçues par chaque station aux heures infiniment différentes. Utilisant des techniques de traitement par ordinateur avancées, ces distinctes différences de temps permettent à la position d'un aéronef d'être avec précision calculée.

L'avantage de la multilatération à Hassi Messaoud qu'elle n'exige aucun équipement additionnel de l'avionique des compagnies desservant la plate forme (surtout les compagnies Algérienne Air Algérie et Tassili Airlines), car elle utilise des réponses des émetteurs-récepteurs du mode A/C/S et d'ADS-B aussi bien que les émetteurs-récepteurs militaires d'IFF (avions survolant la zone militaire de Ouargla).

III.6 Les attentes souhaitées de la mise en place du projet proposé :

Etant déjà dans un environnement ADS-C/CPDLC qui remplira probablement largement son rôle dans les zones à faible densité de trafic, les attentes de l'Algérie seront plus tournées vers une mise en place d'une surveillance de type radar dans les zones moyennement denses non couvertes et un back up pour celles qui le sont déjà.

Le retour d'expérience des projets renseigne sur l'avantage à court terme. D'une manière non exhaustive :

- Passer du contrôle procédural vers un service de surveillance de type radar (par exemple dans la zone pétrolière de Hassi Messaoud), ce qui entraîne :
 - La réduction des minima de séparations ;
 - La réduction du nombre de conflits ;
 - L'amélioration de l'accès aux routes et altitudes optimums ;
 - La rentabilité et l'efficacité des vols par la réduction de la consommation carburant ;
- Rehausser le niveau de sécurité et en augmentant la capacité de l'espace aérien considéré notamment celle des approches à moyenne et forte densité de trafic tels que Alger, Constantine, Oran, Hassi Messaoud et Tamanrasset.
- Redonder les zones déjà couvertes par une simple couverture radar (le secteur centre pour la gestion de la TMA Alger). La sécurité n'en sera que plus renforcée notamment en cas de panne d'un radar pendant une heure de pointe ;
- Augmenter la sécurité de la navigation aérienne grâce à l'exploitation des données de vol élaborés à bord de l'avion : amélioration des fonctions d'alertes et outils d'aides automatisées au contrôle (corrélation de données dans le cas d'un environnement multi surveillance) ;
- Améliorer la sécurité et la capacité des opérations aéroportuaires dans les conditions de basse visibilité ; la multilatération permet de réaliser l'identification et la surveillance des mouvements des véhicules ou des avions à la surface de l'aéroport. Solution envisageable si le trafic le justifie pour l'aéroport de Hassi Messaoud à long terme ;
- Augmenter l'efficacité des recherches et sauvetages, par exemple dans les étendues désertiques couvertes par le radar ;
- Peut contribuer à optimiser le calcul des redevances de route, par l'identification exacte des points d'entrée et de sortie des avions ainsi que les routes empruntées ;
- Réduire les coûts de fourniture des services ATS du fait de l'efficacité opérationnelle accrue par, l'optimisation de la sectorisation, l'amélioration de la capacité de l'espace aérien et de l'efficacité des contrôleurs aériens, la réduction des procédures de radiotéléphonie et de la coordination sol-sol, la réduction des investigations sur les incidents ATS ;

- Réduire les coûts d'infrastructure, ceci est surtout vrai dans un environnement où tous les aéronefs seraient équipés ADS-B et où il serait envisageable de compléter les équipements radar de façon à réduire les couvertures radar multiples ;
- Réduire l'impact sur l'environnement, ex : consommation de l'énergie beaucoup plus faible que Celle d'un radar primaire ou secondaire.

III.7 Conclusion :

Le scénario élaboré dans cette partie consiste à imaginer une combinaison des techniques existantes et de celles en devenir (SSR, ADS et multilatération), en fonction de la densité de trafic des espaces aériens :

- ✓ En espace à forte densité : on déploie des radars mode S qui restent la seule technique éprouvée et sûre ; l'ADS-B pourra apporter un complément après validation ;
- ✓ En espace où l'on ne peut implanter de radar ou à faible densité: la solution de surveillance est l'ADS-B ;
- ✓ A la surface des aéroports, on s'oriente vers des systèmes de multilatération.

Pour des raisons de sécurité mais aussi politiques, il paraît difficilement envisageable de baser un système de surveillance du trafic aérien sur le seul GPS, le " tout ADS " éventuel reste donc lointain et les politiques d'équipement radar sont poursuivies.

Les applications multilatération, comme nous l'avons vu, n'ont pas atteint un niveau de maturité suffisant et la normalisation n'est pas encore fixée. C'est pourquoi, nous avons fait preuve de prudence quant aux échéances avancées dans l'étude de mise en œuvre à l'aérodrome de Hassi Messaoud.

En résumé, la réalisation des objectifs de l'étude requiert la mise en oeuvre de plusieurs initiatives, notamment en ce qui concerne les systèmes d'assistance automatisée au contrôle.

IV.1 Introduction

Les capacités actuelles d'exploitation du trafic aérien dans la FIR d'Alger ont atteint leur objectif jusqu'ici, mais doivent être modifiées pour répondre aux demandes futures. L'engagement régional de l'Algérie, pour la participation à la mise en œuvre du système ATM mondial*, nécessite des améliorations à court terme, telles que la mise à niveau des opérations de contrôle d'approche des principaux aéroports. Les opérations procédurales actuelles devront évoluer vers le contrôle radar d'abord dans l'espace aérien nord, puis aller vers le sud, et ensuite vers un environnement d'exploitation de Surveillance Automatique Dépendante (ADS) dans l'extrême Sud au fur et à mesure que le trafic augmente, que les pratiques opérationnelles régionales évoluent et que les futurs systèmes de CNS seront mis en place.

IV.2 Le contrôle aux procédures classiques

Le contrôle aux procédures classiques est effectif en Algérie depuis l'apparition du contrôle de la circulation aérienne. Il consiste en la gestion de trafic aérien sans aucune image de contrôle. Le positionnement d'un appareil se fait par contact radio et à l'aide de strip papier. Le contrôleur doit maîtriser parfaitement les routes aériennes pour pouvoir déterminer la position théorique de l'avion. Le strip est une petite bande de papier, aussi nommée bande de progression, exploitée par le contrôleur sur laquelle figure :

- L'identification de l'appareil ;
- Le type de l'appareil ;
- L'heure estimée de départ ETD ;
- Le niveau de vol demandé par le pilote ainsi que les balises et/ou points de la route suivie par l'appareil pendant son vol.

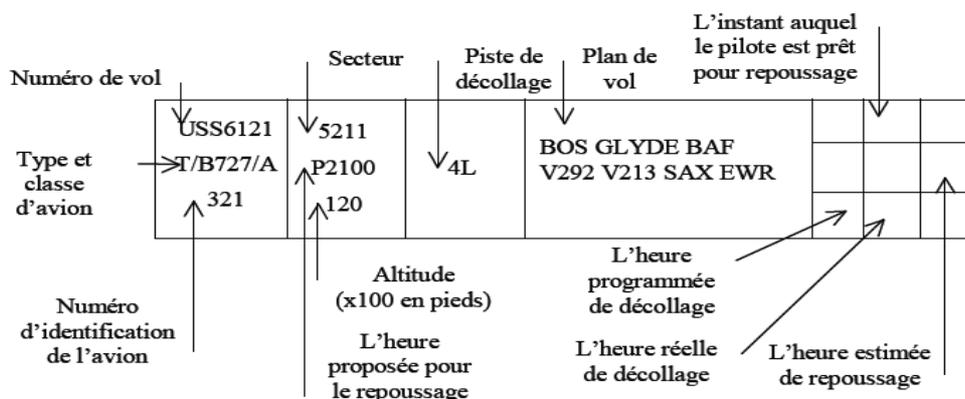


Fig. IV.1 : Exemple de bande de progression. [31]

* Un système qui assure l'interopérabilité et la non-discontinuité entre les régions du globe pour tous les usagers durant toutes les phases de vol, et qui offre les niveaux de sécurité convenus, permet une économie optimale des vols, est compatible avec l'environnement et respecte les impératifs de sécurité nationale. [32]

Il permet d'aider le contrôleur dans le positionnement d'un appareil de suivre la progression de celui-ci dans un espace donné. Au moment où le pilote entre en contact avec le contrôleur du secteur concerné, le contrôleur le guide et lui donne les informations nécessaires à la traversée du secteur dans des conditions optimales.

Le contrôleur établit également les strips, à partir du plan de vol qu'il reçoit grâce à une machine directement reliée au Réseau des Services Fixes des Télécommunications Aéronautiques (RSFTA), d'où arrive tous les plans de vol envoyés par les bureaux de piste des aérodromes de départ. Les plans de vol reçus sont au format OACI et le contrôleur doit élaborer le strip de telle sorte qu'il soit directement exploitable.

IV.3 Les besoins d'automatisation

L'absence d'automatisation et de surveillance limitent grandement les capacités des fournisseurs de l'ATC à diriger un grand volume de trafic et à répondre aux demandes grandissantes des compagnies aériennes car le système de contrôle repose sur des opérations manuelles et des normes d'espacement procédurales d'où la nécessité d'accroître la capacité et les performances du système de navigation aérienne en Algérie.

Ayant eu l'honneur de rencontrer le chef des projets TRAFCA et PDGEA Mr.GUELMAOUI, nous allons exposer les origines et la nécessité de ces projets dans le cadre de la gestion de circulation aérienne.

Le projet de modernisation de l'espace aérien (TRAFCA) a été lancé en 1999 pour :

- ✓ Améliorer la sécurité de la circulation aérienne ;
- ✓ Augmenter la capacité de gestion du trafic aérien ;
- ✓ Fournir des outils afin d'assister le contrôleur et d'augmenter la capacité de ce secteur ;
- ✓ Alléger le volume de travail du contrôleur en prenant en charge les tâches fastidieuses ;
- ✓ Assurer l'intégrité des données ;
- ✓ Visualisation intelligente des données de trafic aérien ;
- ✓ Réduire la charge des canaux vocaux ;
- ✓ Prévoir et réguler le trafic aérien.

IV.4 Système automatisé du contrôle aérien en Algérie

IV.4.1 Centre de contrôle, position actuelle:

Depuis environ six ans, dans le cadre du projet TRAFCA, le centre de contrôle régional est réalisé à Alger Oued-Smar. Ce centre répond à des exigences techniques et fonctionnelles qui ont apportées une importante amélioration des services du contrôle aérien en Algérie.

Pendant notre stage, on a eu la chance de visiter le CCR d'Alger dont la familiarisation avec le système automatisé de gestion de l'espace aérien, nous a permis d'approfondir les notions

de contrôle aérien et d'anticiper certaines connaissances concernant l'exploitation du radar, de l'ADS-C et du CPDLC.

D'une manière sommaire le CCR comprend :

- Une salle opérationnelle de contrôle avec : 14 positions de contrôle ; une position de supervision opérationnelle et deux positions FMP* (R0DAO et R1DAO).
- Une salle technique disposant d'une position de supervision technique.



Fig. IV.2: Salle CCR.

Le système Eurocat X de Thales ATM a été sélectionné pour le centre de contrôle du trafic aérien "en route" d'Alger et pour les centres de contrôle d'approche d'Alger, Oran, Constantine, et Annaba. Ce système répond aux spécifications fonctionnelles d'un centre automatisé moderne et conforme aux dernières exigences internationales. On retiendra qu'il intègre le traitement des données radars et ADS, la réception et l'envoi de messages CPDLC, les fonctions avancées de traitement plan de vol et de coordination automatique, la détection de conflit à partir des plans de vol, stripping électronique, les fonctions de surveillance et d'alerte, etc.

Ce dernier implémente également des fonctions d'analyse de données et de rejeu de situation, de supervision technique, ainsi qu'un système de simulation tour et centre de contrôle pour la formation.

Un projet analogue dans le PDGEA est également envisagé pour la réalisation d'un deuxième centre de contrôle pour la région Sud à Tamanrasset.

* La FMP/Alger représente l'interface entre la CEU (Central Executive Unit) et le centre de contrôle régional d'Alger. [1]

IV.4.1.1 Présentation du système Eurocat X :

Ce système possède plusieurs fonctions avancées. Examinons les en détails :

1. Traitement des Données Radar :

➤ Radar Data Processing (RTP):

La fonction RTP fournit des données pistes au niveau de l'interface avec le contrôleur (HMI). Le type de données qui initient les pistes affichées est indiqué par les symboles utilisés comme le montre le schéma suivant.

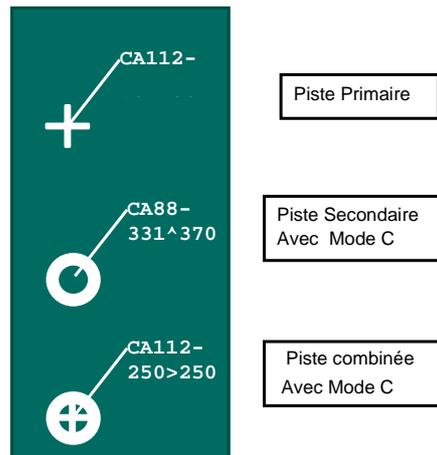


Fig. IV.3: Les symboles pistes radar. [33]

Cette fonction permet le traitement des pistes locales qui proviennent de chaque radar en utilisant des critères spécifiques pour la créer et afficher une piste système globale.

Tout cela est réalisé par la manipulation des données radar entrantes (les pistes radar et les informations météorologiques) à partir des différents radars reliés au centre de contrôle.

➤ Multi-tracking Data Processing (MTP) :

La fonction MTP accomplit plusieurs tâches :

- ✓ Le tracking Multi-radar consiste en l'association des différentes pistes locales pour chaque aéronef dans l'objectif de fournir une détection continue des aéronefs par la combinaison de couvertures radar adjacentes
- ✓ Traitement du code transpondeur Mode A et des informations transpondeur Mode C.
- ✓ Association des pistes radar avec les données plan de vol correspondantes afin d'afficher le label rattaché au symbole de la piste aéronef.
- ✓ Contribuer aux possibilités d'alerte et d'avertissement du système.

2. Traitement des Données Plan de vol (FDP)

Cette fonction :

- Compile et prépare pour afficher les "strips électroniques" ;

- Assure la continuité lors du transfert de contrôle entre opérateurs. C'est le plan de vol qui est transféré et non pas la piste radar. Pour cette raison le plan de vol doit être dynamiquement mis à jour ;
- Modifie et met à jour automatiquement les enregistrements des données de vol.
- Le FDP crée l'information de position sur la base des données qu'il reçoit (suite au contact pilote) qui sont manuellement mis à jours dans le FDP par le contrôleur. Une fois la mise à jour reçue, le FDP extrapole le future point sur la route en tenant compte des performances de l'aéronef, les conditions atmosphérique et de vents.
- Habilité le contrôleur à prédire et identifier des conflits (FPCP) futurs entre aéronefs sur la base de plans de vols déposés ou modifiés à l'aide des rapports FPCP consistent en :
 - ✓ L'identification de la paire d'aéronef ;
 - ✓ La durée du conflit (début et fin du conflit) ;
 - ✓ Pour chaque aéronef, le point sur le plan de vol où le conflit est détecté.

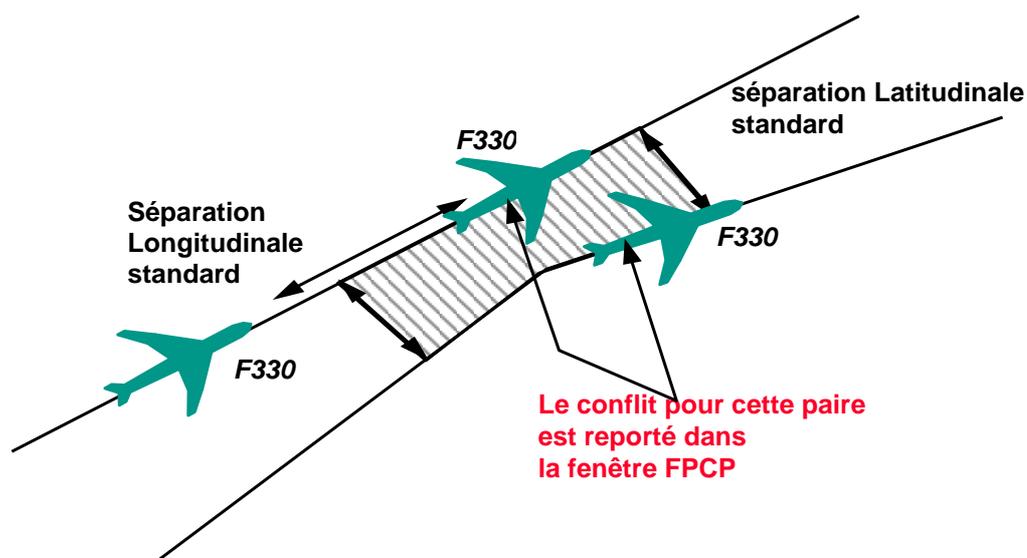


Fig. IV.4 : Plan de vol conflit sonde FPCP. [33]

3. Corrélation Piste/Plan de vol :

Cette fonction établit l'association entre la piste système et le plan de vol, basé sur :

- Le code SSR de la piste, et
- Le code SSR assigné au plan de vol, et
- La position de la piste par rapport à la route prévue.

4. Filet de Sauvegarde et Aide à la Surveillance (SNMAP) :

Le système est équipé de plusieurs alarmes et avertissements de différents types. Ils ont pour but d'aider le contrôleur en lui allégeant la charge de travail au secteur.

- Contrôle de l'adhérence à la route (RAM)

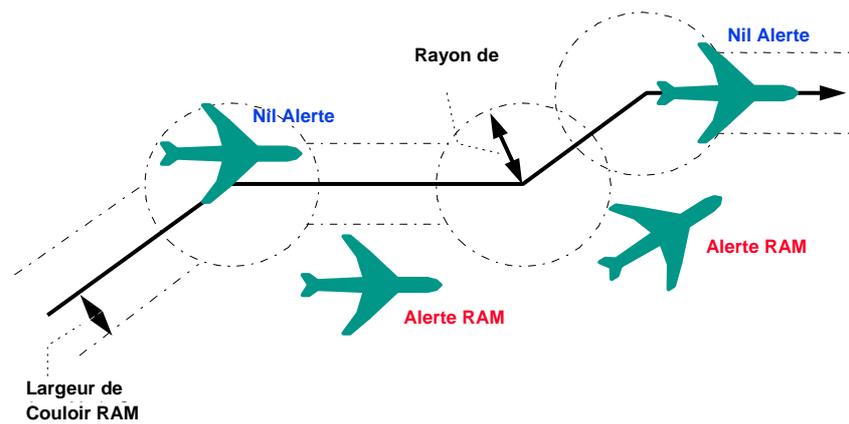


Fig. IV.5 : Contrôle de l'adhérence à la route (RAM). [6]

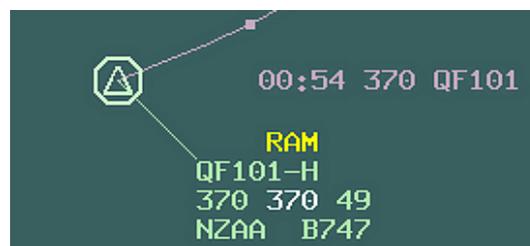


Fig. IV.6 : Exemple de RAM.

- Contrôle de l'adhérence au niveau éclairé (CLAM)
- Capacités d'alerte Radar dont les fonctions sont :
 - Alerte de conflit à cours terme (STCA) ;
 - Avertissement du l'altitude minimale de sécurité (MSAW).
- Avertissement de violation de zone dangereuse (DAIW).

5. Traitement des données ADS-C et CPDLC :

- Le système permet au contrôleur d'établir un dialogue, via le datalink avec les aéronefs équipés qui indique au contrôleur la position de l'aéronef en accord avec l'ADS.
- L'ADS rapporte la position de l'aéronef, tel que déterminé par les équipements de bord de l'aéronef en utilisant les satellites. Ceci au format de contrat ADS.

A l'écran, une position ADS-C se matérialise par un symbole différent du symbole du position radar, permettant ainsi au contrôleur de savoir le mode de positionnement d'un aéronef donné. Tout avion connecté au système et pénétrant la couverture radar, se matérialise immédiatement en position radar ; c'est à dire que le symbole passe de l'icône ADS-C à l'icône radar. On peut rajouter que les alarmes citées précédemment existent aussi dans le cas de l'ADS ;il en existe d'autre spécifique à l'ADS comme ADS Route Conformance Warning (ARCW) qui se déclenche si le vecteur de l'aéronef est en dehors de la route définie par le plan de vol actuelle.

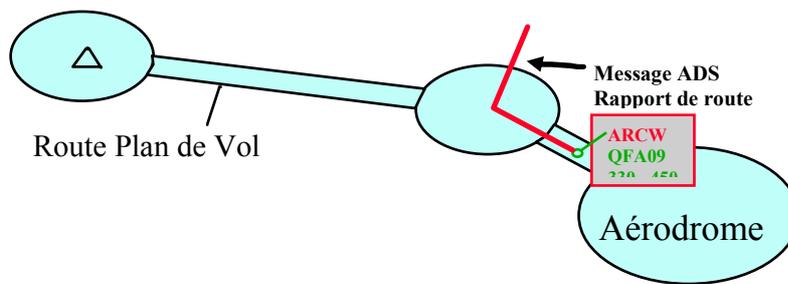


Fig. IV.7 : ARCW. [33]

- Pour le CPDLC, la connexion est initiée par le pilote qui introduit un code constitué de 4 lettres propre à chaque pays ; pour permettre un contact direct avec le système (DAAA en Algérie). Le message est affiché à l'écran permettant aussi au contrôleur de suivre le positionnement de l'aéronef. [34]

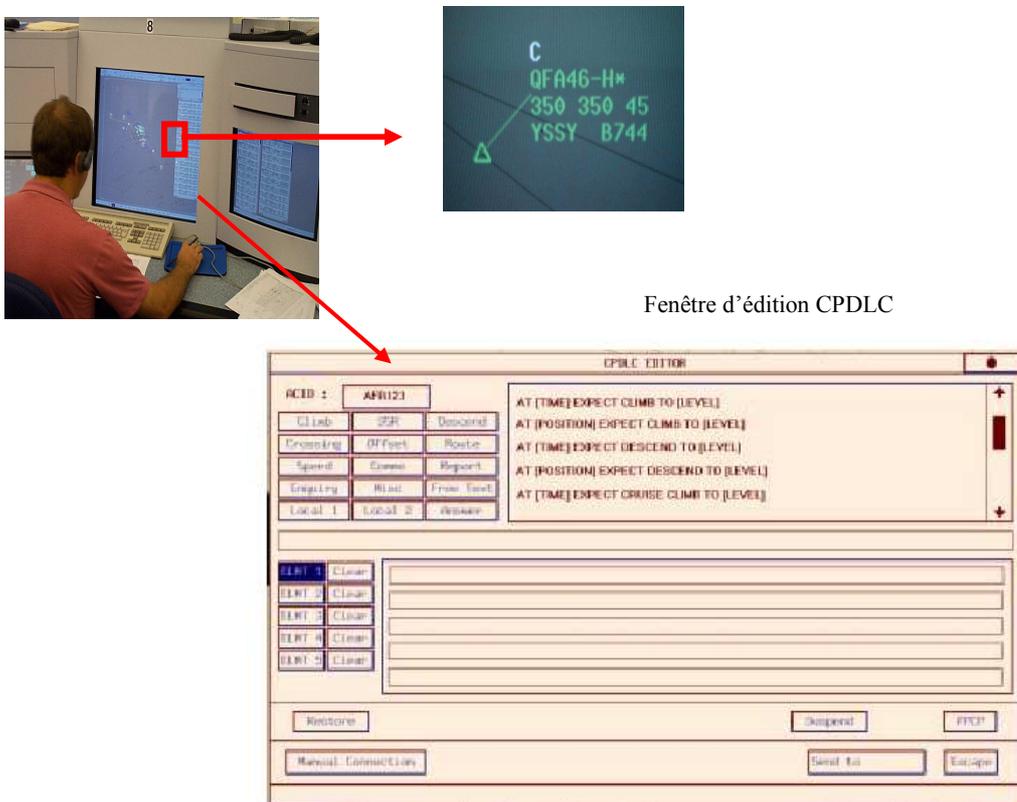


Fig. IV.8 : Affichage ADS et CPDLC. [19]

6. Affichage de la Situation Aérienne (ASD) :

Le système de visualisation présente aussi fidèlement que possible la situation aérienne à l'utilisateur final, le contrôleur.

L'ASD (AIR SITUATION DISPLAY) présente:

- Les données Radar ;
- Les données plan de vol ;
- Les données ADS ;
- Et d'autres informations Sur différentes fenêtres entièrement maniables par l'opérateur.

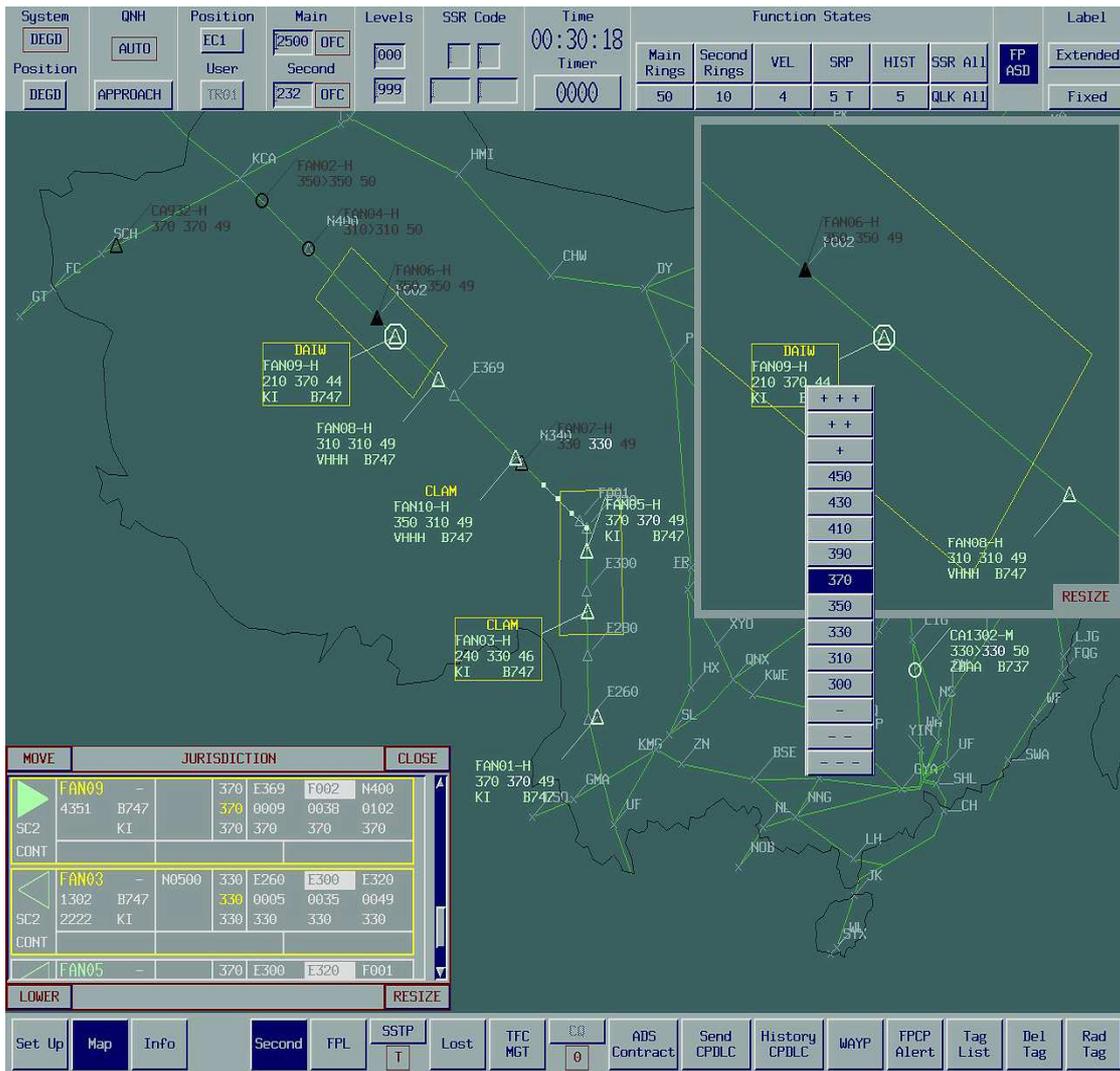


Fig. IV.9 : Ecran de visualisation de la situation de trafic. [6]

IV.4.2 Le Centre de contrôle, position future :

La mise en œuvre du plan de surveillance proposé a un impact important sur les systèmes de traitement et de visualisation du ou des centres ATC qui seront amenés à exploiter les reports ADS-B et les données SSR mode S. Nous avons identifié les impacts suivants :

- Ajout d'une ou plusieurs interfaces communication ;
- Traitement de plot ADS-B et SSR-S: création de piste, poursuite, corrélation des pistes avec les plans de vol, éventuellement fusion avec les pistes ADS/B et radars ;
- Visualisation des pistes;
- Mise à niveau des fonctions de surveillance et d'alerte STCA, MSAW, RAM et CLAM pour tirer profit des reports ADS-B et données SSR-S ;
- Les systèmes d'enregistrement légal "Data Recorder" devront également être mis à niveau pour permettre l'enregistrement de toutes les données ;
- Un système de supervision technique spécialisée.

Les impacts seront plus particulièrement localisés sur les fonctions suivantes de l'Eurocat X du centre ACC d' Alger :

- Surveillance Data Processing (SDP)

Le SDP est un processeur centralisé pour l'intégration des informations parvenant des différents moyens de surveillance (radars et ADS/B). Sa fonction est d'effectuer les différents contrôles d'intégrité du récepteur de données, et de calculer le nombre d'alerte de sécurité détecté sur des pistes ADS/B. L'autre fonction est semblable que celle du RDPS (Radar Data Processing System) ; le SDP est capable de corrélér l'information du Flight Plan Data avec celle de la Surveillance Information Processing Unit (SDPU) pour estimer la prochaine position possible associée à un avion.

La corrélation entre la surveillance de la route et les données "plan de vol" seront utilisées pour la présentation de l'indicatif de l'avion sur ses positions spécifiques. Le "call sign" ainsi que n'importe quelle autre donnée prédéfinie sera annexée aux données route pour les inclure sur l'étiquette avion affichée sur le display.

- Air Traffic Situation Display (ATSD)

L'ATSD est la fonction qui fournit une visualisation automatique et continue du trafic environnant provenant de toutes les sources disponibles (le plan de vol, les reports des pilotes, ADS et radars).

La figure ci-après résume l'architecture d'un centre ATC :

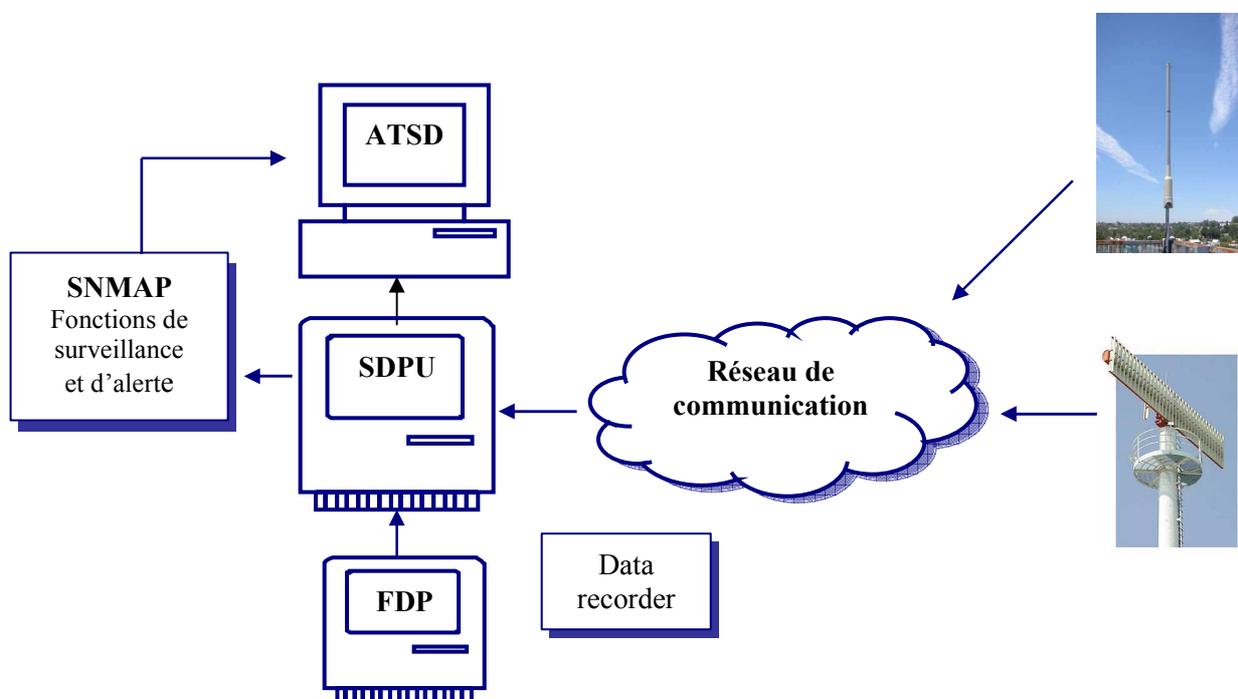


Fig. IV.10 : Architecture centre ATC.

Voici un exemple de ce que l'on pourrait voir sur une position de contrôle dans un environnement multi-surveillance :

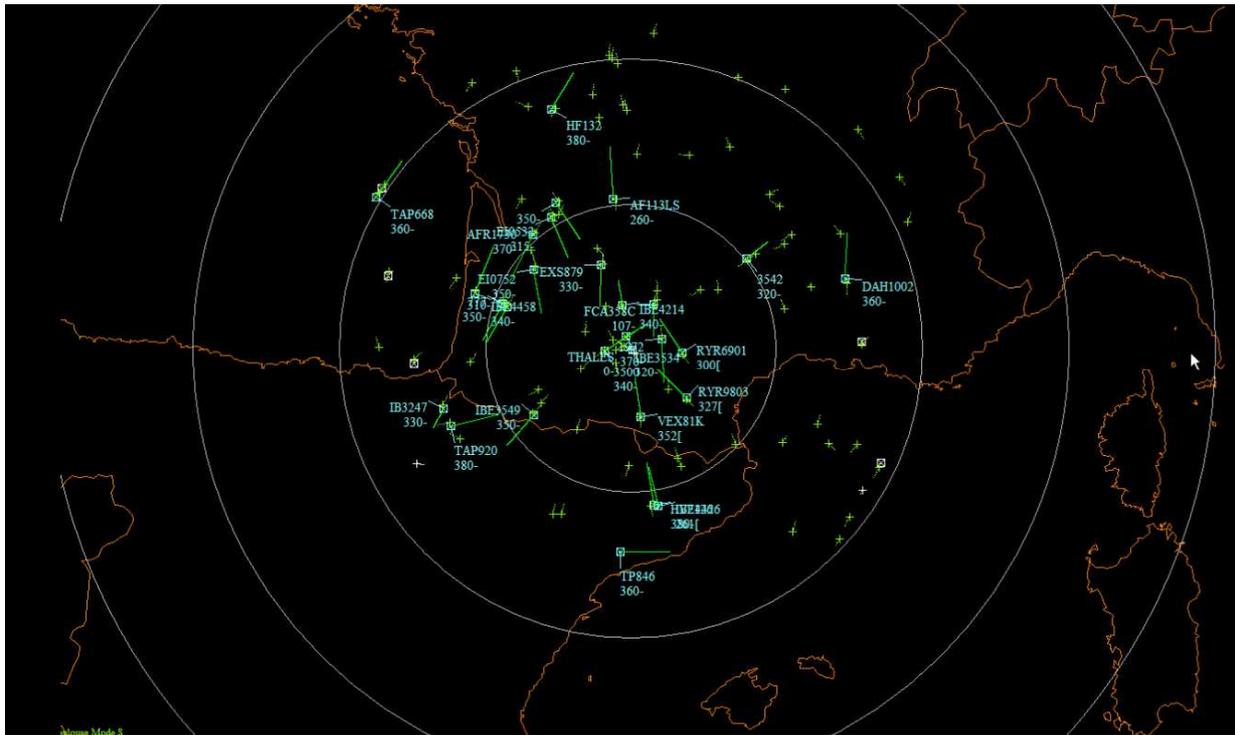


Fig. IV.11 : Situation aérienne autour de Toulouse cercles de 100 Nm. [35]

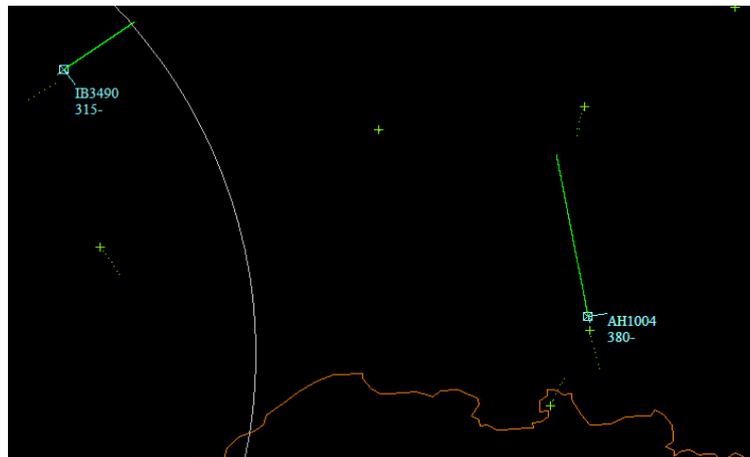


Fig. IV.12 : Avion Air Algérie vol AH1004 Alger - Orly le 03 mars 2005 en A330. [35]

IV.4.3 La mise en oeuvre opérationnelle du projet :

Pour cette phase, un plan d'implémentation ainsi qu'un scénario de transition, auront déjà été établis pour permettre d'organiser l'installation et la transition des nouvelles infrastructures afin de minimiser l'impact sur les services opérationnels.

Durant cette phase, la principale tâche qui devra être achevée est l'installation de toutes les stations sol sur les sites sélectionnés, ainsi que la modification du ou des systèmes ATC existants. Selon les cas de figure cités ci-après, une période de transition est nécessaire pour :

- Finalisation des mises au point opérationnelles et techniques ;
- Prise en main des nouvelles fonctions ;
- Familiarisation à la nouvelle organisation ;
- Tester les plans d'urgences.

Nous devons être prêts à faire face aux difficultés d'interface entre les systèmes nouveaux et les existants. Une forte coopération et coordination entre les experts techniques et opérationnels sont absolument nécessaires. Par ailleurs, lancer un programme de formation d'experts en management serait un bon investissement.

Les deux cas de figure se présentent :

1^{er} cas : ACC Tamanrasset non opérationnel :

Il sera nécessaire de mettre à niveau le système de gestion du trafic aérien d'Alger afin qu'il puisse prendre en compte les pistes SSR-S.

En 2020, il est très probable que le système EUROCAT X d'Alger soit en cours de remplacement car il aura atteint sa fin de vie théorique. Les outils de contrôle aérien actuels devront être remplacés par un nouveau système qui s'interfacera au tout nouveau radar mode S implanté. Le nouveau système, basé sur les produits EUROCAT-X de Thales et ATALIS d'Egis Avia, continuera comme l'ancien à gérer l'ADS-C, le CPDLC, et est capable de traiter l'ADS-B.

L'implantation de ce nouveau système permettra de réduire les séparations dans l'espace désertique et d'améliorer dans l'absolu la sécurité dans l'espace radar.

2^{ème} cas : ACC Tamanrasset opérationnel :

Le choix de Tamanrasset n'est toutefois pas fortuit, puisqu'il s'agit du plus important couloir aérien entre le nord et le sud, qui traverse plusieurs pays. Ce projet permettra de prendre en charge le trafic du grand Sud, au-delà de Hassi Messaoud jusqu'à la limite de l'extrême Sud algérien, avec des moyens similaires à ceux d'ALGER. Mais l'emplacement d'un système de gestion du trafic aérien complet est une opération complexe, qui devra être menée par étapes successives : le bon fonctionnement du système devra être vérifié, les utilisateurs devront recevoir la formation nécessaire, et le niveau de sécurité requis devra être démontré.

Dans ce cas, on fait l'hypothèse que l'ACC de Tamanrasset sera doté d'un système ATC intégrant toutes les fonctions de traitement et d'exploitation multisurveillance. Il conviendra de prévoir les interfaces nécessaires au niveau de Tamanrasset afin que ce centre puisse recevoir les données de l'ACC d'Alger de manière à le secourir en cas de panne, c'est-à-dire que les deux centres auront à œuvrer en étroite collaboration pour pouvoir pallier aux éventuels problèmes que

l'un d'eux peut rencontrer et permettre par conséquent à l'autre d'assurer la continuité des missions dont ils ont la charge.

IV.4.4 L'impact sur la fourniture du service Radar :

Le système radar est destiné à fournir les services de contrôle, de surveillance et d'information radar de route dans les trois secteurs du nord de la FIR Alger (TMA Centre Alger, TMA Est et TMA ORAN) et le service radar d'approche en zone terminale de l'aérodrome d'Alger. [36]

Le service radar en Algérie connaît actuellement une phase de transition de surveillance au contrôle radar. Le bureau de contrôle d'approche d'Alger assure le service de contrôle radar d'approche dans la CTA d'Alger avec un minimum de séparation de 07 NM. Le centre de contrôle régional d'Alger assure le service de contrôle radar régional, avec un minimum de séparation de 20 NM, dans les secteurs « TMA Centre Alger » inférieur et supérieur depuis 12 Mars 2009 [1], tandis que pour TMA Est et TMA Oran le passage au contrôle Radar est prévu le 4 Juin 2009 avec la réduction de la séparation à 10 NM. [6]

Les attentes de notre projet sur la fourniture du service radar seront concrétisées par :

- La mise en oeuvre du Contrôle Radar à Constantine, Ghardaïa, Hassi Messaoud et Tamanrasset : Les moyens techniques seront fournis par la mise en place d'installations de SSR-S à Constantine, Ghardaïa, Hassi Messaoud et Tamanrasset, par l'installation d'équipements de traitement et de visualisation dans chaque APP et la fourniture de télécommunications VSAT, PTT ou réseau ENNA à partir des d'installations SSR vers l'APP approprié et les ACC Alger et Tamanrasset.

- L'Extension de la Couverture radar en route dans l'Espace Aérien Sud Est :

Les moyens techniques seront fournis par la mise en place d'installations SSR-S à Djanet et Illizi ; l'établissement de télécommunications VSAT/PTT entre les SSR-S et les ACC d'Alger et du Sud de l'Algérie, et l'adaptation des systèmes de traitement et de visualisation des ACC aux opérations de couverture étendue.

- L'Extension de la Couverture en route par des pseudo radars ADS-B dans l'Espace Aérien Sud Ouest : Mise en place de télécoms VSAT/PTT à partir des installations ADS-B vers les ACC d'Alger et éventuellement du sud algérien. Ces capacités supplémentaires élargiront les services de trafic aérien et amélioreront les opérations de trafic aérien dans le la FIR d'Alger.

Dès que les services de communications air-sol et sol-sol seront améliorés, que les services radar seront mis en place, et que le personnel contrôleur sera certifié pour le radar, les services de navigation aérienne devraient faire une transition du contrôle procédural conventionnel vers le contrôle radar.

IV.4.5 L'automatisation de la surveillance sol à l'aéroport de Hassi Messaoud :

On a pu présenter précédemment la multilatération Mode S comme un capteur essentiel aux applications A-SMGCS. Donc, on peut dire avec certitude que cet équipement contribuera très largement au succès du A-SMGCS. Il lui permettra d'atteindre les objectifs de performances de la fonction surveillance.

La mise en place de cette technologie à l'aéroport de Hassi Messaoud fera une occasion unique :

- ✓ D'intégrer de manière optimale les technologies de contrôle aérien sol les plus récentes (première en Algérie) ;
- ✓ De maximiser la visibilité des contrôleurs aériens sur cet aéroport ;
- ✓ De mettre au point l'ergonomie des postes de travail des contrôleurs tour ;
- ✓ De gérer de manière efficace le trafic aéroportuaire, également de faire face aux développements de l'aéroport et à l'évolution du trafic aérien, tout en garantissant le plus haut degré de sécurité.

La réalisation de ce concept prendra forme grâce à :

- ✓ L'installation des quatre capteurs sol de système de multilatération et Une unité de traitement (Voir paragraphe III.5.3) ;



- ✓ L'équipement des véhicules qui circulent sur l'aéroport ;



Note : référence images [37].

- ✓ L'intégration des systèmes d'affichage des données qui permettent aux contrôleurs aériens d'observer et d'identifier sur leurs écrans les avions à l'aéroport, avec une grande précision, ainsi un système « filet de sauvegarde », qui affiche une alerte sur l'IHM indiquant les possibles risques d'intrusion de piste.



- Départs
- Arrivées
- 1- Piste fermée
- 2- Fenêtre d'atterrissage
- 3- Position de véhicule
- 4- Etiquette de départ
- 5- Etiquette d'arrivée
- 6- Fenêtre STR
- 7- Liste de départ

Fig. IV.13 : Exemple d'image A-SMGCS à CDG. [24]

IV.4.5.1 Interfaces Homme Machine dans le A-SMGCS :

Les IHM (Interfaces Homme Machine) dans le A-SMGCS sont le lien entre le système et les utilisateurs.

Lors de la décision de choisir un tel système pour la tour de Hassi Messaoud, les responsables de ce projet seront envisagés de prendre en considération les points suivants :

- L'IHM du contrôleur doit lui permettre d'obtenir tous les renseignements nécessaires à son travail et doit évoluer en fonction du niveau de perfection ou d'automatisme du système.
- Or on sait assez bien ce que peut être une IHM représentative de la fonction surveillance et de la fonction anti-collision mais on sait très mal définir les évolutions nécessaires pour les fonctions guidage et routage.
- Cependant cette IHM doit permettre d'améliorer les conditions de travail du contrôleur, doit lui permettre de gagner du temps et aussi d'appréhender des situations qu'il n'aurait pas pu prendre en compte sans cette aide. Elle doit bien sûr être interactive pour permettre au contrôleur de la faire évoluer et chercher les renseignements qui lui sont nécessaires en temps réel ;
- Des séances de formation pour les contrôleurs et une phase d'évaluation opérationnelle de l'ensemble du système précéderont sa mise en service effective.

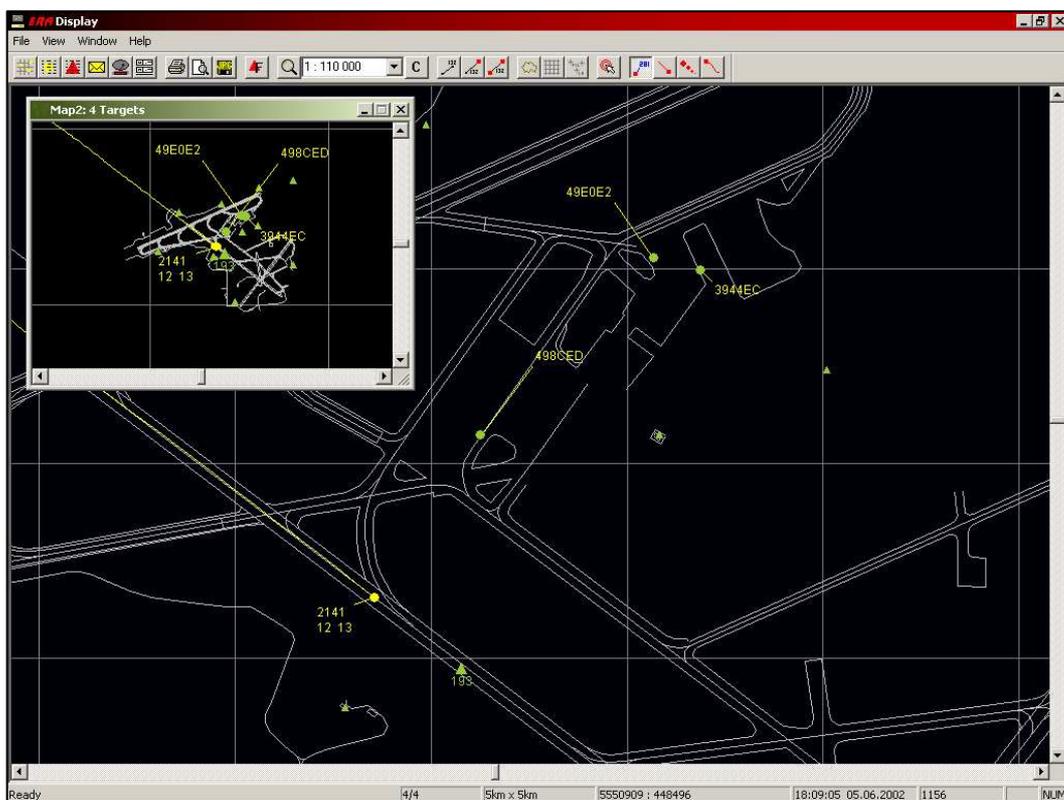


Fig. IV.14 : Ecran de visualisation de la situation de trafic sol. [37]

IV.4.5.2 Les bénéfices de l'expérimentation de la multilatération :

Finalement, l'adaptation de la multilatération à l'aéroport de Hassi Messaoud aidera à acquérir l'expérience opérationnelle nécessaire, par l'anticipation des problèmes liés à son exploitation et l'évaluation de pré les résultats de son utilisation, avant de prendre la décision d'opter pour cette technologie pour pallier à certains problèmes de surveillance sol dans d'autres aéroports algériens.

Les bénéfices attendus d'une telle opération sont les suivants :

- ✓ Procéder à une évaluation opérationnelle des apports de l'A-SMGCS ;
- ✓ Familiariser la communauté aéronautique Algérienne avec la multilatération par la manipulation opérationnelle et l'expérience technique ;
- ✓ Acquérir une expertise interne dans le développement de procédures de surveillance associé à la multilatération ;
- ✓ Former et familiariser les contrôleurs ATC aux principales utilisations de ce concept dans un environnement automatisé.

Les résultats de ces tests seront analysés et documentés pour permettre la rédaction d'un guide opérationnel et technique destiné aux opérateurs et aux équipes de maintenance.

IV.5 Conclusion

Le futur système ATM est celui de son automatisation, car l'ATM n'est que traitement de l'information. La seule voie possible demeure celle de l'évolution car il n'y a pas eu et il n'y aura pas de révolution dans le transport aérien pour des raisons de sécurité et d'économie. Néanmoins, toute solution doit, dès le départ, intégrer la transition. Cette transition dans la gestion du trafic aérien Algérien s'est faite et se fera par petites étapes successives. On ne peut pas tout changer du jour au lendemain ; à chaque étape il faut encore s'assurer que le changement est sûr. Les coûts très élevés des développements et de la mise en œuvre (logiciels, procédures, validation, formation), en Algérie, poussent également à ce mode d'évolution progressive. Celle-ci se fera avec les opérateurs, les contrôleurs et les pilotes tout en assurant la synchronisation entre les systèmes sol et bord.

V.1 Introduction

Dans cette section nous présentons un outil permettant de simuler et d'évaluer la couverture des nouveaux moyens de surveillance proposés dans cette étude. Son principe consiste à tracer pour chaque station (Radar et ADS-B) figurant sur la carte, la zone de détection concernée à base de ces performances techniques.

V.2 Objectifs de la simulation des couvertures

Le travail présenté traite les besoins de la surveillance du trafic aérien en Algérie pour une meilleure intégration du concept CNS/ATM. L'idéal est d'arriver à une couverture totale de l'espace aérien Algérien. Pour cela, Ce dernier chapitre s'inscrit dans le but de concrétiser cette étude par différentes simulations :

➤ **Simulation 1 :**

Dans une première stratégie, appelée couverture théorique, des simulations sont réalisées à l'aide du MapInfo (version 7.5), sans tenir compte de l'effet de la topographie.

➤ **Simulation 2 :**

Dans une seconde stratégie, appelée couverture réelle, les opérations sont programmées avec Global Mapper (version 7) en tenant compte du relief.

Le résultat attendu de nos simulations doit montrer que les sites choisis sont les plus adéquats pour combler le trou de couverture radar actuel dans le Nord algérien d'une part et la prise en charge des principaux flux de trafic d'une autre part.

V.3 Familiarisation avec les simulateurs

V.3.1 Radio mobile :

Ce logiciel est un outil servant à la prédiction de la performance d'un système radio. Il utilise des données topographiques numérisées pour extraire les altitudes le long des profils terrestres reliant les stations émettrices et réceptrices.

Ces données s'ajoutent aux paramètres environnementaux et techniques du système pour alimenter les routines du modèle de propagation radio. Les données topographiques sont aussi utilisées pour créer des cartes virtuelles en arrière plan. La surface de la carte est couverte avec des carrés de dimension en pixels variable. Plusieurs stations peuvent être sélectionnées pour obtenir une couverture combinée montrant le meilleur signal à chaque position. Lorsque l'on positionne une station, l'altitude de la carte est utilisée comme altitude du site. Cette valeur peut-être ajustée manuellement lorsque la valeur exacte est connue.

Donc ce logiciel représente toutes les caractéristiques essentielles pour concrétiser notre étude, cependant nous n'avons pas pu télécharger les bases de données topographiques sur Internet car elles sont très chères à payer. Nous avons recueilli à d'autre logiciel que nous détaillerons dans ce qui suit.

V.3.2 MapInfo:

MapInfo est un logiciel modulaire qui s'articule autour du logiciel MapInfo Professional®. Donc c'est un outil de type Système d'Information Géographique (SIG) qui sert à créer de l'information géographique, à traiter de l'information et à la cartographier. Il structure les informations en tables. Une table est un ensemble de fichiers qui sont manipulés ensemble par le logiciel.

Ce logiciel est utilisé par les ingénieurs de la Direction de la Circulation Aérienne (DCA) au niveau de l'ENNA pour les besoins du travail de l'entreprise, comme il est fréquemment adopté par plusieurs services aéronautiques dans le monde*.

V.3.3 Global Mapper:

Global Mapper est plus qu'un simple outil de visualisation capable d'afficher les images, les données d'altitude et les données vectorielles les plus répandues. Il convertit, édite, acquière des données GPS et permet d'utiliser des fonctionnalités sur vos jeux de données de manière peu onéreuse et simple. Global Mapper permet aussi, en son sein, un accès direct à la totalité de la base de données «TerraServer » d'imagerie satellitaire et de cartes topographiques ainsi que la visualisation des données d'altitudes en vrai 3D.

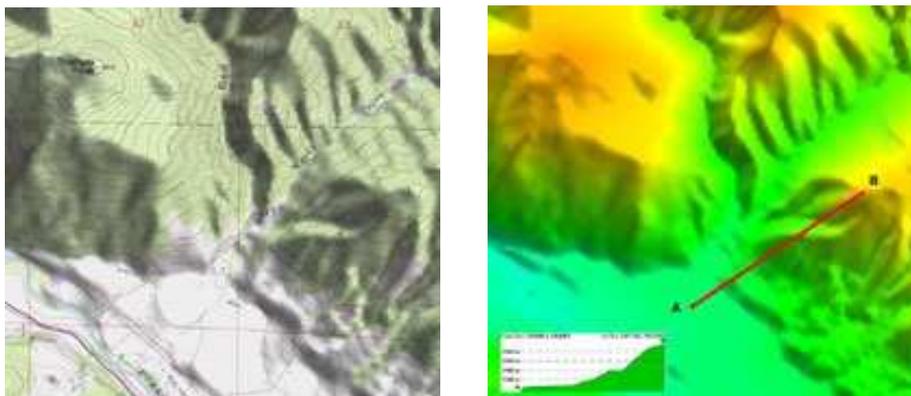


Fig.V.1 : Exemple de carte Global Mapper. [38]

* A titre d'exemple le quatrième aéroport français de province Toulouse-Blagnac a adopté la solution MapInfo Professionnal® de Pitney Bowes Business Insight comme l'outil de travail utilisé au sein du Service Environnement. [39]

Les fichiers de données peuvent être chargés comme des couches, ainsi un modèle numérique de terrain peut être chargé avec une carte topographique pour créer une vue 3D de la carte. Une photographie aérienne numérique peut être drapée en même temps que des données vectorielles pour créer une carte riche en informations. Le résultat sous la forme d'une image en haute résolution est destiné à être utilisée dans une présentation ou un rapport.

V.4 Hypothèse du travail

1) **Les coordonnées des sites proposés** sont les coordonnées géographiques des aérodrômes sauf les cas :

- Le site d'Alger ou l'emplacement sera envisagé à la région de Bouzaréa ;
- Le site d'Akfadou dont les coordonnées correspondent au pic de la montagne ;
- Le site Chenachene, approximativement repéré à l'aide du Google Earth.

2) **l'élévation des antennes** radars pour la deuxième simulation est de 30m du sol, selon les recommandations OACI [40], tandis que pour les antennes ADS-B on a pris comme hypothèse une élévation de 20 m.

3) **la portée maximale** pour :

- PSR est de 80 NM ;
- SSR est de 250 NM ;
- ADS-B est de 200NM.

V.5 Simulation du projet :

V.5.1 Etapes du travail :

La simulation est projetée sur la carte Algérie qui a été réalisée avec très haut degré de précision, au niveau de l'Institut National de Cartographie (INC) qu'on a pu récupérer et sauvegarder sur le système.

La démarche du travail est comme suit :

1-On dessine la FIR Alger en introduisant les points de délimitation et en les joignant par des lignes, de la même façon on trace les secteurs à base des points significatifs (Annexe 01) ;

2-On dessine également les routes aériennes à l'aide des coordonnées des points significatifs (Annexe 05) ;

Pour les étapes précédentes - illustrées dans la figure V.2 - y a pas de différence entre les deux simulations car le Global Mapper est capable d'utiliser les tables de type MapInfo. Cependant pour le reste du travail, chaque logiciel nécessite une manipulation spécifique.

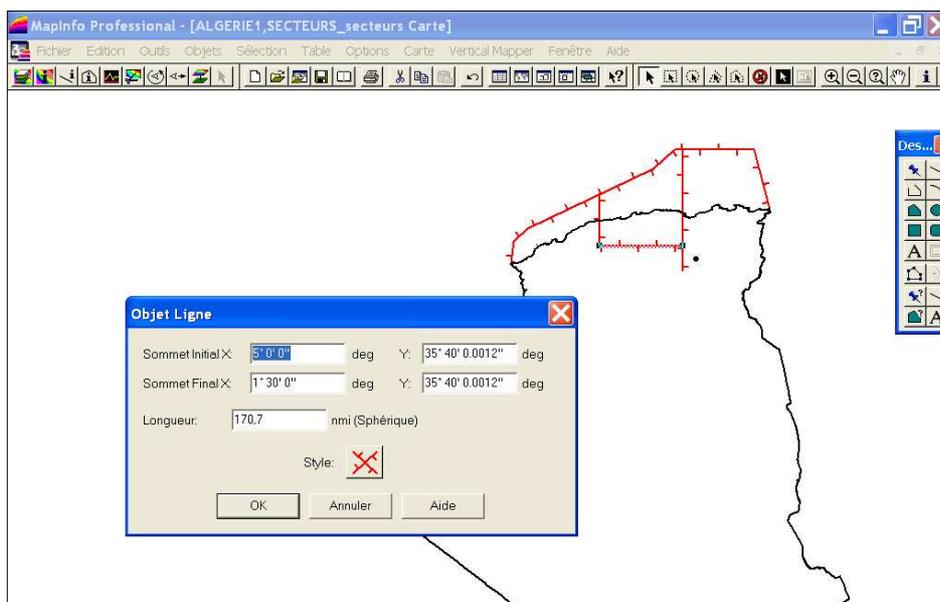


Fig. V.2 : Exemple de traçage du secteur TMA centre.

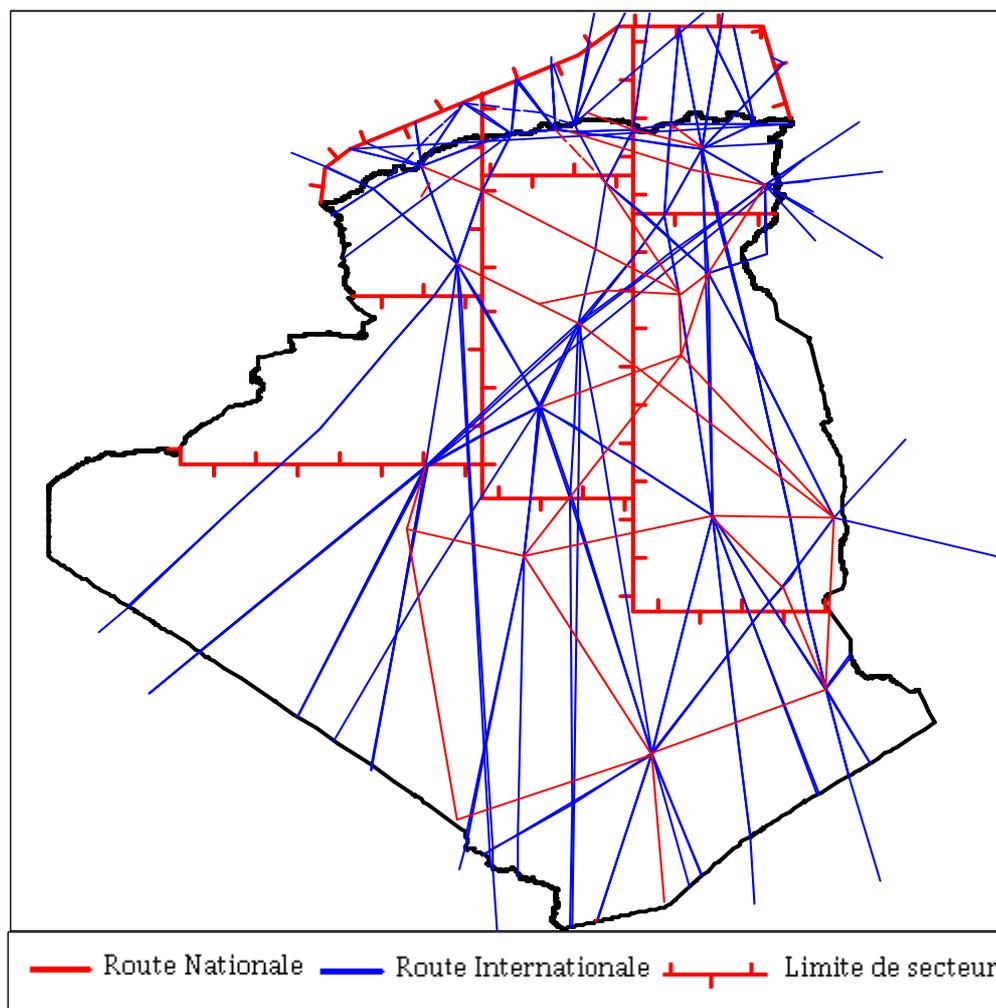


Fig. V.3 : Simulation MapInfo FIR, secteurs et routes aériennes.

V.5.2 Simulation 1 :

1- Après le lancement du logiciel MapInfo, on fait appel à la carte Algérie, puis on change les unités de la projection telle qu'elle est montrée dans la figure suivante.

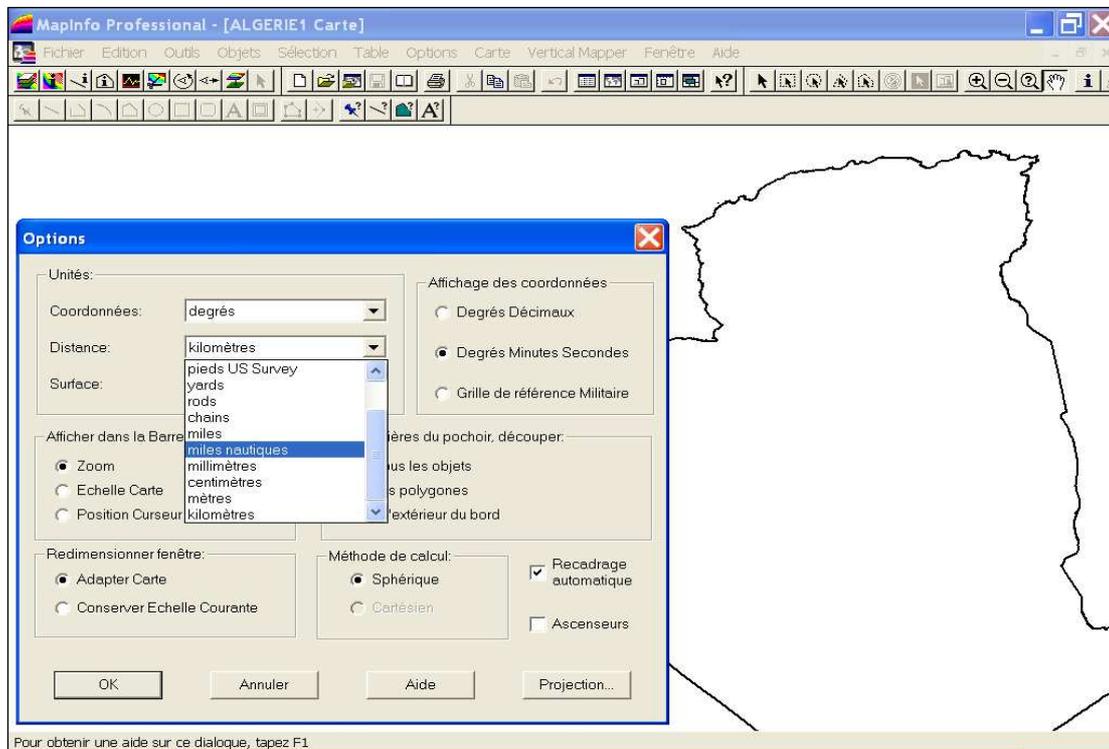


Fig. V.4 : Initiation à la simulation.

2- On positionne les sites des stations radars existantes à l'aide des coordonnées géographiques, on trace autour de chaque centre un cercle de rayon théorique calculé par la formule :

$$R = 1.2\sqrt{h} \quad (R : \text{Portée théorique en NM} / h : \text{Hauteur en ft}). [41]$$

Calcul :

- Pour FL100 : $h=10000$ ft $R = 120$ NM.
- Pour FL100 : $h=20000$ ft $R = 180$ NM.
- Pour FL100 : $h=30000$ ft $R = 200$ NM.

Tableau V.1 : Les stations radars actuelles et leurs sites d'implantations.

Type	Station radar	Site	Les coordonnées (Latitude et Longitude)
PSR/SSR	Oued Smar	Alger	36°40' 34.10''N 003° 10' 40.04'' E
SSR	Seraidi	Annaba	36° 54' 43.40''N 007° 41' 07.10'' E
SSR	Murdjadjo	Oran	35° 41' 46.88''N 000° 46' 16.20'' W
SSR	Guemmar	El Oued	33° 31' 03.99'' N 006° 45' 52.16'' E
SSR	Bouderga	El Bayadh	33° 37' 37.36''N 001° 03' 51.20'' E

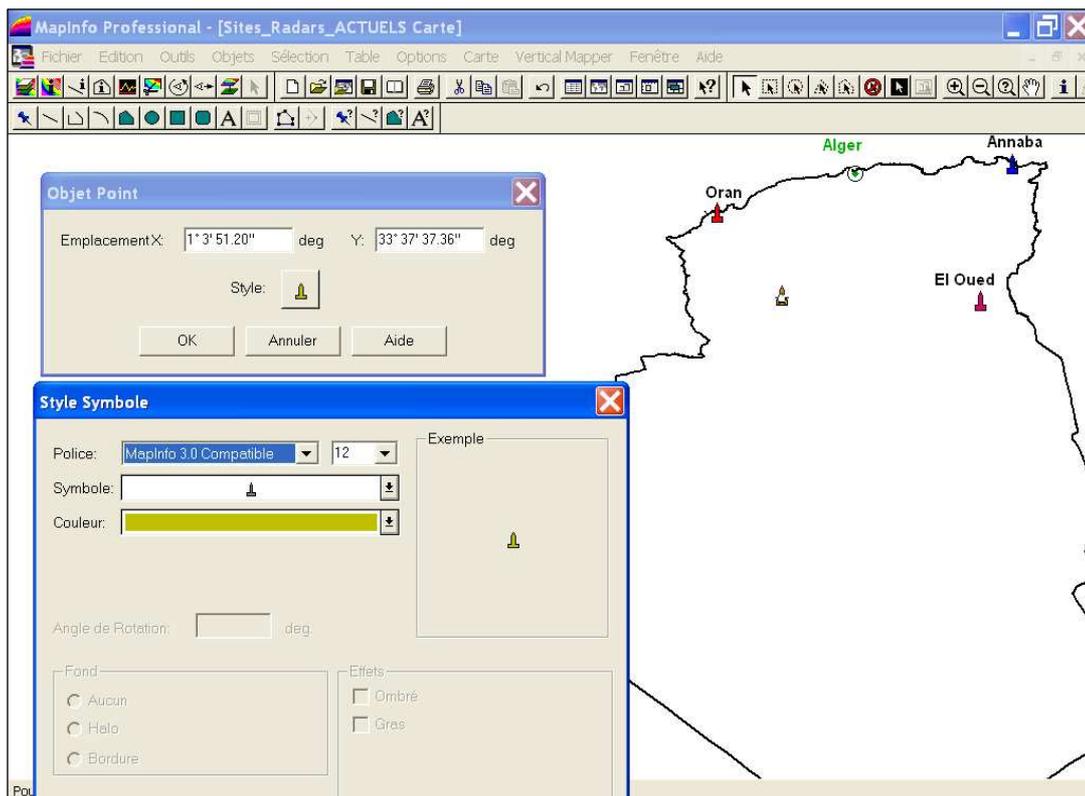


Fig. V.5 : Exemple d'emplacement du site d'El Bayadh.

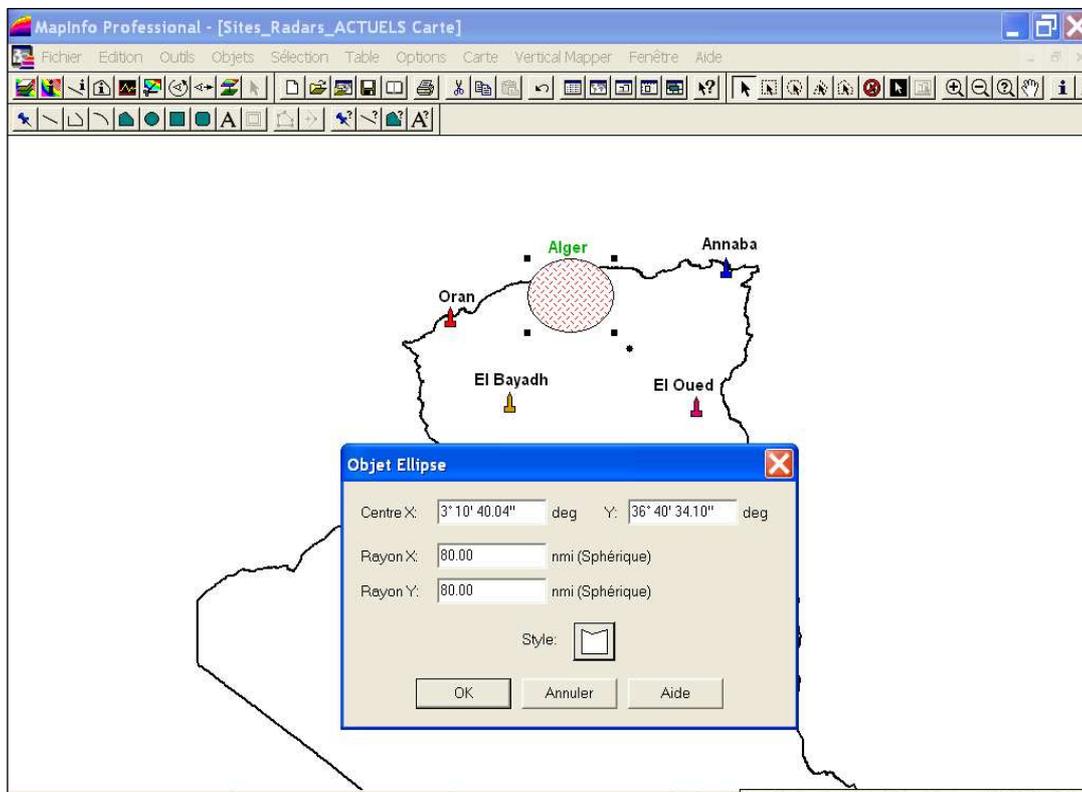


Fig. V.6 : Exemple de traçage de la couverture station d'Alger.

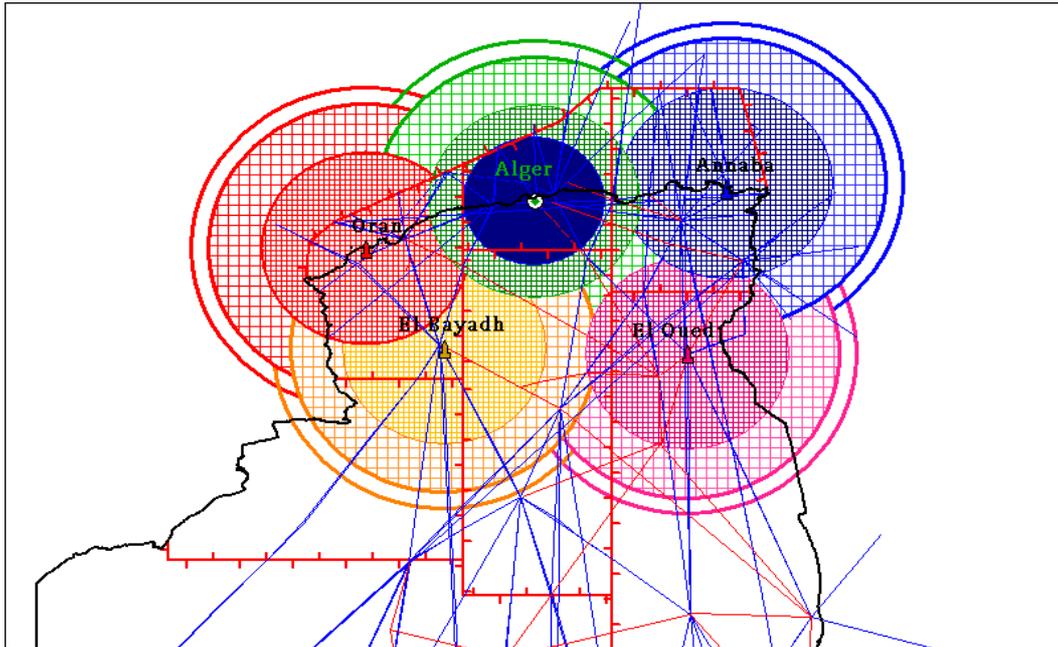


Fig. V.7 : Simulation MapInfo de la couverture radars actuels.

3- On crée des objets pour les nouveaux sites radars dans la table 'Algérie' (voir tableau suivant) et pour chaque point créé, on dessine également un cercle de rayon calculé par la même formule utilisée précédemment.

Tableau V.2 : les coordonnées géographiques des nouvelles stations radar.

Type de station	Site	Coordonnées géographiques
SSR-S	Alger (Bouzaréa)	36°47'19"N 003°00'56"E
PSR	Oran	35°41'46" N 000°46'16"W
PSR/ SSR-S	Constantine	36°16'48"N 006°37'12"E
SSR-S	Akfadou	36°38'00"N 004°36'00"E
SSR-S	Ghardaïa	32°22'48"N 003°47'24"E
PSR/ SSR-S	Hassi Messaoud	31°40'12"N 006°08'24"E
SSR-S	Illizi	26°43'12"N 008°37'12"E
SSR-S	Djanet	24°17'24"N 009°27'00"E
SSR-S	In Salah	27°15'00"N 002°30'36"E
PSR/ SSR-S	Tamanrasset	22°48'36"N 005°27'00"E

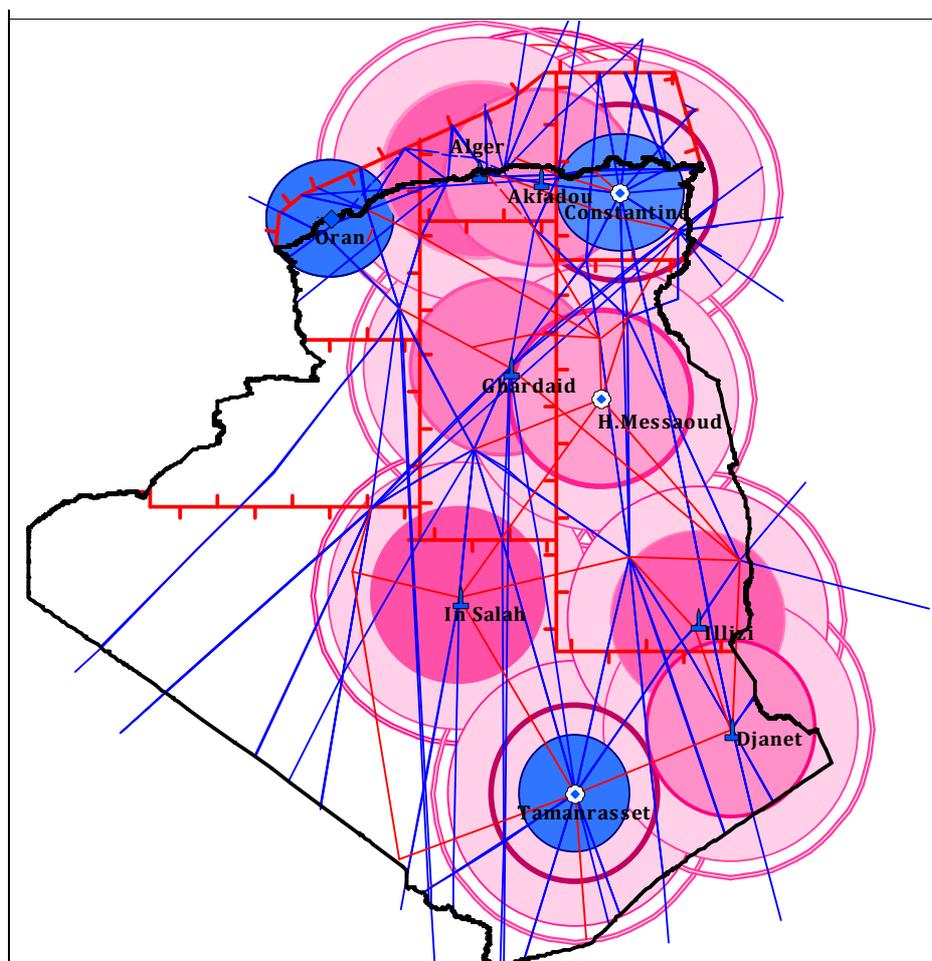


Fig. V.7 : Simulation MapInfo de la couverture radars proposés.

4- Pour que la simulation soit claire et lisible, il est préféré de tracer la couverture ADS-B dans une carte séparée en suivant les mêmes étapes précédentes.

Tableau V.3 : les coordonnées géographiques des stations ADS-B.

Type de station	Site	Coordonnées géographiques
ADS-B	Alger	36°40' 34.10''N 003° 10' 40.04'' E
ADS-B	Oran	35° 41' 46.88''N 000° 46' 16.20'' W
ADS-B	Annaba	36° 54' 43.40''N 007° 41' 07.10'' E
ADS-B	El Bayadh	33° 37' 37.36''N 001° 03' 51.20'' E
ADS-B	El Oued	33° 31' 03.99'' N 006° 45' 52.16'' E
ADS-B	Boussaâda	35°19'48''N 004°12'36''E
ADS-B	El Goléa	30°34'12''N 002°51'36''E
ADS-B	Adrar	27°50'24''N 000°11'24''W
ADS-B	Chenachen	26°00'00''N 004°15'00''W

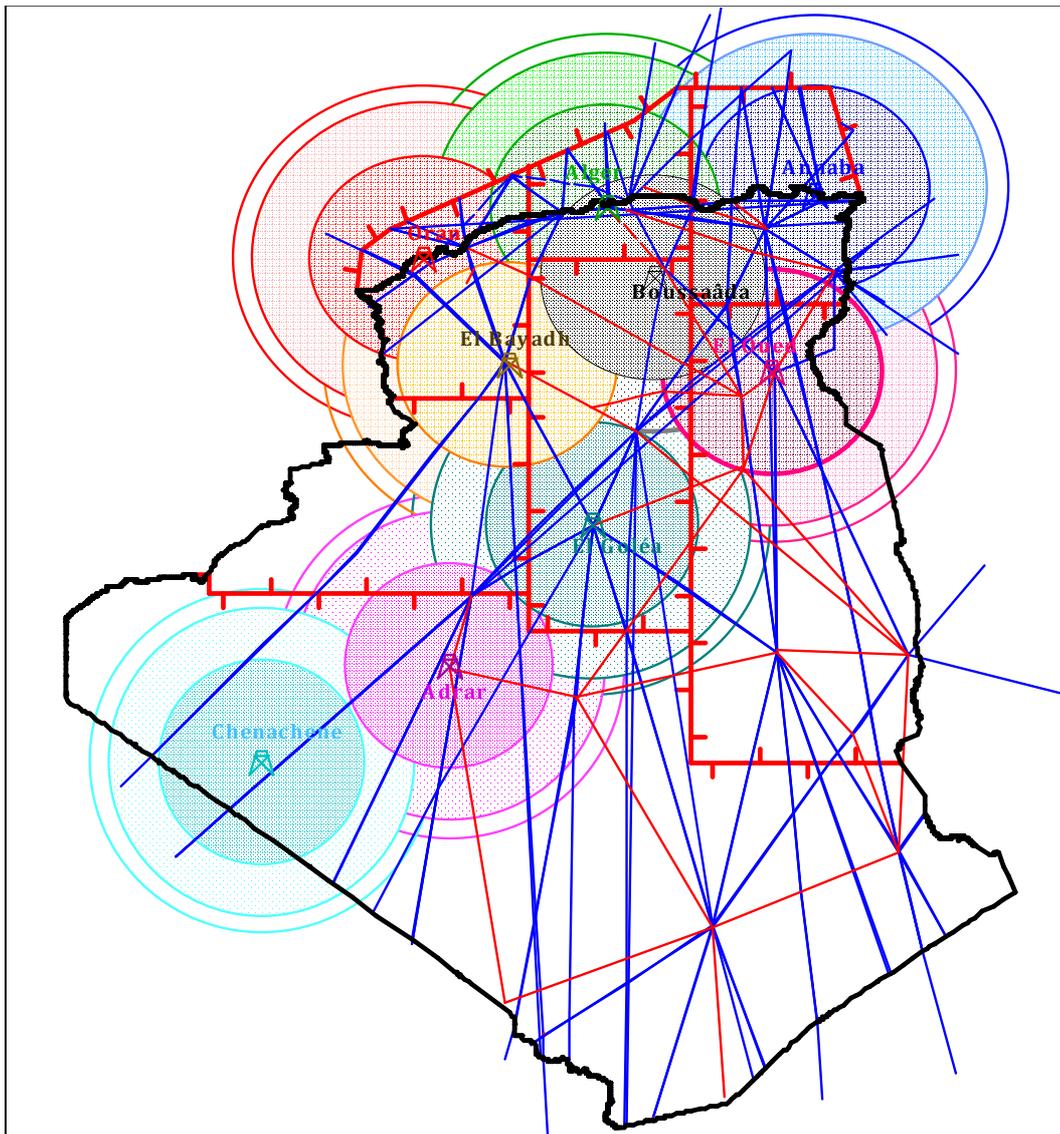


Fig. V.8 : Simulation de la couverture ADS-B proposée.

Commentaires :

D'après les étapes citées précédemment, les figures (V.6, V.7 et V.8) représentent la première simulation à savoir les couvertures radars actuels, radars et ADS-B proposés pour les FL 100, 200 et 300.

Pour cette première approche, notre but est de montrer d'une manière globale l'amélioration de la couverture, cependant on ne peut pas tirer des constatations constructives car l'effet du relief n'est pas pris en considération.

Concernant la notion de couverture radar, la topographie est un paramètre important qui peut avoir une influence directe sur les performances de cette dernière. Donc la deuxième approche, qu'on va voir par la suite, montre en détail les insuffisances de la couverture.

V.5.3 Simulation 2 :

1- Les étapes nécessaires pour l'élaboration des couvertures radar du Nord Algérien 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 WGS 84) ainsi son élévation (en Mètres) sont indiquées en bas de la fenêtre.

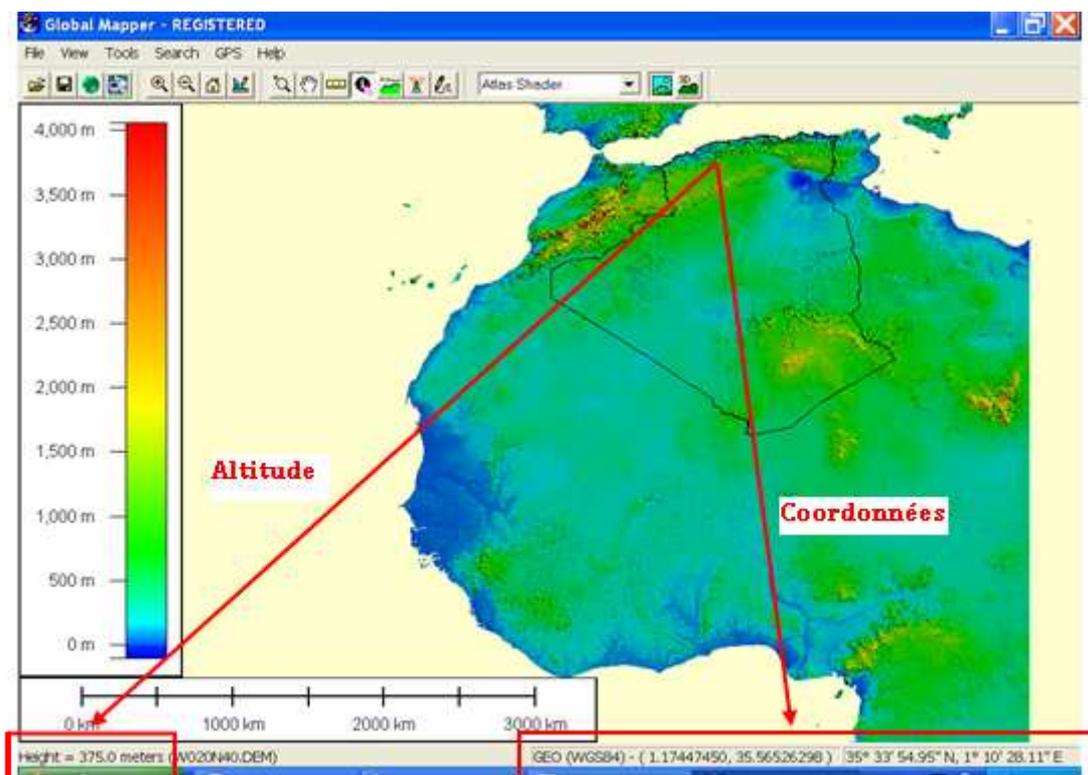


Fig. V.9 : Acquisition de la carte d'Algérie sous Global Mapper.

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. [42]

➤ on introduit les propriétés des stations radar à installer comme suit :

On commence par donner le nom de la station en question ; on introduit la position et les caractéristiques techniques de l'antenne; puis on choisi ses propriétés par exemple : la couleur, le fond et le symbole.

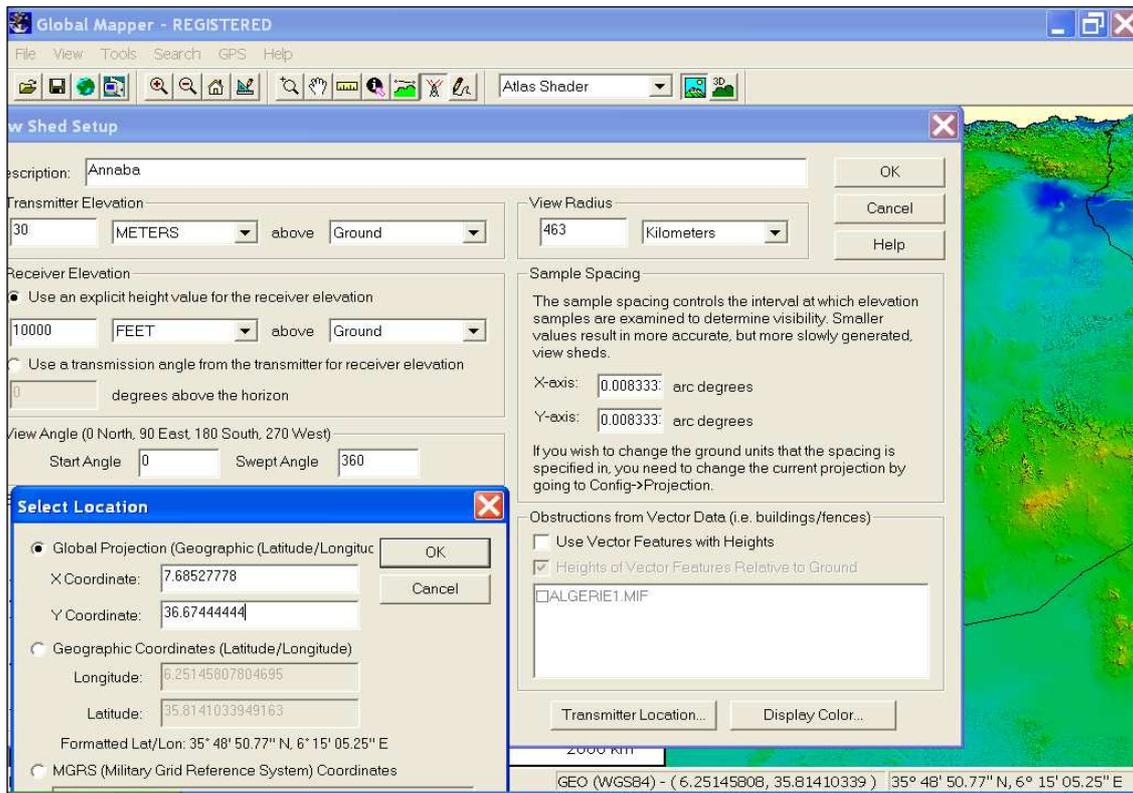


Fig. V.10 : Exemple d'insertion de la station radar de Annaba.

Remarque :

Avant d'insérer la position de la station sur l'interface de Global Mapper, on convertit les coordonnées Latitude et Longitude en coordonnées X et Y par le MapInfo à l'aide de l'outil convertisseur de coordonnées.

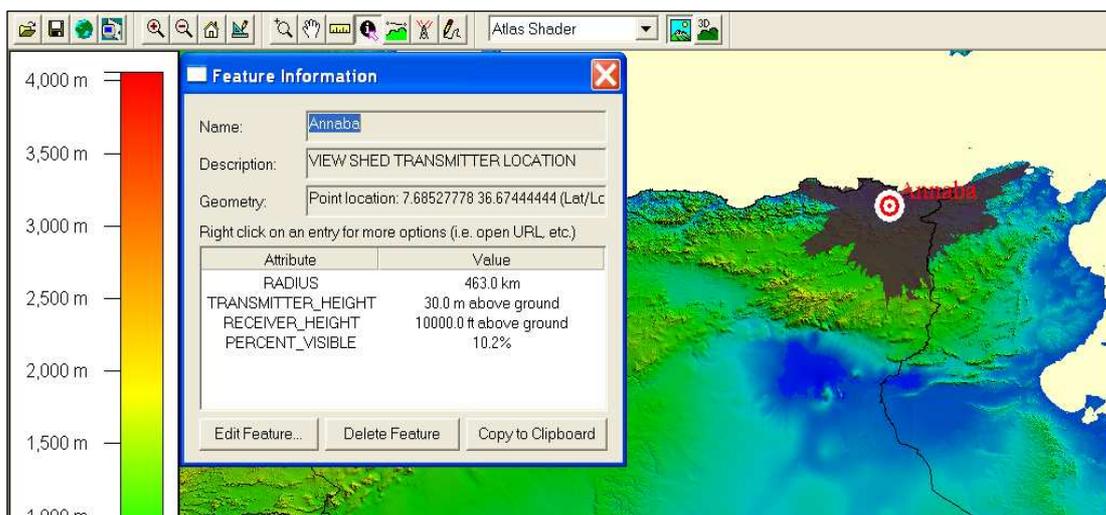


Fig. V.11 : Exemple de traçage de la couverture radar de Annaba FL100.

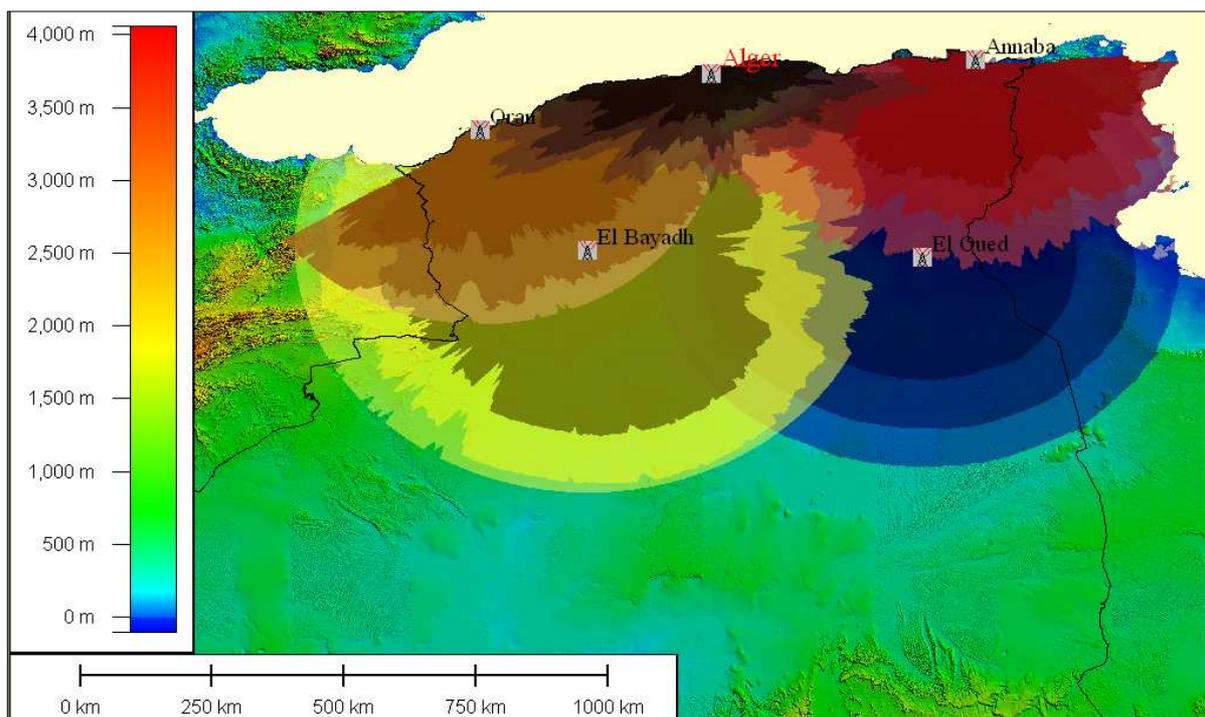


Fig. V.12 : Simulation Global Mapper de la couverture radars actuels.

2- Une fois l'étape de la mise en œuvre de la couverture radars actuels est terminée. On aborde l'étape du traçage de la couverture des stations radars proposées en suivant les mêmes étapes.

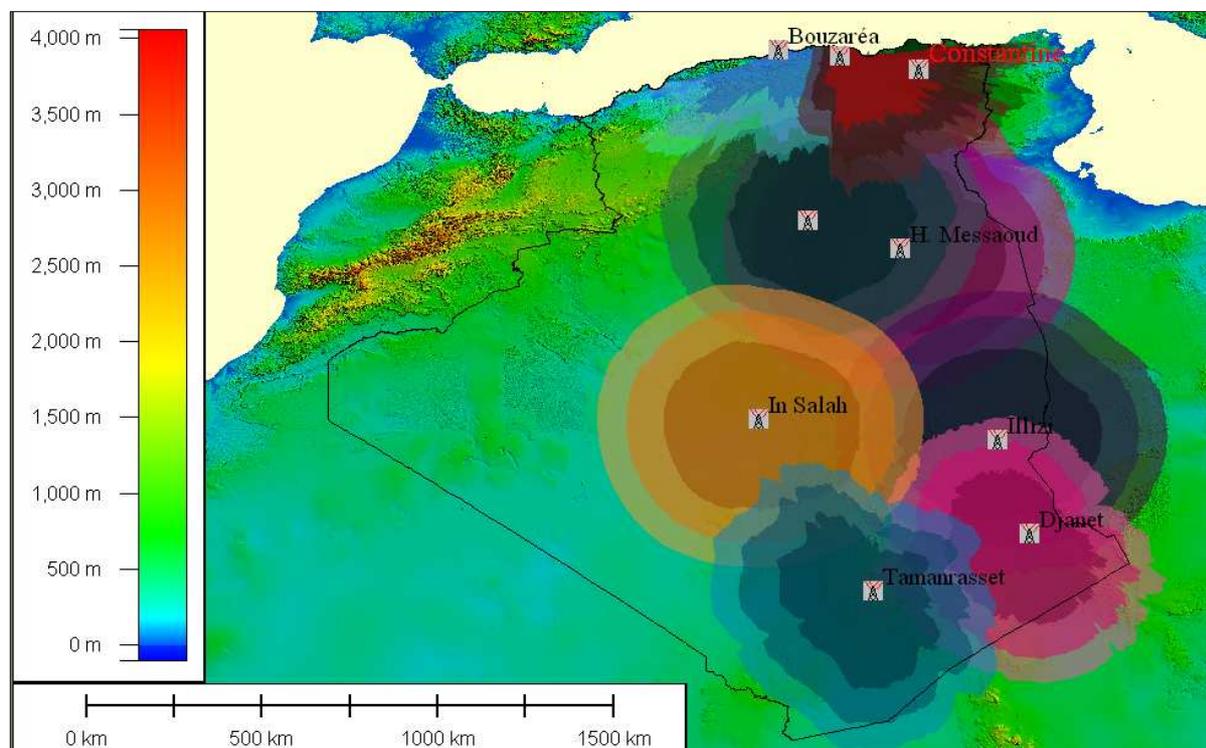


Fig. V.13 : Simulation Global Mapper de la couverture radars proposés.

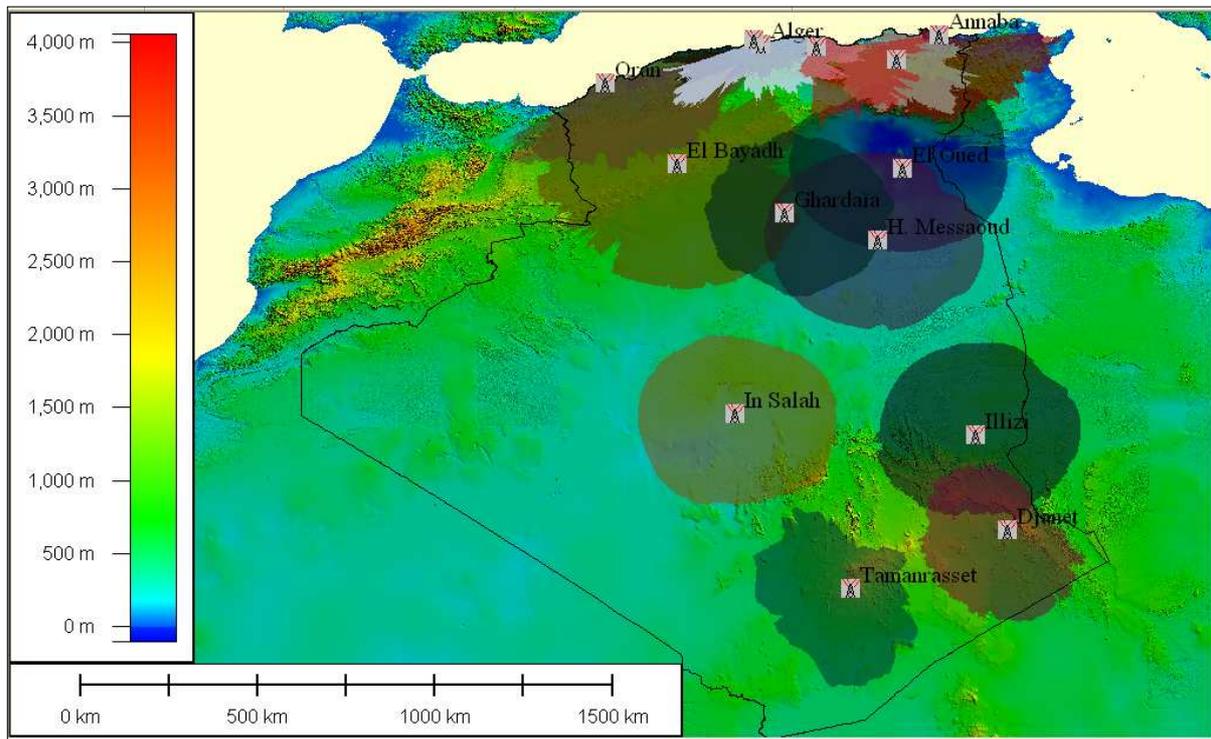


Fig. V.14 : Simulation Global Mapper de la couverture radars actuels et proposés FL100.

Commentaires :

On remarque dans cette simulation qu'au niveau de vol 100, la couverture radar est toujours insuffisante au dessus de la région de Boussaâda, à cause des reliefs qui l'entourent. Pratiquement, la moitié du champ des stations radar de Constantine, de Bouzaréa et de l'Akfadou est obstruée (la figure suivante montre ce manque). Afin de combler ce trou on a envisagé d'implanter une station ADS-B à Boussaâda, et notre simulation qui vient par la suite justifiera le choix de cette implémentation.

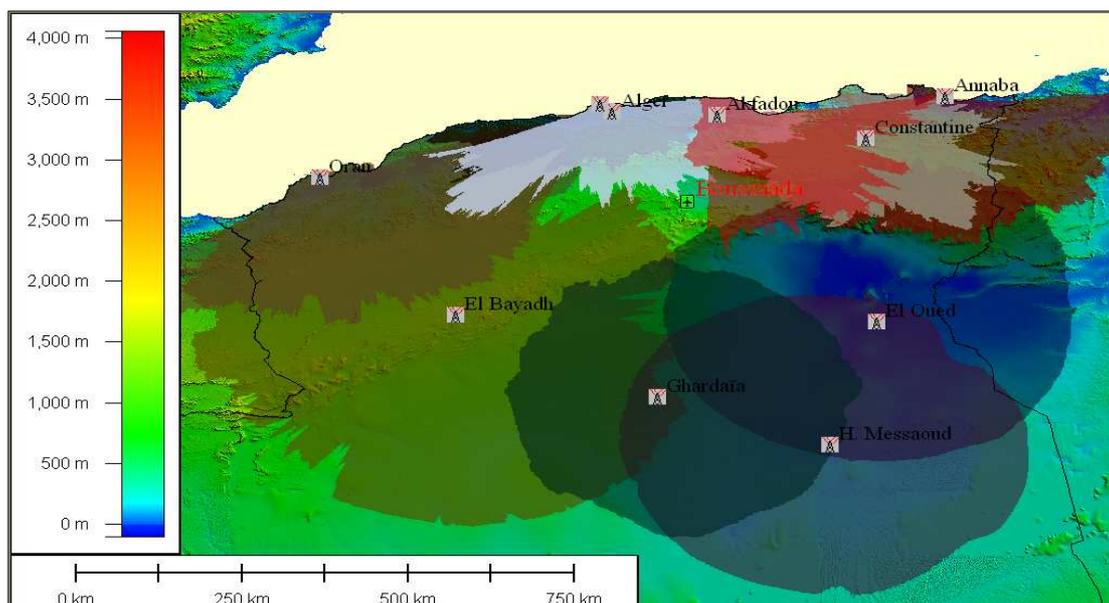


Fig. V.15 : trou de la couverture FL100 au niveau de Boussaâda.

3- En dernier point, on positionne les stations ADS-B et on élabore la couverture simulée.

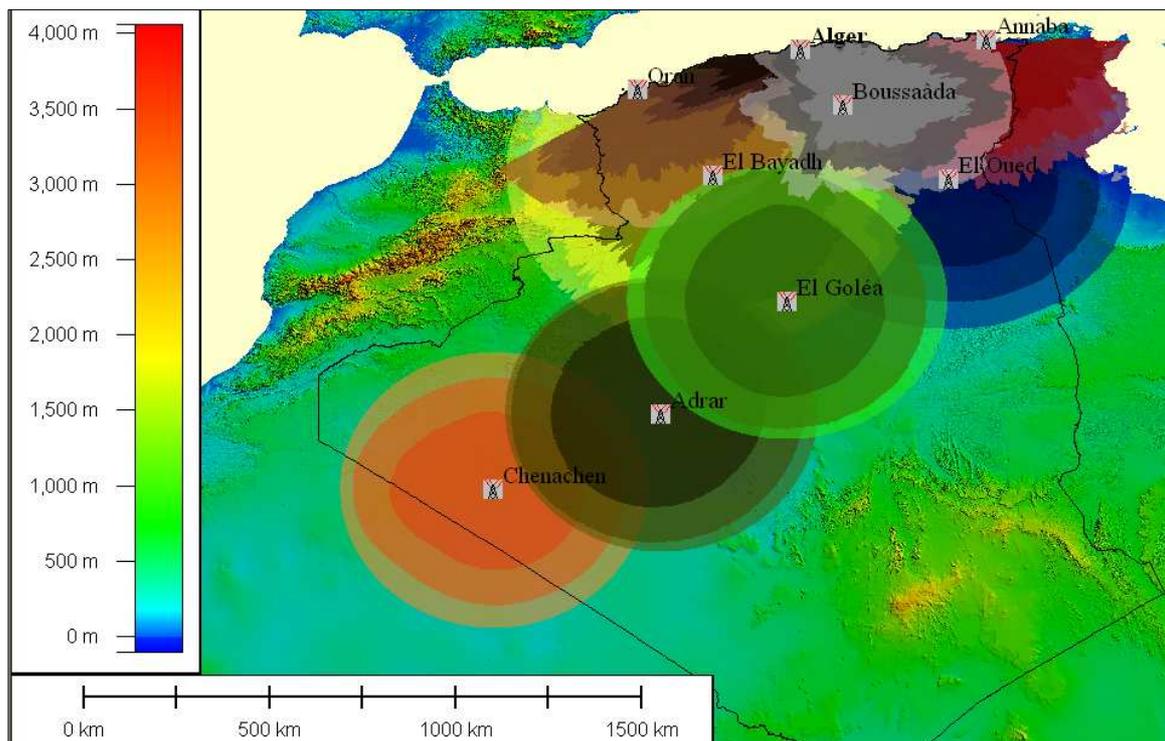


Fig. V.16 : Simulation Global Mapper de la Couverture ADS-B.

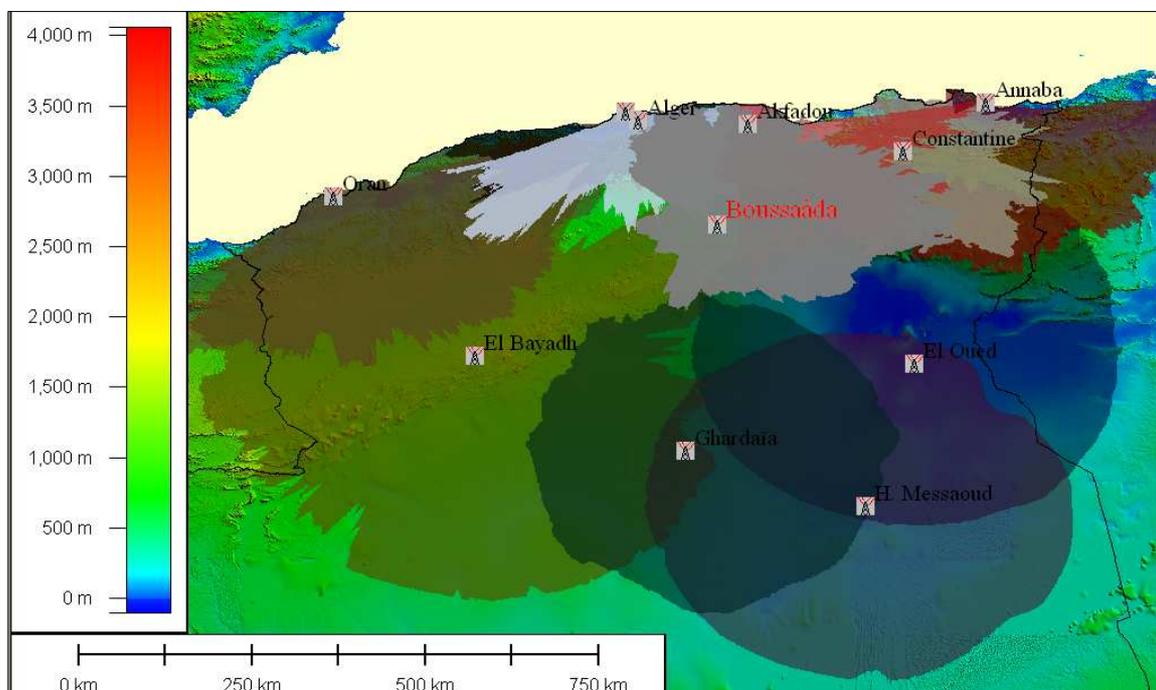


Fig. V.17 : Comblent le trou de la couverture de Boussaâda FL100 par la station ADS-B.

V.6 Analyse des résultats obtenus :

La figure V.18 reprend les couvertures des stations radars existantes, en plus de celle des stations que nous proposons. On remarque que la superposition des différentes couvertures radars et ADS-B permet de couvrir la presque totalité de la FIR. Elle permet en outre de remédier au problème de surveillance de la région de Boussaâda, et ce pour n'importe quel niveau de vol adopté.

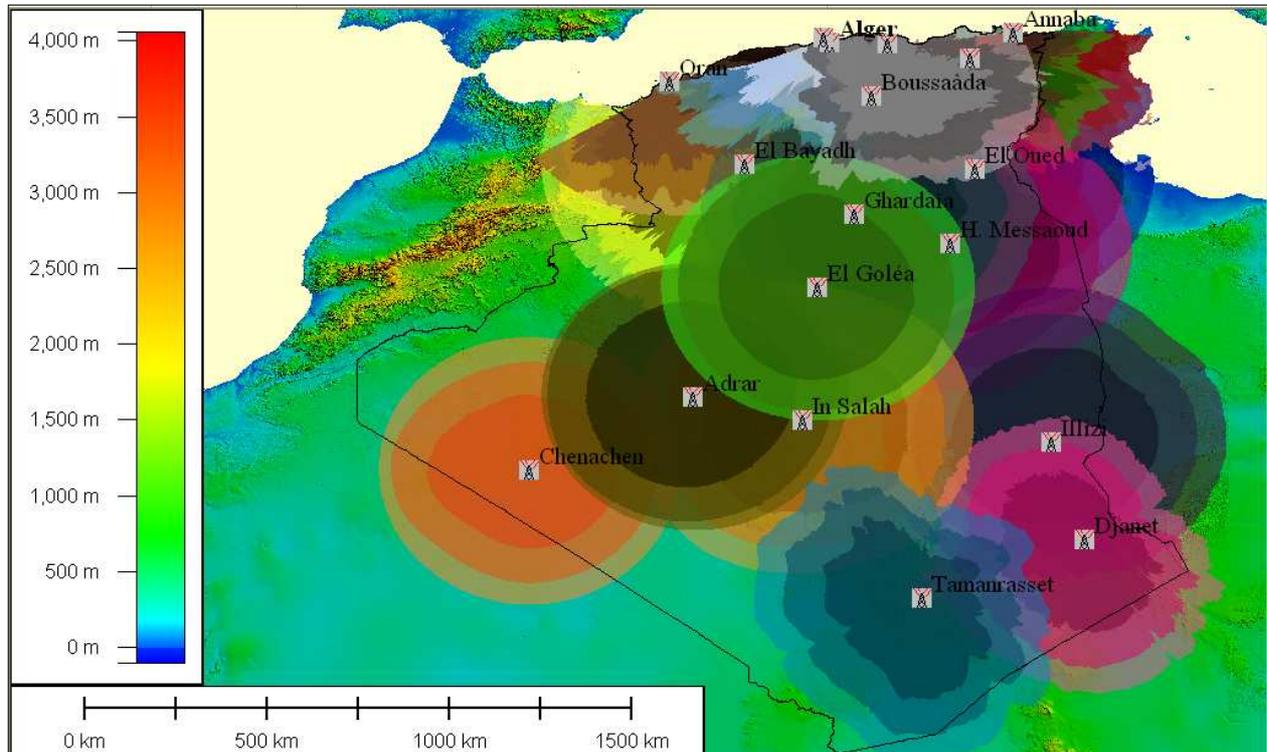


Fig. V.18 : Simulation finale de la couverture de la FIR Algérie.

V.7 Conclusion

La configuration de la couverture existante dans notre pays a été simulée et ces problèmes spécifiques ont été identifiés. La simulation de notre projet a démontré la bonne couverture des principaux flux de trafic Est-Ouest et Nord-Sud.

En effet, elle permet non seulement d'illustrer la couverture totale de l'espace aérien Algérien, mais aussi de justifier le choix des sites proposés, donc notre objectif est atteint.

Conclusion générale

La réalisation du projet TRAFCA et la mise en place du PDGEA illustrent la volonté de l'Algérie à suivre les recommandations OACI, pour mettre à jour l'implémentation de leurs installations CNS, malgré les difficultés et les retards enregistrés.

Il faut cependant noter que l'implémentation de nouveau système CNS ne sera utile et efficace que si elle est conjuguée à la mise en place des moyens automatisés ATM adaptés.

Ce document n'a pas l'ambition d'être une étude de faisabilité exhaustive qui pourrait aider à une prise de décision quant à l'installation ou pas des moyens proposés (SSR-S, ADS-B et MLAT) en Algérie, mais plutôt d'être une approche préliminaire à l'implémentation de ces concepts.

Cette approche propose une stratégie de transition vers un contexte CNS/ATM plus amélioré, en effet après analyse de la situation actuelle et après avoir déterminé les attentes de cette implémentation, nous avons abouti à la conclusion qu'à terme le SSR-S pourra être un moyen approprié pour la surveillance dans les zones à moyenne et forte densité de trafic tandis que l'ADS-B sera prévu pour les zones à faible densité de trafic. Nous avons en particulier identifié un intérêt important pour mettre en place la multilatération à l'aéroport de Hassi Messaoud. Néanmoins, une étude plus poussée demeure nécessaire en matière des besoins en ressources humaines et des analyses coûts-avantages complémentaires pour réaliser les initiatives choisies. Cette étude pourrait faire l'objet d'un mémoire de fin d'études universitaires.

Le stage de cinq (05) mois, effectué au sein de l'Etablissement National de la Navigation Aérienne, nous a permis d'élargir nos connaissances techniques sur les nouveaux concepts de surveillance au travers des différentes questions abordées et traitées. L'un des mérites de ce stage a été de nous permettre la compréhension et le diagnostic de l'existant, des besoins, des contraintes et des opportunités qui se présentent à notre pays.

La préparation de notre projet nous a également permis de découvrir de nouvelles méthodes de travail pour mener à terme une étude dans tous ses aspects (recherches, traitement et analyses d'informations).

Enfin, ce travail nous a octroyé de nouvelles vues et perspectives dont nous pourrions faire bénéficier dans le futur notre société et notre administration.

Bibliographie

Ouvrages:

- [1] AIP ALGERIE 12 MAR 09.
- [2] OACI ANNEXE 11 : « Service de la circulation aérienne », Treizième édition (2001).
- [6] ENNA : « Manuel Radar en route CCR d'Alger » Version 1.1 – Mars 2009.
- [8] ENNA/DDNA / Département statistiques : « Rapport annuel d'activités » (2008).
- [9] L'équipe Northrop Grumman et de Jerry Thompson & Associates, Rapport d'étude : « L'espace Aérien Algérien » (2003).
- [12] ENAC/Département Electronique: « Le radar secondaire ses évolutions », par F.Chatelet (1990).
- [13] DGAC : « Revue technique N° 57 - POEMS le radar mode S pré-opérationnel», par André Simonetti et Mikael Ponnau (1999).
- [16] DOC SOFREAVIA: « Automatic Dependent Surveillance-Broadcast » (2004).
- [18] DOC OACI Onzième conférence de navigation aérienne : « Surveillance Dépendante Automatique - mode diffusion (ADS-B) concept d'utilisation », MONTREAL (2003).
- [19] Présentation ENNA/ DDNA : «Les concepts de surveillance », par BISKRI ALI (2006).
- [20] Doc 9830 AN/452: « Manuel sur les systèmes perfectionnés de guidage et de contrôle des mouvements à la surface (A-SMGCS) » Première édition (2004).
- [21] ENNA/DDNA : « Étude descriptive du concept ADS-B et sa mise en oeuvre dans la FIR Alger » (2007).
- [22] DGAC : « ADS-B à l'étranger », par Jean-Marc Loscos (2004).
- [23] Journal OACI volume 62 N°3 (2007).
- [24] DGAC : « Revue technique N°3 - Multilatération », par Gérard Besombes et Jean-Charles Vallée (2006).
- [25] France Circulaire d'Information Aéronautique AIC A 26/02 : « Obligation d'emport de transpondeur radar mode S avec fonctions associées à bord des aéronefs » (2002).
- [26] ENNA/DDNA : « Rapport sur la journée de présentation ADS-B » (2006).
- [27] DOC 003 OACI : « Plan AFI de mise en oeuvre du CNS/ATM » Ver.5.0 .Mars 2001.
- [28] Présentation ENNA : « Séminaire du conférence région Afrique et Moyen-Orient de la IFATCA » (2007).
- [29] THALES séminaire ATM Alger: « Présentation ADS-B », par Patrick LEFEVRE (2005).
- [32] DOC OACI 9750 : « Projet d'amendement du plan mondial de navigation aérienne » (2006).

- [34] Rapport de stage de l'Institut Polytechnique des Sciences Avancées : « Familiarisation au système automatique de traitement des données du trafic aérien EUROCAT 2000 et procédures de contrôle de la circulation aérienne », par FERHOUN Amal (2004).
- [35] Présentation DGAC: « Activités ADS-B » DSNA/DTI (2005).
- [36] Algérie Circulaire d'Information Aéronautique AIC série A NR° 02 / 06 : « Projet de mise en œuvre du contrôle radar dans la FIR Alger » (2006).
- [37] Présentation INEO ENGINEERING & SYSTEMS: « information and communication systems integrator» (2005).
- [41] DAB : « Cours CNS/ATM 5^{ème} année Ingénieur », par Mr. Zaabout (2008).
- [42] DOC OACI 9750 « Projet d'amendement du plan mondial de navigation aérienne » (2006).

Thèses:

- [3] Thèse Mastère en exploitation aéronautique et gestion du trafic aérien: « Étude d'implémentation de l'ADS-B en Algérie », par Mr.SEBAIHI Mustapha, SOFREAVIA Toulouse ENAC (2004).
- [4] Thèse Magister : « Resectorisation de l'espace aérien algérien », par SACI Hajer, DAB (2009).
- [5] Thèse Mastère en exploitation aéronautique et gestion du trafic aérien: « Support à la mise en œuvre du CNS-ATM en AFI-MID », par Mr.DJEMMALI Mohamed, SOFREAVIA Toulouse ENAC (2005).
- [7] Thèse Mastère en exploitation aéronautique et gestion du trafic aérien: « Etude de sectorisation de l'espace aérien algérien en environnement radar sur la partie Nord et amélioration du réseau de routes », par Mohamed REKKA, ENAC (2004).
- [17] Thèse Ingénieur en Installation : « Elaboration d'une interface ADS-B – plan de vol », par DAHDOUH Riad et ABIDLI Boumediene, DAB (2007).
- [31] Thèse de Doctorat de L'Institut National Polytechnique de Toulouse « Analyse, représentation et optimisation de la circulation des avions sur une plate-forme aéroportuaire », par Mr.STOICA Dragos Constantin (2004).
- [33] Thèse DEUA en Avionique : « Description de système TRAFCA », par CHERIET Zine El Abidine et BOUTALEB Abdelkader, DAB (2008).
- [40] Thèse Magister : « Couverture de l'espace aérien Algérien par des moyens CNS-ATM », par BOUDANI Abdelkader, DAB (2009).

Sites Web:

- [10] <http://www.enna.dz/>
- [11] http://www.cena.fr/~sagnier/datalink/mode_s/mode_s.htm

[15] http://www.dsna-dti.aviation-civile.gouv.fr/gb/actualites_gb/revuesgb/frrevuesgb.html

[25] <http://www.aviationtoday.com/av/categories/bga/Multilateration-Radars.html>

[30] <http://www.flickr.com/photos/>

[38] <http://www.mapinfo.com>

[39] <http://www.pbmapinfo.eu/case-studies/aeroports-de-toulouse-blagnac>

Les CD-ROM:

[14] HELIOS Information Services: « Radar Surveillance » (2005).

ANNEXE 01

Division de l'espace aérien

Désignation	Limites latérales	Limite verticale Classification
TMA CENTRE ALGER Espace supérieur	Segments de droite joignant les points : 3729N 00130E – 3820N 00345E – 3900N 00440E – 3900N 00500E – 3540N 00500E – 3540N 00130E – 3729N 00130E.	<u>FL 450</u> FL 245 Espace RVSM entre FL290 et FL410 inclus A
TMA CENTRE ALGER Espace inférieur	Segments de droite joignant les points : 3729N 00130E – 3820N 00345E – 3900N 00440E – 3900N 00500E – 3540N 00500E – 3540N 00130E – 3729N 00130E.	<u>FL 245</u> 450MGND/MSL (1) Espace CVSM D
TMA NORD/EST	Segments de droite joignant les points : 3900N 00800E – 3656N 00839E – Point intersection de la frontière Algéro-Tunisienne avec la cote méditerranéenne – Puis Frontière Algéro-Tunisienne jusqu'à son intersection avec le parallèle 3448N ensuite, segments de droite joignant les points : 3448N 00500E – 3900N 00500E – 3900N 00800E	<u>FL 450</u> 450MGND/MSL (2) Espace RVSM entre FL290 et FL410 inclus D
TMA ORAN	Segments de droite joignant les points : 3729N 00130E – 3615N 00130W – 3550N 00206W – Point intersection de la frontière Algéro-Marocaine avec la cote méditerranéenne – Puis Frontière Algéro-Marocaine jusqu'à son intersection avec le parallèle 3300N. Ensuite, le parallèle 3300 N jusqu'au point 3300N 00130E Enfin, le méridien 00130E jusqu'au point 3729N 00130E	FL 450 (3) Espace RVSM entre FL290 et FL410 inclus D
SECTEUR SUD/CENTRE	Segments de droite joints les points : 3540N 00130E-3540N 00500E-2830N 00500E- 2830N 00130E-3540N 00130E.	<u>FL 450</u> 900MGND (4) Espace RVSM entre FL290 et FL410 inclus E
SECTEUR SUD/EST	3448N 00500E jusqu'au point intersection de la frontière Algéro/Tunisienne avec le parallèle 3448N, ensuite la frontière Algéro/Tunisienne, puis frontière Algéro/Libyenne jusqu'à l'intersection de parallèle 2600N avec la frontière Libyenne, puis le point 2600N 00500E jusqu'a 3448N 00500E.	<u>FL 450</u> 900MGND (4) Espace RVSM entre FL290 et FL410 inclus E
SECTEUR SUD/OUEST	3300N 001300E jusqu'au point intersection de la frontière Algéro/Marocaine avec le parallèle 3300N, puis la frontière Algéro/Marocaine jusqu'au point 3026N 00530W, ensuite 2915N 00530W-2915N 00130E - 3300N00130E.	<u>FL 450</u> 900MGND Espace RVSM entre FL290 et FL410 inclus E

SECTEUR SUD/SUD	3026N 00530W-2840N 00840W-2720N 00840N, puis la frontière Algéro/Mauritanienne-frontière Algéro/Malienne et frontière Algero/Nigérienne jusqu'au point 233054N 0115954E- puis la frontière Algéro/Libyenne jusqu'au point intersection de la frontière Algéro/Libyenne avec le parallèle 2600N.	<u>FL 450</u> 900MGND Espace RVSM entre FL290 et FL410 inclus E
--------------------	--	--

- (1) Sauf dans la zone de contrôle (CTR) d'Alger.
- (2) Sauf dans les régions de contrôle (CTA) de Constantine et de Annaba.
- (3) (a) à l'intérieur du cercle de 25 NM de rayon centré sur 353817 N 0003444 W. Limite inférieure 300 M GND/MSL.
- (b) à l'extérieur du cercle limite inférieure FL 45 ou 300 M GND lorsque le FL 45 se trouve à moins de 300 M/ GND.
- (c) au-dessus des zones de contrôle incluses dans ses limites latérales, la limite inférieure de la TMA est fixée au plafond de ces zones.
- (4) Sauf dans la zone de contrôle (CTR) de Hassi Messaoud.

ANNEXE 03

Les désignations des aérodromes d'Algérie

ID	Nom/Localité desservie
DAAD	BOU SAADA
DAAE	BEJAIA/Soummam-Abane Ramdane
DAAG	ALGER / Houari Boumediene
DAAJ	DJANET/Tiska
DAAP	ILLIZI/Takhamalt
DAAS	SETIF / 8 MAI 45
DAAT	TAMMANRASSET/Aguenar
DAAV	JIJEL/Ferhat ABBAS
DABB	ANNABA/Rabah Bitat
DABC	CONSTANTINE/Mohamed Boudiaf
DABS	TEBESSA/Cheikh Larbi Tébessi
DABT	BATNA/Mostépha Ben Boulaid
DAOB	TIARET/Abdelhafid Boussouf Bou Chekif
DAOF	TINDOUF
DAOI	CHLEF
DAON	TLEMCEN/Zenata-Messali El Hadj
DAOO	ORAN/Es Sénia
DAOR	BECHAR/Boudghene Ben Ali Lotfi
DAOV	GHRISS
DATG	IN GUEZZAM
DATM	BORDJ MOKHTAR
DAUA	ADRAR/Touat-Cheikh Sidi Mohamed Belkebir
DAUB	BISKRA/ Mohamed KHIDER
DAUE	EL GOLEA
DAUG	GHARDAIA/Noumérat-Moufdi Zakaria
DAUH	H.MESSAOUD/Oued Irara-Krim Belkacem
DAUI	IN SALAH
DAUK	TOUGGOURT/Sidi Mahdi
DAUO	EL OUED/Guemar
DAUT	TIMIMOUN
DAUU	OUARGLA/Ain Beida
DAUZ	ZARZAITINE/In amenas

ANNEXE 04

Le trafic par aéroport

Aéroports	Mouvements commerciaux			Mouvements non commerciaux			Total général		Total général
	National	International	Total	National	International	Total	National	International	
ALGER	20856	26374	47230	6771	2241	9012	27627	28615	56242
H-MESSAOUD	4818	402	5220	17659	1123	18782	22477	1525	24002
ORAN	5502	4745	10247	1419	472	1891	6921	5217	12138
CONSTANTINE	5558	2722	8280	2233	98	2331	7791	2820	10611
ANNABA	3397	1333	4730	1238	212	1450	4635	1545	6180
BATNA	529	507	1036	3380	7	3387	3909	514	4423
H-R'MEL	398	0	398	3390	0	3390	3788	0	3788
IN-AMENAS	1347	0	1347	1804	268	2072	3151	268	3419
SETIF	1441	1514	2955	396	8	404	1837	1522	3359
BEJAIA	918	1555	2473	823	26	849	1741	1581	3322
GHARDAIA	1199	46	1245	1093	515	1608	2292	561	2853
OUARGLA	888	23	911	1690	0	1690	2578	23	2601
TIMIMOUN	2443	6	2449	132	2	134	2575	8	2583
TAMANRASSET	897	73	970	867	623	1490	1764	696	2460
EL-GOLEA	188	0	188	2164	6	2170	2352	6	2358
BISKRA	589	342	931	1346	21	1367	1935	363	2298
TLEMCEN	758	912	1670	394	6	400	1152	918	2070
TINDOUF	688	4	692	789	519	1308	1477	523	2000
BECHAR	632	9	641	1234	0	1234	1866	9	1875
ADRAR	343	3	346	1460	14	1474	1803	17	1820
EL-OUED	743	13	756	1042	16	1058	1785	29	1814
JIJEL	572	0	572	969	12	981	1541	12	1553
DJANET	526	82	608	850	48	898	1376	130	1506
IN SALAH	276	0	276	1144	2	1146	1420	2	1422
ILLIZI	216	0	216	866	0	866	1082	0	1082
TOUGGOURT	182	0	182	771	0	771	953	0	953
TEBESSA	732	0	732	92	26	118	824	26	850
TIARET	18	10	28	387	0	387	405	10	415
CHELEF	10	212	222	85	2	87	95	214	309
B-BMOUKHTAR	56	0	56	186	0	186	242	0	242
MECHERIA	20	0	20	210	0	210	230	0	230
MASCARA	6	0	6	86	0	86	92	0	92
LAGHOUAT	26	20	46	6	2	8	32	22	54
EL-BAYADH	0	0	0	14	38	52	14	38	52
BOU-SAADA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IN-GUEZZAM	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	56772	40907	97679	56990	6307	63297	113762	47214	160 976

ANNEXE 05
ROUTES ATS

a) Les routes domestiques ou nationales (inférieures & supérieures) :

Indicatif	Nom des points significatifs	Coordonnées
J/UJ 3	FAROS GHRISS VOR	353020N 0001826E 351233.74N 0000856.09E
J/UJ 4	MOSTAGANEMVOR/DME TIARET VOR/DME KAHIL BEREK TOUGGOURT VOR/DME	355355.13N 0000810.67E 352051.92N 0013053.70E 340326N 0040627E 333629N 0050000E 330325.90N 0060519.68E
J/UJ 5	CONSTANTINE DVOR/DME JIJEL DVOR/DME	361735.75N 0063629.96E 364751.3N 0055231.7E
J/UJ 7	CONSTANTINE DVOR/DME BEJAIA NDB LIMON	361735.75N 0063629.96E 364254.50N 0050436.70E 370416N 0035358E
J/UJ 8	H - MESSAOUD DVOR/DME RIKIF SIHAR IN SALAH VOR/DME	314128.9N 0060830.9E 301906N 0050000E 283000N 0033044E 271448.26N 0023009.24E
J/UJ 9	BENI AMRANE NDB TAGRO BATNA DVOR/DME	363904.67N 0033529.48E 361208N 0050000E 354617.50N 0062037.66E
J/UJ 10	BATNA DVOR/DME TEBESSA DVOR/DME	354617.50N 0062037.66E 352723.64N 0080407.05E
J/UJ 14	CONSTANTINE DVOR/DME BATNA DVOR/DME	361735.75N 0063629.96E 354617.50N 0062037.66E
J/UJ 24	EL BAYADH DVOR/DME SAKNA LOUHA GHARDAIA DVOR/DME BISSA ZARZAITINE VOR/DME	334235.30N 0010445.07E 333021N 0013000E 325045N 0025040E 322335.83N 0034640.37E 313043N 0050000E 280412.41N 0093954.91E
J/UJ 25	H -MESSAOUD DVOR/DME ZARZAITINE VOR/DME	314128.9N 0060830.9E 280412.41N 0093954.91E
J/UJ 26	H-MESSAOUD DVOR/DME KEBRI EL GOLEA VOR/DME	314128.9N 0060830.9E 311755N 0050000E 303330.77N 0025141.97E
J/UJ 27	TOUGGOURT VOR/DME H-MESSAOUD DVOR/DME	330325.90N 0060519.68E 314128.9N 0060830.9E
J/UJ 28	EL OUED VOR/DME TOUGGOURT VOR/DME	333037.64N 0064650.21E 330325.90N 0060519.68E
J/UJ 30	TEBESSA DVOR/DME ZENAD EL OUED VOR/DME H-MESSAOUD DVOR/DME	352723.64N 0080407.05E 344800N 0073750E 333037.64N 0064650.21E 314128.9N 0060830.9E
J/UJ 36	BOU SAADA VOR/DME	353054.56N 0042405.66E

	MAHDI TOUGGOURT VOR/DME	343906N 0050000E 330325.90N 0060519.68E
J/UJ 40	ADRAR VOR/DME TIMIMOUN VOR/DME	274901.34N 0001221.12W 291333.89N 0001529.14E
J/UJ 41	ZARZAITINE VOR/DME NAGAH BORDJ OMAR DRISS VOR/DME OUCIF IN SALAH VOR/DME ADRAR VOR/DME	280412.41N 0093954.91E 280538N 0083527E 280758.97N 0065021.03E 274528N 0050000E 271448.26N 0023009.24E 274901.34N 0001221.12W
J/UJ 53	ZARZAITINE VOR/DME RTILA DJANET DVOR/DME	280412.41N 0093954.91E 260000N 0093254E 241715.82N 0092712.03E
J/UJ 60	DJANET DVOR/DME MELOG TAMANRASSET DVOR/DME BORDJ MOKHTAR VOR	241715.82N 0092712.03E 233023N 0072020E 224827.40N 0052647.50E 212250.83N 0005707.71E
J/UJ 61	DJANET DVOR/DME TIHET ILLIZI VOR BORDJ OMAR DRISS VOR/DME	241715.82N 0092712.03E 260000N 0085247E 264315.35N 0083808.58E 280758.97N 0065021.03E
J/UJ 62	IN SALAH VOR/DME TAMANRASSET DVOR/DME IN GUEZZAM VOR	271448.26N 0023009.24E 224827.40N 0052647.50E 193349N 0054402E
J/UJ 63	ADRAR VOR/DME BORDJ MOKHTAR VOR	274901.34N 0001221.12W 212250.83N 0005707.71E
J/UJ 64	LOUHA HASSI R'MEL VOR/DME	325045N 0025040E 325614N 0032124E
J/UJ 65	TOUGGOURT VOR/DME CITER BERIA HASSI R'MEL VOR/DME	300325.90N 0060519.68E 330739N 0042329E 330250N 0035510E 325614N 0032124E

b) Les routes régionales ou internationales (inférieures & supérieures) :

Indicatif	Nom des points significatifs	Coordonnées
A/UA 6	LABRO MOSTAGANEM VOR/DME	371629N 0010726E 355355.13N 0000810.67E
A/UA 24	OTARO ZEMMOURI DVOR/DME	390000N 0044106E 364742N 0033415E
A/UA 27	BUYAH ALGER DVOR/DME	380647N 0030905E 364127.59N 0031255.73E
A/UA 29	SADAF CHERCHELL NDB TIARET VOR/DME EL BAYADH DVOR/DME BESBA AGREB BENI ABBES VOR/DME TABAL REMLI BRENA	374813N 0021944E 363605.11N 0021135.98E 352051.92N 0013053.70E 334235.30N 0010445.07E 330000N 0002552E 315258N 0003442W 300125.60N 0021350.30W 291500N 0030659W 281646N 0041530W 260700N 0063700W
A/UA 31	LABRO KIRLA CHERCHELL NDB ALGER DVOR/DME BENI AMRANE NDB BABOR TAJEN CONSTANTINE DVOR/DME	371629N 0010726E 370123N 0013000E 363605.11N 0021135.98E 364127.59N 0031255.73E 363904.67N 0033529.48E 362904N 0050000E 362300N 0055109E 361735.75N 0063629.96E
A/UA 34	HAMRA BAHRI MOSTAGANEM VOR/DME	365216N 0000125W 361743N 0000409E 355355.13N 0000810.67E
A/UA 44	TARIK ARZEW MOSTAGANEM VOR/DME	362418N 0010816W 360202N 0001232W 355355.13N 0000810.67E
A/UA 411	ORUP ORAN VOR/DME MOSTAGANEM VOR/DME DAHRA CHERCHELL NDB ALGER DVOR/DME BENI AMRANE NDB BEJAIA NDB JIJEL DVOR/DME ANNABA VOR/DME MORJA	345055N 0015026W 353645.53N 0003917.96W 355355.13N 0000810.67E 362155N 0013000E 363605.11N 0021135.98E 364127.59N 0031255.73E 363904.67N 0033529.48E 364254.50N 0050436.70E 364751.3N 0055231.7E 364956.80N 0074852.50E 365000N 0084000E
A/UA 604	MOSTAGANEM VOR/DME FAROS BAYADH DVOR/DME ANIEB ABLON GOLEA VOR/DME SIHAR	355355.13N 0000810.67E 353020N 0001826E EL 334235.30N 0010445.07E 325833N 0013000E 311422N 0022854E EL 303330.77N 0025141.97E 283000N 0033044E

	TAMANRASSET DVOR/DME EREBO	224827.40N 0052647.50E 200700N 0063600E
A/UA 605	CIRTA CONSTANTINE DVOR/DME AMIRA RIMEL NAGAH TILMA TARAT DJANET DVOR/DME KIRMI	390000N 0070200E 361735.75N 0063629.96E 344800N 0065902E 314533N 0074340E 280538N 0083527E 265939N 0085036E 260000N 0090410E 241715.82N 0092712.03E 222100N 0095900
A/UA 614	TIMIMOUN VOR/DME IPOBA	291333.89N 0001529.14E 222800N 0010300W
A/UA 615	GHARDAIA DVOR/DME ATCHA TIFOU TAMANRASSET DVOR/DME	322335.83N 0034640.37E 294244N 0041537E 283000N 0042827E 224827.40N 0052647.50E
B/UB 16	PECES ZEMMOURI DVOR/DME	382849N 0035659E 3 64742N 0033415E
B/UB 31	MOGIL ZEMMOURI DVOR/DME	380755N 0031207E 364742N 0033415E
B/UB 726	ZEMMOURI DVOR/DME CHLAL BOU SAADA VOR/DME KAHIL BERIA GHARDAIA DVOR/DME EL GOLEA VOR/DME KSOUR SALAH VOR/DME	364742N 0033415E 354000N 0041815E 353054.56N 0042405.66E 340326N 0040627E 330250N 0035510E 322335.83N 0034640.37E 303330.77N 0025141.97E 283000N 0023813E IN 271448.26N 0023009.24E
B/UB 727	ZARZAITINE VOR/DME TILMA ILLIZI VOR HINAN BERTI TAMANRASSET DVOR/DME RAMAD TERAS	280412.41N 0093954.91E 265939N 0085036E 264315.35N 0083808.58E 260000N 0080225E 245722N 0071105E 224827.40N 0052647.50E 214352N 0033410E 204419N 0014928E
B/UB 730	EL GOLEA VOR/DME NIFEL ATCHA GAFLA B.OMAR DRISS VOR/DME OUREL DJANET DVOR/DME IKTAV	303330.77N 0025141.97E 300154N 0034402E 294244N 0041537E 291543N 0050000E 280758.97N 0065021.03E 260000N 0081759E 241715.82N 0092712.03E 223800N 0103000E
B/UB 734	DOLIS BEJAIA NDB BOU SAADA VOR/DME	390000N 0052229E 364254.50N 0050436.70E 353054.56N 0042405.66E
B/UB 735	TIMIMOUN VOR/DME USRUT	291333.89N 0001529.14E 234000N 0024400W
UB 738	LIGUM	355000N 0020000W

	HAMMAM BOU HADJAR NDB EL BAYADH DVOR/DME	352146.50N 0005808.05W 334235.30N 0010445.07E
G/UG 6	SALMA ANNABA VOR/DME	390000N 0064300E 364956.80N 0074852.50E
G/UG 14	KAWKA CONSTANTINE DVOR/DME	375900N 0081900E 361735.75N 0063629.96E
G/UG 26	REQIN BOURI LIMON ZEMMOURI DVOR/DME ALGER DVOR/DME CHERCHELL NDB TIARET VOR/DME BAYADH DVOR/DME GOLIB TIMIMOUN VOR/DME	390000N 0061500E 375921N 0050000E 370416N 0035358E 364742N 0033415E 364127.59N 0031255.73E 363605.11N 0021135.98E 352051.92N 0013053.70E EL 334235.30N 0010445.07E 330000N 0005647E 291333.89N 0001529.14E
G/UG 30	SADAF ALGER DVOR/DME	374813N 0021944E 364127.59N 0031255.73E
G/UG852	EL GOLEA VOR/DME RAHIL REGGAN NDB	303330.77N 0025141.97E 283000N 0012845E 264102N 0001657E
G/UG 855	B.OMAR DRISS VOR/DME HOGAR TAMANRASSET DVOR/DME INAMA	280758.97N 0065021.03E 260000N 0061624E 224827.40N 0052647.50E 190800N 0041000E
G/UG 859	ANNABA VOR/DME CONSTANTINE DVOR/DME BISKRA VOR/DME DAYAT CITER GHARDAIA DVOR/DME EL GOLEA VOR/DME KSOUR SALAH VOR/DME ROFER MOKAT	364956.80N 0074852.50E 361735.75N 0063629.96E 344633.42N 0054549.02E 335218N 0050000E 330739N 0042329E 322335.83N 0034640.37E 303330.77N 0025141.97E 283000N 0023813E IN 271448.26N 0023009.24E 232826N 0014029E 205600N 0011000E
UG 864	TEBESSA DVOR/DME RADJA ROANE GOBET GHARDAIA DVOR/DME ABLON MOUNA TIMIMOUN VOR/DME BRENA	352723.64N 0080407.05E 344800N 0070808E 335613N 0055513E 331637N 0050000E 322335.83N 0034640.37E 311422N 0022854E 302120N 0013000E 291333.89N 0001529.14E 260700N 0063700W
R/UR 34	MOUET ANNABA VOR/DME	390000N 0071952E 364956.80N 0074852.50E
R/UR 978	KAMER CONSTANTINE DVOR/DME NADJI EL OUED VOR/DME	390000N 0060518E 361735.75N 0063629.96E 344800N 0064205E 333037.64N 0064650.21E

	B.OMAR DRISS VOR/DME ATAFA BERTI MELOG ERKEL	280758.97N 0065021.03E 260000N 0070418E 245722N 0071105E 233032N 0072020E 205800N 0074200E
R/UR 985	BOU SAADA VOR/DME ZIBAN EL OUED VOR/DME RIMEL ZARZAITINE VOR/DME	353054.56N 0042405.66E 344800N 0051525E 333037.64N 0064650.21E 314533N 0074340E 280412.41N 0093954.91E
R/UR 990	EL GOLEA VOR/DME RIAME TIMIMOUN VOR/DME	303330.77N 0025141.97E 295149N 0013000E 291333.89N 0001529.14E
V/UV 18	TEBESSA DVOR/DME DAFRI TOZEUR VOR/DME	352723.64N 0080407.05E 342957N 0080514E 335621N 0080559E
V/UV 71	EL OUED VOR/DME KRIMA TOZEUR VOR/DME	333037.64N 0064650.21E 334600N 0073300E 335621N 0080559E
W/UW 254	CONSTANTINE DVOR/DME DIMAO	361735.75N 0063629.96E 362418N 0082200E